



LEHRSTUHL FÜR ELEKTRONISCHE BAUELEMENTE
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Jahresbericht 2009/10



Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 6
91058 Erlangen

Telefon: +49 / (0)9131 / 85+28634
Telefax: +49 / (0)9131 / 85+28698
E-Mail: info@leb.eei.uni-erlangen.de
WWW: <http://www.leb.uni-erlangen.de>

IMPRESSUM

Redaktion

Lothar Frey
Tobias Dirnecker
Sabine Walther
Christina Grandrath

Gestaltung, Satz und Realisierung

Christina Grandrath
Sabine Walther

© Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, sind vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Lehrstuhls reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet oder verbreitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Grußwort	1
2	Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente	3
2.1	Arbeitsgebiete	3
2.2	Mitarbeiter	5
2.3	Lehrbeauftragte	6
2.4	Gastwissenschaftler	7
2.5	Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte	8
2.6	Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften	9
2.7	Ausstattung	10
2.8	Übersicht der bearbeiteten Förderprojekte	14
2.9	Kooperationsbeziehungen	16
3	Veranstaltungen	17
3.1	Chronik 2009	17
3.2	Chronik 2010	18
3.3	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme	19
3.4	Girls' Day	21
3.5	Praktikum Mädchen und Technik	21
3.6	Erlanger Techniktage für die Bayerische Eliteakademie	21
3.7	Ferienakademie Sarntal	22
3.8	Exkursionen	23
3.9	Indo-German Winter Academy	26
3.10	Besuch von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften am LEB	29
3.11	Auszeichnungen	30
4	Lehre und Ausbildung	31
4.1	Angebotene Lehrveranstaltungen	31
4.2	Einordnung der Lehrveranstaltungen	38
4.3	Ausbildung zum Mikrotechnologen	40
5	Studentische Arbeiten	43
5.1	Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten 2009	43
5.2	Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten 2010	50
5.3	Diplomarbeiten 2009	61
5.4	Diplom- und Masterarbeiten 2010	67
6	Promotionen und Habilitationen	77
6.1	Charakterisierung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten	77
6.2	Abscheidung und Charakterisierung metallischer Gateelektroden für zukünftige CMOS-Technologien	79
6.3	Chemische Gasphasenabscheidung von Metallsilicatschichten aus Einquellen-Ausgangsstoffen für Anwendungen in der Mikroelektronik	80
6.4	Simulation der Nahfeldbelichtung	82

6.5	Gleichspannungswandler hoher Leistungsdichte im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen	84
6.6	Charakterisierung von Metall-Oxid-Halbleiter-Strukturen auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von 4H-Siliciumcarbid	86
6.7	Effektive Austrittsarbeitskontrolle für Metal/High-k-MOS-Stapel	89
6.8	Evaluierung von CMOS Architekturen mit Gatelängen kleiner 50 nm mittels numerischer Simulationen	90
6.9	3D-Simulation des Zerstäubungsätzens mit der Monte-Carlo-Methode	93
6.10	Modellierung fortschrittlicher Maskentechnologien für die optische und EUV-Lithographie	95
7	Beispiele aus der Forschung	97
7.1	Sonderforschungsbereich 694, Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme	97
7.2	Graduiertenkolleg Disperse Systeme	102
7.3	Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials	103
7.4	Winkelverteilung abgesputterter Atome	108
7.5	Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen in Silicium	111
7.6	Untersuchung von Dotierungsprofilen in Silicium nach Protonenimplantation im MeV-Bereich	113
7.7	Germaniumbasierte Bauelementetechnologie	115
7.8	Reduzierung der Zustandsdichte an der Grenzfläche zwischen Siliciumdioxid und 4H-Siliciumcarbid	116
7.9	Evaluierung von Stromflussmechanismen durch Körner und Korngrenzen in hoch- ϵ -Schichten mittels „tunneling“ AFM	118
8	Wissenschaftliche Beiträge	121
8.1	Bücher und Buchbeiträge	121
8.2	Veröffentlichungen in Fachzeitschriften	122
8.3	Vorträge und Posterpräsentationen	127
9	So finden Sie zu uns	135
9.1	Anreise	135
9.2	Lageplan	136

1 Grußwort

Mit den Jahren 2009 und 2010 darf ich gemeinsam mit Ihnen auf meine ersten beiden vollen Jahre als Inhaber des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente (LEB) zurückblicken.

Der LEB hat seine Lehr- und Forschungsaktivitäten in bewährt enger Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) ausgebaut. Die Schwerpunkte liegen hier auf den Gebieten Mikro- und Nanoelektronik, Materialien für die Elektronik und Leistungselektronik. Die Energiethematik sowie die Elektromobilität sind Treiber für neue Entwicklungen am LEB, vor allem im Material- und Leistungselektronikbereich. Unser Engagement für die Mobilität von morgen äußert sich auch im interdisziplinären Gruppenprojekt TechFak EcoCar, im Rahmen dessen Studenten an der Entwicklung energieeffizienter Antriebskonzepte forschen.

Im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik finden die Kompetenzen des Lehrstuhls breite Anwendung. Der Lehrstuhl forscht im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme (SFB 694) an der Entwicklung von mechatronisch integrierbaren passiven Bauelementen und an der Herstellung von integrierbaren Sicherungsbaulementen für automobiler Anwendungen. Darüber hinaus ist der LEB in zwei Maßnahmen der Exzellenzinitiative vertreten: der Graduierten Schule „School in Advanced Optical Technologies“ (SAOT) sowie dem Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“ (EAM). Gefördert durch das EAM, der Graduiertenkolleg „Disperse Systeme“ und eine Arbeitsgruppe des IISB wurde ein weiterer Schwerpunkt Partikelelektronik aufgebaut. Ziel ist die Entwicklung druckbarer Elektronik auf Basis von anorganischen Nanopartikeln. Weitere Forschungsprojekte behandeln u.a. Themen wie Leistungsbauelemente auf Basis von Siliciumcarbid, neue Materialien für zukünftige CMOS-Technologien und thermodynamische und kinetische Eigenschaften von Gitterleerstellen in Silicium.

In der Lehre engagiert sich der LEB in den etablierten Studiengängen Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik und Mechatronik und nun auch in den neuen Bachelor-/Masterstudiengängen, wie z.B. Nanotechnologie. Für den letzteren Studiengang bietet der Lehrstuhl sowohl verpflichtende Vorlesungen als auch ein obligatorisches Reinraumpraktikum an. Zusammen mit dem IISB bildet der LEB zudem auch weiterhin zum Mikrotechnologen aus.

Nicht zuletzt konnte in den vergangenen beiden Jahren die Ausstattung des Lehrstuhls erweitert und erneuert werden. In Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft wurden Ersatzbeschaffungen für veraltete Reinraumgeräte durchgeführt. Für die Zukunft sieht sich der LEB daher gut gerüstet.

Abschließend gilt mein herzlicher Dank unseren öffentlichen Förderern, der Hochschulleitung, allen Studentinnen und Studenten sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des LEB für ihre hervorragende Arbeit.

Erlangen, im Dezember 2010

Lothar Frey

2 Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

2.1 Arbeitsgebiete

2.1.1 Halbleiter- und Nanotechnologie

Die Herstellung und Charakterisierung dünnster Schichten für die Nanotechnologie, die Integration neuartiger Materialien in der Siliciumtechnologie, die Herstellung von Bauelementen auf Germanium- und Siliciumcarbid-Substraten und die Entwicklung von neuartigen Bauelementestrukturen sind Forschungsschwerpunkte im Arbeitsgebiet Halbleiter- und Nanotechnologie. Im Rahmen des Graduiertenkollegs Disperse Systeme für Elektronikanwendungen laufen am LEB zudem umfangreiche Forschungsarbeiten zur Herstellung von Bauelementen per Druckverfahren auf Basis von Halbleiter-Nanopartikeln. Weitere Kompetenzen liegen im Bereich der Untersuchung einzelner Prozessschritte, z.B. durch Bestimmung der Schichtzusammensetzung, der Topographie, der Dotierprofile und weiterer physikalischer und chemischer Parameter sowie in der Charakterisierung von Halbleiterbauelementen, wie z.B. NROM-Speicher durch entsprechende elektrische Messtechnik, u.a. C(U)-Messungen und I(U)-Messungen.

2.1.2 Leistungshalbleiter-Bauelemente, Smart-Power-IC-Technologien

Ansprechpartner: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiek

Schwerpunkt ist hierbei die Konzeption, Entwicklung und Charakterisierung neuartiger diskreter und, im Rahmen von Smart-Power-IC-Technologien, integrierbarer Leistungshalbleiter. Aktuelle Forschungsthemen stellen integrierbare Bauelemente für Smart-Power-IC-Prozesse mit einer Spannungsfestigkeit bis 100 V für Produkte zum Einsatz in der Automobilelektronik sowie mit einer Spannungsfestigkeit von ca. 600 V für Anwendungen an 230 V-Netzwechselspannung dar. Die Charakterisierung des Bauelementverhaltens und die Designoptimierung erfolgen durch numerische Device- und Prozesssimulation sowie experimentelle Funktionsanalyse. Die Realisierung von Bauelementen und Teststrukturen erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern.

2.1.3 Technologiesimulation

Im Arbeitsgebiet Technologiesimulation werden leistungsfähige Simulationsprogramme zur Optimierung von Einzelprozessen und Prozessfolgen in der Halbleitertechnologie entwickelt. Zu diesem Zweck entwickelt und verbessert die Arbeitsgruppe Modelle für die Prozessschritte Ionenimplantation, Diffusion, Oxidation, Lithographie, Ätzen und Schichtabscheidung. Die benötigten Modelle und ihre Parameter werden aufgrund von experimentellen Untersuchungen aufgestellt und evaluiert. Daneben werden insbesondere für die dreidimensionale Prozesssimulation benötigte spezielle Algorithmen entwickelt und zusammen mit den Modellen in leistungsfähige Simulationsprogramme implementiert. Diese Programme werden von der Halbleiterindustrie sowie dem LEB, dem Fraunhofer IISB und anderen Forschungsinstituten zur schnellen und kostengünstigen Entwicklung von Technologieschritten und Bauelementen eingesetzt.

Im Berichtszeitraum wurde am LEB Vorlaufforschung zur Simulation der Dotierungssegregation an Grenzflächen, des Sputterns bei Ionenstrahlprozessen, zu Punktdefekten in Silicium sowie

zur Simulation der Proximitylithographie durchgeführt, finanziert durch die DFG bzw. das IISB. Letzteres ist auch ein wichtiger Partner beim Transfer der Ergebnisse in die industrielle Anwendung. Der LEB arbeitet auf dem Gebiet der Lithographiesimulation an der im Rahmen der Exzellenzinitiative geförderten „School of Advanced Optical Technologies“ (SAOT) mit. Drei Wissenschaftler aus der Abteilung Technologiesimulation des Fraunhofer IISB sind als Privatdozenten bzw. als Lehrbeauftragte mit Wahlpflichtfach- bzw. Wahlfachvorlesungen für den LEB tätig.

2.1.4 Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Im Arbeitsgebiet Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden werden Firmen bei der Entwicklung und Verbesserung neuer Fertigungsgeräte, Materialien und der damit verbundenen Prozesse bis hin zur Implementierung in die Produktion unterstützt. Dabei wird besonderer Wert auf Fragen der Prozesskompatibilität mit anderen Fertigungsschritten, der Reduzierung von Kontamination durch Medien, Werkstoffe und Prozesse sowie der Sicherheit gelegt. Der Verbesserung von Prozessreproduzierbarkeit und -zuverlässigkeit dienen Entwicklung und Einsatz von Verfahren der integrierten Messtechnik und Prozessautomatisierung, besser bekannt unter den Fachbegriffen „Integrated Metrology“ und „Advanced Process Control“ (APC). Die Gerätevorqualifizierung oder das „Equipment Assessment“ unter Nutzung von industriekompatiblen Prozessen und Charakterisierungsverfahren reduziert das Risiko beim Einsatz der neu entwickelten Geräte und Prozesse in den Fertigungslinien der Halbleiterindustrie. Neben den oben genannten Forschungsschwerpunkten dient auch das erfolgreich aufgebaute Arbeitsgebiet „Wafer Reclaim“ besonders der Reduzierung der Kosten in der Halbleiterfertigung und erschließt ein attraktives neues Feld unter optimaler Nutzung von Synergieeffekten.

2.1.5 Leistungselektronische Systeme

Auf dem Gebiet der Leistungselektronik kooperiert der LEB eng mit der Abteilung Leistungselektronische Systeme des Fraunhofer IISB. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 694 werden beispielsweise neuartige weichmagnetische Werkstoffe für induktive Bauelemente untersucht und optimiert. Das Einbetten weichmagnetischer Partikel in eine Polymermatrix eröffnet für magnetische Kerne völlig neue Freiheitsgrade in der Formgebung, unter Rückgriff auf etablierte und kostengünstige Kunststoffverarbeitungstechniken wie das Spritzgießen. Parallel dazu werden am Lehrstuhl neuartige Entwärmungskonzepte auf der Basis thermisch leitfähig gefüllter Kunststoffe entwickelt. Ein entscheidender Vorteil entsprechender „Plastik-Kühlkörper“ gegenüber traditionellen Aluminiumteilen ist - neben dem geringeren Gewicht und der einfacheren Formbarkeit - die elektrische Isolationseigenschaft des Materials, die eine enorme Vereinfachung des Schaltungsaufbaus erlaubt.

Neben den Arbeiten zu neuen Materialien und passiven Leistungsbauelementen sind die Themen Simulation (thermisch und elektromagnetisch, Systemsimulation) sowie die Frage der Zuverlässigkeit leistungselektronischer Systeme wichtige Schwerpunkte.

Durch die enge Kooperation mit den Systementwicklern am Fraunhofer IISB ist eine schnelle Umsetzung der am LEB erarbeiteten Grundlagen und Ergebnisse in konkrete Anwendungen möglich. Insbesondere in die Hybridfahrzeugprojekte am Fraunhofer IISB ist der Lehrstuhl umfassend eingebunden.

Dipl.-Ing. David Schindele	Gitterleerstelleneigenschaften in Silicium (bis 10/2010)
Dipl.-Phys. Matthias Sekowski	Winkelverteilung bei der Ionenbestrahlung (bis 09/2010)
Dipl.-Ing. Christian Strenger	Bauelemente auf Siliciumcarbiddbasis (seit 09/2009)
Dipl.-Phys. Sebastian Weis	Ladungstransport in nanopartikulären Schichten

Technische Mitarbeiter / Verwaltung

Diana Arnold	Verwaltung / Sekretariat
Jessika Bolch	Sonderforschungsbereich 694 (bis 09/2009)
Sieglinde Elsesser	Photolithographie / Nasschemie
Christian Heilmann	Prozessgeräte / Elektrofachkraft Sicherheitsbeauftragter
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Klauser	Rechner / Leitsysteme / Messtechnik
Stefan Knopf	Physikalische Schichtabscheidung Mechanische Werkstatt
Angela Meixner	Photolithographie / Nasschemie
Andrea Merkel	Verwaltung / Sekretariat
Oliver Pöhlmann	Auszubildender Mikrotechnologe (bis 2010)
Anna-Maria Rehm	Reinigung Reinraumlabor
Dipl.-Ing. Heinrich Schier	Infrastruktur / Reinraum
Katharina-Luise Stimm	Reinigung Reinraumlabor
Jonas Strobel	Auszubildender Mikrotechnologe

2.3 Lehrbeauftragte

Lehrbeauftragte

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil. Andreas Erdmann	Fraunhofer IISB, Erlangen
Dr.-Ing. Michael Jank	Fraunhofer IISB, Erlangen
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Dipl.-Math. Jürgen Lorenz	Fraunhofer IISB, Erlangen
Dr.-Ing. Martin März	Fraunhofer IISB, Erlangen
Priv.-Doz. Dr. techn. habil. Peter Pichler	Fraunhofer IISB, Erlangen
Priv.-Doz. Dr. Klaus Schmidt	PolyIC, Fürth

2.4 Gastwissenschaftler

Dr. Péter Petrik / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 04.02 - 10.02.2009 17.07 - 27.07.2009 19.10. - 23.11.2009 04.02. - 09.02.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Christine Horntrich / Österreich (TU Wien) 01.04. - 30.04.2009 31.01 - 04.02.2010	Entwicklung eines TXRF-Standards im Rahmen des „Analytical Networks for Nanotech“ (ANNA)
Dr. Albena Paskaleva / Bulgarien (Bulgarische Akademie der Wissenschaften) 06.10. - 28.10.2009 17.05. - 15.08.2010	Einfangmechanismen und deren Auswirkungen auf die Langzeitzuverlässigkeit von Bauelementen im Nanobereich auf Basis von „metal gate“ und hoch- ϵ -Dielektrikum
Péter Kozma / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 19.10. - 23.10.2009 23.11. - 26.11.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Csaba Major / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 19.10. - 23.10.2009	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Dr. Olivér Polgár / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 19.10. - 23.10.2009 23.11. - 26.11.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Dr. György Juhász / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 19.10. - 23.10.2009 23.11. - 26.11.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Dr. Miklós Fried / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 23.11. - 26.11.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Dr. Ágoston Németh / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 23.11. - 26.11.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“
Bálint Fodor / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 23.11. - 17.12.2010	Projektbezogener Personenaustausch „Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures“

2.5 *Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte*

In den Jahren 2009 und 2010 waren insgesamt 36 studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte zur Unterstützung der Mitarbeiter in Forschung und Lehre beschäftigt.

Dominik Ammesdörfer	Probenpräparation und elektrische Messtechnik im Projekt Druckbare Elektronik
Felix Distler	Tutorium Halbleiterbauelemente, Elektrische Messtechnik
Stefan Eberlein	Elektrische Messtechnik, Automatisierung Messdatenauswertung (SFB)
Stefan Endres	Programmierung in LabVIEW, Multimedia, Pflege des Internetauftritts
Fabian Feilcke	Multimedia
Andrea Fetzer	Tutorium Halbleiterbauelemente
Oliver Gaßner	Mikrocontrollerprogrammierung
Hannes Greve	Zuverlässigkeitsuntersuchungen an BGA Lötverbindungen, Metallographie (SFB)
Thomas Heckel	Tutorium Halbleiterbauelemente, Tutor Praktikum Mechatronische Systeme
Florian Hilpert	Technische Unterstützung im Projekt TechFak EcoCar
Anna Hitzenberger	Elektrische Messtechnik
Jeremias Isnardy	Elektrische Messtechnik, Programmierung in LabVIEW im Projekt Druckbare Elektronik
Tina Kastenhuber	Tutorium Halbleiterbauelemente
Philipp Kestel	CAD Konstruktionen
Martin Klüpfel	Elektrische Messtechnik
Matthias Kocher	Programmierung in LabView
Gabriel König	Literaturrecherche
Roman Kravchuk	Elektrische Messtechnik inkl. Auswertung an Germaniumproben
Thomas Menrath	Technische Unterstützung im Projekt TechFak EcoCar
Matthias Müller	Elektrische Messtechnik, Probenherstellung, AFM-Messungen, optisches Mikroskop im Projekt Druckbare Elektronik
Stefan Murmann	Probenpräparation und elektrische Messtechnik im Projekt Druckbare Elektronik
Thomas Neußer	Elektrische Messtechnik
Markus Niedermeier	Mitarbeit im Projekt „Distributed Power Conversion in Smart Photovoltaic Solar Panels“
Daniel Oriold	Tutorium Halbleiterbauelemente, Infrastruktur
Mariya Palash	Probenpräparation und elektrische Messtechnik im Projekt Druckbare Elektronik
Sven Pöhlmann	Erweiterung des Simulink-Modells für das Projekt TechFak EcoCar (bis 01/2009)

Sven Probst	Tutorium Halbleiterbauelemente
Jürgen Röber	Tutorium Halbleiterbauelemente, Elektrische Messtechnik
Michael Röttges	Unterstützung bei Proben-Prozessierung und Messtechnik an Germaniumproben
Thomas Scharrer	Probenpräparation und elektrische Messtechnik im Projekt Druckbare Elektronik
Ludwig Schirmacher	Elektrische Messtechnik (SFB)
Christoph Stummer	Elektrische Messtechnik, Tutorium Halbleiterbauelemente
Jihad Taleb	Elektrische Messtechnik an Germaniumproben
Olga Vesker	Erweiterung des Simulink-Modells für das Projekt TechFak EcoCar
Ruslan Zaidman	Erstellung von Postern, Literaturrecherche (SFB)
Alexander Zapf	Elektrische Messtechnik

2.6 *Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften*

Prof. Dr. rer. nat. habil. Lothar Frey	<p>Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik (IHP) in Frankfurt/Oder</p> <p>Mitglied der Böhmisches Physikalischen Gesellschaft</p> <p>Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)</p> <p>Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik</p> <p>Mitglied im Fakultätsrat und -vorstand</p> <p>Mitglied in der Kollegialen Leitung des Departments Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik</p> <p>Mitglied der Strategiekommision des Departments Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik</p> <p>Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des Leibniz-Instituts für Innovative Mikroelektronik IHP Frankfurt/Oder</p> <p>Leiter der Fachgruppe 6.2.6 „Inspektion und Analytik“ der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)</p> <p>Member of the Evaluation Panel (NT-L) of the Swedish Research Council</p> <p>Representative of the Fraunhofer Gesellschaft/Microelectronics Alliance at the European Semiconductor Industry Association (ESIA)</p>
Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak	<p>Mitglied in der VDE / VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)</p> <p>Mitglied in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)</p> <p>Mitglied in der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG)</p> <p>Mitglied im „Zentrum Leistungselektronik, Universität Erlangen“</p>

Freiburger Kolloquium „Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung“ (Mitglied des Organisationsgremiums, Technisches Programm)

2.7 Ausstattung

Als experimentelle Grundlage für die Forschungsarbeiten des LEB stehen in Kooperation mit dem Fraunhofer IISB zwei Reinräume mit insgesamt etwa 1500 m² Reinraumfläche, davon ca. 1200 m² der Klasse 100 oder besser, zur Verfügung. Die umfangreiche prozess- und messtechnische Ausstattung der Reinräume und Messlabore ermöglicht die Durchführung von Einzelprozessen bis hin zur Herstellung von Teststrukturen und Bauelemente- oder Schaltdemonstratoren sowie die Entwicklung, Erprobung, Vorqualifikation und Montage von Halbleiter-Fertigungsgeräten. Die Prozessanlagen sind durchgängig für die Bearbeitung von 150 mm Scheibendurchmesser, größtenteils bis 200 mm und teilweise bis 300 mm ausgelegt. Modernste analytische Verfahren zur Charakterisierung von Oberflächen, Schichten, Grenzflächen sowie Flüssigmedien und Gasen erlauben es, störende Verunreinigungen in geringsten Konzentrationen und deren Ursachen zu erkennen.

Im Berichtszeitraum konnte das Portfolio der vorhandenen Messgeräte erweitert werden. Für die Bestimmung von Ladungsträgerlebensdauer und Diffusionslänge, zur Oxidcharakterisierung sowie für Schichtwiderstandsmessungen an pn-Übergängen wurde das Messgerät WT 2500 der Firma Semilab beschafft. Damit sind im Reinraum kontaktlose und automatisierte Messungen an Bruchstücken von wenigen cm² als auch an kompletten 300 mm-Scheiben möglich. Hauptanwendungsgebiet ist schnelle Prozess-, Kontaminations- und Materialkontrolle.

Es folgt eine Übersicht über die dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zur Verfügung stehenden Großgeräte:

Si- und SiC-Prozesstechnik

- Oxidation: 4-Stock-Oxidationsöfen (bis zu 200 mm), RTO-Anlage, Rohrwäscher
- Schichtabscheidung: Niederdruck-Dampfphasenabscheidung (LPCVD) von Standard-CMOS-Dünnschichten (SiO₂, Si₃N₄, Polysilicium, BPSG), Metallorganische Dampfphasenabscheidung (MOCVD) für Ferroelektrika, neue Gatedielektrika und sensitive Schichten, plasmaunterstützte Abscheidung atomar dünner Schichten (ALD), Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Mehrkammer-Sputteranlagen für hochschmelzende Metalle (Platin und Wolfram), Sputteranlage zum Co-Sputtern verschiedener Materialien, Ausheil- und Epitaxieanlagen für SiC, Rohrofen für Nanopartikelerzeugung
- MESC-kompatible Cluster-Plattform mit Photoelektronenspektroskopie-Messmodul (XPS), Messgeräte für Partikelmessung und Plasmadiagnose
- Dotierung: fünf Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hochenergieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Öfen für Diffusions- und Ausheilschritte, Anlagen für Rapid Thermal Annealing (RTA)
- Lithographie: Kontakt- und Proximity-Belichtung, vollautomatische Horde-zu-Horde-Lack- und Entwicklerstraßen, Elektronenstrahlolithographie

- Nanoimprint-Lithographie: Nano-Patterning-Stepper (NPS) 300; Strukturierung von Substraten mit Durchmessern bis 200 mm
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO_2 , Si_3N_4 , Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Nassätzbänke für alle wesentlichen Ätzschritte, automatische Reinigungsstationen
- Reinigung: Endreinigungsanlage
- Polieren: Doppelseitenpoliermaschine, Einseitenpoliermaschine (Chemical Mechanical Polishing)
- Chipbonder (manuell, automatisch), Wafersäge, Verkapselung
- Al-Dickdraht-Bonder
- Vakuum-Dampfphasenlötanlage

Messtechnik und Analytik

Elektrische Halbleiter- und Bauelementemesstechnik

- (Schicht-)Widerstandsmessung (Vierspitzenmessplatz, Spreading Resistance, Teststrukturen)
- Profile von Ladungsträgerkonzentration und -beweglichkeit (Hall-Messplatz für temperaturabhängige Messungen, Spreading-Resistance)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT, bis 300 mm geeignet), Microwave Detected Photoconductivity Decay (μ -PCD))
- Oxidladungs- und Grenzflächenzustandsdichte (hoch- und niederfrequente Kapazitäts-Spannungsmessung, Thermo-Stress)
- Störstellen (Trap)-Konzentration (C(U), DLTS, TSC und PICTS)
- I(U)- und C(U)-Messungen mit manuellen oder automatischen Scheibenprobern
- Stressverfahren zur Untersuchung der Zuverlässigkeit dünner dielektrischer Schichten
- Elektronenstrahltester zur Analyse von Halbleiterbauelementen mittels Potentialkontrastmethode
- Solarzellenmessplatz
- Spektrometer für Photolumineszenz (14 K, 300 K) und IR-Absorption
- Photometer

Prozessmesstechnik, physikalische und chemische Analytik

- Scheibendicke und -form (kapazitiv)
- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für *in situ*-Messungen, Spektralellipsometer (*in situ*, *ex situ*), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten)

- Kontaktwinkelmessgerät
- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, AFM)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben, flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- Mikroskop mit digitaler Bildverarbeitung für Substrate bis 300 mm
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop, Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX), Probenpräparation)
- Feinfokus-Ionenstrahlanlagen (FIB)
- Rasterkraftmikroskope (AFM) zur Topographie- bzw. Rauheitsbestimmung
- Rasterkraftmikroskop für elektrische Messungen: Tunnel- bzw. Leckstrombestimmung (TUNA), Bestimmung des Ausbreitungswiderstands (SSRM), Kapazitätsmessung (SCM)
- Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Photoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Atomabsorptionsspektrometer (AAS), Möglichkeit zur Probenpräparation auf 300 mm-Substraten
- Scheibenoberflächenpräparationssystem (WSPS), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- Pack Extraction Method (PEM)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- Hochauflösende Röntgendiffraktometer (HR-XRD)
- UV- / VIS- / NIR- Spektrometer
- Optische Emissionsspektroskopie (ICP-OES), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- Flüssigchromatograph (LC)
- TOC- / DOC-Messgeräte
- Thermowellenmesstechnik, Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- optisches System zur Siliciumscheibeninspektion und Defektklassifikation, Defektinspektion auf unstrukturierten Scheibenoberflächen bis 300 mm
- Gaschromatograph-Massenspektrometer mit Thermodesorption-GC-MS, Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)

- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten

Leistungselektronische Messtechnik

- Oszilloskope bis 10 Giga-Samples / Sekunde
- IR-Thermographie
- Zth-Messplatz
- Normgerechte Burst- / Surge-Generatoren, Load-dump, ESD
- Netzleistungs- und Oberwellen-Analysator
- Klimatestkammer
- Temperaturschockschrank
- Lastwechsellasteinrichtung
- Impedanzanalysator
- Teilentladungsmessung
- DC-Quellen und elektronische Lasten bis 150 kW
- Motorprüfstand (bis 40 kW)
- Schaltmessplatz zur dynamischen Charakterisierung von Leistungsbaulementen
- Ultraschallmikroskop
- Laser-Profilometer

Prozess- und Analysetechnik gedruckte Elektronik

- Tintenstrahldrucker
- Handschuhbox
- Ultrazentrifuge
- Ultraschallfinger
- Rotationsbeschichter
- Heizplatten, teilweise mit Vakuumchuck
- Mikroviskosimeter

Softwareausstattung

- Schaltungssimulatoren Pspice, Simplorer
- Flotherm (3D thermische Finite-Elemente-Analyse)
- Ansoft PEMAG

- Verschiedene Programme (sowohl kommerzielle Programme als auch Eigenentwicklungen) für Geräte-, Prozess- und Bauelementesimulation, z. B. ICECREM, TRIM, DIOS, DESSIS, FLOOPS, SENTAURUS, SOLID, DEP3D, ANETCH, Dr.Litho, ENCOTION und Arena
- Cadence Design Paket zur Synthese von Analog-Mixed-Signal ASICS
- Entwicklungswerkzeuge zur Gerätesteuerung
- Fuzzyentwicklungssystem

Rechner

- Leistungsfähiges Rechner-Netzwerk zur Durchführung von Simulationen
- Arbeitsplatz- und Steuerrechner

2.8 Übersicht der bearbeiteten Förderprojekte

Ausbildung zum Mikrotechnologen, Kooperationsvereinbarung zwischen dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) in Erlangen und dem LEB, 01.09.2007 - 31.08.2010

Graduiertenkolleg 1161 „Disperse Systeme für Elektronikanwendungen“, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.01.2006 - 31.03.2010, AZ: GRK 1161/1/ Teilprojekt TP Ryssel

Graduiertenkolleg 1161 „Disperse Systeme für Elektronikanwendungen“, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.04.2010 - 30.09.2014, AZ: GRK 1161/2/ Teilprojekt TP Frey

Characterization of gate stacks by ellipsometry Projektbezogener Personenaustausch mit Ungarn (PPP), Träger: Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), ID: 50449771

Sonderforschungsbereich SFB 694 „Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme“, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.01.2006 - 31.12.2010

- **Teilprojekt C04 „Integrierbare Bauelemente zur Sicherung der Qualität von elektronischen Systemkomponenten im Automobil“**, (Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel)
- **Teilprojekt B04 „Motorintegrierte Leistungselektronik: Strukturflexibel mechanisch integrierbare passive elektronische Bauelemente“**, (Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel und Dr. Martin März)

Experimentelle Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen im Silicium, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.10.2006 - 31.07.2009, AZ: Ry 1/24-1

Experimentelle Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen im Silicium, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.11.2009 - 31.10.2010, AZ: Ry 1/24-2

Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials - Hierarchical Structure Formation for Functional Devices“, Säule B6 „Nanoelectronic Materials“, Gemeinschaftsproj-

jekt mit ingenieur- und naturwissenschaftlichen Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder, Säule B6 TP Frey, 01.11.2007 - 31.10.2012

Siliciumcarbid-MOSFETs für den Einsatz in Umgebungen über 250 °C, Doktorandenstipendium, Träger: Hans L. Merkle-Stiftung, AZ: T113/3030/3013/1914/09
01.09.2009-31.08-2012

Rekonstruktion von Tiefenprofilen aus winkelaufgelösten Röntgenfluoreszenz, Kooperationsvereinbarung zwischen dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) in Erlangen und dem LEB, 01.10.2009 - 31.03.2010

Development of Efficient Models and Algorithms for Lithographic Projection Imaging and Related Optical Proximity Effects, Forschungsstipendium Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT), 01.10.2009 - 31.10.2011

Aufbau einer mit Reaktivgas gefüllten, hochgenauen Atomresonanzzelle mittels Ionenimplantation Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft, AZ: Ry 1/27-1
01.06.2010-31.05.2013

Charakterisierung von strukturierten Materialien der Halbleitertechnologie mittels aperturloser Streulicht-Rasternahfeldmikroskopie, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft, AZ: Ka 3105/1-1 16.05.2010-15.05.2013

Leistungswandler in GaN-Technologie zur Erschließung ungenutzter Energiepotentiale (PowerGaNplus), Verbundprojekt des Bundesministerium für Bildung und Forschung, FKZ: 13N10911 01.09.2010-31.08.2013

Untersuchung der Dotierung mittels Protonenbestrahlung für die Herstellung von Leistungshalbleiterbauelementen, Träger: Doktorandenprogramm des European Center for Power Electronics e.V., 01.09.2007-30.04.2011

Halbautomatischer 200 mm-Messplatz zur Charakterisierung von Bauelementen und Halbleiterscheiben, Berufungsmittel Prof. L. Frey, AZ: INST 90/658-1 FUGG Laufzeit

Industrieprojekt mit der Nanoworld Services GmbH

Erweiterung des Monte-Carlo-Programms MCSIM für die Modellierung der SIMS-Signale, Träger: FhG Monte Carlo Programm (MCSIM), Laufzeit

Durchführung von umfangreichen Testreihen zur Entwicklung neuer Prozessverfahren und Instandhaltungsmaßnahmen am Ionenimplanter, Träger: FhG Ionenimplanter, 08.07.2010-30.06.2011

Rekonstruktion von Tiefenprofilen aus winkelaufgelösten Röntgenfluoreszenzmessungen, Träger: FhG Monte Carlo Programm (MCSIM), 01.04.2010-30.09.2010

Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen X-FAB (Dresden) und der Friedrich-Alexander-Universität, vertreten durch Prof. phil. nat. Stoisiek, 01.02.2008 – 31.12.2010

2.9 Kooperationsbeziehungen

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente unterhält zahlreiche Kooperationsbeziehungen zu Firmen, Hochschulen und Forschungsinstituten im In- und Ausland.

Firmen

Evonik Industries (ehem. Degussa) / Evonik Degussa GmbH (Marl)

ELMOS (Dortmund)

Infineon Technologies (München, Villach)

Nanoworld Services (Erlangen)

SiCED (Erlangen)

Texas Instruments (Freising)

ZMD (Dresden)

Hochschulen und Akademien

Ruhr-Universität Bochum

Fachhochschule Aschaffenburg

Technische Universität München

Universität der Bundeswehr München

Universität Osaka, Japan

Universität Trient, Italien

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Schweiz

Indian Institute of Technology (IIT) Kharagpur, Indien

North Carolina State University (NCSU) Raleigh, USA

Russische Akademie der Wissenschaften Moskau, GUS

Ungarische Akademie der Wissenschaften Budapest, Ungarn

Forschungsinstitute

Fraunhofer IISB, Erlangen

Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC), Leuven, Belgien

CEA-LETI (Commissariat à l'Énergie Atomique, Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information), Grenoble, Frankreich

Tyndall Research Institute, Cork, Irland

3 Veranstaltungen

3.1 Chronik 2009

Datum	Veranstaltung
19. Januar	Exkursion mit Studierenden zur Fa. Bosch nach Reutlingen
11. Februar	„Realize your vision“, Aktion am Flughafen Nürnberg
13. März	Schülerinformationstag des Instituts für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
30. März	Erlanger Techniktage 2009, Besuch von Studierenden der Bayerischen Eliteakademie
6. April	Promotion Oliver Klar „Charakterisierung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten“
6.-7. April	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen der Veranstaltung „Jugend und Technik“
23. April	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen des „Girls' Day 2009“
18. Juni	BACHI - Informationsveranstaltung der ETG für Bachelor-Studierende im 4. Semester
25. Juni	Sommerfest der Technischen Fakultät
7. Juli	Exkursion mit Studierenden zur Fa. Osram nach Regensburg
10. Juli	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme (Organisation durch LEB) und Verleihung des Studienpreises Mechatronik der Firma Baumüller (Nürnberg)
15. Juli	Lehrstuhlpräsentation für Studierende der EEI im 4. Semester
3. August	Vorstellung des EcoCar-Projekts bei der Festveranstaltung zu „60 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft“
4. August	Gemeinsames Grillfest der Lehrstühle im Gebäude Cauerstr. 6
07.-11. September	Praktikum Mädchen und Technik
14. September	Begehung des Lehrstuhls zwecks Begutachtung 2. Phase des Sonderforschungsbereichs (SFB) 694
16. September	Betriebsausflug des IISB und des LEB zur Burg Rabenstein (Fränkische Schweiz)
16.-18. September	Blockpraktikum „Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente“ am LEB für Studierende der FH Aschaffenburg
20. September - 2. Oktober	Ferienakademie Sarntal (Südtirol, Italien)
6. - 28. Oktober	Besuch von Dr. Albena Paskaleva von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften
16. Oktober	Reinraumführung für Studierende der Mechatronik im 1. Semester
24. Oktober	Lange Nacht der Wissenschaften
6. November	EEI-Kontaktmesse für Studierende im 1. Semester

11. Dezember	Kontaktvormittag mit Reinraum- und Laborführung für Studierende im 1. Semester
13. - 19. Dezember	8th Indo German Winter Academy (Roorkee, Indien)
17. Dezember	Gemeinsame Weihnachtsfeier von LEB und IISB

3.2 Chronik 2010

Datum	Veranstaltung
18. Januar	Promotion Jörn Hinz „Abscheidung und Charakterisierung metallischer Gateelektroden für zukünftige CMOS-Technologien“
2. Februar	Habilitation Andreas Erdmann „Modellierung fortschrittlicher Maskentechnologien für die optische und EUV-Lithographie“
4. Februar	Reinraumführung Schülergruppe (Patengymnasium Prof. Schlücker), Laurentius-Gymnasium Neuendettelsau
9. Februar	Promotion Martin Lemberger „Chemische Gasphasenabscheidung von Metallsilicatschichten aus Einquellen-Ausgangsstoffen für Anwendungen in der Mikroelektronik“
9. Februar	Reinraumführung für Studenten der Vorlesung Halbleiterbauelemente
11. Februar	Reinraumführung für Studenten der Vorlesung Halbleiterbauelemente
11. Februar	„Realize your vision“, Aktion am Flughafen Nürnberg
19. März	Schülerinformationstag des Instituts für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
21.-24. März	Erlanger Techniktage 2010, Besuch von Studierenden der Bayerischen Eliteakademie
13. April	Reinraumführung im Rahmen der Lehrerfortbildung an der Technischen Fakultät
22. April	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen des „Girls' Day 2010“
17. Mai	BACHI - Informationsveranstaltung der ETG „Kurzschluss“ für Bachelor-Studierende im 4. Semester
18. Mai - 15. August	Besuch von Dr. Albena Paskaleva von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften
31. Mai	Führung durch das Technologiegebäude im Rahmen einer Ausbildungsexkursion der bei den staatlichen Bauämtern angestellten Baureferendare der Fachrichtung Maschinenwesen/Elektrotechnik
5. Juli	Sommerfest der Technischen Fakultät
9. Juli	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme (Organisation durch LEB) und Verleihung des Studienpreises Mechatronik der Firma Baumüller (Nürnberg)
14. Juli	Promotion Péter Bálint Meliorisz „Simulation of proximity printing/Simulation der Nahfeldbelichtung“

15. Juli	Schülerexkursion des Herder-Gymnasium Forchheim mit Reinraumführung
21. Juli	Lehrstuhlpräsentation für Studierende der EEI im 4. Semester
23.-24 Juli	Vorstellung des EcoCar-Projekts bei der Technikmeile Nürnberg
28. Juli	Betriebsausflug anlässlich des 25-jährigen Bestehens des LEB nach Pottenstein
2. August	Promotion Bernd Eckhardt „Gleichspannungswandler hoher Leistungsdichte im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen“
6. August	Promotion Michael Grieb „Charakterisierung von Metall-Oxid-Halbleiter-Strukturen auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von 4H-Siliciumcarbid“
6. August	Gemeinsames Grillfest der Lehrstühle im Gebäude Cauerstr. 6
6.-10. September	Praktikum Mädchen und Technik
29. September - 1. Oktober	Blockpraktikum „Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente“ am LEB für Studierende der FH Aschaffenburg
6. Oktober	Betriebsausflug des IISB und des LEB nach Bayreuth
3. November	Promotion Azinwi Fet „Work Function Engineering for Metal/High- ϵ Dielectric Gate Stack“
5. November	EEI-Kontaktmesse für Studierende im 1. Semester
3. Dezember	Promotion Christian Kampen „Evaluation of CMOS Architectures Below 50 nm Gate Length by Numerical Simulation/Untersuchung von CMOS-Architekturen mit Gateängen kleiner 50 nm mittels numerischer Simulation“
9. Dezember	Reinraumführung für Studenten aus Timisoara, Rumänien
16. Dezember	Promotion Daniel Kunder „3D Simulation of Sputter Etching with the Monte-Carlo Approach/3D Simulation des Zerstäubungsätzens mittels der Monte-Carlo-Methode“
10. Dezember	Kontaktvormittag mit Reinraum- und Laborführung für Studierende im 1. Semester
11. - 17. Dezember	9th Indo German Winter Academy (Roorkee, Indien)
16. Dezember	Gemeinsame Weihnachtsfeier von LEB und IISB

3.3 Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme

Wie in den vergangenen Jahren war der LEB wieder Organisator des Praktikums Mechatronische Systeme. Während des Praktikums erarbeiten und realisieren Studenten des Studiengangs Mechatronik in Gruppen mit 8 bis 10 Mitgliedern Lösungen für jährlich wechselnde mechatronische Aufgabenstellungen und durchlaufen dabei die typischen Phasen einer technischen Produktentwicklung, vom ersten Konzept über die Entwicklung funktionsfähiger Einzelkomponenten bis hin zum einsatzbereiten System. Neben der Möglichkeit, ihre theoretischen Kenntnisse in die Praxis umsetzen zu können, erwerben die Studenten weitere wichtige Qualifikationen, wie das Arbeiten in der Gruppe, selbständiges und verantwortungsvolles Handeln oder das Lösen von

Konflikten. Höhepunkt des Praktikums ist die Abschlussveranstaltung, an der die Studenten ihre Systeme vor Publikum präsentieren und deren Funktionstüchtigkeit nachweisen müssen. Das System, welches die Bewertungskriterien am besten erfüllt, wird anschließend prämiert. An dem Praktikum sind 12 Lehrstühle aus den Departments EEI und Maschinenbau beteiligt. Das Praktikum wurde im Jahr 2009 mit vier Gruppen und im Jahr 2010 mit sechs Gruppen durchgeführt.

Der LEB nahm 2009 nicht mit einer Studentengruppe am Wettbewerb teil und verzichtete damit auf die Chance, seinen Titel für das beste System zum dritten Mal in Folge verteidigen zu können. Im Jahr 2009 sollten Systeme entwickelt werden, die in der Lage sein sollen quaderförmige Bauteile mit unterschiedlichen Abmessungen einem Magazin zu entnehmen und diese zu einem möglichst hohen Turm zu stapeln. „Falsche“ Bausteine sollten anhand ihrer Farbe detektiert und aussortiert werden. Die Gruppe des Lehrstuhls für Sensorik (Abbildung 3.1) konnte 2009 mit ihrem System den ersten Platz erobern, der Publikumspreis wurde an die Gruppe des Lehrstuhls für Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik vergeben. Weitere betreuende Lehrstühle waren der Lehrstuhl für Zuverlässige Schaltungen und Systeme, der Lehrstuhl für Kunststofftechnik und der Lehrstuhl für Fertigungstechnologie.



Abb. 3.1: Die Gewinner der Abschlussveranstaltung des Praktikums Mechatronische Systeme, die Gruppe des LSE mit ihrem Robotersystem.

Die Aufgabenstellung für das Jahr 2010 beinhaltete die Entwicklung eines Münzzähl- und -sortierautomaten. Die mechatronischen Systeme mussten dabei Münzen, die als „Schüttgut“ dem System zugeführt wurden, sortieren und den Wert der enthaltenen Euro-Münzen korrekt anzeigen. Je nach Schwierigkeitsstufe waren in dem Münz-Schüttgut nur Euro-Münzen, Euro-Münzen gemischt mit Fremdwährungen oder zusätzlich münzähnliche Gegenstände enthalten. Abhängig von der Anzahl korrekt sortierter bzw. aussortierter Münzen wurden Punkte vergeben. Am Ende der Abschlussveranstaltung am 9. Juli 2010 im Waeber-Saal des IISB stand das System der Gruppe des Lehrstuhls für Zuverlässige Schaltungen und Systeme (LZS) als Sieger des Wettbewerbs mit den meisten erzielten Punkten fest. Für den LEB, der in diesem Jahr gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Kunststofftechnik eine Gruppe betreute, reichte es diesmal nicht für Platz eins, aber mit dem drittbesten System fürs „Trepchen“.

Weitere Informationen zum Praktikum Mechatronische Systeme finden sich auf der Internetseite

des Lehrstuhl unter der Rubrik „Lehre“.

3.4 Girls' Day

Am 23.04.2009 bzw. am 22.04.2010 fand der jährliche, bundesweite Girls' Day statt. Im gesamten Bundesgebiet bieten Firmen und Einrichtungen ein interessantes Programm für Schülerinnen an, um die Begeisterung für Technik und Naturwissenschaften zu wecken bzw. zu fördern.

Auch an der Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg wurde in beiden Jahren zu diesem Anlass vielfältige Mitmach-Projekte aus allen Departments geboten. Am LEB konnten sich die Teilnehmerinnen im Jahr 2009 über die Fertigungsbedingungen moderner Mikroelektronik informieren. In beiden Jahren lag die Organisation bei Jochen Kaiser in seiner Funktion als stellvertretender Frauenbeauftragter der Fakultät.

Weitere Informationen zum Girls' Day finden Sie unter der Internetadresse www.girls-day.de.

3.5 Praktikum Mädchen und Technik

Die Technische Fakultät hat sich zum Ziel gesetzt den Anteil weiblicher Studienanfänger bis 2012 auf 22% zu steigern. Ziel dieses Schnupperpraktikums ist es, durch das Angebot von besonders interessanten technischen Projekten aus verschiedenen Fachgebieten bei Schülerinnen der achten bis dreizehnten Jahrgangsstufe an Gymnasien das Interesse oder vielmehr die Begeisterung für naturwissenschaftliche und technische Fächer zu wecken und auf diesem Wege das Berufswahlspektrum in Richtung des technischen Bereichs zu erweitern. Das Praktikum findet stets in der letzten Sommerferienwoche an der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg statt und wird in Kooperation mit dem Department Physik der Naturwissenschaftlichen Fakultät und den beiden Erlanger Fraunhofer-Instituten IISB und IIS durchgeführt.

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente bot in den Jahren 2009 und 2010 in Kooperation mit dem Fraunhofer IISB insgesamt vier Versuche an. Die Themen waren „Untersuchung von Solarzellen“, „Reinraumführung – Wie sauber ist ‚reinst‘?“, „Der MOS-Transistor – Rechnen mit Elektronen“ und „Berührungslose Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera“.

Auf der Internetseite www.maedchen-technik.de finden Sie weiterführende Informationen zum Praktikum.

3.6 Erlanger Techniktage für die Bayerische Eliteakademie

Wie in den vorangegangenen Jahren war der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zusammen mit dem IISB auch in den Jahren 2009 und 2010 Partner für die Erlanger Techniktage der Bayerischen Eliteakademie. Die Techniktage bieten Studenten nichttechnischer Fachrichtungen wie Betriebswirtschaftslehre oder Jura die Möglichkeit, über Vorträge und vor allem eigene praktische Erfahrungen einen Eindruck von den Möglichkeiten sowie der volkswirtschaftlichen Bedeutung moderner Technologien zu bekommen, um diese Erfahrung in späteren Führungspositionen nutzen zu können. Am IISB und am LEB konnten sich rund 20 Studenten (Abbildung 3.2) der Bayerischen Eliteakademie sowie des Augsburger Elitestudiengangs „Finance & Information Management“ (FIM) am Abschlusstag der Veranstaltung einen Einblick in die Mikro- und

Nanoelektronik verschaffen. Neben Programmpunkten zur Prozess- und Bauelementesimulation sowie zur Leistungselektronik war ein Höhepunkt der Besuch im Reinraumlabor, in dem die Studenten unter fachmännischer Betreuung selbst einige Prozessschritte für die Herstellung von elektronischen Bauelementen durchführen konnten. Die Erlanger Techniktage fanden im Zeitraum vom 30. März bis 2. April 2009 sowie vom 21. – 24. März 2010 statt.



Abb. 3.2: Teilnehmer der Erlanger Techniktage im Reinraum des LEB

3.7 Ferienakademie Sarntal

Die Universitäten Erlangen, Stuttgart, sowie die TU München bieten jedes Jahr gemeinsam eine Ferienakademie im Sarntal in Südtirol an. Sie soll der Motivation und der Förderung begabter und interessierter Studierender dienen. Von den Teilnehmern wird bei der Vorbereitung und Durchführung der Kurse eine aktive Beteiligung erwartet. Jedes Jahr werden ca. 12 Kurse mit einem breitem Themenspektrum angeboten.

Im Jahr 2009 leitete Prof. Dr. Lothar Frey gemeinsam mit Prof. Dr. Jörg Schulze (Universität Stuttgart) den Kurs „Nanoelektronik: Von CMOS bis zu molekularen Schaltern“.

Die Besonderheit der Akademie liegt im ungezwungenen Rahmen. Die Kursteilnehmer und Dozenten wohnten fast zwei Wochen gemeinsam im Hotel „Rabensteiner Hof“ im Sarntal (Abbildung 3.3). Durch Referate und ausgiebige Diskussionen werden die Themengebiete intensiv bearbeitet. Daneben gibt es ein attraktives Rahmenprogramm mit mehreren Bergwanderungen, Tischtennisturnier, Ausflügen und weiteren Angeboten.

Informationen zur Ferienakademie sind zu finden unter der Adresse www.ferienakademie.de.



Abb. 3.3: Teilnehmer der Ferienakademie Sarntal

3.8 Exkursionen

Im Jahr 2009 fanden drei, im Jahr 2010 eine Lehrstuhlexkursionen statt, bei denen die Studierenden Einblicke in die vielfältigen Produktionsbereiche der Halbleiterbranche Einblick gewinnen konnten.

3.8.1 WS 2008/09 - Bosch Automotive Electronics, Reutlingen

Am 19. Januar 2009 besuchte der Lehrstuhl die Firma Bosch im Reutlingen. Am dortigen Standort fertigt und entwickelt Bosch im Bereich „Automotive Electronics“. Fachvorträge zu verschiedenen Themen aus der Forschung und Produktion in einem kompetitiven Markt (z.B. Mixed-Signal-Schaltungen, Testverfahren) wurden durch Informationen zu Einstiegsmöglichkeiten bei Bosch ergänzt. Daran anschließend folgte eine Reinraumtour für die 25 Exkursionsteilnehmer (Abbildung 3.4).



Abb. 3.4: Teilnehmer der Exkursion zu Bosch in Reutlingen im Januar 2009

3.8.2 SS 2009 - OSRAM Opto Semiconductors, Regensburg

Am 6. Juli 2009 fand die Sommer-Exkursion des Lehrstuhls statt, die die teilnehmenden Studentinnen und Studenten zu OSRAM führte - einem Unternehmen mit über 100-jähriger Geschichte. Die Tochtergesellschaft OSRAM Opto Semiconductors produziert am Standort Regensburg Leuchten mit LED-Technik, die u.a. in Kraftfahrzeugscheinwerfern oder Straßenlaternen (z.B. in der Regensburger Altstadt) eingesetzt werden. Außerdem werden dort in einer der modernsten Opto Chip-Fertigungen der Welt Infrarot- und Laserdioden sowie „intelligente“ Displays hergestellt. Nach einer ausführlichen Vorstellung des Unternehmens machten die Exkursionsteilnehmer einen Rundgang über das ausgedehnte Werksgelände und durften abschließend die Chip-Fertigung im Reinraum über die Besuchergänge besichtigen (Abbildung 3.5).



Abb. 3.5: Teilnehmer der Exkursion zu Osram in Regensburg im Juli 2009

3.8.3 WS 2009/10 - Solar World und Freiberg Compound Materials, Freiberg

Die dritte Exkursion des Jahres führte am 7. Dezember 2009 17 Studierende nach Freiberg in Sachsen zu den Firmen Scheuten SolarWorld Solicium (ehemals Deutsche Solar) und Freiberg Compound Materials (FCM).

SolarWorld gehört zu den wenigen Anbietern im Bereich der Solarmodulherstellung, die den gesamten Produktionsprozess unter einem Dach vereinen. Angefangen bei der Herstellung vom Rohsilicium, über das Sägen der Scheiben bis hin zur Montage ganzer Module können alle Produktionsschritte in Freiberg durchgeführt werden. In einem Fachvortrag über Produktion von Solarmodulen wurden die enormen technischen Fortschritte im Herstellungsverfahren dargestellt. In der anschließenden Führung durch den Reinraum (Klasse 100.000) und die Fertigungshallen war besonders beeindruckend, welche Bedeutung die Automatisierung in der Photovoltaikindustrie mittlerweile hat, um kostengünstige aber dennoch qualitativ hochwertige Solarmodule zu produzieren. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist die Möglichkeit des Recyclings ganzer Solaranlagen wichtig. SolarWorld kann nach eigenen Angaben fast alle Teile eines Solarmoduls wiederverwenden, abgesehen von den verwendeten Polymerfolien. Beispielsweise wurde 2009 der älteste Solarpark Belgiens in Chevetogne (aufgebaut 1983) in Freiberg recycelt, dabei wurden über 2000 Solarmodule der Wiederverwendung zugeführt.

Nach dem Mittagessen in der Werkskantine und einem Besuch des Freiburger Weihnachtsmarkts folgte die eineinhalbstündige Besichtigung der Firma FCM. Dort werden Galliumarsenid-Scheiben hergestellt, die u.a. für schnelle, rauscharme Schaltungen in Handys und Kraftfahrzeugen verwendet werden. Während im Bereich der Siliciumproduktion bereits Scheiben mit 450 mm Durchmesser hergestellt werden können, ist die Scheibengröße bei GaAs auf 150 mm im produktiven Verfahren begrenzt. Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich aus der Tatsache, dass Arsen beim Erwärmen nicht schmilzt sondern direkt in die gasförmige Phase übergeht (Sublimation), so dass die Tiegelziehverfahren sich erheblich von den Standardverfahren der Siliciumtechnologie unterscheiden. Nach einem ausführlichen und interessanten Vortrag folgte eine Führung durch die Produktionsanlagen, wo die Kristallisationsöfen und die Analytiklabore besichtigt werden konnten.

3.8.4 SS 2010 - Infineon, Regensburg

Im Sommersemester 2010 war wieder einmal Regensburg das Ziel der Exkursion. Diesmal besuchten 20 Studenten (Abbildung 3.6) die Firma Infineon Technologies AG am 21. Juni 2010. Auf dem Firmengelände in Regensburg befindet sich die Frontend-Produktion u.a. für leistungselektronische und CMOS-Anwendungen, und eine Forschungs- und Entwicklungsabteilung.

Nach einer ausführlichen Einführung in die Unternehmensgeschichte und die Produktion vor Ort folgte eine Führung durch das weitläufige Firmengelände. Infineon produziert parallel in mehreren Reinräumen aus verschiedenen Bauzeiten. In diesem Zusammenhang war insbesondere die automatisierte Überwachung der Produktion und Logistik durch ein modernes funkgesteuertes Schienensystem interessant.



Abb. 3.6: Teilnehmer der Exkursion zu Infineon in Regensburg im Juni 2010, Foto: Infineon Regensburg

3.9 Indo-German Winter Academy

Die Winterakademie bietet indischen und deutschen Studierenden die Gelegenheit außergewöhnliche Einblicke in aktuelle Technologien zu bekommen. Ziel ist es talentierte Studierende der führenden technischen Hochschulen Indiens und der Universität Erlangen-Nürnberg für die Erforschung naturwissenschaftlicher und technischer Probleme zu motivieren. Der Schwerpunkt der Winterakademie liegt auf Bereichen mit hoher Relevanz für Industrie und Forschung: „Fluid Flow, Heat Transfer, and Energy Conversion“, „High Performance Computing for Engineering Problems“ und „Semiconductor Processes, Devices and Systems“.

Studierende natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fächer im 5. bis 9. Semester und Doktoranden des LEB und der Indischen Technischen Hochschulen (IIT Bombay, IIT Delhi, IIT Guwahati, IIT Kanpur, IIT Kharagpur, IIT Madras und IIT Roorkee) und der Universität Erlangen-Nürnberg können sich um einen der Plätze an der Winterakademie bewerben. Jeder Teilnehmer bereitet einen Vortrag zu einem spezifischen Thema innerhalb des gewählten Kurses vor. Darauf aufbauend diskutieren die Studierenden und die betreuenden Hochschullehrer in entspannter Atmosphäre über zugrunde liegende theoretische Konzepte bis hin zu technischen Anwendungsmöglichkeiten.

Durch die Unterstützung von Industriepartnern und anderen Organisationen konnten die Kosten der Teilnehmer für Verpflegung, Unterbringung und Anreise von den Veranstaltern übernommen werden.

3.9.1 8. Indo-German Winter Academy 2009 am IIT Roorkee

Die „Indo-German Winter Academy“ 2009 der Indian Institutes of Technology (IIT) und der Universität Erlangen-Nürnberg fand vom 13. bis 19. Dezember 2009 am IIT Roorkee statt.

Die Studentin Marion Baudelot der Universität Erlangen nahm 2009 an der Winterakademie teil und berichtet von ihren Erlebnissen:

„Indien! Bollywoodfilme können nicht im geringsten die wahren Facetten dieses Landes widerspiegeln. Der erste Eindruck, den man bekommt, sobald man Fuß auf indischen Boden setzt, ist, dass es in diesem Land offenbar keine Gesetze zur Lärm- oder Schadstoffbegrenzung gibt und dass bei indischen Autos die Hupe wohl das Element ist, das am regelmäßigsten aufgrund hohen Verschleisses ausgetauscht werden muss. Nach einem interessanten Ausflugstag durch Delhi, bei dem wir uns ein Bild über das Wort Bevölkerungsreichtum machen konnten, ging es weiter nach Roorkee, wo uns, nach einer Fahrt voller Kuriositäten entlang eines wunderschönen Kanals, die willkommene Stille und Ruhe des Campus in Empfang nahm. Mit der bekannten indischen Gastfreundlichkeit, die in Reiseführern keineswegs übertrieben dargestellt wird, wurden wir zunächst kulinarisch versorgt und dann über den Campus geführt. Es ist mir etwas unangenehm an dieser Stelle zugeben zu müssen, dass das indische Essen die schönste Erinnerung der ganzen Akademie für mich ist. Jeder der jedoch in dessen Genuss gekommen ist, wird mir, glaube ich, zustimmen müssen. Nach einem Einführungstag begannen am Tag darauf die Vorträge. Hier stieß jedoch mancher von uns auf eine indische Herausforderung: indisches Englisch - schnell und eine Sprache für sich. Nach ungefähr zwei Tagen war allerdings die Sprachbarriere mehr oder weniger, abhängig vom Redner, überwunden. Die Vorträge waren vielfältig, gut ausgearbeitet und interessant. Eine willkommene Abwechslung zum normalen Unialltag. Für den fünften Tag wurde ein Ausflug organisiert zu zwei heiligen Stätten entlang des Ganges am

Fuße des Himalayas. Kurz vor der Rückreise nach Deutschland erkrankten bedauerlicherweise drei von uns, doch auch diese Hürde wurde von dem schwachen Trio mit Cola und Bravur gemeistert, so dass wir nach aufregenden, informativen und abwechslungsreichen acht Tagen den Weg Richtung Heimat antreten konnten, leider auch hier nicht ohne Hindernisse, da das Anschlussflugzeug in München partout nicht auf uns warten wollte und unverschämterweise ohne uns abflog. Trotz allem war die indo-germanische Winterakademie eine Erfahrung, die ich jedem, der mit dem Gedanken spielt im nächsten Jahr mitzufahren, wärmstens empfehle.“

3.9.2 9. Indo-German Winter Academy 2010 am IIT Bombay

Die „Indo-German Winter Academy“ 2010 der Indian Institutes of Technology (IIT) und der Universität Erlangen-Nürnberg fand vom 11. bis 17. Dezember 2010 in Pune, Indien statt (Abbildung 3.7).



Abb. 3.7: Teilnehmer der Indo-German Winter Academy 2010

Der Student Maximilian Rumler der Universität Erlangen nahm 2010 an der Winterakademie teil und berichtet von seinen Erlebnissen:

„Am 10. Dezember machte sich eine siebenköpfige Reisegruppe aus Erlangen auf den Weg ins ferne Indien zur neunten Auflage der Indo-German-Winter Academy.

Was würde uns dort erwarten? Tropische Hitze, scharfe Speisen und die Begegnung mit einer völlig fremden Kultur? Bevor wir eine Antwort auf diese Fragen bekommen sollten, mussten wir uns allerdings durch die Schneemassen des deutschen Winters zum Flughafen von Nürnberg kämpfen. Die extreme Wetterlage brachte manch einem Studenten sogar die seltene Ehre ein von Prof. Ryssel persönlich chauffiert zu werden. Jegliche Eile auf dem Weg zum Flughafen erwies sich jedoch als unnötig, da unsere Maschine nach Zürich erst nach einer doppelten Enteisungsprozedur und mit einer zweistündigen Verspätung abheben konnte. Dort angekommen wurden wir wie VIPs von einem Mitarbeiter der Airline in Empfang genommen,

der uns im Expresstempo durch die Formalitäten schleuste und uns schließlich noch rechtzeitig zum Flugzeug nach Mumbai brachte.

Dort angekommen bemerkten wir zuerst den wohligen Unterschied zwischen dem winterlichen Klima in Mitteleuropa und einem typischen Dezember in Indien. Die Temperatur in Mumbai lag bei unserer Ankunft um kurz nach 23 Uhr bei ca. 26 Grad Celsius. Nachdem wir den Flughafen verlassen hatten, brachen wir, auf zwei Jeeps verteilt, auf nach Pune, dem eigentlichen Ziel unserer Reise. Im Rahmen dieser Autofahrt hatten wir die Gelegenheit uns mit einigen Grundregeln des indischen Autoverkehrs vertraut zu machen.

So werden Ampeln dort eher als unverbindliche Empfehlung betrachtet und im Zweifelsfall hat derjenige Fahrer Recht, dessen Hupe lauter erschallt als die der Konkurrenz. Was das Überholen langsamerer Fahrzeuge angeht, so geschieht das dort, wo eben gerade Platz ist, zur Not auch auf dem Grünstreifen neben der eigentlichen Straße. Nach vierstündigen Fahrt erreichten wir Pune, das neben seinen ca. 3 Millionen Einwohner für die nächsten 7 Tage auch unsere Gruppe beherbergen würde. Unser Hotel befand sich auf dem Campus des YASHADA-Instituts, in dem auch die Veranstaltungen der Winter Academy stattfinden sollten.

Die Academy begann am Abend des nächsten Tages mit einer Eröffnungsveranstaltung, auf der wir zum ersten Mal die Gelegenheit hatten, mit unseren indischen Kommilitonen in Kontakt zu treten. Das erste Eis war schnell gebrochen, schließlich hatten wir einander viel zu erzählen. Unsere Berichte über das herrschende Wetter in Deutschland sorgten dabei oftmals für Erstaunen, schließlich waren einige unsere indischen Freunde noch nie mit Schnee in Berührung gekommen.

Am nächsten Tag wurden die Teilnehmer zum ersten Mal auf die drei Kurse der Academy aufgeteilt und nach einem einleitenden Vortrag des jeweiligen Professors brachten die ersten Studenten ihre Präsentationen zu Gehör. Die Vorträge der Studenten waren meist gut vorbereitet und informativ, so dass jeder der Teilnehmer sein Wissen um etliche interessante Aspekte bereichern konnte.

Neben den Vorträgen standen auch zwei Ausflüge auf dem Programm der Winter Academy 2010. Zunächst hatten wir die Gelegenheit, eine Produktionsstätte von TATA Motors, dem größten indischen Automobilhersteller, zu besichtigen. Wir wurden durch die Produktionshallen geführt und hatten außerdem die Gelegenheit, im Gespräch mit einem Mitarbeiter weitere Informationen über das Unternehmen zu bekommen. Der zweite Ausflug führte uns nach Sinhagad, einer alten Festungsanlage, die ungefähr 30 Kilometer von Pune entfernt ist. Das alte Fort befindet sich auf dem Gipfel eines hohen Berges, den wir nach einer abenteuerlichen Fahrt in mehreren Jeeps erreichten.

Am letzten Tag der Winter Academy hatten wir zudem noch die einmalige Gelegenheit, unter der kundigen Führung einiger indischer Kommilitonen die Stadt Pune etwas genauer kennenzulernen. So besuchten wir etwa die Überreste eines alten Palastes und hatten Gelegenheit, einen der berühmten indischen Tempel zu betreten. Dieser Ausflug war für die deutschen Studenten mit Sicherheit der Höhepunkt unserer Reise nach Indien. Der Abend gipfelte dann in einem gemeinsamen Essen mit unseren neuen indischen Freunden, bei dem wir uns einmal mehr von den Köstlichkeiten der indischen Küche verwöhnen lassen konnten.

Am nächsten Tag mussten wir nach der Schlusszeremonie leider Abschied von den indischen Studenten und der Winter Academy 2010 nehmen. Und nach einer anstrengenden und durch weiteren Schnee in Europa verzögerten Heimreise standen wir schließlich am Samstag, den 18.

Dezember, wieder auf dem Flughafen in Nürnberg, auf dem 10 Tage zuvor Alles begonnen hatte.

Ich denke, ich kann für alle Teilnehmer der Winter Academy sprechen, wenn ich jedem deutschen Studenten die Teilnahme im Jahr 2011 empfehle. Es wird eine Erfahrung sein, die ihr nicht so schnell vergessen werdet.“

3.10 Besuch von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften am LEB

Seit dem Jahre 2002 ist Frau Dr. Albena Paskaleva vom „Georgi Nadjakov Institute of Solid State Physics“ der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften ein regelmäßiger und gern gesehener Gast am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB). Aus ihrem ersten, einjährigen Aufenthalt am LEB als Humboldt-Stipendiatin hat sich eine enge Kooperation auf dem Gebiet elektrischer Leitungsmechanismen in Isolatorschichten mit hoher Dielektrizitätskonstante entwickelt.

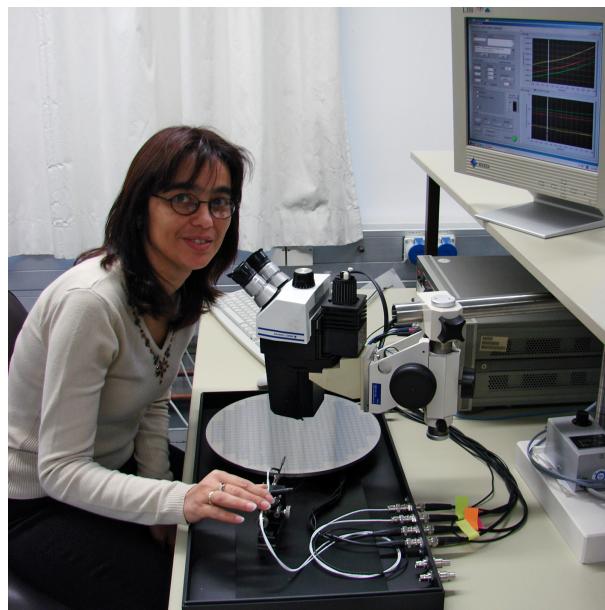


Abb. 3.8: *Dr. Albena Paskaleva im Analytiklabor des LEB bei der elektrischen Charakterisierung von zirkoniumbasierten Isolatorschichten für DRAM-Speicherzellen*

So forschte Frau Dr. Paskaleva (Abbildung 3.8) auch bei ihrem dreiwöchigen Besuch vom 6. bis zum 30. Oktober 2009 auf diesem Themengebiet. Hierzu untersuchte sie dünnste Schichten aus mit Aluminium und Silicium dotiertem Zirkoniumdioxid. Anhand elektrischer Messungen analysierte Frau Dr. Paskaleva die Auswirkungen unterschiedlicher Prozessparameter bei der Herstellung der Isolatorschichten mittels des Verfahrens der Atomlagenabscheidung (Atomic Layer Deposition, ALD). Die untersuchten Schichten sollen in zukünftigen DRAM-Speicherzellen Anwendung finden.

3.11 Auszeichnungen

3.11.1 GMM-Award für Professor Heiner Ryssel

Am 28. September 2010 wurde anlässlich des VDE/ZVEI-Symposiums der GMM-Award an Prof. Dr. Heiner Ryssel, ehemaliger Leiter des Fraunhofer IISB und des LEB, verliehen. Der GMM-Award ist die höchste Auszeichnung, die von VDE/VDI-Fachgesellschaft für Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM) vergeben wird. Die Verleihung findet alle drei Jahre an herausragende Persönlichkeiten aus dem Bereich der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik statt. Prof. Ryssel erhält die Auszeichnung für seine umfangreichen Verdienste und sein langjähriges Engagement für die GMM.

3.11.2 Auszeichnung für beste Prüfungsleistung an Jonas Strobelt

Zum wiederholten Male wurde ein Auszubildender im Beruf „Mikrotechnologe/Mikrotechnologin“ als „Bayerischer Meister“ aufgrund hervorragender Prüfungsleistungen ausgezeichnet. Am 29. Oktober 2010 erhielt Jonas Strobelt die Urkunde vom Präsidenten der Industrie- und Handelskammer Nürnberg, Dirk von Vopelius, bei einer Feierstunde an der IHK Akademie Mittelfranken.

Der Ausbildung zum „Mikrotechnologen“ bzw. zur „Mikrotechnologin“ wird bereits seit 1999 erfolgreich in Kooperation mit dem Fraunhofer IISB durchgeführt (siehe Abschnitt 4.3).

4 Lehre und Ausbildung

Die Veranstaltungen des LEB geben einen umfassenden Überblick über Physik und Technologie der Halbleiterbauelemente. Aufgrund des Bologna-Prozesses wurde zum Beginn des Wintersemesters 2007/2008 an der Technischen Fakultät die bisherigen Diplomstudiengänge durch Bachelor- und Masterstudiengänge ersetzt. Daher werden derzeit Studenten im Hauptstudium in den auslaufenden Diplomstudiengängen parallel zu Bachelor- und später auch Masterstudenten ausgebildet.

4.1 Angebotene Lehrveranstaltungen

Der Lehrstuhlinhaber Prof. Frey, Prof. Stoisiak und die Lehrbeauftragten bieten insgesamt 16 verschiedene Vorlesungen an. Dazu kommen zwei Angebote bei der Virtuellen Hochschule Bayern (siehe Abschnitt auf Seite 4.1.4). Ergänzt werden diese Lehrveranstaltungen durch Übungen, zwei Seminare und drei Laborpraktika. In den Jahren 2009 und 2010 wurden zwei neue Praktika angeboten („Mikroelektronik“ und „Reinraumpraktikum“) sowie eine neue Vorlesung („Reinraumtechnik“).

Das Lehrangebot richtet sich in erster Linie an Studierende der EEI (Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik), Mechatronik und Nanotechnologie. Aber auch Studierende anderer Fachrichtungen wie z.B. Materialwissenschaften und Molecular Science können Fächer aus dem Angebot des LEB wählen.

Ausführliche Informationen zu den Lehrveranstaltungen finden Sie auf der Webseite des LEB unter „Lehre“.

4.1.1 Vorlesungen

Vorlesungen von Prof. Frey

Die **Vorlesung Halbleiterbauelemente** ist der Einstieg in die moderne Mikroelektronik. Angefangen bei Bewegungsgleichungen für Ladungsträger im Vakuum bis hin zu wesentlichen Aspekten der Festkörperphysik (u.a. Bändermodell) wird den Studierenden in Vorlesung und Übung das notwendige Grundlagenwissen für das Verständnis von modernen Halbleiterbauelementen vermittelt. Daraus abgeleitet werden die wichtigsten Bauelemente, d.h. pn-Dioden, Bipolar- und Feldeffekttransistoren, detailliert dargestellt. Einführungen in die wesentlichen Grundlagen von Leistungsbaulementen und optoelektronischen Bauelementen runden die Vorlesung ab.

Einen detaillierten Einblick in die Technologieschritte und Geräte zur Herstellung von elektronischen Silicium-Bauelementen gibt die Lehrveranstaltung **Technologie integrierter Schaltungen**. Nach einer Darstellung von Kristallzucht, Reinraum und Reinigung werden die Prozessschritte Oxidation, Diffusion, Ionenimplantation, sowie chemische und physikalische Schichtabscheidung behandelt. Es folgt ein Überblick über die Lithographie, Ätztechnik und das chemisch-mechanische Polieren.

Darauf aufbauend werden in der Lehrveranstaltung **Prozessintegration und Bauelementarchitekturen** die physikalischen Anforderungen an integrierte Bauelemente und deren

Umgebung definiert und Lösungsansätze anhand von Prozessabfolgen vorgestellt. Insbesondere wird dabei dargelegt, wie durch die stetige Verkleinerung der Strukturen neue prozesstechnische Verfahren zur Einhaltung der an die Technologie gestellten Forderungen notwendig werden. Neben der CMOS- und BiCMOS-Technologie werden Verfahren zur Herstellung von statischen und dynamischen Speichern erläutert, sowie kurz auf den Aufbau von Leistungsbau-elementen eingegangen. Die Metallisierung, die Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Aspekte zur Ausbeute und Zuverlässigkeit von Bauelementen werden im Anschluss behandelt.

Gemeinsam mit den Lehrstühlen für Fertigungstechnologie (LFT) und für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) wird die interdisziplinäre Vorlesung **Produktion in der Elektrotechnik** angeboten. Gegenstand der Lehrveranstaltung sind Geräte und Verfahren, die in der Produktion von elektronischen Bauelementen und -gruppen zum Einsatz kommen. Von der Halbleitertechnologie über die Aufbautechnik bis zur Bestückung von Schaltungsträgern werden dabei in erster Linie fertigungs- und gerätetechnische Aspekte dargestellt und mechatronische Ansätze zur Bewältigung der Anforderungen diskutiert.

Mit der Charakterisierung von Halbleitern und Halbleiterbauelementen beschäftigt sich die Lehrveranstaltung **Halbleiter- und Bauelementemesstechnik**. Es werden die wichtigsten Messverfahren zur Charakterisierung von Widerständen, Dioden, Bipolartransistoren sowie MOS-Kondensatoren und Feldeffekttransistoren erläutert. Im Bereich der Halbleitermesstechnik bilden die Messung von Dotierungs- und Fremdatomkonzentration sowie die Messung geometrischer Dimensionen (Schichtdicken, Linienbreiten) den Schwerpunkt.

In der Vorlesung **Nanoelektronik** wird aufgezeigt, wie durch die Verbesserung der Architektur und die Integration neuer Materialien die Leistungsfähigkeit kleinster Bauelemente gesteigert werden kann. Für nichtflüchtige Speicherzellen wird neben dem aktuellen Entwicklungsstand ein systematischer Überblick über Forschungsarbeiten zu neuen Konzepten präsentiert, die Lösungen für die weitere Erhöhung der Datendichte in Speicherkarten oder USB-Sticks versprechen. Aufbauend auf dem aktuellen Entwicklungsstand werden die momentan diskutierten Ansätze für eine weitere Steigerung der Integrationsdichte besprochen und durch eine abschließende Betrachtung grundlegender physikalischer Grenzen für die Skalierung von Schalt- und Speicherfunktionen abgerundet. Themen sind dabei die spinbasierte Elektronik, Quanteneffekt-Bauelemente, wie Resonanz-Tunneldioden oder Einzelelektronentransistoren, und Bauelemente basierend auf Nanoröhrchen.

Vorlesungen von Prof. Stoisiek

In nahezu allen Feldern der Elektrotechnik, von der Energieerzeugungs- und Übertragungstechnik über die Kfz- und Industrieelektronik bis hin zu Geräten der Konsumelektronik und Datentechnik, kommen heute leistungselektronische Systeme zum Einsatz. Die Vorlesung **Leistungshalbleiterbauelemente** behandelt die Grundlagen zum Verständnis dieser Bauelemente sowie die unterschiedlichen technischen Realisierungsformen. Ausgehend von einer detaillierten Darstellung der für alle Leistungshalbleiterbauelemente maßgeblichen bauelementphysikalischen Grundphänomene werden Grundprinzip, technische Ausgestaltung, Herstellungsverfahren und typische Leistungsdaten der wichtigsten Bauelementklassen behandelt. Neben der Diskussion der „klassischen“ Leistungshalbleiterbauelemente Hochspannungsdiode, Thyristor, GTO und Bipolarer Leistungstransistor wird ausführlich auf moderne MOS-gesteuerte Leistungshalbleiterbauelemente, wie Leistungs-MOSFETs und IGBTs, eingegangen. Aktuelle Entwicklungstrends werden diskutiert.

Auf Smart-Power-ICs, das sind monolithisch integrierte Schaltkreise, bei denen zusammen mit informationsverarbeitenden Schaltungen auch leistungselektronische Schaltungen auf einem Chip integriert sind, geht dann die Vorlesung **Smart-Power-Technologies** ausführlich ein. Die Vorlesung gibt eine umfassende Darstellung der heute üblichen Smart-Power-Produkte und der Technologien zu ihrer Herstellung. Die bauelementphysikalischen Grundprinzipien integrierbarer Leistungsbauelemente werden behandelt sowie die Isolationstechniken, mit denen unterschiedliche Bauelemente und Schaltungsteile auf einem Chip voneinander isoliert werden. Zentraler Gegenstand der Vorlesung ist die Behandlung der unterschiedlichen Prozessarchitekturen zur Herstellung von Smart-Power-Produkten. Darüber hinaus werden spezielle Probleme von Smart-Power-ICs, insbesondere thermische Aspekte, Gehäusefragen sowie typische Bauelementbeanspruchungen in integrierten leistungselektronischen Schaltungen behandelt.

Die Vorlesung **Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente** gibt eine vertiefende Darstellung der festkörperphysikalischen Grundlagen zum Verständnis der Funktion der Halbleiterbauelemente. Sie ist als Ergänzung zu den Vorlesungen „Halbleiterbauelemente“ und „Leistungshalbleiterbauelemente“ gedacht. Die Vorlesung beginnt mit einer Behandlung der bestimmenden Effekte für die Dichte der freien Ladungsträger im Halbleitermaterial. Anschließend werden der Stromfluss unter Einfluss eines äußeren elektrischen Feldes sowie mit hohen elektrischen Feldstärken verbundene Phänomene diskutiert. Die Halbleiter-Grundgleichungen, die für eine numerische Beschreibung des elektrischen Verhaltens komplexer Bauelementestrukturen notwendig sind, werden abgeleitet. Die Vorlesung schließt ab mit der Darstellung der elementaren Konstruktionselemente aller Halbleiterbauelemente, dem pn-Übergang, der Schottky-Barriere sowie dem MOS-Kondensator.

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses für integrierte oder mit diskreten Bauelementen aufgebaute Schaltungen wird das elektrische Verhalten vor ihrer Realisierung üblicherweise durch eine Schaltkreissimulation vorausberechnet und optimiert. Die Vorlesung **Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation** befasst sich mit den dafür notwendigen Bauelementmodellen (Kompaktmodelle), die alle in der jeweiligen Schaltung vorkommenden Halbleiterbauelemente beschreiben. Neben den seit langer Zeit eingeführten Modellen für Bipolartransistoren und MOS-Transistoren werden heute weiterentwickelte Modelle verwendet, die einerseits immer komplexere „Sonderbauelemente“, wie z. B. bipolare Leistungshalbleiter, und andererseits immer detailliertere Betriebszustände der Bauelemente realistisch simulieren lassen. Gegenstand der Vorlesung ist die Darstellung der heute verwendeten Kompaktmodelle. Es wird insbesondere auf den Zusammenhang mit den physikalischen Grundvorstellungen über das Bauelementverhalten eingegangen.

Vorlesungen von Hochschullehrern und Lehrbeauftragten

In der Vorlesung **Reinraumtechnik** sollen die Grundlagen der Reinraumtechnik in den Gebieten Mikro- und Nanotechnologie, Medizin, Pharmazie und Biologie behandelt werden. Die Lehrveranstaltung wird in Zusammenarbeit von vier Lehrstühlen der Technischen Fakultät angeboten, der erste Teil der Lehrveranstaltung wird von **Prof. Ryssel** gelesen. Ausgehend von der geschichtlichen Entwicklung werden Reinraumklassen- und -struktur, Filter- und Klimaanlage, Kontamination und deren Vermeidung, regelgerechtes Verhalten im Reinraum einschließlich Bekleidungsnormen sowie Fragen zur Sicherheit und Wirtschaftlichkeit betrachtet. In den weiteren Teilen der Vorlesung werden die Strömungsmechanik im Reinraum, Maschinen und reinraumgerechte Materialien sowie Filtertechnologie und Partikelmesstechnik näher beleuchtet.

Wirtschaftlicher Erfolg beim Einsatz von elektronischen Bauelementen hängt unter anderem von deren Lebensdauer ab. Ein wichtiger Aspekt in der Mikroelektronik ist also die Zuverlässigkeit. Die Vorlesung **Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen** von **PD Dr. Peter Pichler** bietet neben einer Einführung in die mathematische Beschreibung von Zuverlässigkeitsbetrachtungen eine Diskussion der relevanten Ausfallmechanismen von elektronischen Bauelementen und eine Übersicht über die Fehleranalyse an ausgefallenen Bauelementen.

In der Halbleitertechnologie wird eine Vielzahl von Prozess-Schritten zur Herstellung der Bauelemente verwendet. Aufgabe der Prozess-Simulation ist die Voraussage vor allem der Geometrien und Dotierungsverteilungen dieser Bauelemente, woraus dann mit Hilfe der Bauelementesimulation die elektrischen Eigenschaften abgeleitet werden können. In der Vorlesung **Prozess- und Bauelementesimulation** von **Dr. Jürgen Lorentz** werden die zur Beschreibung der einzelnen Prozessschritte verwendeten physikalischen Modelle dargestellt, wobei sowohl auf die historische Entwicklung als auch auf den aktuellen Stand der Forschung eingegangen wird. Zur Auswertung dieser Modelle in ein- und mehrdimensionalen Simulationsprogrammen benötigte Algorithmen werden zusammengefasst. Anhand von Anwendungsbeispielen werden spezielle technologische Effekte und ihre Beschreibung durch Simulationsmodelle diskutiert. Des Weiteren werden die Grundlagen der Bauelementesimulation dargestellt. Die Vorlesung schließt mit einer Bestandsaufnahme der in der Industrie verbreitetsten Prozess-Simulationsprogramme sowie einem Ausblick auf die weitere Entwicklung des Gebiets und seiner Anwendungen.

Die Vorlesung **Halbleiterfertigungsgeräten** von **Hon.-Prof. Dr. Lothar Pfitzner** befasst sich mit der fertigungstechnischen Integration von Halbleiterfertigungsgeräten, der Reinraum-Infrastruktur und mit Materialien für die Halbleiterherstellung. Es werden Geräte zur Scheibenherstellung, Anlagen zur Reinigung, Oxidation, Diffusion, Implantation, Niederdruckabscheidung, Strukturübertragung und Strukturierung, für Plasmaprozesse sowie zur Messtechnik und Qualitätskontrolle behandelt. Außerdem wird auf Maschinen- und Anlagenkonzepte, Scheibenhandhabung, Wafertrack-Anlagen, Partikelmesstechnik, Fertigungstechnik im Reinraum sowie Reinraumtechnik und Infrastruktur eingegangen.

Leistungselektronik ist aus modernen Kraftfahrzeugen nicht mehr wegzudenken. Die Vorlesung **Automobilelektronik - Leistungselektronik** von **Dr. Martin März** befasst sich mit den Anforderungen an Leistungsbauelemente im Automobilbereich. Ausgehend von den spezifischen Eigenschaften des KFZ-Bordnetzes werden die elektrischen Anforderungen an Elektronik in Kraftfahrzeugen definiert. Für den Betrieb vieler einfacher Lasten haben sich geschützte integrierte Leistungsschalter („Smart-Power“-Schalter) weitgehend durchgesetzt. Die Grundfunktionen dieser Schalter und ihre anwendungsrelevanten elektrischen und thermischen Eigenschaften werden ausführlich erläutert, begleitet von einer Vielzahl an Applikationsbeispielen. Leistungselektronik ist in Kraftfahrzeugen nicht selten hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, zugleich muss sie hohe Zuverlässigkeitsanforderungen zu möglichst geringen Kosten erfüllen. Vor diesem Hintergrund kommt dem Themenkomplex der Aufbau- und Entwärmungstechniken, bzw. dem thermischen Management, eine zentrale Bedeutung zu. Die entsprechenden Grundlagen werden vermittelt – abgerundet durch einen Einblick in die wesentlichen Ausfallmechanismen von Bauelementen unter hoher thermischer Belastung. Der letzte Abschnitt der Vorlesung ist dem Thema Hybridfahrzeuge gewidmet. Besprochen werden die unterschiedlichen Fahrzeug- bzw. Bordnetzkonzepte sowie die dafür erforderlichen leistungselektronischen Fahrzeugkomponenten.

In der Vorlesung **Optische Lithographie: Technologie, Physikalische Effekte und Modellierung** von **PD Dr. Andreas Erdmann** wird ein detaillierter Überblick über lithographische Fertigungsprozesse in der Halbleiterherstellung und für alternative Anwendungen gegeben. Die überwiegende Mehrheit moderner elektronischer Speicher- und Logikbauelemente wird mit Hilfe der optischen Projektionslithographie hergestellt. Mit Hilfe verschiedener Techniken, wie optischer Proximitykorrektur, Phasenschiebmasken, spezieller Beleuchtungsgeometrien, chemisch verstärkter Photolacke und Immersionsverfahren lassen sich mit Licht mit einer Wellenlänge von 193 nm Strukturen im Bereich von 45 nm herstellen. Die Vorlesung diskutiert die Vor- und Nachteile bzw. die Grenzen verschiedener lithographischer Verfahren. Wichtige Komponenten lithographischer Systeme wie Masken, Projektionsoptiken und Photolacke werden im Detail beschrieben. Physikalische Effekte, wie die Lichtbeugung an kleinen Strukturen auf lithographischen Masken, die Bildentstehung in Systemen mit großer numerischer Apertur und gekoppelte Kinetik- und Diffusionsprozesse in chemisch verstärkten Lacken werden im Detail analysiert. Eine Einführung in die Lithographiesimulation rundet die Lehrveranstaltung ab.

Die Lehrveranstaltung **Einführung in die gedruckte Elektronik** von **PD Dr. Klaus Schmidt** und **Dr. Michael Jank** beschäftigt sich mit der Idee, elektronische Schaltungen ähnlich wie die tägliche Zeitung zu drucken. Zur Erreichung dieses Zieles ist allerdings eine intensive Zusammenarbeit unterschiedlichster Fachgebiete notwendig. So müssen z.B. in der Chemie, Physik und Materialwissenschaft neue Materialien mit bestimmten elektronischen und drucktechnischen Eigenschaften entwickelt werden. Es müssen neue Formulierungen erstellt und Druckprozesse identifiziert und angepasst werden. Schließlich ist ein Verständnis der physikalischen Eigenschaften der gedruckten Schichten notwendig, damit die Elektrotechnik angepasste Designs und Simulationsmodelle zur Verfügung stellen kann. Erst wenn all diese Puzzlestücke nahtlos ineinander greifen, wird gedruckte Elektronik realisierbar. Ziel der Vorlesung ist es, bei den Zuhörern eine grundlegende Wissensbasis zu schaffen, sie für die Problemstellungen der unterschiedlichen Fachgebiete zu sensibilisieren und Verständnis für die Komplexität und Wechselwirkungen auf dem Gebiet der gedruckten Elektronik zu wecken.

4.1.2 Seminare

Ziel des Hauptseminar über **Ausgewählte Kapitel der Silicium-Halbleitertechnologie** ist die selbständige Erarbeitung und schlüssige Darstellung eines Themas auf dem Gebiet der Silicium-Halbleitertechnologie. Als Grundlage dienen dabei Literaturvorgaben der Betreuer, die durch eigene Recherchen ergänzt werden sollen. Die Teilnehmer referieren im Rahmen eines 30-minütigen Vortrags über ihre Ergebnisse. Im Sommersemester 2009 wurde das Thema „Schaltkreise aus dem Drucker - Neue Materialien und Verfahren in der Mikroelektronik“ gestellt. Im darauffolgenden Wintersemester wurde das Thema „Schnelle Schalter & hohe Leistungen - Bauelemente aus Ge, SiGe und SiC“ bearbeitet.

Das Seminar **Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen** gibt den Studierenden die Möglichkeit, in allen Bauelementen immer wiederkehrende Grundvorgänge durch eigene Simulationen an Rechnern des LEB zu „erleben“ und eine visuelle Darstellung des entsprechenden Phänomens durch geeignete Simulationsergebnisse zu erarbeiten. Der Ablauf des Seminars ist in drei Phasen aufgeteilt: In der ersten Phase werden in Form einer Vorlesung die implementierten physikalischen Grundgleichungen und physikalischen Modellvorstellungen sowie Struktur und Benutzeroberfläche des Simulationsprogramm (DESSIS) erläutert. In Phase 2 bearbeiten die Seminarteilnehmer in Gruppen jeweils ein Thema und

berichten am Ende der Phase 2 darüber. Eine einheitliche Form der visuellen Darstellung der von den verschiedenen Gruppen bearbeiteten Themen wird in Phase 3 von den Teilnehmern erarbeitet.

4.1.3 Praktika

Seit dem Sommersemester 2003 werden zum Abschluss des Grundstudiums der Mechatronik im Praktikum **Mechatronische Systeme** einerseits die erlernten Grundlagen angewandt, andererseits bietet sich den Studierenden die Möglichkeit, potentielle Vertiefungsgebiete in der Praxis näher kennen zu lernen. Im Praktikum entwickelt eine Gruppe von etwa 10 Studierenden gemeinsam ein selbsttätig agierendes Robotersystem, das eine vorgegebene Aufgabenstellung lösen muss. Dabei beschäftigen sich die Teilnehmer mit allen Phasen der technischen Produktentwicklung. Auf Basis einer gemeinsam erarbeiteten Grundkonzeption werden die zu erledigenden Aufgaben separiert und die Arbeitspakete von je zwei bis drei Teilnehmer detailliert ausgearbeitet. Nach dem Test der Einzelkomponenten kann das System zusammenmontiert und die Funktion überprüft werden. In einem Wettkampf der Gruppen untereinander werden am Ende der Veranstaltung die besten und günstigsten funktionsfähigen Konzepte ermittelt (siehe auch Abschnitt 3.3).

Das Praktikum zur **Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente** vermittelt einen praktischen Überblick zum Themengebiet Halbleitertechnologie. Im Verlauf des Herstellungsprozesses einer Solarzelle werden die Herstellungsschritte Oxidation, Implantation, Lithographie, Ätzen und Metallisierung durchgeführt. Darüber hinaus werden wichtige Messverfahren zur Prozesskontrolle wie Schichtdicken-, Dotierungsprofil- und Schichtwiderstandsmessverfahren vorgestellt. Zum Schluss werden die hergestellten Solarzellen anhand ihrer Strom-Spannungskennlinie elektrisch charakterisiert.

Im Praktikum zur **Halbleiter- und Bauelementemesstechnik** werden einige der in der gleichnamigen Vorlesung besprochenen Messverfahren praktisch angewendet. Zu Beginn des Praktikums wird die Relevanz der Messtechnik zur Prozesskontrolle, aber auch in der Bauelementeentwicklung, anhand eines typischen CMOS-Prozesses erläutert. Im Bereich Halbleitermesstechnik werden dann Versuche zur Scheibeneingangskontrolle, zu optischen Schichtdicken- und Strukturbreitenmessverfahren sowie zur Profilmesstechnik durchgeführt. Im Bereich Bauelementemesstechnik werden MOS-Kondensatoren und MOS-Transistoren, Dioden, Widerstände und spezielle Teststrukturen elektrisch charakterisiert.

Im Sommersemester 2010 wurde erstmalig das Praktikum **Mikroelektronik** für Bachelorstudenten der „Elektrotechnik- Elektronik-Informationstechnik“ (Vertiefungsrichtung Mikroelektronik) angeboten. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Technische Elektronik und dem Lehrstuhl für Zuverlässige Schaltungen soll den Studenten die Möglichkeit gegeben werden praktische Erfahrungen in den Bereichen Entwurf, elektrische Charakterisierung und Anwendung von mikroelektronischen Bauelementen und Systemen zu sammeln. Am LEB liegt der Schwerpunkt auf dem Messen der Kennlinien von Dioden und MOS-Transistoren. Ein weiterer Versuch gibt Einblick in die Arbeitsweise im Reinraum.

Das **Reinraumpraktikum** ist ein Lehrveranstaltung für Bachelorstudenten der Studienganges „Nanotechnologie“ im 5. Semester. Im Rahmen des Praktikums erarbeiten sich die Studenten in kleinen Gruppen grundlegende Kenntnisse über die Herstellungsschritte von mikro- und nanoelektronischen Bauelementen. Darauf aufbauend werden im Reinraum Technologieschritte zur

Herstellung einfacher elektronische Bauelemente vorgestellt. Der Schwerpunkt der praktischen Versuche liegt dabei im Bereich der Herstellung dünner Schichten sowie der Strukturübertragung mittels Photolithographie. Dabei lernen die Studenten die Arbeitsbedingungen bei höchsten Reinheitsanforderungen kennen. Außerdem werden einfache Bauelemente elektrisch charakterisiert und die Messungen ausgewertet. Die Ergebnisse der elektrischen Messungen werden mit simulierten Kennlinien der Bauelemente verglichen.

Sonstiges

Die Lehrveranstaltung **Arbeitstechnik** besteht aus einer Einführungsvorlesung, drei Workshops, der Kontaktmesse des Departments Elektrotechnik-Elektronik-Informationstechnik für Studierende im 1. Semester und den Kontaktnachmittagen an den Lehrstühlen. Die Workshopreihe wurde mit dem Ziel eingeführt, die relativ hohe Zahl von Studienabbrechern im Studiengang „Elektrotechnik-Elektronik-Informationstechnik“ zu verringern. Sie dient als informelles Treffen und dem Kennenlernen der Studierenden. Ängste können angesprochen und abgebaut werden und die Studierenden erhalten Gelegenheit ihren Studienwunsch zu reflektieren. Darüber hinaus sollen die Lernmotivation gefördert sowie Lern- und Präsentationstechniken vermittelt werden.

4.1.4 Vorlesungsangebot bei der Virtuellen Hochschule Bayern

Unter dem Dach der Virtuellen Hochschule Bayern (vhb) werden von verschiedenen bayerischen Hochschulen und Fachhochschulen elektronische Lehrveranstaltungen angeboten. Der LEB ist dabei an der so genannten „School of Engineering“ beteiligt. Genauere Informationen über die vhb sind im Internet unter www.vhb.org zu finden.

Bereits seit dem Wintersemester 2003/2004 stellt der LEB die virtuelle Vorlesung **Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen** in Form einer interaktiven Selbstlernumgebung auf CD-ROM zur Verfügung. Ziel ist die anschauliche Darstellung komplexer Vorgänge bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen, die Erläuterung der zugrunde liegenden theoretischen Sachverhalte und angewendeten Fertigungsverfahren sowie der technologischen Architektur von Bauelementen. Die Vorlesung geht u.a. auf folgende Themen ein: Kristallzucht, Reinraum, Oxidation, Diffusion, Ionenimplantation, chemische und physikalische Schichtabscheidung, Lithographie, Strukturübertragung, Planarisierung, Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Bauelemente-Architekturen.

Die virtuelle Vorlesung **Halbleiterbauelemente** ist das Nachfolgeprojekt zu „Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen“ im Sinne eines integrativen interaktiven Lehrangebotes des LEB. Es wurde in Kooperation mit Prof. Dr. rer. nat. Doris Schmitt-Landsiedel vom Lehrstuhl für Technische Elektronik der TU München verwirklicht. Die Umsetzung erfolgte als virtuelle Vorlesung in Form einer plattformunabhängigen Internet-Präsentation mit ergänzenden Übungsaufgaben. Den Studierenden wird dabei auch die Möglichkeit zur selbständigen Beschäftigung mit interaktiven Simulationen geboten. In diesem Kurs werden den Studierenden die physikalischen Grundlagen von Halbleiterbauelementen vermittelt. Dies umfasst die Grundlagen des Transportes von Ladungsträgern im Festkörper und im Halbleiter und weiter die Vermittlung des Verständnisses für die Funktion elektronischer Bauelemente, wobei der Schwerpunkt bei Dioden, Feldeffekttransistoren und Bipolartransistoren liegt. Die Umsetzung erfolgte als virtuelle Vorlesung in Form einer interaktiven Internet-Präsentation mit ergänzenden Übungsaufgaben. Dazu wurden Folieninhalte aus der Präsenzvorlesung aufbereitet,

mit dem Audiokommentar von Prof. Ryssel bzw. Prof. Schmitt-Landsiedel versehen und durch interaktive Elemente (Animationen/Simulationen) ergänzt.

4.2 Einordnung der Lehrveranstaltungen

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente beteiligt sich mit seinen Lehrveranstaltungen an einer Vielzahl von Studiengängen. Studierende der Studiengänge „Elektrotechnik-Elektronik-Informationstechnik“ und „Mechatronik“ müssen im Rahmen ihrer jeweiligen Studienrichtung Vorlesungen oder Praktika als Pflichtveranstaltung besuchen. Meist als Wahlfach belegen Studierende der „Werkstoffwissenschaften“ bzw. „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ Lehrveranstaltungen am LEB. Daneben sind auch immer wieder Studierende anderer Fächer, z.B. Chemie oder Physik unter den Hörern der angebotenen Vorlesungen.

4.2.1 Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik

Diplom

Studierende im Diplomstudiengang der EEI müssen im Grundstudium die Vorlesung „Halbleiterbauelemente“ als Pflichtfach belegen. Im Hauptstudium ab dem 5. Semester entscheiden sich die Studierenden für eine Studienrichtung. Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente ist insbesondere an der Studienrichtung „Mikroelektronik“ beteiligt, aber auch an den Studienrichtungen „Allgemeine Elektrotechnik“, „Elektrische Energie- und Antriebsantechnik“ und „Leistungselektronik“. Bei den Vertiefungsrichtungen wird zwischen Pflicht- und Wahlpflichtfächern unterschieden. Daneben können weitere Fächer fakultativ belegt werden.

Bachelor/Master

Mit der Umstellung auf Bachelor/Master-Studiengänge hat sich die Einteilung der Fächer geändert. Nach den Grundlagenfächern im 1. und 2. Semester folgt im 3. und 4. Semester das allgemeine Fachstudium, wobei die Vorlesung „Halbleiterbauelemente“ weiterhin für alle Studierenden verpflichtend ist. Im 5. und 6. Semester entscheiden sich die Studierenden auch hier wieder für eine der oben genannten Studienrichtungen. Im Bachelor- bzw. Masterstudium wird in den Studienrichtungen zwischen Kern- und Vertiefungsmodulen unterschieden. Für beide Modularten kann aus einem Fächerkatalog ausgewählt werden, wobei bis zum Abschluss des konsekutiven Masterstudium alle Kernmodule belegt werden müssen. Die Studierenden können jedoch frei entscheiden, welche Module im Rahmen des Bachelor- bzw. Masterstudiums abgelegt werden.

4.2.2 Mechatronik

Diplom

Studierende im Diplomstudiengang müssen im Grundstudium die Vorlesung „Halbleiterbauelemente“ besuchen. Im 4. Semester ist das Praktikum „Mechatronische Systeme“ ein wichtiger Bestandteil des Lehrplans. Im Hauptstudium ist „Produktion in der Elektrotechnik“ von allen Studierenden als Pflichtfach zu belegen.

Das Hauptseminar im Mechatronikstudium kann auch am LEB absolviert werden. Das Gleiche gilt für das ingenieurwissenschaftliche Hochschulpraktikum im Bereich EEI. Außerdem wählen die Studierenden aus 18 Vertiefungsrichtungen zwei aus. Innerhalb jeder Vertiefungsrichtung müssen Lehrveranstaltungen mit einem bestimmten Umfang an Leistungspunkten bzw. Semesterwochenstunden besucht werden.

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente ist an den Vertiefungsrichtungen „Mikroproduktionstechnik“, „Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit“ und „Produktionssysteme“ beteiligt. Weitere Fächer können ergänzend als Wahlfächer ausgewählt werden.

Bachelor/Master

Studierende im Bachelor/Masterstudium müssen die Vorlesung „Halbleiterbauelemente“ und das Praktikum „Mechatronische Systeme“ absolvieren. Im Bachelorstudium sind Wahlpflichtmodule in bestimmtem Umfang aus zwei der angebotenen Vertiefungsrichtungen zu belegen.

Im Masterstudium sind dann zusätzlich zwei Vertiefungsrichtungen auszuwählen. Hinzu kommen drei Wahlpflichtmodule und weitere Wahlmodule in bestimmtem Umfang. Auch das Hauptseminar im Masterstudium kann am LEB abgelegt werden. Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente ist an den Vertiefungsrichtungen „Mikroproduktionstechnik“, „Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit“, „Elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik“ und „Produktionssysteme“ beteiligt.

4.2.3 Nanotechnologie

Zum Wintersemester 2008/2009 wurde der Studiengang „Nanotechnologie“ erstmals an der Technischen Fakultät angeboten. Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente bietet neben der Vorlesung „Nanoelektronik“ das „Reinraumpraktikum“ für diese Studenten als Pflichtveranstaltung an. Im zukünftigen Masterstudiengang „Nanotechnologie“ wird es darüber hinaus eine weitere Pflichtveranstaltung sowie ein Wahlmodul im Bereich Mikro- und Nanotechnologie geben.

4.2.4 Andere Studiengänge

Die Vorlesung „Reinraumtechnik“ wird als Wahlpflichtfach für Bachelorstudenten im Fach „Life Science Engineering“ angeboten. Studenten im Masterprogramm „Molecular Science“ können aus dem Lehrangebot des LEB Vorlesungen und Praktika für das Wahlmodul Nanoelektronik auswählen. Ebenso ist es für Studenten der „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ möglich Lehrveranstaltungen des LEB als Wahlfächer einzubringen.

4.2.5 Kurse der Virtuellen Hochschule Bayern

Beide Kurse werden bei der vhb für Studenten aller bayerischen Hochschulen angeboten und können nach Anerkennung durch den jeweiligen Studienfachberater als Wahllehrveranstaltung eingebracht werden.

Der Kurs „Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen“ kann nach erfolgrei-

chem Abschluss an der Universität Erlangen zudem im Studiengang „Werkstoffwissenschaften“ die Vorlesung „Technologie integrierter Schaltungen“ als Teil der technischen Schwerpunktbzw. Wahlfächer ersetzen.

4.3 Ausbildung zum Mikrotechnologen



Abb. 4.1: Die Auszubildenden Oliver Pöhlmann und Jonas Strobelt an ihrem Arbeitsplatz

Der Ausbildungsberuf Mikrotechnologe/in stellt das Bindeglied zwischen dem reinen Operator, einem angelernten Arbeiter, und dem Prozessingenieur in der Halbleiterindustrie dar. Die komplexen und technisch anspruchsvollen Tätigkeiten erfordern großes Fachwissen und hohe Flexibilität.

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente und das Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie sind seit 1999, also ein Jahr nach Einführung des Berufsbildes 1998, in der Ausbildung zum Mikrotechnologen tätig. Durch ein entsprechendes Kooperationsabkommen mit dem Fraunhofer IISB im Jahr 2004 konnte die Anzahl der an beiden Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehenden Ausbildungsplätze zudem um 50% erhöht werden. Die Ausbildung erfolgt vorwiegend in der Technologiehalle des LEB, dessen Reinraumfläche mit ca. 1000 m² eine breitgefächerte Ausbildung ermöglicht.

Der vielseitige Aufgabenbereich und die Güte dieser Ausbildung bieten die besten Zukunftsperspektiven mit unzähligen Einsatzgebieten, wie z.B. in Industriebetrieben zur Produktion von Computerchips, diskreten Halbleitern, Leistungshalbleitern und Optohalbleitern oder in zahlreichen Forschungseinrichtungen. Der LEB und das Fraunhofer IISB geben gerne allen Interessenten weiterführende Auskünfte über die Ausbildung zum Mikrotechnologen.

Die beiden derzeitigen Auszubildenen des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente Oliver Pöhlmann und Jonas Strobelt haben im Frühjahr 2009 erfolgreich ihre Zwischenprüfung abgelegt. Die Abschlussprüfungen werden sie bis Mai 2010 ablegen und anschließend weiter am LEB bzw. IISB arbeiten.

5 Studentische Arbeiten

Die Anzahl der Studien- und die Diplomarbeiten konnte in den Jahren 2009 und 2010 gegenüber den Vorjahren, vor allem aufgrund zahlreicher Arbeiten im Bereich der Leistungselektronik im Rahmen des interdisziplinären Gruppenprojekts TechFak EcoCar (siehe auch Kapitel 7.1.3), gesteigert werden.

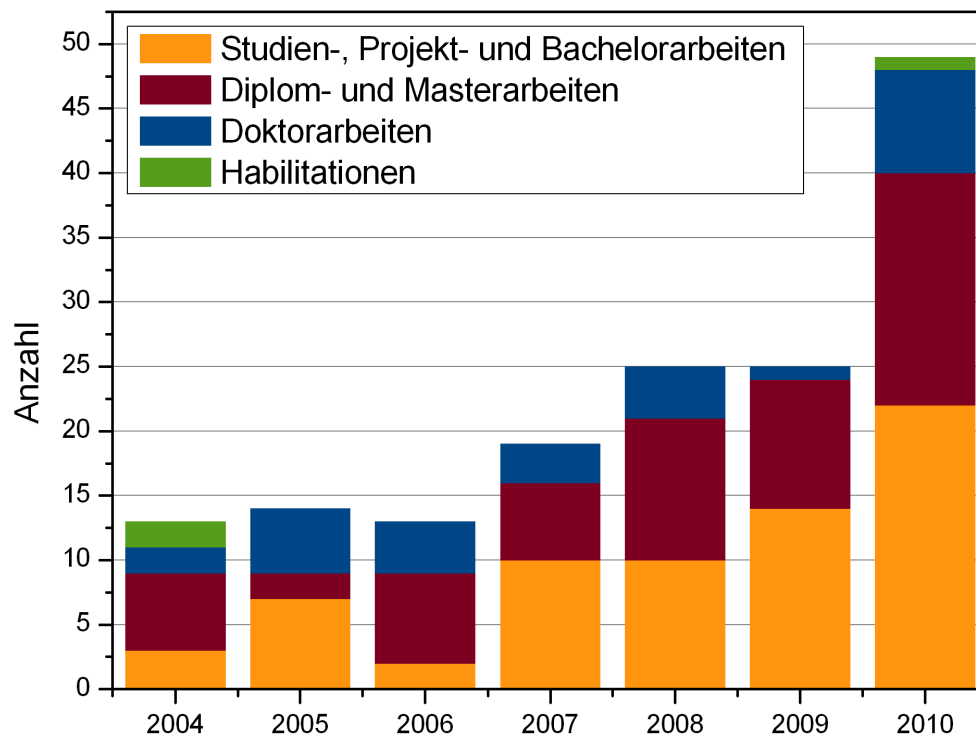


Abb. 5.1: Anzahl der am LEB abgeschlossenen Arbeiten

5.1 Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten 2009

5.1.1 Entwicklung eines integrierbaren Strommesssystems zur Anwendung in der Batterie-Systemtechnik

(Studienarbeit von Christian Brunner)

Bei Elektro- und Hybridfahrzeugen ist es absolut notwendig Kenntnis vom Zustand der Batterie zu haben. Besonders wichtig sind die Faktoren „State of Health“ sowie der Ladezustand. Abhängig von diesen Faktoren muss die aktuelle Fahrstrategie angepasst werden. Um die benötigten Parameter zu messen, wird ein Sensormodul benötigt, das in der Lage ist, sowohl niedrige als auch sehr hohe Ströme (bis 1200 A) bei relativ geringem Fehler zu messen. Diese Arbeit zeigt, wie ein solches Modul aufgebaut werden kann.

Zunächst wird die verwendete Sensoreinheit IMS-A-R0001 beschrieben. Eine zentrale Rolle spielt hier das eingesetzte ASIC IHM-A-1500. Dieses führt je nach Betriebsmodus verschiedene Messungen durch und stellt diese über ein proprietäres Kommunikationsprotokoll bereit.

Anschließend wird auf die Entwicklung eines Steuer- und Kommunikationsmoduls, das direkt

auf das Sensormodul gesteckt wird, eingegangen. Die Hardware besitzt eine RS-232 sowie eine CAN-Schnittstelle. Die nötige Firmware zur Kommunikation mit dem Sensormodul, der Datenverarbeitung und RS-232 Kommunikation wird ausführlich beschrieben. Abschließend wird über die Inbetriebnahme der gesamten Einheit berichtet.

5.1.2 Einfluß „floatender“ Dotierungskompensationszonen auf das Schaltverhalten lateraler Hochvolt-MOS-Transistoren

(Studienarbeit von Konstantin Gorovoy)

Bei lateralen Hochvolt MOS-Transistoren wird die RESURF-Technologie (REduced SURface Field) eingesetzt, um bei vorgegebener Durchbruchspannung den Widerstand $R_{DS,ON}$ des Bauelementes im eingeschalteten Zustand stärker zu senken, als es der 1-dimensionale Zusammenhang beschreibt.

Die die Sperrspannung aufnehmende Driftzone eines n-Kanal RESURF-Transistors wird von zwei pn-Übergängen, einem lateralen (Body-Drain-) und einem vertikalen (Substrat-Drain-) pn-Übergang begrenzt. Bei Sperrspannungsbelastung breitet sich eine Raumladungszone sowohl von dem lateralen als auch von dem vertikalen pn-Übergang in die Driftzone aus. Der RESURF-Effekt tritt ein, wenn die freien Ladungsträger der Driftzone durch den vertikalen pn-Übergang ausgeräumt wurden, bevor die zum Durchbruch führende kritische Feldstärke am lateralen pn-Übergang erreicht wird. Die laterale Sperrspannungsfestigkeit steigt somit bzw. die laterale Ausdehnung des Bauelementes kann bei gleicher Sperrspannungsfestigkeit reduziert werden mit der Folge der Verringerung des Einschaltwiderstandes $R_{DS,ON}$. Durch das Einbringen weiterer p-Zonen in die n-dotierte Driftzone kann die n-Dotierung weiter angehoben und somit $R_{DS,ON}$ noch weiter reduziert werden. Solche Strukturen werden häufig als Mehrfach-RESURF- oder Superjunction-Strukturen bezeichnet. Die zusätzlich in die Driftzone eingebrachten Zonen sind meist elektrisch nicht angeschlossen („floatend“) und führen im dynamischen Betrieb zur Abhängigkeit des Einschaltwiderstandes im eingeschalteten Zustand von der Sperrspannungsbelastung im vorhergehenden abgeschalteten Zustand. In der vorliegenden Arbeit wird dieses Phänomen sowohl durch elektrische Messungen als auch durch numerische Bauelementsimulation untersucht. Messungen und Simulationen beziehen sich dabei auf vorliegende laterale 50 V -Leistungstransistoren, die im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes mit einer 0,18 μm Hochvolt-CMOS Technologie hergestellt wurden und bei denen systematisch die das Verhalten der floatenden Zonen bestimmenden Designparameter variiert wurden.

5.1.3 Experimentelle Untersuchung von monolithisch integrierten EBST (Emitter-Switched-Bipolartransistor)

(Studienarbeit von Jürgen Heidel)

Neben den bekannten diskreten Leistungstransistoren Leistungs-MOS-Transistor, Hochvolt-Bipolar-Transistor, IGBT und Superjunction-Transistor wird seit kurzer Zeit ein neuartiger Bauelementtyp, der Emitter-Switched-Bipolartransistor auf dem Markt angeboten (EBST). Es handelt sich im Kern um einen bipolaren Hochvolttransistor mit einem in Serie geschalteten Niedervolt-MOS-Transistor (Kaskodenschaltung). Im Vergleich zum Leistungs-MOS-Transistor besitzt der EBST die besseren Durchlaßeigenschaften eines Bipolartransistors, durch den seriengeschalteten MOS-Transistor ist das Bauelement mit Hilfe einer MOS-Steuerelektrode

ansteuerbar. Im Vergleich zum IGBT werden bei geeigneter Ansteuerung wesentlich bessere Schalteigenschaften erwartet. Für hohe Ströme und Spannungen werden diese Bauelemente als Hybridbauelemente gebaut, bei denen sich ein MOSFET- und ein Bipolartransistorchip gemeinsam z.B. in einem modifizierten TO247-Gehäuse befinden. Für kleinere und mittlere Leistung wird der EBST in monolithisch integrierter Form auf einem Chip realisiert, wobei Bipolartransistor und serienschalteter MOSFET strukturell miteinander vermischt sind.

Das Thema der vorliegenden Studienarbeit war die experimentelle Untersuchung eines monolithisch integrierten Emitter-Switched-Bipolar-Transistors. Kern der Arbeit war es, einen ESBT und einen Bipolartransistor ähnlicher Strom- und Spannungsklasse sowohl im statischen als auch im dynamischen Betrieb miteinander zu vergleichen. Die Versuche im dynamischen Betrieb wurden dabei auf das Abschaltverhalten beschränkt, da hier der wesentliche Unterschied im Verhalten der beiden Bauelemente zu erwarten war.

5.1.4 Experimentelle Untersuchungen zur Erzeugung keramischer Schichten auf elektrisch leitfähigen Metallisierungen mittels Laserstrahlung

(Projektarbeit von Michael Klämpfl)

In der Leistungselektronik kommen Keramiken zum Einsatz, weil sie gute Isolationseigenschaften mit für einen Isolator relativ hoher thermischer Leitfähigkeit vereinen. Die Keramiksubstrate dienen dazu, die hohe Verlustwärme, welche die Leistungsmodule erzeugen, an das Kühlsystem abzuführen und die Chips gleichzeitig voneinander elektrisch zu isolieren. Häufig wird die Keramik in einen Schichtverbund mit Kupfer oder Aluminium integriert. Durch Verfahren, wie das Direct Copper Bonding (DCB), werden beide Seiten der Keramik mit einer Metallschicht versehen. Auf der einen Seite wird das aktive elektrische Bauelement angebracht, auf der Rückseite, elektrisch durch die Keramik isoliert, ein Kühlkörper. Vorteilhaft wäre es, wenn es ein Verfahren ermöglichen würde, die Keramiken nur selektiv an bestimmte Stellen der Metalle anzubringen. Durch die hohe Selektivität der laserbasierten Fertigungsverfahren ist ein solches Verfahren durchaus vorstellbar. Die Keramik soll als eine Art Grünling aufgetragen und durch die Laserstrahlung an den erforderlichen Positionen umgewandelt werden und nicht wie beim DCB als ganze Platten verarbeitet werden. Ansätze solcher Techniken werden in der vorliegenden Arbeit untersucht. Auf Kupfer und Aluminium werden Schichten aus einem präkeramischem Polymer bzw. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) aufgebracht und mit unterschiedlichen Laseranlagen bestrahlt.

Die Versuche, durch Sintern von Al_2O_3 eine kompakte Schicht zu erzeugen, sind sowohl mit dem Yb:YAG-Laser, für dessen Strahlung Al_2O_3 nahezu transparent ist, als auch mit dem CO_2 -Laser, für welchen Al_2O_3 nicht transparent ist, nicht erfolgreich. Die mit dem Yb:YAG-Laser bestrahlten Schichten bilden keine gleichmäßige Fläche. Es entstehen Schichten mit teilweise noch pulverigen Bereichen, während andere Stellen schon geschmolzene und wieder erstarrte Tropfen aufweisen. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den mit dem CO_2 -Laser bestrahlten Schichten. Hier findet ein Übergang vom pulverigen Zustand direkt in die Schmelze statt. Es wird kein Prozessfenster gefunden in dem ein Sinterprozess stattfindet.

Mögliche Ursachen für die mangelhaften Schichten sind der Auftrag des Al_2O_3 -Pulvers, der auch mittels Schablonendruck nicht ideal ist. So gelingt es nicht, eine Paste mit einer für den Schablonendruck optimalen Konsistenz herzustellen. Aber auch der Bestrahlungsprozess ist nicht ideal. So sind die Absorptionsgrade der verwendeten Substratmaterialien Kupfer und

Aluminium recht gering und auch die Einkopplung der Strahlung in das Al_2O_3 ist zumindest mit dem Yb:YAG-Laser problematisch. Da mit allen getesteten Verfahrenskombinationen keine Schichten erzeugt werden konnten, die die gestellten Anforderungen augenscheinlich erfüllen, wurde auf eine ausführliche elektrische Charakterisierung der Schichten verzichtet.

5.1.5 Auslegung der Kühlung einer elektrischen Antriebseinheit für ein Hybridfahrzeug

(Projektarbeit von Thomas Kotzbauer)

Für die elektrische Antriebseinheit eines Hybridfahrzeuges wurden mit Simulationen des Antriebsumrichters, der elektrischen Maschinen und der Getriebe die Verlustleistungen in unterschiedlichen Fahrzyklen untersucht. Auf Grundlage der Simulationsergebnisse wurde eine Luft- als auch eine Wasserkühlung für die Antriebseinheit ausgelegt und mittels ANSYS simuliert. Das Ziel ist eine homogene Temperaturverteilung in den Asynchronmaschinen. Für den Fall der Wasserkühlung wurde weiterhin ein Konzept für den Anschluss der elektrischen Antriebseinheit an den Fahrzeugkreislauf vorgestellt, mit dem Ziel, die Kühlwasservorlauftemperatur so weit wie möglich abzusenken.

5.1.6 Entwicklung einer hochpräzisen Messwerterfassungskarte für einen Lastwechsellmessplatz

(Projektarbeit von Sebastian Labusch)

Leistungshalbleiter werden zum Schalten großer Ströme und Spannungen eingesetzt. Eine wechselnde Belastung bewirkt wegen der Verlustleistung im Bauelement eine Temperaturwechselbelastung, da der thermische Widerstand in der Regel konstant ist. Bei der Zuverlässigkeit spielt das Verhalten bei Temperaturwechselbelastung eine große Rolle. Aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten der verwendeten Werkstoffe führt eine solche Belastung zu mechanischem Stress, Kriech- und Diffusionsprozessen und schließlich zum Versagen.

Eine bewährte Methode zur beschleunigten Untersuchung der Zuverlässigkeit sind aktive Temperaturzyklentests. Dabei wird das zu prüfende Bauelement zyklisch aktiv, d.h. durch die Eigenerwärmung bei Strombelastung, aufgeheizt. Hierdurch wird die Belastung, wie sie beim Betrieb auftritt, beschleunigt nachgebildet. Durch eine Messung der Temperatur im Bauteilinnern können die thermische Impedanz im Bauteil bestimmt und im Verlauf der Prüfung auftretende Defekte erkannt werden. Bei derartigen Prüfungen ist eine möglichst geringe Messunsicherheit der im Prüfstand gemessenen sowie eine möglichst gute Reproduzierbarkeit der eingepprägten Signale wünschenswert.

Die vorliegende Projektarbeit erläutert zunächst das Prinzip der aktiven Temperaturzyklentests, den Stand der Technik und definiert Anforderungen an die Messeinschubkarte. Im folgenden, wesentlichen Teil werden Schaltungsvarianten hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Anforderungen evaluiert und schließlich eine vollständige Messwerterfassungskarte entwickelt. Abschließend erfolgt die elektrische Charakterisierung an einem Prototyp.

5.1.7 Konzeptstudie zur Umrüstung eines konventionellen PKW in ein Elektrofahrzeug

(Projektarbeit von Martin Loch)

In dieser Arbeit wird die Umrüstung eines konventionellen Kraftfahrzeugs mit Verbrennungsmotor auf ein Fahrzeug mit rein elektrischem Antrieb auf Machbarkeit und Effizienz geprüft. Dazu wird als Beispielfahrzeug der Audi TT herangezogen, der in der gesamten Arbeit als Referenz für konkrete Analysen dient. Zuerst muss festgestellt werden, welche Komponenten des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor entfernt, modifiziert oder beibehalten werden müssen. Nach der Dimensionierung des elektrischen Antriebs werden die für eine Umrüstung notwendigen Komponenten ausgelegt und ausgesucht. Die Kenntnis des Gewichts und der Größe aller Komponenten lassen folglich eine umfassende Gewichts- und Bauraumanalyse zu. Weiterhin wird anhand des noch verfügbaren Bauraums und der Traglast der elektrische Energiespeicher ausgelegt. Für die Verbauung des gesamten elektrischen Antriebsstrangs werden zusätzlich Konzeptvorschläge, beispielsweise für das Kühl- und Heizsystem des Fahrzeugs, dargelegt und ausgearbeitet. Nach der Umrüstung werden mittels einer MatLab-Simulation Testfahrzyklen mit unterschiedlichen Energiespeichergrößen durchgeführt, die anschließend analysiert und verglichen werden.

5.1.8 Grundlagenuntersuchungen zur Herstellung von lötbaren Kühlkörpern aus thermisch leitfähigem Kunststoff

(Projektarbeit von Andreas Müller)

Im Rahmen dieser Projektarbeit wird untersucht wie Polyamid-6- und Polyphenylsulfid-Aluminiumoxid-Compounds (PA 6 und PPS) auf Kupfer haften, um damit später Rückschlüsse auf die Wärmeübertragung machen zu können. Dazu werden Compounds mit Füllgraden von 20, 40, bei PPS sogar 50 Volumenprozent Aluminiumoxid hergestellt, mit denen die Kupferproben umspritzt werden.

Neben der Wärmeübertragung werden die verwendeten Materialien PPS, PA 6, Kupfer und Aluminiumoxid sowie das Compoundier- und Spritzgussverfahren im Detail behandelt und Adhäsion und Kohäsion, die physikalischen Grundlagen der Haftung, beschrieben. Um diese zu erhöhen, werden die meisten der Kupferproben an den Kontaktstellen nach der Reinigung unterschiedlich vorbehandelt: geätzt, plasmabehandelt, belackt oder mit wärmeleitfähigem Kleber bestrichen. Während der Darstellung der Prozesse wird schon auf mögliche spätere Einflüsse auf den Zugscherversuch der Proben eingegangen. Einige Proben werden anschließend durch Temperaturlagerung gealtert. Dann werden alle Proben im Zugscherversuch getestet und deren Maximalspannungen nach Kriterien wie Kunststoffart, Füllgrad oder Vorbehandlungsmethode miteinander verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den Polyphenylsulfidproben tendenziell die Haftung mit dem Füllgrad ansteigt, diese bei den Polyamid-6 Proben jedoch fällt, bei beiden jeweils unabhängig von der Vorbehandlungsmethode. Auch bewegen sich die Maximalwerte der Zugspannungen bei PA 6 auf wesentlich niedrigerem Niveau als bei PPS. Bei beiden Kunststoffen erreichen die Proben mit einem Medium wie Kleber oder Lack zwischen Kupfer und Compound höhere Zugscherspannungswerte. Mit einer Bruchbildanalyse wurde den Ursachen für Abweichungen einzelner Proben auf den Grund gegangen.

5.1.9 Entwurf und Realisierung eines Reglers für einen DC/AC Wandler zum Betrieb einer 230 V Steckdose in einem Hybridfahrzeug

(Projektarbeit von Christian Schnepf)

Ziel dieser Projektarbeit ist, einen Regler für einen Umrichter von Gleichspannung in Wechselspannung zu entwerfen und mittels Simulation zu verifizieren.

Der DC/AC Wandler soll für den Betrieb einer 230 V Steckdose in einem Hybridfahrzeug ausgelegt werden und eine echte 50 Hz Sinuswechselspannung mit fester Amplitude erzeugen. Hierbei soll eine maximale Dauerlast von 2000 W und nicht nur ohmsche sondern auch kapazitive und induktive Verbraucher zulässig sein.

Zunächst werden mögliche Steuer- und Regelungsverfahren des Vierquadranten-Wechselrichters verglichen und anschließend ein Regler mit innerer Stromregelschleife hinsichtlich Stabilität dimensioniert und analysiert.

5.1.10 Entwicklung eines Spannungswandlers für Zykletests an Li-Ionen-Akkuzellen

(Projektarbeit von Bernd Seliger)

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Spannungswandlers für Zykletests an bis zu 12 seriell verschalteten Lithium-Ionen-Zellen. Dabei können die Lebensdauer und der Alterungsprozess untersucht und Anforderungen an eine Zellsymmetrierung abgeleitet werden. Zu Beginn wird basierend auf den Grundlagen der Lithium-Ionen-Akkus das Konzept des Spannungswandlers ausgearbeitet. Anschließend wird die Umsetzung anhand detaillierter Schaltungs- und Layoutbeschreibungen erörtert. Die Messwerterfassung der Zellspannungen erfolgt dabei mit 12-Bit-Auflösung und ist galvanisch über ein Bussystem isoliert. Der Spannungswandler ist als Hoch-Tiefsetzsteller mit der Topologie einer Halbbrücke realisiert. Die Pulsweitenmodulation des Leistungsteil wird mittels einer Spitzenstromregelung erzeugt. Zuletzt wird die Ansteuerung und Regelung des Wandlers besprochen. Darauf aufbauend erfolgt die Inbetriebnahme des Spannungswandlers. Dabei konnten, bei bis zu 100 A Lade- und Entladestrom, Wirkungsgrade von 86,6% bis 98,4% erzielt werden. Durch das wassergekühlte Entwärmungskonzept wurden Temperaturen der Leistungshalbleiter von maximal 41 °C erreicht, wodurch der aufgebaute Spannungswandler auch für Dauertests geeignet erscheint.

5.1.11 Einsatz eines GPS Datenloggers zur Aufnahme und Untersuchung von realitätsnahen Fahrzyklen mittels Matlab / Simulink

(Projektarbeit von Peter Totev)

Zur Auslegung und Dimensionierung von Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen und zur Ermittlung von Verbrauchswerten wurden für das interdisziplinäre Gruppenprojekt „TechFak EcoCar“ (siehe Abschnitt 7.1.3) im Rahmen von studentischen Arbeiten Fahrzeugmodelle in MATLAB/Simulink erstellt. Ziel dieser Projektarbeit ist es, realitätsnahe Fahrzyklen zu generieren und für die Verarbeitung in den Simulink-Modellen aufzubereiten. Dazu wird ein kommerzieller GPS-Datenlogger beschafft und in Betrieb genommen. Die Datenverarbeitung wird mit einem MATLAB-Skript realisiert.

Die Anbindung des GPS-Datenloggers an eine dSPACE MicroAutoBox erfolgt über einen Bluetooth-RS232-Adapter. Dadurch sind die Voraussetzungen geschaffen worden, um die GPS-Informationen der MicroAutoBox in Echtzeit zur Verfügung zu stellen und in der dSPACE-eigenen Software zu visualisieren.

Es werden einige Fahrzyklen mit den GPS-Datenloggern aufgezeichnet und mit dem synthetisch generierten „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ verglichen. Anhand von Simulationen mit dem Hybridfahrzeugmodell wird exemplarisch an einigen aufgenommenen Fahrprofilen der Einfluss einer veränderten Leistungsabstufung der Elektromaschine auf den Kraftstoffverbrauch untersucht.

5.1.12 Entwicklung eines Umrichters für einen elektrischen Fahrzeugantrieb

(Projektarbeit von Johannes Vorsamer)

Für eine aktive Fahrzeugachse war ein Doppel-Umrichter zu entwickeln, der die beiden Elektromotoren der Einzelradantriebe (ca. 2 mal 20 kW) versorgt. Der Umrichter soll innerhalb des Gehäuses der elektrischen Antriebseinheit seitlich neben den Elektromotoren angeordnet werden. Alle Komponenten des Doppel-Umrichters sind konstruktiv in die Antriebseinheit zu integrieren.

Trotz der großen Anzahl thermischer, mechanischer und elektrischer Anforderungen konnte in dieser Arbeit eine geeignete sowie zufrieden stellende Lösung für die Integration eines Doppelumrichters erarbeitet werden. Zusammen mit den beiden elektrischen Maschinen bildet der Aufbau des Umrichters eine in sich geschlossene Antriebseinheit. Diese kann bei der Hybridisierung eines Audi TT in Allradausführung anstelle des Hinterachsdifferentials problemlos eingebaut werden. Die vordere Achse wird weiterhin mit Hilfe des Verbrennungsmotors angetrieben.

Bei der Konstruktion des Umrichters waren insbesondere die Struktur und Anschlüsse der Leistungsmodule sowie die Modellierung des Kühleraufbaus entscheidend. Entsprechend mussten die mechanischen Befestigungen der einzelnen Komponenten und zusätzliche Aufbauten, wie z.B. Platinen und Stromsensoren, an diesen Kriterien ausgerichtet werden. Obwohl sich der Umrichter in dieser Form aus vielen Einzelteilen zusammen setzt, hält sich der Kostenaufwand durch symmetrische Anordnungen in Grenzen. Der Umrichter ist durch die geringe Anzahl verschiedener Teile und den einfachen mechanischen Aufbau maschinell und in Serie fertigbar. Ebenso wurden nach Möglichkeit Normteile verwendet. Durch die Kühlung mit Shower-Power liegen die Werte für die maximale Chiptemperatur und den Druckverlust über den gesamten Umrichter deutlich unterhalb der Anforderungen. Dies ermöglicht es, das Durchflussvolumen des Kühlmediums zu reduzieren, ohne die Leistungselektronik ernsthaft zu gefährden. Da die Leistung der Pumpe für den Kühlkreislauf vom Durchflussvolumen abhängt, kann an dieser Stelle Energie gespart werden.

5.1.13 Elektromechanische Konstruktion eines Hochvolt-Akkusystems für Hybridfahrzeuge

(Projektarbeit von Franz Winter)

Gegenstand der Arbeit ist die Konstruktion einer Traktionsbatterie für ein Hybridfahrzeug. Einen Schwerpunkt dabei stellt die aktive Luftkühlung für die Lithium-Ionen Zellen dar. Es

werden verschiedene Zellanordnungen bezüglich ihres thermischen Verhaltens miteinander verglichen und ein Überblick über verschiedene Möglichkeiten der Luftführung in der Batterie gegeben. Der Zellabstand wird als wichtigster Parameter für die Auslegung der Kühlung ausführlich behandelt. Verschiedene Möglichkeiten zur Reduzierung des Temperaturgradienten werden aufgezeigt. Die Batterie wird aus Lithium-Eisen-Phosphat Zellen der Firma A123 Systems aufgebaut, daneben werden aber auch andere geeignete Lithium-Ionen-Zellen vorgestellt. Neben Sicherheitsaspekten wird auf verschiedene Möglichkeiten der elektrischen Kontaktierung der Zellen eingegangen. Am Schluss wird die entstandene Konstruktion ausführlich beschrieben.

5.1.14 Untersuchungen zur Regelung eines mehrstufigen bidirektionalen AC/DC-Wandlers

(Studienarbeit von Wei Yao)

In dieser Arbeit wird ein mehrstufiger isolierender bidirektionaler AC/DC-Wandler untersucht. Der Wandler besteht aus einem dem Versorgungsnetz zugewandten AC/DC-Wandler, einem isolierenden Resonanzwandler und einem DC/DC-Wandler zur Ankopplung eines Energiespeichers. Ziel ist die Regelung der Zwischenkreisspannung zwischen Resonanzwandler und batterie-seitigem DC/DC-Wandler, so dass der Stromfluss durch den Resonanzwandler möglichst konstant ist. Das Gesamtsystem wird hinsichtlich seines System- und Regelverhaltens analysiert. Hierzu werden verschiedene Regelstrategien in Abhängigkeit der Stufenanzahl (zwei- oder dreistufig) analysiert. Anhand dieser Vorauswahl erfolgen weitere Untersuchungen zur Stabilität des Regelkreises mittels eines stark vereinfachten Verhaltensmodells. Dieses wird auch zur Auslegung der Reglerparameter genutzt.

5.2 Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten 2010

5.2.1 Inbetriebnahme der dSPACE-MicroAutoBox und Entwicklung einer Auswerteschaltung zur Überwachung der einzelnen Zellpotenziale

(Projektarbeit von Christof Bothor)

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Energiespeicher für ein Elektroauto. Es soll eine Schaltung entwickelt werden, welche es ermöglicht, die Spannungen der einzelnen Zellblöcke der Antriebsbatterie während des Betriebes kontinuierlich zu überwachen. Zukünftig sollen, neben den derzeit verwendeten Nickel-Cadmium-Akkumulatoren auch Lithium-Ionen-Zellen überwacht werden. Diese besitzen eine Ladeschlussspannung von 4,2 V, weshalb die Auflösung auf 10 mV festgelegt wurde. Für die Überwachung von dynamischen Fahrzyklen wurde die Abtastzeit zu 10 ms gewählt. Die Messwerte werden über ein CAN-Bus von dem Universalsteuergerät, der dSPACE MicroAutoBox, ausgelesen. Daher ist die Installation und Inbetriebnahme des Steuergerätes Teil der Arbeit.

Diese Arbeit ist Teil des interdisziplinären Gruppenprojektes TechFak EcoCar (siehe Abschnitt 7.1.3).

5.2.2 Mechanische Spannungen in dünnen gesputterten Schichten aufgrund von Temperaturbelastung

(Bachelorarbeit von Kilian Dallmer-Zerbe)

In dünnen gesputterten Schichten treten mechanische Spannungen auf, die zu Degradationsphänomenen wie der Schichtablösung führen können. Die mechanische Spannung in der Schicht kann nach Stoney über die Substratkrümmungsmethode gemessen werden. Das verwendete Spannungsmesssystem nutzt diese Methode und verfügt über die Möglichkeit die Substrate während des Messens zu heizen. Es werden Messroutinen für Glas- und Siliciumsubstrate vorgestellt, mit denen die auftretenden mechanischen Spannungen in ihre intrinsischen, extrinsischen und thermisch induzierten Spannungsanteile separiert werden können. Hierzu wurden substratspezifische Temperaturzyklen und Einlegeroutinen entwickelt. Anhand von Beschichtungen mit Platin einer Dicke von 30 nm und Siliciumnitrid der Dicke 200 nm wird die Messroutine bei Glas- und Siliciumsubstraten angewandt. Mit den gewonnenen Daten wird auf die thermische Spannungsänderung pro Kelvin und den Wärmeausdehnungskoeffizienten in der Schicht zurückgeschlossen. Bezogen auf die zu erwartenden Ergebnisse für makroskopische Festkörper entsprechen die Abweichungen der Wärmeausdehnungskoeffizienten und thermischen Spannungsänderungen pro Kelvin für dünne Schichten von den für die entsprechenden makroskopischen Festkörper zu erwartenden Werten offen den Erwartungen.

5.2.3 Automatisches und integriertes Testen von elektronischen Bauelementen

(Studienarbeit von Stefan Eberlein)

Diese Studienarbeit beschreibt den Entwurf, die Hardware und die Implementierung eines Aufbaus zum automatischen Messen von elektronischen Bauelementen. Des weiteren wird ein Verfahren zum Testen der Bauelemente auf sichtbare Defekte vorgestellt.

Ein Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Ansteuerung der Hardware aus Java heraus. Die Ansteuerung eines in X-, Y- und Z-Richtung beweglichen Tisches wird mithilfe dessen Treiber und der JNI-Bibliothek realisiert. Es wird die Bildaufnahme einer Kamera unter Verwendung der DirectShow-Schnittstelle erklärt. Weiterhin wird eine Variante der Hardwareansteuerung durch ein externes Programm vorgestellt.

Zu Beginn einer automatischen Messung muss der Chip, welcher Bottom-Gate-Transistoren enthält, abgescannt werden, um ein sehr hochauflösendes Panoramabild der gesamten Chipoberfläche zu erhalten. Zu diesem Zweck werden Algorithmen vorgestellt, welche die Ränder des Chips erkennen. Der Chip wird mit einem mäanderartigen Muster abgescannt und die gewonnenen Einzelbilder zu einem großen Bild zusammengefügt.

In diesem Bild werden die Bauelemente erkannt und auf sichtbare Fehler geprüft. Es werden Algorithmen und Vorgehensweisen zur Lösung dieser Probleme vorgestellt. Den gefundenen Bauelementen werden Punkte zugeordnet, an denen die Messung vorgenommen wird. Diesen Punkten im Bild müssen Tischpositionen zugeordnet werden, um anschließend die Messungen durchführen zu können. Zu diesem Zweck wurde ein entsprechender Algorithmus entwickelt. Bei der Implementierung gängiger Algorithmen aus diesem Gebiet werden einige Optimierungen vorgenommen.

5.2.4 Entwicklung einer Ansteuerung und Stromregelung für einen 2 kW Resonanzwandler

(Projektarbeit von Stefan Endres)

Ziel dieser Projektarbeit ist die Ansteuerung und Regelung eines Resonanzwandlers mit Hilfe eines Mikrocontrollers. Der Aufbau soll als Testplattform dienen um weitere Optimierungsmöglichkeiten zu erproben. Dazu wird ein bereits existierender Resonanzwandler dahingehend überarbeitet, dass eine Nennleistung von 2 kW zuverlässig bei einer Nennspannung von 400 V übertragen werden kann. Nach einer Analyse der bestehenden Problemquellen wird eine neue Gateansteuerung entwickelt und das Platinenlayout überarbeitet. Zur zeitlichen Koordination der Umschaltvorgänge der vier Transistoren wird eine Schaltung entworfen, die die Ansteuersignale der einzelnen Leistungsschalter inkl. der benötigten Totzeit erzeugt. Die Taktvorgabe kann dabei wahlweise intern im Mikrocontroller erzeugt werden oder extern über eine integrierte Schaltung. Die Verifizierung der Änderungen und der neuen Ansteuerung erfolgt durch eine Inbetriebnahme bei 400 V. Durch Variation von Bauteilwerten des Resonanzkreises wird eine erste Optimierung hinsichtlich des Wirkungsgrads vorgenommen. Neben der Analyse der wichtigen Strom- und Spannungsverläufe wird auch das thermische Verhalten gemessen. Für die Stromregelung wird eine einfache Strommessung benötigt. Dazu werden Gleichricht- und Spitzenwert des Resonanzstroms erfasst und durch den Mikrocontroller ausgewertet. Die Regelung erfolgt digital und kann über USB mit einem PC im laufenden Betrieb angepasst und erprobt werden.

5.2.5 Entwicklung eines bidirektionalen isolierenden 2 kW DC/DC Wandlers zur induktiven Energieübertragung für Elektrofahrzeuge

(Projektarbeit von Thomas Heckel)

Das Ziel dieser Projektarbeit ist die Entwicklung eines bidirektionalen Gleichspannungswandlers, der eine kontaktlose Energieübertragung für Elektrofahrzeuge ermöglicht. Zum einen soll der DC/DC-Wandler als Testobjekt realisiert werden, mit dem Messungen im Labor durchgeführt und weitere Resonanzwandlertopologien aufgebaut werden können. Zum anderen gilt es, den Konverter als steckerähnliche Konstruktion umzusetzen, die alle leistungselektronischen Bauelemente enthält und die Machbarkeit demonstriert.

Zu Beginn der Arbeit werden die für die Umsetzung notwendigen theoretischen Grundlagen der ausgewählten Wandlertopologie erarbeitet. Damit können durch Simulation charakteristische Größen ermittelt werden, die für die Auslegung der leistungselektronischen Komponenten notwendig sind. Anschließend erfolgt eine praxisnahe Dimensionierung sowohl der passiven Komponenten als auch der Halbleiterbauelemente. Zur Reduzierung der thermischen Verluste werden Maßnahmen diskutiert und deren Umsetzbarkeit überprüft. Des Weiteren wird die praktische Realisierbarkeit der leistungselektronischen Komponenten behandelt und eine Ansteuerung für die Leistungshalbleiterbauelemente aufgebaut.

Für die mechatronische Integration aller Bauelemente zu einer steckerähnlichen Konstruktion werden verschiedene mechanische Konzepte auf deren Eignung untersucht, wobei auch eine Analyse zur Entwärmung des Konverters durchgeführt wird. Bei der Inbetriebnahme der Schaltung erfolgt, neben der Erfassung von Wirkungsgradkurven, auch die Aufzeichnung von Thermografien, um auftretende Hot-Spots zu dokumentieren und diese bei der Entwicklung

eines alltagstauglichen Produkts in weiteren Arbeiten zu berücksichtigen.

Diese Arbeit ist Teil des interdisziplinären Gruppenprojektes TechFak EcoCar (siehe Abschnitt 7.1.3).

5.2.6 Hochtemperatur-Lotverbindungen für Leistungshalbleiterbauelemente

(Projektarbeit von Marco Hentschel)

In dieser Arbeit wurde die experimentelle Entwicklung von Lotverbindungen für Hochtemperaturanwendungen von Leistungshalbleitern auf der Basis von Zink-Aluminiumlegierungen untersucht. Die in der Elektronikproduktion fest etablierte Löttechnik stößt bei Betriebstemperaturen oberhalb von 200°C an ihre Grenzen, da herkömmliche Lote auf Zinnbasis zu niedrigschmelzend und Lote auf Bleibasis umwelttechnisch bedenklich sind. Um den wachsenden Ansprüchen der sich schnell entwickelnden Halbleitertechnologie gerecht zu werden, kommt der Entwicklung alternativer Lotverbindungen eine große Bedeutung zu. Das Zink-Aluminium-System ist aufgrund von Schmelzpunkten oberhalb von 380°C im Hinblick auf eine hohe Temperaturbeständigkeit ein vielversprechendes System, weshalb es im Kern dieser Arbeit näher untersucht wird.

Um die später mögliche Herstellung und Integration einer derartigen Lotverbindung in die Halbleiterproduktion zu vereinfachen, bietet die Herstellung lötbare Schichten mittels des Prinzips der Kathodenzerstäubung interessante Aspekte, nämlich die Herstellung von Laminaten direkt auf einer Siliciumoberfläche. Daher wurde auf dieses Verfahren im Verlauf der Arbeit besonderes Augenmerk gelegt.

Zu Beginn werden erst allgemeine theoretische Aspekte des Zink-Aluminium-Systems und der Kathodenzerstäubung sowie der verwendeten Anlage zur Herstellung lötbare Schichten im Reinraum behandelt. Dann wird auf die Herstellung von Versuchsproben aus direkt mit Zink-Aluminium-Lot beschichteten Siliciumscheiben eingegangen, die später auf ihre Lötseigenschaften hin untersucht wurden. Da jedoch die Technik der Kathodenzerstäubung bei der Herstellung ausreichend dicker lötbare Schichten an ihre Grenzen stößt, wurden alternative Herstellungsverfahren von Zink-Aluminium-Legierungen in gewünschten Mischungsverhältnissen mittels Schmelzversuche im Ofen und Reagenzglas untersucht. Anschließend wurden die hergestellten Proben auf Siliciumscheiben und Kupferplättchen gelötet und auf ihre Struktur hin mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskopen untersucht und bewertet.

5.2.7 Entwicklung einer Energieversorgung für beheizbare Bekleidung

(Projektarbeit von Steffen Käppner)

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde eine Energieversorgung entwickelt, mit der bis zu fünf beheizbare Kleidungsstücke zentral mit jeweils bis zu drei Watt Energie versorgt und deren Heizleistungen mittels eines Eingabegeräts unabhängig voneinander eingestellt werden können.

Im ersten Teil der Arbeit wurde jeweils ein Konzept und Schaltungsentwurf für den Energiespeicher, die Leistungselektronik und das Eingabegerät erarbeitet. Der Energiespeicher, der aus mehreren in Serie geschalteten Lithium-Ionen-Zellen besteht, benötigte einer Lade- und Entladeüberwachung. Diese wurde durch einen speziellen Mikrocontroller realisiert und übernimmt wichtige Schutzfunktionen der Lithium-Ionen-Zellen. Die Leistungselektronik des

Systems erzeugt durch Gleichstromsteller verstellbare Ausgangsspannungen mit niedriger Wellenlänge. Die Sollwertvorgaben übernimmt ein Mikrocontroller durch Kommunikation über einen differentiellen Datenbus mit dem Handgerät. Das Eingabegerät besteht dabei zur Nutzerinteraktion aus Drucktastern, einem OLED-Display und dem Datenbustreiber zur Leistungselektronik. Im zweiten Teil der Arbeit wurde ein Prototyp aus drei Teilen aufgebaut, der die Funktionen und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten darstellt. Zur Veranschaulichung wurden die Einzelteile in zwei Gehäuse verbaut. Abschließend wurden mit dem Prototyp Messungen durchgeführt, die zeigten, dass die Schaltungen die vorgegebenen Randbedingungen erfüllten.

5.2.8 Untersuchungen von Ausheilvorgängen in Germanium

(Projektarbeit von Andreas Kobler)

Diese Arbeit umfasst die experimentelle Untersuchung von Ausheilvorgängen in Germanium. Dafür wurde auf verschiedene Proben mittels Photolithographie eine van-der-Pauw-Struktur aufgebracht und jeweils der mittig liegende Messfleck mit Bor, Aluminium oder Gallium per Ionenimplantation p-dotiert sowie mit Phosphor, Arsen oder Antimon ebenfalls per Ionenimplantation n-dotiert. Die Proben wurden anschließend bei 300 °C, 400 °C, 500 °C sowie 600 °C bei Zeiten von 10 bis 160 Minuten in Argonatmosphäre isotherm ausgeheilt. Zusätzlich wurden ausgewählte Proben mit einem Laserstrahl ausgeheilt. Die Schichtladungsträgerbeweglichkeit und -konzentration sowie der Schichtwiderstand der Proben wurden zu ihrer Charakterisierung jeweils nach der Temperaturbehandlung per Hallmessung bestimmt, ausgewertet und graphisch dargestellt. Bei der Auswertung der Messungen fiel auf, dass die Werte der einzelnen Hallspannungen großen Schwankungen unterlagen. Vor diesem Hintergrund wurde zusätzlich großer Wert auf die Erfassung und Beurteilung möglicher Fehlerquellen und Einflussfaktoren gelegt. Die Ergebnisse zeigen bei allen Dotierstoffen mit Ausnahme von Bor eine ausreichende Aktivierung schon bei vergleichsweise geringen Temperaturen um 300 °C. Eine vollständige Wiederherstellung des Kristallgitters oder eine Beseitigung aller entstandenen Defekte scheint erst bei höheren Temperaturen von 500 °C bis 600 °C und, abhängig vom Dotierstoff, teilweise nach wesentlich längeren Ausheilzeiten vorzuliegen.

Die entstandenen Defekte lassen sich anscheinend gerade dann umso effektiver beseitigen, je größer das Ausmaß der Schädigung der kristallinen Struktur ist. Weiterhin konnte bei den n-dotierten Proben eine Ausdiffusion der Dotierstoffe, insbesondere bei hohen Temperaturen und längeren Ausheilzeiten, festgestellt werden. Dieser Effekt kann mit Hilfe von speziellen Deckschichten eingeschränkt werden, die jedoch einen aufwändigeren Herstellungsprozess zur Folge haben. Außerdem kann zusätzlich die Diffusion des Dotierstoffes vermieden werden, indem durch einen Ausheilprozess mittels Blitzlampen oder eines Laserstrahls die Ausheilzeit verringert wird.

5.2.9 Modellierung und Simulation eines hybriden Traktionsenergiespeichers für den automobilen Einsatz

(Projektarbeit von Michael Lechner)

Im Rahmen der Arbeit sollten zunächst kommerziell erhältliche Doppelschicht-Kondensatoren hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für automobilen Einsatzbereiche bewertet werden. Im Hauptteil der Arbeit wurden anschließend mögliche Topologien eines hybriden Energiespeichers bestehend

aus Lithium-Ionen-Akkumulatoren und Doppelschicht-Kondensatoren mit Matlab/Simulink modelliert und anschließend in Fahrzyklensimulationen untersucht. Neben der Untersuchung der Topologien hinsichtlich Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit sollten dabei auch mechanische Aspekte wie benötigter Bauraum und Integrationsmöglichkeiten betrachtet werden.

5.2.10 Energieverbrauchsanalyse an einem Büro- und Laborgebäude im Rahmen der Optimierung des Qualitäts- und Umweltmanagementsystems einer wissenschaftlichen Einrichtung

(Projektarbeit von Manuel Mainka)

Die vorliegende Arbeit schafft Transparenz bezüglich des elektrischen Energieverbrauchs des Büro-, Labor- und Reinraumgebäudes des Fraunhofer Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementtechnologie. Im theoretischen Teil wurden zunächst die vermeintlichen Großverbraucher durch Pläne und Literaturrecherche identifiziert und anschließend ein passendes Leistungsmesssystem zur Messung der realen Verbrauchswerte ermittelt.

Der praktische Teil behandelt zahlreiche Leistungsmessungen an diversen Verbrauchern. Zunächst wird die gemessene Anlage beschrieben und deren Funktion und Gebrauch erläutert. Es folgt eine Analyse des elektrischen Verbrauchs mit Hilfe der aufgenommenen Messkurven sowie eine kurze Diskussion über die Ursachen der gemessenen Leistung. Falls möglich werden Ansätze für Einsparmöglichkeiten genannt und mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen untermauert.

5.2.11 Entwicklung einer neuartigen Messmethode zur Bestimmung der oberflächennahen Dotierungskonzentration

(Projektarbeit von Jens Pfeiffer)

In der vorliegenden Arbeit wird ein neuartiger Ansatz zur kontaktlosen Bestimmung der oberflächennahen Dotierungskonzentration gezeigt und mittels Messungen mit der VQ-Messmethode der Firma SEMILAB, mit der die elektrischen Eigenschaften von Isolatorschichten auf Siliciumscheiben charakterisiert werden können, experimentell überprüft. Bei dieser Methode wird die Isolator-Oberfläche mittels einer Corona-Entladung schrittweise mit einer definierten elektrischen Ladung belegt und der Halbleiter dadurch in verschiedene Betriebszustände versetzt. Nach jedem Ladungsschritt folgt eine Messung der Potentialdifferenz V_S zwischen der Isolator-Oberfläche und dem Rückseitenkontakt im Dunkeln und unter Beleuchtung. Ausgehend von einer 1-D-Modellierung des Messverfahrens sollten sich in starker Inversion bzw. in Akkumulation konstante Differenzen $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ bzw. $\Delta V_{S,\text{konst,akk.}}$ zwischen den Potentialdifferenzen V_S im Dunkeln und unter Beleuchtung ergeben. Bei ausreichender Beleuchtung sollte $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ mit steigender oberflächennaher Dotierungskonzentration ansteigen und der Betrag von $\Delta V_{S,\text{konst,akk.}}$ mit steigender oberflächennaher Dotierungskonzentration sinken. Anhand der Differenzen $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ bzw. $\Delta V_{S,\text{konst,akk.}}$ könnte somit auf die oberflächennahe Dotierungskonzentration geschlossen werden.

Um diesen Ansatz zu überprüfen, wurden VQ-Messungen an thermisch oxidierten Siliciumscheiben mit unterschiedlichen oberflächennahen Dotierungskonzentrationen von ca. $9 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und jeweils gleicher Grunddotierung durchgeführt. Anhand der Messergebnisse konnte kein Anstieg der Differenz $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ mit steigender Dotierungskonzentration nachge-

wiesen werden. Zum genaueren Verständnis wurde aus den Messergebnissen der Verlauf des Oberflächenpotentials mit der Coronaladung näherungsweise ermittelt. Für niedrige oberflächennahe Dotierungskonzentrationen bis ca. $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung. Hin zu höheren oberflächennahen Dotierungskonzentrationen ergaben sich größere Unterschiede zwischen Messung und Simulation. Mögliche Gründe für diese Unterschiede könnten sogenannte „2D-Effekte“ aufgrund der nur lokalen Beleuchtung sein, welche bei der Simulation nicht berücksichtigt werden. Außerdem könnte das Dotierungsprofil der Scheiben Einfluss auf die VQ-Messungen haben. In Akkumulation ergab sich höchstwahrscheinlich aufgrund geringer effektiver Beleuchtungsstärke während der Messung kein Unterschied zwischen Dunkel- und Hellkurve.

Um einen eventuellen Einfluss des Dotierungsprofils auf die VQ-Messmethode auszuschließen, wurden zusätzlich Messungen an Scheiben mit unterschiedlichen Grunddotierungen von ca. $2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ vorgenommen. Prinzipiell zeigte sich hier, mit Ausnahme extrem hochdotierter Scheiben, ein Anstieg von $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ mit steigender Dotierungskonzentration. Der Grund dafür, warum $\Delta V_{S,\text{konst,inv.}}$ für sehr hohe Dotierungskonzentrationen nicht entsprechend der Simulation weiter ansteigt, könnten wiederum „2D-Effekte“ sein. Die näherungsweise ermittelten Oberflächenpotentiale zeigten für eine mittlere Dotierungskonzentration von ca. $9 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ eine gute Übereinstimmung mit der Simulation. Hin zu niedrigen Dotierungskonzentrationen zeigten sich deutliche Abweichungen von der Simulation. Die genaue Ursache für diese Abweichungen konnte im Rahmen der Arbeit nicht ermittelt werden. Mögliche Ursachen sind die sehr hohen Ladungsträgerlebensdauern bei diesen Scheiben oder Probleme am Rückseitenkontakt auf Grund der geringen Dotierungskonzentration.

5.2.12 Entwicklung eines Steuergeräts zur Ansteuerung eines elektrischen Fliehkraftladers für einen Formular-Student Rennwagen

(Projektarbeit von Andreas Rebelein)

Diese Projektarbeit beschreibt die Entwicklung eines Steuergerätes für einen elektrisch angetriebenen Radialverdichter zur Aufladung eines Formula-Student-Rennwagen.

Im theoretischen Teil wird auf die Ansteuerung des verwendeten bürstenlosen Gleichstrommotors eingegangen, und dessen Verwandtschaft zur permanenterregten Synchronmaschine erläutert. Außerdem werden die Ergebnisse der Recherche zu geeigneten Verfahren zur sensorlosen Kommutierung des verwendeten Elektromotors dargestellt und ihre Vor- und Nachteile diskutiert.

Des Weiteren wird die Entwicklung der Hard- und Software eines geeigneten Steuergerätes dokumentiert, von der Bauteileauswahl, der thermischen Auslegung bis zum Entwurf der Schaltung und Software, in der ein Verfahren zur sensorlosen Kommutierung implementiert ist.

Abschließend werden Ergebnisse der praktischen Umsetzung aufgezeigt, welche Grenzen und Probleme sich aus dem verwendeten Verfahren in Verbindung mit dem entwickelten Steuergerät ergeben haben, und vorgeschlagen, wie diese vermindert werden können.

5.2.13 Gatestapel und Reinigungsverfahren auf Germanium

(Projektarbeit von Maximilian Rumler)

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Metall-Isolator-Halbleiter-Kondensatoren auf Germanium mit verschiedenen Kombinationen von Reinigungsverfahren und Gatestapeln gefertigt. Die Bauelemente wurden hinsichtlich ihrer elektrischen und physikalischen Eigenschaften charakterisiert.

Bei der Prozessierung wurden drei verschiedene Reinigungen eingesetzt. Neben der zyklischen Reinigung mit Flusssäure (HF) und deionisiertem Wasser, sowie einer Reinigungslösung aus Salzsäure (HCl) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) handelte es sich dabei um einen vom Betreuer der Arbeit entwickelten Reinigungsprozess. Dieser beinhaltet nach einer Eingangsreinigung mit Aceton die sequentielle Anwendung von HCl, H_2O_2 und HF.

Als Dielektrika für die Kondensatoren kamen Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Hafniumdioxid (HfO_2) zum Einsatz. Die Isolatorschichten wurden mittels Atomlagenabscheidung, beziehungsweise metallorganischer Gasphasenabscheidung, erzeugt. Anhand ausgewählter Proben wurden die Auswirkungen einer vor der Isolatorabscheidung aufgetragenen Passivierungsschicht untersucht. Dazu wurde auf manchen Proben vor der Abscheidung des Aluminiumoxids durch thermische Oxidation eine Schicht aus Germaniumdioxid (GeO_2) erzeugt. Analog wurden bei der Abscheidung von HfO_2 zum Teil Substrate mit vorher aufgetragenen Siliciumschichten verschiedener Dicken verwendet.

Zur Charakterisierung der gefertigten Kondensatoren wurden Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien und Leckstromkurven der Bauelemente aufgenommen. Dabei zeigten die Proben mit HfO_2 -Isolator ein wesentlich schlechteres Verhalten als die Kondensatoren bei denen Al_2O_3 zum Einsatz kam. Auch die untersuchte Siliciumpassivierung konnte das elektrische Verhalten der Bauelemente mit Hafniumdioxid nicht wesentlich verbessern. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass sich die Passivierungsschicht aus Germaniumdioxid positiv auf die Grenzflächenzustandsdichte und die Durchbruchspannung der Bauelemente auswirkt. Zusätzlich zur elektrischen Charakterisierung wurde die Minoritätsladungsträgerlebensdauer der Proben mittels Microwave Photoconductivity Decay (μPCD) bestimmt.

In der Summe der Resultate der elektrischen Untersuchung und der gemessenen Lebensdauern lieferte die zyklische Reinigung mit HF und deionisiertem Wasser die vielversprechendsten Ergebnisse. Bei Anwendung der Mischung aus HCl und H_2O_2 trat hingegen eine lokale Anätzung der Substratoberfläche auf. Der mehrstufige Reinigungsprozess zog eine vergleichsweise hohe Grenzflächenzustandsdichte nach sich.

5.2.14 Konzeption und Fertigung eines universellen, autarken und mobilen Solarladegerätes für mobile Kleinverbraucher

(Projektarbeit von Ludwig Schirmacher)

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde ein Konzept zur Entwicklung und Realisierung eines universellen Solarladegerätes entworfen und darauf aufbauend ein Demonstrator hergestellt. Dieses Ladegerät ermöglicht es Verbraucher wie zum Beispiel Mobiltelefone, MP3 Player oder sogar Netbooks mit Energie, die aus dem Umgebungslicht bezogen wird, möglichst effizient und schnell aufzuladen. Die wichtigsten Eigenschaften sind dabei eine relativ geringe Baugröße, Handlichkeit, mechanische Robustheit und eine hohe Lebensdauer. Da am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente im Rahmen des Praktikums „Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente“ für Lehrzwecke Solarzellen prozessiert werden, wurden diese zu einem Modul verbaut. Dieses

Solarmodul erreicht eine Ausgangsleistung von 1,9 W. Zwischen Modul und Ausgang des Solarwandlers ist eine Steuerelektronik geschaltet, die für Batterielademanagement und gewünschte Ausgangsspannung sorgt. Es wurde ebenfalls eine Regelelektronik entwickelt und aufgebaut, die die Spannung am Solarmodul auf einem konstanten Wert halten soll. Die Regelelektronik wurde auf Basis von Simulationsergebnissen entwickelt. Es stellte sich im Nachhinein heraus, dass ein wichtiger Bestandteil dieses Reglers in der Realität deutlich von den Simulationsparametern abwich. Somit konnte die Regelung anhand des aufgebauten Demonstrators nicht getestet werden. Jedoch wird ein neuer Lösungsansatz geliefert. Der entwickelte Demonstrator ist in der Lage, einen Kleinverbraucher von 0,3 W zu versorgen und gleichzeitig einen Akkumulator zu laden.

5.2.15 Untersuchung der Oxidation von Germanium

(Projektarbeit von René Schramm)

Die niedrige Beweglichkeit von Löchern in Silicium und die Ablösung von Siliciumdioxid als Gatedielektrikum durch hoch- ϵ -Schichten führen zu einem wachsenden Interesse an Germanium aufgrund seiner höheren Beweglichkeit als Material für MOS-Transistoren im Gatebereich. Die Frage der Oberflächenpassivierung hat dabei eine zentrale Bedeutung für die Herstellung höchstintegrierter Bauelemente mit kleinen Leckströmen.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der Oxidation von Germanium und die elektrische Charakterisierung hergestellter Germaniumoxidschichten.

5.2.16 Entwicklung eines Simulationsmodells für die thermische Untersuchung einer elektrischen Antriebseinheit für Elektro- und Hybridfahrzeuge

(Projektarbeit von Hans Schwanenberg)

Hybridantriebe erweitern den klassischen Antriebsstrang von Fahrzeugen um elektrische Maschinen, wodurch völlig neue Antriebsstrategien ermöglicht werden. Bei der Nutzung bestehender Fahrzeugplattformen steht für die Integration der elektrischen Maschinen meist nur ein begrenzter Einbauraum zu Verfügung. Die hohen Drehmoment- und Drehzahlanforderungen verlangen somit nach elektrischen Maschinen mit einer sehr hohen Leistungsdichte, die sich mit einer Flüssigmantelkühlung realisieren lassen. Für die Simulation des thermischen Verhaltens einer Asynchronmaschine, die diese Anforderungen erfüllt, wurde in dieser Projektarbeit ein Wärmeleitmodell in Matlab/SIMULINK entwickelt. Alle neu erstellten Simulationskomponenten wurden in der neuen Matlab/SIMULINK-Bibliothek „Heat Flow“ zusammengefasst, um die zukünftige Modellierung vergleichbarer Maschinen zu erleichtern. Es wurden bereits an der Asynchronmaschine durchgeführte Temperaturmessungen mit den Simulationsergebnissen verglichen, um die Qualität des Wärmeleitmodells zu evaluieren. In dieser Projektarbeit werden der Aufbau des Wärmeleitmodells vorgestellt und die Simulationsergebnisse diskutiert.

Diese Arbeit ist Teil des interdisziplinären Gruppenprojektes TechFak EcoCar (siehe Abschnitt 7.1.3).

5.2.17 Rechnerunterstützte Auswertung von Diodenkennlinien

(Projektarbeit von Leander Sturm)

Mittelpunkt dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Anwendung zur rechnergestützten Auswertung von Diodenkennlinien, welche unabhängig vom Betriebssystem einsetzbar ist und ohne zusätzliche Software verwendet werden kann. Die Applikation soll es dem Anwender ermöglichen, bei geringem Zeitaufwand die Eigenschaften einer Diode aus deren Kennlinie zu extrahieren, ohne dass hierfür tiefere Vorkenntnisse von Nöten sind. Im Zuge dieser Arbeit werden zunächst die theoretischen Grundlagen einer Halbleiterdiode erörtert und anschließend ein parametrisiertes Modell einer realen Halbleiterdiode erarbeitet.

Das erarbeitete Modell stellt die Grundlage für die rechnergestützte Auswertung von gemessenen Diodenkennlinien dar. Über die Parameter wird das mathematische Modell in die einzelnen Messpunkte eingepasst. Dieser Prozess, der als Kurvenanpassung bezeichnet wird, stellt ein weiteres zentrales Theoriekapitel dieser Arbeit dar. In diesem Zuge werden mit dem Levenberg-Marquardt- und Nelder-Mead-Algorithmus zwei Algorithmen vorgestellt, die sich für die Lösung des Problems der Kurvenanpassung nutzen lassen und in der entwickelten Applikation implementiert wurden.

Des Weiteren werden die Implementierungen der beiden Algorithmen auf ihre praktische Tauglichkeit geprüft und miteinander verglichen. Zusätzlich werden verschiedene Problemfelder der Kurvenanpassung, sowohl im Allgemeinen als auch im Speziellen für die Diodenkennlinie, erörtert und Lösungsansätze präsentiert.

5.2.18 Realisierung eines CAN-Bootloaders mit graphischer Benutzeroberfläche (GUI) zur Programmierung von Atmel Controllern in einem modular aufgebauten Batteriemanagementsystem

(Studienarbeit von Thomas Thönes)

Microcontroller-basierte Diagnose- und Steuerungssysteme nehmen eine zunehmend wichtigere Rolle in modernen Kraftfahrzeugen ein. Der Austausch der programmierten Firmware, um Software-Fehler zu beheben oder neue Funktionalitäten nachzurüsten, ist sowohl im Entwicklungsprozess als auch im Produktlebenszyklus ein essentieller Vorgang. Die nötige Demontage eines Automobils, um die für den Programmiervorgang vorgesehenen Hardware-Schnittstellen zu erreichen, ist zeit- und kostenaufwändig und stellt im Falle moderner Elektro- oder Hybridfahrzeuge aufgrund der hohen auftretenden elektrischen Spannungen im Batteriesystem eine Gefahr für den Monteur dar. In dieser Arbeit wurde eine Lösung erarbeitet, die den Programmiervorgang der Prozessoren über den fast immer vorhandenen und von außen leicht zugänglichen CAN-Bus erlaubt. Als Basis wurde der von der Firma Atmel unter einer Open-Source-Lizenz herausgegebene CAN4K-Bootloader gewählt und so angepasst, dass er die gestellten Anforderungen erfüllt. Diese ergaben sich aus einem am Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie entwickelten Batteriemanagementsystems, das für den Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen vorgesehen ist und unter anderem im studentischen Projekt TechFak EcoCar eingesetzt wird. Zusätzlich wurde eine benutzerfreundliche grafische Benutzeroberfläche entwickelt, die das sequentielle Programmieren einer ganzen Reihe von Mikroprozessoren erlaubt.

5.2.19 Untersuchungen zum Einfluss der Luftströmung in einer Konvektionslötanlage auf hochminiaturisierte elektronische Bauelemente

(Projektarbeit von Adam Tokarski)

Eine angepasste Prozessführung gewinnt mit dem Einsatz von Bauelementen mit feinsten Anschlussstrukturen immer größere Bedeutung, da die Anzahl der verschiedenen Bauelemente-größen konstruktionsbedingt weiter ansteigt. So besteht die Gefahr, dass hochminiaturisierte Bauelemente aufgrund der geringen Größe und des geringen Gewichts „verblasen“ werden können und es so zu Fehlkontaktierungen kommt.

Im Rahmen dieser Projektarbeit soll dieses neue Fehlerbild, das durch die Mischbestückung von Bauelementevarianten entsteht, beurteilt werden. Hierzu wird ein geeigneter Schaltungsträger mit einem entsprechenden Bauelementespektrum entworfen. Mit Hilfe der Simulation sollen dann die Strömungsverhältnisse auf der elektronischen Baugruppe während des Konvektionslötens mit unterschiedlichen dynamischen Lötprofilen dargestellt werden. Über die Bestimmung der auf hochminiaturisierte Bauelemente wirkenden Kräfte soll dann die Gefahr des Verblasens der Komponenten beurteilt werden. Praktische Versuche unterstützen die Untersuchungen.

Die Arbeit enthält folgende Punkte

- Auswahl eines geeigneten Bauelementespektrums und Entwurf eines Schaltungsträgers
- Auswahl verschiedener, auch hochdynamischer Lötprofile
- Erstellung eines Simulationsmodells mit Hilfe der Software FloTherm
- Beurteilung der Strömungsverhältnisse auf dem Schaltungsträger
- Ermittlung der auf die Bauelemente wirkenden Kräfte
- Abschätzung der Gefahr des Verblasens von Bauelementente

5.2.20 Heißprägen von thermisch leitfähigen Thermoplasten für MID-Anwendungen

(Projektarbeit von Stefanie Trautner)

Die Bauweise heutiger elektronischer Baugruppen wird stetig kompakter und es werden zunehmend mehr Funktionen integriert. Die Technologie spritzgegossener, dreidimensionaler, thermoplastischer Schaltungsträger, sogenannte MIDs (engl. **M**olded **I**nterconnect **D**eVICES), vereinigt mechanische und elektrische Eigenschaften und bietet ein großes Einsatzspektrum. Die Vereinbarkeit ist darin zu sehen, dass das Spritzgussteil gleichzeitig als Gehäuse mit integrierten mechanischen Trage-, Funktions- und Montageelementen dient und die metallischen Leiterbahnen direkt auf diesen dreidimensionalen Bauteilträger aufgebracht werden. Ziel dieser Arbeit war die Analyse der Heißprägetechnik bei thermisch leitfähigen Thermoplasten hinsichtlich ihrer Eignung für MID-Anwendungen. Dazu wurden Schaltungsträger aus reinem PA6 und aus PA6+20, 30, 40 und 50 Vol-% Al₂O₃-Compounds in systematischen Versuchsreihen heißgeprägt, um Prozessfenster für optimale Prägeparametereinstellungen zu finden.

Allgemein lässt sich festhalten, dass mit ansteigendem Füllstoffgehalt höhere Prägetemperaturen benötigt werden, um den Werkstoff ausreichend aufzuschmelzen. Mit steigender Vol.-%-Zahl wird auch ein höherer Druck notwendig, um die Kupferfolie fehlerfrei auszuscheren. Der Grund, warum es bei gleichen Prägeeinstellungen angussnah und -fern zu differierenden Werten kommt, konnte in dieser Arbeit nicht vollständig geklärt werden. Dafür sind genauere Untersuchungen

der Füllstoffverteilung notwendig. Hierbei müssen tiefergehende Analysen der Materialstruktur nach dem Spritzguss vorgenommen werden.

5.2.21 Entwicklung eines isolierenden resonanten DC/DC-Wandlers für Gatetreiber-Anwendungen in elektrischen Antriebssträngen

(Studienarbeit von Zhenying Wang)

Mit der zunehmenden Hybridisierung bzw. Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen steigt der Anteil von leistungselektronischen Systemen in mobilen Anwendungen stark an. Hierbei erfordern insbesondere die vorzugsweise einzusetzenden Hochvolt-Leistungsbaulemente (IGBT, MOSFET) spezielle galvanisch isolierende Ansteuerschaltungen (Gatetreiber). Ein wesentlicher Bestandteil dieser Ansteuerschaltung ist die galvanisch getrennte Spannungsversorgung zur Gateansteuerung. In dieser Arbeit wird hierfür eine resonante CLL-Topologie untersucht, dimensioniert und getestet.

5.2.22 Entwicklung und Charakterisierung von Ansteuerungskonzepten für OLED-Beleuchtungsmodule

(Studienarbeit von Jasmin Weber)

Diese Arbeit beschreibt die Entwicklung eines Systems, das sich zur Ansteuerung von organischen Leuchtdioden (OLEDs) eignet und durch einfache Modifikationen universell an neue Anforderungen, wie andere Leuchtmittel o.ä., angepasst werden kann.

Das hierzu entwickelte Konzept enthält neben einer Steuer- und Regeleinheit eine Versorgungseinheit, die die nötigen Spannungen und Ströme zur Versorgung der OLED bereitstellt.

Für die Steuer- und Regeleinheit wurden ein geeignetes Field-Programmable-Gate-Array (FPGA) und ein zugehöriges Development-Board ausgewählt. Aufgrund deren Eigenschaften konnte die benötigte Versorgungseinheit auf einer separaten Platine mit Hilfe eines Buck-Konverters realisiert werden. Diese enthält außerdem einen Schaltungsteil zur Messdatenerfassung für Regelungsaufgaben.

Neben der reinen Hardwareentwicklung war auch der Entwurf einer geeigneten Software Aufgabe der Arbeit. Hierzu wurde ein Ansteueralgorithmus entwickelt, der das Dimmen einer OLED ermöglicht. Die Helligkeit der OLED wird dabei mit Hilfe zweier Taster über die Pulsweite eines Rechtecksignals eingestellt.

Die implementierte Anwendung hat gezeigt, dass die entwickelte Ansteuerumgebung für den Einsatz von OLEDs geeignet ist.

5.3 Diplomarbeiten 2009

5.3.1 Lademanagement für ein elektrifiziertes Fahrzeug

(Diplomarbeit von Bastian Altendorfner)

Diese Arbeit befasst sich mit der funktionalen Entwicklung eines Hochvolt-Batterielademanagements für ein elektrifiziertes Fahrzeug. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf der

Ladeablaufsteuerung. Als Implementierungsgrundlage dient eine Fahrzeugarchitektur der AUDI AG.

Der erste Teil der Arbeit beschreibt das Vorgehen und die verwendeten Methoden und Werkzeuge. Als Grundlage dient ein V-Modell, das an die entsprechenden Bedürfnisse dieser Arbeit angepasst wird. Die Ebenen des V-Modells und die damit korrespondierenden Werkzeuge werden erklärt.

Der zweite Teil beginnt mit einer Anforderungsanalyse und einer Normenrecherche. Darauf aufbauend werden die Anforderungen in einem sukzessiven und iterativen Verfahren von abstrakten Anwendungsfällen über Schnittstellenidentifikation hin zu einer Funktionsarchitektur entwickelt. Zuerst wurde ein allgemein gültiges System zugrunde gelegt, anschließend eine Fahrzeugarchitektur der AUDI AG, um eine Umsetzung auf ein Prototypensteuergerät zu ermöglichen. Nach Abschluß der Umsetzung wird die entworfene und umgesetzte Funktion in mehreren Testschleifen auf Vollständigkeit, Korrektheit und Übereinstimmung mit der Anforderungsanalyse hin überprüft.

5.3.2 Optimierung eines optischen Prüfsystems zur Schweißpunktkontrolle an Common-Rail-Injektoren

(Diplomarbeit von Benjamin Dittmann)

Im Zuge der voranschreitenden Automatisierung in der Automobilindustrie werden immer mehr Tätigkeitsbereiche von teil- oder vollautomatisierten Systemen erschlossen. Dabei werden vorrangig zwei Ziele verfolgt: Langfristige Kostenreduzierung und gleichzeitige Qualitätssicherung. So werden bei der Robert Bosch GmbH im Werk Bamberg für einfache Prüfaufgaben von gefertigten Komponenten bereits automatische optische Inspektionen eingesetzt. Durch Weiterentwicklungen im Bereich der digitalen Bildverarbeitung sollen künftig auch Qualitätsprüfungen komplexer Werkstücke von vollautomatisierten Systemen übernommen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein automatisches optisches Prüfsystem entwickelt und in die Montagelinie für die Serienfertigung der Magnetbaugruppe von Common-Rail-Injektoren integriert. Die Montage der Magnetbaugruppe umfasst verschiedene Typen bei hoher Stückzahl. Zur automatischen Prüfung für dieses Aufgabengebiet wurde bereits in Vorarbeiten ein Verfahren zur Schweißpunktprüfung evaluiert und in einem ersten Prototyp der Prüfstation realisiert.

Ziel dieser Entwicklungsarbeiten war es, mit Integration einer automatischen Schweißpunktprüfung eine kurze Serientaktzeit einzuhalten und dabei die Schweißpunkte so zu bewerten, dass keine Schlechtschweißungen als gut und nur wenige Gutschweißungen als schlecht erkannt wurden. Als bildgebende Verfahren der optischen Prüfung wurden Durchlicht- und Auflichtaufnahmen seitlich zum Werkstück sowie Streifenlichtprojektion frontal zum Schweißpunkt eingesetzt. Zur Bewertung der Durchlichtaufnahmen wurden geometrische Längenmaße der Schweißnaht definiert, mit welchen eine Zuordnung von Schlecht- und Gutschweißungen erfolgte. Da mit den seitlichen Durchlichtaufnahmen einige Schlechtschweißungen nicht erkannt werden konnten, sollten diese durch die Analyse von Streifenprojektionsaufnahmen gefunden werden. Nach Serienintegration der Schweißpunktprüfung wurde eine Fehlerhäufigkeitsanzeige konzipiert und realisiert, um über eine Korrelation zum Schweißprozess dem Fertigungspersonal eine mögliche Hilfestellung zur Verbesserung der Schweißnahtgüte zu geben. Die Erprobung des

Gesamtsystems umfasste eine Serienprüfung von mehreren zehntausenden Magnetbaugruppen für verschiedene Magnetbaugruppenvarianten. Bei Prüfung in der Serientaktzeit wurden keine Schlechtschweißungen als gut und nur ein geringer Anteil der Gutschweißungen als schlecht bewertet. Das Ziel der automatischen optischen Serienprüfung wurde somit erreicht und könnte in Zukunft durch die Umsetzung der in der Arbeit genannten Maßnahmen weiter optimiert werden.

5.3.3 Analyse des Effekts der Eigenerwärmung elektronischer Bauelemente auf deren Zuverlässigkeit an Einsatzorten mit erhöhter Temperaturbelastung

(Diplomarbeit von Hannes Greve)

In dieser Arbeit wird der Effekt der Eigenerwärmung elektronischer Bauelemente auf deren Zuverlässigkeit an Einsatzorten mit erhöhter Temperaturbelastung analysiert. Es wurden zwei Typen von Dummy-Bauelementen entwickelt, die sich in Anzahl und Größe der Lotbälle unterschieden. In die Bauteile integrierte Daisy-Chain-Verbindungen ermöglichten eine Überwachung der Lotstellenzuverlässigkeit während des Testens. Als Wärmequellen dienten in die Bauelemente integrierte Heizelemente aus Silicium.

Zwei Versuchsreihen aktiven Zykeln mit einer Zykluszeit von fünf bzw. drei Minuten mit 4000 bzw. 6000 Zyklen wurden durchgeführt. Die Temperaturprofile wurden mit dem eines passiven Zyklus einer Zykluszeit von 30 Minuten verglichen. Die Überwachung der Daisy-Chain-Verbindungen sowie die Entnahme von Bauelementen alle 1000 Zyklen zur Anfertigung von Schlifffildern ermöglichte eine lückenlose Dokumentation der Alterung der Lotstellen.

Die Untersuchungen zeigen, dass das thermische Verhalten der Bauelemente beim aktiven Zykeln vom passiven Zykeln abweicht. Das Belasten der Bauelemente mit einem bauteilexternen Temperaturprofil führte zu einer homogenen Erwärmung. Demgegenüber erwärmte sich die Baugruppe bei Eigenerwärmung heterogen. An den Lotstellen war die Spannweite der Temperaturen innerhalb eines Testzyklus gering. Dies führte zu einem langsamen Wachstum intermetallischer Phasen. Weiterhin war die mechanische Last, die auf die Lötstelle wirkte, für das aktive Zykeln wesentlich geringer als für das passive. Keines der getesteten Bauteile zeigte einen elektrischen Defekt, Rissbildung in den Lotstellen trat nicht auf.

Das Schadenspotential von bauteilexterner und Eigenerwärmung unterscheidet sich für die untersuchte Bauteilklasse erheblich. Die Zuverlässigkeit der Bauteile unter Anwendungsbedingungen, die sich aus aktiver und passiver Erwärmung zusammensetzen, ist nur begrenzt mit einem der beiden Testverfahren vorhersagbar.

5.3.4 Lunkerentstehung und Benetzungsverhalten in bleifreien Lotsystemen für Bare-Die-Leistungsbaulemente

(Diplomarbeit von Silke Kraft)

Beim Aufbau von Leistungselektronik mit Bare-Die-Bauelementen kommen Zinn-basierte Lotverbindungen zum Einsatz. Für eine hohe Zuverlässigkeit des Aufbaus sind gute Lötqualitäten erforderlich. Die Bildung von Lunkern durch Gasaustritte aus der Lotpaste führt zu einer schlechteren Wärmeableitung durch die Lotverbindung. Die Wärmeableitung ist ein wichtiges Maß für die Lötqualität. Das Verständnis der Lunkerentstehung ist deshalb für ein lunkerfreies

Löten essentiell wichtig.

Um die Ursachen der Lunkerbildung und die Benetzung der Oberflächen während des Lötvorgangs mit bleifreien Lotsystemen besser zu verstehen, werden Untersuchungen an Aufbauten aus metallisierten Bare-Die-Bauelementen, einem bleifreien Lot und einer Cu- bzw. Au-DCB (Direct Copper Bond) mithilfe von Röntgenbildern, optischer, Rasterelektronen- und Focused-Ion-Beam-Mikroskopie durchgeführt und die Wanderung der Lunker bei mehrfachem Löten betrachtet. Zudem wurden Benetzungsversuche mit dem Lot durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden mittels statistischen Auswertverfahren evaluiert. Dabei wurde auf den Einfluss des Lotsystems, der Kontaktmetallisierung der Bauteile und der Trägerplatte eingegangen. Ebenso wurde der Einfluss von intermetallischen Phasen berücksichtigt und auch die Ortsauflösung der Lunker nach den jeweiligen Lötsschritten analysiert.

Röntgenbilder zeigen zwei Arten von Lunkern in der Lotverbindung: zum einen runde, geschlossene Lunker, die sich nur wenig in ihrer Position und Größe ändern, und zum anderen offene, fjordartige Lunker, die größer sind als die geschlossenen Lunker und schneller wachsen als diese.

5.3.5 Recherchen und Untersuchungen zu Lebensdauermodellen für Pb-Gel Akkus

(Diplomarbeit von Linh Nguyen)

Anhand der vorliegenden Untersuchungen sollen einerseits Zusammenhänge zwischen dem Lade- und Gesundheitszustand von Blei-Gel-Batterien und anderen Batteriekenngrößen sowie verschiedenen Betriebsparametern wie Entladestrom, Temperatur und außergewöhnliche Belastung durch Tiefentladung aufgestellt werden. Andererseits gilt es für den Anwendungsbereich der Blei-Gel-Batterien als Reservebatterien in unterbrechungsfreien Stromversorgungen und ähnlichen Notsystemen eine geeignete Messmethode zu finden, um die beiden wichtigsten Kenngrößen (Lade- und Gesundheitszustand) zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wird ein Blick auf den aktuellen Stand der Technik in der Zustandsdiagnose von Bleibatterien im Allgemeinen geworfen. Ihre Vor- und Nachteile werden erörtert und mit den gesetzten Anforderungskriterien für eine eigene Implementierung erwogen. Die Messung:

- muss praktisch einfach durchführbar sein und sich auf leicht zugängliche Batterieparameter wie Strom und Spannung stützen,
- muss online durchführbar sein,
- darf weder die zu testenden Batterien noch das anhängende System belasten.

Unter diesen Gegebenheiten wird schließlich die Zwei-Impulsstrom-Methode zur Untersuchung der Blei-Gel-Batterien implementiert. Neben den Batterien wird auch die Methode getestet und ihre Schwächen und Potentiale zur Zustandsbestimmung von Blei-Gel-Batterien identifiziert.

5.3.6 Entwicklung eines luftgekühlten Leistungsteils für einen bidirektionalen 50 kW DC/DC-Wandler

(Diplomarbeit von Veit Pfättisch)

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein luftgekühltes Leistungsteil für einen bidirektionalen 50 kW DC/DC-Wandler entwickelt. Als CAD System wurde „Pro/Engineer“ verwendet. Die

Teile wurden anschließend gefertigt und der Wandler aufgebaut. Zudem wurden Messungen zum thermischen Verhalten durchgeführt. Die Messungen bestätigten die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Konzepts. Die Herausforderung bei dieser Arbeit bestand darin, einen möglichst kompakten Aufbau zu realisieren. So wurden thermische, mechanische und auch elektrische Problemstellungen bearbeitet. Durch die Verwendung von Heatpipes ließen sich die Forderung nach geringem Bauvolumen und die thermischen Schwierigkeiten lösen. Besonderer Wert wurde zudem auf die einfache Fertigung der Bauteile gelegt. Einige Teile wie das Leistungsmodul, die Gatetreiber und die Spulen wurden von einem bestehenden Wandler übernommen. Es wurden einige neue technische Lösungen erarbeitet und spezielle Bauteile konstruiert, da handelsübliche Systeme nicht die erforderlichen Eigenschaften aufwiesen. Der Wandler soll in einem experimentellen Testfahrzeug mit Hybridantrieb verbaut werden.

5.3.7 Entwicklung eines Simulationsmodells für Elektrofahrzeuge

(Diplomarbeit von Sven Pöhlmann)

Diese Diplomarbeit ist im Rahmen des interdisziplinären EcoCar-Gruppenprojekts (siehe Abschnitt 7.1.3) entstanden. Das Ziel dieses studentischen Projekts ist die Auf- und Umrüstung des elektrischen Antriebsstrangs eines Elektrofahrzeugs mit modernen leistungselektronischen Baugruppen. Mittels einer leistungsstarken Simulationsumgebung müssen zunächst verschiedene Lösungsansätze untersucht und im Hinblick auf ein geeignetes Umrüstungskonzept verglichen werden. Hierfür wird mit der Software MATLAB/Simulink ein Modell zur Simulation des elektrischen Antriebsstrangs inklusive der notwendigen Nebensysteme erstellt. Zur komfortablen Bedienung wird mit einem Zusatzprogramm von MATLAB eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) entwickelt, mit der sich das gesamte Modell übersichtlich und leicht konfigurieren lässt. Danach werden Datensätze von Antriebskomponenten und ausgewählten Beispielfahrzeugen angelegt und in dem Modell anhand unterschiedlicher, genormter Fahrzyklen nach verschiedenen Kriterien untersucht und bewertet.

Die durchgeführten Untersuchungen betrachten vorab die Fahrzyklen hinsichtlich der zum Folgen des Geschwindigkeitsprofils notwendigen Leistungen genauer. Hieraus werden Erkenntnisse über die Auslegung des Antriebs gewonnen. Aufbauend auf diesen wird mit dem Simulationsmodell eine Reihe von Studien durchgeführt. Diese Studien beschäftigen sich mit dem Rekuperationsvermögen des elektrifizierten Antriebs in unterschiedlichen Fahrsituationen und dem Einfluss von Aerodynamik und Gewicht ausgewählter Beispielfahrzeuge auf den Fahrwiderstand und damit den Energieverbrauch und die Reichweite. Weitere Studien überprüfen, wie sich die Skalierung der Akkugröße und das Einschalten winter- bzw. sommertypischer Nebensysteme (Verbraucher) auf den Energieverbrauch und die erzielbare Reichweite eines Elektrofahrzeugs bei verschiedenen Fahrzyklen auswirken.

5.3.8 Herstellung von Submikrometer-Transistoren mittels Kontaktbelichtung

(Diplomarbeit von Erik Teuber, FH Aschaffenburg)

Durch die zunehmende Miniaturisierung integrierter Bauelemente weit in den Bereich unterhalb von 100 nm ist die Erzeugung feiner Strukturen durch einen einzelnen Lithographieschritt nicht mehr möglich. Aufgrund dieser Problemstellung ist die Aufteilung der Strukturierung in zwei Herstellungsschritte (Doppellithographie) ein praktikabler Lösungsansatz. Die Doppellithogra-

phie bietet die Möglichkeit, Strukturen mit Breiten herzustellen, die deutlich unterhalb der Auflösungsgrenze einer Belichtungsanlage liegen.

In der Diplomarbeit wird diese Technik angewandt, um mit einer Kontaktbelichtungsanlage (Süss Microtec MA-6) Kurzkanal-Transistoren herzustellen, deren Gatelänge unterhalb der Auflösungsgrenze von 2 μm liegen. Für die Realisierung der Bauelemente wird ein 250 nm CMOS-Prozess mittels ICECREM-Simulationen und Testprozessen angepasst. In den Testprozessen wurden verschiedene Varianten der Doppellithographie analysiert und die Anwendbarkeit für MOS-Transistoren untersucht.

In den Experimenten konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, MOS-Transistoren mit Gatelängen unterhalb von 1 μm herzustellen. Dabei konnten Ladungsträgerbeweglichkeiten und Einsatzspannungen erreicht werden, die mit Literaturwerten der 250 nm CMOS-Technologie vergleichbar sind.

5.3.9 Alternative Materialien und Prozesse für kostengünstige Elektronik-Anwendungen

(Diplomarbeit von Patrick Thoma)

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit alternativen Herstellungsmethoden für kostengünstige Elektronik mit Hilfe von verschiedenen Druckverfahren. Es wurde eine umfangreiche Recherche in wissenschaftlichen Datenbanken durchgeführt, die Ergebnisse wurden kompakt zusammengefasst. Ziel der Arbeit ist es, den aktuellen Stand der Technik und die zukünftigen Entwicklungschancen in diesem Bereich aufzuzeigen.

In der Einführung in das Thema der gedruckten Elektronik wird ein Vergleich zwischen der anorganischen und der organischen gedruckten Elektronik gezogen, es werden gängige herkömmliche Verfahren zum Aufbringen von dünnen Schichten kurz erläutert, sowie auf die Probleme und Anforderungen beim Druck der verschiedenen Bauelemente eingegangen.

Das Funktionsprinzip von derzeitig eingesetzten Standarddruckverfahren wird umfangreich erläutert, die jeweiligen Vor- und Nachteile herausgearbeitet und in einem anschließenden Vergleich eine Aussage darüber getroffen, welche Druckverfahren sich für die gedruckte Elektronik besonders gut eignen. Bei der Untersuchung möglicher Materialien für die gedruckte Elektronik werden ausschließlich anorganische Materialien untersucht. Hierbei werden Leiter, Halbleiter und Isolatoren separat behandelt und für jedes Material aktuelle wissenschaftliche Versuche angegeben. Hauptpunkte für die Untersuchung sind, neben den elektrischen Anforderungen an das Material, auch deren flüssige Prozessierbarkeit, die minimale Prozesstemperatur und die Materialkosten.

Von den Einsatzmöglichkeiten der gedruckten Elektronik werden exemplarisch die allgemein als sehr aussichtsreich geltenden Anwendungen RFID, Display und Photovoltaik genauer betrachtet, deren Funktion erläutert und auf Probleme und Anforderungen bei der Realisierung eingegangen.

5.3.10 Untersuchungen zur Stromerfassung in Hoch-Tiefsetzstellern mittels Spulenwiderstand

(Diplomarbeit von Thilo Winkelmann)

In dieser Arbeit wird die Stromerfassung in Hoch-Tiefsetzstellern mit Hilfe des Innenwiderstands der Spule untersucht. Hierzu wird eine Kompensationsschaltung verwendet, bei der die Spannung über eine parallel zur Spule geschaltete Kapazität gleich der Spannung über dem Innenwiderstand der Spule ist. Mit Kenntnis des Innenwiderstands lässt sich der Spulenstrom berechnen. Frequenzabhängigkeit, parasitäre Eigenschaften und Änderungen der Bauelementewerte aufgrund von Temperatur und hohen Spulenströmen werden simuliert. Anschließend werden die theoretischen Aussagen mit praktischen Messergebnissen verifiziert. Da die Spannung an der Spule des Hoch-Tiefsetzstellers sich um den Betrag der Eingangsspannung sprunghaft ändert, wird zur Auswertung der kleinen Messspannung die gesamte Messschaltung galvanisch getrennt. Zur Realisierung einer störsicheren, galvanisch getrennten Übertragung des Messsignals wird diese in ein pulsweitenmoduliertes Signal umgewandelt.

5.4 Diplom- und Masterarbeiten 2010

5.4.1 Optimierung von Polarisationsfiltern in der Lithographie

(Diplomarbeit von Alaixandr Barenbaum)

In dieser Arbeit wurden Dünnfilm-Polarisationsteiler mit Hilfe eines Mehrzieloptimierungsverfahrens optimiert. Dabei kam ein lokales SQP-Verfahren (engl. **S**equential **Q**uadratic **P**rogramming) zum Einsatz. Im Vergleich mit bisherigen Arbeiten wurde das Optimierungsproblem zumeist mit Hilfe von globalen probabilistischen Optimierungsverfahren wie genetischen Algorithmen oder simulierter Abkühlung gelöst. Der Nachteil dieser Verfahren ist, dass die sich ergebenden Lösungen ungeordnet im Lösungsraum verteilen. Da *a priori* nichts über den Lösungsraum bekannt ist, musste das SQP-Verfahren mit einer geeigneten Skalarisierungsmethode erweitert werden, um eine gewünschte Verteilung der Lösungen auf der Optimalitätskurve, der Pareto-Kurve, zu erhalten.

In dieser Arbeit wurden zwei Methoden untersucht: die constraint-Methode und die adaptive-constraint-Methode. Letztere zeichnet sich dadurch aus, dass sie erlaubt, aus der Menge aller Pareto-optimalen Lösungskandidaten eine Lösung auszuwählen. Daher wurde sie in dieser Arbeit zusammen mit einem neu konzipierten Lösungsauswahlverfahren implementiert. Zur Verbesserung der Stabilität und Herstellbarkeit wurden einige Methoden wie Lagrange-Koeffizient-Variationen und eine Sensitivitätsanalyse entworfen und realisiert. Die implementierten Verfahren wurden in dieser Arbeit zuerst mit Hilfe von mathematischen Testfunktionen getestet und danach auf Polarisationsplitter aus vergleichbaren Arbeiten sowohl als zwei bikriterielle als auch zwei multikriterielle Optimierungsprobleme angewendet, wobei deutliche Verbesserungen gegenüber Ergebnissen vergleichbarer Arbeiten erzielt wurden.

Bei der Lösung des Optimierungsproblems als zwei bikriterielle Optimierungsprobleme ist bei dem Breitband-Polarisationssplitter die Anzahl von Schichten viel kleiner als in entsprechenden Arbeiten. Wegen dieser kleinen Anzahl von Schichten kam es aber zu Singularitäten bei der Verteilung der Gütefunktion für manche Wellenlängen. Bei dem Cubic-Band-Polarisationssplitter wurde ebenso eine kleinere Anzahl von Schichten und eine bessere Verteilung der Güte-Funktion verglichen mit ähnlichen Arbeiten erreicht.

Bei der Lösung des Optimierungsproblems als zwei multikriterielle Optimierungsprobleme traten bei dem Breitband-Polarisationssplitter wegen der kleinen Anzahl von Schichten und großer Anzahl der Nebenbedingungen im Optimierungsproblem mehr Singularitäten als im

bikriteriellen Fall auf. Das Ergebnis für den Cubic-Band-Polarisationssplitter unterscheidet sich kaum vom Ergebnis des bikriteriellen Falles.

Insgesamt wurden Fortschritte bzgl. der Anzahl der Lösungspunkte, Anzahl der Schichten und Gesamtdicke der Polarisationssplitter erreicht. In dieser Arbeit war die Anzahl von Schichten des Polarisationssplitters festgelegt und wurde iterativ geändert. Letzteres kann als eine zusätzliche Zielfunktion des Optimierungsproblems aufgefasst und minimiert werden. Da es sich beim SQP-Verfahren um ein lokales Optimierungsverfahren handelt, ist die Wahl eines geeigneten Startsuchvektors erforderlich. Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren könnte somit die Grundlage eines hybriden Verfahrens bilden, in dem ein metaheuristisches Verfahren die globale Suche und das SQP-Verfahren eine Verfeinerung der Pareto-Kurve ausführen.

5.4.2 Entwicklung einer Schaltung zur Ansteuerung und Laststromregelung von Hoch-Tiefsetzstellern

(Diplomarbeit von Stefan Beier)

In dieser Arbeit wurde ein am Fraunhofer IISB entwickeltes Konzept zur Ansteuerung und Laststromregelung in Hoch-Tiefsetzstellern schaltungstechnisch umgesetzt. Die daraus entstandene Schaltung soll es ermöglichen, den Strom in der Spule eines Hoch-Tiefsetzstellers zu regeln. Neben der galvanischen Trennung zur Erfassung der Ist-Werte des Hoch-Tiefsetzstellers wird auch die Ansteuerung der Leistungsschalter galvanisch getrennt ausgeführt. Sowohl die Verarbeitung der Ist-Werte wie auch die Berechnung der Sollwertkorrektur erfolgt mit Hilfe eines Mikrocontrollers der Firma Infineon. Die entstandene Schaltung wird anschließend messtechnisch untersucht und mit den theoretischen Aussagen verglichen.

5.4.3 Entwicklung einer Schaltung zur Ladezustandsbestimmung und Überwachung von LiIo-Akkus

(Diplomarbeit von Christof Bothor)

Diese Arbeit ist Teil eines in der Audi Electronics Venture GmbH (AEV) durchgeführten Vorentwicklungsprojektes, welches sich mit der Entwicklung einer Starterbatterie basierend auf Lithium-Ionen Zellen befasst.

Durch die Vielzahl an elektrischen Verbrauchern im Kraftfahrzeug steigen auch die Anforderungen an die Batterie. Aktuelle Pannenstatistiken des ADAC zeigen, dass die klassische Bleibatterie diesen Anforderungen nicht mehr gewachsen ist.

Lithiumzellen werden bereits seit einigen Jahren erfolgreich in portablen Geräten eingesetzt, benötigen allerdings aufgrund sicherheitstechnischer Aspekte ein umfangreicheres Batteriemangement. Das Einsatzfeld als Starterbatterie unterscheidet sich deutlich von den portablen Geräten. Auch unterscheidet sich die Handhabung im Vergleich zu Bleibatterien, so dass auf die Erfahrungen bisheriger Batteriemangementssysteme (BMS) nur bedingt zurückgegriffen werden kann. Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Batteriemangementssystems mit welchem eine Lithium-Ionen-Starterbatterie sicher und zuverlässig im Kraftfahrzeug verwendet werden kann. Im Rahmen der Arbeit wurde eine neuartige Diagnoseschaltung vorgestellt, welche die In-System-Diagnose einer Lithium-Ionen-Starterbatterie ermöglicht.

5.4.4 Entwicklung und Realisierung einer Hybridfahrzeugsteuerung auf einer dSpace Autobox mit Matlab/Simulink

(Diplomarbeit von Oliver Gaßner)

In dieser Arbeit wird eine Hybridsteuerung für einen über die Straße gekoppelten Parallelhybrid entwickelt und in Betrieb genommen. Die Basis des Parallelhybrids ist ein Audi TT 2,0 TFSI mit Frontantrieb. Der elektrische Antrieb erfolgt über zwei getrennte Maschinen an den Hinterrädern. Als Steuergerät für die Prototypen-Software ist eine Microautobox der Firma dSpace ausgewählt worden. Die Aufgabe der Hybridsteuerung ist es, einen elektromotorischen, konventionell verbrennungsmotorischen Antrieb und Hybridbetrieb zu ermöglichen. Dabei sollen unterschiedliche Hybridfunktionalitäten wie beispielsweise das elektrische Bremsen mit Energierückgewinnung berücksichtigt werden. Es werden gezielte Eingriffe in die Drehmomentvorgaben des Fahrers und die Wählhebelsteuerung vorgenommen, um den Fahrer von Regelungsaufgaben zu entlasten. Zudem ist es Teil der Arbeit, Sicherheitsaspekte, die unter allen Umständen einen Kontrollverlust über das Fahrzeug oder Sicherheitsrisiken durch Hochspannung vermeiden sollen, zu erarbeiten und umzusetzen. Ein Batteriemanagementsystem für Lithium-Eisen-Phosphat-Zellen wird in die Hybridsteuerung integriert. Es wird ein passives Balancing-Verfahren für die Zellen implementiert. Zur Sicherstellung der fahrdynamischen Stabilität des Fahrzeugs wird eine Überwachungssoftware zur Drosselung der elektromotorischen Drehmomente entwickelt. Ziel dieser Arbeit war es, eine voll funktionsfähige Plattform für weitere Untersuchungen und Optimierungen des Stadthybrids zur Verfügung zu stellen.

5.4.5 Entwicklung und Herstellung eines durch Deformation des Kristallgitters veränderbaren Halbleiterwiderstands mittels eines piezoelektrischen Aktors.

(Diplomarbeit von Konstantin Gorovoy)

Gegenstand dieser Diplomarbeit ist die Herstellung eines Widerstands aus Silicium, dessen Wert mit Hilfe eines piezoelektrischen Aktors eingestellt werden kann. Nach Literaturrecherchen wurde ein Konzept für die Dimensionierung des Halbleiterwiderstands erarbeitet. Mit Hilfe des numerischen Simulationsprogramms Synopsis wurde schließlich eine genaue Dimensionierung der Widerstandsstrukturen erreicht. Die Widerstände wurden dann mit einer Folienmaske im Reinraum des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente hergestellt. Bei der Herstellung der Halbleiterwiderstände wurden verschiedene Parameter wie Dotierung, Kristallorientierung und die Geometrie berücksichtigt. Auf der Suche nach dem geeigneten piezoelektrischen Aktor wurden ebenfalls verschiedene Parameter wie Aktortyp, maximale Blockierkraft und Geometrie verglichen.

Nach dem Aufbau eines Systems aus Halbleiterwiderstand und dem piezoelektrischen Aktor wurden mehrere Messreihen mit unterschiedlichen Messanordnungen durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Messungen wurden dann schließlich mit Hilfe des numerischen Simulationsprogramms COMSOL analysiert. Die gemessene relative Änderung des Widerstands dR/R konnte sehr genau nachsimuliert werden. Messungen und Simulationen wurden sowohl mit als auch ohne die piezoelektrischen Aktoren durchgeführt. Bei der Messung mit dem piezoelektrischen Aktor konnte der Widerstandswert um mehr als 1% gesenkt werden. Die Messung ohne piezoelektrischen Aktor zeigte die maximale relative Änderung des Widerstands dR/R von 13%.

Die aus der Herstellung, Messung und Simulation gewonnen Erkenntnisse können dann für eine weitere Optimierung des Systems aus Widerstand und piezoelektrischem Aktor genutzt werden.

5.4.6 Herstellung von strukturierten Halbleiterschichten durch Tintenstrahl-druckverfahren

(Diplomarbeit von Carmen Hofinger)

Diese Diplomarbeit befasst sich mit dem Tintenstrahl-druckverfahren als Herstellungsprozess für elektrisch aktive Strukturen mit Halbleitereigenschaften. Im Besonderen wird die Substrat-behandlung und Tintenpräparation untersucht, mit dem Ziel die Auflösung und Maßhaltigkeit der Strukturen zu verbessern.

Dazu werden aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Substrate exemplarisch die Ober-flächen dreier siliciumbasierter und zweier kunststoffbasierter Substrate auf ihr Benetzungsverhalten untersucht. Durch Plasma- und HMDS-Behandlung wird die Oberfläche manipuliert und anschließend das Benetzungsverhalten charakterisiert.

Ebenso werden wichtige physikalische Parameter einer auf Ethanol basierten, nanopartikulären Dispersion des Halbleiters Zinkoxid und ihrer Mischungen mit Wasser und Ethylenglykol untersucht, wobei auch hier besonders auf das Benetzungsverhalten geachtet wird.

Anhand dieser Ergebnisse werden sogenannte Benetzungskurven (engl. Wetting Envelopes) erstellt, mit denen das Benetzungsverhalten verschiedener Flüssigkeiten auf verschiedenen Oberflächen vorausgesagt werden kann. Anschließend wurden die Dispersionen als Tinten für den Tintenstrahl-druck des aktiven Gebietes von Dünnschichttransistoren verwendet.

Schließlich wurden die Ausgangs- und Transferkennlinien der Transistoren gemessen und elektrische Parameter extrahiert.

5.4.7 Inverse Sicherungsbau-elemente auf Basis bistabiler Schalter

(Diplomarbeit von Andreas Hürner)

In dieser Arbeit wird die Eignung von p-Kanal-Transistoren, deren Widerstand mittels Ladungs-speicherung in einer ins Gatedieelektrikum integrierten Siliziumnitridschicht (Speicherschicht) gesteuert werden kann, hinsichtlich eines Einsatzes als inverse Sicherungsbau-elemente unter-sucht. Im theoretischen Teil werden dazu zunächst die an inverse Sicherungsbau-elemente zu stellenden Anforderungen definiert und der prinzipielle Aufbau der untersuchten Teststrukturen erläutert. Danach werden die zum Schalten der Bauelemente aus dem Normal- in den Auslöse-betrieb relevanten physikalischen Grundlagen dargestellt, sowie ein Modell zur Berechnung des Widerstandes für den jeweiligen Betriebszustand hergeleitet. Abgeschlossen werden die theo-retischen Betrachtungen mit der Darstellung der für die Zuverlässigkeit solcher Bauelemente entscheidenden Ladungsverlust- und Oxiddegradationsmechanismen.

Im Anschluss daran wird anhand der aus der Ladungsträgerinjektion resultierenden Einsatz-spannungsverschiebung das Schreib- und Löschverhalten der Teststrukturen charakterisiert. Aus den Messungen geht hervor, dass sowohl das Schreib- als auch das Löschverhalten unabhängig von der Dimensionierung des Gatedieelektrikums sind. Zudem zeigt sich, dass die prinzipielle

Möglichkeit mit dickeren Speicherschichten größere Einsatzspannungsverschiebungen erzielen zu können, durch die damit einhergehenden Ladungsverluste stark eingeschränkt wird.

Ebenso wird der Widerstand der Teststrukturen in Abhängigkeit der zuvor in die Speicherschicht injizierten Ladung untersucht. Die Messungen ergeben dabei eine sehr gute Übereinstimmung mit dem zur Berechnung des Widerstandes hergeleiteten Modell. Zudem zeigt sich, dass sich das beschriebene Verhalten auch auf Teststrukturen mit kleineren Kanallängen übertragen lässt. Abgeschlossen wird die elektrische Charakterisierung durch Untersuchungen bezüglich der Ladungshaltezeit der Teststrukturen. Diese erfüllt mit Ausnahme der Proben mit einem dickeren Speicheroxid in allen Fällen die geforderte Mindesthaltezeit von 105 Sekunden.

Anschließend werden die dargelegten Untersuchungen diskutiert und eine Wertung bezüglich der Eignung der vorgestellten Technologie für einen Einsatz als inverses Sicherungselement vorgenommen. Es zeigt sich, dass die für inverse Sicherungselemente angestrebten Anforderungen bei einer Chipfläche von in etwa 4 mm^2 erzielt werden können.

5.4.8 Evaluierung von Prozessen für die Imprint-Lithographie mit funktionalen Materialien

(Diplomarbeit von Fabian Kett)

Lithographieverfahren dienen in der Halbleiterindustrie zur Strukturierung von Oberflächen. Hierbei werden typischerweise über optische Lithographieverfahren Lackmasken erstellt, mit denen selektiv lackfreie Bereiche modifiziert werden. So kann z.B. durch Ätzen einer metallischen Schicht eine Leiterbahn strukturiert werden.

Neben der optischen Lithographie ist in den letzten Jahren die UV-Nanoimprintlithographie (UV-NIL) als alternatives Verfahren immer mehr in den Fokus gelangt. Bei der UV-NIL handelt es sich um ein Prägeverfahren, bei dem das Relief einer Prägeform in einen Prägelack 1:1 übertragen wird. Die entstandene Lackmaske dient dann, wie bei der optischen Lithographie, zur Modifizierung der darunter liegenden Schicht. Die UV-NIL bietet allerdings auch die Möglichkeit, einen funktionalen Lack direkt zu prägen, der dann z.B. als elektrisch leitfähige Schicht verwendet werden kann. Hierdurch können Kosten für nachfolgende Prozesse eingespart werden. Als funktionale Materialien dienen im Rahmen dieser Arbeit Suspensionen aus UV-Polymeren und Silberpartikeln mit einem Durchmesser kleiner als 100 nm. Aus diesen wurden 24 Suspensionen erstellt und auf ihre Stabilität und ihr Sedimentationsverhalten hin untersucht. Zur weiteren Untersuchung der Haftung und elektrischen Leitfähigkeit wurde je eine Suspension mit kationischer und radikalischer Polymerisation, sowie ein kommerziell erhältlicher, elektrisch leitfähiger Prägelack ausgewählt. Für diese Prägelacke wurde zuerst das Prägeverfahren auf die jeweilige Aushärtezeit und Lackmenge hin optimiert. Um das Aushärten der unvermeidlich entstehenden Restlackschicht zu verhindern, wurden Teile der Prägeform mit einer strukturierten Chromoberfläche modifiziert. Zur Entfernung des flüssigen Restlackes erfolgte die Evaluierung eines nasschemischen Verfahrens. Die Haftung der Prägelacke wurde zu den Oberflächen Silicium, Siliciumdioxid und Aluminium, die unbehandelt bzw. mit Plasma oder HMDS vorbehandelt waren, optimiert. Hierbei diente die Gitterschnittprüfung zur Untersuchung der Haftung.

Die Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte durch die van-der-Pauw-Messmethode. Die elektrische Leitfähigkeit der geprägten Strukturen konnte mittels einer Plasmanachbehandlung und einem anschließenden Sinterprozess maximiert werden. Die Plasmanachbehandlung

entfernte die elektrisch isolierende, organische Polymerschicht aus den geprägten Strukturen, was eine starke Senkung des spezifischen Widerstands zur Folge hatte. Je höher die Temperatur beim nachfolgenden Sinterprozess war, desto niedriger war der spezifische Widerstand.

Über REM-Aufnahmen wurden abschließend die Strukturen optisch analysiert. Hierbei zeigte eine Erhöhung der Sintertemperatur, eine zunehmende Verschmelzung der Silberpartikel. Durch eine Plasmabehandlung für 30 Minuten bei 150 W und einem Sinterprozess für 1 Stunde bei 350°C erreichte man einen spezifischen Widerstand der geprägten funktionalen Schichten von $1,37 \cdot 10^{-5} \Omega\text{cm}$.

5.4.9 Entwicklung einer Festphasenmikroextraktionsmethode zur Bestimmung organischer Verbindungen in stark alkalischen und stark sauren, flüssigen Medien

(Diplomarbeit von Markus Koch)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine SPME-Headspace GC/MS Methode entwickelt für die Bestimmung und quantitative Erfassung von organischen Verbindungen, die als Verunreinigungen in der Halbleiterindustrie vorkommen. Zunächst wurde eine Methode (Parameter: Expositionstemperatur, Faser, Salz, Salzmenge, Rührgeschwindigkeit, Eintauchtiefe der Faser ins Probengefäß und Expositionszeit) in wässrigem Medium erarbeitet die die besten Messergebnisse in Bezug auf die Peakintensität für die 46 untersuchten organischen Verbindungen erzielt. Anschließend wurde diese Methode angewandt um stark saure bzw. basische flüssige Proben zu untersuchen. Die sauren bzw. basischen Proben simulieren die Ätz- und Reinigungsbäder in der Halbleiterindustrie mit den jeweiligen Chemikalien und den Verunreinigungen, die es zu untersuchen galt. Ziel ist es z.B. Prozessproblemen auf die Spur zu kommen indem man eine genaue Aussage über die Kontamination mit organischen Verbindungen in den Bädern erzielt und so Ursachen für bestimmte Fehler ausschließen bzw. konkretisieren kann.

5.4.10 Entwicklung und Validierung eines Batteriemodells für LiFePO₄-Zellen in Matlab/Simulink

(Diplomarbeit von Matthias Lepiorz)

Für die simulative Validierung neuartiger Batterie- und Fahrzeugkonzepte sind Modelle notwendig, die das Verhalten einzelner Batterie-Zellen möglichst genau nachbilden. Daher befasste sich diese Diplomarbeit mit der Entwicklung eines LiFePO₄-Batteriemodells in der Simulationsumgebung Matlab/Simulink. Hierfür wurden zwei Teilziele formuliert. Im theoretischen Teil der Arbeit wurde ein Modell entwickelt, das die Umsetzung relevanter Batterie-Effekte ermöglicht. Des Weiteren wurde eine Parametrierungsstrategie entworfen, die eine Voraussetzung für die Ermittlung erforderlicher Parameter aus Kennlinien bildet. Abschließend wurde der entwickelte Parametrierungsvorgang an aufgenommenen Kennlinien des Zellen-Typs ANR26650 von A123 Systems durchgeführt, um die wesentlichen Kennwerte für das Modell zu generieren.

Im praktischen Teil der Arbeit wurde in der Simulationsumgebung Matlab/Simulink eine Topologie erstellt, die als Fundament für die Batterie-Simulation dient. Anschließend erfolgt eine modellangepasste Aufarbeitung der gewonnenen Kennwerte, mit der sich eine Implementierung in die Simulationsumgebung durchführen lässt. Zuletzt wurde eine Evaluierung des erstellten Modells anhand realer Messdaten durchgeführt.

5.4.11 Entwicklung modularer Simulationsmodelle mit C-Code Generierung zur Regelung von Asynchronmaschinen

(Diplomarbeit von Michael Pagel)

In dieser Diplomarbeit wird ein feldorientierter Regler für zwei in einem Hybrid-Versuchsfahrzeug eingesetzte Asynchronmaschinen auf einem TriCore-Microcontroller implementiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Der Quellcode der in Matlab/Simulink modellierten Regler wird dabei mit dem Real-Time Workshop Embedded Coder von der Firma The Mathworks generiert. Um die Regler in Betrieb nehmen zu können, wird ein Protokoll entwickelt und TriCore-seitig implementiert, mit dem es möglich ist, ausgewählte Parameter und Signale des Simulink-Modells zur Laufzeit zu lesen beziehungsweise mit neuen Werten zu beschreiben. Resultierend aus der Anforderung, dass beide Asynchronmaschinen getrennt regelbar sein sollen, wird zusätzlich ein Autocoder entwickelt, der es ermöglicht, von nur einem in Simulink modellierten Regler Quellcode für beide Motoren zu erzeugen. Der Autocoder sorgt dabei automatisch dafür, dass auf ausgewählte Parameter und Signale getrennt für beide Motoren über das entwickelte Protokoll zugegriffen werden kann und dass beim Zusammenführen des Quellcodes keine Namenskonflikte auftreten. Zusätzlich werden in dieser Diplomarbeit Möglichkeiten aufgezeigt, Blöcke zu kreieren, die handgeschriebenen Code sowie speziell für die TriCore Architektur entwickelte Bibliotheksfunktionen in den generierten Quellcode einbinden und gleichzeitig noch in der Simulation lauffähig sind.

Diese Arbeit ist Teil des interdisziplinären Gruppenprojektes TechFak EcoCar (siehe Abschnitt 7.1.3).

5.4.12 Entwicklung eines bidirektionalen Gleichspannungswandlers für Nutzfahrzeuge

(Diplomarbeit von Andreas Rebelein)

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Leistungsteils für einen bidirektionalen 600 kW DC/DC-Wandler für Nutzfahrzeuge. Sie zeigt im wesentlichen Methoden für die Dimensionierung des Wandlers mit den Schwerpunkten in der Auswahl und Charakterisierung der IGBT-Module, incl. Messung wesentlicher Parameter, der Auswahl und Dimensionierung der Leistungsdrosseln und einer Analyse der Stromverschiebung mit Extraktion eines Spice-Modells. Zuletzt werden die Ergebnisse einer Wirkungsgradmessung des Leistungsteils vorgestellt.

5.4.13 Entwicklung eines digitalen Reglers für zweistufige isolierende Gleichspannungswandler

(Diplomarbeit von Stefan Rupp)

In Elektro- und Hybridfahrzeugen wird die Lichtmaschine durch hocheffiziente isolierende DC/DC-Bordnetzwandler ersetzt. Diese entnehmen die zum Betrieb der 12 V-Verbraucher erforderliche Energie aus der Hochspannungsbatterie und übertragen sie verlustarm auf die Niederspannungsseite. Allerdings sinken bei Wandlern mit breiter werdendem Ein- und Ausgangsspannungsbereich die erzielbaren Wirkungsgrade, da bei der Auswahl und der Dimensionierung der Schlüsselkomponenten (Halbleiter, Trafo) Kompromisse eingegangen werden müssen. Eine Lösung dieses Problems bieten zweistufige Topologien, bei denen dem isolierenden

Wandler ein nicht isolierender Hoch- oder Tiefsetzsteller vorgeschaltet wird. Durch die Wahl einer geeigneten Betriebsstrategie ist es bei diesen Topologien möglich, jeden Wandler in einem für ihn günstigen Arbeitspunkt zu betreiben und dadurch die Effizienz des Gesamtsystems zu steigern.

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine mikrocontrollerbasierte Regelschaltung entwickelt werden, die in Abhängigkeit vom gewählten Arbeitspunkt die Sollwerte der beiden Wandler generiert und dadurch die Implementierung unterschiedlicher Betriebsstrategien ermöglicht. Des Weiteren soll die realisierte Schaltung eine CAN-Bus Schnittstelle für die Kommunikation mit dem Fahrzeug und zur Messwertübermittlung bereitstellen.

Diese Arbeit ist Teil des interdisziplinären Gruppenprojektes TechFak EcoCar (siehe Abschnitt 7.1.3).

5.4.14 Konzept und Simulation für mehrgängiges Getriebe im E-Antrieb

(Diplomarbeit von Christian Schnepf)

Im Rahmen einer Diplomarbeit sollen verschiedene Schalt- und Aktuatorkonzepte eines lastschaltenden Getriebes für einen E-Antriebsstrang erstellt und untersucht werden. Insbesondere werden dabei die Schaltzeiten sowie die benötigten Schaltenergien verglichen. Ein anschließend erstelltes Simulationsmodell des Getriebes soll in eine Antriebsstrangsimulation modular integriert werden. Damit wird für verschiedene Fahrzyklen und Antriebskonfigurationen (E-Antrieb) der Einfluss des Schaltkonzeptes auf das Gesamtsystem hinsichtlich Energiebedarf und Fahrleistung untersucht. Dies wirkt sich u. a. auf die Reichweite eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs aus. Anhand der Simulationsergebnisse findet eine abschließende Bewertung des Getriebes statt. Ziel ist es, einen Baukasten für zukünftige E-Antriebe bereitzustellen.

5.4.15 Untersuchung und Umsetzung von Regelstrategien zur primärseitigen Reihen- und sekundärseitigen Parallelschaltung von isolierenden Gleichspannungswandlern

(Diplomarbeit von Bernd Seliger)

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung und Umsetzung von Regelstrategien zur primärseitigen Reihen- bzw. sekundärseitigen Parallelschaltung von isolierenden Gleichspannungswandlern. Bei Versorgungsspannungen von bis zu 1000 V ist deshalb der Einsatz von Halbleiterbauelementen mit einer Sperrspannung von 600 V, anstelle der sonst erforderlichen 1200 V, möglich. Diese weisen deutlich bessere elektrische Eigenschaften auf, weshalb eine höhere Effizienz bzw. ein geringeres Volumen des Wandlers erzielt werden kann.

Zunächst werden Grundlagen der eingesetzten phasengesteuerten isolierenden Gleichspannungswandler erörtert. Zur Durchführung der Untersuchungen werden zwei Simulationsmodelle erstellt. Anhand dieser werden mehrere Regelstrategien zur Symmetrierung der Wandler miteinander verglichen und eine geeignete ausgewählt. Im zweiten Teil wird die Umsetzung dieser Regelstrategie mittels eines FPGA erörtert. Dazu wird eine Testplattform entwickelt. Der digitale Regelalgorithmus und die Ansteuerungsschaltung des Leistungsteils wurde in den FPGA implementiert. Im dritten Teil der Arbeit erfolgt die Inbetriebnahme des Spannungswandlers. Dabei können die Symmetrierung der Wandler in allen Betriebspunkten gewährleistet und

Wirkungsgrade von 91,2% bis 94,8% bei 0,4kW bis 3,8 W Ausgangsleistung erzielt werden. Abschließend werden die notwendigen Schritte zur Komplettierung des Wandlers erläutert.

5.4.16 Entwicklung eines Elektrofahrrades

(Diplomarbeit von Sebastian Weber)

Diese Arbeit hat zwei Schwerpunkte. Zu Beginn werden die momentan auf dem Markt befindlichen Elektrofahrräder sorgfältig analysiert. Dazu werden vor allem die verwendeten Batterie-, Motoren- und Antriebstypen, sowie die Elektronik untersucht. Zunächst werden die jeweiligen Grundlagen zu diesen Themengebieten gegeben, die Komponenten mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt und bewertet, inwieweit diese für den Einsatz in Elektrofahrrädern geeignet sind. Schließlich werden verschiedene Quellen ausgewertet und Durchschnittswerte zu Reichweiten, Gewichten und Kosten ermittelt.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wird das Konzept eines Elektrofahrrades entwickelt. Dabei wird vor allem auf eine Optimierung des Antriebs, der Elektronik, der Batterie und der Bedienungen abgezielt. Überlegungen zu einer neuen Entwicklung des Fahrrades ohne Elektrifizierung, wie etwa zur Rahmengestaltung, werden im Rahmen dieser Arbeit nicht gemacht. Bezüglich des Antriebs des Elektrofahrrades wird die Idee eines Allradantriebs mit Bedienung über einen Drehgriff ausgiebig physikalisch analysiert und daraus die Fortschrittlichkeit dieses Konzepts gefolgert. Weiterhin wird ein Anforderungsprofil für das Konzept erstellt, aus dem der nötige Leistungs- und Energiebedarf ermittelt werden kann. Konkrete Gestaltungsvorschläge aus verfügbaren Komponenten werden ebenfalls gegeben, um den Aufbau eines Prototypen zu ermöglichen und die theoretisch getroffenen Annahmen zu bestätigen. Zuletzt wird eine Schaltung entwickelt und gelayoutet, die in die Radnabenmotoren integriert wird und mit der es möglich ist, das konzeptionell entwickelte Elektrofahrrad anzusteuern.

5.4.17 Charakterisierung von Silizium-Nanopartikeln und Entwicklung von chemischen Prozessen zur Bildung von dreidimensionalen Schichten und Strukturen

(Masterarbeit von Jia Wu)

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Analyse der paramagnetischen Zustände and chemische Zusammensetzung der Oberfläche unterschiedlicher Silicium-Nanopartikel. Die Analysemethoden wie Elektronenspinresonanz-Spektroskopie (ESR) und Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) sowie die entsprechende Probenhandhabung wurden für die Messungen, insbesondere zur Verhinderung der Oxidation der Nanopartikel mit Luftsauerstoff, angepasst. Das Ziel dieser Arbeit ist die Optimierung des Präparationsverfahrens, die Charakterisierung der Partikeloberfläche und die Ableitung der Oberflächenreaktivität zur Planung weiterer Prozesse im Bezug auf druckbare Elektronik.

5.4.18 Entwicklung einer Regelfunktion für Hochtiefsetzsteller

(Diplomarbeit von Bernd Wunder)

In dieser Diplomarbeit wird gezeigt, wie eine Modellbildung und Simulation eines Gleichspan-

nungswandlers für die Erstellung einer Regelung eingesetzt werden können. Es werden wichtige Regelgrößen und die Notwendigkeit von Begrenzungen behandelt. Die Spannungs-, Strom- und Leistungsregelung für einen Gleichspannungswandler werden beschrieben. Es wird erläutert, warum eine übergeordnete Struktur für die Verknüpfung dieser Regelungen notwendig ist. Deshalb werden der Aufbau und die Funktionsweise von verschiedenen Reglerstrukturen, wie z.B. Begrenzungs-, Ablöse- und Kaskadenregelung, miteinander verglichen. Weiter wird dargestellt, wie die bei diesen Strukturen auftretenden Windup-Effekte vermieden werden können. Dazu werden verschiedene Anti-Windup-Regler untersucht. Um eine digitale Implementierung einer Reglerfunktion für einen Gleichspannungswandler einsetzen zu können, wird ein Algorithmus entwickelt. Anhand von Beispielcode wird gezeigt, wie dieser Algorithmus in einem Mikrocontroller einzuarbeiten ist.

6 Promotionen und Habilitationen

6.1 Charakterisierung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten

(Oliver Klar, Tag der Promotion: 6. April 2009)

Ladungsbasierte, nichtflüchtige Halbleiterspeicher stellen heute den Standard für dauerhaftes Speichern von Daten für mobile Anwendungen dar. Diese Speichertechnologie basiert auf der Speicherung von Elektronen in einer Speicherschicht innerhalb des Gatestapel eines Metall-Oxid-Silicium-Feldeffekttransistor. Die aktuelle Speichergeneration setzt hierfür eine potentialfreie Elektrode aus Polysilicium ein, welche bei fortschreitender Skalierung jedoch Probleme bereitet. Ein Ausweg ist der Ersatz der potentialfreien Elektrode durch ein Dielektrikum, welches Ladungsträger ortsfest in Haftstellen speichert. In Abbildung 6.1 sind Aufnahmen einer solchen Speicherzelle dargestellt. Die einzelnen Bestandteile der Speicherzelle sind dabei gut zu erkennen, wie der Oxid-Nitrid-Oxid-Stapel, Gate, Source, Drain, sowie deren Kontaktierung und Isolierung. Diese auf Ladungseinfang basierende Technologie ist unabhängig von Kapazitäten in der Speicherzelle und bietet zudem den Vorteil des zuverlässigen Betriebes auch bei Schädigung der Oxide. Die ortsfeste Speicherung der Ladungsträger erlaubt sogar die Speicherung von zwei physikalisch voneinander getrennten Bits pro Speicherzelle. Dieser Betriebsmodus erfordert jedoch ein hohes Maß an Kontrolle des Ladungsträgereinfangs.

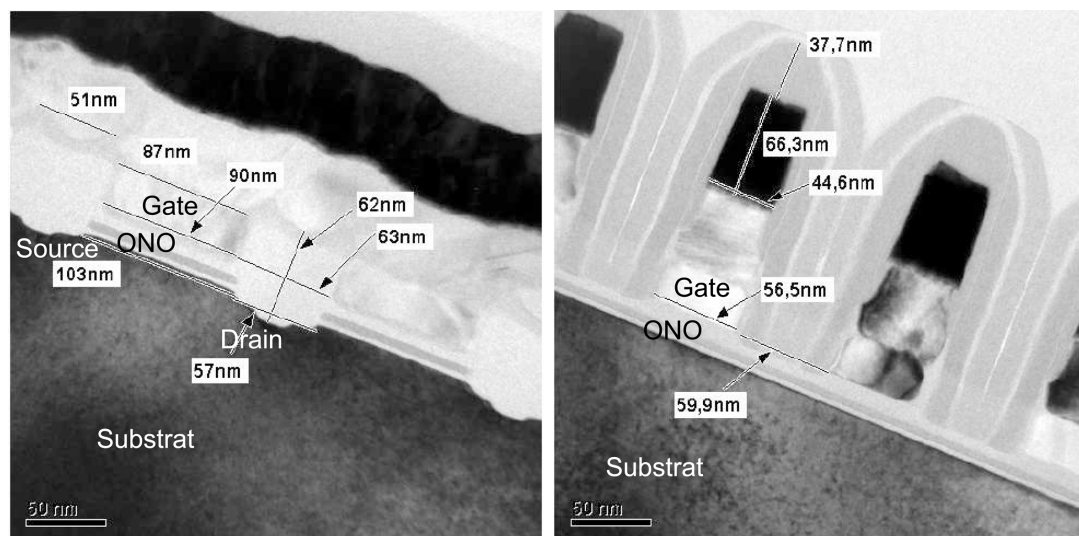


Abb. 6.1: Die verwendeten Speicherzellen unter dem Transmissionselektronenmikroskop. links: Speicherzelle in lateraler Richtung, rechts: Speicherzelle in vertikaler Richtung

Die Ladungseinfangmechanismen wurden im Rahmen der Arbeiten zur Promotion experimentell untersucht. Speziell für diese Untersuchungen wurde ein eigenes Charakterisierungsverfahren entwickelt, welches das Unterschwellenverhalten der Speicherzellen in verschiedenen Programmierzuständen analysiert. Dabei werden Übertragungskennlinien über einen weiten Drainspannungsbereich aufgenommen und analysiert. Abbildung 6.2 links zeigt ein simuliertes Kennlinienfeld einer drainseitig programmierten Speicherzelle. Der Einfluss des drainseitig lokalisierten Ladungspaketes zeigt sich im unterschiedlichen Verlauf der üblichen Übertragungskennlinien (Lesen des S-Bit) und den Messungen in denen Source und Drain vertauscht wurden

(Lesen des D-Bit). Beim Lesen des S-Bit wird durch die Erhöhung der Drainspannung der Einfluss des Ladungspakets ausgeblendet. Die Abhängigkeit des Verlaufs im Unterschwellenbereich (Swing) von der Drainspannung ist ein direktes Maß für Ladungsdichte und Weite des Ladungspakets. Diese Abhängigkeiten sind in Abbildung 6.2 rechts gezeigt. Im Vergleich zu bisher bekannten Methoden erhöht dieses Verfahren die Genauigkeit der Bestimmung von lateralen Ladungsverteilungen in der Speicherschicht. Des Weiteren konnten mittels Untersuchungen von gateinduzierten Drainleakströmen inhomogene Ladungsverteilungen der Speicherladung aufgrund der Injektion von Elektronen mittels Fowler-Nordheim-Tunneln nachgewiesen werden. Diese Inhomogenitäten können Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Speicherzelle haben, insbesondere bei weiterer Skalierung.

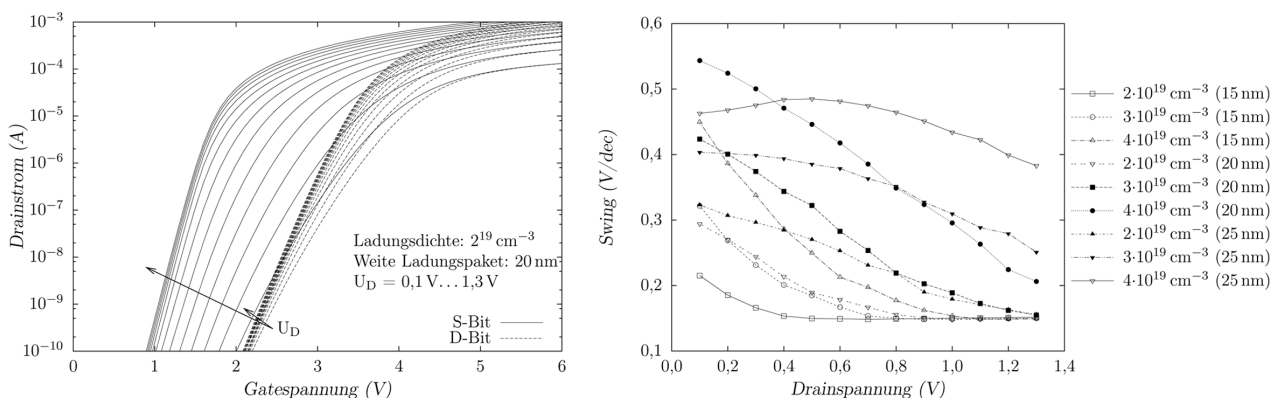


Abb. 6.2: links: simulierte Übertragungskennlinien bei Drainspannungen von 0,1 V bis 1,3 V mit einem drainseitigen Ladungspaket der Breite 20 nm bei einer Ladungsdichte von $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, rechts: Abhängigkeit des Swing von Ladungsdichte und Weite des Ladungspakets, sowie der angelegten Drainspannung

Um die erläuterten Untersuchungen durchzuführen, wurde ein spezieller Messplatz entwickelt, der hohe Zyklenraten bietet, dabei aber einen hohen Grad an Flexibilität in den Charakterisierungsmöglichkeiten garantiert. Mit Hilfe des Aufbaus konnte der Verlauf von Zyklentests erstmals in dieser Genauigkeit charakterisiert werden. Zur Identifikation der jeweiligen Zustände einer Speicherzelle wurden oben genannte Bauelementesimulationen durchgeführt. Das experimentell gefundene Verhalten der Speicherzellen konnte dabei durch die Simulationen vollständig nachgebildet werden. Als Beispiel sei hier die inhomogene Injektion von Ladungsträgern mittels Fowler-Nordheim-Tunneln genannt. Dieses Phänomen konnte durch die Simulation der Feldverteilung im Bauelement während des Programmiervorgangs erklärt werden. Abbildung 6.3 zeigt das simulierte Feld einer Speicherzelle bei einer Injektion von Elektronen aus dem Gate mittels einer Gatespannung von 10 V. Die Feldüberhöhungen an den Kanten des Gatekontaktes sind dabei verantwortlich für eine erhöhte Injektion von Elektronen in den Randbereichen der Speicherzelle. Das Anlegen einer negativen Gatespannung entspricht dem Löschvorgang der Speicherzelle und erklärt damit die sich ausbildenden inhomogenen Ladungsverteilungen aufgrund mehrfachen Programmierens und Löschsens der Speicherzelle mittels des Fowler-Nordheim-Tunnelmechanismus.

Die entwickelten Verfahren wurden außerdem zur Charakterisierung von Speicherzellen im Rahmen der Durchführung von Zyklentests verwendet. Zyklentests zeigen die Schädigungen im Bauelement durch mehrmaliges Beschreiben und Löschen der Speicherzelle. Die Auswirkungen der Schädigungen wurden außerdem durch Untersuchungen der Speicherhaltezeit bei

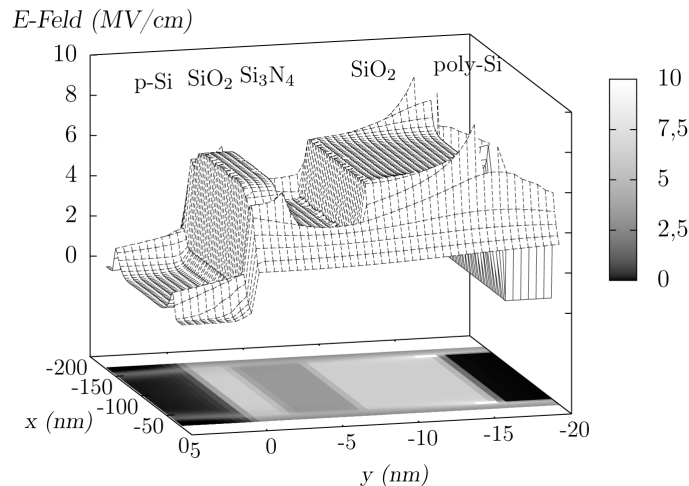


Abb. 6.3: *Simulierter zweidimensionaler Verlauf des Absolutbetrages des elektrischen Feldes einer unbeschriebenen Speicherzelle bei einer angelegten Gatespannung von -10 V .*

unterschiedlichen Temperaturen bestimmt. Dabei wurde nachgewiesen, dass das Speicherhaltevermögen aufgrund des zunehmenden Ladungsverlustes deutlich sinkt. Weiter konnte gezeigt werden, dass lokalisiert eingebrachte Ladungspakete in einer häufig beschriebenen und gelöschten Zelle auseinander fließen. Dies hat wiederum negative Auswirkungen auf den zuverlässigen Betrieb der Speicherzelle im Zwei-Bit-Modus.

6.2 Abscheidung und Charakterisierung metallischer Gateelektroden für zukünftige CMOS-Technologien

(Jörn Hinz, Tag der Promotion: 18. Januar 2010)

Die weitere Verkleinerung der MOSFET- und DRAM-Strukturen in der Mikroelektronik nach dem Mooreschen Gesetz erfordert v.a. den Ersatz des bisherigen Gateoxids SiO_2 und der Poly-Si-Gateelektrode. Der direkte Austausch durch ein hoch- ϵ -Dielektrikum und eine metallische Elektrode ist ein bislang ungelöstes Problem, da Grenzflächenreaktionen eine Veränderung der Austrittsarbeit und eine Degradation des Gateoxids verursachen. Eine schon realisierte Lösung besteht in der (kostenintensiven) Umstellung des normalen CMOS-Prozessablaufs, so dass die Source-Drain-Ausheilung vor der Herstellung des Gatestapels erfolgt und dessen hohe Temperaturstabilität nicht länger erforderlich ist. Eine weitere Herausforderung ist die Erreichung der für zukünftige DRAM-Technologien nötigen homogenen Kantenbedeckung für die Schichtabscheidung.

In dieser Arbeit wurde die Kombination eines Tantal- oder Niobnitrids und eines Hafnium-basierten Dielektrikums als Gatestapelsatz untersucht. Die hohe thermodynamische Stabilität dieser Übergangsmetallnitride wurde theoretisch nachgewiesen. Es konnte gezeigt werden, dass die Austrittsarbeit einer stabilen Metallelektrode auf einem SiO_2 - und einem HfO_2 -Dielektrikum innerhalb einer geringen Toleranz übereinstimmt und nur von der Phasen-Zusammensetzung der Elektrode abhängt. Folglich konnte die Austrittsarbeit durch die Senkung des Stickstoffgehaltes oder auch durch den Einbau von Kohlenstoff in das Metallnitrid erhöht werden. Die karbidischen Verbindungen wurden durch die spezifische Wahl des MOCVD-Precursors erhalten, die Herstellung der unterstöchiometrischen Metallnitride erfolgte in einem PEALD-Prozess. Dieser erzeugte sehr homogene, leitfähige Schichten mit hoher Dichte. Hiermit hergestellte

MOS-Kondensatoren konnten so optimiert werden, dass die Temperaturstabilität des Gatesapfels bei 900 °C für 30 s erfüllt wurde. Für die PEALD-NbN- und die TaC_xN_{1-x}-Elektroden wurden weiterhin niedrige Ladungs- und Defektdichten, stabile Isolationseigenschaften des Gateoxids sowie ein minimaler Zuwachs der effektiven Oxiddicke erreicht. Der mögliche Einsatz als metallische Elektrode in zukünftigen MOSFETs oder DRAM-Speichern wurde damit nachgewiesen.

Fortschritte konnten auch in der Dickenbestimmung von metallischen Schichten mittels Spektrellipsometrie erreicht werden. Die erstellten optischen Modelle erlaubten eine automatisierte Auswertung der ellipsometrischen Messungen und die Bestimmung weiterer Schichteigenschaften.

6.3 Chemische Gasphasenabscheidung von Metallsilicatschichten aus Einquellen-Ausgangsstoffen für Anwendungen in der Mikroelektronik

(Martin Lemberger, Tag der Promotion: 9. Februar 2010)

Die durchgeführte Arbeit befasst sich mit umfassenden Untersuchungen zur metall-organisch-chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) von hoch- ϵ Metallsilicaten der Übergangsmetalle Hafnium, Zirkonium und Titan und zur physikalischen wie elektrischen Charakterisierung der Schichten in Metall-Isolator-Halbleiter (MIS) Kondensatoren. Für die Abscheidung wurden neuartige Einquellen-Ausgangsstoffe der Form M(acac)₂(OSi^tBuxMe_{3-x})₂ (M gleich Zr, Hf oder Ti) mit gemischten β -Diketonat- (acac steht für Acetylacetonat) und Alkoholatliganden - im Speziellen Silanole - verwendet, wobei hier mit x gleich 0 oder 1 eine Unterscheidung hinsichtlich der organischen Gruppen *tert*-Butyl (tBu) und Methyl (Me) getroffen wurde. Abbildung 6.4 stellt die Ausgangsstoffe wie die verwendete MOCVD-Anlage im Reinraum des LEB dar.

M = Ti, Zr, Hf

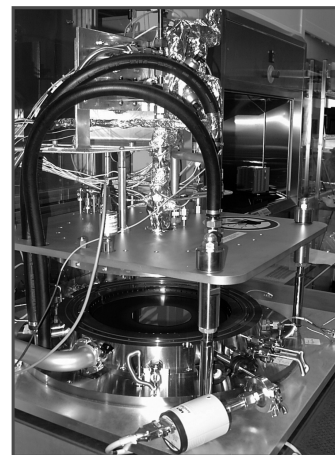
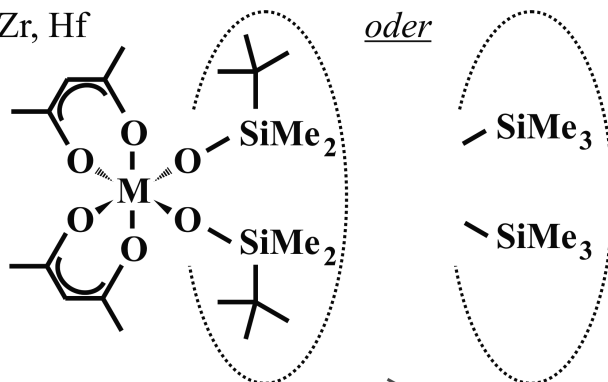


Abb. 6.4: Struktur der verwendeten Ausgangsstoffe und MOCVD-Anlage

Die gewählte Struktur mit gemischten Liganden zeigte einen vielversprechenden Kompromiss zwischen Flüchtigkeit und Stabilität der Ausgangsstoffe - Alkoholate zeigen zwar allgemein eine hohe Flüchtigkeit, weisen aber eine geringe Stabilität auf; bei β -Diketonaten ist dies umgekehrt - und auch deren CVD-Verhalten erwies sich geeignet. Die erzielten Schichten im Temperaturbereich 500 bis 600 °C waren aufgrund einer bevorzugten Abspaltung des Siloxidliganden metallreich (d. h. der Siliciumanteil betrug abhängig von der Abscheidetemperatur nur bis etwa 20%). Eine signifikante Kohlenstoffkontamination (bis etwa 20 at.-%) aufgrund unvollständig

dissoziierter Siloxidliganden erforderte eine Temperung (PDA) in Sauerstoff bei Temperaturen größer 700°C.

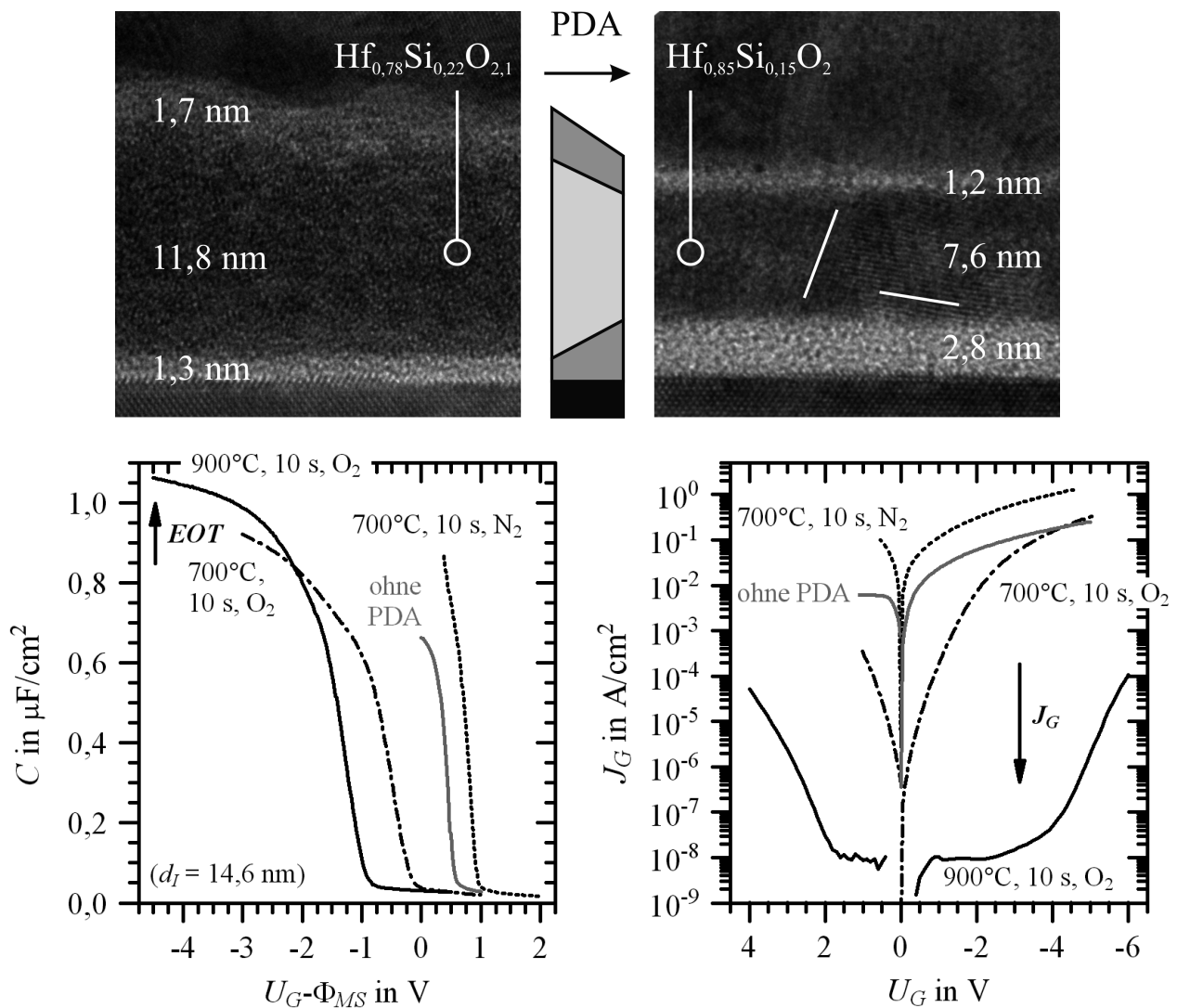


Abb. 6.5: oben: Hochauflösende Transmissionselektronenmikroskopaufnahmen einer Hafniumsilicatschicht vor und nach Temperung bei 900°C für 10 s in O₂. unten: Kapazität- ($C(U)$) und Stromdichte- ($J(U)$) Spannungskurven für Hafniumsilicatschichten von oben und anderen Nachbehandlungen veranschaulichen den positiven Effekt der Temperung in O₂ auf EOT und J_G .

Diese Temperung verursachte neben der Eliminierung des Kohlenstoffs mit verbundener Ausheilung von Störstellen und Ladungen eine Kristallisation; beides führte zu einer Verdichtung der Schichten. Zudem fand auch ein Wachstum der Grenzflächenschicht zwischen Zirkonium- bzw. Hafniumsilicat und Siliciumsubstrat statt, was eine Skalierung zu kleinen effektiven Oxiddicken beschränkt. Beide Effekte sind in Abbildung 6.5 in hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskop (HR-TEM) Aufnahmen dargestellt. Schichten einer Dicke von etwa 10 nm, die bei 900°C für 10 s in Sauerstoff getempert wurden, zeigten jedoch ein Optimum elektrischer Kenngrößen nach dieser Temperung in O₂ (z.B. geringste äquivalente Oxiddicke (EOT) von etwa 3 nm mit effektiver Dielektrizitätskonstante ϵ von etwa 12,5 bei einer Stromdichte J_G kleiner $10^{-8} \text{ A}/\text{cm}^2$ für elektrische Feldstärken E gleich $1 \text{ MV}/\text{cm}$ im Vergleich zu anderen

thermischen Nachbehandlungen).

In allen Schichten konnte zudem eine hohe Ladungsdichte (z.B. feste Isolatorladung bis etwa 10^{12} cm^{-2} bei Volumenladungsdichten bis etwa $8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) beobachtet werden, welche die Stromtransportmechanismen (v. a. haftstellenbasierte Poole-Frenkel-Emission) als auch stressinduzierten Leckstrom als Indiz für eine Degradation begründet. Unterschiede konnten in Bezug auf die Energieniveaus der vorhandenen Haftstellen in Zirconium- bzw. Hafniumsilicat gezeigt werden. Diese, jeweils zwei Niveaus, liegen in Hafniumsilicat etwa 0,65 und 1,05 eV und in Zirconiumsilicat 0,95 und 1,5 eV unterhalb der Leitungsbandkante des Dielektrikums. Durch die Haftstellen wird auch der Ladungsaufbau während eines elektrischen Stress beeinflusst.

Neben ternären Metallsilicaten wurden die Auswirkungen einer Beimischung von Titansilicat unterschiedlicher Anteile in Hafniumsilicat mit resultierenden quarternären Hafniumtitansilicaten (Abbildung 6.6 links) auf elektrische Kenngrößen untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich durch Beimischung die Dielektrizitätskonstante ϵ erhöhen lässt - Abbildung 6.6 mitte zeigt resultierende Kapazitäts-Spannungskennlinien -, ohne dass dabei die Stromdichte signifikant steigt oder der Stromtransportmechanismus geändert wird. Im Rahmen der Untersuchungen trifft dies auf ein Hf:Ti-Verhältniss bis etwa 50:50 zu, wie aus einem Auftrag der Stromdichte über dem elektrischen Feld (Abbildung 6.6 rechts) zu sehen ist. Eine Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten geht jedoch zu Lasten von Ladungen im Dielektrikum aufgrund ungesättigter Bindungen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit von der Stöchiometrie sowohl ein Wechsel im Stromtransportmechanismus von Poole-Frenkel-Emission in hafniumreichen Hafniumtitansilicaten hin zu phononenunterstütztem Tunneln (d. h. ab einem Hf:Ti-Verhältnis von etwa 30:70 über Phononen einer Energie etwa 20 meV) stattfindet als auch für den Übergangsbereich in Bezug auf die Spannungspolarität ein unsymmetrischer Stromtransport auftritt. Beides ist in einer kontinuierlichen strukturellen Änderung von Hafniumtitansilicat mit steigendem Titangehalt begründet (z. B. Phasenseparation, von der Hafniumtitansilicat/Silicium-Grenzfläche beginnend).

In einem weiteren Schwerpunkt der Arbeit konnte die Kompatibilität des CVD-Prozesses wie auch des Hafniumsilicat als Dielektrikum zu Germaniumscheiben nachgewiesen werden. In Gegenwart von Germanium konnte ein im Vergleich zu Siliciumsubstraten geändertes Abscheideverhalten der Ausgangschemie (d. h. verstärkte Abspaltung der Siloxidliganden) beobachtet werden, aufgrund dessen sich z. B. eine Zusammensetzung des Dielektrikum zu annähernd stöchiometrischem, kohlenstofffreiem Hafniumoxid mit einem Siliciumeinbau nur in der obersten Deckschicht bei Isolatorstärken größer etwa 15 nm auf nitridiertem Germanium ergab. Für eine Nitridierung der Germaniumoberfläche ließen sich durchgängig positive Auswirkungen auf C(U)- als auch J(U)-Charakteristiken von MIS-Kondensatoren zeigen (d.h. Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten auf maximal 18,6 bei gleichzeitiger Verringerung der Ladungsdichte wie Stromdichte) im Vergleich zu blanken Germaniumscheiben. Der Stromtransport wurde wiederum über Poole-Frenkel-Emission über Haftstellen einer Energie von etwa 0,5 eV beobachtet.

6.4 *Simulation der Nahfeldbelichtung*

(Péter Bálint Meliorisz, Tag der Promotion: 14. Juli 2010)

Zur Übertragung von Strukturen im Bereich weniger Mikrometer bieten sogenannte Proximity-Aligner eine kostengünstige Alternative zu den teuren Projektionsoptiken. Bei den Proximity-

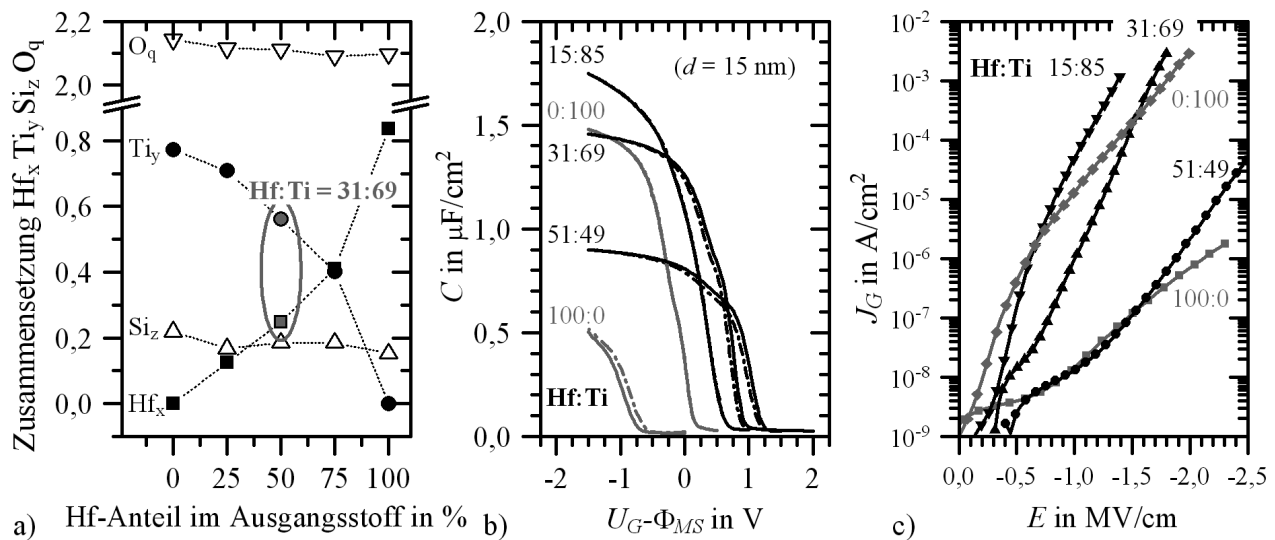


Abb. 6.6: links: Mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie gemessene Zusammensetzung gemischter Hafniumtitansilicate. mitte: $C(U)$ -Kennlinien zeigen eine Erhöhung der Kapazitäts- und damit auch der ϵ -Werte quarternärer Hafniumtitansilicate in Abhängigkeit des Hf:Ti-Verhältnisses. rechts: Zugehörige Stromdichte in Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke.

Alignern wird auf die teure Projektionsoptik verzichtet. Die Siliciumscheibe mit dem Photolack wird in einen geringen Abstand von bis zu wenigen Mikrometern von der Maske gebracht. Das lithographische „Bild“ entsteht durch einen „Schattenwurf“ der strukturierten Maske im Photolack. In der Massenproduktion wird die einfachere Nahfeldbelichtung für die Herstellung von mikroelektromechanischen bzw. mikro-opto-elektromechanischen Systemen (MEMS bzw. MOEMS) und Flachbildschirmen angewendet. Die Nahfeldbelichtung wird auch an Universitäten und Forschungszentren häufig verwendet. Mit bereits existierenden Werkzeugen der Lithographiesimulation können solche Prozesse nicht beschrieben werden.

In dieser Arbeit werden Methoden für die Simulation und Optimierung von Prozessen, die auf der Nahfeldbelichtung basieren, entwickelt und umgesetzt. Der gesamte lithographische Prozessfluss einschließlich Belichtung, Backen (post-exposure bake) und chemischer Entwicklung wird behandelt.

Die Modellierung der Belichtung beschreibt die Lichtausbreitung bzw. die lichtinduzierten chemischen Vorgänge im Photolack. Zuerst wird das elektromagnetische Feld hinter der Maske berechnet, und dann auf den Photolack übertragen. Das grundsätzliche optische Phänomen, das die Lichtintensität hinter der Maske beeinflusst, ist die Beugung. Die verwendete Rechenmethode berücksichtigt eine breitbandige und partiell kohärente Belichtung und das Ausbleichen des Photolackes. Darüber hinaus ist eine flexible Definition der Maskengeometrie möglich. Beliebige Polygone können genauso einfach wie Rechtecke behandelt werden. Das erleichtert die Modellierung der in der Mikrosystemtechnik oft vorkommenden komplexen Strukturen (z.B. Zahnrad; Abbildung 6.7 links). Die Methode ist sowohl für zwei- als auch für dreidimensionale Simulationen einsetzbar.

Die Belichtungsmodellierung wird an DrLiTHO, den Lithographiesimulator von Fraunhofer IISB, gekoppelt um den Backschritt und die chemische Entwicklung des Lackes zu simulieren. Für die Simulation notwendige Lackparameter werden mit Hilfe von Kalibrierung ermittelt.

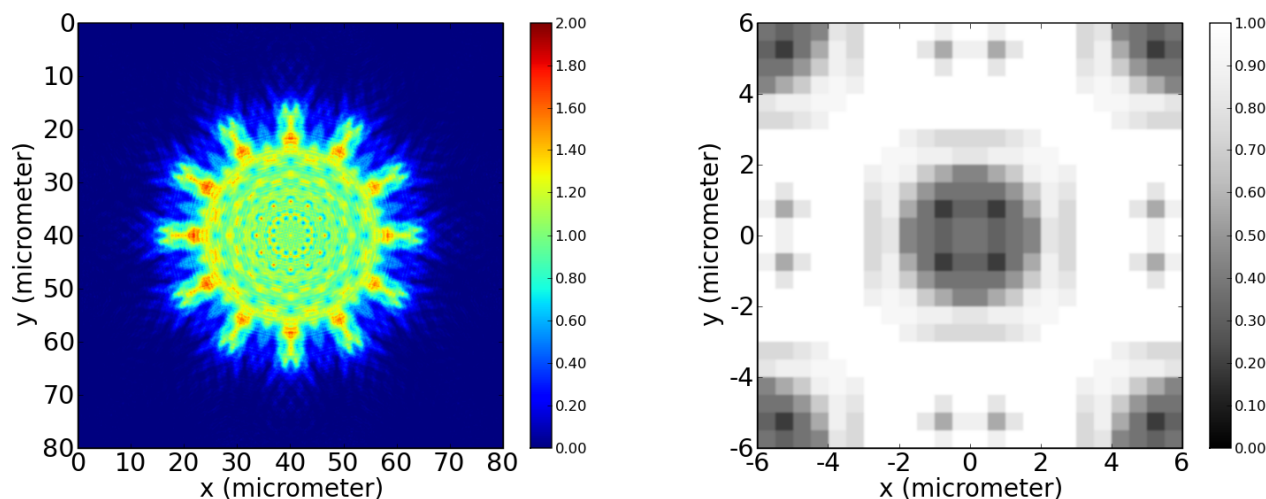


Abb. 6.7: links: Intensitätsverteilung im Nahfeld hinter einer zahnradförmigen Maskenöffnung, rechts: optimierte Graustufenmaske für die Abbildung von 3 texmu m Rechtecken

Berechnete Lackprofile werden mit experimentellen Messungen verglichen, um die Gültigkeit der angewendeten Modelle zu verifizieren.

Die Arbeit untersucht auch verschiedene Techniken zur Verbesserung der Auflösung, wie z.B. den Einsatz von Graustufenmasken (Abbildung 6.7 rechts), oder Doppelbelichtung.

6.5 Gleichspannungswandler hoher Leistungsdichte im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen

(Bernd Eckhardt, Tag der Promotion: 2. August 2010)

In dieser Arbeit wird die Auslegung von bidirektionalen, nicht galvanisch isolierten Gleichspannungswandlern mit extrem hoher Leistungsdichte und deren Einsatz im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen mit Elektro-, Hybrid-, und Brennstoffzellenantrieb untersucht. Dazu wird ein Überblick über aktuelle und zukünftige elektrische Antriebskonzepte für Kraftfahrzeuge gegeben und die Entwicklung von unterschiedlichen Batteriesystemen in den letzten Jahren aufgezeigt. Beispielhaft ist in Abbildung 6.8 der leistungsverzweigte Hybridantrieb des Toyota Prius dargestellt. Danach folgt eine theoretische und mathematische Betrachtung von Gleichspannungswandlern bis hin zur Regelungstechnik. Dies ist für das Verständnis der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Simulationsumgebung für leistungselektronische Wandler notwendig.

Eine bisher offene Frage war, wie sich Gleichspannungswandler im Antriebsstrang zur Stabilisierung und Regelung der Zwischenkreisspannung auf den Wirkungsgrad des gesamten Antriebsstrangs auswirken. Um diese Fragestellung zu beantworten, wird eine grundlegende und umfassende Simulationsumgebung für leistungselektronische Komponenten im Antriebsstrang von Personenkraftfahrzeugen entwickelt. Damit ist es erstmals möglich, die durchgehende Kette von Systemen im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen in anwendungsnahen Fahrzyklen zu untersuchen. Dazu wurden alle Komponenten in Matlab/Simulink hinsichtlich ihrer Verlustleistung modelliert. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Wirkungsgraduntersuchung von nicht-isolierenden Gleichspannungswandlern im Antriebsstrang und die Betrachtung der Vor- und Nachteile durch deren Einsatz.

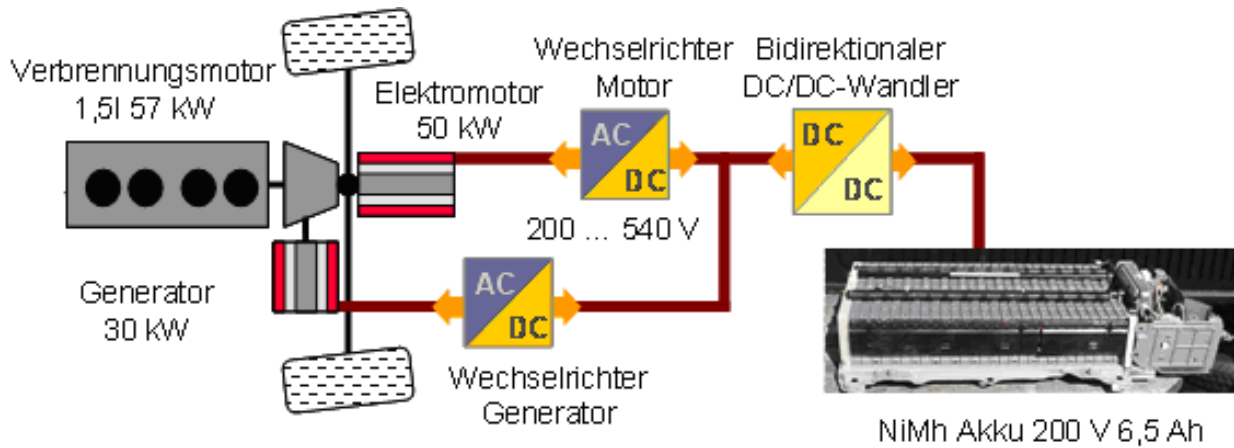


Abb. 6.8: Schematische Darstellung der Antriebskomponenten des Toyota Prius mit einem bidirektionalen Gleichspannungswandler zwischen der Batterie und den Antriebskomponenten

Dabei können unter bestimmten Bedingungen, insbesondere in Stadtverkehrszyklen, Wirkungsgradvorteile von bis zu 10% erreicht werden. Über die Wirkungsgradaussagen hinaus können mit dem entwickelten Simulationswerkzeug auch Aussagen über den Temperaturverlauf der einzelnen Leistungsbaulemente bis auf Chipebene gemacht werden. Das ist eine sehr nützliche Information, um die Leistungselektronik optimal auf das geforderte Lastprofil auslegen zu können. Auch für Untersuchungen der Lebensdauer ist der Temperaturverlauf über den Lastgang unbedingt notwendig.

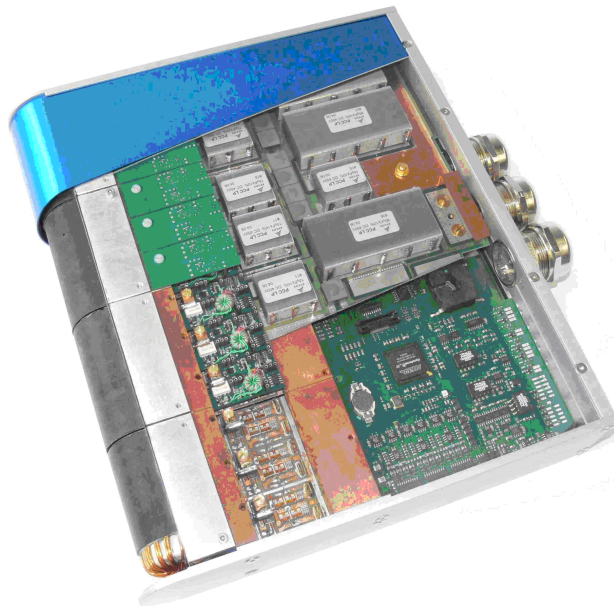


Abb. 6.9: Schnittmodell des entwickelten Gleichspannungswandlers mit einer Leistungsdichte von 25 kW/dm^3

Eine weitere in dieser Dissertation bearbeitete Fragestellung ist die Minimierung von Bauraum und Gewicht bei gleichzeitiger Optimierung des Wirkungsgrades für die Anwendung im Kraftfahrzeug. Dazu werden theoretische Abschätzungen durchgeführt und ein voll funktionsfähiger Prototyp eines bidirektionalen Gleichspannungswandlers mit einer Spitzenleistung von 100 kW aufgebaut, der in Abbildung 6.9 als Schnittmodell dargestellt ist. Für die Leistungshalbleiter

werden sehr schnell schaltende 600 V IGBTs in Verbindung mit SiC Dioden verwendet. Mit dem Prototyp konnte ein bis dahin in diesem Spannungsbereich von 450 V noch nicht erreichtes Leistung-zu-Volumen-Verhältnis von 25 kW/dm^3 und ein Leistung-zu-Gewicht-Verhältnis von $13,5 \text{ kW/kg}$ realisiert werden. Dabei zeigt der Prototyp, dass es mit heute verfügbaren Bauelementen prinzipiell möglich ist, bis 50 kW/dm^3 und mehr zu erreichen. Die durchgeführten Messungen zeigen einen Wirkungsgrad von über 97% und durch eine implementierte Phasenabschaltung im Teillastbereich kann auch dort ein sehr hoher Wirkungsgrad erzielt werden.

6.6 Charakterisierung von Metall-Oxid-Halbleiter-Strukturen auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von 4H-Siliciumcarbid

(Michael Grieb, Tag der Promotion: 6. August 2010)

Die Reduzierung des weltweiten Energiebedarfs ist eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit. Die Minimierung der Verlustleistung bei der Umwandlung von elektrischer Energie kann hierzu einen bedeutenden Beitrag liefern. Leistungsbaulemente auf der Basis von Siliciumcarbid (SiC) haben das Potential, die materialabhängigen Grenzen heutiger auf Silicium basierter Leistungsbaulemente zu überwinden und damit erheblich zur Reduzierung der Verlustleistung beizutragen. Hohe Schaltgeschwindigkeiten bei fast vernachlässigbaren Schaltverlusten, hohe Durchbruchspannung und geringer Vorwärtswiderstand im eingeschalteten Zustand sind Merkmale von Bauelementen aus Siliciumcarbid.

Diese hervorragenden Bauelementeigenschaften basieren auf den Materialparametern von Siliciumcarbid. Siliciumcarbid gehört neben Galliumnitrid, Zinkselenid und Aluminiumnitrid zu den Halbleitern mit großer Bandlücke. Insbesondere sind die hohe kritische Feldstärke E_c von $2,4 \text{ MVcm}^{-1}$ und die daraus resultierende hohe Sperrspannung bei gleicher Dotierung und Dicke der Epitaxieschicht von Leistungsbaulementen hervorzuheben. Daneben gewährleistet die Wärmeleitfähigkeit von $4,9 \text{ Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$ eine effiziente Abfuhr der anfallenden Wärme des Bauelements. Auch die Sättigungsgeschwindigkeit der Elektronen ist mit $2 \cdot 10^7 \text{ cm/s}$ doppelt so groß wie bei Silicium. Lediglich die Elektronenbeweglichkeit ist etwas geringer. Diese Eigenschaften (Abbildung 6.10 links) von Siliciumcarbid bieten im Vergleich zu Silicium große Vorteile auf bestimmten Anwendungsgebieten, z.B. der Leistungselektronik.

Obwohl in der SiC-Prozesstechnologie große Fortschritte erzielt wurden, gibt es immer noch eine Reihe von Problemen, welche gelöst werden müssen. Die Beweglichkeit der Inversionsladungsträger im n-MOSFET liegt noch weit vom theoretischen Maximum entfernt und hat auch noch keinen zufriedenstellenden Wert erreicht. Eine niedrige Beweglichkeit führt zu einem kleineren Stromfluss und dieser wiederum zu kleineren Leistungsdichten des Transistors und damit zu höheren Herstellungskosten. Um die Beweglichkeit des MOSFETs zu steigern, muss der Oxidationsmechanismus und die Grenzfläche SiC/Isolator intensiver untersucht und verstanden werden. Sowohl die Oxidation selbst als auch die Grenzfläche haben direkten Einfluss auf die Leistung des Transistors.

Des Weiteren genügen die SiC-Baulemente noch nicht den Zuverlässigkeitsanforderungen, zum Beispiel der Automobilindustrie, und liegen noch ein Stück weit von Silicium-Baulementen entfernt. Auch hier muss insbesondere der Isolator, welcher der empfindlichste Teil des Schalters ist, und die Grenzfläche SiC/Isolator verbessert werden. Es existieren verschiedene Ansätze um die Beweglichkeit und die Oxidzuverlässigkeit eines MOSFETs zu erhöhen. Auf der einen

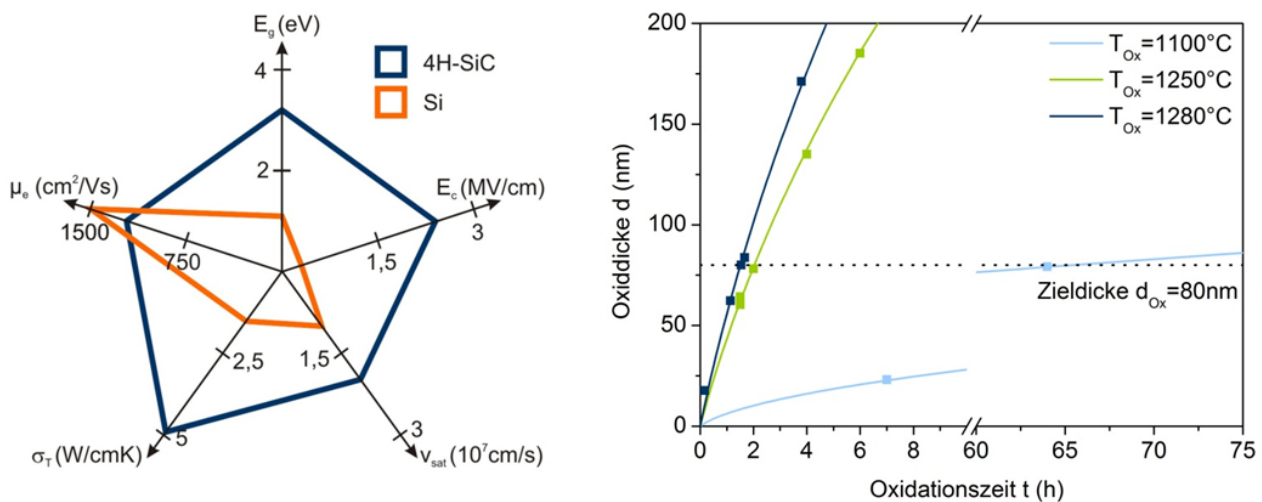


Abb. 6.10: links: Gegenüberstellung der Materialparameter von Si und 4H-SiC, rechts: Oxidationsrate auf der Siliciumseite von 4H-SiC in Abhängigkeit von der Temperatur

Seite sind die Hauptvariablen der Oxidation die Temperatur und die Atmosphäre, welche einen großen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Oxides haben. Auf der anderen Seite ist es möglich das Oxid abzuscheiden, um Kohlenstoffansammlungen an der Grenzfläche zu vermeiden. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit eine Art Zwitter herzustellen: erst wird das Oxid abgeschieden und im Anschluss oxidiert.

Diese Arbeit diskutiert die Vor- und Nachteile der beiden Oxid-Herstellungsmethoden unter Berücksichtigung der sich ergebenden elektrischen Eigenschaften, wie zum Beispiel der Flachbandspannung, der Anzahl der Oxidladungen oder der Grenzflächenzustandsdichte, und der Oxidzuverlässigkeit auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von Siliciumcarbid.

Dazu wurden als erstes die Oxidationsmechanismen auf den beiden Seiten bei verschiedenen Temperaturen und Atmosphären untersucht. Die Kohlenstoffseite oxidiert wesentlich schneller als die Siliciumseite und die Oxidationsraten sind dort mit Silicium vergleichbar. Es wurde gezeigt, dass bei der Trockenoxidation der Siliciumseite durch eine Erhöhung der Temperatur von 1100°C auf 1280°C die Prozesszeiten um 90% von 64 auf zwei Stunden verringert werden können (Abbildung 6.10 rechts), allerdings werden diese durch den Einsatz von stickoxidhaltigen Oxidationsgasen wieder verlängert. Während der Oxidation in stickoxidhaltigen Atmosphären bilden sich an der Grenzfläche $\text{Si}\equiv\text{N}$ Bindungen, welche vor dem Voranschreiten der Oxidation wieder aufgebrochen werden müssen. Stickoxidhaltige Gase während des Oxidationsprozesses sind vorteilhaft, weil dadurch die Anzahl der offenen Bindungen an der Grenzfläche SiC/Isolator deutlich verringert werden können.

Die verschiedenen hergestellten Oxide zeigten zum Teil ein deutlich unterschiedliches elektrisches Verhalten (Abbildung 6.11). Mit Hilfe von C(U)-Messungen wurde die Grenzflächenzustandsdichte bestimmt. Durch die Erhöhung der Temperatur und durch den Einsatz von Lachgas konnte diese um fast eine Größenordnung von $5 \cdot 10^{12} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ auf unter $7 \cdot 10^{11} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ reduziert werden. Gleichzeitig wurde dadurch die Stabilität der Oxide erhöht. Die Ladung, welche durch das Oxid fließen muss, bis dieses zerstört ist (der intrinsische QBD-Wert), erhöhte sich von $6 \cdot 10^{-3} \text{C/cm}^2$ auf $57,4 \text{C/cm}^2$. Weitere Verbesserungen wurden erzielt durch den Einsatz von abgeschiedenen und thermisch nachbehandelten PECVD-Oxiden. Durch das erstmalige Verwenden von NO zur Nachbehandlung konnte die Grenzflächenzustandsdichte auf unter

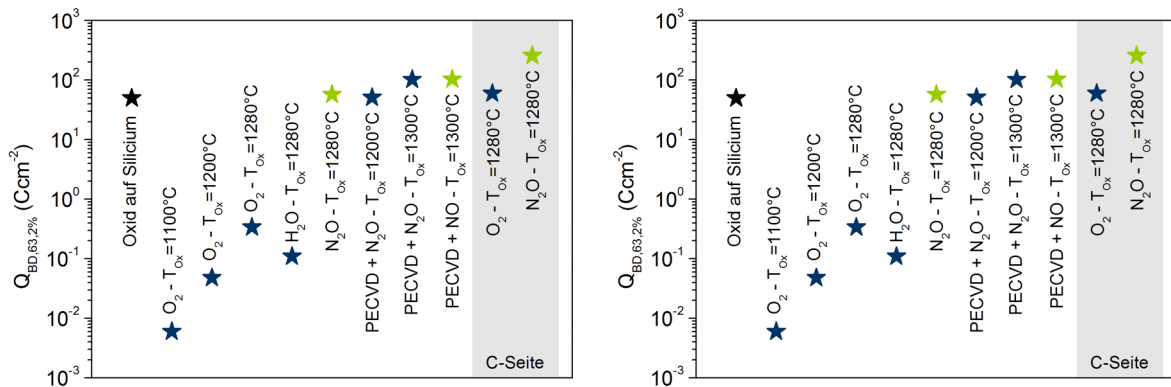


Abb. 6.11: links: Grenzflächenzustandsdichte der untersuchten Oxide, rechts: Intrinsische QBD-Werte der untersuchten Oxide

$10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ reduziert werden und ist somit mit typischen Dichten auf Silicium vergleichbar.

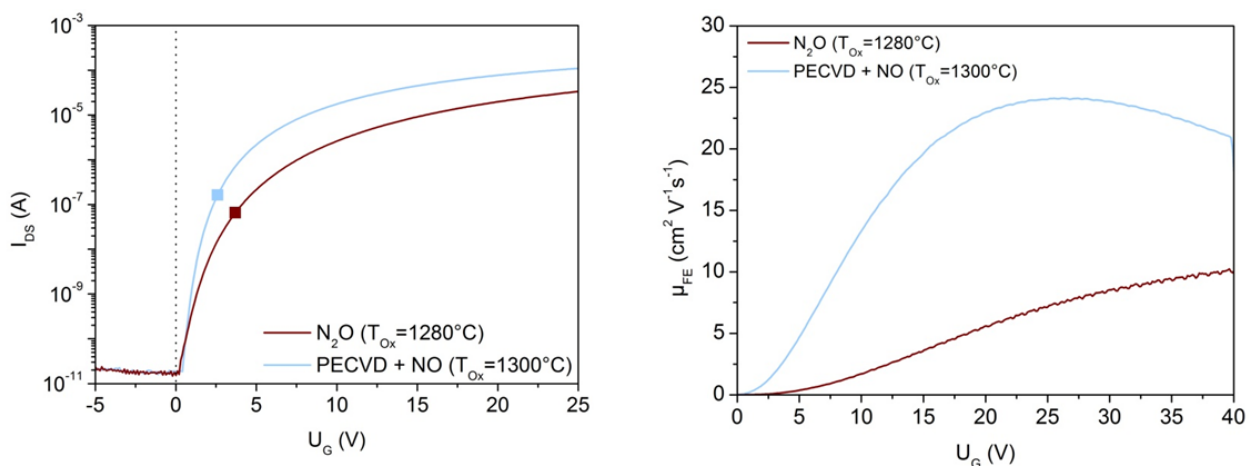


Abb. 6.12: links: Übertragungskennlinie der hergestellten Transistoren, rechts: Feldeffektbeweglichkeit der hergestellten Transistoren

Auf der Kohlenstoffseite konnte ebenfalls eine Verbesserung der elektrischen Oxideigenschaften durch den Einsatz von stickoxidhaltigen Gasen nachgewiesen werden. In dieser Arbeit wurde erstmalig die Zuverlässigkeit von Oxiden auf der C-Seite von 4H-SiC untersucht, die erreichten QBD-Werte liegen bei über 100 C/cm^2 und damit deutlich höher als auf der Siliciumseite oder auf Silicium.

Auf der Siliciumseite wurden auch Transistoren hergestellt. Diese besitzen eine Schwellspannung von größer 0 V , das heißt, es fließt kein Strom im ausgeschalteten Zustand (Abbildung 6.12 links). Die Schalter mit einem in NO nachbehandeltem PECVD-Oxid zeigten im Vergleich mit einem in N_2O hergestelltem Oxid eine Erhöhung der Beweglichkeit der Inversionsladungsträger von 6 auf $24 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Abbildung 6.12 rechts). Dadurch würde sich in einem Leistungsbauelement im VDMOS-Design der Anteil des Kanals am Gesamtwidestand von über 50% auf unter 25% reduzieren.

Anhand der Ergebnisse wurde außerdem ein Modell aufgestellt, das beschreibt wie sich die Oxidation auf die Eigenschaften des Halbleiters und die Oxidqualität auswirkt. Des Weiteren wurde aufgezeigt, an welchen Punkten noch Untersuchungen nötig sind, um die Leistungsdichte und Zuverlässigkeit von SiC-Bauelementen weiter zu erhöhen.

6.7 Effektive Austrittsarbeitskontrolle für Metal/High-k-MOS-Stapel

(Azinwi Fet, Tag der Promotion: 3. November 2010)

Der Erfolg der Halbleiterindustrie beruht darauf, durch stetige Skalierung des MOS Transistors immer leistungsfähigere Elektronik bei stetig sinkenden Preisen anbieten zu können. Zurzeit befindet sich die CMOS-Fertigung bei der 32-nm-Technologie, die eine SiO₂-Gate-Oxiddicke von ungefähr 1 nm für MOS Transistoren verlangt. Bei solchen Oxiddicken führen steigende Gate-Leckströme (über 1 A/cm²) zu hohem Energieverbrauch. Der Lösungsansatz der Industrie besteht darin SiO₂ durch ein Dielektrikum mit höherer Dielektrizitätskonstante (hoch- ϵ -Dielektrika) zu ersetzen. Auf Hafnium basierte Dielektrika sind hierfür favorisiert. Dadurch ist ein dickeres Gateoxid und niedrigerer Leckstrom möglich. Die konventionelle Polysilicium-Gate-Elektrode wird durch Metall ersetzt, um den Verarmungseffekt von Polysilicium an der Grenzfläche Polysilicium/hoch- ϵ zu vermeiden. Die Einsatzspannung von Metall/hoch- ϵ -Transistoren verändert sich nach dem S/D-Ausheilschritt während der Herstellung: Es kommt zu einer Verschiebung der effektiven Austrittsarbeit (engl. **E**ffective **W**ork **F**unction, EWF) des Gate-Metalls.

In dieser Arbeit wurde gezeigt, wie sich die effektive Austrittsarbeit des Metall/hoch- ϵ -Stapels mit einem einzigen Metall bei einem Gate-first Herstellungsverfahren mittels Ionenimplantation einstellen lässt. So lässt sich eine EWF von ungefähr 4,0 eV für NMOS-Transistoren und mit einem Lanthan-dotierten TiN/HfSiO_x (TiN/HfO_x)-Gate-Stapel einstellen. Für PMOS-Bauelemente kann die benötigte EWF von 5,1 eV mit einer Fluor-Dotierung erreicht werden.

Ursache der Verschiebung

Abbildung 6.13 beschreibt die Entstehung von Ladung im hoch- ϵ -Dielektrikum, die zu einer Verschiebung der Einsatzspannung führt, jeweils für den PMOS- und NMOS-Transistor. Bei einer S/D-Ausheilung, bei etwa 1000°C in Stickstoff wächst eine SiO₂ Schicht an der hoch- ϵ /Si-Grenzfläche. Der hierfür benötigte Sauerstoff wird der hoch- ϵ -Schicht entzogen und führt zu Defekten im Dielektrikum. Bei den hohen Temperaturen werden diese Defekte ionisiert und es entstehen Ladungen im Dielektrikum. Für PMOS-Bauelemente entstehen aufgrund der relativ hohen Metallaustrittsarbeit positiv geladene Defekte im Dielektrikum und für NMOS-Bauelemente negative Ladungen. Diese Ladungen verursachen die Verschiebung der effektiven Austrittsarbeit des Bauelementes.

Kontrolle der Austrittsarbeit mittels Implantation

Durch eine gezielte Dotierung des hoch- ϵ -Dielektrikums mit Lanthan kann im hoch- ϵ /SiO₂-Dielektrikumstapel eine positive Ladung im Dielektrikum erzeugt werden. Diese Ladung kompensiert die Ladung im hoch- ϵ -Dielektrikum für NMOS-Transistoren. Eine Fluor-Implantation erzeugt negative Ladung im Dielektrikum, die die positive Ladung im PMOS kompensiert. Diese durch Implantation erzeugte Ladung führt zu einer Verschiebung der C(U)-Kurve wie in Abbildung 6.14 für NMOS- und PMOS-Transistoren dargestellt ist.

Für die Implantationen wurde ein MOS-Stapel von TiN/HfSiO_x/SiO₂/Si verwendet. Der Stapel wurde implantiert und anschließend ausgeheilt bei S/D-Ausheiltemperaturen von 1070°C. Die Ergebnisse der Implantation in dieser Arbeit zeigen, dass die effektive Austrittsarbeit von hoch- ϵ basierten MOS-Bauelementen mittels gezielter Implantation mit Lanthan und Fluor eingestellt werden kann.

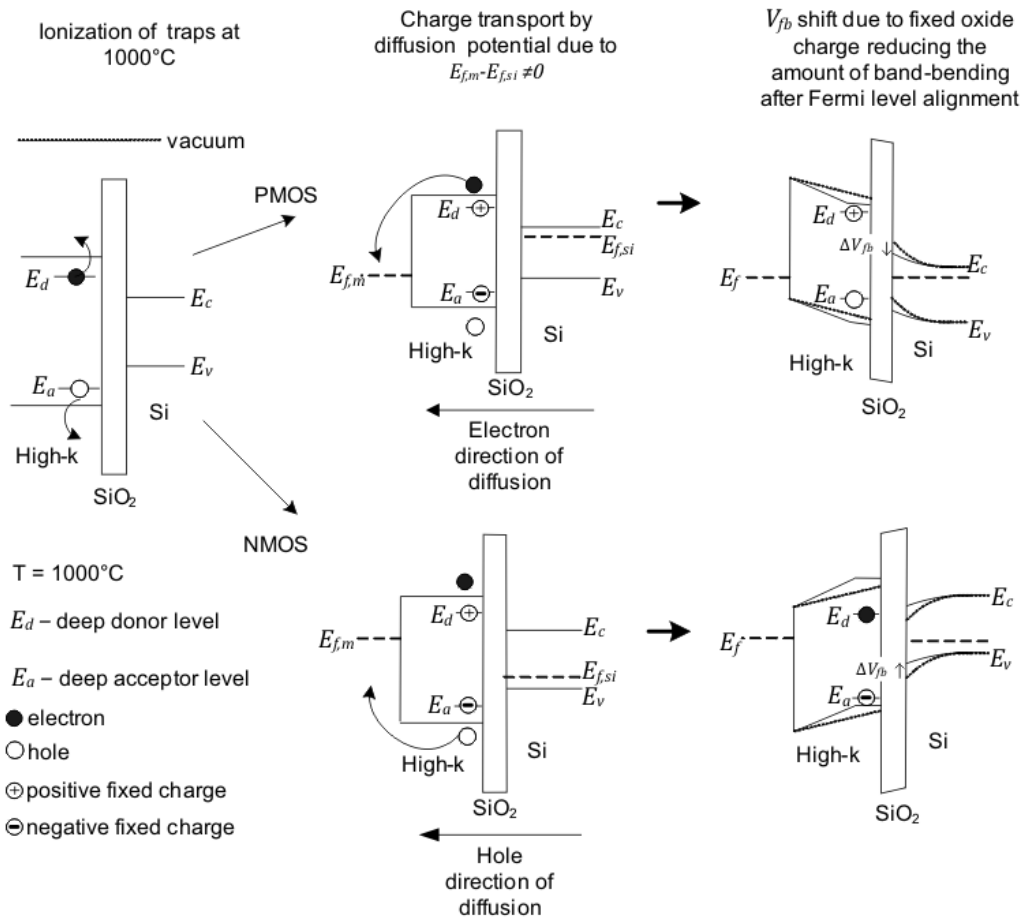


Abb. 6.13: Entstehung der Ladungsträger in hoch- ϵ -MOS-Stapel beim Ausheilen

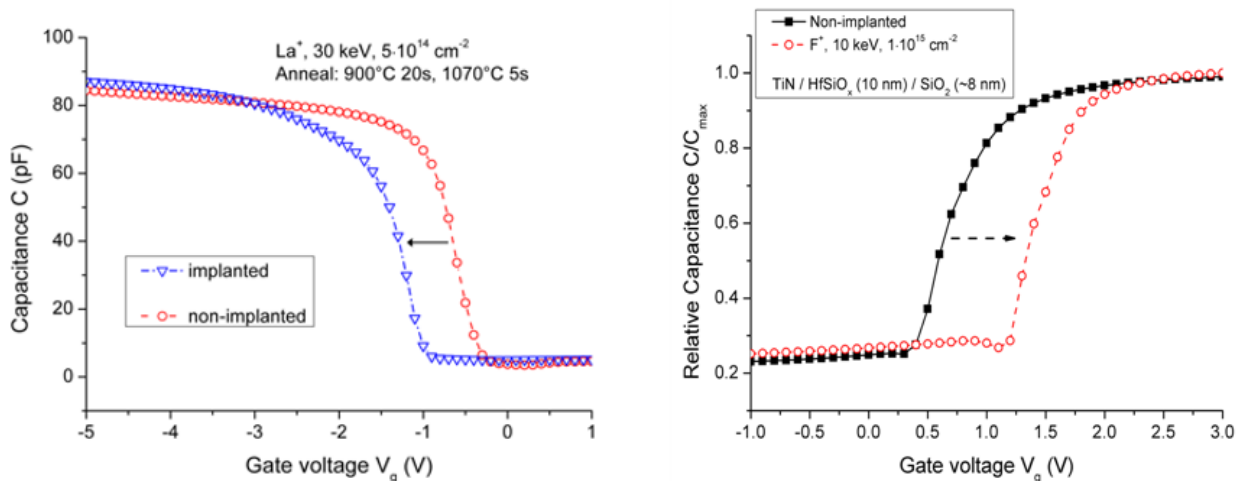


Abb. 6.14: links: Verschiebung der NMOS $C(U)$ -Kurve nach einer Lanthan-Implantation, rechts: Verschiebung der PMOS $C(U)$ -Kurve nach einer Fluor-Implantation

6.8 Evaluierung von CMOS Architekturen mit Gatelängen kleiner 50 nm mittels numerischer Simulationen

(Christian Kampen, Tag der Promotion: 3. Dezember)

Diese Doktorarbeit beinhaltet eine Simulationsstudie über das elektrische Verhalten von MOS

Feldeffekttransistorbauelementen (MOSFETs) bis hin zur Schaltungsebene. Dabei wird das elektrische Verhalten von konventionellen MOSFETs, „single gate fully depleted silicon on insulator“ (SG FDSOI) MOSFETs, „double gate fully depleted silicon on insulator“ (DG FDSOI) MOSFETs und FinFETs mit drei Gateelektroden (TG FinFET) mittels TCAD und SPICE Simulationen untersucht. Die Gatelängen der untersuchten Transistoren liegen dabei unter 50 nm.

Für die Untersuchungen dieser kleinen Transistoren wird ein neues Ladungsträgertransportmodell entwickelt, welches das quasi-ballistische Verhalten der Elektronen und Löcher in konventionellen Drift-Diffusionssimulationen berechnet. Beim Vergleich des Modells mit Monte-Carlo-Simulationen wird eine sehr gute Übereinstimmung erzielt, selbst wenn man die On-Ströme von sehr kleinen Transistoren mit Gatelängen von bis zu 10 nm berechnet (Abbildung 6.15 links). Dieses kann jedoch in einem Bruchteil der Rechenzeit erzielt werden, welche die Referenzrechnungen mit Monte-Carlo benötigten. Weiterhin können mit diesem Modell nun wieder Experimente beschrieben werden, wie es in Abbildung 6.15 rechts zu sehen ist.

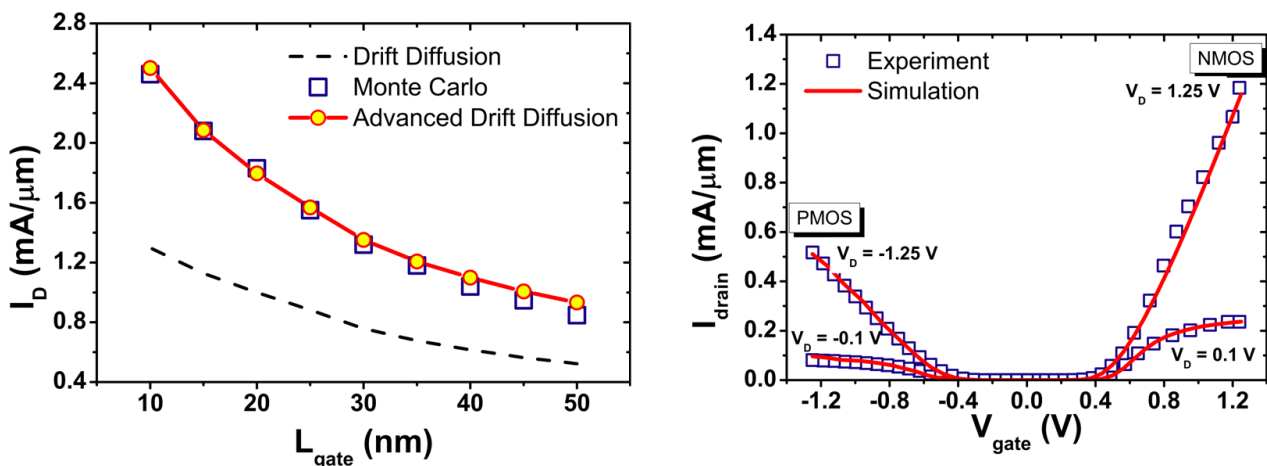


Abb. 6.15: links: Vergleich des „Advanced Drift Diffusion“ Modells mit Monte Carlo Simulationen, rechts: Vergleich des „Advanced Drift Diffusion“ Modells mit einem Experiment (FDSOI $L_{\text{gate}}=40$ nm)

Um das elektrische Verhalten der Bauelemente zu verbessern, werden unterschiedliche Prozessschritte, die mechanische Spannungen im Kanal der Transistoren erzeugen, begutachtet. Dazu wird ein verbessertes Piezomodell entwickelt, das eine Sättigung der Löcherbeweglichkeitssteigerung bei hohen mechanischen Spannungen berücksichtigt.

Der Einfluss von Schottky-Kontaktwiderständen, welcher durch die zunehmende Miniaturisierung der heutigen MOSFET Bauelemente immer weiter zunimmt, wird ebenfalls in dieser Arbeit mit Hilfe numerischer Prozesssimulationen, Bauelementesimulationen und Messungen untersucht. Optionen für die effektive Reduzierung von Kontaktwiderständen werden in dieser Arbeit präsentiert.

Dabei kann gezeigt werden, dass sich die Kontaktfläche vergrößern lässt, in dem man einen Graben in das Source/Drain-Gebiet ätzt und dieses anschließend metallisiert (Abbildung 6.16). Dadurch wird die Fläche um die Ätztiefe des Grabens und die Weite des Grabens vergrößert, ohne dass der Flächenverbrauch des Transistors dabei steigt.

Die elektrischen Eigenschaften konventioneller und alternativer MOSFET-Bauelementearchitekturen

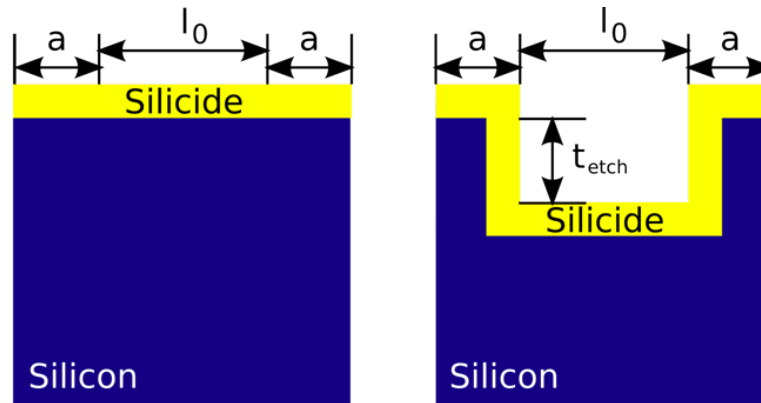


Abb. 6.16: Methode zur Vergrößerung der Kontaktfläche: Ätzen eines Grabens in Source/Drain

(Abbildung 6.17) werden mittels numerischer Prozess- und Bauelementesimulationen daraufhin beurteilt, ob sie den Anforderungen für Bauelemente mit hoher Schaltgeschwindigkeit, Bauelemente mit niedriger Leistungsaufnahme während des Betriebes und für Bauelemente mit niedriger Leistungsaufnahme im Ruhezustand des 32 nm Technologieknotens der „International Technology Roadmap for Semiconductors“ (ITRS) genügen. Dazu werden in dieser Arbeit unterschiedliche Prozessierungsmöglichkeiten diskutiert, mit denen sich das elektrische Verhalten der untersuchten Bauelemente dahingehend verbessern lässt, um das On-Strom zu Leckstrom Verhalten und die Signalverzögerung zu erreichen, das von der ITRS gefordert wird.

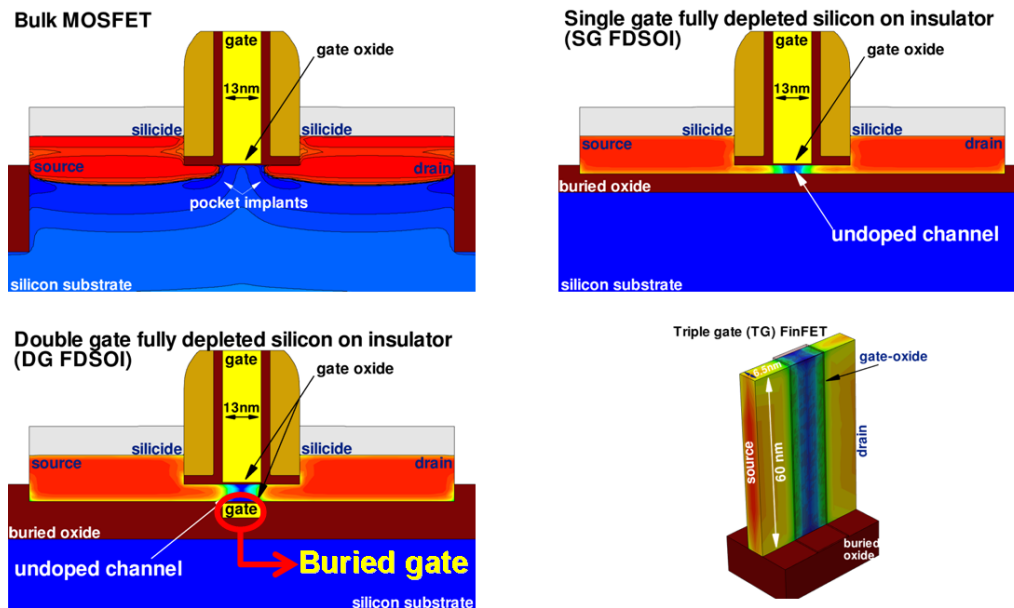


Abb. 6.17: oben: Bulk MOSFET (links), SG FDSOI MOSFET (rechts), unten: DG FDSOI MOSFET (links), TG FinFet (rechts)

Für die Beurteilung des Bauelementeverhaltens in integrierten Schaltungen wurden SPICE-Parameter der untersuchten CMOS-Bauelemente für niedrige Leistungsaufnahme im Ruhezustand mit konventionellen MOSFET-Kompaktmodellen extrahiert. Dazu wird in dieser Arbeit eine Methode vorgestellt, mit der MOSFET mit mehreren Gateelektroden mit Hilfe konventioneller Kompaktmodelle modelliert werden können. Mit dieser Methode werden anschließend Kompaktmodelle von DG-FDSOI-MOSFETs und TG-FinFETs erzeugt.

Schaltungssimulationen einer Inverterstufe, eines siebenstufigen Ringoszillators, eines 4-Bit-Ripple-Carry-Addierers (Abbildung 6.18 links) und einer SRAM-Zelle, basierend auf konventionellen und alternativen MOSFET-Architekturen, werden durchgeführt. Das elektrische Verhalten von konventionellen MOSFET, SG-FDSOI-MOSFET, DG-FDSOI-MOSFET und TG-FinFET in integrierten Schaltungen wird in dieser Arbeit diskutiert. Hierbei kann gezeigt werden, dass FinFET-Transistoren aufgrund ihrer dreidimensionalen Architektur den planaren Transistoren in Bezug auf die Schaltgeschwindigkeit und Integrationsfähigkeit überlegen sind. Abbildung 6.18 rechts zeigt dabei, dass die Addition der 4-Bits mit dem Ripple-Carry-Addierer aus den FinFET wesentlich schneller beendet ist, als die Addition des auf den Bulk-MOSFET basierten Addierers.

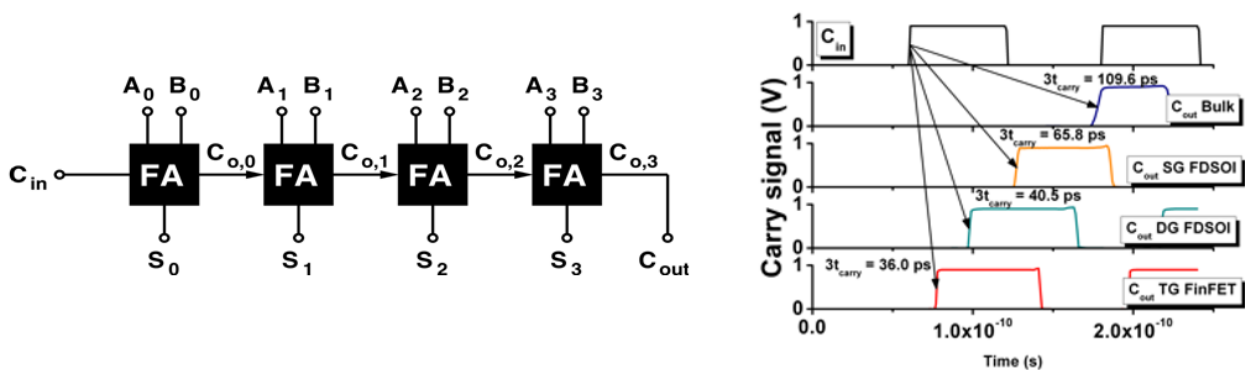


Abb. 6.18: links: 4-bit Ripple Carry Addierer, rechts: Addierergeschwindigkeit

Der Einfluss von Prozessschwankungen auf das elektrische Verhalten von konventionellen und alternativen Bauelementearchitekturen wird ebenfalls in dieser Arbeit untersucht. Zu diesem Zweck werden Lithographiesimulationen mit Prozess- und Bauelementesimulationen gekoppelt, um den Einfluss von Lithographieparameterschwankungen (Abbildung 6.19 oben links) auf die physikalische Gatelänge (Abbildung 6.19 oben rechts) und das Bauelementeverhalten (Abbildung 6.19 unten) zu beobachten.

Zusätzlich wird in dieser Arbeit eine erweiterte Form der SPICE-Kompaktmodellierung entwickelt, mit der die Einflüsse von Gatelängenschwankungen, Schwankungen der Filmdicke von SOI-Transistoren, Schwankungen der Spitztemperatur von so genannten Flash-Ausheilungen und Schwankungen der Ionenimplantationsdosis in SPICE Simulationen berücksichtigt werden können. Der Einfluss von einzelnen statistisch verteilten Dotieratomen auf die Einsatzspannung von konventionellen MOSFET wurde dabei ebenfalls in den SPICE-Simulationen berücksichtigt. Diese erweiterten Kompaktmodelle werden schließlich dazu verwendet, um die Einflüsse der jeweiligen Prozessschwankungen auf integrierte Schaltungen zu untersuchen. Dabei werden Schaltungen, basierend auf konventionellen und alternativen MOSFET Architekturen, auf ihre Stabilität gegenüber diesen Prozessschwankungen beurteilt.

6.9 3D-Simulation des Zerstäubungsätzens mit der Monte-Carlo-Methode

(Daniel Kunder, Tag der Promotion: 16. Dezember 2010)

Für die Herstellung kleinster Strukturen in unterschiedlichen Materialien findet häufig das Zerstäubungsätzen (Sputtern) Anwendung. Ein typisches Beispiel ist das fokussierte Ionen-

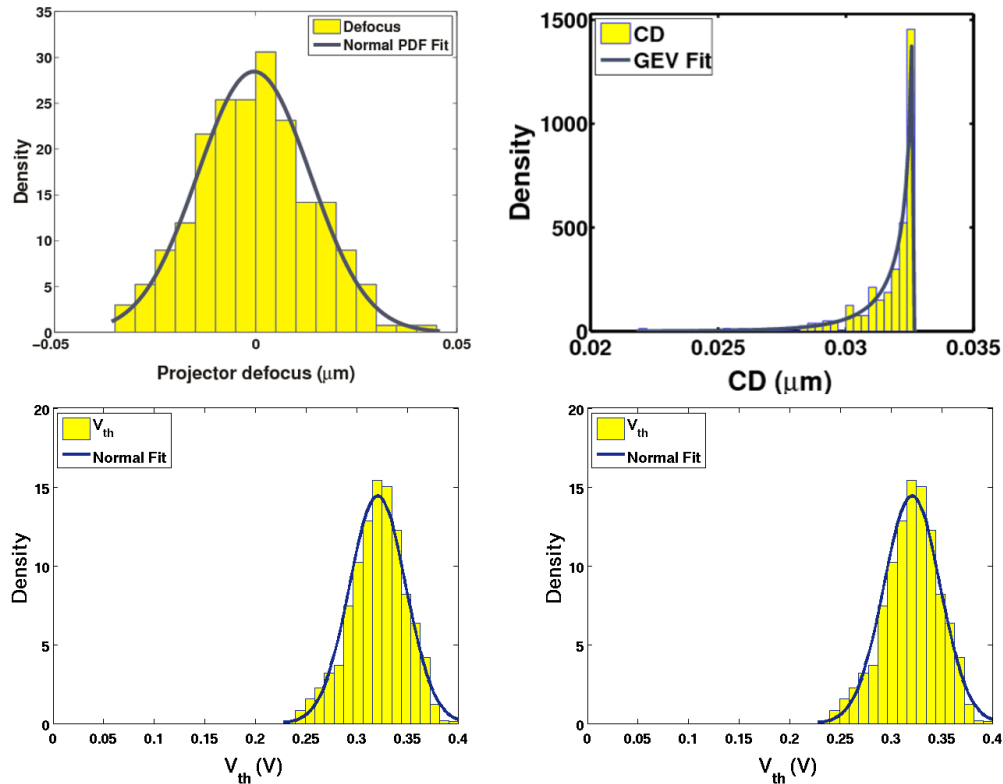


Abb. 6.19: oben: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Projektordefokus (links), Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der resultierenden Gatelänge (rechts), unten: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Einsatzspannung eines Bulk MOSFETs (links), Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Einsatzspannung eines FDSOI MOSFETs (rechts)

strahlätzen, mit dem verschiedenste Materialien strukturiert werden können, ohne dass ein Lithographieschritt nötig ist. Eine weitere Anwendung findet das Zerstäubungsätzen bei der Herstellung von Spitzen für Feldemissionskathoden. Um diese Herstellungsprozesse weiter zu verbessern, können Simulationen des Zerstäubungsätzens hilfreich sein.

Ein wichtiger Teil dieser Arbeit war die Integration des Monte-Carlo-Implantationsprogramms MC_SIM in das 3D Topographieprogramm ANETCH. Mit dem erweiterten ANETCH können für eine große Anzahl von Materialien/Ionen-Kombinationen Topographieänderungen berechnet werden, ohne dass Informationen über die Zerstäubungsausbeute notwendig sind. Obwohl Monte-Carlo-Programme wie MC_SIM Implantationsprofile mit hinreichender Genauigkeit berechnen, wurden einige Anpassungen an MC_SIM vorgenommen, um die Berechnung der Zerstäubungsausbeute weiter zu optimieren. Eine wichtige Verbesserung war dabei die Modifikation der elektronischen Abbremsung. Als weitere Veränderung wird nun die komplette Oberfläche, wie sie in ANETCH verwendet wird, auch für die Berechnung der Zerstäubungsausbeute benutzt, statt, wie bisher üblich, eine ebene Oberfläche anzunehmen. An Kanten wird der Unterschied zum bisherigen Verfahren besonders deutlich, da auch Stellen abgetragen werden können, die nicht direkt von Ionen getroffen werden.

Mit dem neuen Programm, das durch die Integration von MC_SIM in ANETCH entstanden ist, wurden charakteristische Eigenschaften des Zerstäubungsätzens analysiert. Besonders markant beim fokussierten Ionenstrahlätzen ist die Ausbildung von geneigten Seitenwänden und eine Erhöhung der Ätzrate am Grabenboden in der Nähe der Seitenwände, die als Microtrenching

bekannt ist. Die Schräge der Seitenwände wird hauptsächlich beeinflusst von der Wiederanlage zerstäubter Atome, der räumlichen Verteilung der Fluenz und der Winkelabhängigkeit der Zerstäubungsausbeute. Diese Abhängigkeiten wurden gezielt untersucht. Microtrenching hängt neben der Seitenwandneigung vor allem von der Reflektion der Ionen ab, wobei häufig eine Spiegelung der Ionen an der Seitenwand angenommen wird. Untersuchungen zeigten, dass Ionen weiter von der Seitenwand weg reflektiert werden, als es durch Spiegelung der Fall wäre. Dadurch ist das Microtrenching geringer ausgeprägt aber dafür breiter. Für das Verständnis des Herstellungsprozesses von Spitzen bei Feldemissionskathoden ist die Untersuchung der Ausbreitung einer steilen Seitenwand unter gleichförmigem Ionenbeschuss gut geeignet. Simulationen mit dem erweiterten ANETCH zeigten die Ausbreitung der steilen Seitenwände. Weiterhin wurde ein analytisches Modell entwickelt, das die Neigung der Seitenwand erklärt.

Um die Ergebnisse des Simulationsprogrammes zu verifizieren, wurden Experimente durchgeführt, bei denen Gräben mit fokussierten Ionenstrahlen und unterschiedlichen Strömen hergestellt wurden. Der Vergleich mit entsprechenden Simulationen ergab eine gute Übereinstimmung und zeigte, dass Microtrenching bei höheren Strahlströmen nachlässt bis es nicht mehr auftritt. Der Grund hierfür ist die Verbreiterung des Ionenstrahls bei hohen Strömen. Um die Abhängigkeit der Zerstäubungsausbeute vom Einfallswinkel zu verifizieren, wurden Experimente entworfen und mit Simulationen optimiert. Der Vergleich zwischen Experimenten und Simulationen ergab eine gute Übereinstimmung und zeigte die gute Anwendbarkeit des Programms, insbesondere für Prozesse des fokussierten Ionenstrahlätzens.

6.10 Modellierung fortschrittlicher Maskentechnologien für die optische und EUV-Lithographie

(Andreas Erdmann, Tag der Habilitation: 2. Februar 2010)

Die optische Projektionslithographie ist seit mehr als 30 Jahren das Standardverfahren zur Übertragung kleiner Strukturen auf Halbleiterscheiben. Durch Einführung zahlreicher innovativer Konzepte ist es gelungen, das Auflösungsvermögen optischer Projektionsverfahren bis in den Bereich von derzeit 45 nm voranzutreiben. Es ist absehbar, dass sich mit Hilfe der optischen Projektionslithographie bei einer Lichtwellenlänge von 193 nm noch Strukturen von 32 nm herstellen lassen. Für noch kleinere Strukturen wird gegenwärtig die Erweiterung der Projektionsverfahren für den Bereich extrem ultravioletter Strahlung (EUV-Lithographie) als einer der aussichtsreichsten Kandidaten gehandelt.

Eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung der Projektionslithographie spielt die Maske. Bis vor ca. 15 Jahren entsprach das Layout der Maske sehr genau dem gewünschten Layout auf der Halbleiterscheibe. Heutige Lithographiemasken enthalten eine Vielzahl von kleinen Hilfsstrukturen, um Verzerrungen des Bildes durch das Projektionssystem bzw. entsprechende Beugungseffekte zu korrigieren. Des Weiteren werden phasenschiebende Strukturen zur Verbesserung der Abbildungsqualität eingesetzt. Das Aussehen der Maske unterscheidet sich damit stark vom gewünschten Layout auf der Halbleiterscheibe. Zur Erforschung neuer Maskenkonzepte und für das Design der Masken werden umfangreich Simulationsverfahren eingesetzt. Die Lichtbeugung an den kleinen Maskenstrukturen muss dabei sehr genau mittels numerischer Lösung der Maxwellgleichungen simuliert werden. Mit solchen Simulationsverfahren lassen sich nicht nur Maskengeometrien bewerten und vergleichen, sondern auch der Einsatz alternativer Maskenmaterialien untersuchen.

Die vorliegende Arbeit fasst wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Simulationsverfahren für fortschrittliche Lithographiemasken zusammen. Aufbauend auf einem kurzen Überblick über verschiedene Maskentechnologien werden Simulationsverfahren zur Modellierung der Lichtbeugung an der Maske und der lithographischen Abbildung vorgestellt. Zahlreiche Anwendungen demonstrieren den großen Nutzen der entwickelten Simulationsverfahren zur Bewertung und Optimierung von Maskengeometrien und -materialien. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Maskentechnologien und entsprechende Simulationsverfahren.

7 Beispiele aus der Forschung

7.1 *Sonderforschungsbereich 694, Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme*

Zum 1.1.2006 richtete die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) den neuen Sonderforschungsbereich 694 „Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme“ an der Universität Erlangen-Nürnberg ein. Die erste Förderphase hat eine Laufzeit von vier Jahren.

Wissenschaftler der Fachrichtungen Maschinenbau und Fertigungstechnik, Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik sowie Informatik erforschen in 13 Teilprojekten die Grundlagen für innovative Fertigungsprozesse, wirkungsortgerechte Modul- und Systemkonzepte sowie virtuelle simulationsintegrierte Methoden der Qualitätssicherung und multisensorielle Mess- und Prüfstrategien für die Produktion und Integration elektronisch-mechanischer Komponenten.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.sfb694.forschung.uni-erlangen.de.

7.1.1 **Teilbereich B4 SFB 694, Motorintegrierte Leistungselektronik: Strukturflexibel mechatronisch integrierbare passive elektronische Bauelemente**

(Sven Egelkraut)

Auf Grund der immer weiter zunehmenden Elektrifizierung mobiler Systeme besteht der Wunsch nach effizienter, bauvolumenneutraler und wirkungsortgerechter Integration elektronischer Baugruppen bei gleichzeitiger Erhöhung der Betriebssicherheit sowie der Lebensdauer und Reduktion der Produktionskosten. Dieser Forschungsschwerpunkt wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 694 von 2006–2009 durch die DFG an der Friedrich-Alexander-Universität gefördert.

Der Einsatz passiver induktiver Bauelemente ist aus heutiger Sicht auf formstarre und standardisierte Kernformen beschränkt. In aktuellen leistungselektronischen Systemen finden metallische Legierungen, amorphe sowie nanokristalline Werkstoffe als geblechte oder aus Bändern gewickelte Kernformen Verwendung. Des Weiteren sind metallische Pulverwerkstoffe in gepresster Form als Pulverkerne sowie keramische Ferrite auf Grund der geringen Verlustleistungen besonders bei hohen Frequenzen im Einsatz. All diese Werkstoffe zeichnen sich durch Herstellungsprozesse aus, welche auf Grund ihrer Parameter (Temperatur, Druck, Geometriefreiheitsgrade) ungeeignet für die wirkungsortgerechte Integration in komplex geformten Bauräumen sind. Eine Möglichkeit, weichmagnetische Werkstoffe formflexibel zu gestalten, stellen weichmagnetisch gefüllte Kunststoffe dar. Dabei werden metallische oder keramische Partikel in polymere Materialien eingebracht und mittels kunststofftechnischer Verfahren verarbeitet. Ziel der erfolgreich abgeschlossenen ersten Phase des Teilprojektes B4 im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 694 war es weichmagnetisch gefüllte Kunststoffe wissenschaftlich und in Zusammenarbeit mit weiteren Lehrstühlen hinsichtlich ihrer Werkstoffparameter zu beschreiben und erstmals die Gebrauchseigenschaften für verschiedene leistungselektronische Systeme zu untersuchen. Die Anwendung dieser neuen Werkstoffe wurde abschließend erstmal in einer definierten Applikation erfolgreich demonstriert. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf internationalen Konferenzen wie dem „Annual Meeting of the Polymer Processing Society“ und der „Automotive Power Electronics Conference“ präsentiert. Eine umfassende Beschreibung der Ergebnisse wurde

auf dem Seminar „Innovative Materials for Power Electronics“, welches durch das „European Center for Power Electronics“ veranstaltet wurde, vorgestellt.

Die Vorteile dieses neuen Werkstoffes für die Leistungselektronik sind folgend zusammengefasst:

- Die formflexible Fertigung erfolgt nahezu ohne geometrische Beschränkungen durch den Fertigungsprozess, somit ist eine wirkungsortgerechte Integration möglich.
- Der Luftspalt, welcher für herkömmliche, hochpermeable weichmagnetische Werkstoffe in das Bauelement eingeschliffen wird, um die effektive Permeabilität zu senken und damit die Sättigung zu verhindern, ist im gesamten Kunststoffvolumen verteilt. Dies reduziert das magnetische Streufeld und damit die induzierte elektromagnetische Störung benachbarter Elektronik.
- Die flexible Gestaltung der Form ermöglicht die Fertigung eines Bauelementes mit einer nahezu beliebig geformten Oberfläche. Diese Oberfläche optimiert die Abfuhr der Verlustleistung an eine frei geformte Wärmesenke. Herkömmliche induktive Bauelemente, zum Beispiel aus Ringkernen oder E-Kernen, bieten nur bedingt die Möglichkeit, Wärme über die Oberfläche ohne zusätzliche Maßnahmen (z.B. Verguss) abzuführen.

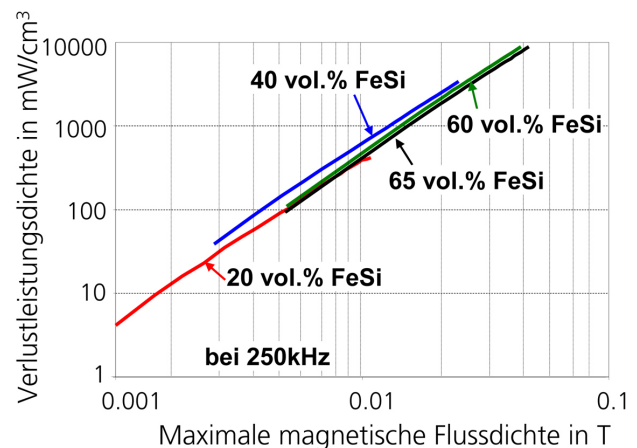
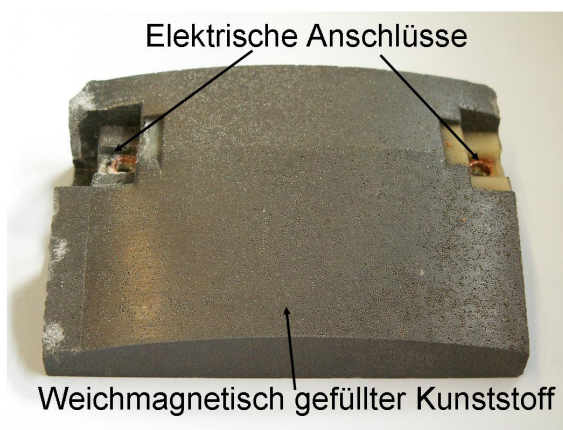


Abb. 7.1: links: Foto eines induktiven Bauelementes für leistungselektronische Anwendungen in elektrischen Antrieben, rechts: Charakterisierung der Verlustleistungsdichte weichmagnetisch gefüllter Kunststoffe

7.1.2 Teilbereich C4 SFB 694, Integrierbare Bauelemente zur Erhöhung der Betriebssicherheit elektronischer Systemkomponenten im Automobil

(Joachim vom Dorp)

Ziel der erfolgreich abgeschlossenen ersten Phase des Teilprojektes C4 im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 694 war die wirkungsortgerechte Integration leistungselektronischer Baugruppen mit erhöhter Betriebssicherheit im Motorraum von Kraftfahrzeugen. Damit verbunden sind zwei Aufgaben: Ein zuverlässiger Betrieb der Baugruppen unter Umgebungsbedingungen, die durch geringen und spezifisch geformten Bauraum, hohe Temperaturen von 100-200 °C, Vibrationen und korrosive Umgebung gekennzeichnet sind. Zum anderen handelt es sich um „vor Ort“ verfügbare Sicherungsbaulemente, die kritische Betriebszustände verhindern bzw. auflösen. Um diese Ziele zu erreichen, wurde eine Technologie zur Verkleinerung und Flexibilisierung der Bauform mittels trockenchemischem Grabenätzen entwickelt, mit der darüber

hinaus eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Elektronikkomponenten erzielt werden konnte. Dies bedeutet, dass die Anwendung von Leistungselektronik in kritischer Umgebung, wie z.B. im Motorraum, und eine verbesserte Betriebssicherheit durch eine erhöhte Integration von elektronischen Bauelementen ermöglicht wurden. Diese Ziele wurden jeweils unter Einsatz der entwickelten Grabenätz- und Strukturierungsprozesse wie folgt realisiert:

- Kompakte Bauform und zuverlässiger Betrieb wurden durch die Entwicklung eines hybrid integrierbaren Leistungskondensators demonstriert. Durch die Integration einzelner Bauelemente lassen sich einerseits die Baugröße verringern und andererseits die Anzahl der Einzelbauelemente und damit der heute bestimmende Ausfallfaktor, die Aufbau- und Verbindungstechnik, minimieren.
- Wirkungsortgerechter Einsatz erfordert für den sicheren Betrieb, dass kritische, undefinierte Betriebszustände vor Ort beherrscht werden. Hierzu wurden integrierte Sicherungselemente entwickelt und erforscht.

Ein hybrid integrierbarer Leistungskondensator ist in Abbildung 7.2 links schematisch dargestellt. In Abbildung 7.2 rechts ist ein Querschnitt des Kondensators als Rasterelektronenmikroskop-Bild gezeigt. Um eine große Kapazität mit möglichst geringem Platzverbrauch herzustellen, wird die Oberfläche durch eine dreidimensionale Strukturierung vergrößert. In einem Gesamtprozess wurden Kondensatoren mit einer Lochtiefe von ca. $40\ \mu\text{m}$ bei einem Lochdurchmesser von ca. $4\ \mu\text{m}$ prozessiert.

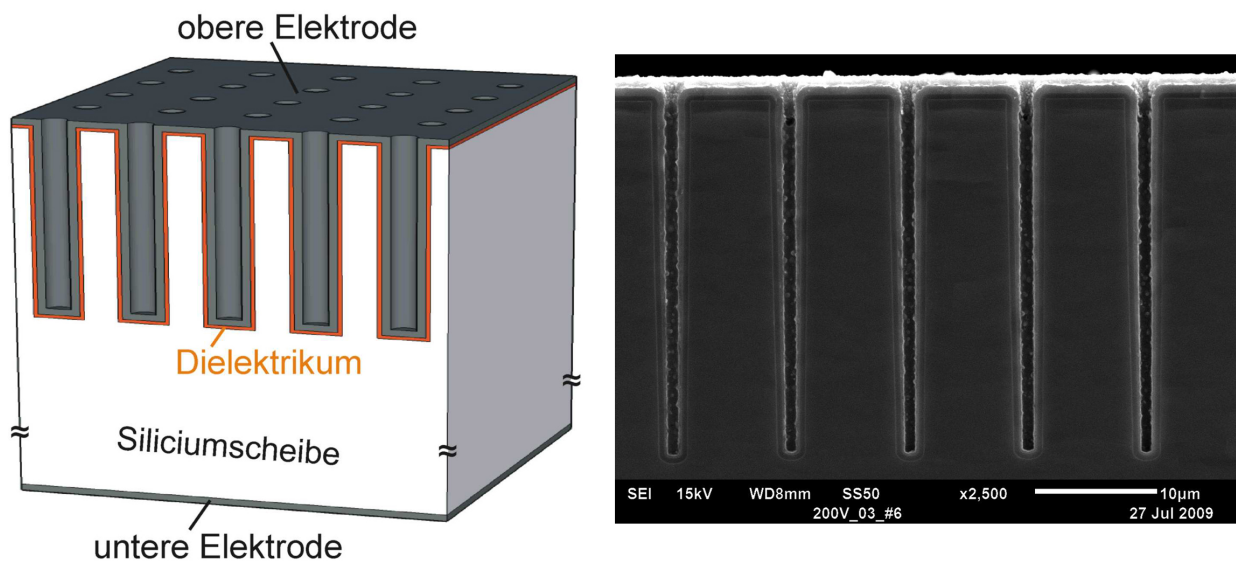


Abb. 7.2: links: Schematische Darstellung eines integrierbaren Leistungskondensators, rechts: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts

Durch den Einsatz integrierter Sicherungskomponenten werden kritische bzw. undefinierte Betriebszustände vor Ort beherrscht, was zu einem sicheren Betrieb, beispielsweise von Kraftfahrzeugen, führt. Ein Beispiel für eine integrierbare Sicherungskomponente ist in Abbildung 7.3 links in Form eines Sicherungselementes gezeigt. Das Sicherungselement besteht aus einer Leiterbahnstruktur, unter der sich ein Graben befindet. Im Fehlerfall wird ein erhöhter Strom eingepreßt, der zum Durchbrennen der Leiterbahn führt. Verstärkt wird dieser Effekt noch durch die Wärmeisolation im Bereich der Grabenstruktur, und es kommt zum Durchschmelzen. Die Schmelze wird in den Graben abgeleitet und es kommt somit zu einer irreversiblen Trennung des Strompfades. In Abbildung 7.3 rechts kann man ein bereits ausgelöstes Sicherungselement

erkennen.

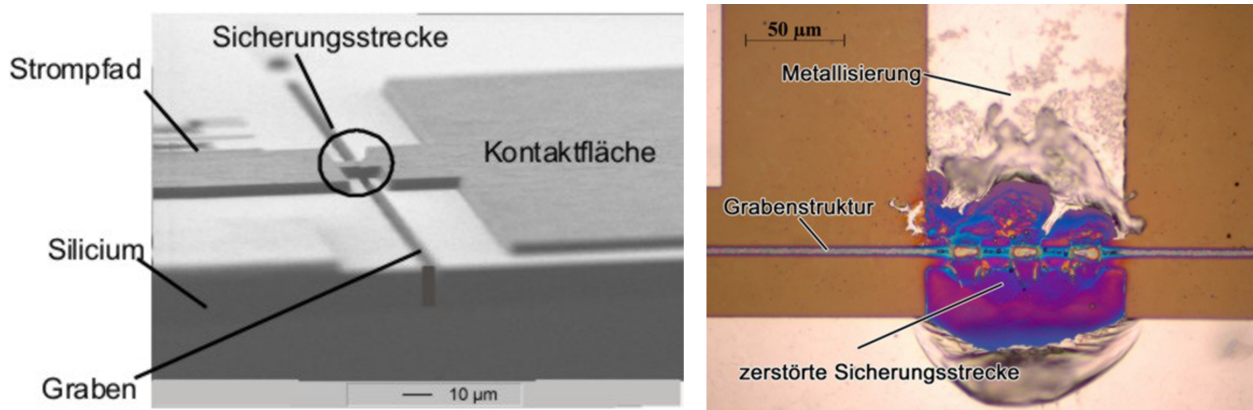


Abb. 7.3: links: Integrierbares Sicherungselement: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, rechts: Lichtmikroskopische Aufnahme eines ausgelösten Sicherungselementes

7.1.3 Das TechFak EcoCar - Energieeffiziente Fahrzeugkonzepte

(Sven Pöhlmann, Bernd Wunder)

Anfang des Jahres 2008 wurde am LEB das interdisziplinäre Gruppenprojekt „TechFak EcoCar“ ins Leben gerufen, welches sich mit Fragestellungen zum effizienten Umgang mit Energie in Kraftfahrzeugen befasst. Dabei erarbeiten und verwirklichen Studierende der Technischen Fakultät eigenverantwortlich zukunftsorientierte Lösungsansätze.

Im Projekt beweisen Studierende fachliches Engagement und setzen die im Studium erlernte Theorie in praxisnahen Anwendungen um. Ihnen wird dabei die Möglichkeit geboten, eigene Ideen zu realisieren. Dabei können sie Erfahrungen mit industrienaher Hard- und Software aus dem Bereich der Automobilbranche sammeln.

Im April 2009 wurde dem LEB vom Fraunhofer IISB ein Pkw als Versuchsplattform für das Projekt zur Verfügung gestellt (Abbildung 7.4). Dabei handelt es sich um ein vollständig elektrifiziertes Fahrzeug auf Basis des Citroën AX, das Mitte der 90er-Jahre von Citroën unter der Typbezeichnung „Electric“ entwickelt und für Flottenversuche in größerem Umfang auf die Räder gestellt wurde. Fahrzeuge dieses Typs sind heute noch auf der Straße unterwegs, obwohl die eingesetzte Technik längst nicht mehr dem aktuellen Stand entspricht. Durch die Nutzung dieser Versuchsplattform können sich die Studierenden auf die Modifikation einzelner elektrischer Komponenten konzentrieren, ohne rein mechanische Teile wie Chassis, Radaufhängung oder Bremsanlage selbst entwickeln zu müssen.

Um neue Komponenten, beispielsweise die Elektromaschine oder den Energiespeicher, optimal in den zur Verfügung stehenden Bauraum zu integrieren, werden die Bauräume vermessen und als CAD-Modell im virtuellen Raum nachgebildet. Die Plattform kann anschließend zum Einbau und zur testweisen Verschaltung der neu entwickelten Komponenten eingesetzt werden. Ein zweiter fahrtüchtiger „Elektro-AX“ steht dem LEB für Messfahrten zur Verfügung.

Darüber hinaus wurde die Ausstattung des Studentearbeitsraums mit Computern und Software zur Simulation von elektrischen Schaltungen und Entwicklung von Leiterplatten erweitert. Im



Abb. 7.4: *EcoCar-Versuchsplattform im Foyer des Lehrstuhlgebäudes*

Zuge dessen erfolgte die Anschaffung eines Notebooks, das für Mess- und Steuerungsaufgaben direkt im Fahrzeug eingesetzt wird.

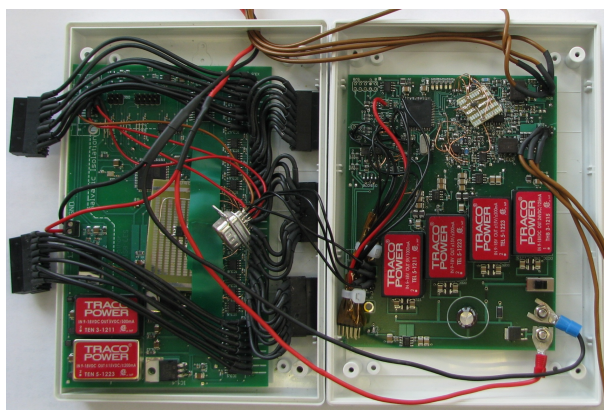


Abb. 7.5: *„Hochvolt-Batteriemessbox“ mit Platinen zur Spannungsmessung (links) und Strommessung (rechts)*

So wurden z.B. im Rahmen einer studentischen Arbeit mehrere reale Fahrprofile aufgezeichnet. Dazu mussten u.a. die Geschwindigkeit, Drehmoment und einige GPS-Daten aufgezeichnet werden. Diese lassen sich nach einer Aufbereitung in bestehende Simulationsmodelle einbinden, um damit ausgewählte Komponenten oder auch den kompletten Antriebsstrang auf Basis realer Fahrstrecken simulativ zu untersuchen.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen können die neuen Komponenten hinsichtlich der Anforderungen überprüft und gegebenenfalls optimiert werden, bevor diese in Realität aufgebaut werden. In weiteren Arbeiten wurden zwei Platinen entwickelt, wovon eine zur Messung der Spannungen an den einzelnen Akkuzellen des Fahrzeug-Energiespeichers dient und eine zur Erfassung des Stroms (Abbildung 7.5). Die Messwerte werden zur Aufbereitung und Speicherung an die dSPACE MicroAutoBox gesendet. Dabei erfolgt die Kommunikation zwischen den Geräten über ein im Automobilbereich weit verbreitetes Bussystem, das Controller Area Network (CAN). Anschließend können die so ermittelten Messdaten zur eingehenden Auswertung und Analyse an das Messnotebook übertragen werden, um als Basisdaten für die Dimensionierung eines neuen Energiespeichers zu dienen.

Die entwickelten Messplatinen sollen zusammen mit der MicroAutoBox in einem Elektrofahrzeug

eingebaut werden, um damit erste Messungen am Energiespeicher „on the road“ durchzuführen. Hierbei ist das Ziel, die Spannungen und Ströme an den einzelnen Zellen des Energiespeichers im realen Fahrbetrieb aufzuzeichnen. Aus den Ergebnissen lassen sich dann Erkenntnisse für die Auslegung eines neuen Energiespeichers oder eines Batteriemanagementsystems gewinnen. Ebenso können die Messungen mit Simulationen verglichen werden, um damit zu verifizieren, ob das angefertigte Modell genau genug ist oder ob bestimmte Komponenten eine detailliertere Modellierung erforderlich machen.

Als interdisziplinäres Gruppenprojekt erfolgt eine Förderung mit Mitteln aus den Studienbeiträgen der Technischen Fakultät. Weitere Unterstützung erfährt das Projekt durch das Fraunhofer IISB.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.leb.eei.uni-erlangen.de/ecocar.

7.2 *Graduiertenkolleg Disperse Systeme*

(Sebastian Polster, Sabine Walther)

7.2.1 Einleitung

Das Graduiertenkolleg läuft seit August 2005 und wird von der DFG gefördert. Zusammen mit dem Industriepartner Evonik Degussa GmbH wird das interdisziplinäre Feld der Herstellung druckbarer Elektronik auf Basis von anorganischen Nanopartikeln untersucht. Die einzelnen Teilprojekte werden von Doktoranden aus den Gebieten Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaften, Chemie- und Bioingenieurwesen und Elektrotechnik bearbeitet. Vor kurzem wurde die Weiterförderung von April 2010 bis September 2014 genehmigt. Mit der Weiterförderung wird das Graduiertenkolleg von 9 auf 12 Teilprojekte erweitert. Am LEB wird weiterhin das Teilprojekt „Elektronische Bauelemente auf nanokristallinem Netzwerk“ betreut.

7.2.2 Ziele

In der ersten Förderphase des Graduiertenkollegs konnten bereits Bottom-Gate-Transistoren aus nanopartikulärem Zinkoxid (ZnO) realisiert werden. Diese sollen in der zweiten Phase weiter optimiert werden. Hierfür ist die Kontrolle von Defekten in den Partikeln und an den Grenzflächen entscheidend. Darüber hinaus sollen erste gedruckte Schaltungen demonstriert werden.

7.2.3 Stand der Untersuchungen

Zur Herstellung der Transistoren werden ZnO-Nanopartikel verwendet, welche von der Evonik Degussa GmbH zur Verfügung gestellt werden. Diese werden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik (LFG) zu Tinten verarbeitet. Als Lösungsmittel wird Ethanol eingesetzt. Stabilisiert werden die Partikel durch Trioxadecansäure (TODS). Diese Tinten werden auf thermisch oxidierte, hoch p-dotierte Siliciumträger aufgeschleudert, so dass auf dem SiO₂ ein dünner, poröser Partikelfilm entsteht. Der Siliciumträger dient gleichzeitig als Gatelektrode und das SiO₂ als Dielektrikum. Um den Stabilisator aus

der Partikelschicht zu entfernen, muss diese auf 400 °C erhitzt werden. Die Source- und Drainkontakte auf der Partikelschicht werden mittels Elektronenstrahlverdampfung von Aluminium durch eine Schattenwurfmaske erzeugt. Diese Transistorarchitektur ist einfach herzustellen, hat jedoch den Nachteil, dass die Partikel nur wenige Kontaktpunkte mit dem Dielektrikum haben. Vielversprechender ist ein Ansatz, bei dem das Partikelnetzwerk konform vom Dielektrikum bedeckt wird, da damit ein besserer Felddurchgriff erreicht werden kann. Um diesen Effekt besser untersuchen zu können, wird hier auf die konventionelle Methode der Atomlagenabscheidung zurückgegriffen. Abbildung 7.6 zeigt den Querschnitt einer Partikellage, auf welcher eine 25 nm dicke Aluminiumoxidschicht abgeschieden wurde, sowie das Ausgangskennlinienfeld eines Top Gate ZnO-Nanopartikeltransistors, der unter Verwendung einer solchen Aluminiumoxidschicht aufgebaut wurde. Da das Dielektrikum an die Oberfläche der Partikelschicht angepasst ist, ist es nun auch möglich diese Grenzfläche gezielter zu untersuchen. Anhand des Top-Gate-Aufbaus kann beispielsweise untersucht werden, inwieweit der Unterschied zwischen der Rauheit an der Grenzfläche Partikelschicht/Dielektrikum und der Grenzfläche Dielektrikum/Gateelektrode Auswirkungen auf die Transistorfunktion hat. Darüber hinaus ist geplant Defekte an den Partikeln vor Abscheidung des Dielektrikums gezielt zu beeinflussen bzw. abzusättigen. Dafür ist die Anwendung verschiedener Plasmabehandlungen vorgesehen.

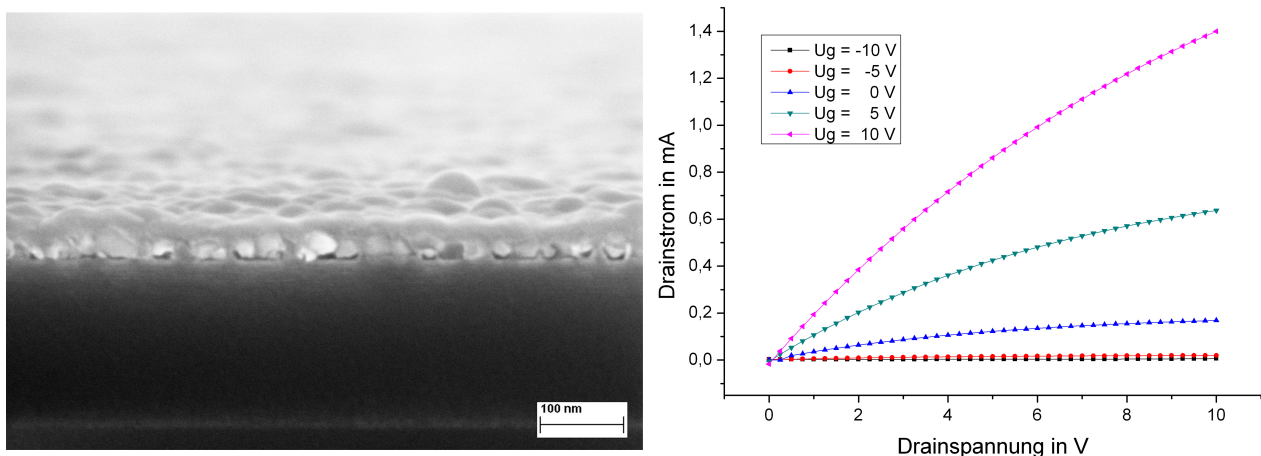


Abb. 7.6: Dünnschichttransistor im Top-Gate- Aufbau. links: REM Aufnahme des Querschnitts einer Aluminiumoxidschicht auf einem ZnO-Partikelfilm, rechts: Ausgangskennlinienfeld eines ZnO-Nanopartikeltransistors im Top Gate Aufbau mit einem Gate-dielektrikum aus Aluminiumoxid

7.3 Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials

Der Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials beschäftigt sich mit der Fragestellung, moderne Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten physikalischen oder chemischen Eigenschaften durch hierarchische Strukturierung kleiner Bausteine herzustellen. Die einzelnen Bausteine können beispielsweise Moleküle oder kleine Materialpartikel sein. Die Größen der Partikel können je nach Anwendung variieren zwischen Mikrometern bis hin zu einigen Nanometern (sogenannte Nanopartikel).

Der Exzellenzcluster ist in fünf Forschungsbereiche gegliedert.

1. Interdisziplinäre Forschung

2. Nanoelektronische Materialien
3. Photonische und optische Materialien
4. Katalytische Materialien für chemische Reaktionen
5. Leichtbaumaterialien

Der erste Forschungsbereich liefert durch die Untersuchung grundlegender, bereichsübergreifender Fragestellungen unterstützende Hilfestellung für die anderen Forschungsbereiche, die auf spezialisiertere, anwendungsbezogenere Themen ausgerichtet sind. Am LEB werden insbesondere die elektrischen Eigenschaften von flüssigprozessierten, nanopartikulären Materialien untersucht, mit dem Ziel daraus in Dünnschichttechnik elektronische Bauelemente herzustellen. Diese können beispielsweise als Kondensatoren, Dioden oder Transistoren ausgeführt sein, die wiederum die Grundbausteine für zukünftige elektronische Schaltungen darstellen.

7.3.1 Projekt B6: Elektrische Transportphänomene in ungeordneten Silicium-Dünnschichten

(Sebastian Weis)

Aufgabenstellung und Ziele des Projekts

Im noch jungen Forschungsfeld der gedruckten Elektronik werden neue Ansätze zur Herstellung kostengünstiger elektronischer Bauelemente verfolgt. Hier kommt es nicht entscheidend darauf an, das Leistungsniveau und die Qualität der Bauelemente aus der etablierten Siliciumtechnologie zu erreichen. Vielmehr kann durch weitestgehenden Verzicht auf teuren Hochtechnologieeinsatz bei der Prozessierung, zusammen mit der Möglichkeit großflächige oder flexible und transparente Substrate einsetzen zu können, völlig neuartige Elektronik realisiert werden, wobei sich das kommerziell nutzbare Endprodukt durch Herstellungskosten im Cent-bereich pro Stück auszeichnen könnte.

In den letzten Jahren wurden erfolgreich Metalloxide und organische Halbleiter als aktives Material eingesetzt. Dabei stehen dem kommerziellen Durchbruch aber noch einige Hürden wie z. B. zufriedenstellende Haltbarkeit, Leistung, Belastbarkeit und Materialkosten im Wege. In diesem Projekt soll die Frage geklärt werden ob Silicium als aktives Material für alternative Elektronik in Frage kommen könnte. Die vorteilhaften Volumeneigenschaften des Siliciums, die für den durchschlagenden Erfolg und die nahezu ausschließliche Verwendung dieses Materials in der konventionellen Elektronik verantwortlich waren, sollten unter gewissen Voraussetzungen auch für die gedruckte Elektronik von Nutzen sein. Hierbei besteht aber noch grundlegender Forschungsbedarf bei Themen wie Ladungstransport in ungeordneten Schichten und dem Einfluss von Ober- und Grenzflächen des Materials, der in diesem Projekt zum Thema gemacht wird.

Stand der Arbeit

Als Modellsystem werden bisher Dünnschichten untersucht, die aus Silicium-Nanopartikeln aufgebaut sind. Dabei werden Schichtdicken unter $1\ \mu\text{m}$ erzeugt und Partikel einer typischen Größe von etwa 30 nm verwendet (Abbildung 7.7). Die Herstellung der Nanopartikel wird am LEB vor Ort in einem Gasphasenreaktor durchgeführt, wodurch die gewonnenen Erkenntnisse aus

der Untersuchung des Materials und der daraus hergestellten Bauelemente zeitnah bei der Optimierung der Synthese verwendet werden können.

Als große Herausforderung speziell bei Siliciumnanopartikeln muss man allerdings die unvermeidbare Oxidation der ungeschützten Partikeloberfläche benennen, die bei Kontakt mit Sauerstoff auftritt und eine starke unmittelbare und irreversible Degradation der elektrischen Leitfähigkeit bewirkt. Um dieses Problem zu lösen, können im Wesentlichen zwei Ansätze verfolgt werden. Entweder man vermeidet den Kontakt der Partikel mit Sauerstoff, oder man schützt die Oberfläche der Partikel vor Oxidation durch eine geeignete Beschichtung. Im Jahr 2009 wurde vor allem die zuerst genannte Route verfolgt. Dazu wurden die Partikel direkt am Reaktor auf Probenträger deponiert und diese in einem gekapselten Behältnis in eine stickstoff-gefüllte Handschuhbox zur elektrischen Charakterisierung transferiert und so der Kontakt mit Sauerstoff so gering wie möglich gehalten.

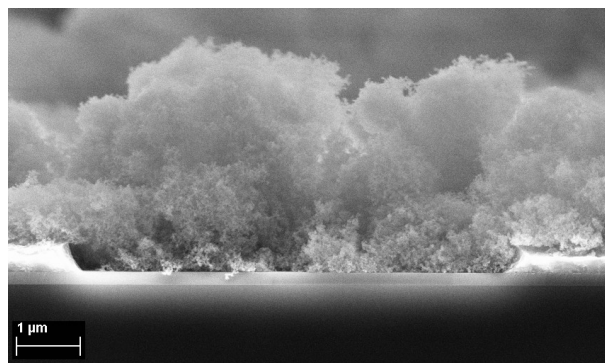


Abb. 7.7: *Querschnitt einer Siliciumnanopartikelschicht auf oxidiertem Si-Substrat mit Aluminiumelektroden am linken Rand. Die gesamte Prozessierung erfolgt in inerter Atmosphäre bei Raumtemperatur durch Dispergierung des Nanopartikelpulvers in einem Lösungsmittel und Aufschleudern sowie Trocknen der Dispersion auf dem Substrat.*

Die Strom-Spannungs-Kennlinien des Silicium-Dünnschicht zeigen einen nicht-linearen Verlauf, wie er für raumladungsbegrenzten Strom („space-charge-limited current“, SCLC) typisch ist. Die Auswertung dieser Kennlinien bei verschiedenen Temperaturen wird es ermöglichen, die Dichte und die energetische Verteilung von den elektrischen Strom behindernden Zuständen im Material zu bestimmen. Auf dem Weg zu solchen Messungen in einer auf 4 K kühlbaren Messkammer ist beim Evakuieren der Kammer allerdings ein zunächst überraschendes Phänomen beobachtet worden: Die elektrische Leitfähigkeit der Proben sinkt um mehrere Größenordnungen. In der Literatur und durch weitere Experimente fanden sich Hinweise, dass ein Großteil der elektrischen Leitfähigkeit wohl durch die an der Partikeloberfläche adsorbierte Feuchtigkeit direkt oder indirekt beeinflusst wird. Experimente zur weiteren Klärung dieses Phänomens sind noch im Gange.

Im Jahr 2010 wurde erstmals ein signifikanter Feldeffekt (Abbildung 7.8) an einer wenige Nanopartikellagen dicken Schicht (Abbildung 7.7) gemessen. Dabei wird noch das Substrat als sogenannte Gate-Elektrode verwendet, deren elektrisches Potential den lateralen Stromfluss durch die Schicht um mehrere Größenordnungen beeinflusst. Unbehandelte Schichten leiden hierbei noch unter einer ausgeprägten Hysterese, welche sich dadurch bemerkbar macht, dass die Kanalstromstärke nicht allein vom Wert der Gatespannung abhängt, sondern auch von der Richtung der Gatespannungsänderung.

Im Jahresverlauf wurde entdeckt, dass dieses für einen Transistor unerwünschte Auftreten einer Hysterese durch eine wenige hundert Nanometer dicken Deckschicht auf den Siliciumnanopartikelschicht mit organischem oder auch anorganischem Material nahezu eliminiert werden kann und zusätzlich eine zufriedenstellende Beständigkeit der Materialperformance an Umgebungsluft gewährleistet wird.

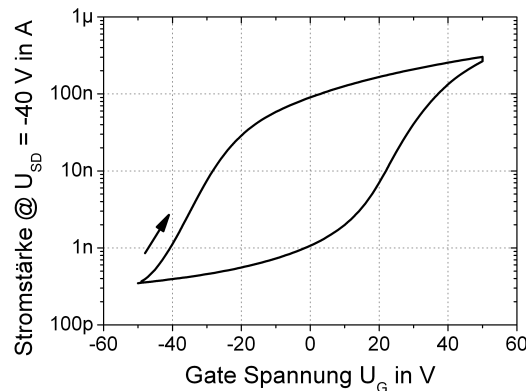


Abb. 7.8: Auswirkung einer Änderung des Substratpotentials (Gate) auf die Leitfähigkeit der Siliciumpartikelschicht.

7.3.2 Projekt B-SP POLYIC: Anorganische, halbleitende Materialien für den Einsatz in gedruckter Elektronik

(Bernhard Meyer)

Aufgabenstellung und Ziele

Zur Herstellung kostengünstiger Elektronik werden alternative Herstellungsmethoden benötigt, um nicht auf die aufwendigen und teureren Prozesse der Halbleitertechnologie zurückgreifen zu müssen. Hierfür eignen sich besonders Druckverfahren, wie sie auch im klassischen Papierdruck zum Einsatz kommen. Diese bieten neben einem hohen Durchsatz auch die Möglichkeit kostengünstige Substrate, beispielsweise Polymerfolien, zu verwenden. Neben der vielfach propagierten Polymerelektronik, bei der die Tinten für die Druckprozesse aus organischen Leitern, Halbleitern und Isolatoren bestehen, können auch Tinten mit anorganischen, nanopartikulären Materialien verwendet werden. Diese versprechen bei geeigneter Nachbehandlung der gedruckten Schichten bessere elektrische Eigenschaften als das organische Pendant.

Im Rahmen der Arbeit sollen verschiedene anorganische Halbleitermaterialien charakterisiert werden und auf ihre Einsatzfähigkeit in der gedruckten Elektronik hin bewertet werden. Die Charakterisierung soll vorrangig mit Hilfe von elektrischer Messtechnik und der Extraktion von elektrischen Parametern an Teststrukturen und Bauelementen erfolgen. Zur Herstellung der Bauelemente müssen zunächst die Tinten hergestellt werden. Hierfür müssen geeignete Lösemittel und Stabilisatoren gefunden werden, damit man eine homogene Dispersion erhält und die Nanopartikel nicht ausfallen. Die Tinten werden anschließend entweder ganzflächig aufgeschleudert oder mit dem Tintenstrahldruckverfahren definiert aufgebracht. Zum Schluss werden die Schichten oder Strukturen nachbehandelt; beispielsweise kann sich eine thermische

Behandlung im Ofen vorteilhaft auf die elektrischen Eigenschaften auswirken. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, den Einfluss der Bauform der elektrischen Bauelemente zu untersuchen, da dies Auswirkung auf die Extraktion der elektrischen Parameter hat.

Stand der Arbeit

Im Rahmen der Arbeit wurde bisher mit den Materialien Zinkoxid und Kupferoxid gearbeitet. Das Zinkoxid ist als n-Halbleiter bekannt, während Kupferoxid als p-Halbleiter beschrieben wird. Diese beiden Materialien wurden deshalb ausgewählt, weil zur Herstellung von elektronischen Schaltungen üblicherweise beide Leitungstypen nötig sind (sogenannte komplementäre Schaltungen). Während zu Beginn dieser Arbeit Zinkoxid untersucht wurde, wurden die Forschungsbemühungen mittlerweile auf Kupferoxid fokussiert.

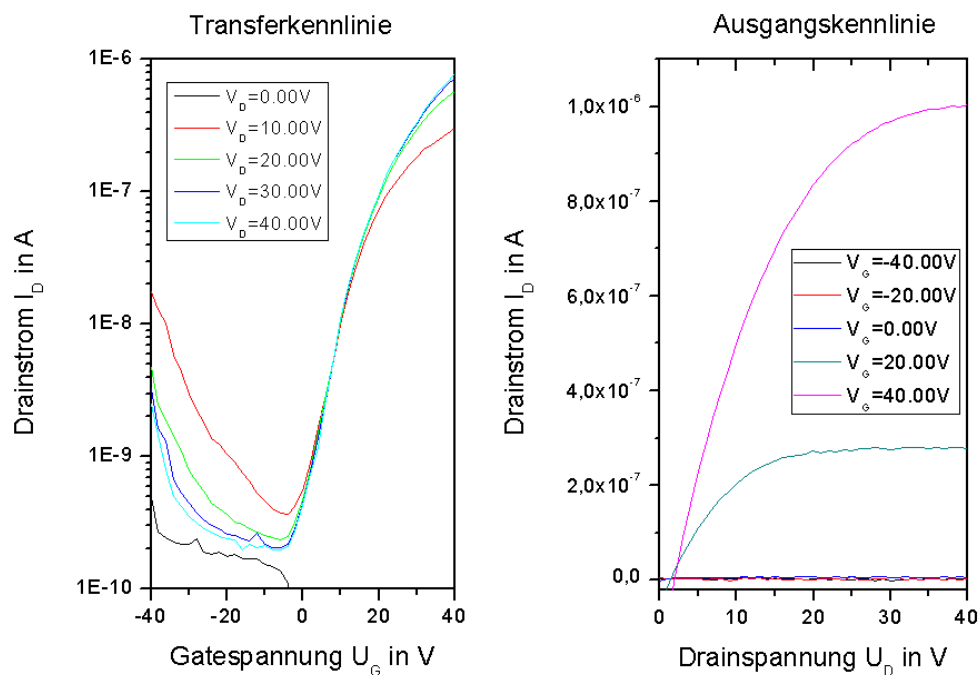


Abb. 7.9: Transfer- and Ausgangskennlinie eines TFT ($W/L=60$)

Zinkoxid

Zinkoxid wird am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente schon seit einiger Zeit erforscht, deshalb stehen bei diesem Material bereits geeignete Nanopartikeldispersionen zur Verfügung die sich aufschleudern und verdrucken lassen. Deshalb konnte gleich mit der Herstellung und Charakterisierung begonnen werden. Es wurden beispielsweise verschiedene Dünnschichttransistoren hergestellt. Exemplarisch sind die Kennlinien eines Bottom-Gate Transistors in Abbildung 7.9 zu sehen. Eine wichtige Kenngröße dieses Bauelements ist die Ladungsträgerbeweglichkeit. Abhängig von der Bauform lassen sich Beweglichkeiten von $1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ bis $0,1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ erreichen. Ein weiteres wichtiges Bauelement ist die Diode. Dioden lassen den elektrischen Strom durch das Bauelement nur in einer Richtung passieren, während ein Stromfluss in die andere Richtung blockiert wird. Dioden lassen sich beispielsweise in Form einer Schottky-Diode realisieren und bestehen im Wesentlichen aus einem Metall-Kontakt auf einem Halbleiter. In diesem Projekt wurde das Metall Silber verwendet.

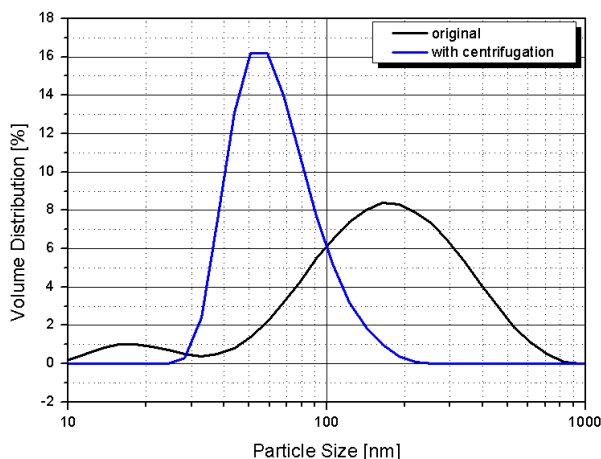


Abb. 7.10: Partikelgrößenverteilung vor und nach dem Zentrifugieren

Kupferoxid

Ausgangspunkt war bislang eine kommerziell erhältliche wasserbasierte Kupferoxid-Dispersion mit einem CuO-Anteil von 50%. Ohne weitere Behandlung der Dispersion ist sie jedoch zu zähflüssig mit einer breiten Größenverteilung der Nanopartikel (30 nm - 1000 nm, rote Kurve in Abbildung 7.10) und damit ungeeignet für das Aufschleudern oder gar den Tintenstrahldruck. Durch Zentrifugieren der Dispersion bei hohen Drehzahlen (20.000 min^{-1}) lässt sich die Partikelgrößenverteilung einengen, was sich positiv auf die Schichtbildung auswirkt. Darüber hinaus konnte die Dispersion durch Optimierung des Lösemittels verbessert und eine homogenere Schichtbildung erreicht werden. Elektrische Messungen zeigen einen sehr niedrigen Strom von einigen Nanoampere.

Des Weiteren wurde ein Fällungsprozess zur Synthese von Kupferoxid-Nanopartikeln untersucht. Hierbei werden Lösungen von zwei chemischen Verbindungen durch schnelle Injektion miteinander vermischt. Aufgrund von unterschiedlichen Löslichkeitsprodukten zwischen den Reaktanten auf der einen Seite und dem gewünschten Reaktionsprodukt auf der anderen Seite kommt es zur Keimbildung und zum Wachstum von Partikeln. Es konnte gezeigt werden, dass durch Verwendung unterschiedlich konzentrierter Lösungen sowohl die Partikelgröße als auch die Partikelform kontrolliert werden kann. Abbildung 7.11 links zeigt beispielsweise sphärische Nanopartikel, während in Abbildung 7.11 rechts kubische Nanopartikel zu sehen sind.

Neben der Verwendung von Nanopartikeln zur Herstellung von porösen Schichten werden auch weitere Flüssigphasenprozesse zur Herstellung homogener Kupferoxid-Dünnschichten untersucht. Die thermische Zersetzung von monomolekularen Präkursoren, die beispielsweise durch Aufsprühen aufgebracht werden können, oder die heterogene Nukleation an in Lösungen getauchten Siliciumoxidoberflächen sind zwei mögliche Konzepte, die verfolgt werden. Abbildung 7.12 zeigt eine 46 nm dicke Kupferoxidschicht auf einem Substrat aus Silicium und Siliciumoxid. Diese Schicht kann bei geeigneter Prozessierung beispielsweise für die Herstellung von Dünnschichttransistoren verwendet werden.

7.4 Winkelverteilung abgesputterter Atome

(Matthias Sekowski)

Dieses von der DFG geförderte Projekt (Zeitraum 15.02.06 bis 30.09.09) beschäftigte sich mit

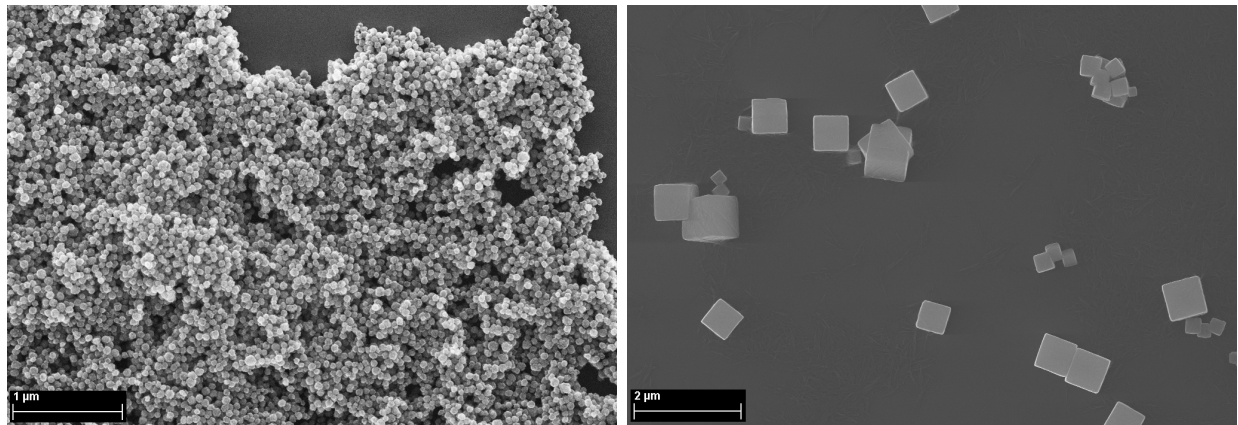


Abb. 7.11: links: *Synthese von spärlichen Nanopartikeln*, rechts: *Synthese von kubischen Nanopartikeln*

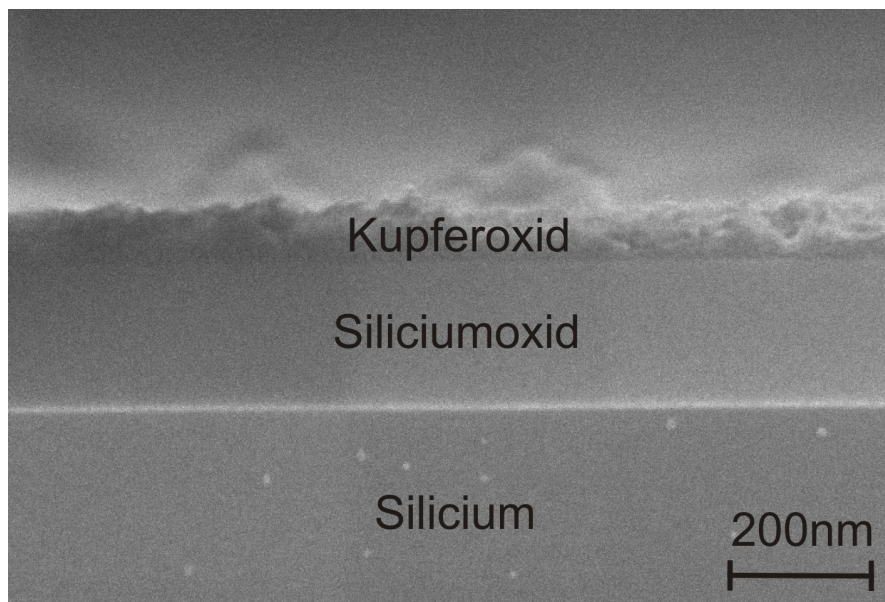


Abb. 7.12: *Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer flüssigphasenprozessierten Kupferoxid-schicht*

dem Zerstäubungsprozess von Festkörpern durch Ionenbeschuss unter streifenden Ioneneinfallswinkeln. Die Zerstäubung von Materialien, insbesondere von Silicium und anderen für die Bauelementetechnologie wichtigen Feststoffen, wird zur lokalen Materialbearbeitung an der Oberfläche des Festkörpers genutzt. Fokussierte Ionenstrahlanlagen können Strukturen im Nanometerbereich definiert herstellen. Allerdings entstehen durch immer kleiner werdende Strukturen neue Phänomene auf Grund von Wiederanlagerung ionenzerstäubter (gesputterter) Atome. Wird beispielsweise ein Graben geätzt, können Atome von einer Grabenwand an der gegenüberliegenden Wand angelagert werden. Um diesen Effekt gut beschreiben zu können, sind möglichst genaue Informationen über Winkelverteilungen gesputterter Atome nötig. Ziel dieses Projektes war es daher, den Zerstäubungsprozess sowohl experimentell als auch durch Simulationen zu untersuchen, um daraus Winkelverteilungen gesputterter Atome zu erhalten. Dabei war eins der Ziele die Erstellung eines analytischen Modells für die Verteilungen, welches für spätere Anwendungen in Simulationsprogrammen zum Ionenätzen Einsatz finden kann.

Zur Simulation der Zerstäubung muss das Eindringen von Ionen in einen Festkörper und die

Entwicklung der atomaren Kollisionskaskaden im Festkörper berechnet werden. Diese Simulationen wurden mit einem Monte-Carlo-basierten Programm durchgeführt. Untersucht wurden die Ionen-/Festkörperkombinationen Ga/Si, Ar/Ge, N/Ge und Ar/Cu. Für eine gute Statistik der Verteilungen waren je nach Fall bis zu 10 Millionen simulierte Ionen notwendig. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind im Jahr 2009 auf der Konferenz MicroNanoEngineering 2009 im Rahmen eines Posterbeitrages vorgestellt worden. Hier konnten Simulationen und Experimente zur Zerstäubung von Germanium verglichen werden. Die am Lehrstuhl durchgeführten Experimente führten zu einem verbesserten Modell der Oberfläche innerhalb des verwendeten Monte-Carlo-Programms. Das verbesserte Programm diente schließlich in einer projektübergreifenden Arbeit zur dreidimensionalen Simulation von Ionenätzstrukturen (Dissertation von D. Kunder, siehe Abschnitt 6.9).

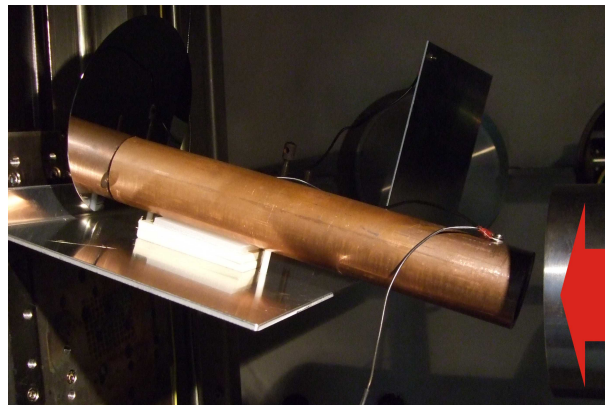


Abb. 7.13: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Kupferzerstäubung bei Bestrahlung mit Argonionen. Das am Rohrende austretende Kupfer wird untersucht. Der rote Pfeil markiert den Ionenstrahl.

Zur Demonstration einer praktischen Anwendung des neuentwickelten 3D-Ätzprogramms wurde ein Experiment aus dem Bereich der Implantationstechnologie durchgeführt. Ein bekanntes Problem bei Implantationsanlagen ist die Kontamination der bestrahlten Siliciumscheiben mit Material aus der Anlage selbst. Viele Implantationsanlagen arbeiten mit Magnetseparatoren, um die gewünschte Ionensorte aus dem gesamten Ionenstrom zu extrahieren. Dabei werden Ionen teilweise an die Wände des Magnetseparators gelenkt und können so Material (Eisen, Kupfer oder andere Konstruktionsmaterialien) sputtern, welches auf die zu implantierenden Scheiben gelangen kann. Eine direkte Simulation der ganzen Implantationsanlage ist auf Grund der komplizierten Geometrie und großen Abmessung etwas problematisch, daher wurde ein Versuchsaufbau realisiert, der zunächst das grundlegende Phänomen der Zerstäubung in einem Metallrohr untersuchen soll. Abbildung 7.13 zeigt den Aufbau eines Experimentes, welches in der Vakuumkammer einer Implantationsanlage montiert wurde. Von rechts angedeutet treffen Argonionen unter einem Winkel von 15° relativ zu einem Kupferrohr auf. Am Ende des Rohres ist eine Siliciumscheibe befestigt, die nach der Argonimplantation auf Spuren von Kupfer untersucht wurde. Vergleicht man die am Rohrende austretende Kupfermenge mit der entsprechenden 3D-Simulation der Ionenzerstäubung, so ist eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation festzustellen. Je länger allerdings das Kupferrohr ist, umso größer werden die Abweichungen, wobei die Simulation einen höheren Kupferanteil errechnet. Grund dafür ist vermutlich der bei Metallen bekannte Effekt des Sputterns von atomaren Clustern (Zusammenschluss mehrerer Metallatome), welcher in dem verwendeten Simulationsprogramm nicht berücksichtigt werden kann. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass

das implementierte Ätzprogramm für solche Aufgabenstellungen prinzipiell verwendet werden kann.

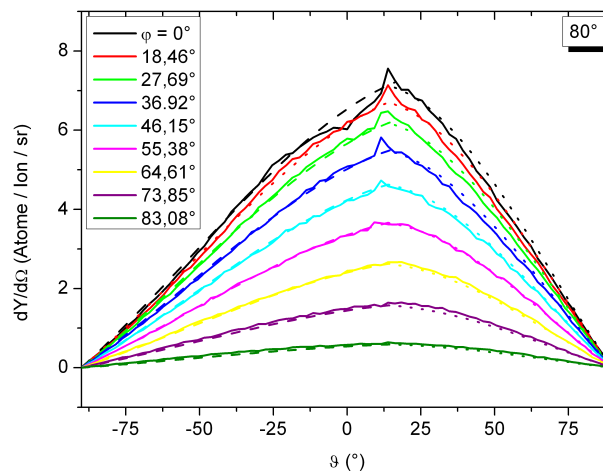


Abb. 7.14: Analytisches Modell zur Darstellung der Winkelverteilung für Galliumionen (30 keV, 80°) zur Zerstäubung von Silicium

Ein wichtiges Ergebnis dieses Projektes sind analytische Modelle für Winkelverteilungen ionenzerstäubter Atome. Insbesondere der streifende Ioneneinfall ist dabei bei bisherigen Untersuchungen nur unzureichend genau behandelt worden. Aus den simulierten Verteilungen konnte ein analytisches Modell erstellt werden, welches prinzipiell für alle Ionen-/Festkörperkombinationen verwendet werden kann. Ein Beispiel ist in Abbildung 7.14 dargestellt. Numerisch simulierte Winkelverteilungen sind als durchgezogene Linie dargestellt, das analytische Modell ist gestrichelt gekennzeichnet. Zu sehen ist die räumliche Winkelverteilung der mit Galliumionen (30 keV, 80°) gesputterten Siliciumatome. Der Einfallswinkel von 80° wird relativ zur Oberflächennormalen des Festkörpers angegeben. Im Kugelkoordinatensystem in Abbildung 7.14 entspricht Φ dem Azimut- und Θ dem Polarwinkel. Das hier genutzte Kugelkoordinatensystem hat Pole bei $\Theta = \pm 90^\circ$ und die Richtung $\Phi = 0^\circ$, $\Theta = 0^\circ$ entspricht der Normalen zur Targetoberfläche. Einige Schnittebenen bei konstanten Φ -Werten (Φ -Werte sind in der Abbildung angegeben) sind dargestellt. Das analytische Modell geht dabei von zwei unabhängigen Gaußfunktionen aus, die beim lokalen Maximum ($\Theta = 12^\circ$ bei $\Phi = 0^\circ$ in Abbildung 7.14) getrennt sind. Die gewonnenen Parameter des analytischen Modells können somit in Simulationsprogrammen implementiert werden, ohne dass eine Monte-Carlo-basierte numerische Berechnung der Winkelverteilungen nötig ist. Dies ermöglicht in Zukunft deutlich kürzere Rechenzeiten bei Ionenätzprogrammen.

7.5 Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen in Silicium

(David Schindele)

Im DFG-Projekt „Gitterleerstellen“ ging es ursprünglich um die Bestimmung der Gleichgewichtskonzentration und der Diffusionskoeffizienten der Gitterleerstellen in Silicium. Dafür wird eine Kurzausheilung an einem unprozessierten Wafer durchgeführt, wodurch Defekte mit Gitterleerstellen entstehen. Die dabei unter anderem entstehenden Phosphor-Gitterleerstellenpaare (E-Zentren) dienen zur Ermittlung der gesuchten Eigenschaften, die dadurch gewonnen werden,

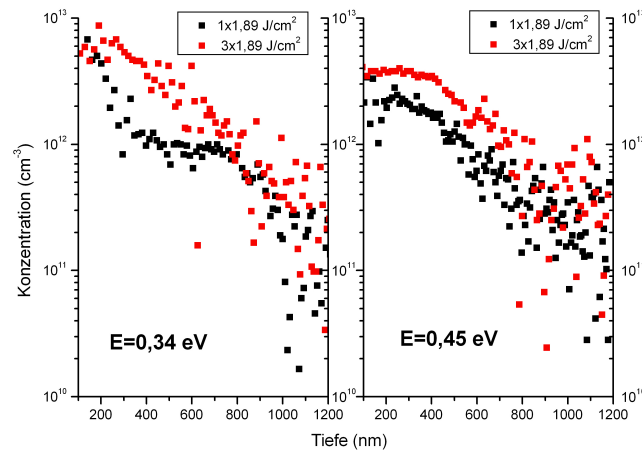


Abb. 7.15: Konzentrationsprofile zweier Zentren in zwei unterschiedlich ausgeheilten Proben, gemessen mit DLTS. Schwarze Punkte: einmalige Ausheilung mit einer Energiedichte von $1,89 \text{ J/cm}^2$, rote Punkte: dreimalige Ausheilung bei gleicher Energiedichte. links: unbekanntes Zentrum mit Lage im verbotenen Band bei $E_C - 0,34 \text{ eV}$, rechts: E-Zentrum mit Lage im verbotenen Band bei $E_C - 0,45 \text{ eV}$

dass Simulationen von Entstehung und Diffusion der Gitterleerstellen mit der gemessenen Verteilung dieser Defekte in der Scheibe abgeglichen werden. Bei der Verwendung eines Lasers zur Ausheilung wurden zahlreiche Defekte gefunden. Da diese technologisch relevant sein könnten, wurde das Projekt um die Untersuchung dieser Defekte erweitert.

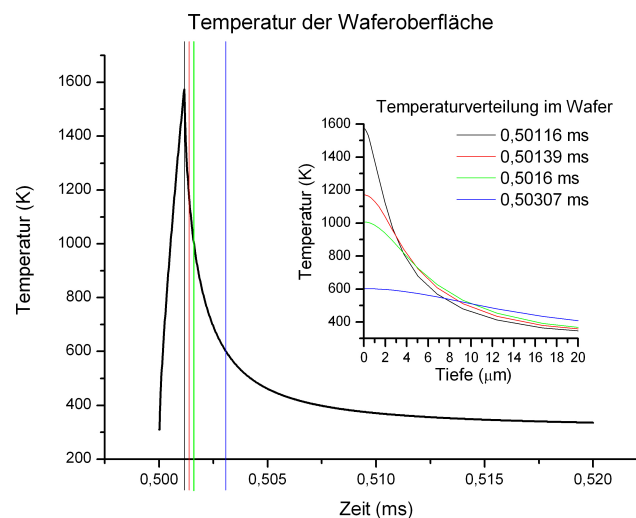


Abb. 7.16: Temperaturverlauf der Oberfläche während eines Laserimpulses mit einer Energiedichte von $2,0 \text{ J/cm}^2$ bei einer Impulsdauer von 1150 ns . Kleines Bild: Temperaturverteilung über die Tiefe eines Si-Scheibe mit einer Dicke von $725 \mu\text{m}$ zu verschiedenen Zeiten.

Es wurden von Proben, die mit gepulstem Laser ausgeheilt wurden, bereits die Konzentrationsprofile von allen Defekten über der Tiefe bei mehreren Proben gemessen. Abbildung 7.15 zeigt mehrere dieser Konzentrationsprofile. Ebenso sind die dreidimensionalen thermischen Simulationen für die prozessierten Proben durchgeführt. In Abbildung 7.16 ist der simulierte Temperaturverlauf der Oberfläche während eines Impulses des Lasers sowie die Temperaturverteilung über die Tiefe des Wafers zu verschiedenen Zeiten zu sehen. Es ist somit ein großer Teil

der Voraussetzungen für eine Simulation der Diffusions- und Reaktionsprozesse im Material erfüllt, wodurch die Eigenschaften der Gitterleerstellen ermittelt werden können.

7.6 Untersuchung von Dotierungsprofilen in Silicium nach Protonenimplantation im MeV-Bereich

(Johannes Laven)

Bereits seit den 1970er Jahren ist die Erzeugung von Donatoren mit einer Ionisationsenergie von einigen 10 meV in protonenbestrahltem Silicium bekannt. Die Implantation von Protonen mit Beschleunigungsspannungen im MeV-Bereich eignet sich auf Grund ihrer hohen Eindringtiefe hervorragend zur Erzeugung von Dotierungsprofilen in mehreren 10 μm bis über 100 μm Tiefe unter der Oberfläche des Siliciumsubstrates. Nach einer thermischen Nachbehandlung des wasserstoffimplantierten Siliciummaterials in einem Temperaturbereich zwischen 350 °C und 550 °C bilden sich gut lokalisierte Dotierstoffprofile aus, wobei lebensdauervermindernde Strahlungsdefekte bereits größtenteils ausgeheilt sind.

Während der donatorbildende Charakter der Wasserstoffimplantation in Silicium bei entsprechender thermischer Nachbehandlung lange bekannt ist, ist deren mikroskopische Natur nach wie vor nicht schlüssig beschrieben. Somit ist auch eine Vorhersage ihres Verhaltens bei Variation relevanter Parameter schwierig und auf analytische Modellierung angewiesen.

Ziel dieses Projektes bleibt es, die durch die Bestrahlung veränderten elektrischen Eigenschaften des Siliciums, unter Einbezug der Implantations- und Temperungsparameter, tiefenabhängig nachbilden zu können.

Während des Eindringens der schnellen Protonen in das Substrat spielen unterschiedlichen Abbremsmechanismen, elektronische und atomare Abbremsung, eine Rolle. Bei der elektronischen Abbremsung wird die Energie der eindringenden Teilchen an die Elektronen des bestrahlten Materials abgegeben. Bei der atomaren Abbremsung wird Energie direkt an das Kristallgitter übertragen, wodurch Gitteratome versetzt werden können und Strahlenschäden entstehen. Je nach (verbleibender) Energie der Protonen sind deren prozentuale Anteile an der Gesamtabbremsung unterschiedlich hoch. Dies führt zu einer charakteristischen Tiefenverteilung der Strahlendefekte mit einer ausgezeichneten durchstrahlten Zone, in welcher die Strahlendefektkonzentration um etwa eine Größenordnung geringer ist als am Maximum der Verteilung und einen geringen Gradienten aufweist. Die durchstrahlte Zone kann, je nach Energie der Protonen, gar nicht auftreten oder bis über 90 % des gesamten Profils ausmachen.

Der *n*-dotierende Effekt tritt auf, wenn die während der Bestrahlung erzeugten Strahlendefekte von dem implantierten Wasserstoff dekoriert werden. Hierzu ist eine Rückdiffusion des Wasserstoffes durch das durchstrahlte Substrat in Richtung der Oberfläche nötig. Die beobachtete Diffusionskonstante des Wasserstoffs hierbei ist beträchtlich geringer als weithin für freien Wasserstoff in kristallinem Silicium bekannt und akzeptiert. Die Ursache für die verminderte Diffusionskonstante liegt in dem Einfluss der erzeugten Strahlendefekte als Fangstellen für den diffundierenden Wasserstoff, so dass die Diffusion nicht als ungestörte Fick'sche-Diffusion, mit lediglich einer Diffusionskonstante beschrieben werden kann.

Die lokale Dotierstoffkonzentration in einer Tiefe des Profils nach der Implantation ist, sofern die Prekursoren bereits von der diffundierenden Wasserstoffverteilung erreicht wurden, eine Funktion der Temperatur. Abbildung 7.17 zeigt die auf ihren jeweiligen Wert bei 350 °C

normierten Ladungsträgerkonzentrationen am Maximum der Verteilung über die Temperatur. Der Temperaturverlauf weist ein deutliches Maximum bei 350 °C auf. Im Temperaturbereich um 400 °C vermindert sich die Ladungsträgerkonzentration und bleibt bis 485 °C auch für lange Temperzeiten stabil. Oberhalb dieser Temperatur heilen die durch die Wasserstoffimplantation erzeugten Donatoren wieder aus.

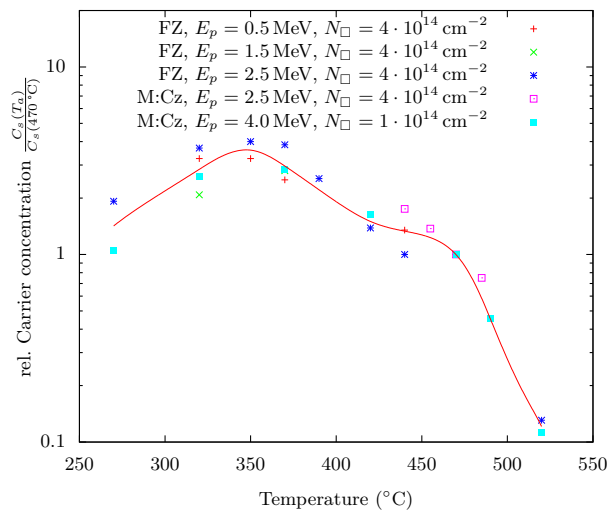


Abb. 7.17: Dargestellt sind die normierten Ladungsträgerkonzentrationen am Maximum des Profils jeweils normiert auf ihren Wert nach einer Temperung bei 470 °C. Alle Proben wurden für eine Dauer von 5 h getempert.

Bei der Erzeugung von n-Dotierungen mittels Protonenimplantation fällt auf, dass die pro implantiertem Proton erzeugte Anzahl von freien Ladungsträgern mit zunehmender Dosis abnimmt. Somit wird bei einer Verdopplung der Anzahl der implantierten Protonen deutlich weniger als die doppelte Anzahl an zusätzlichen Donatoren nach dem Ausheilen beobachtet. Abbildung 7.18 links zeigt die aktive Dosis, entsprechend der Summe aller erzeugten Donatoren im gesamten Tiefenprofil, über der implantierten Dosis.

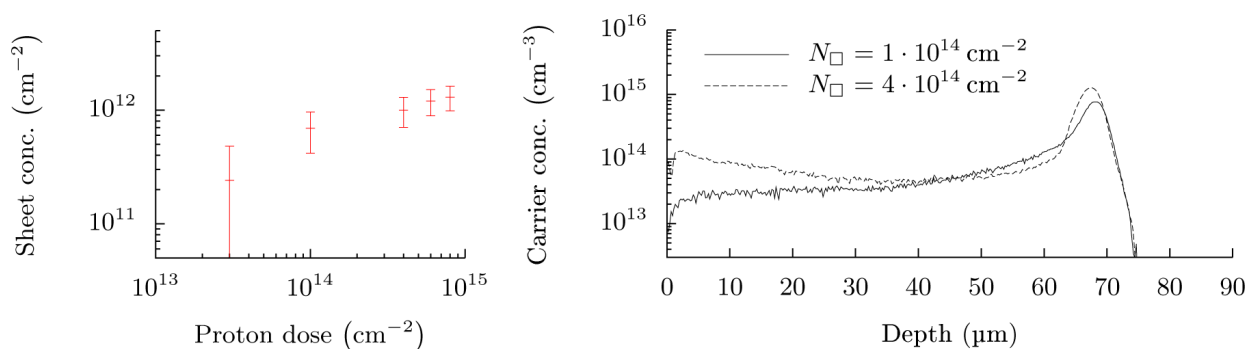


Abb. 7.18: links: Schichtkonzentration der durch die Bestrahlung mit schnellen Protonen mit einer Energie von 2,5 MeV; rechts: SR-Profile der Ladungsträgerkonzentration in zonengeschohlenem Silicium. Die Proben wurden mit 2,5 MeV schnellen Protonen bestrahlt. Nach der Bestrahlung erfolgte jeweils eine Temperung bei 470 °C für 5 h.

Da dieser Effekt je nach Tiefe unter der durchstrahlten Oberfläche unterschiedlich stark ausgeprägt ist, weist die Profilform der freien Ladungsträger nach der Bestrahlung und Temperung eine Abhängigkeit von der implantierten Protonendosis auf. In Abbildung 7.18 rechts ist die

Variation der Profilform mit zunehmender Protonendosis zu erkennen. Dabei fällt auf, dass sich der Gradient in der durchstrahlten Zone bei den verwendeten Parametern zu höheren Dosen umkehrt.

Bei der Bestrahlung mit schnellen Protonen zur Generierung der hauptsächlich untersuchten Donatoren entstehen unausweichlich weitere Schädigungen des Siliciumkristalls. Durch die an die Implantation anschließende Temperung bei Temperaturen oberhalb von 350 °C sowie durch die Eigenart des Wasserstoffs, offene Siliciumbindungen abzusättigen, wird ein Großteil der erzeugten Defekte wieder ausgeheilt bzw. passiviert. Dennoch werden eine Zahl vorhandener ionisierbarer Zustände gemessen. Die maximal gemessenen Konzentrationen dieser Störstellen liegen etwa zwei Größenordnungen unter der Konzentration der erzeugten Donatoren. Anders als das Profil der Donatoren weist das Profil der tiefen Störstellen auch für höhere Implantationsdosen eine gute Übereinstimmung mit dem Profil der erzeugten Primärdefekte auf.

Bislang wurden lediglich Messungen der tiefen Störstellen in der oberen Bandhälfte aufgenommen. Geplant sind weitere DLTS-Messungen an verbesserten Kontakten, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten aber auch, um Zustände im gesamten verbotenen Band zu identifizieren.

Das Projekt wird von dem European Center for Power Electronics e.V. (ECPE e.V.), Nürnberg sowie von Infineon Technologies München AG getragen.

7.7 Germaniumbasierte Bauelementetechnologie

(Jochen Kaiser)

Germanium war in den fünfziger und sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts in der Halbleiterindustrie ein dominierender Werkstoff, wurde aber bald durch Silicium abgelöst. Die Gründe dafür lagen in den geringeren Leckströmen in Bauelementen und der hervorragenden Eigenschaften des Siliciumoxids als Passivierung und Isolatormaterial für den Bau von MOSFETs. Aufgrund der verringerten Dicke des Gatedielektrikums unter der Steuerelektrode in hochintegrierten Schaltungen gelten die Vorteile von Siliciumoxid nicht mehr uneingeschränkt. Durch die Einführung von Germanium verspricht man sich einen verbesserten Stromtransport aufgrund höherer Beweglichkeiten. In Kooperation mit dem Fraunhofer IISB wurde in den beiden Jahren Untersuchungen zur Technologie auf Basis von Germanium durchgeführt.

Als Standarddotiertechnik wurde die Ionenimplantation in Germanium untersucht. So ist in der Fachliteratur seit längerem bekannt, dass durch Implantation schwerer Ionen (z.B. Ga, As, Sb) in Germanium unerwünschte Oberflächenrauigkeiten und -hohlräume (sogenannte honeycomb-voids) entstehen können (Abbildung 7.19). Es konnte die kritische Dosis für Ga, As und Sb bestimmt werden, ab der es zur Bildung von Hohlräumen kommen kann. Als weiteres Ergebnis konnten Hinweise auf die Unabhängigkeit der kritischen Dosis von der Implantationsenergie festgehalten werden.

Als weiterer Effekt kann es bei thermischen Prozesse zu unerwünschten Schwund von Oberflächenmaterial kommen. So wurde beispielsweise eine Verlustrate von bis zu 3 nm/min in hochreinem Argon bei 600 °C beobachtet. Eine Verringerung dieses Effektes ist durch ein verringertes thermisches Budget, kleine Ofenvolumina, Vakuumbedingungen und Deckschichten zu erreichen.

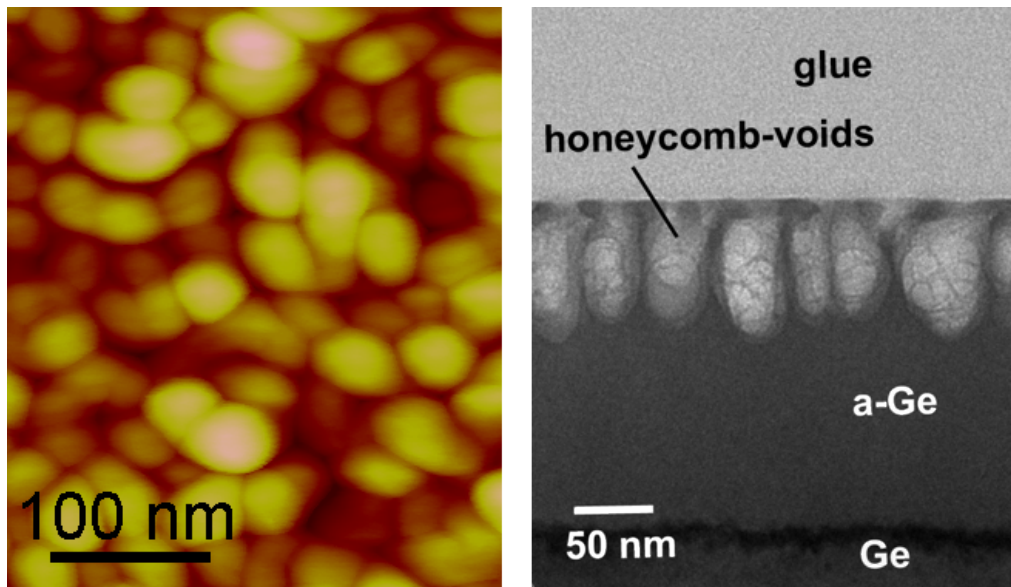


Abb. 7.19: AFM-Bild der Oberfläche mit Oberflächenrauigkeiten (links, Topographieskala 0 nm dunkel - 30 nm hell und TEM-Bild (rechts) des Querschnittes einer Probe nach Implantation mit 150 keV As ($6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, $1,1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Als weitere Teilprojekte werden die Diffusion von Dotierstoffen und die Integration neuartiger Isolatoren mit hoher Dielektrizitätskonstante untersucht.

7.8 Reduzierung der Zustandsdichte an der Grenzfläche zwischen Siliciumdioxid und 4H-Siliciumcarbid

(Christian Strenger)

7.8.1 Einleitung

Die Minimierung des weltweiten Energiebedarfs ist eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit. Einen bedeutenden Beitrag dafür kann die Reduzierung der Verlustleistung bei der Umwandlung von elektrischer Energie liefern. Heutige auf Silicium basierende Leistungsbaulemente stoßen dabei an ihre materialbedingten Grenzen.

Materialien mit großer Bandlücke wie Siliciumcarbid (SiC) haben aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften das Potenzial in Hochleistungs-, Hochfrequenz- und Hochtemperaturanwendungen Silicium als Halbleitermaterial abzulösen. Vor allem die hohe Bandlücke von 3,3 eV von 4H-SiC aber auch die hohe kritische Feldstärke von 2,4 MV/cm und die verglichen zu Silicium doppelt so hohe Sättigungsgeschwindigkeit für Elektronen sind bemerkenswerte Eigenschaften von SiC (Abbildung 7.20). Gleichzeitig ist Siliciumcarbid der einzige Verbindungshalbleiter, auf dem durch thermische Oxidation ein stabiles Siliciumdioxid (SiO_2) aufgewachsen werden kann. Nachteilig ist allerdings, dass im Verlauf der Oxidation der im SiC gebundene Kohlenstoff freigesetzt wird und sich teilweise an der Grenzfläche und im Oxid ablagert, wobei elektrisch aktive Defekte entstehen. Das führt zu einer im Vergleich zu Silicium extrem erhöhten Grenzflächenzustandsdichte, wodurch die gemessene effektive Elektronenbeweglichkeit von $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ auf etwa $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ sinkt.

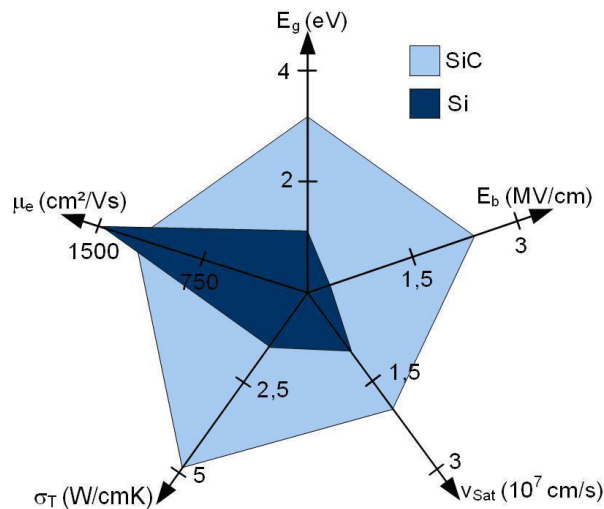


Abb. 7.20: Gegenüberstellung der physikalischen Eigenschaften von Silicium und Siliciumcarbid (Bandlücke E_g , kritische Feldstärke E_b , Sättigungsgeschwindigkeit der Elektronen v_{sat} , Wärmeleitfähigkeit σ_T , Elektronenbeweglichkeit μ_e)

7.8.2 Stand der Technik

Bei der Oxidherstellung für SiC Bauelemente wird in der Industrie gegenwärtig ein Verfahren verwendet, das die Freisetzung von Kohlenstoff während der Oxidation minimiert. Dazu wird in einem ersten Schritt mittels einer plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung (PECVD) eine etwa 75 nm dicke, kohlenstofffreie SiO_2 -Schicht abgeschieden und diese in einem zweiten Schritt thermisch in Stickstoffmonoxid (NO) nachoxidiert. Durch die Nachoxidation wird eine 5 nm dicke thermische Oxidschicht auf dem SiC-Substrat aufgewachsen. Diese Schicht verbessert zwar die Haftung zwischen dem Substrat und der PECVD-Oxidschicht, jedoch wird zusätzlich Kohlenstoff freigesetzt, der sich an der Grenzfläche und im Oxid ablagern kann. Die Menge an freigesetztem Kohlenstoff ist im Vergleich zu einer vollständigen thermischen Oxidation jedoch geringer. In Verbindung mit der Passivierung von durch Kohlenstoff induzierten Defekten, welche durch NO erreicht wird, konnte die Grenzflächenzustandsdichte von $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ auf etwa $5 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ reduziert werden. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die Freisetzung von Kohlenstoff nur minimiert und nicht vollständig unterbunden wird. Zudem ist die Verwendung von Stickstoffmonoxid als Prozessgas aufgrund seiner hohen Toxizität mit hohem apparativem Aufwand und dadurch mit erhöhten Kosten verbunden.

7.8.3 Ziele

Ziel der Arbeit ist die Erhöhung der effektiven Elektronenbeweglichkeit durch die Vermeidung von Kohlenstoff induzierten Defekten an der Grenzfläche zwischen SiO_2 und SiC und im Oxid selbst. Insbesondere wird auch untersucht, welche Defektarten elektrisch aktiv sind und damit den Verlauf der Grenzflächenzustandsdichte innerhalb der Bandlücke von SiC beeinflussen.

7.8.4 Methoden

Durch einen alternativen Prozess wird die Freisetzung von Kohlenstoff bei der Oxidherstellung vollständig umgangen: Dem Siliciumcarbid-Substrat wird eine Schicht überlagert, die nach-

folgend in einem Temperaturbereich oxidiert wird, der unterhalb der Oxidationstemperatur von SiC liegt. In Zusammenarbeit mit Centrotherm und dem Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) wurden auf unterschiedlichen SiC-Proben zwei verschiedene Schichten aufgewachsen bzw. abgeschieden:

1. eine 50 nm dicke epitaktisch aufgewachsene Silicium-Schicht und
2. eine 5 nm dicke Schicht aus amorphem Silicium.

In einer Versuchsreihe wird die Silicium-Epitaxieschicht vollständig thermisch oxidiert. Hervorzuheben ist, dass die Silicium-Epitaxieschicht bereits bei niedrigeren Temperaturen oxidiert als Siliziumcarbid. Dadurch ist der Oxidationsprozess selbstbegrenzend und die Kohlenstofffreisetzung wird vermieden.

In einer weiteren Versuchsreihe wird die 5 nm dicke, amorphe Siliciumschicht oxidiert. Das entstandene Oxid wird anschließend durch ein abgeschiedenes PECVD-Oxid verstärkt. Durch eine niedrige Oxidationstemperatur von ca. 600 °C wird eine Oxidation des Siliciumcarbids auch in diesem Fall vermieden, wobei die Freisetzung von Kohlenstoff wirksam verhindert wird. Die Grenzschichteigenschaften unterliegen dadurch nicht mehr dem Einfluss von Kohlenstoff induzierten Defekten. Diese Versuchsreihen sollen das Verständnis darüber, welchen Einfluss Kohlenstoff auf die Entstehung von Grenzflächenzuständen hat, verbessern. Zum tieferen Verständnis müssen die jeweiligen Oxide mittels Kapazitäts-Spannungs- und Strom-Spannungs-Messungen elektrisch charakterisiert werden. Durch die Analyse der Grenzschicht mit einem hochauflösenden Tunnellektronenmikroskop in Verbindung mit orts aufgelösten Elektronenenergieverlustspektroskopie-Messungen (EELS) sollen zusätzlich quantitative Profile für die Verhältnisse von Kohlenstoff zu Silicium und Sauerstoff zu Silicium im Bereich der Grenzfläche erstellt werden.

7.9 Evaluierung von Stromflussmechanismen durch Körner und Korngrenzen in hoch- ϵ -Schichten mittels „tunneling“ AFM

(Katsuhisa Murakami)

7.9.1 Hintergrund und Motivation

Hoch- ϵ -Dielektrika sind als alternative Materialien zu Siliciumdioxid als Isolatorschicht im Gate-Stapel von Metal-Isolator-Halbleiter-Bauelementen (engl. **M**etal-**I**nsulator-**S**emiconductor, MIS) von besonderem Interesse. Die elektrischen Eigenschaften von Siliciumdioxid-Schichten werden üblicherweise mit makroskopischen Strom-Spannungs- und Kapazitäts-Spannungs-Messungen charakterisiert. Die Gatefläche ist dabei einige Quadratmikrometer groß. Im Gegensatz zu Siliciumdioxid kommen hoch- ϵ -Materialien oft in unterschiedlichen Phasen (z.B. amorph, nanokristallin, polykristallin) vor und zeigen daher ein komplexeres Leckstromverhalten. Daher ist es notwendig die Leckstrommechanismen von hoch- ϵ -Schichten auf mikro- bzw. nanoskopischer Ebene zu untersuchen. Für diesen Zweck ist die **T**unneling **A**tomic **F**orce **M**icroscopy (TUNA) besonders attraktiv, da damit elektrische Eigenschaften und die Oberflächenbeschaffenheit von hoch- ϵ -Schichten gleichzeitig untersucht werden können. Die Oberflächenmorphologie und die Leckstromverteilung von hoch- ϵ -Schichten (HfSi_xO_y , ZrO_2) wurde bereits mittels TUNA-Messungen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die vorherrschenden Leckstrompfade in diesen Schichten an den Korngrenzen lokalisiert sind. Mögliche Ursachen für den höheren Leckstrom an

Korngrenzen sind unterschiedliche Leckstrommechanismen für Körner und Korngrenzen, sowie die verminderte Dicke der dielektrischen Schicht an Korngrenzen. Im diesem Forschungsprojekt sollen die Ursache für die unterschiedlichen Leckströme näher untersucht werden.

7.9.2 Experimentelles Vorgehen

HfSi_xO_y-Schichten einer Dicke von 8 nm wurden mittels Atomlagenabscheidung auf Siliciumwafern mit nativem Oxid abgeschieden. Anschließend wurden die amorphen Schichten mittels schnellem thermischen Ausheilen (engl. **R**apid **T**hermal **A**nnealing, RTA) bei 1000 °C für 60 s kristallisiert. Die TUNA-Messungen wurden mit dem Rasterkraftmikroskop Veeco Dimension Icon (mit Scan Asyst und TUNA-Modul), ausgestattet mit Pt/Ir-beschichteten Siliciumspitzen. Bei allen Messungen wurde eine negative Spannung an die p-dotierten Siliciumwafer angelegt um lokales Oxidwachstum durch anodische Oxidation zu verhindern.

7.9.3 Ergebnisse

Abbildung 7.21 zeigt eine typische Oberflächenstruktur und die dazugehörige Leckstromverteilung einer HfSi_xO_y-Schicht als Ergebnis einer TUNA-Messung. Einzelne Körner sind in der polykristallinen Struktur eindeutig zu erkennen (Abbildung 7.21a). In Abbildung 7.21b zeigt eine dunklere Farbe einen höheren Leckstrom an. Dieser korrespondiert mit den Korngrenzen aus der topographischen Messungen.

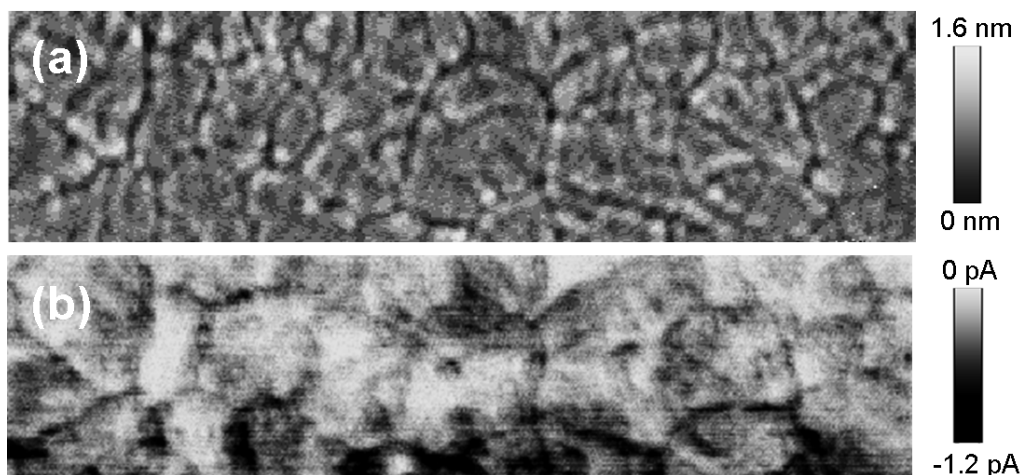


Abb. 7.21: (a) TUNA-Topographie- und (b) zugehörige TUNA-Leckstrom-Messung einer HfSi_xO_y-Schicht. Größe: 2x1 μm₂, angelegte Spannung: -9,3 V.

Abbildung 7.22 stellt lokale Strom-Spannungskennlinien für einzelne Messungen in Körnern bzw. an Korngrenzen der HfSi_xO_y-Schicht dar. Ein Unterschied zwischen den Messungen innerhalb eines Korn und Messungen an Korngrenzen wird deutlich. Die Kennlinien für Messungen innerhalb von Körnern sind über einen weiten Bereich verteilt, für die Messungen an Korngrenzen lassen die Kennlinien jedoch in zwei Gruppen einteilen (A und B), die jeweils eine geringere Streubreite zeigen. Für die Kennlinien in Gruppe A kann festgehalten werden, dass der Leckstrom bereits bei geringen Spannungen über das Rauschsignal ansteigt.

Im nächsten Schritt werden die Strom-Spannungskennlinien mit verschiedenen Evaluierungs-

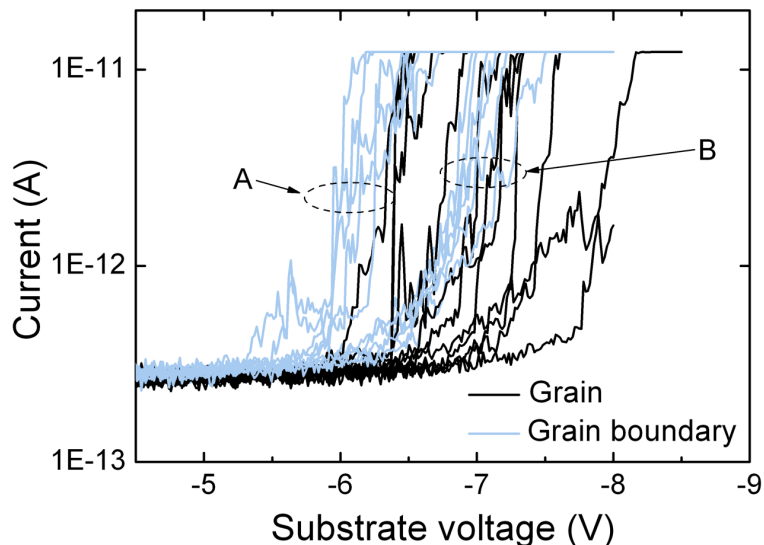


Abb. 7.22: TUNA-Messung lokaler I-V-Kennlinien an Körnern und Korngrenzen der HfSi_xO_y -Schicht.

methoden ausgewertet (Fowler-Nordheim-, Poole-Frenkel- und α -V-Plot¹) um die physikalischen Ursachen für die benannten Unterschiede im Detail zu ergründen. Um den Zusammenhang zwischen lokalen Strom-Spannungs-Messungen und der Schichtdicke an Körnern bzw. Korngrenzen zu untersuchen, werden weitere Charakterisierungsmethoden (z.B. Transmissionselektronenmikroskopie, TEM) eingesetzt.

¹V. Mikhaelashvili, Y. Betzer, I. Prudnikov, M. Orenstein, D. Ritter, G. Eisenstein, J. Appl. Phys. **84**, 6747 (1998)

8 Wissenschaftliche Beiträge

8.1 Bücher und Buchbeiträge

8.1.1 2009

Oliver Klar: „*Charakterisierung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss. 2009. (www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2009/1487/)

S. Egelkraut, S. Zeltner, **M. März**: „*Montageerleichterung durch den Einsatz wärmeleitfähiger Kunststoffe*“, Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte, Springer, 39-52, 2009.

8.1.2 2010

Bernd Eckhardt: „*Gleichspannungswandler hoher Leistungsdichte im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010. Veröffentlicht bei: Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band II/2010, Shaker Verlag

Azinwi Fet: „*Work Function Engineering for Metal/High-k Dielectric Gate Stacks*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010.

Michael Grieb: „*Charakterisierung von Metall-Oxid-Halbleiter-Strukturen auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von 4H-Siliciumcarbid, Universität Erlangen-Nürnberg*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010. Veröffentlicht bei: Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band I/2010, Shaker Verlag

Jörn Hinz: „*Abscheidung und Charakterisierung metallischer Gateelektroden für zukünftige CMOS-Technologien*“ Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010.

Christian Kampen: „*Evaluation of CMOS Architectures Below 50 nm Gate Length by Numerical Simulations/Untersuchung von CMOS Architekturen mit Gatelängen kleiner 50 nm mittels numerischer Simulationen*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010. Veröffentlicht unter www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2011/2333/

Daniel Kunder: „*3D-Simulation des Zerstäubungsatzens mit der Monte-Carlo Methode*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010.

Martin Lemberger: „*Chemische Gasphasenabscheidung von Metallsilicatschichten aus Einquellen-Ausgangsstoffen für Anwendungen in der Mikroelektronik*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010.

Veröffentlicht unter www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2010/1676/

Péter Bálint Meliorisz: „*Simulation of Proximity Printing/Simulation der Nahfeldbelichtung*“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss., 2010. Veröffentlicht bei: Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band I/2011, Shaker Verlag

J. vom Dorp, T. Erlbacher, V. Lorentz, **A. Bauer**, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Integrierbare Bauelemente zur Erhöhung der Betriebssicherheit elektronischer Systemkomponenten im Automobil*“,

GMM-Fachbericht 64, VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM), VDE Verlag, 72-77, 2010.

8.2 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

8.2.1 2009

E. Bazizi, A. Pakfar, P. Fazzini, F. Cristiano, C. Tavernier, A. Claverie, A. Burenkov, **P. Pichler**: „*Comparison between 65nm Bulk and PD-SOI MOSFET's:Si/BOX Interface Effect on Point Defects and Doping Profiles*“, Proceedings „39th European Solid-State Device Research Conference“, 292-295, 2009.

E. Bazizi, A. Pakfar, P. Fazzini, F. Cristiano, C. Tavernier, A. Claverie, A. Burenkov, **P. Pichler**: „*PD-SOI MOSFETs: Interface Effect on Point Defects and Doping Profiles*“, Proceedings „IEEE International SOI Conference“, art. 5318743, 2009.

N. Bennett, C. Ahn, N. Cowern, **P. Pichler**: „*Review of Stress Effects on Dopant Solubility in Silicon and Silicon-Germanium Layers*“, Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, **156-158**, 173-180, 2009.

S. Berberich, **J. vom Dorp**, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Silicon Based Trench Hole Power Capacitor*“, European Power Electronics and Drives Journal, **19**, 6-10, 2009.

J. vom Dorp, S. Berberich, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Analysis of the DC-arc behavior of a novel 3D-active fuse*“, Solid-State-Electronics **53**, 809-813, 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, F. Shao, P. Evanschitzky: „*Lithography Simulation: modelling techniques and selected applications*“, Proc. SPIE **7390**, 739002, 2009.

S. Egelkraut, M. Rauch, A. Schletz, A. Gardocki, **M. März**, **H. Ryssel**: „*Polymer bonded soft magnetics for EMI-filter applications*“, Proceedings „International Conference on Automotive Power Electronics (APE)“, Elektronische Publikation (CD-ROM), 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, P. Evanschitzky: „*Mask diffraction analysis and optimization for EUV masks*“, Proc. SPIE **7271**, 72711E, 2009.

T. Erlbacher, T. Graf, N. DasGupta, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Suppression of parasitic electron injection in silicon-oxide-nitride-oxide-silicon-type memory cells using high-k capping layers*“, Journal of Vacuum Science and Technology B, **27**, 482-485, 2009.

P. Evanschitzky, **A. Erdmann**, T. Fühner: „*Extended Abbe approach for fast and accurate lithography imaging simulations*“, Proc. SPIE **7470**, 747007, 2009.

A. Fet, V. Häublein, A. Bauer, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Lanthanum implantation for threshold voltage control in metal/high-k devices*“, Microelectronic Engineering, **86**, 1782-1785, 2009.

A. Fet, V. Häublein, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Effective Work Function Engineering by Lanthanide Ion Implantation of MOS Gate Stacks*“, Journal of Vacuum Science and Technology B, **27**, 290-293, 2009.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, M. Uhle, **A. Erdmann**, C. Szmanda, C. Truong: „*A model of self-limiting residual acid diffusion for pattern doubling*“, Microelectronic Engineering, **86**, 792-795, 2009.

- M. Grieb, M. Noborio, D. Peters, A. Bauer, F. Friedrichs, T. Kimoto, **H. Ryssel**: „*Electrical characterization of MOS structures with deposited oxides annealed in N_2O or NO* “, Materials Science Forum, **615-617**, 521-524, 2009.
- M. Grieb, D. Peters, A. Bauer, P. Friedrichs, **H. Ryssel**: „*Influence of the oxidation temperature and atmosphere on the reliability of thick gate oxides on the 4H-SiC C(000-1) face*“, Materials Science Forum, **600-603**, 597-602, 2009.
- C. Kampen, A. Burenkov, **J. Lorenz**, **H. Ryssel**: „*Simulation assessment of process options for advanced CMOS devices*“, Proceedings der „10th International Conference on Ultimate Integration of Silicon (ULIS)“, 273-276, 2009.
- M. Kozłowska, R. Öchsner, M. Pfeffer, A. Bauer, E. Meissner, **L. Pfitzner**, **H. Ryssel**, W. Maass, J. Langer, B. Ocker, S. Schmidbauer, J.-P. Gonchond: „*Properties of TaN thin films produced using PVD linear dynamic deposition technique*“, E-Journal of Surface Science and Nanotechnology, **7**, 277-283, 2009.
- I. Lazareva, A. Nutsch, **L. Pfitzner**, **L. Frey**: „*Highly sensitive wave front sensor characterization of micro- to nanometer scale surface flatness deviations*“, Proc. SPIE **7389**, 73890Q, 2009.
- J. Müller, T. S. Böske, U. Schröder, M. Reinicke, L. Oberbeck, D. Zhou, W. Weinreich, P. Kücher, M. Lemberger, **L. Frey**: „*Improved manufacturability of ZrO_2 MIM capacitors by process stabilizing HfO_2 addition*“, Microelectronic Engineering, **86**, 1818-1821, 2009.
- K. Murakami, N. Matsubara, S. Ichikawa, T. Kisa, T. Nakayama, K. Takamoto, F. Wakaya, M. Takai, S. Petersen, B. Amon, **H. Ryssel**: „*Transmission-electron-microscopy observation of Pt pillar fabricated by electron-beam-induced deposition*“, Japanese Journal of Applied Physics, **48**, 06FF12, 2009.
- A. Nutsch, B. Beckhoff, R. Altmann, J.A. Van Den Berg, D. Giubertoni, P. Hoenicke, M. Bersani, A. Leibold, F. Meirer, M. Müller, G. Pepponi, M. Otto, P. Petrik, M. Reading, **L. Pfitzner**, **H. Ryssel**: „*Complementary metrology within a European joint laboratory*“, Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, **145-146**, 97-100, 2009.
- A. Nutsch, B. Beckhoff, G. Bedana, G. Borionetti, D. Codegoni, S. Grasso, G. Guerinonic, A. Leibold, M. Müller, M. Otto, **L. Pfitzner**, M.-L. Polignano, D. De Simone, **L. Frey**: „*Characterization of Organic Contamination during Semiconductor Manufacturing Processing*“, AIP Conference Proceedings, **1173**, 23-28, 2009.
- A. Nutsch, S. Bucourt, T. Grandin, I. Lazareva, **L. Pfitzner**: „*Wave front sensor for highly accurate characterization of flatness on wafer surfaces*“, AIP Conference Proceedings, **1173**, 188-192, 2009.
- M. Otto, A. Leibold, L. Wulf, M. Hurlebaus, **L. Pfitzner**: „*Monitoring system for airborne molecular contamination (AMC) in semiconductor manufacturing areas and micro-environments*“, Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena **145-146**, 135-138, 2009.
- G. Patsis, D. Drygiannakis, T. Raptis, E. Gogoliddes, **A. Erdmann**: „*Advanced lithography models for strict process control in the 32nm technology node*“, Microelectronic Engineering, **86**, 513-516, 2009.
- J. Petersen, R. Greenway, T. Fühner, P. Evanschitzky, F. Shao, **A. Erdmann**: „*Exploration of*

linear and non-linear double exposure techniques by simulation", Proc. SPIE **7274**, 72421V, 2009.

M. Pfeffer, **L. Pfitzner**, B. Ocker, R. Öchsner, **H. Ryssel**, P. Verdonck: „*Performance optimization of semiconductor manufacturing equipment by the application of discrete event simulation*“, Proceedings der „ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (DETC 2008)“, **3**, 505-513, 2009.

Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum: „*Finite integration, FI method for modeling optical wavers in lithography masks*“, Proceedings der „2009 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)“, 809-812, 2009.

D. Reibold, F. Shao, **A. Erdmann**, U. Peschel: „*Extraordinary low transmission effects for ultra-thin patterned metal films*“, Optics Express, **17**, 544-551, 2009.

H. Schmitt, B. Amon, S. Beuer, S. Petersen, M. Rommel, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*UV nanoimprint lithography process optimization for electron device manufacturing on nanosized scale*“, Microelectronic Engineering, **86**, 636-638, 2009.

T. Schnattinger, **A. Erdmann**: „*Lithographic importance of base diffusion in chemically amplified photoresists*“, Microelectronic Engineering, **86**, 773-775, 2009.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Efficient simulation and optimization of wafer topographies in double patterning*“, Proc. SPIE **7274**, 72420O, 2009.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Rigorous diffraction simulations of topographic wafer stacks in double patterning*“, Microelectronic Engineering, **86**, 489-491, 2009.

G. Spoldi, S. Beuer, M. Rommel, V. Yanev, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Experimental observation of FIB induced lateral damage on silicon samples*“, Microelectronic Engineering, **86**, 548-551, 2009.

N. Straue, M. Rauscher, **S. Walther**, H. Faber, A. Roosen: „*Preparation and soft lithographic printing of nano-sized ITO-dispersions for the manufacture of electrodes for TFTs*“, Journal of Material Science, **44**, 6011-6019, 2009.

S. Toumi, A. Ferhat-Hamida, L. Boussouar, A. Sellai, A. Ouennoughi, **H. Ryssel**: „*Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in tungsten/4H-SiC (000-1) Schottky diodes*“, Microelectronic Engineering, **86**, 303-309, 2009.

S. Walther, F. Hofmann, **M.P.M. Jank**, A. Ebbers, **H. Ryssel**: „*Impact of Physical and Chemical Treatment on Si Nanoparticulate Systems*“, Proceedings der „Advanced Processing of Novel Functional Materials-APNFM 2008“, 60-64, 2009.

W. Weinreich, R. Reiche, M. Lemberger, G. Jegert, J. Müller, L. Wilde, S. Teichert, J. Heitmann, E. Erben, L. Oberbeck, U. Schröder, A. Bauer, **H. Ryssel**: „*Impact of interface variations on J-V and C-V polarity asymmetry of MIM capacitors with amorphous and crystalline $Zr_{(1-x)}Al_xO_2$ films*“, Microelectronic engineering, **86**, 1826-1829, 2009.

V. Yanev, T. Erlbacher, M. Rommel, A. Bauer, **L. Frey**: „*Comparative study between conventional macroscopic IV techniques and advanced AFM based methods for electrical characterization of dielectrics at the nanoscale*“, Microelectronic Engineering, **86**, 1911-1914, 2009.

8.2.2 2010

A. Burenkov, C. Kampen, A. Bär, **J. Lorenz**: „*Impact of Technological Options for 22 nm SOI CMOS Transistors on IC Performance*“, Proceedings „6th Workshop of the Thematic Network on Silicon on Insulator Technology“, 43-44, 2010.

E. Bär, D. Kunder, P. Evanschitzky, **J. Lorenz**: „*Coupling of Equipment and Feature-Scale Profile Simulation for Dry-Etching of Polysilicon Gate Lines*“, Proceedings „Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD) 2010“, 57-60, 2010.

N.S. Bennett, C. Ahn, N.E.B. Cowern, **P. Pichler**: „*Review of Stress Effects on Dopant Solubility in Silicon and Silicon-Germanium Layers*“ Solid-State Phenomena, **156-158**, 173-180, 2010.

S. Egelkraut, M. Rauch, A. Schletz, **M. März**, **L. Frey**: „*Polymer Bonded Soft Magnetics As Core Material*“ Proceedings „Applied Power Electronics Conference 2010“, 231-238, 2010.

S. Egelkraut, **L. Frey**, M. Knörr, A. Schletz: „*Evolution of Shear Strength and Microstructure of Die Bonding Technologies for High Temperature*“, Proceedings „12th Electronics Packaging Technology Conference“, 660-667, 2010.

A. Erdmann, T. Fühner, P. Evanschitzky: „*Mask diffraction analysis and optimization for EUV masks*“, Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS, **9**, 72711E, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner: „*Mask and Wafer Topography Effects in Optical and EUV-Lithography*“, ECS Transactions, **27**, 415-420, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner: „*Mask-topography-induced phase effects and wave aberrations in optical and extreme ultraviolet lithography*“, Journal of Vacuum Science and Technology B, **28**, C6J1, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, J. Fuhrmann, A. Fiebach, G.P. Patsis, P. Trefonas: „*Modeling of double patterning interactions in litho-curing-litho-etch (LCLE) processes*“ Proc. SPIE **76740**, 76400B, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, **V. Agudelo Moreno**, T. Fühner, P. Evanschitzky: „*Modeling of mask diffraction and projection imaging for advanced optical and EUV lithography*“, Journal of Modern Optics, First published on: 20 September 2010 (iFirst), DOI: 10.1080/09500340.2010.515752

P. Evanschitzky, T. Fühner, F. Shao, **A. Erdmann**: „*Efficient simulation of three-dimensional EUV masks for rigorous source mask optimization and mask induced imaging artifact analysis*“ Proc. SPIE **7545**, 75450D, 2010.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, **A. Erdmann**, P. Trefonas: „*Acid diffusion effects between resists in freezing Processes used for contact hole imaging*“ Microelectronic Engineering, **87**, 951-954, 2010.

J. Huang, U.R. Krishna, M. Lemberger, **M.P.M. Jank**, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Impact of forming gas annealing on ZnO-TFTs*“, Proceedings „Solid-State and Integrated Circuit Technology (10 International Conference)“, 1548-1550, 2010.

J. Kaiser, S. Koffel, **P. Pichler**, A.J. Bauer, B. Amon, A. Claverie, G. Benassayag, P. Scheiblin, **L. Frey**, **H. Ryssel**: „*Honeycomb Voids due to Ion Implantation in Germanium*“ Thin Solid Films, **518**, 2323-2325, 2010.

- C. Kampen, P. Evanschitzky, A. Burenkov, **J. Lorenz**: „*Lithography induced layout variations in 6-T SRAM cells*“, Proceedings „Simulation of Semiconductor Processes and Devices 2010 (SISPAD)“, 149-152, 2010.
- M. Knörr, A. Schletz, S. Oertel, **M.P.M. Jank**: „*Semiconductor Joining through Sintering of Ag-Nanoparticles: Analysis of Different Powders Using DSC and TGA Measurements*“, Proceedings „The World Congress on Particle Technology (WCPT6)“, Elektronische Publikation (CD-ROM) ISBN: 978-3-00-030570-2, 2010.
- D. Kunder, E. Bär, **M. Sekowski, P. Pichler**, M. Rommel: „*Simulation of Focused Ion Beam Etching by Coupling a Topography Simulation and a Monte-Carlo Sputtering Yield Simulation*“, Microelectronic Engineering, **87**, 1597-1599, 2010.
- J.G. Laven**, H.-J. Schulze, V. Häublein, F.-J. Niedernostheide, H. Schulze, **H. Ryssel, L. Frey**: „*Dopant profiles in silicon created by MeV hydrogen implantation: Influence of annealing parameters*“, Physica Status Solidi (c), doi: 10.1002/pssc.201000161, 2010.
- J.G. Laven**, R. Job, H.-J. Schulze, F.-J. Niedernostheide, V. Häublein, H. Schulze, W. Schustereder, **H. Ryssel, L. Frey**: „*The Impact of Helium Co-Implantation on Hydrogen Induced Donor Profiles in Float Zone Silicon*“, ECS Transactions, **33**, 51-62, 2010.
- S. Liu, T. Fühner, F. Shao, A. Barenbaum, J. Jahn, **A. Erdmann**: „*Topography aware BARC optimizing for double patterning*“, Proc. SPIE **7674**, 76403C, 2010.
- M. März**, A. Schletz, B. Eckardt, **S. Egelkraut**, H. Rauh: „*Power Electronics System Integration for Electric and Hybrid Vehicles*“, Proceedings „6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)“, 227-237, 2010.
- K. Motzek, A. Bich, **A. Erdmann**, M. Hornung, M. Hennemeyer, B. Meliorisz, U. Hofmann, N. Uenal, R. Voelkel, S. Partel, P. Hudek: „*Optimization of illumination pupils and mask structures for proximity printing*“ Microelectronic Engineering, **87**, 1164-1167, 2010.
- M. Ngamo, S. Duguay, **P. Pichler**, K. Daoud, P. Pareige: „*Characterization of Arsenic Segregation at Si/SiO₂ Interface by 3D Atom Probe Tomography*“, Thin Solid Film, **518**, 2402-2405, 2010.
- P. Pichler**, A. Burenkov, **J. Lorenz**, C. Kampen, **L. Frey**: „*Future challenges in CMOS process modeling*“ Thin Solid Film, **518**, 2478-2484, 2010.
- Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum: „*Characterization of the Scattering Effect of Complex Mask Geometries with Surface Roughness*“, Proc. SPIE **7717**, 771709, 2010.
- Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum, P. Evanschitzky: „*Rigorous EMF simulation of absorber shape variations and their impact on the lithographic process*“, Proc. SPIE **7545**, 74450C, 2010.
- F. Shao, P. Evanschitzky, K. Motzek, **A. Erdmann**: „*Fast and highly accurate simulation of the printing behavior of EUV multilayer defects based on different models*“, Proc. SPIE **7748**, 774806, 2010.
- F. Shao, G.D. Cooper, Z. Chen, **A. Erdmann**: „*Modelling of exploration of reversible contrast enhancement layers for double exposure lithography*“, Proc. SPIE **7674**, 76400J, 2010.
- S. Walther**, S. Schäfer, **M.P.M. Jank**, T. Heiko, W. Peukert, **L. Frey, H. Ryssel**: „*Influence of annealing temperature and measurement ambient on TFTs based on gas phase synthesized*“

ZnO nanoparticles“, *Microelectronic Engineering*, **87**, 2312-2316, 2010.

S. Walther, M.P.M. Jank, H. Ryssel, L. Frey: „Tuning of Charge Carrier Density of ZnO Nanoparticle Films by Oxygen Plasma Treatment“, *Proceedings „6th World Congress on Particle Technology(WCPT6)“*, Elektronische Publikation (CD-ROM) ISBN: 978-3-00-030570-2, 2010.

8.3 Vorträge und Posterpräsentationen

8.3.1 2009

E. Bazizi, A. Pakfar, P. Fazzini, F. Cristiano, C. Tavernier, A. Claverie, A. Burenkov, **P. Pichler:** „*PD-SOI MOSFETs: Interface Effect on Point Defects and Doping Profiles*“, Vortrag auf der „*IEEE International SOI Conference*“, Foster City, USA, 2009.

E. Bazizi, A. Pakfar, P. Fazzini, F. Cristiano, C. Tavernier, A. Claverie, A. Burenkov, **P. Pichler:** „*Comparison between 65nm bulk and PD-SOI MOSFETs. Si/BOX interface effect on point defects and doping profiles*“, Vortrag bei der „*ESSDERC/ESSCIRC*“, Athen, Griechenland, 2009.

N. Bennett, C. Ahn, N. Cowern, **P. Pichler:** „*Review of Stress Effects on Dopant Solubility in Silicon and Silicon-Germanium Layers*“, Vortrag auf dem „*XIII. International Autumn Meeting Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology (GADEST)*“, Döllnsee-Schorfheide, 2009.

S. Egelkraut, C. Heinle, A. Gardocki, Z. Brocka, **M. März:** „*Material properties of injection molded polymer bonded soft magnetics: a process dependent anisotropic characteristic*“, Vortrag auf dem „*25th Annual Meeting of The Polymer Processing Society (PPS)*“, Goa, Indien, 2009.

S. Egelkraut, M. Rauch, A. Schletz: „*Polymer bonded soft magnetics for EMI-filter applications*“, Vortrag auf der „*3rd International Conference: Automotive Power Electronics (APE)*“, Paris, Frankreich, 2009.

S. Egelkraut: „*Hochgefüllte Kunststoffe für die Leistungselektronik*“, Vortrag beim „*Gemeinsamen Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Messtechnik*“ des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente und des Fraunhofers IISB, Erlangen, 2009.

S. Egelkraut: „*Soft-Magnetic Polymers*“, Vortrag beim Seminar „*Innovative Materials for Power Electronics*“ des „*European Center for Power Electronics (ECPE)*“, Fürth/Nürnberg, 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, F. Shao, P. Evanschitzky: „*Lithography Simulation: modeling techniques and selected applications*“, Vortrag bei „*SPIE Europe Optical Metrology*“, München, 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, P. Evanschitzky, S. Liu: „*Simulation lithographischer Prozesse zur Erzeugung von Nanostrukturen*“, Posterpräsentation beim „*1. GMM Workshop Mikro-NanoIntegration*“, Seeheim, 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, P. Evanschitzky: „*Mask diffraction analysis and optimization for EUV masks*“, Posterpräsentation auf der „*SPIE Advanced Lithography*“, San Jose, USA, 2009.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, Z. Rahimi: „*Modeling of Mask and Wafer Side Scattering Effects in Advanced Optical and EUV-Lithography*“, Vortrag bei der

„International Microprocessor and Nanotechnology Conference (MNC)“, Sapporo, 2009.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner: „*Wafer topography and multiple exposure effects in dual resist double patterning processes*“, Vortrag beim „7th International Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop“, Hersbruck, 2009.

A. Erdmann, T. Fühner, F. Shao, P. Evanschitzky, J. Petersen, R. Greenway: „*Optical lithography beyond the Abbe resolution limit: Double exposure and double patterning*“, Vortrag beim „4th EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques“, Jena, 2009.

P. Evanschitzky, **A. Erdmann**, T. Fühner: „*Extended Abbe approach for fast and accurate lithography imaging simulations*“, Vortrag bei der „European Mask and Lithography Conference (EMLC)“, Dresden, 2009.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, **A. Erdmann**, P. Trefonas: „*Acid diffusion effects between resists in freezing processes used for contact hole patterning*“, Posterpräsentation bei „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, **A. Erdmann**: „*Modeling and simulation of post exposure bake processes in double patterning*“, Vortrag beim „7th International Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop“, Hersbruck, 2009.

S. Gaugiran, A. Bae, **A. Erdmann**, J. Furmann, E. Pargon: „*MD3 Material Development for Double patterning and Double exposure*“, Vortrag bei der „Semicon Europa“, Dresden, 2009.

C. Heinle, G. Hülder, Z. Brocka, G. Ehrenstein, **S. Egelkraut**, **H. Ryssel**, **M. März**: „*Application of Thermal Conductive Polymers for the Housing of Mechatronic Systems*“, Vortrag bei der „19th International Conference&Exhibit Molding“, New Orleans, USA, 2009.

J. D. Jambrech, H. Schmitt, B. Amon, M. Rommel, A. Bauer, **L. Frey**: „*Fabrication of metallic SPM Tips by combining UV nanoimprint lithography and focused ion beam processing*“, Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

C. Kampen, A. Burenkov, **J. Lorenz**, **H. Ryssel**: „*Simulation assessment of process options for advanced CMOS devices*“, Vortrag bei der „10th International Conference on Ultimate Integration of Silicon (ULIS)“, Aachen, 2009.

J. Kaiser, S. Koffel, **P. Pichler**, A. Bauer, B. Amon, A. Claverie, G. Benassayag, P. Scheiblin, **L. Frey**, **H. Ryssel**: „*Honeycomb Voids due to Ion Implantation in Germanium*“, Vortrag beim „European Material Research Society (E-MRS) Spring Meeting 2009“, Straßburg, 2009.

D. Kunder, E. Bär, **M. Sekowski**, **P. Pichler**, M. Rommel: „*Simulation of Focused Ion Beam Etching by Coupling a Topography Simulator an a Monte-Carlo Sputter Yield Simulator*“, Vortrag bei der Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

M. März, M. Hofmann, H. Rauh, B. Eckardt: „*Mechanische Integration von Leistungselektronik in die Antriebseinheit eines Axle-Split-Hybrids*“, Vortrag bei der Tagung „Praxis der elektrischen Antriebe für Hybrid-und Elektrofahrzeuge“, München, 2009.

M. März: „*Case Study III: Polymer Heatsinks*“, Vortrag beim Seminar „Innovative Materials for Power Electronics“ des „European Center for Power Electronics (ECPE)“, Fürth/Nürnberg, 2009.

M. März: „Die Bedeutung der Leistungselektronik für elektrische Straßenfahrzeuge“, Vortrag beim „1. Internationalen eCarTec-Kongress für individuelle Elektromobilität“, München, 2009.

M. März: „Hybrid- und Elektroantriebe für Automobile - neue Anforderungen an die Leistungselektronik“, Vortrag bei der Fachtagung „Die Leiterplatten- und Bestückungsindustrie in Europa“, Bad Homburg, 2009.

M. März: „Innovative Materials - Key Enabler for High-Performance Power Electronics“, Vortrag beim Seminar „Innovative Materials for Power Electronics“ des „European Center for Power Electronics (ECPE)“, Fürth/Nürnberg, 2009.

B. Meyer: „Substrate Surface Preparation and Aluminum-Induced Layer Exchange for Improvement of TFT properties“, Vortrag auf der „EAM Joint Winter School of Nanoelectronic Materials and Catalytic Materials“, Kirchberg, Österreich, 2009.

K. Motzek, **A. Erdmann:** „Optimizing illumination pupil and mask layout in mask aligner lithography“, Vortrag beim „7th International Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop“, Hersbruck, 2009.

K. Motzek, A. Bich, **A. Erdmann**, M. Hornung, M. Hennemeyer, B. Meliorisz, U. Hofmann, N. Ünal, R. Völkel, S. Partel, P. Hudek: „Optimization of illumination pupils and mask features for proximity printing“, Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

J. Petersen, R. Greenway, T. Fühner, P. Evanschitzky, F. Shao, **A. Erdmann:** „Exploration of linear and non-linear double exposure techniques by simulation“, Vortrag bei der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2009.

P. Pichler, A. Burenkov, **J. Lorenz**, C. Kampen, **L. Frey:** „Future Challenges in CMOS Process Modeling“, Vortrag beim „European Material Research Society (E-MRS) Spring Meeting 2009“, Strasbourg, 2009.

Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum: „Finite integration, FI method for modeling optical wavers in lithography masks“, Vortrag beim „7th International Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop“, Hersbruck, 2009.

M. Rommel, J. D. Jambrech, C. Ebm, E. Platzgummer, A. Bauer, **L. Frey:** „Influence of FIB patterning strategies on the shape of 3D structures: Comparison of experiments with simulations“, Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

A. Schmidhofer, J. Starzinger, **M. März**, B. Eckardt, Y. Tadros: „Perspectives of Inverter Integration in Vehicle Powertrains“, Vortrag bei der „3rd International Conference: Automotive Power Electronics (APE)“, Paris, Frankreich, 2009.

H. Schmitt, M. Rommel, A. Bauer, **L. Frey**, A. Bich, M. Eisner, R. Voelkel, M. Hornung: „Full Wafer Microlens, Replication by UV Imprint Lithography“, Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

M. Sekowski, A. Burenkov, **H. Ryssel:** „2D Angular distributions of ion sputtered germanium atoms under grazing incidence“, Posterpräsentation bei der „35th International Conference Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Ghent, Belgien, 2009.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Efficient simulation and optimization of wafer topographies in double patterning*“, Vortrag bei der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2009.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Efficient Analysis of Three Dimensional EUV Mask Induced Imaging Artifacts Using the Waveguide Decomposition Method*“, Vortrag bei der „SPIE/BACUS Photomask Technology“, Monterey, USA, 2009.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Efficient analysis of three-dimensional EUV mask-induced imaging artifacts using the waveguide decomposition method*“, Vortrag beim „7th International Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop“, Hersbruck, 2009.

S. Walther: „*Influence of Dispersion Processing and Ambient Conditions on Nanoparticulate ZnO-TFTs*“, Vortrag auf der „EAM Joint Winter School of Nanoelectronic Materials and Catalytic Materials“, Kirchberg, Österreich, 2009.

S. Walther: „*Dünnschichtfeldeffekttransistoren auf Basis von ZnO-Nanopartikeln*“, Vortrag beim „Gemeinsamen Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Messtechnik“ des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente und des Fraunhofers IISB, Erlangen, 2009.

S. Weis: „*Current transport in nanoparticulate layer systems*“, Vortrag auf der „EAM Joint Winter School of Nanoelectronic Materials and Catalytic Materials“, Kirchberg, Österreich, 2009.

S. Weis: „*Electrical conduction in silicon nanoparticle networks under exposure to different atmospheres and vacuum*“, Vortrag auf dem „EAM Symposium Wildbad Kreuth“, Wildbad Kreuth, 2009.

8.3.2 2010

V. Agudelo Moreno, P. Evanschitzky, **A. Erdmann**, S. Limmer, D. Fey: „*Mask Models for the Imaging of Contact Holes in Optical Projection Lithography*“, Posterpräsentation bei der „5th EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques“, Engelberg, Schweiz, 2010.

E. Bär, D. Kunder, P. Evanschitzky, **J. Lorenz**: „*Coupling of Equipment and Feature-Scale Profile Simulation for Dry-Etching of Polysilicon Gate Lines*“, Vortrag bei der „Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD)“, Bologna, Italien, 2010.

S. Dobmann, D. Ploss, D. Reibold, **A. Erdmann**, U. Peschel: „*Extraordinary low transmission of a metamaterial for application in lithography*“, Vortrag bei der „CLEO:QELS“, San Jose, USA, 2010.

S. Egelkraut, M. Rauch, A. Schletz, **M. März**: „*Polymer bonded soft magnetics for EMI filter applications*“, Vortrag bei der „Applied Power and Electronics Conference (APEC)“, Palm Springs, USA, 2010.

S. Egelkraut, **L. Frey**, M. Knörr, A. Schletz: „*Evolution of Shear Strength and Microstructure of Die Bonding Technologies for High Temperature*“, Vortrag bei der „12th Electronics Packaging Technology Conference“, Singapur, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, J. Fuhrmann, A. Fiebach, G.P. Patsis, P. Trefonas: „*Modeling of double patterning interactions in litho-curing-litho-etch (LCLE) processes*“, Vortrag bei der „SPIE

Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner: „*Mask and Wafer Topography Effects in Optical and EUV-Lithography*“, Vortrag bei der „China Semiconductor Technology International Conference (CSRIC)“, Shanghai, China, 2010.

A. Erdmann, F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner: „*Mask-topography-induced phase effects and wave aberrations in optical and EUV lithography*“, Vortrag bei der „Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication. (EIPBN)“, Anchorage, USA, 2010.

P. Evanschitzky, T. Fühner, F. Shao, **A. Erdmann**: „*Efficient Simulation of three-dimensional EUV Masks for rigorous Source Mask Optimization and Mask Induced Imaging Artifact Analysis*“, Vortrag bei der „European Mask and Lithography Conference (EMLC)“, Grenoble, Frankreich, 2010.

T. Fühner, A. Barenbaum, F. Shao, S. Liu, J. Jahn, **A. Erdmann**: „*Topography aware BARC optimization for double patterning*“, Posterpräsentation bei der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2010.

M. Hofmann, B. Eckardt, **M. März**, **L. Frey**: „*Effizienzoptimierung integrierter elektrischer Antriebssysteme für Hybrid- und Elektrofahrzeuge*“, Vortrag bei der „Elektro Mobil Ausstellung“, Aschaffenburg, 2010.

J. Huang, U.R. Krishna, M. Lemberger, **M.P.M. Jank**, **S. Polster**, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Effects of Oxygen and Forming Gas Annealing on ZnO TFTs*“, Vortrag beim „MRS Fall Meeting 2010“, Boston, USA, 2010.

J. Kaiser, S. Koffel, A.J. Bauer, B. Amon, **P. Pichler**, **L. Frey**, **H. Ryssel**: „*Germanium substrate loss during thermal processing*“, Vortrag beim „EMRS Spring Meeting 2010“, Strasbourg, Frankreich, 2010.

M. Knörr, A. Schletz, S. Oertel, **M.P.M Jank**: „*Semiconductor Joining through Sintering of Ag-Nanoparticles: Analysis of Different Powders Using DSC and TGA Measurements*“, Vortrag beim „The World Congress on Particle Technology (WCPT6)“, Nürnberg, 2010.

S. Koffel, **J. Kaiser**, A.J. Bauer, B. Amon, **P. Pichler**, **J. Lorenz**, **L. Frey**, P. Scheiblin, V. Mazzocchi, J.P. Barnes, A. Claverie: „*Experiments and simulation of the diffusion and activation of the n-type dopants P, As, and Sb implanted into germanium*“, Vortrag beim „EMRS Spring-Meeting 2010“, Strasbourg, Frankreich, 2010.

J. Laven, H.-J. Schulze, V. Häublein, F.-J. Niedernostheide, H. Schulze, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Deep doping profiles in silicon created by MeV proton implantation: Influence of implantation parameters*“, Vortrag bei der „18th International. Conference on Ion Implantation Technology“, Kyoto, Japan, 2010.

J. Laven, H.-J. Schulze, V. Häublein, F.-J. Niedernostheide, H. Schulze, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Dopant profiles in silicon created by MeV proton implantation: Influence of annealing parameters*“, Vortrag beim „EMRS Spring-Meeting 2010“, Strasbourg, Frankreich, 2010.

J. Laven, R. Job, H.-J. Schulze, F.-J. Niedernostheide, V. Häublein, H. Schulze, W. Schustereder, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*The Impact of Helium Co-Implantation on Hydrogen Induced Donor Profiles in FZ Si*“, Vortrag beim „218th ECS Meeting“, Las Vegas, USA, 2010.

- S. Liu, T. Fühner, F. Shao, A. Barenbaum, J. Jahn, **A. Erdmann**: „*Topography aware BARC optimizing for double patterning*“ Vortrag bei der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2010. 2010.
- S. Liu, G. Roeder, G. Aygün, K. Motzek, P. Evanschitzky, **A. Erdmann**: „*Simulation of 3D inclined/rotated UV lithography and its applications to microneedles*“, Posterpräsentation bei der „Micro- and Nano-Engineering 2010“, Genua, Italien, 2010.
- M. März, H. Ryssel, L. Frey**: „Weichmagnetische gefüllte Kunststoffe für integrierte leistungselektronische Bauelemente“, Posterpräsentation bei der GMM-Fachtagung „Automotive meets Electronics“, Dortmund, 2010.
- M. März**: „*Soft Magnetic Polymers - an Attractive Material for EMI Filter Applications*“, Vortrag beim EPCE-Cluster Seminar „EMC in Hybrid and Electric Vehicles“, Erlangen, 2010.
- M. März**: „*Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge*“, Vortrag beim „Workshop Netzintegration Elektromobilität“, Nürnberg, 2010.
- M. März**: „*Heat: Basics, Examples, Heat-Exchange*“, Vortrag beim ECPE Tutorial „Thermal Engineering of Power Electronics Systems“, Erlangen, 2010.
- K. Motzek, **A. Erdmann**: „*Optimization of illumination and mask layout for mask aligner lithography*“, Vortrag bei „Dornbirner Mikrotechniktage“, Dornbirn, Österreich, 2010.
- K. Motzek, U. Vogler, M. Hennemeyer, **A. Erdmann**: „*Computational algorithms for optimizing mask layouts in Proximity Printing*“, Posterpräsentation bei der „Micro- and Nano-Engineering 2010“, Genua, Italien, 2010.
- H. Qi, J. Wang, **A. Erdmann**, Y. Jin, J. Shao, Z. Fan: „*Innovations in structured thin film design and fabrication for optical applications*“, Vortrag bei der „International Conference on Thin Film Physics“, Shanghai, China, 2010.
- Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum, P. Evanschitzky: „*Rigorous EMF simulation of absorber shape variations and their impact on the lithographic process*“, Vortrag bei der „European Mask and Lithography Conference“, Grenoble, Frankreich, 2010.
- Z. Rahimi, **A. Erdmann**, C. Pflaum: „*Characterization of the Scattering Effect of Complex Mask Geometries with Surface Roughness*“, Vortrag bei der „SPIE Europe“, Brüssel, Belgien, 2010. 2010.
- G. Roeder, S. Liu, P. Evanschitzky, **A. Erdmann**, G. Aygün, M. Schellenberger, **L. Pfitzner, L. Frey**: „*Determination of the Dill parameters of thick positive resist for use in modeling applications*“, Vortrag bei der „5th International Conference on Spectroscopic“, Albany (New York), USA, 2010. 2010.
- D. Schindele, P. Pichler, J. Lorenz, P. Oesterlin, H. Ryssel**: „Defects formed by pulsed laser annealing: electrical properties and depth profiles in n-type silicon measured by DLTS“, Vortrag beim „EMRS Spring Meeting 2010“, Strasbourg, Frankreich, 2010.
- S. Feng, **A. Erdmann**, G.D. Cooper, Z. Chen: „*Exploration of reversible contrast enhancement layers for double-exposure lithography*“, Vortrag bei der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2010.
- F. Shao, P. Evanschitzky, K. Motzek, **A. Erdmann**: „*Fast and highly accurate simulation of*

the printing behavior of EUV multilayer defects based on different models“, Vortrag bei der „Photomask Japan“, Yokohama, Japan, 2010. 2010.

J. vom Dorp, T. Erlbacher, A.J. Bauer, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „Dielectric Layers suitable for high voltage integrated trench capacitors“, Vortrag beim „16th Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM)“, Bratislava, Slowakei, 2010.

S. Walther: „*Evaluation of materials for printed electronics*“, Vortrag beim „International Symposium on Disperse Systems for Electronics“, Erlangen, 2010.

S. Walther, **M.P.M. Jank**, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Tuning of Charge Carrier Density of ZnO Nanoparticle Films by Oxygen Plasma Treatment*“, Vortrag beim „6th World Congress on Particle Technology“, Nürnberg, 2010.

S. Walther, **S. Polster**, **B. Meyer**, **M.P.M. Jank**, **H. Ryssel**, **L. Frey**: „*Properties of SiO₂ and Si₃N₄ as Gate Dielectrics for Printed ZnO Transistors*“, Vortrag beim „16th Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM)“, Bratislava, Slowakei, 2010.

9 So finden Sie zu uns

9.1 Anreise

Anreise mit dem PKW

Auf der Autobahn A3 bis Ausfahrt Erlangen-Tennenlohe, dann weiter auf B4 Richtung Erlangen bis Abzweigung „Universität Südgelände“. Der Beschilderung „Technische Fakultät“ bzw. „Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie“ folgen bis zur Cauerstraße. Weiter nach Plan (Abbildung 9.2).

Anreise mit dem Flugzeug

Ab Flughafen Nürnberg mit dem Bus der Linie 32 nach Nürnberg Thon, von dort mit dem Bus der Linie 30 oder 30E (Richtung Erlangen Hugentottenplatz) bis zur Haltestelle Erlangen-Süd (30 Minuten). Alternativ mit dem Taxi (20 Minuten) zum Südgelände der Universität.

Anreise mit der Bahn

Ab Erlangen-Hauptbahnhof mit den Bussen der Linien 287 (bis Haltestelle Stettiner Straße, ca. 20 Minuten) oder 30/30E/295 (bis Haltestelle Erlangen-Süd, ca. 15 Minuten). Alternativ mit dem Taxi (ca. 15 Minuten) zum Südgelände der Universität.

Ab Nürnberg-Hauptbahnhof entweder mit dem Zug nach Erlangen-Hauptbahnhof, dann weiter wie beschrieben (ca. 45 Minuten). Oder mit der Straßenbahnlinie 9 bis Nürnberg Thon, dort weiter mit dem Bus der Linie 30 oder 30E (Richtung Erlangen Hugentottenplatz) bis zur Haltestelle Erlangen-Süd (ca. 45 Minuten).



Abb. 9.1: Gebäude des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente, Cauerstraße 6. Blick von der Cauerstraße. Vollständiger Lageplan zur Technischen Fakultät auf der nächsten Seite

9.2 Lageplan

Die im Sommer 2009 begonnenen umfangreichen Baumaßnahmen an der Technischen Fakultät sind in diesem Plan noch nicht berücksichtigt, da die Arbeiten erst im Laufe der Jahre 2011 und 2012 abgeschlossen werden sein.

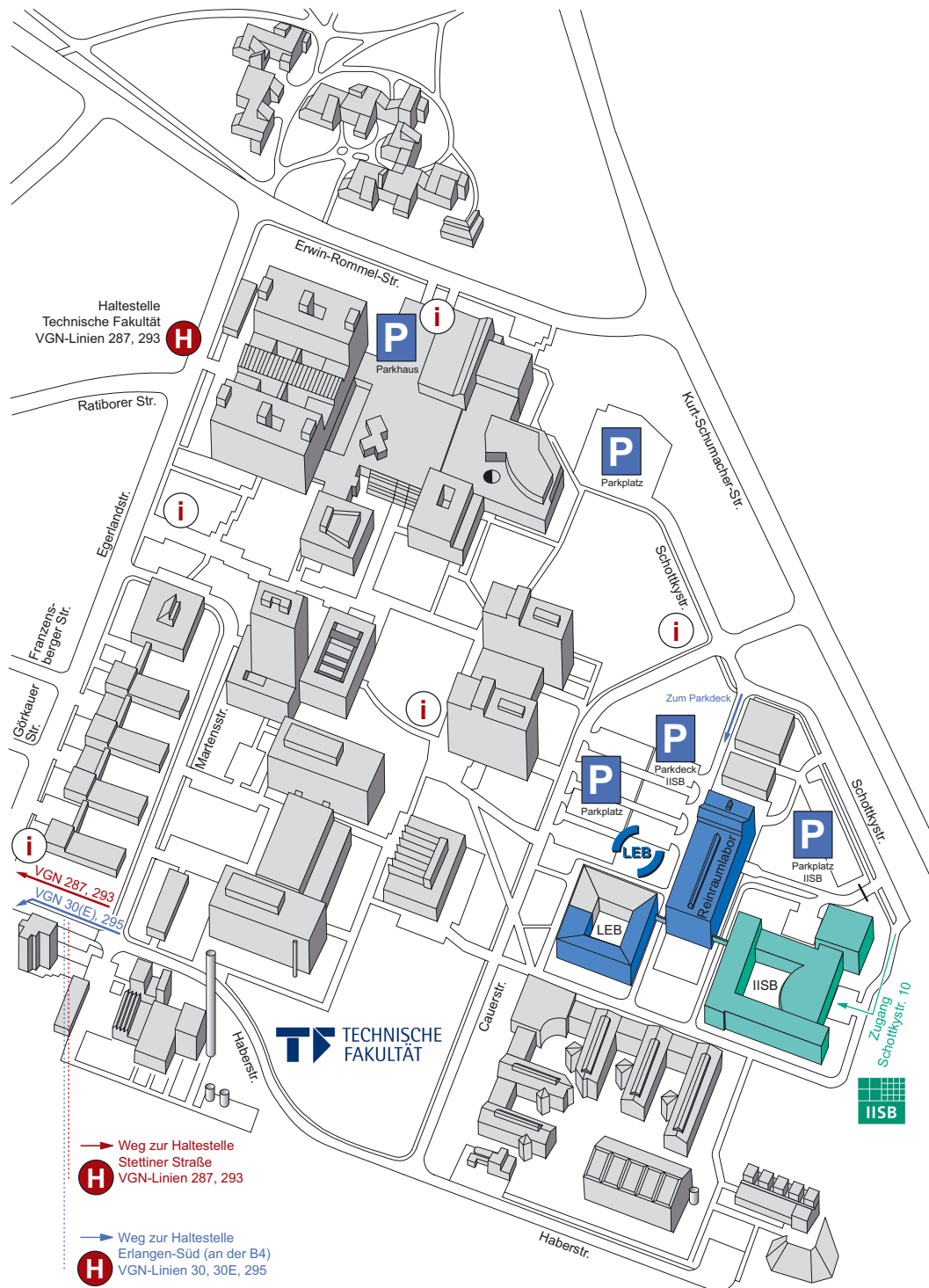


Abb. 9.2: Übersichtsplan der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg