



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

Jahresbericht 2007



TECHNISCHE FAKULTÄT
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



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.eei.uni-erlangen.de>

IMPRESSUM

Redaktion

Tobias Dirnecker
Jochen Kaiser
Mikhail Lazarev
Thomas Richter
Heiner Ryssel

Gestaltung, Satz und Realisierung

Thomas Richter

© Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente 2008

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

Inhalt

1	Grußwort	1
2	Mitarbeiter und Ausstattung.....	3
2.1	Mitarbeiter.....	3
2.2	Lehrbeauftragte	4
2.3	Gastwissenschaftler.....	5
2.4	Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte.....	7
2.5	Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften.....	7
2.6	Ausstattung	9
2.7	Arbeitsgebiete	14
2.7.1	Halbleiter- und Nanotechnologie.....	14
2.7.2	Leistungshalbleiter-Bauelemente, Smart-Power-IC-Technologien.....	14
2.7.3	Technologiesimulation.....	14
2.7.4	Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden	15
2.7.5	Leistungselektronische Systeme	15
3	Veranstaltungen.....	17
3.1	Chronik 2007	17
3.2	Festveranstaltung zum 65. Geburtstag von Prof. Heiner Ryssel und Verleihung der Fraunhofer-Medaille	18
3.3	Bayerische Eliteakademie	19
3.4	Industriekolloquium des Sonderforschungsbereiches 694.....	20
3.5	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme	21
3.6	Praktikum Mädchen und Technik.....	22
3.7	Die Lange Nacht der Wissenschaften	23
3.8	Indo-German Winter Academy.....	24

4	Lehre und Ausbildung.....	27
4.1	Lehrveranstaltungen im Grundstudium	28
4.1.1	Halbleiterbauelemente	28
4.1.2	Ringvorlesung Mechatronische Systeme.....	28
4.1.3	Praktikum Mechatronische Systeme.....	29
4.1.4	Arbeitstechnik.....	29
4.2	Vorlesungen im Hauptstudium	30
4.2.1	Produktion in der Elektrotechnik.....	30
4.2.2	Technologie integrierter Schaltungen.....	30
4.2.3	Prozessintegration und Bauelementearchitekturen.....	31
4.2.4	Halbleiter- und Bauelementemesstechnik	32
4.2.5	Nanoelektronik.....	33
4.2.6	Ionenimplantation	33
4.2.7	Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen.....	34
4.2.8	Leistungshalbleiterbauelemente.....	34
4.2.9	Smart Power Technologien.....	35
4.2.10	Prozess- und Bauelementesimulation.....	36
4.2.11	Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente	37
4.2.12	Technik der Halbleiterfertigungsgeräte	37
4.2.13	Siliciumcarbid-Hochleistungsbauelemente - Grundlagen, Technologie und Systemaspekte.....	38
4.2.14	Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation	39
4.2.15	Automobilelektronik - Leistungselektronik.....	40
4.2.16	Optische Lithographie: Technologie, Physikalische Effekte und Modellierung.....	40
4.3	Praktika im Hauptstudium	41
4.3.1	Praktikum zur Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente	41
4.3.2	Praktikum zur Halbleiter- und Bauelementemesstechnik.....	42
4.4	Seminare im Hauptstudium.....	42
4.4.1	Hauptseminar über ausgewählte Kapitel der Silicium- Halbleitertechnologie.....	42
4.4.2	Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen	43
4.5	Lehrangebote im Rahmen der virtuellen Lehre	44
4.5.1	Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen	44
4.5.2	Halbleiterbauelemente	46
4.5.3	Übung zu Produktion in der Elektrotechnik	48

4.6	Exkursionen	49
4.7	Ausbildung zum Mikrotechnologen.....	50
4.8	Belegungsmatrix	51
5	Wissenschaftliche Arbeiten von Studenten und Mitarbeitern	55
5.1	Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten.....	55
5.1.1	Auslegung der elektrischen Antriebseinheit für ein Hybridfahrzeug ...	55
5.1.2	Thermische Impedanz von Leistungshalbleiter-Bauelementen.....	55
5.1.3	Entwicklung von Simulationsmodellen für die Komponenten im Antriebstrang eines Brennstoffzellenfahrzeugs	56
5.1.4	Optimierung, Erweiterung und Test eines Solarzellenmessplatzes	56
5.1.5	Untersuchungen zur Herstellung metallischer Gateelektroden mittels MOCVD und deren elektrische Charakterisierung.....	57
5.1.6	Entwicklung einer Software für die U/f -Steuerung eines Elektromotors.....	57
5.1.7	Inbetriebnahme eines Prototypgerätes zur Charakterisierung von Isolator-Silicium-Strukturen mittels eines Photostromverfahrens.....	58
5.1.8	Wickelsysteme - Marktübersicht und Trendanalyse.....	59
5.1.9	Untersuchungen zum Umspritzen von elektrischen Komponenten hoher Wärmekapazität mit thermisch leitfähig gefüllten Kunststoffen.....	60
5.1.10	Untersuchungen zum Sintern von Silber-Nanopulvern als Verbindungstechnik in der Leistungselektronik	60
5.2	Diplomarbeiten.....	61
5.2.1	Bestimmung der Leitungsmechanismen in Silicium-Nanopartikel- Netzwerken	61
5.2.2	Entwicklung eines piezoelektrischen Transformators zur Versorgung von MOS / IGBT-"High Side"-Schaltern	61
5.2.3	Geschichte der Halbleiterelektronik	62
5.2.4	Hafniumsilicat als Steueroxid in nichtflüchtigen Speicherzellen	62
5.2.5	Entwicklung einer intelligenten Messeinschubkarte für einen modular aufgebauten aktiven Lastwechseltester	63
5.2.6	Hochfrequenztechnische Charakterisierung von SiC-JFETs und deren Untersuchung in einem Gegentaktoszillator.....	64
5.3	Promotionen.....	64
5.3.1	Untersuchung von Ausheilverfahren für Aluminium-implantierte Schichten in 4H-Siliciumcarbid.....	64
5.3.2	Photostrom-Spektroskopie von Silicium im Volumen und an der Grenzfläche zu Siliciumdioxid	66
5.3.3	Mesoskopische Simulation der Photolackbearbeitung in der optischen Lithographie	70

6	Forschung	73
6.1	Beispiele aus der Forschung	73
6.1.1	"Verteilung, Segregation und Dosisverlust von Dotieratomen in Deka- Nanometer-Strukturen"	73
6.1.2	Simulationsmodelle zur Beschreibung von Lithographieprozessen mithilfe von Mask Alignern.....	75
6.1.3	Sonderforschungsbereich 694, Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme	77
6.1.4	Elektronische Bauelemente auf nanokristalliner Basis.....	80
6.2	Geförderte Forschungsvorhaben	81
6.2.1	Beteiligung des LEB an der Erlangen "Graduate School in Advanced Optical Technologies" (SAOT)	82
6.2.2	Beteiligung des LEB am Exzellenzcluster "Engineering of Advanced Materials – Hierarchical Structure Formation for Functional Devices" (EAM)	82
6.2.3	Übersicht der 2007 am LEB bearbeiteten Förderprojekte	83
6.3	Kooperationsbeziehungen	85
7	Wissenschaftliche Beiträge	87
7.1	Bücher und Buchbeiträge.....	87
7.2	Veröffentlichungen in Fachzeitschriften.....	87
7.3	Vorträge und Posterpräsentationen	89
8	So finden Sie zu uns	91
8.1	Anreise	91
8.2	Lageplan.....	92

1 Grußwort

Obwohl das Jahr 2007 nicht weniger hektisch als die vorausgehenden Jahre war, konnte der Tätigkeitsbericht dieses Jahr rechtzeitig fertiggestellt werden. Nachdem letztes Jahr im Rahmen der Exzellenzinitiative die Graduiertenschule "School of Advanced Optical Technologies" bewilligt wurde, kam 2007 ein noch größerer Erfolg hinzu: Das Exzellenzcluster "Engineering in Advanced Materials" wurde ebenfalls bewilligt und die vorbereitenden Arbeiten hierzu haben begonnen. Der Lehrstuhl ist auf dem Gebiet der Elektronik am Cluster beteiligt und möchte vor allem die Arbeiten auf dem Sektor der partikelbasierten Elektronik ausbauen. Die Arbeiten im Rahmen der Graduiertenschule laufen bereits erfolgreich und der Lehrstuhl kann derzeit zwei Doktoranden über die Schule finanzieren. Eine neue englischsprachige Vorlesung mit dem Titel "Optical Lithography: Technology, Physical Effects, and Modelling" erweitert das Vorlesungsangebot der Graduiertenschule. Eine weitere Verstärkung der Aktivitäten auf dem Gebiet der optischen Technologien ist für 2008 geplant.

Nach zwei Jahren als Vorsitzender der Studienkommission Mechatronik habe ich das Amt an Prof. Willner übergeben, werde aber zunächst noch als Stellvertreter wirken. Die Mechatronik hat sich zu einem sehr erfolgreichen Studiengang entwickelt, wenn auch im Wintersemester 07/08 die Erstanfänger dramatisch zurückgingen (wohl wegen der geänderten Bachelor / Master-Prüfungsordnung, die ein vorgezogenes Praktikum erforderlich macht, worauf sich zahlreiche Schüler nicht rechtzeitig einstellen konnten).

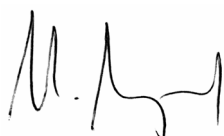
Im Dezember 2007 wurde, wie in den letzten Jahren, die Indo-German Winter Academy durchgeführt, dieses Jahr gemeinsam mit dem Indian Institute of Technology (IIT) Guwahati auf dem Campus von Guwahati. Insgesamt nahmen 57 Studenten (davon sechs aus Erlangen) an der einwöchigen Veranstaltung teil, die wieder sehr erfolgreich verlief. Im nächsten Jahr ist geplant, die Winterakademie in Madras (Chennai) in Zusammenarbeit mit dem dortigen IIT durchzuführen.

Der Jahresbericht ist aber nicht nur ein Rückblick, er soll auch zukünftige Entwicklungen am Lehrstuhl ansprechen und eine Übersicht über die verfügbaren Technologien, Geräte und die angebotenen Lehrveranstaltungen liefern. Das Berufungsverfahren zu meiner Nachfolge wurde nach einem relativ langwierigen Verlauf zu einer Liste geführt, die am 19. Dezember durch den Senat gegangen ist. Wenn die Verhandlungen erfolgreich verlaufen, ist damit zu rechnen, dass ab Mitte nächsten Jahres ein Nachfolger seine Amtsgeschäfte aufnehmen wird.

In den folgenden Abschnitten des Jahresberichts finden Sie zunächst die Daten zu Mitarbeitern und Gastwissenschaftlern, zur Ausstattung und zu den Arbeitsgebieten des Lehrstuhls, gefolgt von einer Chronik des Berichtszeitraumes. Übersichten zu den Lehrveranstaltungen, den studentischen Arbeiten und Promotionen, zu ausgewählten Forschungsvorhaben sowie Aufstellungen aller geförderten Forschungsprojekte und der vielfältigen Kooperationsbeziehungen folgen anschließend. Der letzte Abschnitt enthält die wissenschaftlichen Veröffentlichungen des Lehrstuhls.

Ich hoffe, dieser Bericht findet Ihr Interesse und bietet Anknüpfungspunkte für neue gemeinsame Aktivitäten in Forschung und Lehre. An dieser Stelle möchte ich mich bei Ihnen als Kooperationspartner, Förderer und Nutzer der LEB-Angebote sowie bei meinen Mitarbeitern für die geleistete Arbeit recht herzlich bedanken.

Erlangen, im Dezember 2007



Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

2 Mitarbeiter und Ausstattung

2.1 Mitarbeiter

Lehrstuhlinhaber

Prof. Dr.-Ing. habil. Heiner Ryszel

Professur Elektronische Bauelemente

Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiek

Leistungshalbleiterbauelemente

Akademischer Direktor

Prof. Dr. rer. nat. habil. Lothar Frey

Leiter der Reinraum-Halle, Messtechnik /
Ionenstrahltechniken (beurlaubt seit 09/2005)

Weitere Hochschullehrer

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Lothar Pfitzner

Fraunhofer IISB, Erlangen

Priv.-Doz. Dr. techn. habil. Peter Pichler

Fraunhofer IISB, Erlangen

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schmutz

ACI Group, Zimmern

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stephani

SiCED GmbH, Erlangen

Wissenschaftliche Assistenten

Dr.-Ing. Tobias Dirnecker

Bauelemente / Elektrische Aufladungseffekte

Dipl.-Ing. Jochen Kaiser

Germanium-Bauelemente

Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Ionenimplantation

Thomas Richter, M.A.

Multimedia in der Lehre

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. (FH) Joachim vom Dorp

Bauelemente-Technologie

Dipl.-Ing. Sven Egelkraut

Weichmagnetische Kunststoffe

Dipl.-Ing. Tobias Erlbacher

Nichtflüchtige Speicherzellen

Dipl.-Ing. Michael Groß

Leistungshalbleiterbauelemente

Dipl.-Phys. Oliver Klar

Neue Speicherkonzepte

Dipl.-Phys. Johannes Laven

Dotierung durch Protonenimplantation (seit
09/2007)

Dipl.-Phys. Peter Bálint Meliorisz

Lithographiesimulation, Nahfeld- und Kontakt-
belichtung

Fortsetzung: Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Phys. Martin Rambach	Siliciumcarbid-Bauelemente (bis 10/2007)
Dipl.-Phys. David Reibold	Hochabsorbierende dünne Schichten (seit 11/2007)
Dipl.-Ing. David Schindele	Gitterleerstelleneigenschaften in Silicium
Dipl.-Ing. Holger Schmitt	UV-Nanoimprint-Lithographie
Dipl.-Phys. Matthias Sekowski	Winkelverteilung bei der Ionenbestrahlung
Dr. rer. nat. Christian Steen	Segregation / Diffusion (bis 12/2007)
Dipl.-Ing. Sabine Walter	Elektronische Bauelemente auf nanokristalliner Matrix

Technische Mitarbeiter / Verwaltung:

Diana Arnold	Verwaltung / Sekretariat (bis 06/2007 in Elternzeit)
Sieglinde Elsesser	Photolithographie / Nasschemie
Christian Heilmann	Prozessgeräte / Elektrofachkraft / Sicherheitsbeauftragter
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Klauser	Rechner / Leitsysteme
Stefan Knopf	Physikalische Schichtabscheidung / Mechanische Werkstatt
Abdellah Mabrouki	Techn. Unterstützung bei der Erstellung von Lehrmaterialien (seit 03/2004, von FhG IISB)
Angela Meixner	Photolithographie / Nasschemie
Andrea Merkel	Verwaltung / Sekretariat
Oliver Pöhlmann	Auszubildender Mikrotechnologe
Anna-Maria Rehm	Reinigung Reinraumlabor
Dipl.-Ing. Heinrich Schier	Infrastruktur / Reinraum
Sonja Schneider, M.A.	Verwaltung / Sekretariat (seit 11/2006)
Katharina-Luise Stimm	Reinigung Reinraumlabor
Jonas Strobel	Auszubildender Mikrotechnologe

2.2 Lehrbeauftragte

Dr.-Ing. Anton Bauer	Fraunhofer IISB, Erlangen
Dr.-Ing. Christine Dehm	Qimonda AG, Erlangen
Dr. rer. nat. Andreas Erdmann	Fraunhofer IISB, Erlangen
Dr.-Ing. Michael Jank	Fraunhofer IISB, Erlangen

Fortsetzung: Lehrbeauftragte

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Dipl.-Math.
Jürgen Lorenz

Fraunhofer IISB, Erlangen

Dr.-Ing. Martin März

Fraunhofer IISB, Erlangen

2.3 Gastwissenschaftler

Prof. Nandita DasGupta / Indien (IIT Madras) 01.06. - 31.07.2007	Untersuchung der thermischen Nachbehandlung von kathodenzerstäubtem Titandioxid und dessen Einsatz im Steueroxid nichtflüchtiger Speicherzellen
Dr. Miklos Fried / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 12.11. - 17.11.2007	Projektbezogener Personenaustausch, "Development of an innovative 2D-ellipsometer for equipment in semiconductor processing"
Takeshi Fujimura / Japan (Universität Osaka) 05.12. - 07.12.2007	Erfahrungsaustausch mit deutschen Studenten
Yusaku Fujita / Japan (Universität Osaka) 05.12. - 07.12.2007	Erfahrungsaustausch mit deutschen Studenten
Chieko Fukuyama / Japan (Universität Osaka) 05.12. - 07.12.2007	Erfahrungsaustausch mit deutschen Studenten
Rajat Goyal / Indien (IIT Bombay) 08.05. - 28.07.2007	"Characterization of plasma nitridation of gate oxide layers"
Biswajeet Guha / Indien (IIT Kharagpur) 03.05. - 18.07.2007	"CMP (chemical-mechanical polishing) metrology for 45 nm and 32 nm technology generations"
Prof. Jozsef Gyulai / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 08.12. - 13.12.2007	Diskussion gemeinsamer Projekte
Yusuke Hirayama / Japan (Universität Osaka) 05.12. - 07.12.2007	Erfahrungsaustausch mit deutschen Studenten
Dr. Gyorgy Juhasz / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 12.11. - 17.11.2007	Projektbezogener Personenaustausch, "Development of an innovative 2D-ellipsometer for equipment in semiconductor processing"
Dr. Dong Li / China (Tongji University, Shanghai) 01.09.2005 - 31.07.2007	Ultra-kompakter Netzadapter für Notebooks und Flachbildschirme

Fortsetzung: Gastwissenschaftler

Csaba Major / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 12.11. - 17.11.2007	Projektbezogener Personenaustausch, "Development of an innovative 2D-ellipsometer for equipment in semiconductor processing"
Liu Ming / China (Tongji University, Shanghai) 15.09.2006 - 28.02.2007	"Dynamic Model of Proton Exchange Membrane Fuel Cell and Implementation"
Dr. Mingping Mao / China (Tongji University, Shanghai) 01.10.2005 - 30.09.2007	Ultra-kompakter Netzadapter für Notebooks und Flachbildschirme
Dr. Peter Petrik / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 01.03. - 10.03.2007 25.04. - 30.04.2007 31.07. - 06.08.2007 25.10. - 31.10.2007 12.11. - 17.11.2007	Projektbezogener Personenaustausch, "Development of an innovative 2D-ellipsometer for equipment in semiconductor processing"
Dr. Oliver Polgar / Ungarn (Ungarische Akademie der Wissenschaften) 12.11. - 17.11.2007	Projektbezogener Personenaustausch, "Development of an innovative 2D-ellipsometer for equipment in semiconductor processing"
Prof. Mikio Takai / Japan (Universität Osaka) 27.09. - 30.09.2007	Diskussion gemeinsamer Projekte
Dr. Jian Tian / China (Xi'an University, Shanghai) 01.07.2005 - 30.09.2007	Ultra-kompakter Netzadapter für Notebooks und Flachbildschirme (Arbeitsort Ilmenau)
Dr. Andrew Yeckel / USA (University of Minnesota) 01.10. - 02.12.2007	"Multiscale Modeling"
Youhui Zhu / China (China Aluminum Corporation Ltd.) seit 15.05.2007	"Industrial electric automation, development and application of power electronics"

2.4 *Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte*

2007 waren insgesamt 18 studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte zur Unterstützung der Mitarbeiter in Forschung und Lehre beschäftigt.

Lars Bütke	Tutorium Halbleiterbauelemente
Florian Düll	Messtechnik
Olga Dzhimova	Multimedia und Internetprogrammierung
Amor Elkamel	Probenpräparation und elektrische Messtechnik
Stefan Endres	Tutorium Halbleiterbauelemente, Internetprogrammierung
Konstantin Gorovoy	Aufnahmen am Raster-Elektronen-Mikroskop, Reparaturen am Hallmessplatz
Andreas Großmann	Layout von Leiterplatten
Thomas Heckel	Tutorium Halbleiterbauelemente, Elektrische Messtechnik, Internetprogrammierung
Adrian Hoßbach	Mechanische Konstruktion von Werkzeugen
Roman Kravchuk	Elektrische Messtechnik
Bernd Müller	Literaturrecherche, Arbeiten an Spritzgussmaschinen
Peter Neukum	Probenpräparation
Markus Niedermeier	Software
Peter Ploß	Tutorium Halbleiterbauelemente
Thomas Scharrer	Elektrische Messtechnik, Probenpräparation
Ernst Schmitt	Entwicklung elektronischer Teststrukturen für die Nano-imprint-Lithographie
Felix Tenner	Tutorium Halbleiterbauelemente
Martin Vierling	Multimedia und Internet

2.5 *Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften*

Prof. Dr.-Ing. habil. Heiner Ryssel Mitglied des Internationalen Komitees der Konferenz "Ion Implantation Technology (IIT)". Die Konferenz findet alle zwei Jahre abwechselnd in Europa, den USA und Ostasien statt.

Mitglied des nationalen Beratungsausschusses der Konferenz "Chemical Vapor Deposition" (EUROCVI).

Mitglied des wissenschaftlichen Programmkomitees der Konferenz "MIGAS International Summer School on Advanced Microelectronics". Die Konferenz findet jährlich in Frankreich statt.

Mitglied des Komitees der Konferenz "European Solid-State and Integrated-Circuit Technology" (ICSICT)



Fortsetzung: Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften (Prof. Dr.-Ing. habil. H. Ryssel)

Mitglied der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Leiter des Fachausschusses 8.1 "Festkörpertechnologie"

Mitglied der VDE / VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Leiter des Fachbereichs 1 "Mikro- und Nanoelektronik-Herstellung", Leiter der Fachgruppe 1.2.2 "Ionenimplantation"

Mitglied des Beirats der Bayerischen Kooperationsinitiative Elektronik / Mikrotechnologie (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie)

Mitglied in der Electrochemical Society

Mitglied in der Materials Research Society

Mitglied (Fellow) im Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Mitglied in der Böhmisches Physikalischen Gesellschaft

Mitglied des Herausgeberrats der Zeitschrift "Radiation Effects and Defects in Solids", Taylor & Francis Ltd., Abingdon, U.K.

Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik

Mitglied des Prüfungsausschusses der Technischen Fakultät (bis Ende SS 2007)

Vorsitzender der Studienkommission Mechatronik der Universität Erlangen-Nürnberg (bis Ende SS 2007)

Mitglied des Komitees für den "European SEMI Award"

Mitglied des europäischen Programmkomitees des internationalen Symposiums zur VLSI Technologie (IEEE VLSI-TSA)

Sprecher des "Bayerischen Forschungsverbunds für Nanoelektronik" (FORNEL)

Mitglied der Kollegialen Leitung der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik

Vorstandsvorsitzender des Alumni Technische Fakultät Erlangen e.V.

Direktor der "Indo-German Winter Academy"

Außerordentliches Mitglied der Elektrotechnischen Gruppe Kurzschluss ETG (ETG-Kurzschluss e.V.) im VDE

Prof. Dr. phil. nat.
Michael Stoisiek

Mitglied in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

Mitglied in der VDE / VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)

Mitglied in der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG)

Mitglied im "Zentrum Leistungselektronik, Universität Erlangen"

Fortsetzung: Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften (Prof. Dr. phil. nat. M. Stoisiak)

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

Prof. Dr. rer. nat.
habil. Lothar Frey

Mitglied in der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Fachbereich 5.6.2 "Qualität und Zuverlässigkeit - Analysestrategien"

Leiter der Fachgruppe 6.2.6 "Inspektion und Analytik" der GMM VDE / VDI Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro und Feinwerktechnik

Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik

2.6 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 Schaltungsdemonstratoren sowie die Entwicklung, Erprobung, Vorqualifikation und Montage von Halbleiter-Fertigungsgeräten. Die Prozessanlagen sind durchgängig für die Bearbeitung von 150 mm Scheibendurchmessern, größtenteils bis 200 mm und teilweise bis 300 mm ausgelegt. Die Handhabung der Siliciumscheiben von Kassette zu Kassette entspricht dem in der Industrie geforderten Standard. 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 Großgeräte erweitert werden.

Es wurde ein Rohofen der Firma Carbolite beschafft. Der Ofen wurde für den Einsatz im Rahmen des Graduiertenkollegs Disperse Systeme für elektronische Anwendungen passend aufgerüstet. Im Ofen werden Proben mit Nanopartikelschichten in verschiedenen Gasatmosphären gesintert und ausgeheilt.

In Kooperation mit der Max-Planck-Arbeitsgruppe am Institut für Optik, Information und Photonik wurde 2007 eine Anlage zur Elektronenstrahlithographie der Firma Raith in Betrieb genommen (Raith 150). Mithilfe dieser Anlage ist es nun möglich, Strukturen bis hinab zu 20 nm Breite und darunter herzustellen. Die Anlage zeichnet sich durch eine hohe Automatisierbarkeit aus und verfügt zudem über die Möglichkeit zur Elektronenstrahlunterstützten Gasphasenabscheidung. Zusammen mit der umfangreichen Prozesstechnologie des LEB bietet sich so eine Reihe neuer Möglichkeiten für Untersuchungen in den Bereichen Bauelementeentwicklung und Nanotechnologie.

Im Aufbau befindet sich auch eine neue Anlage zur plasmaunterstützten Abscheidung atomar dünner Schichten (engl. plasma enhanced atomic layer deposition, ALD) von der Firma Oxford Plasma Technology. Hiermit können Schichten aus einzelnen Atomlagen kontrolliert auf einer Halbleiterscheibe abgeschieden werden. Die Anlage soll hauptsächlich zur Herstellung von Metallfilmen als Gateelektroden in zukünftigen CMOS-Technologien verwendet werden.



Abb. 2.1: Elektronenstrahlithographieanlage im Reinraumlabor des LEB

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

Si- und SiC-Prozesstechnik

- Dotierung: fünf Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hochenergieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Öfen für Diffusions- und Ausheilschritte, RTA-Anlagen
- Oxidation: 3-Stock- und 4-Stock-Oxidationsöfen (bis zu 300 mm), RTO-Anlage, Rohrwäscher, Rohrofen für Nanopartikelschichten
- Schichtabscheidung: Niederdruck-Dampfphasenabscheidung (LPCVD) von Standard-CMOS-Dünnschichten (SiO_2 , Si_3N_4 , Polysilicium, BPSG), Metallorganische Dampfphasenabscheidung (MOCVD) für Ferroelektrika, neue Gatedielektrika und sensitive Schichten, Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Mehrkammer-Sputteranlagen für hochschmelzende Metalle, Platin und Aluminium, Ausheil- und Epitaxieanlagen für SiC, plasmaunterstützte Abscheidung atomar dünner Schichten (ALD)
- MESC-kompatible Cluster-Plattform mit XPS-Messmodul, Messgeräte für Partikelmessung und Plasmadiagnose, Vertikalöfen mit *in-situ* Schichtdickenmesstechnik
- Lithographie: Kontakt- und Proximity-Belichtung, vollautomatische Horde-zu-Horde-Lack- und Entwicklerstraßen, Elektronenstrahlithographie
- Nanoimprint-Lithographie: Nano-Patterning-Stepper (NPS) 300; Strukturierung von Substraten mit Durchmessern bis 200 mm
- Feinfokus-Ionenstrahlanlagen (FIB)

Fortsetzung: Si- und SiC-Prozesstechnik

- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO₂, Si₃N₄, Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Nassätzbänke für alle wesentlichen Ätzschritte, automatische Reinigungsstationen
- Polieren: Doppelseitenpoliermaschine, Einseitenpoliermaschine (Chemical Mechanical Polishing)
- Siliciumscheibenbeschrifter
- Reinigung: Endreinigungsanlage
- 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, Spreading-Resistance)
- Hall-Effekt-Messplatz (für temperaturabhängige Messungen von 15 K bis 650 K)
- 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-Spannungs-Messung, Thermo-Stress)
- Störstellen (Trap)-Konzentration (DLTS, 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
- Photolumineszenz (14 K, 300 K), 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, Spektraellipsometer (*in situ*, *ex situ*), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten)
- Kontaktwinkelmessgerät

Fortsetzung: Messtechnik und Analytik

- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, Laserrasterelektronenmikroskop, AFM)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben, flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität), bis 300 mm geeignet
- Mikroskop mit digitaler Bildverarbeitung für Scheibengrößen bis 300 mm
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop, Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX), Probenpräparation)
- Feinfokus-Ionenstrahlanlagen (FIB)
- Rasterkraftmikroskope (AFM) zur Topographie- bzw. Rauigkeitsbestimmung
- Rasterkraftmikroskop für elektrische Messungen: Tunnel- bzw. Leckstrombestimmung (TUNA), Bestimmung des Ausbreitungswiderstands (SSRM), Kapazitätsmessung (SCM)
- Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS)
- Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Photoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Atomabsorptionsspektrometer (AAS), Möglichkeit zur Probenpräparation auf 300 mm-Substraten
- Scheibenoberflächenpräparationssystem (WSPS), Möglichkeit zur Prozessierung 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
- Atmosphärendruck-Ionisations-Massenspektrometer (APIMS)
- Optische Emissionspektroskopie (ICP-OES), Probenpräparation auf Substraten bis 300 mm
- Magnetsektorfeld-Massenspektrometer
- 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 (TD)-GC-MS, Probenpräparation auf Substraten bis 300 mm

Fortsetzung: Messtechnik und Analytik

- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten

Leistungselektronische Messtechnik

- Oszilloskope bis 10 GS/s (Giga-Samples/Sekunde)
- IR-Thermographie
- Z_{th} -Messplatz
- Normgerechte Burst / Surge-Generatoren, Load-dump, ESD
- Netzleistungs- und Oberwellen-Analysator
- Klimatestkammer
- Lastwechsellaststeinrichtung
- Impedanzanalysator
- Teilentladungsmessung
- DC-Quellen und elektronische Lasten bis 60 kW
- Motorprüfstand (bis 40 kW)
- Schaltmessplatz zur dynamischen Charakterisierung von Leistungsbau-elementen

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

2.7 Arbeitsgebiete

Halbleiter- und Nanotechnologie

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Anton Bauer (Fraunhofer IISB)

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 Silicium-Nanopartikeln. Weitere Kompetenzen liegen im Bereich der Untersuchung einzelner Prozess-Schritte, 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.

2.7.1 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 Prozess-Simulation sowie experimentelle Funktionsanalyse. Die Realisierung von Bauelementen und Teststrukturen erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern.

2.7.2 Technologiesimulation

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Dipl.-Math. Jürgen Lorenz (Fraunhofer IISB)

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 Prozess-Simulation benötigte spezielle Algorithmen entwickelt und zusammen mit den Modellen in leistungsfähige Simulationsprogramme implementiert. Diese Programme werden von der Halbleiterindustrie sowie dem LEB, dem FhG 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 IISB sind als Privatdozent bzw. als Lehrbeauftragte mit Wahlpflichtfach- bzw. Wahlfachvorlesungen für den LEB tätig.

2.7.3 Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Lothar Pfitzner (Fraunhofer IISB)

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.

2.7.4 Leistungselektronische Systeme

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Martin März (Fraunhofer IISB)

Auf dem Gebiet der Leistungselektronik kooperiert der LEB eng mit der Abteilung "Leistungselektronische Systeme" des Fraunhofer IISB. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 694 beispielsweise werden 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 Leistungsbau-elementen 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.

3 Veranstaltungen

3.1 Chronik 2007

Datum	Veranstaltung
09. Februar	Schülerinformationstag des Instituts für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
16. Februar	Festveranstaltung zum 65. Geburtstag von Prof. Heiner Ryssel und Verleihung der Fraunhofer-Medaille
26. März	Erlanger Techniktage 2006, Besuch von Studenten der Bayerischen Eliteakademie
27. März	3. Workshop des Bayerischen Forschungsverbunds Nanoelektronik (FORNEL)
29. März	Besuch einer Schülergruppe des Gymnasiums Fränkische Schweiz Ebermannstadt am LEB
17. April	Schülerführung für die Gewinner bei "Realize your Visions!" des Förderkreises Ingenieurstudium e.V (Leistungskurs Physik des Albert-Schweitzer-Gymnasiums Erlangen)
25. April	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen des Girls' Day 2007
18. Mai	Promotionsverfahren von Martin Rambach
21. Mai	Informationsveranstaltung für Studierende der EEI im 4. Semester
04. Juni	Führung für die Berufsschule des Kreises Steinburg, Fachbereich Mikrotechnologien
04. Juni	Lehrstuhlpräsentation für Studierende der EEI im 4. Semester
20. Juni	Industriekolloquium des Sonderforschungsbereiches 694
02. Juli	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme (Organisation durch LEB) und Verleihung des Studienpreises Mechatronik der Firma Baumüller Nürnberg
09. Juli	LEB-Exkursion zur OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg
11.-12. Juli	Vorträge zum Berufungsverfahren Nachfolge Prof. Ryssel
13. Juli	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen des Landeswettbewerbs Mathematik
30. Juli	Gemeinsames Grillfest der Lehrstühle im Gebäude Cauerstraße 6
22.-23. Juli	Betriebsausflug des Fraunhofer IISB und des LEB nach Freiberg (Sa.)
03.-07. September	Praktikum Mädchen und Technik

Fortsetzung: Chronik 2007

- 04. September Führung für die Technikerschule Itzehoe
- 19.-21. September Blockpraktikum Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente am LEB für Studenten der FH Aschaffenburg
- 28. September Promotionsverfahren Mathias Rommel
- 20. Oktober Lange Nacht der Wissenschaften
- 09. November EEI-Kontaktmesse für Studierende im 1. Semester
- 23. November Promotionsverfahren Thomas Schnattinger
- 05. - 07. Dezember Besuch von Studenten der Universität Osaka, Japan
- 17. Dezember LEB-Exkursion zur Texas Instruments Deutschland GmbH in Freising
- 13. - 19. Dezember 6th Indo German Winter Academy, Guwahati, Indien

3.2 Festveranstaltung zum 65. Geburtstag von Prof. Heiner Ryssel und Verleihung der Fraunhofer-Medaille

Anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel fand am 16. Februar 2007 eine Festveranstaltung im Hans-Georg-Waeber-Saal des Fraunhofer IISB statt. Die zahlreich erschienenen Gäste aus Forschung und Industrie honorierten dabei die Leistungen von Prof. Ryssel beim Aufbau der Mikro- und Nanoelektronikforschung in Erlangen und der Umsetzung der Forschungsergebnisse für die wirtschaftliche Nutzung. Zur den Grußrednern gehörten unter anderem der Erlanger Oberbürgermeister Dr. Siegfried Balleis und der Hauptgeschäftsführer der IHK Nürnberg für Mittelfranken, Dr. Dieter Riesterer.

Die Festveranstaltung war ebenso Anlaß für die Verleihung der Fraunhofer-Medaille, die für außerordentliche Verdienste um die Fraunhofer-Gesellschaft vergeben wird. Die Medaille wurde vom Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft - Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger - persönlich überreicht. Prof. Bullinger betonte in seiner Laudatio die intensive und erfolgreiche Zusammenarbeit mit der regionalen Wirtschaft und mit renommierten Forschungspartnern in der EU. Neben den wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Erfolgen hob er die enge und fruchtbare Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg hervor, die nicht zuletzt durch das Modell der Leitung von Lehrstuhl und Fraunhofer-Institut in Personalunion bedingt wird. Trotz Erreichen des Rentenalters wird Prof. Ryssel bis zur endgültigen Klärung seiner Nachfolge für den Lehrstuhl und das IISB als Leiter zur Verfügung stehen.

Prof. Ryssel kann auf eine bewegte Vita zurückblicken. Er wurde am 9. Dezember 1941 in Plauze geboren. Nach dem Studium der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule München folgte 1973 die Promotion an der Technischen Universität München und 1985 die Habilitation. In den Jahren 1968 bis 1974 war Prof. Ryssel am Institut für Technische Elektronik und am Institut für Integrierte Schaltungen der Technischen Universität München tätig. Von 1974 bis 1985 arbeitete er am Fraunhofer-Institut für Festkörpertechnologie in München. 1985 war er Mitbegründer der Münchner Firma GeMeTec (Gesellschaft für Messtechnik und Technologie). Im selben Jahr übernahm Prof. Ryssel die Leitung des Stiftungslehrstuhls für Elektronische Bauelemente und die Leitung der Abteilung Bauelementetechnologie der neuen Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Integrierte Schaltungen in Erlangen, des heutigen Fraunhofer IISB. Prof. Ryssel führt die von ihm geleiteten Einrichtungen seit deren Gründung vor 22

Jahren mit ungebrochenem Erfolg. Sie gehören heute mit rund 35 Mitarbeitern am Lehrstuhl und 120 am Fraunhofer IISB zu den führenden ihres Gebietes in Europa.



Abb. 3.1: Prof. Heiner Ryssel (links) und der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Hans-Jörg Bullinger (rechts), bei der Verleihung der Fraunhofer-Medaille an Prof. Ryssel

Prof. Ryssel ist mittlerweile an rund 400 wissenschaftlichen Veröffentlichungen beteiligt und Autor eines Buches über die Ionenimplantation. Er hat bisher rund 60 abgeschlossene Promotionen und 150 Diplomarbeiten betreut. Er ist Fellow (Mitglied) des IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) und Träger der österreichischen Wilhelm-Exner-Medaille. Prof. Ryssel war auch Partner in vielen bayerischen und europäischen Verbundprojekten. So steht er aktuell dem Bayerischen Forschungsverbund für Nanoelektronik (FORNEL) als Sprecher vor. Im Abschnitt 2.6 des Jahresberichtes - Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften - findet sich eine Auflistung seiner zahlreichen Funktionen in Lehre und Forschung.

3.3 Bayerische Eliteakademie

In der Bayerischen Eliteakademie werden herausragende Studenten auf ihre Rolle als zukünftige Führungskräfte vorbereitet. Um am Markt zu bestehen, müssen Entscheidungsträger für technologieorientierte Firmen nicht nur über betriebswirtschaftliche Kenntnisse, sondern auch über Ingenieurwissen verfügen. Die Bayerische Eliteakademie trägt dieser Erkenntnis Rechnung und veranstaltet seit 2004 die Erlanger Techniktage. Im Sinne einer komplementären Ausbildung wird hierbei den nicht-technischen Studenten der Eliteakademie eine Einführung in die Technik sowie ihre wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung gegeben.

Die Teilnehmer der Erlanger Techniktage 2007 bekamen am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente und am Fraunhofer IISB die Gelegenheit, sich einen Überblick über die Bedeutung der Mikro- und Nanoelektronik zu verschaffen. Besuche bei weiteren Lehrstühlen der

Universität Erlangen behandelten beispielsweise die Themen Neue Materialien, Verbrennung sowie Laser- und Medizintechnik.

Nach der Begrüßung stimmte Prof. Ryssel die Studierenden mit einem Vortrag zur Geschichte und zur Bedeutung der Mikroelektronik auf die Thematik ein. Anschließend konnten die Studenten den so genannten Weißbereich des Reinraumlabor am LEB für eigene Versuche betreten. Schon das Einkleiden mit Schutzanzügen und Schutzhauben - um Partikel und Verunreinigungen aller Art zu vermeiden - dürfte einen bleibenden Eindruck hinterlassen haben. Unter Anleitung durch Lehrstuhl-Mitarbeiter konnten die Studierenden die verschiedenen Prozess-Schritte zur Strukturierung von Siliciumscheiben unmittelbar verfolgen.



Abb. 3.2: Teilnehmer der Erlanger Techniktage 2007 im LEB-Reinraumlabor, Bereich Lithographie

Im Rahmen einer Führung durch die Abteilung Leistungselektronische Systeme des Fraunhofer IISB informierten sich die Studentinnen und Studenten über die Vorteile der Hybridantriebstechnik für Automobile sowie moderne Bestückungs- und Löttechniken für elektronische Baugruppen.

Als Erinnerungstück erhielt jeder Teilnehmer eine fertig prozessierte Siliciumscheibe mit dem Schriftzug der Erlanger Techniktage 2007.

3.4 Industriekolloquium des Sonderforschungsbereiches 694

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches (SFB) "Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme" fand in den Räumlichkeiten des Fraunhofer IISB am 20. Juni 2007 ein Industriekolloquium statt. Dazu wurden zahlreiche Vertreter aus der Industrie eingeladen, um sich vor Ort über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Arbeiten zu informieren. Das Industriekolloquium diente dabei als Forum zum wechselseitigen Gedanken- und Ideenaustausch zwischen Wissenschaft und Industrie. Neben Wissenschaftlern aus neun Teilprojekten beteiligten sich auch Mitarbeiter von Forschungseinrichtungen der Industrie an den Vorträ-

gen. Im Anschluss an die Hauptveranstaltung hatten die interessierten Industriepartner die Möglichkeit, Labore und Einrichtungen der beteiligten Lehrstühle und Forschungsinstitute zu besichtigen. Auf Grund der positiven Resonanz aus den Reihen der Besucher wurde beschlossen, das Kolloquium noch im Zeitraum der ersten Förderperiode zu wiederholen.



Abb. 3.3: Vorstellung des Teilprojektes B4 im Rahmen des SFB-Industriekolloquiums durch Herrn Egelkraut (LEB)

3.5 Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme

Seit der ersten Durchführung des Praktikums Mechatronische Systeme im Jahre 2003 zeichnet der LEB unter der Leitung von Prof. Ryssel für die Organisation der Abschlussveranstaltung verantwortlich. Das Fraunhofer IISB stellt dafür freundlicherweise die geeigneten Räumlichkeiten zur Verfügung. Am Praktikum sind zwölf Lehrstühle der Elektrotechnik und des Maschinenbaus beteiligt, welche die Betreuung der studentischen Gruppen übernehmen. Während der Veranstaltung stellen die Studenten die von ihnen entwickelten Lösungen vor und beweisen im Wettstreit um den 1. Preis die Funktionsfähigkeit ihrer Systeme entsprechend den in der Aufgabenstellung vorgegebenen Rahmenbedingungen.

Im Praktikum 2007 sollte ein System entwickelt werden, das einen Filzschreiber von einem Startbereich aus innerhalb einer gewundenen Doppellinie in den Zielbereich führt. Der Korridor musste dabei vom System selbsttätig erkannt und der Schreiber entsprechend gesteuert werden. Ein Verlassen der Linie und das Auslassen auf dem Parcours vorgegebener Tormarkierungen führte zu Strafzeiten bzw. Disqualifikation. Wie schon im Vorjahr konnte sich die Gruppe des LEB auch 2007 mit dem schnellsten System erfolgreich gegenüber der Konkurrenz als Sieger behaupten.

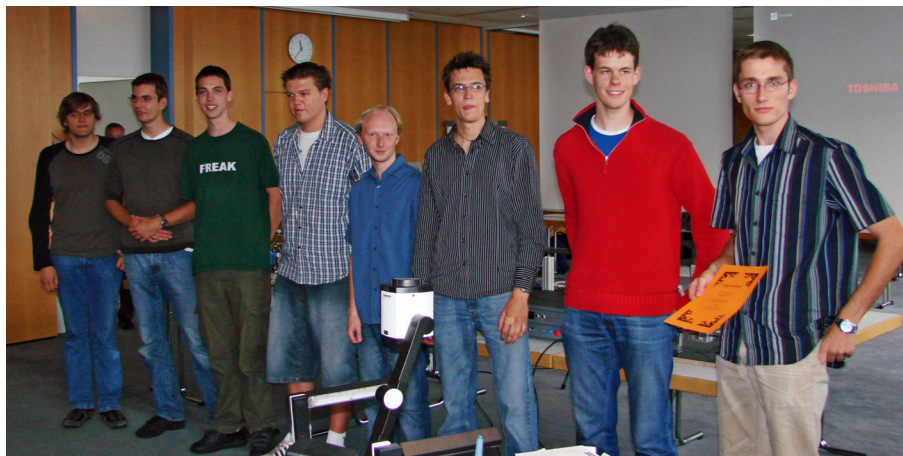


Abb. 3.4: Die Mitglieder der am LEB betreuten Gruppe 2 mit der Siegerurkunde für das schnellste System im Praktikum Mechatronische Systeme 2007

Weitere Informationen finden Sie im Jahresbericht im Kapitel Lehre im Abschnitt 4.1.3. Praktikum Mechatronische Systeme oder auf der Internetseite des Lehrstuhls unter <http://www.leb.eei.uni-erlangen.de> in der Rubrik "Lehre".

3.6 Praktikum Mädchen und Technik

Seit einigen Jahren steigt die Zahl der Studienanfängerinnen im technischen, mathematischen und naturwissenschaftlichen Bereich stetig an. Veranstaltungen wie das in diesem Jahr zum neunten Mal für Gymnasiastinnen der Jahrgangsstufe 8 bis 10 angebotene Praktikum Mädchen und Technik sollen diesen erfreulichen Trend weiter fördern und verstärken. Das diesjährige Praktikum fand vom 3. bis 7. September an der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg statt und wurde in Kooperation mit den beiden Erlanger Fraunhofer-Instituten IISB und IIS durchgeführt. Die Schülerinnen bekamen die Gelegenheit, Naturwissenschaft und Technik von ihren spannendsten Seiten zu erleben.

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente bot in der 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".

Im am LEB durchgeführten Versuch "Untersuchung der Solarzellen – Aus Licht Strom machen" wurde erklärt, wie eine Solazelle funktioniert, wie sie hergestellt wird und welche Einflussfaktoren für ihren Betrieb wichtig sind. Großes Interesse hat auch die Führung durch das Reinraumlabor des Lehrstuhls geweckt. Die Schülerinnen haben dabei erfahren, warum während der Erforschung und Produktion von elektronischen Bauelementen eine äußerst hohe Reinheit notwendig ist und welchen technischen Aufwand der Betrieb eines Reinraumlabors erfordert.

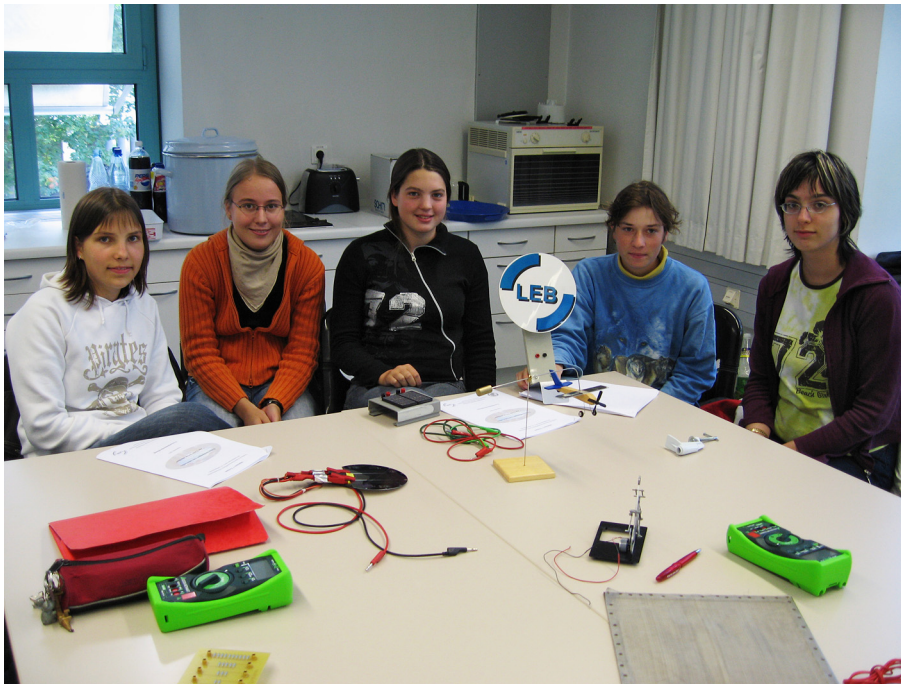


Abb. 3.5: Teilnehmerinnen des Praktikums Mädchen und Technik 2007 bei einer Versuchsbesprechung

Auf der Internetseite <http://www.maedchen-technik.de> finden Sie weiterführende Informationen zum Praktikum Mädchen und Technik.

3.7 Die Lange Nacht der Wissenschaften

Am 20. Oktober 2007 fand zum dritten Mal die Lange Nacht der Wissenschaften in Nürnberg, Fürth und Erlangen statt. Über 100 Einrichtungen aus den Bereichen Bildung und Forschung, zahlreiche Firmen und die fünf Hochschulen der Metropolregion Nürnberg waren beteiligt. Der LEB nutzte wieder die Gelegenheit zum Dialog mit der Öffentlichkeit und beteiligte sich gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB an der Veranstaltung. Auf dem Programm des Lehrstuhls standen eine Einführung in das Gebiet der Halbleitertechnologie, die beliebten Reinraumführungen und eine Posterausstellung des Bayerischen Forschungsbundes für Nanoelektronik (FORNEL). Mitarbeiter des Lehrstuhls erläuterten Schautafeln und gaben interessierten Besuchern ausführlich Auskunft. Zur thematischen Ergänzung fand halbstündlich eine Vorführung des Films "The Making of a Chip" statt. Absolute Höhepunkte waren wieder die bis auf den letzten Platz ausgebuchten Führungen durch den Graubereich des LEB-Reinraumlabor. Die Besucher erhielten dabei einen unmittelbaren Einblick in die Welt der Mikro- und Nanoelektronik.

Im Vergleich zur vorangegangenen Langen Nacht der Wissenschaften 2005 stiegen die Besucherzahlen erneut stark an. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB wurden ca. 1250 Gäste gezählt.



Abb. 3.6: *Dr. Bernd Fischer (rechts) vom Fraunhofer IISB begrüßt den 1000. Besucher des Abends und überreicht eine Urkunde mit einer Silicium-Scheibe und Gastgeschenke*

3.8 Indo-German Winter Academy

Als "Academy Director" übernahm Prof. Ryssel wieder mit vollem Einsatz die Organisation und Leitung der "Indo-German Winter Academy". Gastgeber der mittlerweile sechsten Winterakademie war das Indian Institute of Technology (IIT) Guwahati im nordöstlichen Bundesstaat Assam. Außer der Universität-Erlangen nahmen diesmal sieben IITs teil, wobei das IIT Roorkee neu hinzugekommen ist.

Auf der Winterakademie haben Studierende und Professoren die Möglichkeit, sich in einem internationalen Umfeld über aktuelle Forschungsthemen auszutauschen und Kontakte zu knüpfen. Die mehrtägige Veranstaltung gliedert sich in drei parallele Kurse. Der Kurs "Fluid Mechanics and Energy Conversion" wurde von Prof. i.R. Dr. Dr. h.c. Franz Durst vom Lehrstuhl für Strömungsmechanik geleitet. Für den zweiten Kurs "Numerical Methods and Simulation of Engineering Problems" zeichnete Prof. Dr. Ulrich Rude vom Lehrstuhl für Informatik 10 (Systemsimulation) verantwortlich. Prof. Ryssel leitete den dritten Kurs "Semiconductor Materials and Components". Für die Kurse bereiten die Studierenden jeweils ein Referat vor, dessen Inhalt anschließend mit den Kommilitonen und den teilnehmenden Professoren diskutiert wird. Am Kurs "Semiconductor Materials and Components" nahmen diesmal 19 Studentinnen und Studenten teil. Die Inhalte der Vorträge spannten einen Bogen von der Bauelementephysik über die Halbleiterprozesstechnik bis hin zu speziellen Themen der Prozessintegration, neuen Materialien, Bauelementearchitekturen und Leistungselektronik. An jedem der drei Kurse konnten auch ausgewählte Studierende aus Erlangen teilnehmen. In Kurs 3 waren dieses Jahr Jan Bialek mit dem Thema "Back End Processes" und Holger Schwarzmann mit dem Thema "Piezo Transformers" vertreten.

Bewerbungen für die Winterakademie 2008 werden im Sommersemester 2008 von Prof. Ryssel entgegengenommen. Hierzu erfolgen rechtzeitig Posteraushänge bzw. Ankündigungen in den Lehrveranstaltungen des LEB.



Abb. 3.7: Die Teilnehmer des Kurses "Semiconductor Materials and Components" der "6th Indo German Winter Academy 2007"

Für die indisch-deutsche Winterakademie 2007 wird der Lehrstuhl wieder eine CD-ROM mit Materialien zu den Kursen veröffentlichen.

An dieser Stelle soll noch einmal ausdrücklich der Dank an die freundlichen Sponsoren der "Winter Academy" ausgesprochen werden, ohne deren finanzielle Unterstützung die Durchführung nicht möglich wäre. Im Einzelnen sind dies - in alphabetischer Reihenfolge - das Fraunhofer IISB, die Friedrich-Alexander-Universität, der Förderkreis Mikroelektronik, die Firma Infineon, die "School in Advanced Optical Technologies" (SAOT) und nicht zuletzt die Firma Siemens.

Weitere Informationen über die "6th Indo-German Winter Academy 2007" finden Sie auf der Internetseite des Lehrstuhls unter http://www.leb.uni-erlangen.de/wa_india/wa_india.htm.

4 Lehre und Ausbildung

Die Lehrveranstaltungen des LEB geben einen umfassenden Überblick über Physik und Technologie der Halbleiterbauelemente. Neben der Grundlagenvorlesung Halbleiterbauelemente, die in den Studiengängen Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (EEI) und Mechatronik als Pflichtveranstaltung angeboten wird, beteiligt sich der LEB im EEI-Studium an den Vertiefungsrichtungen Mikroelektronik, Leistungselektronik und allgemeine Elektrotechnik. Im Mechatronik-Hauptstudium bietet der LEB die Vertiefungsrichtung Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit an und ist an den Vertiefungsrichtungen Mikroproduktionstechnik und Produktionssysteme beteiligt. Darüber hinaus bietet der LEB Studienschwerpunkte in den Fächern Computational Engineering und Werkstoffwissenschaften an und eine Reihe von Wahlfächern für weitere Studiengänge. Eine Übersicht der Belegungsmöglichkeiten zeigt die Belegungsmatrix im Abschnitt 4.8.

2007 wurde eine Vorlesung neu in das Programm des LEB aufgenommen. Die Vorlesung Optische Lithographie behandelt umfassend die verschiedenen Aspekte des Lithographieprozesses in der Halbleitertechnologie und deren Simulation. Sie ist Teil des Elite-Master-Studienganges "Advanced Optical Technologies" (MAOT) und wird auf Englisch gelesen.

Aufgrund des so genannten Bologna-Prozesses werden mit Beginn des Wintersemesters 2007/2008 an der Technischen Fakultät die bisherigen Diplom-Studiengänge schrittweise durch entsprechende Bachelor-Studiengänge - mit konsekutiven Master-Studiengängen - ersetzt. Das Bachelor-Studium hat eine Regelstudienzeit von sechs Semestern, der Master-Studiengang dauert weitere vier Semester (Regelstudienzeit). Als Vorsitzender der Studienkommission Mechatronik (bis September 2007) war Prof. Ryssel federführend an der Gestaltung des Bachelor- / Master-Studienganges Mechatronik beteiligt.

Seit dem Sommersemester 2007 entrichten die Studierenden der Friedrich-Alexander-Universität Studienbeiträge. Zur Verbesserung der Lehre wurden dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente für das vergangene Sommersemester sowie für das Wintersemester 2007/2008 finanzielle Mittel aus diesen Beiträgen bewilligt. So konnte im Sommersemester 2007 erstmalig das Tutorium Halbleiterbauelemente auch für die Mechatronik-Studenten angeboten werden. Für die Vorlesung Produktion in der Elektrotechnik wurde eine Internet-Übung erstellt, deren Entwicklung weitergeführt wird. Für das Praktikum Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente wurden zusätzliche Halbleiterscheiben zur Herstellung von Solarzellen mit verschiedenen Prozessvarianten bewilligt. Für das Praktikum Halbleiter- und Bauelementemesstechnik wurde der Hall-Messplatz wieder instand gesetzt. Schließlich konnte die Rechnerausstattung für studentische Arbeitsplätze am LEB verbessert und ein Tablet-PC angeschafft werden, der eine didaktisch bessere Darstellung der Vorlesungsinhalte ermöglicht.

4.1 Lehrveranstaltungen im Grundstudium

4.1.1 Halbleiterbauelemente

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Übung: Dr.-Ing. Tobias Dirnecker

Zeitraum: Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik im Wintersemester
Mechatronik im Sommersemester

Inhalt

In der Vorlesung Halbleiterbauelemente werden den Studenten die physikalischen Grundlagen moderner Halbleiterbauelemente vermittelt. Nach einer Einleitung werden Bewegungsgleichungen von Ladungsträgern im Vakuum sowie die Ladungsträgeremission im Vakuum und daraus abgeleitete Bauelemente besprochen. Anschließend werden Ladungsträger im Halbleiter behandelt: Hier werden die wesentlichen Aspekte der Festkörperphysik zusammengefasst, die zum Verständnis moderner Halbleiterbauelemente nötig sind.

Darauf aufbauend werden im Hauptteil der Vorlesung die wichtigsten Halbleiterbauelemente, d.h. Dioden, Bipolartransistoren und Feldeffekttransistoren detailliert dargestellt. Einführungen in die wesentlichen Grundlagen von Leistungsbaulementen und optoelektronischen Bauelementen runden die Vorlesung ab.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Grundstudium (3. Semester)	Pflichtfach
Mechatronik	Grundstudium (2.Semester)	Pflichtfach

4.1.2 Ringvorlesung Mechatronische Systeme

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel u.a.

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

In der Ringvorlesung Mechatronische Systeme stellen zwölf der am Studiengang Mechatronik beteiligten Lehrstühle den Beitrag ihres Spezialgebiets und die Vernetzung der Disziplinen Mechanik, Elektronik und Informationstechnologie zur Mechatronik dar. Als Demonstrator wird dabei das Automobil herangezogen. Die Vorlesungseinheit des LEB beschäftigt sich mit elektronischen Bauelementen und elektronischen bzw. leistungselektronischen Systemen.

Einordnung

Mechatronik	Grundstudium (2.Semester)	Pflichtfach
-------------	---------------------------	-------------

4.1.3 Praktikum Mechatronische Systeme

Betreuer: Thomas Richter, M.A.

Dr.-Ing. Tobias Dirnecker

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

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 acht Studierenden gemeinsam ein selbsttätig agierendes Robotersystem, das eine vorgegebene Aufgabenstellung lösen muss.

Dabei beschäftigen sich die Teilnehmer(innen) 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(innen) 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 funktionsfähigen Konzepte ermittelt.

Einordnung

Mechatronik	Grundstudium (4.Semester)	Pflichtfach
-------------	---------------------------	-------------

4.1.4 Arbeitstechnik

Betreuer: Thomas Richter, M.A.

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Die Lehrveranstaltung Arbeitstechnik besteht aus einer Einführungsvorlesung, drei sog. Workshops, der Kontaktmesse des IEEI für Studierende im 1. Semester und den Kontaktnachmittagen bzw. -Vormittagen an den Lehrstühlen. Initiator der Arbeitstechnik ist der apl. Prof. Dr.-Ing. Friedrich Oehme vom Lehrstuhl für Technische Elektronik (LTE). Mittlerweile organisieren Prof. Dr. techn. Mario Huemer und Prof. Dr.-Ing. Jörn Thielecke, beide ebenfalls LTE, die Veranstaltung.

Die Arbeitstechnik wurde mit dem Ziel eingeführt, die relativ hohe Zahl von Studienabbrechern im Studiengang Elektrotechnik, Elektronik und 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. Darüberhinaus sollen die Lernmotivation gefördert sowie Lern- und Präsentationstechniken vermittelt werden. Die Studierenden erhalten allgemeine Informationen zum Studium, zu den ersten bevorstehenden Prüfungen und Hinweise auf klassische "Stolpersteine". Die Themengebiete sind dabei selbständig in Gruppen- bzw. Kleingruppen zu erarbeiten. Die Kontaktmesse bietet die Gelegenheit, sich an zentraler Stelle über alle Lehrstühle des IEEI zu informieren. An den Kontaktnachmittagen können einzelne Lehrstühle besucht werden.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Grundstudium (1.Semester)	Pflichtfach
----------------------------------------------------	---------------------------	-------------

4.2 Vorlesungen im Hauptstudium**4.2.1 Produktion in der Elektrotechnik**

Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel (12 Einheiten, Wintersemester)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Manfred Geiger, Dr.-Ing. Michael Schmidt (LFT, 2+2 Einheiten Winter- + Sommersemester)

Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann (FAPS, 12 Einheiten, Sommersemester)

Inhalt

Die Vorlesung Produktion in der Elektrotechnik wird interdisziplinär vom Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, vom Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (LFT) sowie vom Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) angeboten. Gegenstand der Vorlesung 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.

Derzeit wird mit Mitteln aus den Studienbeiträgen eine Internet-Übung zum Vorlesungsteil des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente aufgebaut. Nähere Einzelheiten finden Sie im Abschnitt 4.5, Lehrveranstaltungen im Rahmen der virtuellen Lehre.

Einordnung

Mechatronik	Hauptstudium (5. & 6. Semester)	Pflichtfach
-------------	---------------------------------	-------------

4.2.2 Technologie integrierter Schaltungen

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Übung: Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Die Vorlesung Technologie integrierter Schaltungen behandelt die wesentlichen Technologieschritte und Geräte zur Herstellung elektronischer Silicium-Bauelemente sowie integrierter Schaltungen. Nach einer Darstellung von Kristallzucht, Reinraum und Reinigung werden die Prozess-Schritte Oxidation, Diffusion, Ionenimplantation sowie chemische und physikalische Schichtabscheidung behandelt. Es folgt ein Überblick über die Prozess-Schritte Lithographie, Ätztechnik und Chemisch-Mechanisches Polieren.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "freies Fachstudium"	Pflichtfach
	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Pflichtfach
	Studienrichtung "Leistungselektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Vertiefungsrichtung "Mikroproduktionstechnik"	Pflichtfach
Werkstoffwissenschaften	Technisches Schwerpunktfach "Elektronische Bauelemente"	Pflichtfach
Computational Engineering (Bachelor)	Technical Application Field "Microelectronics / Technology"	Pflichtfach
Informatik	Nebenfach EEI Modell "Mikroelektronik"	Pflichtfach

4.2.3 Prozessintegration und Bauelementearchitekturen

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Übung: Dipl.-Ing. Jochen Kaiser

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

In dieser Vorlesung werden die physikalischen Anforderungen an integrierte Bauelemente und deren Umgebung definiert und Lösungsansätze anhand von Prozess-Sequenzen 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.

Nach der Einleitung werden kurz die Methoden der Herstellung (vgl. Technologie integrierter Schaltungen) vorgestellt. Die für Mikroprozessoren und Logikschaltungen wichtige CMOS-Technik wird im Anschluss daran ausführlich behandelt, gefolgt von der Bipolartechnik und der BiCMOS-Technik, bei der sowohl CMOS, als auch Bipolarschaltungen auf einem Chip integriert werden. Der nächste Vorlesungsabschnitt widmet sich den statischen und dynamischen Speichern, hier werden sowohl die wichtigsten Speicherarten (DRAM, SRAM, EPROM, Flash) vorgestellt, als auch die notwendigen Technologieschritte. Ein kurzes Kapitel befasst sich mit dem Aufbau von Leistungsbaulementen. Die Problematik der Metallisierung sowie die Aufbau- und Verbindungstechnik wird im Anschluss behandelt. Das letzte Kapitel beinhaltet Aspekte zur Ausbeute und Zuverlässigkeit von Bauelementen.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Pflichtfach
	Studienrichtung "freies Fachstudium"	Pflichtfach
Mechatronik	Vertiefungsrichtung "Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit"	Pflichtfach
Computational Engineering	Technical Application Field "Microelectronics / Technology"	Pflichtfach

4.2.4 Halbleiter- und Bauelementemesstechnik

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Dr.-Ing. Christine Dehm (Qimonda AG, Erlangen)

Übung: Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

In der Vorlesung Halbleiter- und Bauelementemesstechnik werden die wichtigsten Messverfahren, die zur Charakterisierung von Halbleitern und von Halbleiterbauelementen benötigt werden, behandelt. Zunächst wird die nötige Messtechnik zur Charakterisierung von Widerständen, Dioden, Bipolartransistoren, MOS-Kondensatoren und MOS-Transistoren behandelt. Dabei werden jeweils die wichtigsten Eigenschaften der Bauelemente kurz wiederholt. Im Bereich Halbleitermesstechnik bilden die Messung von Dotierungs- und Fremdatomkonzentrationen sowie die Messung geometrischer Dimensionen (Schichtdicken, Linienbreiten) den Schwerpunkt.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Vertiefungsrichtung "Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit"	Pflichtfach
Werkstoffwissenschaften	Technisches Schwerpunktfach "Elektronische Bauelemente"	Pflichtfach

4.2.5 Nanoelektronik

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel
 Dr.-Ing. Christine Dehm (Qimonda AG, Erlangen)
 Übung: Dr.-Ing. Michael Jank (Fraunhofer IISB)
 Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

Ausgehend von der Skalierung planarer MOS-Transistoren hin zu Gatelängen deutlich unterhalb 100 nm wird aufgezeigt, wie durch die Verbesserung der Architektur und die Integration neuer Materialien die Leistungsfähigkeit kleinster Bauelemente gesteigert werden kann. Für nichtflüchtige Speicherzellen, die sich neben den MOS-Transistoren zum Technologietreiber der Hochintegration entwickelt haben, 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.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.6 Ionenimplantation

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel
 Übung: Dipl.-Ing. Jochen Kaiser
 Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

In der Vorlesung Ionenimplantation wird ein detaillierter Überblick über verschiedene Aspekte des Prozess-Schrittes Ionenimplantation gegeben. Nach einer Darstellung der physikalischen Grundlagen der Ionenimplantation sowie der Probleme bei der Implantation in Festkörper werden Ionenimplantationsapparaturen behandelt.

Ferner werden Messmethoden zur Untersuchung der erhaltenen Schichten sowie Eigenschaften ionenimplantierter Schichten und schließlich Bauelemente, die besonders vorteilhaft mit Hilfe der Ionenimplantation hergestellt werden können, besprochen. Ein Überblick über die wichtigsten Anwendungen der Ionenimplantation außerhalb der Herstellung von elektronischen Bauelementen rundet die Vorlesung ab.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach
Physik	Hauptstudium	Wahlfach
Computational Engineering	Interdisciplinary Field	Wahlfach

4.2.7 Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen

Dozenten: Priv.-Doz. Dr.-Ing. Peter Pichler (Fraunhofer IISB)

Übung: Priv.-Doz. Dr.-Ing. Peter Pichler (Fraunhofer IISB)

Dr.-Ing. Michael Jank (Fraunhofer IISB)

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Wirtschaftlicher Erfolg beim Einsatz von elektronischen Bauelementen hängt unter anderem von deren Lebensdauer ab. Zu geringe Lebensdauern führen zu überproportionalen Garantieleistungen und Ansehensverlusten der Marke, zu hohe Lebensdauern deuten auf zu hohe Produktionskosten oder zu hohe Sicherheitsreserven hin. Neben einer Einführung in die mathematische Beschreibung von Zuverlässigkeitsbetrachtungen bietet die Vorlesung eine Diskussion der relevanten Ausfallmechanismen von elektronischen Bauelementen und eine Übersicht über die Fehleranalyse an ausgefallenen Bauelementen.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Vertiefungsrichtung "Elektronische Bauelemente und deren Zuverlässigkeit"	Pflichtfach
Computational Engineering	Interdisciplinary Field	Wahlfach

4.2.8 Leistungshalbleiterbauelemente

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

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

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

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. Dies ist nur möglich durch die Verfügbarkeit einer großen Palette unterschiedlicher aktiver Leistungshalbleiterbauelemente und Smart-Power-ICs für typische Leistungen von kleiner als 1 W bis größer 1 MW bei Spannungsfestigkeiten von 10 V bis 10 kV bzw. Stromtragfähigkeit der Bauelemente von 0,1 A bis größer 3 kA. In der Vorlesung werden die Grundlagen zum

Verständnis dieser Bauelemente sowie die unterschiedlichen technischen Realisierungsformen behandelt.

Die Vorlesung beginnt mit einer detaillierten Darstellung der für alle Leistungshalbleiterbauelemente maßgeblichen bauelementphysikalischen Grundphänomene, die die Spannungsfestigkeit im ausgeschalteten Zustand, Spannungsabfall und Stromtragfähigkeit im eingeschalteten Zustand und Schaltdynamik beim Umschalten vom eingeschalteten in den ausgeschalteten Zustand und umgekehrt bestimmen. Darauf aufbauend 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 Leistungs-Halbleiterbauelemente, wie Leistungs-MOSFETs und IGBTs, eingegangen. Aktuelle Entwicklungstrends werden diskutiert.

Über Smart-Power-ICs, das sind monolithisch integrierte Schaltkreise, bei denen zusammen mit informationsverarbeitenden Schaltungen auch leistungselektronische Schaltungen auf einem Chip integriert sind, wird ein kurzer Überblick gegeben. Die ausführliche Behandlung von Technologien und Bauelementen zur Herstellung von Smart-Power-ICs ist Gegenstand der Vorlesung Smart Power Technologien im Sommersemester.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Leistungselektronik"	Pflichtfach
	Studienrichtung "Freies Fachstudium"	Pflichtfach
	Studienrichtung "Allgemeine Elektrotechnik"	Wahlpflichtfach
	Studienrichtung "Elektrische Energie- und Antriebstechnik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.9 Smart Power Technologien

Dozent: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak

Übung: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

Smart-Power-ICs, das sind integrierte Schaltkreise, bei denen Teile oder die vollständige leistungselektronische Schaltung zusammen mit den signalverarbeitenden und Treiber-Schaltungen auf einem Silicium-Chip integriert sind, stehen heute in vielfältiger Form zur Anwendung zur Verfügung. Sie finden ihren Einsatz vornehmlich in der KFZ-Elektronik und in Haushalts- und Industrieelektronik kleiner Leistung (kleiner als ca. 300 W). Sie unterscheiden sich in der Topologie der integrierten Leistungsschaltung, der Spannungsklasse sowie der Komplexität der integrierten signalverarbeitenden Schaltungsteile. Zu ihrer Herstellung kommen abhängig von den Produktanforderungen unterschiedliche Technologien zur Anwendung.

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: Prozesse auf CMOS-Basis, Prozesse auf Bipolar-IC-Basis, dielektrisch isolierende Prozesse sowie Prozesse auf Basis der Herstellungsprozesse vertikaler Einzeltransistoren. Darüber hinaus werden spezielle Probleme von Smart-Power-ICs, insbesondere thermische Aspekte, Gehäusefragen sowie typische Bauelementbeanspruchungen in integrierten leistungselektronischen Schaltungen behandelt. Den Abschluss der Vorlesung stellt die Zusammenstellung einer Produkt-Herstellungstechnologie-Matrix dar sowie die Diskussion der Frage: "Wann ist im Bereich der Leistungselektronik der Einsatz monolithisch integrierter und wann der Einsatz diskreter Halbleiterbauelemente bzw. hybrider Integrationstechniken die richtige Lösung?"

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Allgemeine Elektrotechnik"	Wahlpflichtfach
	Studienrichtung "Elektrische Energie- und Antriebstechnik"	Wahlpflichtfach
	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
	Studienrichtung "Leistungselektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.10 Prozess- und Bauelementesimulation

Dozent: Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Dipl.-Math. Jürgen Lorenz (Fraunhofer IISB)

Übung: Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Dipl.-Math. Jürgen Lorenz (Fraunhofer IISB)

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

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 dieser zweistündigen Vorlesung werden die zur Beschreibung der einzelnen Prozess-Schritte verwendeten physikalischen Modelle dargestellt, wobei sowohl auf die historische Entwicklung als auch auf den aktuellsten 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 simulationsmäßige Beschreibung diskutiert. Des Weiteren werden die Grundlagen der Bauelementesimulation dargestellt. Die Vorlesung schließt mit einer Bestandsaufnahme in der Industrie verbreiteter Prozess-Simulationsprogramme sowie einem Ausblick auf die weitere Entwicklung des Gebiets und seiner Anwendungen ab.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach
Computational Engineering	Interdisciplinary Field	Wahlfach

4.2.11 Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente

Dozent: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak

Übung: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Die Vorlesung 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 für die Dichte der freien Ladungsträger im Halbleitermaterial bestimmenden Effekte, sowohl für den Fall des thermischen Gleichgewichtes als auch für den Fall einer Störung des thermischen Gleichgewichtes (Bändermodell, Elektronen und Löcher, intrinsischer und extrinsischer (dotierter) Halbleiter, Fermi-niveau, Generation- und Rekombination von Ladungsträgern, Ladungsträgerlebensdauer).

Anschließend werden der Stromfluss unter Einfluss eines äußeren elektrischen Feldes sowie mit hohen elektrischen Feldstärken verbundene Phänomene diskutiert (Driftstrom, Ladungsträgerbeweglichkeit, heiße Elektronen, Stoßionisation). Die Halbleiter-Grundgleichungen, ein System von drei gekoppelten partiellen Differentialgleichungen, das, wenn es numerisch gelöst wird, die Beschreibung des elektrischen Verhaltens komplexer Bauelementstrukturen erlaubt, werden abgeleitet. Die Vorlesung schließt ab mit der Darstellung der elementaren Konstruktionselemente aller Halbleiterbauelemente, dem pn-Übergang, der Schottky-Barriere sowie des MOS-Kondensators.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.12 Technik der Halbleiterfertigungsgeräte

Dozenten: Hon.-Prof. Dr.-Ing. Lothar Pfitzner (Fraunhofer IISB)

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schmutz (Fa. ACR)

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Die Vorlesung befasst sich mit Halbleiterfertigungsgeräten, deren fertigungstechnischer Integration, der Reinraum-Infrastruktur und mit Materialien für die Halbleiterherstellung. In Teil I werden Geräte zur Scheibenherstellung, Anlagen zur Reinigung, Oxidation, Diffusion,

Implantation, Niederdruckabscheidung, Strukturübertragung und Strukturierung, für Plasmaprozesse sowie zur Messtechnik und Qualitätskontrolle behandelt. Der Teil II befasst sich mit Maschinen- und Anlagenkonzepten, Scheibenhandhabung, Wafertrack-Anlagen, Partikelmessstechnik, Fertigungstechnik im Reinraum sowie Reinraumtechnik und Infrastruktur. Besonders berücksichtigt werden dabei mechanische und elektrische Anlagentechnik, Maschinenelemente, Subkomponenten, Maschinensteuerung, Anlagenverkettung bis hin zu Betriebsstoffen und Sicherheitstechnik. Fertigungstechnische und technologische Trends, Produktivitätsaspekte, Defektkontrolle, Cost-of-Ownership-Betrachtungen und Computer-Integrated-Manufacturing sind weitere wichtige Bestandteile der Vorlesung.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Studienrichtung "Produktionssysteme"	Pflichtfach
Maschinenbau	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.13 Siliciumcarbid-Hochleistungsbauelemente - Grundlagen, Technologie und Systemaspekte

Dozent: Hon.-Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stephani (Fa. SiCED)

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

Siliciumcarbid (SiC) ist ein Halbleitermaterial mit großer Bandlücke, hoher thermischer Leitfähigkeit, großer Härte und einer herausragend hohen elektrischen Durchbruchfeldstärke. Diese Eigenschaften prädestinieren SiC für seinen Einsatz bei der Herstellung von elektronischen Hochleistungsbauelementen.

Die Vorlesung behandelt zunächst wesentliche Grundlagen wie Kristallstrukturen, charakteristische Halbleitereigenschaften und abgeleitete Gütefaktoren, um einen spezifischen Vergleich mit anderen Halbleitermaterialien ableiten zu können. Anschließend werden Aspekte der Herstellung des einkristallinen Materials, seiner gezielten Dotierung, der weiteren Halbleiter-Prozesstechnologie sowie der Aufbau- und Verbindungstechnik angesprochen. Die Funktionsweise von unipolaren Hochleistungsbauelementen wie Schottkydioden, MESFETs, SITs, MOSFETs, JFETs, aber auch von bipolaren Bauelementen, wird eingehend erläutert. Erreichte und erreichbare Leistungsdaten werden diskutiert, auch in Hinblick auf künftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Abschließend werden die Auswirkungen von Siliciumcarbid Hochleistungsbauelementen auf die Eigenschaften von Systemen der Leistungselektronik angesprochen.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.14 Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation

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

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

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

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, z.B. mit dem Netzwerksimulationsprogramm "SPICE". Dabei müssen die in der jeweiligen Schaltung vorkommenden Halbleiterbauelemente durch Bauelementmodelle (Kompaktmodelle) beschrieben werden, die einer Reihe von Ansprüchen genügen müssen:

1. Genaue Beschreibung von Klemmenströmen und Klemmenspannungen für stationäres und transientes Verhalten.
2. Integrierbarkeit in ein Netzwerksimulationsprogramm mit passiven Komponenten und gesteuerten Strom- und Spannungsquellen.
3. Keine wesentliche Verschlechterung von Konvergenzverhalten und Rechenzeitbedarf.
4. Verfügbarkeit von Mess- und Rechenverfahren, mit denen in einfacher und eindeutiger Weise die ein konkretes Bauelement beschreibenden Modellparameter experimentell bestimmt werden können (Parameterextraktion).

Neben den seit langer Zeit eingeführten Modellen für Bipolartransistoren (Ebers-Moll-, Gummel-Poon-Modell u.a.) und MOS-Transistoren (Pao-Sah, SPICE-LEVEL1, -LEVEL2, -LEVEL3, usw.) 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, sowohl für die Simulation von integrierten Schaltungen, als auch von Schaltungen mit diskreten Bauelementen. Es wird insbesondere auf ihre Begründung und den Zusammenhang mit den physikalischen Grundvorstellungen über das Bauelementverhalten eingegangen.

Die besondere Rolle der Temperatur bildet einen eigenen Schwerpunkt: Die Auswirkung der Temperatur auf das stationäre Bauelementverhalten und die Möglichkeit der transienten Schaltkreissimulation unter Einbeziehung der Temperaturerhöhung durch die eigene Wärmeentwicklung eines Bauelementes werden behandelt. Ein weiterer Schwerpunkt der Vorlesung bildet die Darstellung der Verfahren und Geräte zur Parameterextraktion.

Im Rahmen der Übungen zur Vorlesung werden u. a. typische Mess- und Parameterextraktionsaufgaben an einem kommerziellen Bauelement-Parameter-Mess-System durchgeführt.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.15 Automobilelektronik - Leistungselektronik

Dozent: Dr.-Ing. Martin März

Zeitraum: Sommersemester

Inhalt

Leistungselektronik ist aus modernen Kraftfahrzeugen nicht mehr wegzudenken. Ob in den Bereichen Fahrwerk, Antrieb oder Infotainment, bei Sicherheits- oder Komfortfunktionen – überall findet sich Leistungselektronik – sei es in Form einzelner Bauelemente oder komplexer Systeme. Leistungselektronik ermöglicht einen intelligenten Betrieb von Aktoren wie Elektromotoren, Ventilen oder Airbag-Zündern, von Beleuchtungs- und Heizelementen. Sie ist für das elektrische Energiemanagement im Fahrzeug ebenso unverzichtbar wie für die Stromversorgung und den Schutz der elektronischen "Intelligenz" an Bord, d.h. der Informations-, Kommunikations- und Steuerelektronik.

Im ersten Teil werden ausgehend von den spezifischen Eigenschaften des KFZ-Bordnetzes 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 Applikationbeispielen.

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. Am konkreten Beispiel eines hybriden Serienfahrzeugs wird der Stand der Technik detailliert beleuchtet.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach

4.2.16 Optische Lithographie: Technologie, Physikalische Effekte und Modellierung

Dozent: Dr. rer. nat. Andreas Erdmann (Fraunhofer IISB)

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

In der Vorlesung 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. Hierbei wird ein durch eine Maske vorgegebenes Layout mit Hilfe einer Abbildungsoptik in eine lichtempfindliche Schicht - den Photolack - übertragen. 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. Zur Herstellung der Lithographiemasken bzw. von optischen und mechanischen Bauelementen im Mikrometerbereich und darunter werden andere lithographische Verfahren, wie Elektronenstrahlolithographie, Masken, Proximity- und Kontaktbelichtung, interferometrische Lithographie u.a., eingesetzt.

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 oder gekoppelte Kinetik- und Diffusionsprozesse in chemisch verstärkten Lacken, werden im Detail analysiert. Die Vorlesung beinhaltet weiterhin eine Einführung in die Lithographiesimulation, welche zur Analyse und Optimierung lithographischer Prozesse eingesetzt wird.

Die Vorlesung wird in englischer Sprache gehalten.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Hauptstudium	Wahlfach
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlfach
Advanced Optical Lithography	Elitemasterstudiengang	Wahlfach

4.3 Praktika im Hauptstudium

4.3.1 Praktikum zur Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente

Organisation: Dr.-Ing Tobias Dirnecker

Betreuer: Assistenten

Inhalt

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 an Hand ihrer Strom- / Spannungs-Kennlinie elektrisch charakterisiert.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Allgemeine Elektrotechnik"	Wahlpflichtpraktikum
	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtpraktikum
	Studienrichtung "Leistungselektronik"	Wahlpflichtpraktikum
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlpflichtpraktikum

4.3.2 Praktikum zur Halbleiter- und Bauelementemesstechnik

Organisation: Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Betreuer: Assistenten

Zeitraum: Bei entsprechendem Interesse in jedem Semester

Inhalt

Im Praktikum zur Halbleiter- und Bauelementemesstechnik werden einige der in der gleichnamigen Vorlesung besprochenen Messverfahren praktisch durchgeführt. 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.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtpraktikum
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlpflichtpraktikum

4.4 Seminare im Hauptstudium**4.4.1 Hauptseminar über ausgewählte Kapitel der Silicium-Halbleitertechnologie**

Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Dipl.-Ing. Jochen Kaiser

Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Zeitraum: findet in jedem Semester statt

Inhalt

Ziel des Seminars 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 45-minütigen Vortrags über ihre Ergebnisse. Die Einzelthemen werden in jedem Semester mit einem anderen Schwerpunkt gewählt.

In den zurückliegenden Semestern wurden folgende Schwerpunktthemen behandelt:

WS 2006/07:	Solarzellen
SS 2007:	Halbleiter- und Bauelementemesstechnik
WS 2007/08:	Bauelemente mit Substrat-Engineering

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtseminar
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlpflichtseminar

4.4.2 Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen

Organisation: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak

Zeitraum: Wintersemester

Inhalt

Das Verhalten von Halbleiterbauelementen wird in guter Näherung durch drei gekoppelte partielle Differentialgleichungen, die Poisson-Gleichung sowie die Kontinuitätsgleichung für jeweils Elektronen und Löcher beschrieben. Zur Lösung dieses Gleichungssystems für komplexe Geometrien moderner Halbleiterbauelemente sowohl für stationären als auch transienten Betrieb stehen heute leistungsstarke und benutzerfreundliche kommerzielle Simulationsprogramme zur Verfügung. Diese werden vor allem bei der Entwicklung neuartiger Halbleiterbauelemente und ihrer Herstellungsprozesse eingesetzt. Durch die Möglichkeit solcher Programme, in einfacher Weise unterschiedliche Bauelementgeometrien und elektrische Klemmenspannungen eingeben und ändern zu können, einzelne physikalische Effekte bei der Berechnung ein- oder ausschalten zu können sowie als Ergebnis sich die detaillierte räumliche Verteilung von elektrischem Feld und Ladungsträgerdichten im Bauelement ansehen zu können, eignet sich ein solches Programm in idealer Weise zum Kennenlernen und Verstehen von Halbleiterbauelementen. Die Teilnehmer des Seminars werden ausgewählte, in allen Bauelementen immer wiederkehrende Grundvorgänge durch eigene Simulationen an Rechnern des LEB "erleben" und eine visuelle Darstellung des entsprechenden Phänomens durch geeignete Simulationsergebnisse 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 erläutert sowie Struktur und Benutzeroberfläche des Simulationsprogramms (DESSIS). In Phase 2 werden die Seminarteilnehmer in Gruppen jeweils ein Thema bearbeiten und am Ende der Phase 2 darüber berichten.

Eine einheitliche Form der visuellen Darstellung der von den verschiedenen Gruppen bearbeiteten Themen wird zu Beginn der letzten Phase vereinbart und von den Teilnehmern erarbeitet.

Einordnung

Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Studienrichtung "Mikroelektronik"	Wahlpflichtseminar
Mechatronik	Hauptstudium	Wahlpflichtseminar

4.5 Lehrangebote im Rahmen der virtuellen Lehre

4.5.1 Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Tutor: Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev

Umsetzung: Thomas Richter, M.A.

Zeitraum: Kurs wird in jedem Semester angeboten

Allgemeine Informationen zum Projekt "Technologie und Architektur integrierter Schaltungen"

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 finden Sie im Internet unter <http://www.vhb.org>.

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. Das Lehrangebot wendet sich an Studierende der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik, Studierende der Werkstoff- und Materialwissenschaften sowie Studierende der Physik und sonstiger verwandter Studienrichtungen, jeweils mit entsprechenden Vorkenntnissen (Vordiplom).

Ziel ist die anschauliche Darstellung komplexer Vorgänge bei der Herstellung von Halbleitern, die Erläuterung der zugrunde liegenden theoretischen Sachverhalte und angewendeten Fertigungsverfahren sowie der technologischen Architektur von Bauelementen. Abb. 4.1 zeigt ein Beispiel aus der Selbstlernumgebung.

Für die Vorlesung sind zwei Semesterwochenstunden veranschlagt. Dazu werden auf der Internetseite des LEB Übungsblätter und Lösungsvorschläge (PDF-Format) im Umfang von zwei Semesterwochenstunden zur Festigung der vermittelten Inhalte angeboten. Der Zugang erfolgt jeweils über entsprechende Verweise in der Lernumgebung. Die CD-ROM mit der Lernumgebung und das für die Übungsaufgaben benötigte Passwort werden vom LEB den Studierenden nach Anmeldung bei der vhb zugeschickt. Es besteht die Möglichkeit zum Erwerb eines benoteten Leistungsnachweises durch Teilnahme an einer Klausur oder - bei nur geringer Teilnehmerzahl - eine mündliche Prüfung bei Prof. Ryssel. Es werden fünf ECTS-Punkte vergeben.

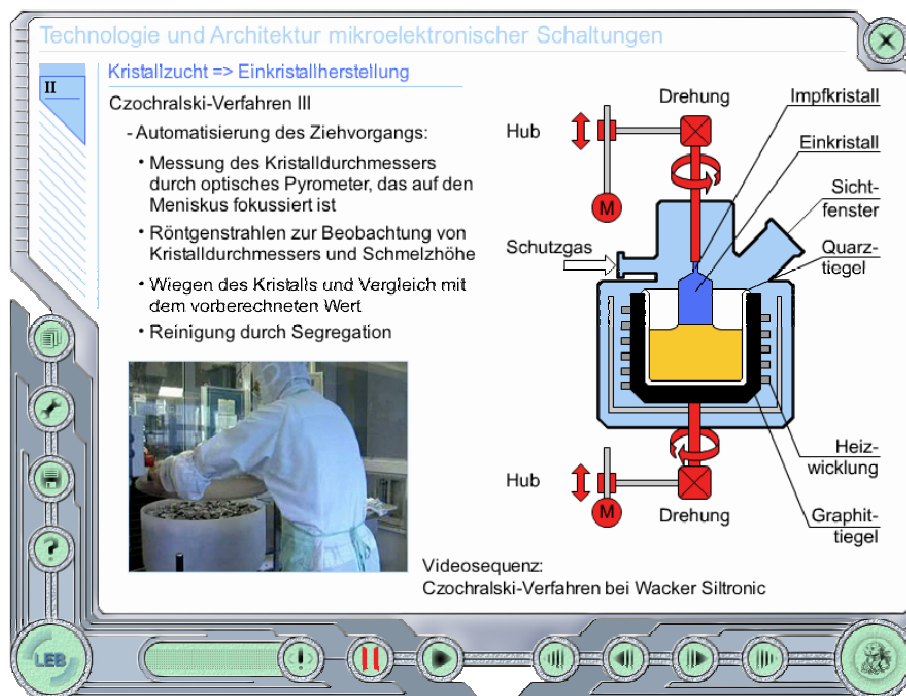


Abb. 4.1: Beispiel aus der Selbstlernumgebung "Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen"

Inhalt

Darstellung verschiedener Einzelprozesse der Silicium-Halbleitertechnologie sowie Prozessfolgen zur Herstellung elektronischer Bauelemente (CMOS-Technologie) in Form einer asynchronen virtuellen Vorlesung. Zur Ergänzung und Vertiefung stehen im Internet zusätzliche Seiten zur Verfügung. Übungsblätter inkl. eines 1D-Prozess-Simulationsprogrammes können ebenfalls im WWW abgerufen werden.

Die Vorlesungsinhalte gliedern sich wie folgt:

1. Einleitung
2. Kristallzucht
3. Reinraum
4. Reinigung
5. Oxidation
6. Diffusion
7. Ionenimplantation
8. Chemische Schichtabscheidung
9. Physikalische Schichtabscheidung
10. Lithographie
11. Strukturübertragung
12. Planarisierung
13. Aufbau- und Verbindungstechnik
14. Bauelemente-Architekturen

Für die Nutzung werden von den Kursteilnehmer keinerlei Gebühren erhoben. Voraussetzung zur Teilnahme ist eine ordnungsgemäße Registrierung für den Kurs "Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen" bei der vhb unter <http://www.vhb.org> ("Kursprogramm" / "Ingenieurwissenschaften" / "A-Kurse"). Ein Quereinstieg ist nach persönlicher Absprache möglich.

Einordnung

Der Kurs wird bei der vhb für Studierende aller bayerischen Hochschulen angeboten und kann nach Anerkennung durch den jeweiligen Studienfachberater als Wahllehrveranstaltung eingebracht werden. An der Universität Erlangen kann der erfolgreich abgeschlossene Kurs zudem im Studiengang Werkstoffwissenschaften die Vorlesung Technologie integrierter Schaltungen als Teil der technischen Schwerpunkt- bzw. Wahlfächer ersetzen.

4.5.2 Halbleiterbauelemente

Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel
Prof. Dr. rer.-nat. Doris Schmitt-Landsiedel

Tutor: Dr.-Ing. Tobias Dirnecker

Umsetzung: Thomas Richter, M.A.

Zeitraum: Kurs wird in jedem Semester angeboten

Allgemeine Informationen zum Projekt "Halbleiterbauelemente"

"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. Das Lehrangebot wendet sich an Studierende der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (EEI), Mechatronik, Computational Engineering, Werkstoff- und Materialwissenschaften, Physik sowie sonstiger verwandter Studienrichtungen und kann schon im Grundstudium belegt werden.

Für die Vorlesung sind zwei Semesterwochenstunden veranschlagt. Zusätzlich werden Übungsblätter und Lösungsvorschläge (PDF-Format) im Umfang von zwei Semesterwochenstunden zur Festigung der vermittelten Inhalte zur Verfügung gestellt.

Für den Zugriff auf die Lerninhalte ist eine persönliche Benutzerkennung mit Passwort nötig, welche den Teilnehmern vom LEB nach Registrierung bei der vhb mitgeteilt wird. Es besteht die Möglichkeit zum Erwerb eines benoteten Leistungsnachweises durch Teilnahme an einer Klausur oder - bei nur geringer Teilnehmerzahl - eine mündliche Prüfung bei Prof. Ryssel. Es werden fünf ECTS-Punkte vergeben.

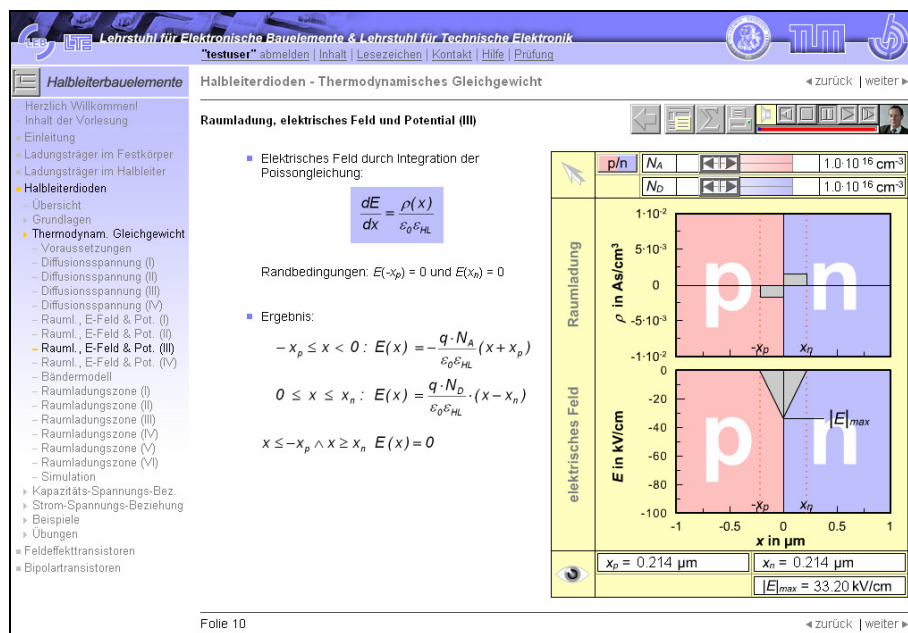


Abb. 4.2: Beispiel aus der virtuellen Vorlesung "Halbleiterbauelemente" von Prof. Heiner Ryssel und Prof. Doris Schmitt-Landsiedel

Inhalt

Im Online-Kurs Halbleiterbauelemente 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, Feldefekttransistoren 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.

Die Vorlesungsinhalte gliedern sich thematisch wie folgt:

1. Einleitung
2. Ladungsträger im Festkörper
3. Ladungsträger im Halbleiter
4. Halbleiterdioden
5. Feldefekttransistoren
6. Bipolartransistoren

Für die Nutzung werden von den Kursteilnehmer keinerlei Gebühren erhoben. Voraussetzung zur Teilnahme ist eine ordnungsgemäße Registrierung für den Kurs "Halbleiterbauelemente" bei der vhb unter <http://www.vhb.org> ("Kursprogramm" / "Ingenieurwissenschaften" / "A-Kurse"). Ein Quereinstieg ist nach persönlicher Absprache möglich.

Einordnung

Der Kurs bei der virtuellen Hochschule Bayern wird Studierenden aller bayerischen Hochschulen angeboten und kann nach Anerkennung durch den jeweiligen Studienfachberater als Wahllehrveranstaltung eingebracht werden.

4.5.3 Übung zu Produktion in der Elektrotechnik

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel

Tutoren: Dipl. Ing. Mikhail Lazarev

Dipl. Ing. Jochen Kaiser

Umsetzung: Thomas Richter, M.A.

Zeitraum: Wintersemester

Allgemeine Informationen zum Projekt Produktion in der Elektrotechnik

Diese Internet-Übung ergänzt die Vorlesung Produktion in der Elektrotechnik im Studiengang Mechatronik. Dabei werden die von Prof. Ryssel gehaltenen Abschnitte der Vorlesung behandelt. Das Angebot wird im Rahmen der Maßnahmen zur Verbesserung der Lehre realisiert und aus Studienbeiträgen finanziert.



Abb. 4.3: Startseite der Internet-Übung "Produktion in der Elektrotechnik"

Inhalt

Seit Beginn des Wintersemesters 2007/2008 ist eine Version mit statischen Lehrinhalten verfügbar. Die Studierenden sind hierbei angehalten, die vorgegebenen Übungsaufgaben selbstständig zu bearbeiten und mit den Lösungen zu vergleichen. Momentan befindet sich die Übung in der Weiterentwicklung. Zum Wintersemester 2008/2009 wird eine interaktiv gestaltete Version angeboten.

Es stehen Aufgaben und Lösungen zu folgenden Themen zur Verfügung:

1. Einführung
2. Reinraum
3. Automatisierung
4. Ionenimplantation
5. Heißprozesse
6. PVD
7. Strukturierung
8. Planarisierung
9. Montage

Einordnung

Die Übung wird für Studierende im Studiengang Mechatronik an der Universität Erlangen angeboten. Für die Nutzung werden keine Gebühren erhoben. Der Zugang ist nach persönlicher Registrierung und Authentifizierung mit dem Lehrveranstaltungspasswort möglich.

4.6 Exkursionen

Auch 2007 wurden vom LEB wieder Exkursionen zu verschiedenen Firmen der Halbleiterindustrie organisiert, wobei diesmal zwei Besuche in Bayern auf dem Programm standen.

Im Sommersemester 2007 besuchte der Lehrstuhl die Firma OSRAM Opto Semiconductor in Regensburg. Nach einer Firmenvorstellung und einer Präsentation über die "Frontend"-Herstellungsprozesse wurden die zehn Teilnehmer durch die Fertigungslinie für optoelektronische Halbleiterbauelemente geführt. Fachvorträge informierten die Studierenden über aktuelle Entwicklungsschwerpunkte, ausgewählte Fertigungsschritte und Einstiegsmöglichkeiten.



Abb. 4.4: Teilnehmer der Exkursion im Sommersemester 2007 bei OSRAM

Auf der Lehrstuhlexkursion im Wintersemester 2007/2008 zu Texas Instruments in Freising konnten die Studierenden einen Einblick in die Arbeitskultur des Unternehmens bekommen. Neben ausführlichen Erläuterungen zu den Karrieremöglichkeiten bei Texas Instruments wurde der Weg von der Idee zum fertigen Chip dargestellt. Bei einem Rundgang konnte die Fertigung besichtigt werden. Dabei erfuhren die Exkursionsteilnehmer, dass 0,25 μm -Technologie und Schichtbetrieb hohe Anforderungen an Service und Infrastruktur stellen. Alleine 24 Ionenimplantationsanlagen stehen zur Verfügung, um Prozesse mit bis zu 36 Maskenebenen durchzuführen. Um die Zuverlässigkeitsanforderungen, z.B. im KFZ-Bereich, sicherzustellen, werden so genannte "inkless" Tests (ohne Farbmarkierungen) eingesetzt.



Abb. 4.5: Teilnehmer der Exkursion im Wintersemester 2007/2008 bei Texas Instruments in Freising

4.7 Ausbildung zum Mikrotechnologen

Die stetig voranschreitende Miniaturisierung der Strukturen und Schaltungsarchitekturen in der Mikro- und Nanoelektronik erfordert umfassend qualifizierte und verantwortungsbereite Fachkräfte.

Die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und das Fraunhofer IISB haben für die staatlich anerkannte Ausbildung im High-Tech-Beruf "Mikrotechnologe / Mikrotechnologin" eine enge Zusammenarbeit vereinbart. Der Mikrotechnologe ist in der Halbleiterindustrie das Bindeglied zwischen dem reinen Operator und dem Prozessingenieur. Die moderne Geräte- und Laborausstattung von LEB und Fraunhofer IISB ermöglicht es, die zukünftigen Mikrotechnologen in einer Umgebung auszubilden, wie sie sonst nur in der industriellen Fertigung zu finden ist. Herzstück der Einrichtungen ist dabei das - für eine Universität einzigartige - Reinraumlabor des LEB mit ca. 1000 m² Nutzfläche. Während der dreijährigen Ausbildungszeit entwickeln sich die Auszubildenden zu Spezialisten für Geräte, Prozessschritte und Materialien bei der Herstellung und Entwicklung elektronischer Bauelemente und integrierter Schaltungen. Der Frauenanteil der Auszubildenden beträgt insgesamt 50 %.

Am 1. September 2007 haben die Bewerber Oliver Pöhlmann und Jonas Ströbel am LEB ihre Ausbildung zum Mikrotechnologen im Ausbildungsjahrgang 2007 - 2010 begonnen.

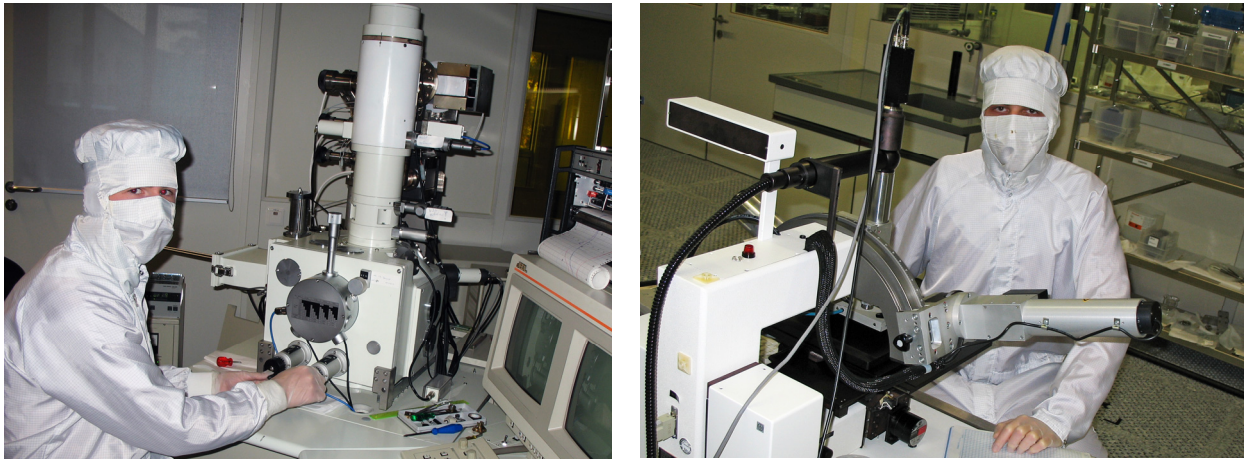


Abb. 4.6: Auszubildender Oliver Pöhlmann (links) am Rasterelektronenmikroskop und Auszubildender Jonas Ströbel (rechts) am Ellipsometer im Bereich Analytik des LEB-Reinraumlabor

Die Chancen auf dem Arbeitsmarkt sind für die in Erlangen ausgebildeten Mikrotechnologen ausgesprochen gut, da sie als Experten und Expertinnen ohne langes Studium bei den Halbleiterfirmen sehr begehrt sind.

LEB und IISB geben allen Interessenten gerne weiterführende Auskünfte zur Ausbildung zum Mikrotechnologen.

4.8 Belegungsmatrix

Wie den vorangehenden Abschnitten zu entnehmen ist, werden die Veranstaltungen des LEB nicht nur für Studenten der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik angeboten. Die Integration des aktuellen Lehrveranstaltungsangebots des LEB in das Curriculum verschiedener Studiengänge, die an der Technischen Fakultät der Universität Erlangen vertreten sind, zeigt die auf der folgenden Doppelseite abgebildete Übersicht.

Darüber hinaus gibt es für Studierende weiterer Studiengänge (z.B. Physik, Informatik) die Möglichkeit, Veranstaltungen des LEB in ihr Studium einzubringen. Bei Interesse stehen die Assistenten des Lehrstuhls gerne beratend zur Verfügung.

Lehrveranstaltung	Studienfach				
	Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik				
	Grundstudium	SR Mikroelektronik	SR Allgemeine Elektrotechnik	SR Elektr. Energie- und Antriebstechnik	SR Leistungselektronik
Vorlesungen					
Halbleiterbauelemente	P				
Mechatronische Systeme (Ringvorlesung)					
Produktion in der Elektrotechnik					
Technologie integrierter Schaltungen		P	W	W	WP
Prozessintegration und Bauelementarchitekturen		P	W	W	W
Halbleiter- und Bauelementemesstechnik		WP	W	W	W
Nanoelektronik		WP	W	W	W
Ionenimplantation		W	W	W	W
Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen		WP	W	W	W
Leistungshalbleiterbauelemente		W	WP	WP	P
Smart Power Technologien		WP	WP	WP	WP
Prozess- und Bauelementesimulation		WP	W	W	W
Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente		WP	W	W	W
Technik der Halbleiterfertigungsgeräte		W	W	W	W
Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation		W	W	W	W
Siliciumkarbid Hochleistungsbauelemente - Grundlagen, Technologie und Systemaspekte		W	W	W	W
Automobilelektronik - Leistungselektronik		W	W	W	W
Optical Lithography: Technology, Physical Effects and Modeling		W	W	W	W
Halbleiterbauelemente (vhb-Kurs)					
Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen (vhb-Kurs)		W	W	W	W
Praktika					
Mechatronische Systeme					
Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente		WP	WP		WP
Halbleiter- und Bauelementemesstechnik		WP			
Seminare					
Ausgewählte Kapitel der Silicium-Halbleitertechnologie		WP			
Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen		WP			

SR: Studienrichtung (Studiengang Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik)

vhb: virtuelle Hochschule Bayern

P: Pflichtfach

WP: Wahlpflichtfach

W: Wahlfach

5 Wissenschaftliche Arbeiten von Studenten und Mitarbeitern

2007 wurden am Lehrstuhl insgesamt drei Promotionen, sechs Diplomarbeiten sowie zehn Studien- bzw. Projektarbeiten erfolgreich abgeschlossen.

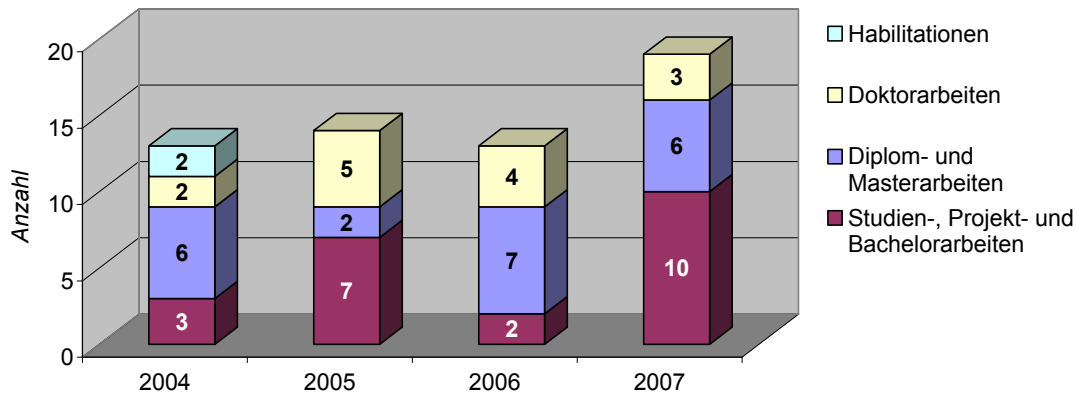


Abb. 5.1: Anzahl der wissenschaftlichen Arbeiten von Hochschullehrern, Mitarbeitern und Studenten am LEB, geordnet nach Jahreszahlen seit 2004

5.1 Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten

5.1.1 Auslegung der elektrischen Antriebseinheit für ein Hybridfahrzeug

(Studienarbeit von Oliver Gaßner)

Diese Arbeit ist Teil einer Gesamtkonzeptstudie für die Umrüstung eines konventionell mit Benzin getriebenen Personkraftfahrzeugs zum Hybridfahrzeug. Sie befasst sich mit der Auslegung der elektrischen Antriebseinheit. Die Elektromotoren müssen so ausgelegt werden, dass sie den verbrennungsmotorischen Antrieb unterstützen können, um den Treibstoffverbrauch möglichst stark zu senken. Zusätzlich soll ein Speichertyp ausgewählt und dimensioniert werden, um die Elektromaschinen bezüglich Leistung und Energie ausreichend versorgen zu können. Das Einsparverhalten und das Zusammenwirken der spezifizierten Elemente wird durch Simulationsrechnungen mit dem Programm "Matlab / Simulink" ermittelt. Als Antriebseinheit wurde der Drehstrom-Asynchron-Schnellläufermotor bestimmt, der wegen seiner einfacheren Steuerbarkeit die Betriebssicherheit im parallel verzweigten und über die Straße gekoppelten Hybridantrieb am besten gewährleistet. Leistung und Wirkungsgrad der Asynchron-Maschine erfüllen die gewünschten Anforderungen. Die Ergebnisse der Simulation zeigen im Stadtverkehr bis zu Durchschnittsgeschwindigkeiten von 60 Kilometern pro Stunde eine Einsparung der vom Verbrennungsmotor erbrachten Energie von bis zu 30 Prozent durch die Elektromaschinen.

5.1.2 Thermische Impedanz von Leistungshalbleiter-Bauelementen

(Studienarbeit von Benedikt Lunz)

Zunächst wird der Begriff der "Thermischen Impedanz" aus systemtheoretischer Sicht behandelt und der verwendete Messaufbau vorgestellt. Es folgt die analytische Betrachtung der Temperaturabhängigkeiten von pn-Übergängen in Halbleitern und vertikalen MOSFETs

sowie eine Bewertung der Eignung verschiedener Parameter zur Temperaturmessung. Anschließend wird die thermische Impedanz eines Schichtaufbaus berechnet und mit einer Finite-Elemente-Simulation verglichen. Zuletzt werden Messungen der thermischen Impedanz an Leistungs-MOSFETs durchgeführt und diskutiert.

5.1.3 Entwicklung von Simulationsmodellen für die Komponenten im Antriebsstrang eines Brennstoffzellenfahrzeugs

(Studienarbeit von Oliver Janke)

Für zukünftige Kraftfahrzeuge werden leistungselektronische Wandler immer wichtiger. Um diese elektrisch optimal auszulegen, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Komponenten des Antriebsstranges eines Brennstoffzellen-Fahrzeuges mit der Software "Matlab / Simulink" nachgebildet. So war es möglich, das Verhalten einer konkreten Topologie bei verschiedenen Fahrzyklen zu untersuchen. Es entstanden Simulationsmodelle, mit denen Erkenntnisse über die Strombelastung und das Temperaturverhalten der leistungselektronischen Bauteile gewonnen werden konnten. Durch das Ändern einzelner Parameter wurden Versuchsreihen durchgeführt, um die Verluste in den Wandlern zu minimieren. Außerdem konnte das Zusammenspiel aller Baugruppen untersucht werden, um den elektrischen Gesamtwirkungsgrad zu optimieren.

5.1.4 Optimierung, Erweiterung und Test eines Solarzellenmessplatzes

(Studienarbeit von Stefan Seidner)

In der vorliegenden Studienarbeit wurde der am Lehrstuhl vorhandene Solarzellenmessplatz charakterisiert und optimiert. Der Messplatz dient dazu, die Kenngrößen von Solarzellen, z.B. den Wirkungsgrad oder den Photostrom, zu bestimmen. Dazu wird u.a. eine Lichtquelle verwendet, die eine sonnenähnliche Strahlungsintensität und ein sonnenähnliches Spektrum aufweist. Während die Lichtquelle die Solarzelle bestrahlt, wird die Strom-Spannungs-Charakteristik der Solarzelle aufgenommen und ausgewertet.

In der Arbeit wird nach einer Einführung in die Photovoltaik und Solarzellenmesstechnik zunächst der Aufbau des Solarzellenmessplatzes beschrieben. Ausgehend von dem Zustand des vorliegenden Messplatzes wurden Verbesserungen erarbeitet und durchgeführt. Das Hauptaugenmerk lag darauf, die Lichtquelle in Bezug auf ihre abgegebene Strahlungsintensität und ihr Spektrum zu vermessen. Als Messgeräte wurden dabei ein Pyranometer und ein Spektrometer eingesetzt.

Über Langzeitmessungen wurde festgestellt, dass die Strahlungsintensität der Lichtquelle auch nach längerer Laufzeit der Anlage (vier Stunden) schwankt. Eine zweite (unbenutzte) Lampe gab nach einer Laufzeit von ca. drei Stunden eine weitgehend stabile Strahlungsintensität ab. Homogenitätsmessungen ergaben, dass die Intensität innerhalb der bestrahlten Fläche mit weniger als 5 % schwankt. Weiterhin wurde für beide Lampen festgestellt, dass der vorgegebene Lampenstrom nicht direkt mit der abgegebenen Strahlungsintensität korreliert. Als Ergebnis dieser Untersuchung folgt daher, dass die Intensität mittels einer Referenz-Solarzelle überprüft und geregelt werden sollte. Diese Referenzzelle stellt einen Teil des Messaufbaus dar und dient der Messung der auf die Solarzelle treffenden Strahlungsintensität. Die Referenzzelle wurde mit Hilfe des Pyranometers neu kalibriert.

Ein Vergleich mit dem häufig als Standardspektrum verwendeten AM1,5-Spektrum zeigte, dass der Verlauf der gemessenen Spektren beider Lampen dem AM1,5-Spektrum ähnlich ist. Bei den durchgeführten Dauermessungen konnte ferner festgestellt werden, dass das Spektrum mit zunehmender Laufzeit der Lampe keine Veränderungen zeigt.

Da sich der bisherige Messaufbau zur Bestimmung der Solarzellen-Kennlinien in der Vergangenheit als störanfällig erwies, wurde eine alternative Messmethode realisiert, bei der die Strommessung mit Hilfe eines zusätzlichen Strommessgerätes erfolgt. Auf diese Weise wird der bisher eingesetzte fehleranfällige Relais-Aufbau nicht länger benötigt. Zur erfolgreichen Implementierung der alternativen Messmethode wurde das "LabVIEW"-Programm zur Steuerung des Messablaufes entsprechend modifiziert.

5.1.5 Untersuchungen zur Herstellung metallischer Gateelektroden mittels MOCVD und deren elektrische Charakterisierung

(Studienarbeit von Stephan Thiemann)

In zukünftigen Technologiegenerationen wird es unumgänglich sein, Polysilicium als Gateelektrodenmaterial durch metallische Schichten zu ersetzen. Im Rahmen der vorliegenden Studienarbeit wurden die neuartige Ausgangschemie Tert-Butylamido-Tris-Ethylmethylamino-Tantalum ($\text{Ta}(\text{NtBu})(\text{NEtMe})_3$) auf ihre Anwendbarkeit zur metall-organisch-chemischen Gasphasenabscheidung (MOCVD) leitfähiger Tantalnitridschichten (TaN) untersucht und die Schichten physikalisch und elektrisch charakterisiert.

Wachstumsexperimente im Temperaturbereich von 400 bis 650 °C bei Drücken von 0,15 bis 0,5 mbar zeigen einen wannenförmigen Verlauf der Abscheiderate mit der Temperatur, wobei das Minimum zwischen 500 und 600 °C liegt. Eine Druckreduzierung führt zu erhöhten Abscheideraten, aber auch zu Volumenreaktionen im Falle hoher Abscheidetemperaturen. Der spezifische Widerstand der abgeschiedenen Schicht sinkt mit steigender Temperatur sowie mit abnehmendem Druck deutlich. Die niedrigsten Werte mit 2 m Ω cm wurden bei 600 °C und 0,25 mbar erreicht, wobei die Abscheiderate 4 nm/min betrug. Die Kantenbedeckung unter diesen Bedingungen ist mit 50 bis 75 % an den Seitenflanken und 24 % am Boden eines etwa 5 μ m tiefen Graben mit einem Aspektverhältnis von 2:1 jedoch relativ schlecht.

Hinsichtlich der thermischen Stabilität der TaN-Schichten, die mittels schneller thermischer Prozessierung bis 900 °C und 10 s in Stickstoff-, Argon oder Ammoniakatmosphäre untersucht wurden, zeigt sich kein Einfluss auf Schichtdicke und spezifischen Widerstand.

Untersuchungen zur Schichtzusammensetzung mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie zeigen tantalreiche Schichten (Ta:N-Verhältnisse von 1:0,85 bei 400 °C und 1:0,6 bei 650 °C Abscheidetemperatur) sowie eine starke Sauerstoffkontamination (bis 35 at.-%), die für den hohen spezifischen Widerstand verantwortlich ist. Durch eine Temperung in Ammoniak lässt sich der Sauerstoffgehalt in der TaN-Schicht auf 21 at.-% verringern.

MOS-Kondensatoren mit TaN-Gateelektroden, abgeschieden bei 600 °C und 0,25 mbar, zeigen wohlgeformte Kapazitäts-Spannungs- und Strom-Spannungs-Kennlinien. Die Metallaustrittsarbeit, die mittels Kondensatoren mit terrassenförmig rückgeätzttem Siliciumdioxid unterschiedlicher Dicke als Dielektrikum bestimmt wurde, beträgt unabhängig von der TaN-Schichtdicke 4,5 eV. Nach einer Temperung (900 °C, 10 s, Ammoniakatmosphäre) steigt die TaN-Austrittsarbeit in Abhängigkeit der TaN-Schichtdicke auf 4,65 eV (90 nm TaN) und 4,8 eV (30 nm TaN) an. Die Anzahl der festen Oxidladungen ändert sich aufgrund der Temperung nicht, die Leckstromcharakteristik degradiert jedoch drastisch.

5.1.6 Entwicklung einer Software für die U/f-Steuerung eines Elektromotors

(Studienarbeit von Markus Tratz)

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Frequenzumrichtermodul "MiniDrive" für Motoren bis 750 Watt. Das Modul basiert auf einem C868-Microcontroller von Infineon und einer sechspulsigen IGBT-Brücke. Zusätzlich können acht Temperatursensoren angeschlossen

werden. Für den Microcontroller wurde eine Software entwickelt, die eine U/f -Steuerung und eine Frequenz-Steuerung für Asynchron- und Synchronmotoren beinhaltet. Die Steuerung wurde mit einer Raumzeigerpulsweitenmodulation in der Programmiersprache "C" realisiert.

Zur Kommunikation mit dem Frequenzumrichtermodul enthält dieses eine serielle RS-232-Schnittstelle. Das Modul kann vollständig über die Schnittstelle überwacht und gesteuert werden. Die Steuerung kann zum einen über ein serielles Terminal mit der integrierten Textkonsole erfolgen, zum anderen über eine grafische "Windows"-Bedienoberfläche. Die Bedienoberfläche ist eine in "Borland Delphi" programmierte Anwendung. Die Software-Schnittstelle zum Frequenzumrichtermodul wurde programmiertechnisch in einer separaten Bibliothek gekapselt und bietet einen vollständigen Zugriff auf alle Funktionen.

Mit der Bediensoftware können zudem die Temperatursensoren ausgelesen und die Messwerte protokolliert werden. Das Protokoll kann zur Weiterverarbeitung in "Microsoft Excel" übernommen werden. Diese Funktion erlaubt es, Temperaturverläufe auszuwerten.

5.1.7 Inbetriebnahme eines Prototypgerätes zur Charakterisierung von Isolator-Silicium-Strukturen mittels eines Photostromverfahrens

(Studienarbeit von Matthias Wolf)

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Charakterisierung des Prototypen ELYMAT III der Firma GeMeTec, München, der in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IISB entwickelt worden ist. Bei ELYMAT-Messgeräten handelt es sich um Messgeräte zur Bestimmung von Minoritätsladungsträgerlebensdauern im Halbleitervolumen. Zusätzlich wurde bei dem neuen Prototyp erstmals die Möglichkeit integriert, eine Charakterisierung von Isolator-Silicium-Grenzflächen vorzunehmen. Dazu wird die Abhängigkeit des beim ELYMAT-Verfahren gemessenen photoinduzierten Diffusionsstroms von der Grenzflächenrekombination an der Isolator-Silicium-Grenzfläche bestimmt.

Um die Funktionsfähigkeit des ELYMAT III zu testen, wurden entsprechende Diffusionsstrommessungen durchgeführt und die gewonnenen Messdaten anschließend qualitativ und quantitativ überprüft. Durch mehrere Messreihen mit gleichen Messparametern an einer ausgewählten Probe wurde der ELYMAT III zunächst auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse hin untersucht. Weiterhin wurden Vergleichsmessungen mit dem Laboraufbau des Vorgängermodells ELYMAT II durchgeführt und die Messergebnisse beider Geräte miteinander verglichen. Darüber hinaus wurden der Einfluss unterschiedlicher Messzeiten und der Einfluss von Serienwiderständen im Messaufbau auf die Messergebnisse analysiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Messergebnisse mit dem neuen Prototyp ELYMAT III sehr gut reproduzierbar sind. Auch die Vergleichsmessungen mit dem Laboraufbau des Vorgängermodells liefern vergleichbare Ergebnisse bei einer gleichzeitig 20-fach höheren Messgeschwindigkeit des ELYMAT III. Somit stellt der Prototyp ein leistungsfähiges und sehr gut geeignetes Messgerät zur Charakterisierung von Isolator-Silicium-Strukturen dar. Bei der richtigen Wahl des Arbeitspunktes wurde weiterhin - im Gegensatz zum Vorgängermodell - keine Abhängigkeit von verschiedenen Messzeiten festgestellt. Bei Messungen mit höheren Photoströmen konnten Serienwiderstandseffekte bei den Messergebnissen beobachtet werden, wobei der Serienwiderstand der zu messenden Scheibe als Hauptursache für diesen Effekt ausgeschlossen werden konnte.

5.1.8 Wickelsysteme - Marktübersicht und Trendanalyse

(Projektarbeit von Tim Most)

In den letzten Jahren ist die Anzahl von Wickelmaschinenherstellern relativ stark angestiegen. Deswegen und wegen der weltweiten Verteilung der Hersteller ist der Überblick und Vergleich der vorhandenen Systeme sehr schwierig und aufwändig geworden. Ein weiterer Grund hierfür sind die zum Teil sehr starken Unterschiede hinsichtlich Preis und Modernität der Technik der Maschinen. Das Ziel der Arbeit ist es, den Vergleich der Systeme zu erleichtern und die Auswahl einer entsprechenden Maschine zu unterstützen.

Die vorliegende Arbeit ist grob in drei Abschnitte unterteilt. Im ersten werden Wickelmaschinen als Systeme vorgestellt und zwei mögliche Klassifizierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Im zweiten Teil wird die Technik der Systeme erläutert und auf aktuelle Trends eingegangen. Im letzten Abschnitt wird der Bereich der Maschinenauswahl und der dafür wichtigen Kriterien beschrieben.

Eine Einteilung der verschiedenen Systeme in Kategorien erwies sich als kompliziert, da hier auch seitens der Hersteller keine einheitliche Kategorisierung stattfindet. Eine Möglichkeit ist die Einteilung nach der Höhe des Automatisierungsgrades (manuelle Wickelmaschinen, Halbautomaten und Vollautomaten). Aufgrund der sehr fließenden Übergänge des Automatisierungsgrades ist die Einteilung nach der angewandten Wickeltechnik (Flyer-, Toroid-, Rotations- und Nadelwickler) sinnvoller. Im Weiteren wird auf Zubehörkomponenten wie Drahtführer und Drahtzugregelsysteme, aber auch auf Sonderzubehör, z.B. Zugspannungsmesser für hohe Drahtgeschwindigkeiten und Stroboskope zur Wicklungsoptimierung, eingegangen.

Der zweite Abschnitt der Arbeit beschreibt das technische System Wickelmaschine. Nach der Kurzbeschreibung gängiger Antriebstypen wird aufgezeigt, welche Antriebe zum Einsatz kommen und warum. Hierbei stellt sich heraus, dass im Bereich der Wickelkopfantriebe hauptsächlich bürstenlose Servoantriebe und bei Vorschubantrieben Schrittmotoren, aber auch zum Teil Servoantriebe, eingesetzt werden. Zur korrekten Umsetzung der erzeugten Bewegung wird eine interne Maschinensteuerung benötigt. Die übliche Ausstattung sind numerisch gesteuerte Maschinen mit integrierter "SPS"-Unterstützung. Mittlerweile wird auch hier verstärkt eine Regelung der Achsen und des Wickelprozesses umgesetzt. Der prinzipielle Ablauf einer solchen Regelung sowie dazu notwendiger Lagegeber ist ebenfalls kurz beschrieben. Große technische Unterschiede bei den einzelnen Maschinen wurden auch hier, aber vor allem im Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. der Bedienoberflächen, deutlich. Im Kapitel "aktuelle Trends" werden verschiedene Verfahren, wie das orthozyklische Wickeln, Ferndiagnosemodule oder die vollautomatische Fertigung, beleuchtet und deren Vorzüge beschrieben. Vor allem das orthozyklische Wickeln ist besonders zu betonen, da damit eine enorme Qualitätssteigerung hinsichtlich der Spulenparameter möglich ist. Allerdings bestehen dabei sehr hohe Prozessanforderungen.

Im letzten Teil der Arbeit wird dann der eigentliche Auswahlprozess erläutert. Zunächst werden allgemeine Auswahlkriterien beschrieben, die prinzipiell bei der Maschinenauswahl zu berücksichtigen sind. Ergänzt werden diese durch Kenngrößen für Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit. Um einen Überblick über in Frage kommende Maschinen zu erhalten, können die gewünschten Spulenparameter und Wicklungseigenschaften in eine hinterlegte "Access"-Datenbank eingegeben werden. Diese liefert die passenden Maschinen und stellt präzise Informationen zu den einzelnen Maschinen bereit. In der Datenbank, die jederzeit und einfach aktualisierbar ist, sind 285 Maschinen von 26 Herstellern enthalten. Insgesamt ergibt sich ein gemischter Eindruck im Bereich der Wickelsysteme. Auf der einen Seite sind die Hersteller auf dem richtigen Weg. Das Angebot an unterschiedlichen Maschinentypen für die

verschiedenen Wickelaufgaben ist relativ breit. Auf der anderen Seite ist ein Großteil dieser Anlagen technisch noch stark verbesserbar. Eine Orientierung an anderen Produktions- oder auch Werkzeugmaschinen wäre wünschenswert. Potentiale liegen vor allem im Bereich der Antriebs- und Regelungstechnik.

5.1.9 Untersuchungen zum Umspritzen von elektrischen Komponenten hoher Wärmekapazität mit thermisch leitfähig gefüllten Kunststoffen

(Projektarbeit von Bernd Müller)

Im Rahmen dieser Projektarbeit wird anhand eines konkreten Beispiels das Umspritzen von passiven leistungselektronischen Bauelementen mit thermisch leitfähigen Kunststoffen untersucht. Solche Bauelemente besitzen oft eine hohe thermische Kapazität und Wärmeleitfähigkeit, welche zu veränderten Fließ- und Abkühlbedingungen führen, die den Spritzgießprozess beeinflussen können.

Als Beispielprojekt wird eine Spule aus der Leistungselektronik betrachtet, für die entsprechende thermische Simulationen und Spritzguss-Simulationen durchgeführt wurden.

Die durchgeführten Spritzguss-Simulationen zeigen, dass das Umspritzen mit Hilfe von gewöhnlichen Spritzgießmaschinen möglich ist, man aber die deutlich schnellere Abkühlgeschwindigkeit der Kunststoffe in der Form durch eine höhere Werkzeugtemperatur und eine schnellere Einspritzgeschwindigkeit ausgleichen muss.

Thermische Simulationen ergaben, dass wärmeleitfähige Kunststoffe, wie sie jetzt schon am Markt sind, ein enormes Potential haben, wenn es um die Kühlung von umspritzten Bauelementen geht.

5.1.10 Untersuchungen zum Sintern von Silber-Nanopulvern als Verbindungstechnik in der Leistungselektronik

(Projektarbeit von Martin Wenger)

Mit zunehmendem Einsatz von SiC als Halbleitermaterial in der Leistungselektronik steigen auch die Ansprüche an die Verbindungstechnik. Insbesondere die Temperaturbeständigkeit nebst Temperaturleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit herkömmlicher Verbindungstechnologien können den steigenden Ansprüchen zunehmend nicht mehr gerecht werden. Verbindungen aus gesintertem Silberpulver könnten hier eine Alternative zu den etablierten Verfahren, allen voran Löten und Drahtbonden, darstellen. In der vorliegenden Arbeit wird zuerst eine Übersicht über bisherige Versuche und Arbeiten auf diesem Gebiet gegeben. Besonders wird dabei auf Untersuchungen zum druckunterstützten Sintern von Silberpulver mit Partikelgrößen im μm -Bereich sowie zum drucklosen Sintern von Silberpulvern mit Partikeln im nm-Bereich eingegangen. Neben dem Prozess selbst werden auch die Möglichkeiten zur Charakterisierung der Sinterverbindungen und eine Theorie zu den chemisch-physikalischen Vorgängen beim Sintern vorgestellt. Im praktischen Teil der Arbeit werden zuerst die Versuchsvorbereitungen genauer dargestellt. Dann wird der Einfluss verschiedener Prozessparameter auf die Verbindung untersucht. Insbesondere der Einfluss des Temperaturverlaufs, des Prozessdruckes und der Bauteilgröße werden näher untersucht und die Ergebnisse diskutiert.

5.2 Diplomarbeiten

5.2.1 Bestimmung der Leitungsmechanismen in Silicium-Nanopartikel-Netzwerken

(Diplomarbeit von Florian Hofmann)

In dieser Arbeit werden die Leitungsmechanismen in dünnen Schichten aus Silicium-Nanopartikeln untersucht. Zuerst werden die möglichen Leitungsmechanismen diskutiert. So wird näher auf Bänderleitung, Hüpfleitung und Tunneln im kristallinen und stark gestörten Gitter eines Halbleiters eingegangen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Beschreibung des raumladungsbegrenzten Stroms. Anhand der theoretischen Grundlagen werden die Ladungstransportmechanismen im Silicium-Nanopartikel-Netzwerk diskutiert.

Die in Suspension vorliegenden Nanopartikel werden auf ein hochdotiertes Silicium-Substrat aufgeschleudert. Die Proben werden entweder direkt nach dem Aufschleudern charakterisiert, in einer Anlage zur schnellen Prozessierung getempert oder zwischen zwei Temperschritten in gepufferter Fluss-Säure (BHF) geätzt. Die Temperung findet dabei bei 1070 °C oder 1130 °C bei einer Temperzeit von 20 s bis 40 s statt. Anschließend werden in einer Aufdampfanlage Metallkontakte auf die Proben aufgedampft.

Nach der Herstellung der Proben erfolgt die Charakterisierung der Nanopartikelschicht. So werden zum einen die Struktureigenschaften der Schicht und deren Veränderung durch die verschiedenen Behandlungen untersucht. Dazu zählen die Schichtdickenänderung, die Charakterisierung der Oberflächenrauigkeit sowie die Untersuchung des Querschnitts der Nanopartikelschicht. Zum anderen erfolgt die elektrische Charakterisierung durch Strom-Spannungs-Messungen bei verschiedenen Temperaturen.

Es stellt sich heraus, dass sich die Schicht durch Tempern verdichtet und mechanisch deutlich stabiler wird. Die spezifische Leitfähigkeit liegt im Bereich von 10 nS und lässt sich durch Tempern in einer "RTP"-Anlage und durch Ätzen in BHF nur geringfügig verbessern. Die geringe Leitfähigkeit resultiert wahrscheinlich aus der Siliciumdioxid-Hülle, welche die Partikel umgibt. Für die Zukunft ist daher die vollständige Entfernung der Siliciumdioxid-Hülle notwendig.

In Abhängigkeit von der Messtemperatur lassen sich in den Nanopartikelschichten drei verschiedene Bereiche für den Ladungstransportmechanismus ableiten. Zwischen 20 K und 100 K liegt ein Tunnelmechanismus vor. Zwischen 100 K bis 300 K ist der Transportmechanismus nicht genau bestimmbar. Wahrscheinlich gibt es einen Übergang von Hüpf- zu Bänderleitung. Oberhalb der Raumtemperatur liegt Bänderleitung vor. Zusätzlich weisen die Strom-Spannungs-Kennlinien ab einer Temperatur von 100 K die typischen Merkmale von raumladungsbegrenztem Strom auf.

5.2.2 Entwicklung eines piezoelektrischen Transformators zur Versorgung von MOS / IGBT-"High Side"-Schaltern

(Diplomarbeit von Holger Schwarzmann)

In der vorliegenden Arbeit werden zwei verschiedene Konzepte von Piezotransformatoren für die potentialgetrennte Übertragung der Energie für die Spannungsversorgung bzw. Informationsübertragung an die Ansteuerelektronik eines MOS / IGBT-"High Side"-Schalters vorgestellt. Der Einsatz von Transformatoren basierend auf piezoelektrischer Keramik bietet gegenüber konventionellen Transformatoren Vorteile in Hinblick auf geringere Abmessungen und geringeres Gewicht. Die elektromagnetische Beeinflussung der Umgebung wird durch

den Einsatz von Piezotransformatoren auf ein Minimum beschränkt. Durch den Betrieb der Piezotransformatoren nahe ihrer mechanischen Resonanzfrequenz ist es möglich, einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe Leistungsdichte zu erzielen.

Nach der Einführung in die Grundlagen der Piezokeramik wird der Entwurf von Piezotransformatoren anhand einer Design-Anleitung - basierend auf einer analytischen Betrachtung des vereinfachten Ersatzschaltbilds der Piezotransformatoren - dargestellt. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse dienen als Grundlage für die weitere Simulation mit einem Finite-Elemente-Simulationsprogramm.

Basierend auf den Simulationsergebnissen wurden zwei Typen der Piezotransformatoren hergestellt und anhand ihrer Eingangsadmittanz und ihres Übertragungsverhaltens mit den Simulationsdaten verglichen. Die Ergebnisse, insbesondere die der Resonanzfrequenzmessung, stimmten mit den Simulationsergebnissen in guter Näherung überein.

5.2.3 Geschichte der Halbleiterelektronik

(Diplomarbeit von Martina Ryssel)

Diese Arbeit gibt einen Überblick über die Geschichte der Halbleiterelektronik bis etwa 1970. Die Entdeckung grundlegender Halbleitereigenschaften wie Photoleitfähigkeit, negativer Temperaturkoeffizient des Widerstands und Gleichrichtung sowie die Konstruktion erster Gleichrichter fand bereits im 19. Jahrhundert - hauptsächlich in Europa - statt. Bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts wurden Gleichrichter und die ersten Ideen für verstärkende Halbleiterbauelemente, später Transistoren genannt, entwickelt, ohne dass die Vorgänge im Halbleiter wirklich verstanden waren. Erst die Quantenmechanik und die Entwicklung des Bändermodells sowie Schottkys Randschichttheorie und Shockleys Erklärung des pn-Übergangs führten zu einem grundlegenden Verständnis der Vorgänge im Halbleiter. Damit wurde systematischere Forschung möglich, die zur Erklärung des Transistoreffekts sowie zur Konstruktion komplexer integrierter Schaltungen und speziellerer Bauelemente, wie z.B. Thyristoren, führten. War anfangs Europa noch führend auf dem Gebiet der Halbleiterelektronik, so übernahmen Amerika seit dem Zweiten Weltkrieg und Japan seit den 1950er Jahren die Spitzenposition. Vor allem Leistungsbaulemente, optoelektronische Bauelemente und die Herstellung hochreinen Siliciums sind die Bereiche, in denen Europa bis 1970 eine wichtige Stellung auf dem Weltmarkt behaupten konnte und diese auch heute noch einnimmt.

5.2.4 Hafniumsilicat als Steueroxid in nichtflüchtigen Speicherzellen

(Diplomarbeit von Thomas Graf)

In der vorliegenden Arbeit werden unterschiedliche Materialien für ihren Einsatz als Steueroxid in haftstellenbasierten nichtflüchtigen Speicherzellen behandelt. Dabei wird zum einen das Hoch- ϵ -Dielektrikum Hafniumsilicat und zum anderen Siliciumdioxid, welches durch die thermische Oxidation der Siliciumnitrid-Speicherschicht hergestellt wurde, untersucht.

Im theoretischen Teil wird zunächst auf alle relevanten Aspekte dieser Art von Speicherzellen, wie z.B. die Mechanismen beim Programmieren und Löschen, eingegangen. Auch Möglichkeiten einer Skalierung der vertikalen Dimensionen der Speicherzellen, wie der Einsatz neuer Materialien mit hoher Dielektrizitätskonstante als Steueroxid, werden besprochen. Hier werden anhand des in der Arbeit verwendeten Hafniumsilicats auch die dabei zu erwartenden Probleme erörtert. Abschließend werden die Zusammenhänge der thermischen Oxidation von Siliciumnitrid, wie z.B. die einzelnen Teilprozesse der Reaktion und ein Modell zur Beschreibung des Oxidwachstums, erläutert.

Im Folgenden wird die Herstellung der Teststrukturen beschrieben, die in zwei Prozesse aufgeteilt ist. Zunächst erfolgt die thermische Oxidation von Siliciumnitrid bei unterschiedlichen Prozessbedingungen, anschließend die Weiterprozessierung geeigneter Proben zu Speicherteststrukturen. Das zu deren Charakterisierung verwendete Kapazitäts-Spannungsmessverfahren sowie der hierfür verwendete Messaufbau werden anschließend erläutert.

Mit Hilfe der ellipsometrisch gemessenen Schichtdicken wird eine Bestimmung der linearen Wachstumsraten der thermischen Oxidation von Siliciumnitrid und der zugehörigen Aktivierungsenergie durchgeführt. Weitere Untersuchungen bestätigen die theoretisch bestimmte Abnahme der Nitridschichtdicke je nach aufgewachsener Oxiddicke sowie die Entstehung reinen Siliciumdioxids bei der Reaktion. Bei der elektrischen Charakterisierung der Teststrukturen zeigt sich, dass bereits das Verstärken des Steueroxids durch eine sehr dünne Hafniumsilicatschicht eine enorme Erhöhung der Löscheffizienz durch die verbesserte Unterdrückung des Elektronenstroms aus dem Gate mit sich bringt. Zudem findet dadurch eine geringere Degradation des Tunneloxids bei der Durchführung von Schreib- / Löschyklen statt. Bei Verwendung dickerer Schichten sind unerwünschte Nebeneffekte aufgrund im Hafniumsilicat vorhandener Ladungen die Folge, welche sich nachteilig auf die Speicherhaltezeit auswirken. Des Weiteren stellt sich heraus, dass durch eine thermische Oxidation der Nitrid-Speicherschicht ein Steueroxid hergestellt werden kann, das qualitativ hochwertiger ist als ein mittels CVD-Verfahren abgeschiedenes Siliciumoxid. Einer vergleichbaren Belastung durch zahlreiche Löschvorgänge jedoch hält das thermische Oxid weniger gut stand. Bei abschließend durchgeführten Simulationen zu kritischen Aspekten der Speicherzellen unter Verwendung weiterer Materialien mit hoher Dielektrizitätskonstante als Steueroxid zeichnen sich Aluminiumoxid und insbesondere Lanthanoxid durch gute Ergebnisse aus und erscheinen für eine Skalierung von haftstellenbasierten Speicherzellen als am besten geeignet.

5.2.5 Entwicklung einer intelligenten Messeinschubkarte für einen modular aufgebauten aktiven Lastwechseltester

(Diplomarbeit von Johannes Güntner)

In vielen Bereichen der Elektronik werden Halbleiterschalter zum Schalten mittlerer bis großer Ströme eingesetzt. Bedingt durch ohmsche Verluste im Halbleiter steigt dessen Temperatur während der Einschaltdauer an und fällt nach dem Ausschalten wieder ab. Aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der verwendeten Materialien entstehen bei jedem derartigen Temperaturzyklus mechanische Spannungen im Bauteil, die mit der Zeit zu einer Degradation und schließlich zum Ausfall führen.

Um das Ausfallverhalten von Leistungsschaltern bzw. ganzer Module zu untersuchen und zu charakterisieren, sind Lastwechselprüfstände erforderlich, die diese Belastung möglichst gut nachbilden und durch Messung bestimmter Bauteileparameter aussagekräftige Lebensdauerdaten zur Verfügung stellen.

Die Arbeit führt zunächst in die wesentlichen Grundlagen einer möglichen Lastwechselprüfung ein und entwickelt darauf aufbauend ein Konzept zu ihrer praktischen Realisierung durch den modular aufgebauten, aktiven Lastwechseltester.

Den zweiten Teil der Arbeit bildet die Entwicklung einer intelligenten Messeinschubkarte für Lastwechseltester, die die interessierenden Lebensdauerdaten der Prüflinge über unterschiedliche Messverfahren ermittelt. Sie ist mit dem übrigen Testsystem über einen geeigneten Datenbus verbunden. Die Schwerpunkte bilden der Entwurf des Schaltplans der Messkarte, die Realisierung eines Prototyps und die Implementierung von Software für den eingesetzten Mikrocontroller, der sowohl die Steuerung und Busanbindung als auch die Signalverarbeitung auf der Messeinschubkarte erledigt.

Abschließend erfolgt eine elektrische Charakterisierung der analogen Schaltungen und der zugehörigen Signalverarbeitung auf der Messkarte.

5.2.6 Hochfrequenztechnische Charakterisierung von SiC-JFETs und deren Untersuchung in einem Gegentaktoszillator

(Diplomarbeit von Johannes Hippeli)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit Hilfe von Siliciumcarbid-Sperrschichtfeld-effekttransistoren (SiC-JFETs) ein Gegentaktoszillator bei 13 MHz entworfen und realisiert. Grundlage für die simulative Berechnung der Schaltungen war ein eigens erstelltes "SPICE"-Modell des Transistors, welches aus den charakterisierten Kennlinien approximiert wurde. Teilweise war es notwendig, eigene Mess-Schaltungen zur Aufnahme einzelner Kennlinien zu entwerfen. Zur Verifikation wurden stets Referenzmessungen mit einem bekannten Transistor vorgenommen. Das Ergebnis der Charakterisierung und Modellbildung des SiC-JFETs ist ein Ersatzschaltbild, welches die Ein- und Ausgangskennlinie sowie die Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien in den relevanten Wertebereichen wiedergibt.

Im weiteren Verlauf wurde ein Konzept vorgestellt, mit dessen Hilfe Oszillatorschaltungen berechnet und bezüglich der Ausgangsleistung sowie des Wirkungsgrads optimiert werden können. Basierend auf der Grundschialtung eines Meissner-Oszillators wurde das Konzept anschließend auf einen Gegentaktoszillator übertragen. Eine erste Verifikation dieses Vorgehens erfolgte durch den Vergleich eines leistungsschwächeren Gegentaktoszillators mit dem Aufbau. Als Grundlage diente ein kommerzieller BF862-JFET, dessen "SPICE"-Modell ebenfalls erhältlich war. Die Auswertung ergab eine sehr gute Übereinstimmung.

Bei der Optimierung des Leistungsoszillators mit SiC-JFETs ergab sich aus den Berechnungen, dass dieser Transistor einige Eigenschaften besitzt, die ihn für eine frei schwingende Oszillatorschaltung mit Selbsteinstellung des Arbeitspunktes eher ungeeignet machen. Zum einen konnte nur ein schlechter Wirkungsgrad erreicht werden, was die Ausgangsleistung aus thermischen Gründen stark begrenzt. Als Ursache konnte das schlechte Verhältnis der Einsatzspannung zur Durchbruchspannung der Gate-Source-Diode ausgemacht werden, welches für einen großen Stromflusswinkel des Transistors sorgt. Zum anderen kann wegen der geforderten niederohmigen Lastimpedanz und einer begrenzt kleinen Bauform der Schwingkreisspule nur eine geringe Güte erreicht werden. Lösungsvorschläge, um diese beiden Eigenschaften zu kompensieren, wurden in dieser Arbeit vorgestellt.

Abschließend wurde unter Einhaltung von Kompromissen ein optimierter Gegentaktoszillator mit SiC-JFETs aufgebaut und gemessen. Alle praktischen Erfahrungen und die Schwierigkeiten des Aufbaus wurden dokumentiert. Der Vergleich von Berechnung und Messung des Aufbaus verifiziert wegen der guten Übereinstimmung das erstellte "SPICE"-Modell für die SiC-JFETs.

5.3 Promotionen

5.3.1 Untersuchung von Ausheilverfahren für Aluminium-implantierte Schichten in 4H-Siliciumcarbid

(Martin Rambach)

Thema dieser Dissertation ist die Entwicklung eines Ausheilverfahrens für Aluminium-implantierte Schichten in 4H-Siliciumcarbid mit minimaler Oberflächendegradation und gleichzeitig hohem Aktivierungsgrad der implantierten Spezies.

Eine selektive laterale Dotierung ist in Siliciumcarbid aufgrund sehr kleiner Diffusionskonstanten von Dotierstoffen nur mittels Ionenimplantation möglich. Um sowohl die bei der Implantation entstandenen Strahlenschäden auszuheilen als auch die implantierten Al-Atome auf Gitterplätzen einzubauen und somit elektrisch als Akzeptoren zu aktivieren, ist ein der Implantation folgender Ausheilschritt notwendig. Die notwendigen Ausheiltemperaturen für Aluminium-implantierte Schichten liegen im Bereich von 1700 °C. Zwei prinzipiell unterschiedliche Ausheilverfahren wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen, sowohl auf die Oberflächentopographie als auch auf die elektrischen Eigenschaften von Al-implantierten Schichten, untersucht.

In einem speziell entwickelten, hochtemperaturtauglichen Vertikalofen konnte durch gezielte Zugabe von Silan während des Ausheilvorgangs der Silicium-Partialdruck eingestellt werden. Dadurch konnte eine Verminderung der Oberflächenrauigkeit erreicht werden. Eine weitere Reduzierung der Oberflächendegradation, insbesondere bei einer Implantations-Dosis von $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, wurde durch Implantation bei Temperaturen bis 1000 °C realisiert. Die Oberflächenrauigkeit konnte dadurch um 40 % auf 12 nm reduziert werden.

Als alternatives Ausheilverfahren wurde ein Lampensystem untersucht. Die Probe wurde dazu in einen geschlossenen Tiegel gelegt. Da während des Ausheilvorgangs Material des Tiegels verdampft, konnte die die Probe umgebende Atmosphäre durch die Materialwahl des Tiegels eingestellt werden. Die geringsten Oberflächenrauigkeiten wurden bei Verwendung eines Siliciumcarbid-beschichteten Graphit-Tiegels erzielt und lagen für eine Implantationsdosis von $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ bei 5 nm. In Abb. 5.2 ist eine Messung der Oberflächentopographie mittels Rasterkraftmikroskopie einer Al-implantierten Probe, ausgeheilt für 5 min bei 1770 °C im Lampensystem, gezeigt. Die resultierende Oberflächentopographie ist auf eine Stufenbündelung (engl. step bunching) zurückzuführen.

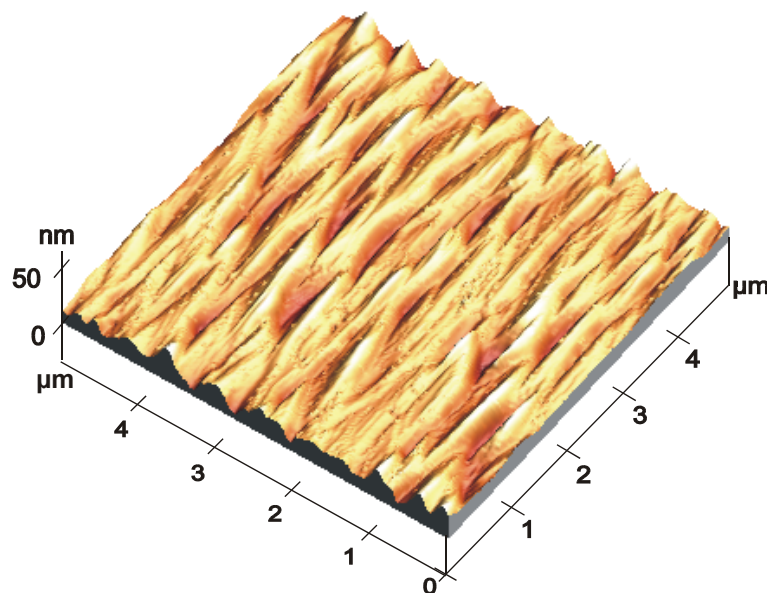


Abb. 5.2: Oberflächentopographie einer Al-Implantation mit einer Dosis von $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ nach einem Ausheilschritt im Lampensystem bei 1770 °C für 5 min

Zur elektrischen Charakterisierung implantierter Proben wird hauptsächlich auf Hall-Messungen zurückgegriffen. Die Probenpräparation und die Messdurchführung sind jedoch wesentlich aufwändiger als die Bestimmung des spezifischen Widerstands, z.B. mittels Vier-

Spitzen-Messungen. Deshalb wurde ein Modell zur Analyse des spezifischen Widerstands entwickelt. Dieses basiert auf der Neutralitätsgleichung zur Berechnung der freien Ladungsträgerdichte und einem weiterentwickelten Thomas-Caughey-Modell für die Beweglichkeit. Damit ließen sich sowohl der Aktivierungsgrad als auch der Kompensationsgrad durch temperaturabhängige Widerstandsmessungen bestimmen.

Bei gleicher Ausheiltemperatur ist im Ofensystem sowohl der Aktivierungsgrad größer als auch der Kompensationsgrad geringer als im Lampensystem. Dies liegt an der längeren Ausheildauer von 30 min für das Ofensystem, verglichen mit Zeiten zwischen 20 s bis 5 min für das Lampensystem. In Abb. 5.3 ist dies für eine Al-Implantation von $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ dargestellt.

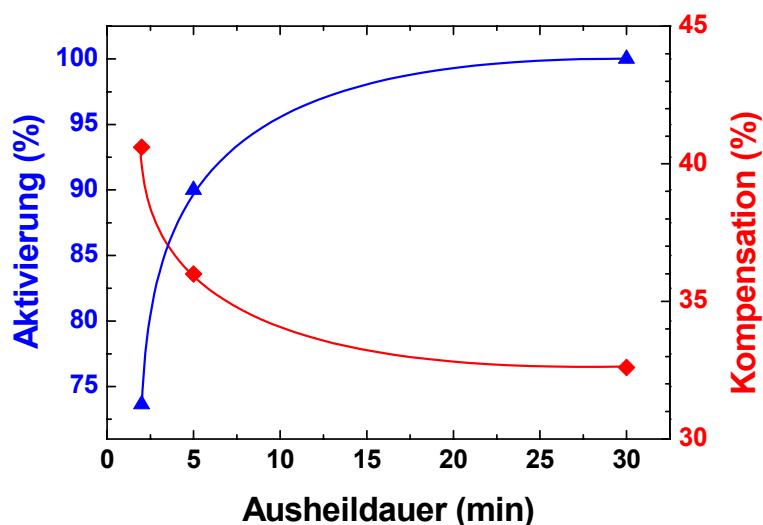


Abb. 5.3: Aktivierung und Kompensation für eine Al-Implantation von $1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, ausgeheilt bei $1700 \text{ }^\circ\text{C}$

Für Ausheiltemperaturen von $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ für 30 min konnte vollständige Aktivierung bei einem Kompensationsgrad von 33 % erreicht werden. Durch Implantationen bei Temperaturen bis $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ wurde eine weitere Reduzierung des Kompensationsgrads auf 24 % verwirklicht.

Es konnte somit eine Ausheilmethode entwickelt werden, die eine ausreichende Aktivierung von Al-Akzeptoren bei gleichzeitig geringer Oberflächendegradation gewährleistet.

5.3.2 Photostrom-Spektroskopie von Silicium im Volumen und an der Grenzfläche zu Siliciumdioxid

(Mathias Rommel)

Diese Arbeit befasst sich mit umfassenden Untersuchungen zur Injektionsabhängigkeit von Photostrom-Messungen. Mit dem konventionellen ELYMAT-Verfahren wurde die Injektionsabhängigkeit der Ladungsträgerlebensdauer von Eisen-kontaminierten bordotierten Siliciumproben experimentell ermittelt und durch zweidimensionale Simulationen verifiziert. Die dabei gewonnenen Ergebnisse sind von grundlegender Bedeutung für die ebenfalls erfolgte injektionsabhängige Charakterisierung von Isolator-Silicium-Strukturen mit einem modifizierten ELYMAT-Verfahren.

Beim ELYMAT-Verfahren wird ein laserinduzierter Diffusionsstrom I_{BPC} gemessen, der mit steigender Konzentration von Rekombinationszentren im Halbleitervolumen sinkt. Beim

modifizierten ELYMAT-Verfahren beruht die Charakterisierung der Isolator-Silicium-Struktur auf der zusätzlichen Rekombination der Ladungsträger an den Grenzflächenzuständen. Die Rekombination kann mittels einer elektrischen Spannung U_{EIS} über der Isolator-Silicium-Struktur gesteuert werden. Aus der maximalen Rekombination wird auf die Grenzflächenzustandsdichte D_{it} geschlossen. Über die Spannung, bei der maximale Rekombination auftritt, kann die Isolatorvolumenladung Q_{Is} bestimmt werden. Teststrukturen oder eine aufwändige Probenpräparation werden dabei nicht benötigt.

Bei der Bestimmung der Injektionsabhängigkeit der Ladungsträgerlebensdauer im Halbleitervolumen ist eine effektive Passivierung der Halbleiteroberfläche entscheidend. Es konnte gezeigt werden, dass die beim konventionellen ELYMAT-Verfahren verwendete Oberflächenpassivierung durch 1%ige Fluss-Säure nicht effektiv genug ist, während die Lebensdauern mit Hilfe der elektrostatischen Passivierung des modifizierten ELYMAT-Verfahrens im gesamten Injektionsbereich sehr genau bestimmt werden können. Gerade bei niedriger Injektion kann dieser Effekt selbst mit natürlichem Oxid als Isolator genutzt werden (siehe Abb. 5.4).

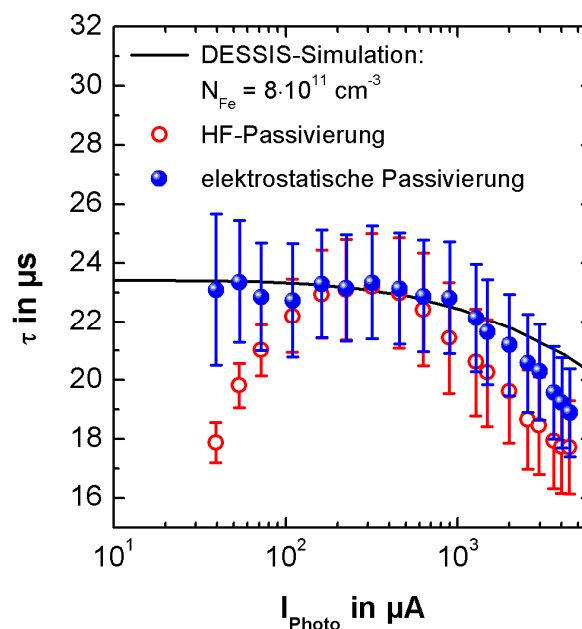


Abb. 5.4: *Injektionsabhängigkeit der Lebensdauer: Vergleich der elektrostatischen Passivierung bei Messung mit dem modifizierten ELYMAT-Verfahren unter Verwendung des natürlichen Oxids als Isolator und der Oberflächenpassivierung mit 1%iger HF beim konventionellen ELYMAT-Verfahren. Zusätzlich als Linie mit eingezeichnet sind Simulationsergebnisse mit angepasster Eisenkonzentration N_{Fe}*

Die Lebensdauerspektroskopie an Eisen-kontaminierten Siliciumproben mit dem ELYMAT-Verfahren ist an Proben mit unterschiedlicher Dotierungs- und Eisenkonzentration untersucht worden, wobei die Eisenkontamination gezielt entweder mittels "spin-on"-Verfahren oder Ionen-Implantation und einem nachfolgenden Diffusionsschritt erfolgte. Die Modellierung der Messergebnisse ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation. Erstmals konnten dabei beide ELYMAT-Messmodi (BPC- und FPC-Modus) konsistent charakterisiert werden (siehe Abb. 5.5). Speziell konnte der Anstieg der effektiven Lebensdauern mit steigender Laserleistung bei Extraktion des photoinduzierten Diffusionsstroms auf der dem Laser zugewandten Scheibenoberfläche (FPC-Modus) auf einen zunehmenden

Driftstromanteil zurückgeführt werden. Die Einfangkoeffizienten der bei Eisenkontamination existierenden relevanten Energieniveaus wurden dabei nicht angepasst, sondern unabhängig an Hand von in der Literatur veröffentlichten Messdaten ermittelt. Bei Berücksichtigung beider Zustände des Eisen-Bor-Paares und des Energieniveaus von interstitiellem Eisen können alle in der Literatur veröffentlichten und die hier gewonnenen Ergebnisse mit dem ermittelten Koeffizientensatz korrekt modelliert werden. Bei ausschließlicher Kontamination mit Eisen kann daher die Eisenkonzentration bei Anwendung der elektrostatischen Passivierung mit dem ELYMAT-Verfahren genau bestimmt werden.

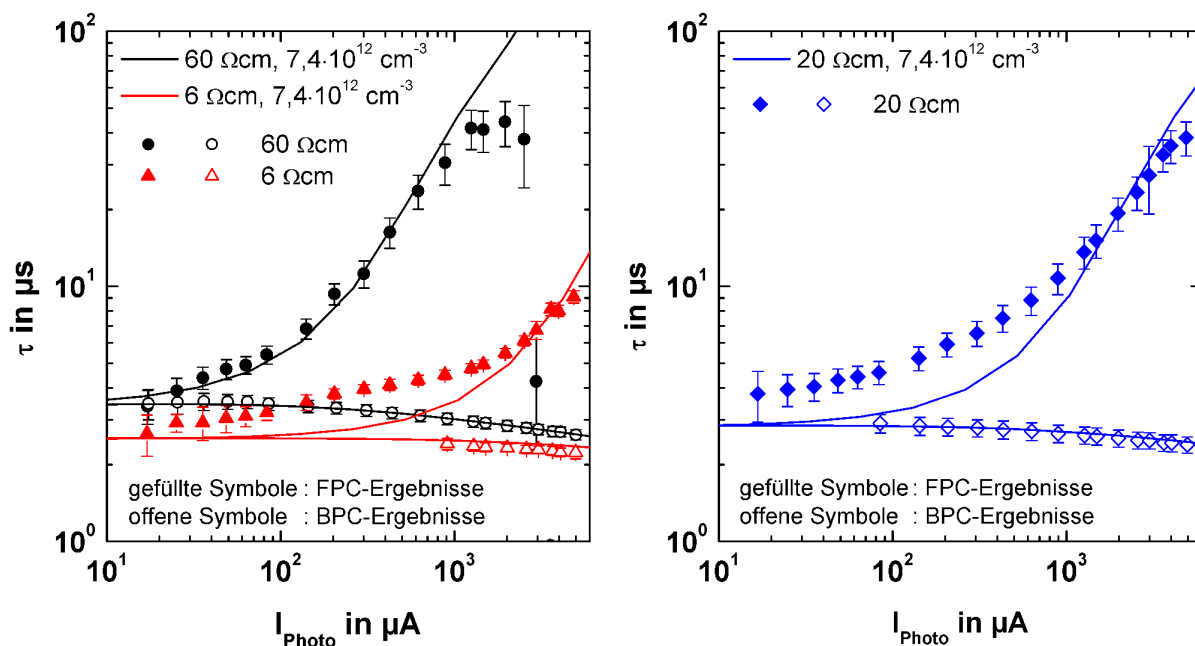


Abb. 5.5: Vergleich von FPC- und BPC-Lebensdauern für Proben mit einem spezifischen Widerstand von 6 Scm sowie 60 Scm (links) bzw. 20 Scm (rechts) bei unterschiedlicher Laserleistung I_{Photo} . Zusätzlich als Linien mit eingezeichnet sind Simulationsergebnisse mit angepassten Eisenkonzentrationen N_{Fe} (N_{Fe} ist in der Legende angegeben)

In dieser Arbeit ist es erstmals gelungen, mit dem modifizierten ELYMAT-Verfahren quantitativ die Grenzflächenzustandsdichte D_{it} und die Isolatorvolumenladung Q_{Is} von Isolator-Silicium-Strukturen zu bestimmen. Die dazu vorgestellten Auswerteverfahren beruhen auf einer hier entwickelten, physikalisch begründeten Modellierung der Ladungsträgerrekombination an Grenzflächenzuständen bei beleuchteten Elektrolyt-Isolator-Silicium-Strukturen. Die Modellierung erlaubt es, die beim modifizierten ELYMAT-Verfahren gemessene Abhängigkeit des photoinduzierten Diffusionsstroms von der Grenzflächenrekombination über den gesamten Injektionsbereich des Messgerätes mit guter Übereinstimmung zu beschreiben (siehe Abb. 5.6). Dies ist durch Messungen an einer Vielzahl von thermisch oxidierten Siliciumproben mit unterschiedlichen Oxiddicken bzw. nachfolgenden Temperschritten gezeigt worden. An Hand der Ergebnisse konnten dabei optimierte Messbedingungen für das modifizierte ELYMAT-Verfahren bestimmt werden. Für die Empfindlichkeit des modifizierten Verfahrens hinsichtlich der Bestimmung der Grenzflächenzustandsdichte kann für Proben mit hoher Volumenlebensdauer ein Wert von ca. $1\text{-}5 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ abgeschätzt werden.

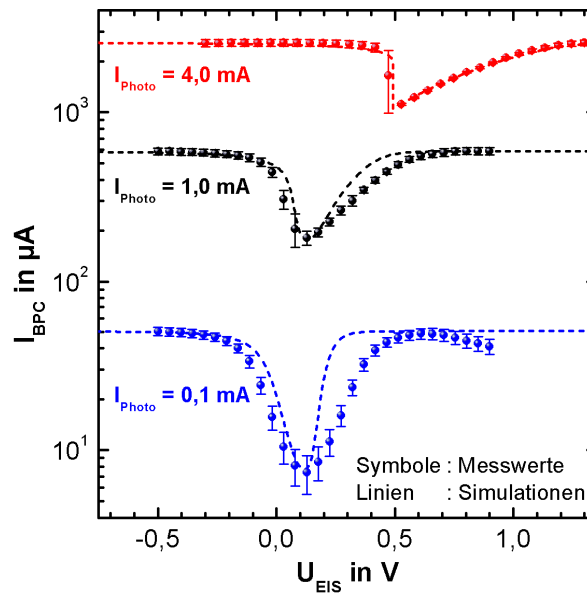


Abb. 5.6: Vergleich zwischen gemessenen (Symbole) und simulierten (Linien) $I_{BPC}(U_{EIS})$ -Kurven bei unterschiedlichen Photoströmen I_{Photo}

Die mit dem modifizierten ELYMAT-Verfahren ermittelten Werte für D_{it} und Q_{Is} stimmen sehr gut mit Messergebnissen von etablierten Messverfahren (Konduktanz- bzw. Kapazitäts-Spannungs-Verfahren) an Vergleichsproben überein (siehe Abb. 5.7). Die für die quantitative Bestimmung von D_{it} und Q_{Is} benötigten Werte für die Parameter der physikalischen Modellierung konnten ebenfalls experimentell bestimmt bzw. verifiziert werden. Somit konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass das modifizierte ELYMAT-Verfahren sehr gut für die exakte und schnelle Prozesskontrolle von Oxidationsprozessen geeignet ist.

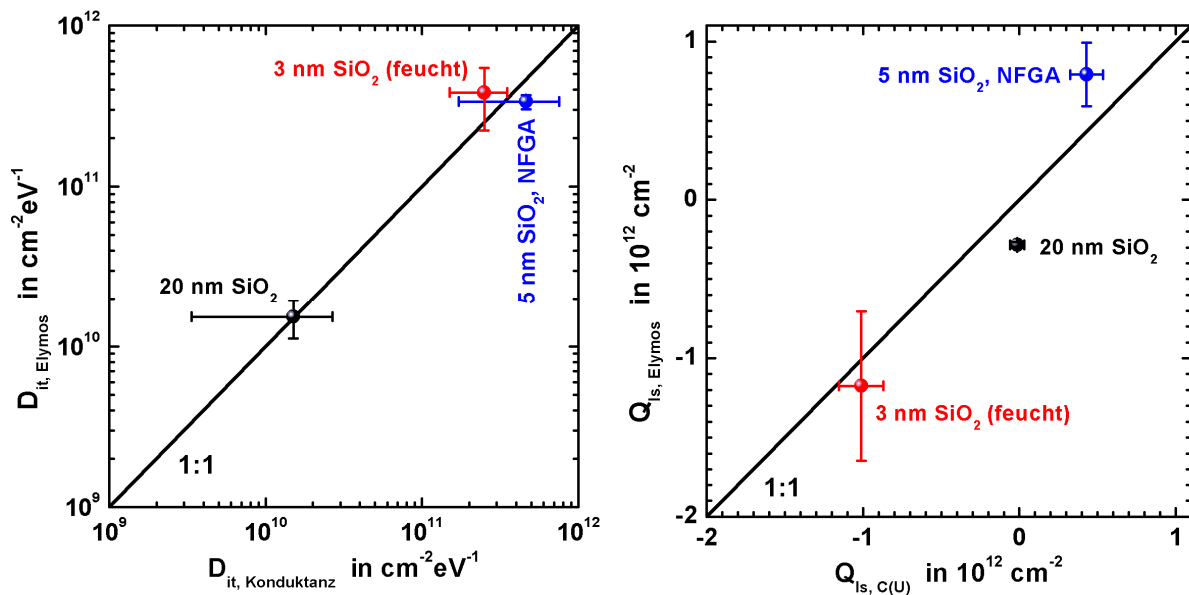


Abb. 5.7: Mit dem modifizierten ELYMAT-Verfahren ermittelte Oxidparameter im Vergleich mit Ergebnissen von konventionellen Messverfahren: Grenzflächenzustandsdichte (links) und Oxidvolumenladung (rechts)

5.3.3 Mesoskopische Simulation der Photolackbearbeitung in der optischen Lithographie

(Thomas Schnattinger)

Die anhaltende Verkleinerung von Halbleiterbauelementen erfordert unter anderem eine Verringerung von Schwankungen bei den Abmessungen der einzelnen Bestandteile. Dies ist besonders bei Transistorgates wichtig. Schwankungen der Gatebreite verursachen eine erhöhte Streuung der Einsatzspannung, der Signallaufzeit sowie des Sättigungsstroms. Am schwerwiegendsten ist der resultierende Anstieg des durchschnittlichen Leckstroms von Transistoren. In Abb. 5.8 ist eine Prognose der künftig zulässigen Linienbreitenschwankungen von Transistorgates für dynamischen Speicher mit wahlfreiem Zugriff (engl. Dynamic Random Access Memory, DRAM) dargestellt.

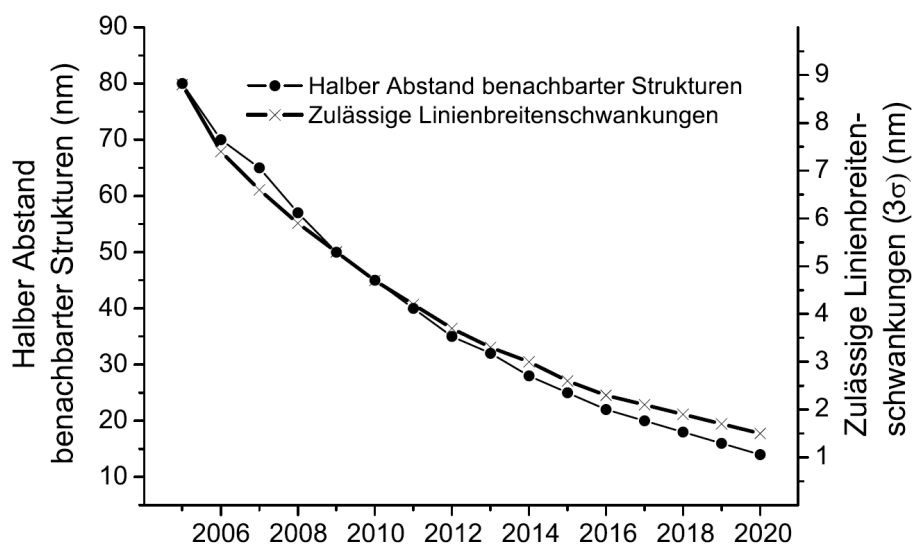


Abb. 5.8: Aktuelle und vorhergesagte Werte für den halben Abstand benachbarter Transistorgates in der DRAM-Massenproduktion sowie die jeweils zulässigen Linienbreitenschwankungen für lithographisch hergestellte Strukturen. Dargestellt ist die Vorhersage der International Technology Roadmap for Semiconductors aus dem Jahr 2006

Das Erreichen der für zukünftige Technologien spezifizierten Toleranzen ist ein für die Massenproduktion noch ungelöstes Problem. Einer der Prozess-Schritte, der entscheidend für die resultierenden Linienbreitenschwankungen ist, ist dabei die optische Lithographie. Sie wird eingesetzt, um eine Photolackstruktur auf einer Halbleiterscheibe zu erzeugen. Der strukturierte Photolack ermöglicht selektives Ätzen oder selektive Ionenimplantation der Halbleiterscheibe.

Aus Experimenten ist der Einfluss zahlreicher lithographischer Prozess- und Materialeigenschaften auf die resultierenden Linienbreitenschwankungen im Photolack bekannt. Unterschiedliche Zusammensetzungen der Polymerketten führen zu deutlichen Unterschieden in den resultierenden Schwankungen. Jedoch konnte experimentell keine Gesetzmäßigkeit über den Zusammenhang zwischen Polymerketteneigenschaften und Linienbreitenschwankungen gefunden werden. Der Kontrast des Bildes, das für die Photolackbelichtung verwendet wird, ist hingegen stark mit den resultierenden Linienbreitenschwankungen korreliert. Ein höherer Bildkontrast reduziert die Schwankungen. Es ist auch bekannt, dass die Basenkonzentration

im Photolack und die Diffusionslänge der Säuremoleküle einen erheblichen Einfluss auf die Schwankungen haben. Jedoch weist keiner der beiden zuletzt genannten Faktoren einen monotonen Zusammenhang mit den Linienbreitenschwankungen im Photolack auf. Es bestehen zudem mehrere Zielkonflikte zwischen der Reduzierung von Linienbreitenschwankungen und den Prozesskosten. Deshalb müssen bei der Material- und Prozessoptimierung zahlreiche Nebenbedingungen berücksichtigt werden. Beispielsweise kann eine Erhöhung der Basenkonzentration im Photolack die Schwankungen verringern, aber sie reduziert gleichzeitig den Durchsatz bei der Belichtung der Halbleiterscheiben.

Mit kleineren Strukturgrößen und geringeren zulässigen Prozess-Schwankungen wird die Entwicklung, Optimierung und Kontrolle von Lithographieprozessen eine zunehmend schwierigere Aufgabe. Zusammen mit den hohen Kosten (aktuelle Geräte zur Photolackbelichtung kosten 25 Millionen US-Dollar oder mehr) und der eingeschränkten Flexibilität der im Lithographieprozess eingesetzten Geräte, führt dies zu einem zunehmenden Einsatz von Software zur Simulation des Lithographieprozesses. Nach Schätzungen der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) aus dem Jahr 2006 kann die Verwendung von Simulationssoftware die Technologieentwicklungskosten bei der Halbleiterherstellung um bis zu 40 Prozent senken.

Allerdings existieren noch keine Modelle, die eine zufriedenstellende Vorhersage der Linienbreitenschwankungen im Photolack erlauben. Alle kommerziell verfügbaren Modelle basieren auf kontinuierlichen und deterministischen Ansätzen. Deshalb können sie nicht die Schwankungen vorhersagen, die von der diskreten Photolackzusammensetzung und den von Natur aus stochastischen Bearbeitungsschritten verursacht werden. Trotz des in den letzten Jahren zunehmend besseren Verständnisses der Ursachen der Linienbreitenschwankungen berücksichtigen alle bislang vorgeschlagenen mesoskopischen (d.h. diskreten und stochastischen) Modelle nur einzelne Faktoren, die die Schwankungen beeinflussen. Keines der vorgeschlagenen Modelle wurde bislang quantitativ mit experimentellen Daten hinsichtlich der vorhergesagten durchschnittlichen Linienbreite verglichen. Weiterhin benötigen viele der vorgeschlagenen Modelle Parameter zur Beschreibung der Photolackeigenschaften auf molekularer Ebene. Für diese Parameter existieren noch keine Messverfahren.

In dieser Arbeit wurden neue mesoskopische Modelle zur Photolacksimulation entwickelt. Die neuen Modelle benötigen - im Vergleich zu den etablierten makroskopischen Modellen - nur wenige zusätzliche Parameter. Es wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, der eine überlappungsfreie Darstellung der Polymerketten für die Photolackbeschreibung erzeugt. Das neu entwickelte Modell zur Simulation der Belichtung ist mathematisch äquivalent zu bisher vorgeschlagenen Modellen, bietet aber eine wesentlich einfachere Beschreibung: Es konnte bewiesen werden, dass eine rechenzeitaufwändige Beschreibung der Poissonverteilung der Photonenabsorption (des sog. "shot noise") nicht notwendig ist. Entgegen der in der Literatur verbreiteten Ansicht konnte damit gezeigt werden, dass die durchschnittlich bei der Belichtung absorbierte Photonenanzahl keinen unmittelbaren Einfluss auf die Linienbreitenschwankungen hat. Für die Simulation des Ausheizens nach der Belichtung wurden existierende Methoden für die mesoskopische Beschreibung gekoppelter Reaktions- und Diffusionsprozesse an die Bedingungen des Lithographieprozesses angepasst. Dadurch wurde eine Verringerung der Rechenzeit und des Speicherbedarfs erreicht. Die neue Beschreibung des Photolackentwicklungsprozesses kombiniert eine überlappungsfreie Darstellung der Polymere im Photolack mit kalibrierten Entwicklungsraten. Dies gestattet eine Beschreibung des Polymerlösungsverhaltens, die konsistent mit kalibrierten makroskopischen Ratenmodellen ist und gleichzeitig die spezifischen Polymereigenschaften berücksichtigt. Die mit mesoskopischen Modellen simulierten Profildaten erfordern noch eine Nachbearbeitung, um eine automatische Auswertung zu ermöglichen. Dazu wurde ein effizienter Algorithmus entwickelt und implementiert, um die Position der Oberfläche des entwickelten Photolacks zu bestimmen. Die

neuen Modelle erlauben erstmals sowohl eine Vorhersage der durchschnittlichen Linienbreiten der Photolackprofile als auch von deren Rauigkeit. In Abb. 5.9 ist ein mit den neuen mesoskopischen Modellen simuliertes Photolackprofil dargestellt.

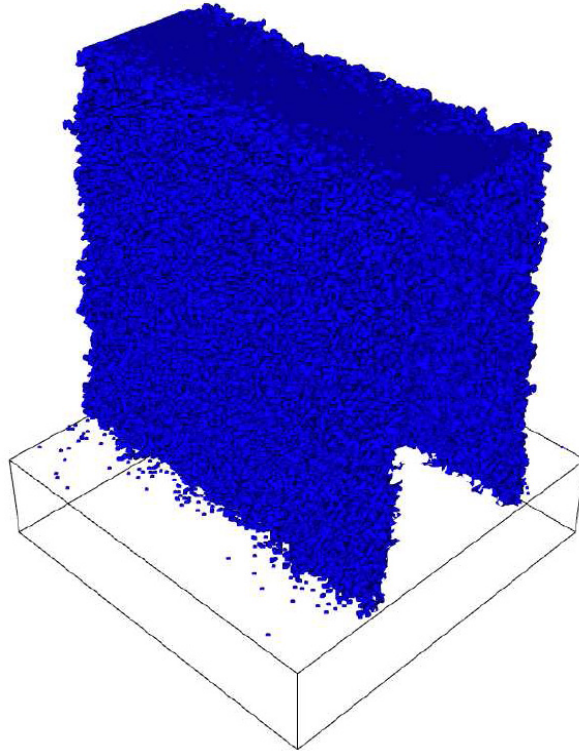


Abb. 5.9: *Photolackprofil nach der mesoskopischen Simulation von Belichtung, Ausheizen und Entwicklung*

Mit den neuen Modellen wurde der Einfluss von Prozess- und Photolackeigenschaften auf die Linienbreitenschwankungen untersucht. Dabei ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung mit experimentellen Daten aus der Literatur.

6 Forschung

6.1 Beispiele aus der Forschung

6.1.1 "Verteilung, Segregation und Dosisverlust von Dotieratomen in Dekanometer-Strukturen"

(Christian Steen)

Das DFG-Projekt "Oberflächensegregation" war Teil eines international angelegten Forschungsprojekts. Ziel des Projekts am LEB war die Erstellung und Evaluierung eines kinetischen Modells, das die Segregation von Arsen und Antimon an der Grenzfläche SiO_2/Si beschreibt. Erstmals wurde dafür zur Charakterisierung des Konzentrationsprofils an der Grenzfläche im Subnanometerbereich die Methode der winkelaufgelösten Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie (GI-XRF), gekoppelt mit Ätzen und Stufenhöhenmessungen im Subnanometerbereich, angewendet. Ergänzt wurden die Untersuchungen des LEB durch *ab-initio* Rechnungen und elektronenmikroskopische Untersuchungen der amerikanischen Partner an der Ohio State University und der North Caroline State University sowie anderen internationalen Kooperationen.

Mittels der elektronenmikroskopischen Untersuchungen war es möglich, das Konzentrationsprofil im Bereich der Grenzfläche im Subnanometerbereich aufzulösen, ohne dass die Messung durch Sputter- oder Matrixeffekte, wie beispielsweise bei der Sekundärionenmassenspektroskopie, beeinflusst wird. Es stellte sich allerdings heraus, dass diese Methode auf hoch dotierte Proben beschränkt ist, da die Nachweisgrenze der Elektronenenergieverlust-Messungen für As etwa bei 10^{20} cm^{-3} liegt. Mittels der winkelaufgelösten Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie, gekoppelt mit Ätzen und Stufenhöhenmessungen, war es möglich, die Flächenkonzentration der Dotieratome an der Grenzfläche sowie die Konzentration unter der Grenzfläche zu bestimmen. Aufgrund der deutlich besseren Nachweisgrenze war es mit dieser Methode möglich, Proben mit einer As-Konzentration von $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ zu charakterisieren. Da sich bei der Modellentwicklung herausstellte, dass für das Modell die elektrisch aktive Konzentration entscheidend ist, wurden ergänzend Vier-Spitzen-Widerstandsmessungen an den geätzten Proben durchgeführt.

Zusätzlich zu den winkelaufgelösten Röntgenfluoreszenz-Messungen wurden Stufenhöhenmessungen mit einem Interferometrie-Profilometer an Grabenstrukturen durchgeführt, wodurch die Breite der segregierten As-Schicht an der Grenzfläche bestimmt werden konnte. Es stellte sich heraus, dass die Breite der segregierten Schicht mit der Konzentration zunimmt, d.h. die Dotieratome sammeln sich an der Grenzfläche nicht - wie bisher oft angenommen - in einer Monolage an, sondern in einer bis zu 3 nm dicken Schicht, abhängig von der As-Konzentration. Die Stufenhöhenmessungen in Kombination mit den GI-XRF-Messungen erlaubten auch die Rekonstruktion des Dotieratomprofils an der Grenzschicht. Der Vergleich zwischen Ergebnissen der elektronenmikroskopischen Untersuchungen und GI-XRF-Messungen in Abb. 6.1 zeigt die exzellente Übereinstimmung der beiden Methoden.

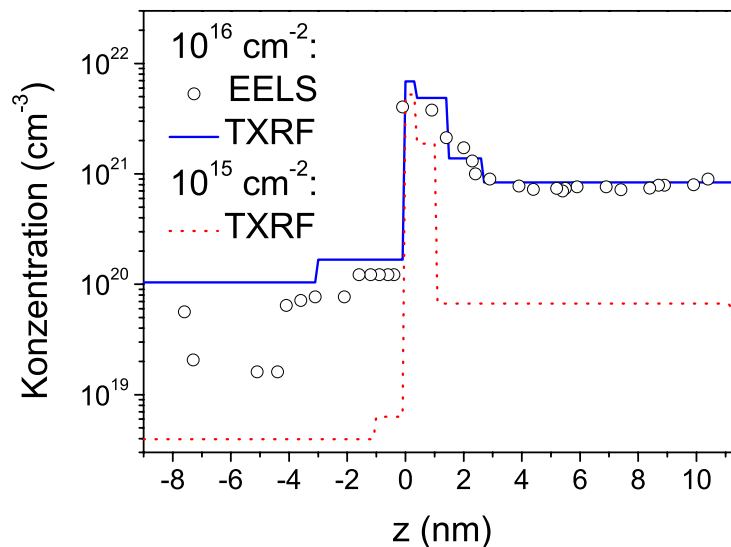


Abb. 6.1: Vergleich der Ergebnisse elektronenmikroskopischer Untersuchungen (EELS) mit denen der GI-XRF-Analyse an einer mit 10^{16} cm^{-2} As-implantierten und bei $900 \text{ }^\circ\text{C}$ für 6 Stunden ausgeheilten Probe. Zum Vergleich ist auch das Ergebnis für eine Dosis von 10^{15} cm^{-2} abgebildet

Anhand der experimentellen Daten konnte ein Modell entwickelt werden, das den Verlauf der Flächenkonzentration der Dotieratome an der Grenzfläche als Funktion der Konzentration der aktiven Dotieratome unter der Grenzfläche beschreibt. Dabei wird angenommen, dass sich die Dotieratome als neutrale Defekte an der Grenzfläche ansammeln und im Gleichgewicht mit positiv geladenen Dotieratomen und freien Elektronen unter der Grenzfläche stehen. Abb. 6.2 zeigt einen Vergleich zwischen den experimentellen Daten und den Vorhersagen des Modells.

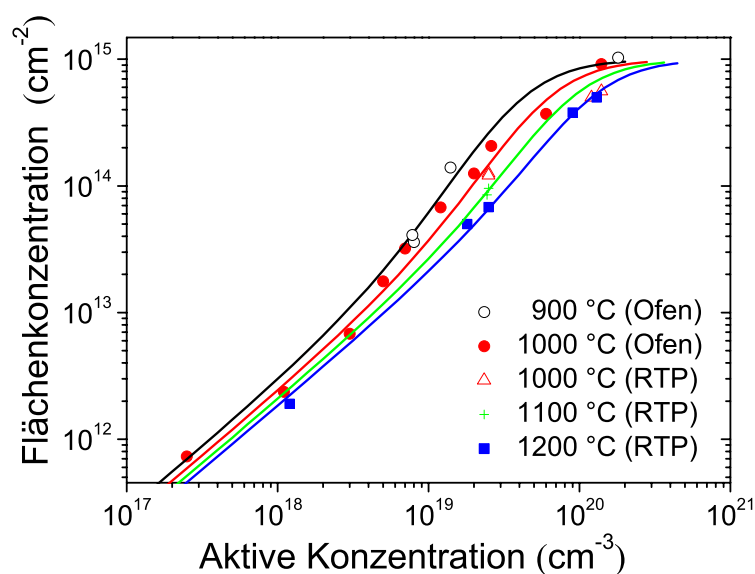


Abb. 6.2: Flächenkonzentration von As an der Grenzfläche als Funktion der aktiven As-Konzentration unter der Grenzfläche für unterschiedliche Temperaturen. Die Linien sind die Vorhersagen des Modells

6.1.2 Simulationsmodelle zur Beschreibung von Lithographieprozessen mithilfe von Mask Alignern

(Peter Bálint Meliorisz)

Zur Übertragung von Strukturen im Bereich weniger Mikrometer bieten so genannte Proximity-Aligner eine kostengünstige Alternative zu den teuren Projektionsoptiken. 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. Allerdings lassen sich die Proximity-Aligner mit derzeit existierenden Werkzeugen zur Lithographiesimulation nicht beschreiben.

Die Simulation von Projektionsbelichtungen basiert bislang auf Fernfeld- bzw. Fraunhofer-Beugung, bei der die Fourier-Transformation einen direkten Zusammenhang zwischen Maske und gebeugtem Feld liefert. Für Nahfeldbeugung, die den maßgebenden Effekt bei Proximity- und Kontaktbelichtung darstellt, existiert allerdings keine einfache Verbindung zwischen Maskengeometrie und Feld. Nahfeldprofile können im Allgemeinen nur mit zeitaufwändigen rigorosen elektromagnetischen Algorithmen berechnet werden. Bei Proximity-Alignern wird die Maske mit breitbandigem und teilkohärentem Licht beleuchtet. Die daraus resultierenden Effekte lassen sich durch inkohärente Überlagerung der Beugungsmuster für mehrere Lichtwellenlängen und Einfallrichtungen beschreiben. Für eine konkrete Implementierung bedeutet das, dass die gleichen Rechenschritte mit unterschiedlichen Parametern mehrmals wiederholt werden müssen, was die Rechenzeit weiter in die Höhe treibt. Um zumutbare Rechenzeiten zu erzielen, ist also die Anwendung einer zuverlässigen approximativen Methode unverzichtbar.

Die vollständige Simulation der Kontakt- und Nahfeldbelichtung umfasst die folgenden Schritte: Zuerst wird das Intensitätsprofil für senkrecht einfallendes monochromatisches Licht berechnet. In der Praxis wird normalerweise eine Quecksilberdampfampe als Quelle benutzt, die teilkohärentes, breitbandiges und unpolarisiertes Licht ausstrahlt. Um Teilkohärenz zu berücksichtigen, stehen prinzipiell zwei Methoden zur Verfügung: Bei der einen (rigorösen) Methode werden Intensitätsprofile für mehrere Wellenlängen und Einfallrichtungen erzeugt und die Ergebnisse inkohärent aufsummiert. Die zweite Methode basiert auf der Näherung, wonach die Änderung des Einfallswinkels lediglich einer lateralen Verschiebung des Beugungsmusters entspricht. Bei der letzteren Methode wird das teilkohärente Profil durch eine Faltungsoperation aus der für senkrecht einfallendes Licht berechneten Intensitätsverteilung generiert. Werden nun die bisherigen Schritte mit allen charakteristischen Wellenlängen des Belichtungsspektrums wiederholt, die Intensitäten mit den entsprechenden Gewichtungsfaktoren multipliziert und aufsummiert, entsteht das gesuchte Luftbild für teilkohärente *und* breitbandige Belichtung. Für praktische Zwecke ist vor allem die Intensitätsverteilung im Photolack interessant. Dazu werden die aus dem Diffraktionsmodell resultierenden Ergebnisse mittels der sogenannten Transfermatrix-Methode auf den Photolack bzw. die darunterliegenden Schichten übertragen. Die abschließenden Schritte sind die Simulation des Ausheizzschrittes nach dem Belichten (engl. post-exposure bake, PEB) sowie die Entwicklung und Analyse des Resistprofils. Dies wird durch Ankopplung des implementierten Verfahrens an die am Fraunhofer IISB entwickelte Simulationssoftware "Dr.LiTHO" durchgeführt.

Basierend auf der skalaren Diffraktionstheorie konnte eine sehr zeiteffiziente Methode für die Simulation von Proximity- und Kontaktbelichtung entwickelt werden. Die Methode arbeitet im Frequenzraum, was zwei Vorteile bietet. Einerseits lassen sich die auftretenden Faltungsintegrale durch eine einfache Multiplikation ersetzen, andererseits ist die Feldzerlegung in ebene Wellen für die Berechnung der winkelabhängigen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten auf jeden Fall notwendig. Räumliche Intensitätsprofile werden mittels schneller

Fourier-Transformation (FFT) berechnet. Die skalare Diffraktionstheorie arbeitet mit einer infinitesimal dünnen Maske, bei der die optischen Materialeigenschaften der Maske keine Rolle spielen. Da es sich um eine skalare Theorie handelt, können Polarisierungseffekte auch nicht berücksichtigt werden. Trotz der relativ groben Vereinfachungen des Modells ist die Übereinstimmung mit den Resultaten rigoroser Berechnungen gut. Im Fall von teilkohärenter breitbandiger Belichtung und einer üblichen Quelle (Quecksilberdampfampe) liegt der Fehler bei Luftbildern unter 2%. Die Diskrepanz zwischen den rigoros bzw. näherungsweise errechneten Resistprofilen ist noch viel geringer und liegt im Promillebereich.

Der Vergleich von Simulationen und Experimenten erfolgte in Kooperation mit der Fachhochschule Vorarlberg. Simulierte Resistprofile stimmen mit den Versuchsergebnissen gut überein, wie es auch aus den folgenden Abbildungen ersichtlich ist. Abb. 6.3 zeigt experimentelle bzw. simulierte Resistprofile in einer 400 nm-Linien / Grabenstruktur.

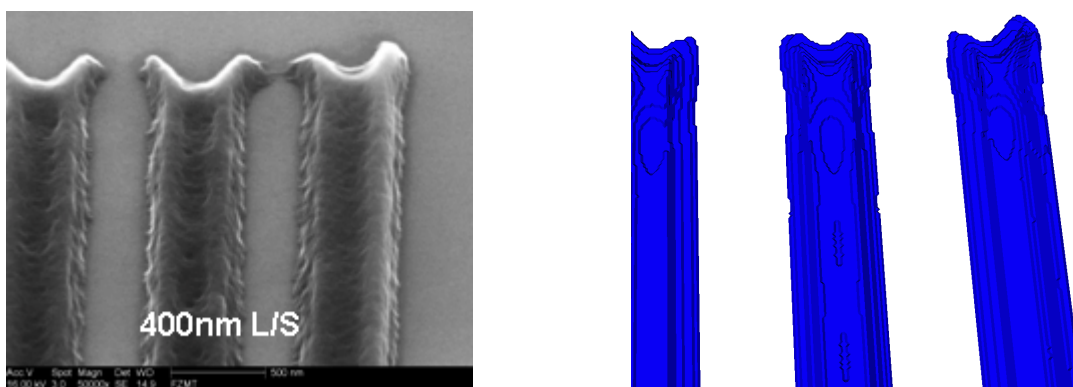


Abb. 6.3: Vergleich experimenteller (links) und simulierter (rechts) Photolackprofile in einer 400 nm-Linien / Grabenstruktur

Hierbei wurden Vakuumkontakt, breitbandige Belichtung und eine Resistdicke von 360 nm angewendet. Die typischen V-förmigen Linienenden, hervorgerufen durch die spezifische Intensitätsverteilung (Beugung) unterhalb der Maske, sind deutlich zu sehen. Die Diffraktion ist verantwortlich auch für den typischen "M-förmigen" Querschnitt der Resistprofile (Abb. 6.4).

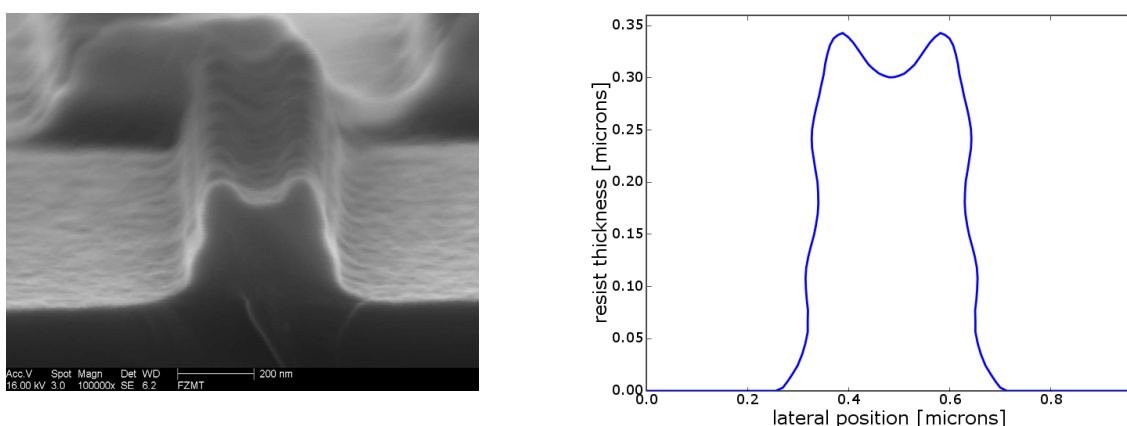


Abb. 6.4: "M-förmiger" Querschnitt der Photolackprofile im Experiment (links) und in der Simulation (rechts)

6.1.3 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 <http://www.sfb694.forschung.uni-erlangen.de>.

Teilbereich B4 SFB 694, Motorintegrierte Leistungselektronik: Strukturflexibel mechanisch integrierbare passive elektronische Bauelemente

(Sven Egelkraut)

Ziele

Das Ziel des Teilprojekts B4 ist es, magnetische Werkstoffe auf Basis gefüllter Kunststoffe zu charakterisieren und mögliche Anwendungen im Bereich der Leistungselektronik zu untersuchen. Die gewonnenen Ergebnisse sollen es ermöglichen, z.B. induktive Bauelemente eines EMV-Filters anwendungsnah, formflexibel und verlustarm in einem Demonstrator zu integrieren, der im Rahmen des SFB 694 realisiert wird. Die Demonstratorplattform ist dabei ein Elektromotor für Hybridantriebe in Kraftfahrzeugen.

Stand der Untersuchungen

In Zusammenarbeit des LEB mit dem Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen-Nürnberg werden sogenannte Kunststoffcompounds hergestellt. Diese Compounds bestehen aus einem weichmagnetischen Pulver sowie einer Polymermatrix. Anschließend an ein kunststofftechnisches Herstellungsverfahren werden die magnetischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften verschiedenster weichmagnetischer Kunststoffe untersucht, wie es beispielhaft in der Abb. 6.5 dargestellt ist. Gut zu erkennen ist, dass die weichmagnetischen Eigenschaften der Werkstoffe von verschiedenen Parametern bestimmt werden. Die im linken Diagramm dargestellte Funktion der Permeabilität in Abhängigkeit von der Frequenz wird durch den Füllstoff, den Füllgrad und die Geometrie der Füllstoffpartikel definiert. Die gewonnenen Ergebnisse sind Eingangsparameter für elektromagnetische Simulationen zukünftiger leistungselektronischer Bauelemente. Die Abbildung zeigt rechts die elektromagnetische Feldsimulation eines planaren Transformators. Als weichmagnetisches Kernmaterials wurde dabei ein kunststoffgebundenes Ferritpulver verwendet. Ziel dieser Simulationen ist es, den Verlauf der magnetischen Flussdichte auch für komplizierte Geometrien während des Designprozesses zu berechnen und somit Aussagen über die zu erwartende Verlustleistung zu

treffen. Eine mögliche Anwendung für diese Technologie stellen planare - in die Leiterplatte integrierte - induktive Bauelemente dar.

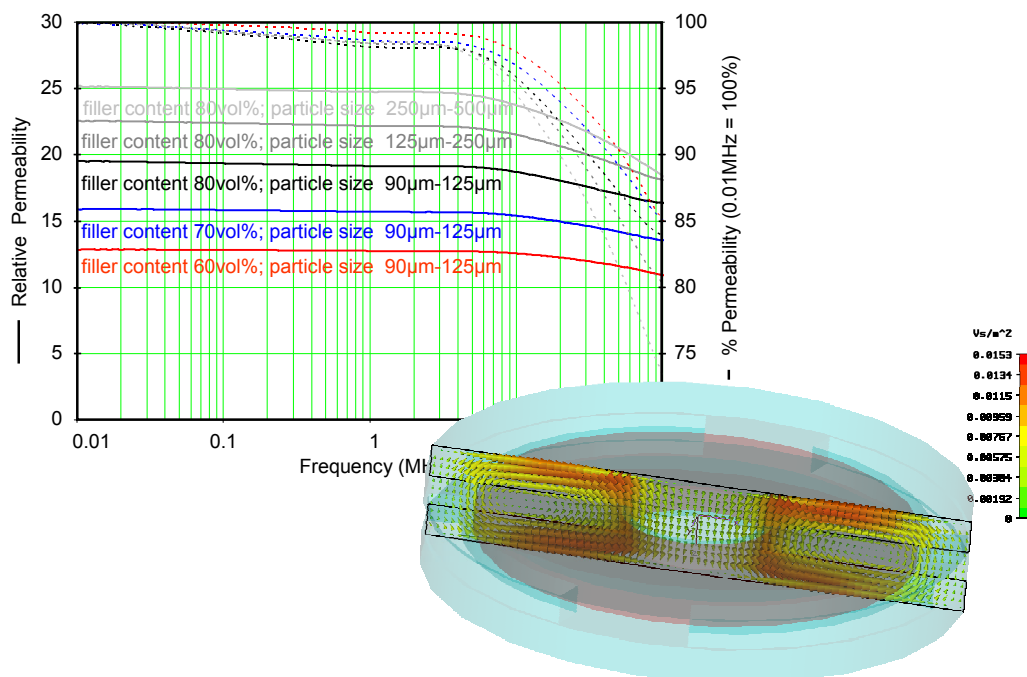


Abb. 6.5: Beispiele für die Messung der magnetischen Eigenschaften weichmagnetisch gefüllter Kunststoffe (links) und Simulation induktiver Bauelemente zum Einsatz neuer Fertigungstechnologien (rechts)

Teilbereich C4 SFB694, Integrierbare Bauelemente zur Erhöhung der Betriebssicherheit elektronischer Systemkomponenten im Automobil

(Joachim vom Dorp)

Ziele

In mobilen Systemen, wie z.B. dem Automobil, ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit der Leistungselektronik ein elementares Thema. Um die Zuverlässigkeit leistungselektronischer Systemkomponenten zu erhöhen, ist die Integration dieser Komponenten ein entscheidender Ansatzpunkt. So wird die Anzahl der Verbindungen zwischen den einzelnen Bauelementen minimiert und damit eine Hauptursache für Zuverlässigkeitsprobleme, die Aufbau- und Verbindungstechnik, reduziert. Im Teilprojekt C4 des SFB694 werden deshalb Integrationsmöglichkeiten von aktiven und passiven Leistungsbauelementen sowie von aktiven Sicherungselementen untersucht. Die zugrunde liegende Zielvorstellung ist eine wirkungsortgerechte Integration der leistungselektronischen Baugruppen zur erhöhten Betriebssicherheit des Gesamtsystems. D.h., unter den Umgebungsbedingungen, beispielsweise im Motorraum, muß ein zuverlässiger Betrieb der Baugruppen auch bei geringem Bauraum, hohen Temperaturen (100 °C bis 200 °C), Vibrationen und einer korrosiven chemischen Umgebung garantiert sein.

Methoden

Die gesetzten Ziele lassen sich nur erreichen, wenn Konzepte zur Verkleinerung und zur Flexibilisierung der Bauform und damit integrierbare Leistungsbauelemente entwickelt

werden. Durch eine Erhöhung des Integrationsgrades einzelner Bauelemente lässt sich einerseits die Baugröße verringern und andererseits die Anzahl der Einzelbauelemente reduzieren. Ein Beispiel ist die Integration von Leistungskondensatoren. Ein solcher Leistungskondensator ist in Abbildung 6.6 links schematisch dargestellt. Auf der rechten Seite wird ein Querschnitt des Kondensators als rasterelektronenmikroskopische Aufnahme gezeigt. Um eine große Kapazität mit möglichst geringem Platzverbrauch herzustellen, wird die Oberfläche durch eine dreidimensionale Strukturierung vergrößert. In einem ersten Gesamtprozess wurden Kondensatoren mit einer Lochtiefe von ca. 32 μm bei einem Lochdurchmesser von 4 μm prozessiert.

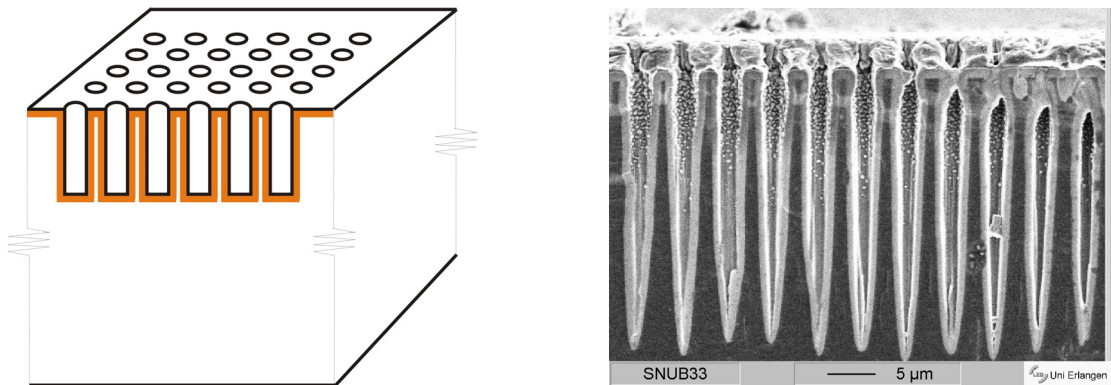


Abb. 6.6: Schematische Darstellung eines integrierbaren Leistungskondensators (links) und rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts

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 wird in der Abbildung 6.7 links in Form eines Sicherungselementes gezeigt.

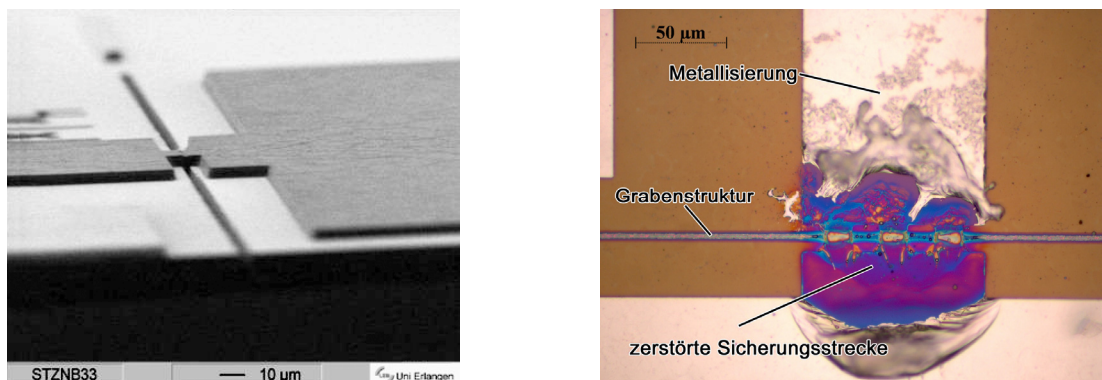


Abb. 6.7: Integrierbares Sicherungselement: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (links) und lichtmikroskopische Aufnahme eines ausgelösten Sicherungselementes (rechts)

Das Sicherungselement besteht aus einer Leiterbahnstruktur, unter der sich ein Graben befindet. Im Fehlerfall wird ein erhöhter Strom eingeprägt, 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, die Folge ist eine irreversible Trennung des Strompfades. In der Abbildung 6.7 kann man rechts ein bereits ausgelöstes Sicherungselement erkennen.

Arbeitsplan

Im ersten Arbeitspaket werden die zur Integration notwendigen Bauelemente auf ihre Zuverlässigkeit bzw. kritischen Schwachpunkte untersucht. Ihre Tauglichkeit für eine Erhöhung der Betriebssicherheit durch die monolithische bzw. hybride Integration wird analysiert und ggf. werden Vorschläge für Modifikationen entwickelt. Im zweiten Arbeitspaket werden die Integrationskonzepte für die monolithische Integration untersucht, d.h. vor allem die bei der Integration entscheidenden Isolationskonzepte verglichen. Im dritten Teil sollen die vorgeschlagenen Konzepte mittels Teststrukturen realisiert und charakterisiert werden. Im vierten und letzten Arbeitspaket wird die Ergänzung integrierter Leistungselektronik durch Sicherungsbaulemente untersucht.

6.1.4 Elektronische Bauelemente auf nanokristalliner Basis

(Sabine Walther)

Dieses Projekt zur Entwicklung von druckbarer Elektronik wird im Rahmen des Graduiertenkollegs "Disperse Systems" durchgeführt und von der DFG sowie der Evonik Industries AG (vormals Degussa) unterstützt.

Im Gegensatz zu Bauelementen für Computerchips, Steuerungen und Ähnlichem, wo die Anforderungen im Hinblick auf Dimensionierung und Schaltgeschwindigkeiten stetig steigen, gibt es auch Anwendungen, wie z.B. die elektronische Etikettierung, in denen nicht die Leistungsfähigkeit, sondern vorrangig die Herstellungskosten der entscheidende Faktor sind. Da die Standard-Silicium-Technologie eine Vielzahl von Prozess-Schritten vorsieht, die zeitaufwändig und kostenintensiv sind, ist für diesen Markt eine günstige Alternative gefragt.

Hierzu gibt es Entwicklungen auf Basis von halbleitenden Polymeren, z.B. Pentacen. Seit kurzem können integrierte Schaltungen vollständig gedruckt werden. Allerdings wird die Grenze der erreichbaren Ladungsträgerbeweglichkeit bei etwa $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ erreicht. Ein anderer ungünstiger Faktor ist die durch UV-Licht- und Feuchteempfindlichkeit begrenzte Langzeitstabilität der gedruckten Bauelemente.

Seit einigen Jahren werden daher verstärkt Forschungen zu druckbarer Elektronik auf anorganischen Halbleitern, wie Silicium, Germanium und Metalloxiden wie Zinkoxid (ZnO), betrieben. Für die Verarbeitung in Drucktechnik werden diese Materialien als Nanopartikel, das heißt als kleinste Teilchen mit einem Durchmesser von einigen zehn bis hundert Nanometern, hergestellt und zu Tinten oder Pasten aufbereitet. Im Teilprojekt des Graduiertenkollegs "Elektronische Bauelemente auf nanokristalliner Basis" werden diese dann mittels einer Schleuder als dünne Schichten auf dem Trägermaterial aufgebracht und elektrisch charakterisiert. Zum Einsatz kommen hauptsächlich Silicium- und ZnO-Nanopartikel.

Es konnte ein Verfahren zur Charakterisierung der Leitungsmechanismen in Nanopartikelschichten etabliert werden. Die chemische und thermische Behandlung der Schichten zur Steigerung der Leitfähigkeit wurde optimiert. Damit lässt sich zum Beispiel die sehr geringe spezifische Leitfähigkeit von Siliciumnanopartikel-Schichten um bis zu zehn Größenordnungen auf einige hundert mS/cm steigern.

Auf Basis von Zinkoxid wurde ein erster Feldeffekttransistor realisiert. Eine Suspension der Partikel in Ethanol wurde auf einen thermisch oxidierten Siliciumträger aufgeschleudert. In einem Ofen wurden die Proben anschließend 30 Minuten bei 800 °C an Luft gesintert. Die Kontakte für Source und Drain wurden durch eine 500 nm dicke Aluminiumschicht gebildet, die mittels eines so genannten Lift-off-Verfahrens strukturiert wurde.

Das Ausgangskennlinienfeld eines Transistors mit einer Gatelänge von 2 µm und einer Gateweite von 1,5 µm sowie eine schematische Darstellung des Bauelementes sind in Abb. 6.8 zu sehen. Es handelt sich um einen selbstleitenden n-Kanal Transistor.

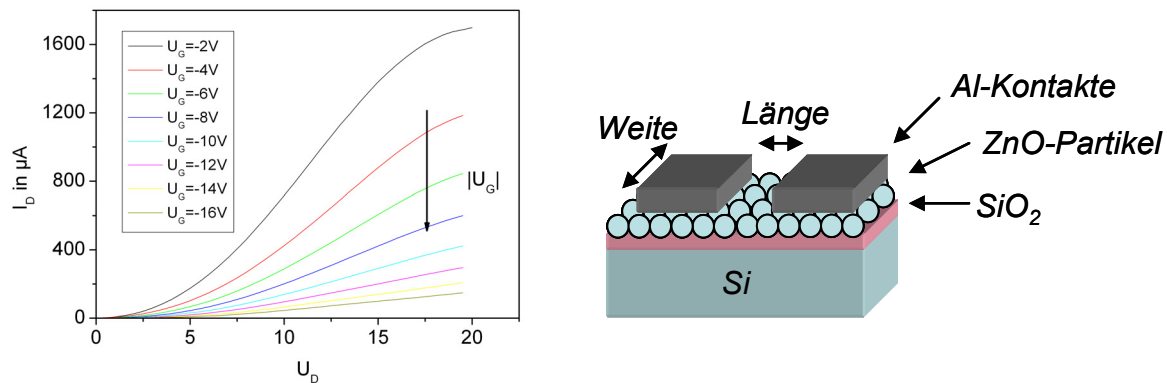


Abb. 6.8: Kennlinienfeld eines Feldeffekttransistors auf Basis von ZnO-Nanopartikel (links) und schematische Darstellung des ZnO-Transistors (rechts)

6.2 Geförderte Forschungsvorhaben

Die im letzten Abschnitt wiedergegebenen Forschungsarbeiten entstammen Forschungsprojekten, die durch Drittmittel finanziert wurden bzw. werden. Wir möchten uns an dieser Stelle herzlich bei den Projektträgern für die Unterstützung bedanken.

Auch in den zurückliegenden Jahren konnten wiederum eine Reihe neuer Projekte eingeworben werden, von denen an dieser Stelle wegen ihrer langfristigen Ausrichtung drei Verbundvorhaben noch einmal besonders hervorgehoben werden sollen. Im Graduiertenkolleg "Disperse Systeme für Elektronische Anwendungen" der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) arbeitet der LEB zusammen mit sieben weiteren Lehrstühlen der Universität Erlangen interdisziplinär an der Nutzbarmachung von nanopartikulären Materialsystemen für druckbare Elektronik zu niedrigen Herstellungskosten. Am DFG-Sonderforschungsbereich "Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme" ist der LEB mit zwei Teilprojekten beteiligt. Zusammenfassungen der bisherigen und geplanten Arbeiten sind dem vorangegangenen Kapitel zu entnehmen. Zuletzt war der LEB auch bei der erfolgreichen Beantragung der "Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies" im Rahmen der vielbeachteten Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder beteiligt und wird hier beginnend ab November 2006 für zunächst fünf Jahre in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IISB bei der Ausbildung von Doktoranden im Themenbereich "Optical Material Processing" mitarbeiten.

6.2.1 Beteiligung des LEB an der Erlangen "Graduate School in Advanced Optical Technologies" (SAOT)

Im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder für deutsche Universitäten wurde in Erlangen eine "Graduate School in Advanced Optical Technologies" (SAOT) eingerichtet. Ziel von SAOT ist es, die Forschung und Ausbildung im Bereich Optik als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts zu stärken. Innerhalb von SAOT wird das Know-How der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg und ihrer verbundener Einrichtungen auf dem Gebiet der modernen Optik gebündelt. Dies umfasst sowohl Grundlagenforschung auf den Gebieten optischer Messtechnik, photonischer Materialien, Quantenoptik und Modellierung optischer Nanostrukturen als auch zahlreiche Anwendungsgebiete der Optik, unter anderem optische Lithographie, optische Materialbearbeitung, optische Diagnostik von Verbrennungssystemen und medizinische Anwendungen der Optik.

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) und das Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) führen innerhalb von SAOT vor allem Forschung und Ausbildung auf dem Gebiet moderner optischer Lithographieverfahren durch. Insbesondere auf dem Gebiet der Lithographiesimulation gehören die Erlanger Forscher zu den weltweit führenden Experten. Neben Prof. Heiner Ryssel als "Principle Investigator" und Dr. Andreas Erdmann als "Mentor" sind derzeit drei SAOT-Doktoranden auf dem Sektor der Lithographiesimulation tätig. In ihren Forschungsarbeiten beschäftigen sie sich mit der Modellierung kostengünstiger Lithographieverfahren, mit der Anwendung rigoroser elektrischer Feldberechnungsverfahren in der Lithographiesimulation und mit potentiellen Anwendungen neuer Materialien für lithographische Masken.

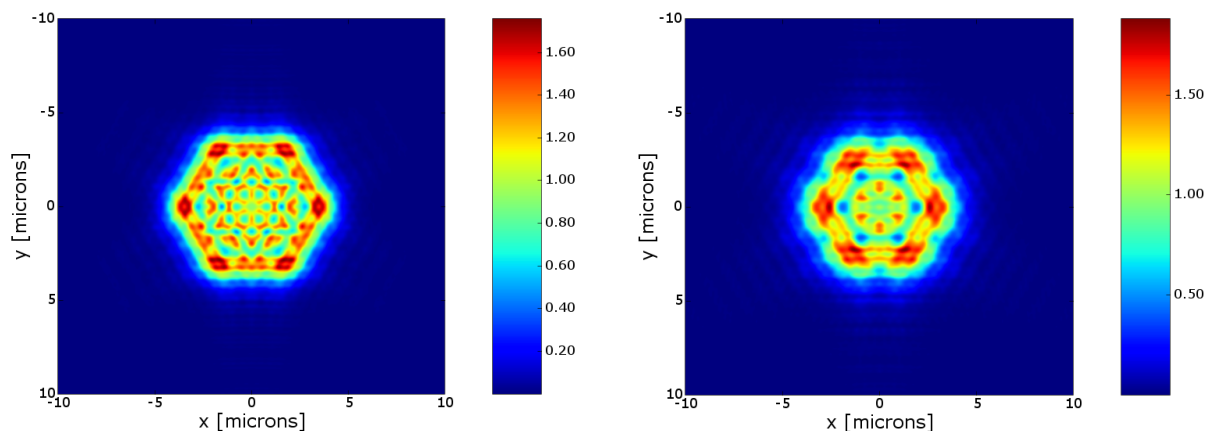


Abb. 6.9: *Simulierte Intensitätsverteilungen im Nahfeld einer hexagonalen Öffnung in einer Lithographiemaske*

Weitere Informationen über SAOT sind auf der folgenden Internetseite verfügbar: http://www.aot.uni-erlangen.de/saot_summary.shtml.

6.2.2 Beteiligung des LEB am Exzellenzcluster "Engineering of Advanced Materials – Hierarchical Structure Formation for Functional Devices" (EAM)

Ziel des Exzellenzclusters, das ebenfalls erfolgreich aus der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder hervorging, ist die Entwicklung und Nutzbarmachung neuartiger Materialsysteme, deren makroskopische Eigenschaften durch die Beeinflussung ihrer Nano- und Mikrostruktur modifiziert und optimiert werden.

In den vier Forschungsbereichen Nanoelektronische Materialien, Photonik und optische Materialien, Katalytische Materialien sowie Leichtbauwerkstoffe werden alle Aspekte der Wertschöpfungskette beleuchtet, ausgehend von der Grundlagenforschung über die Prozesstechnik bis hin zu neuartigen Anwendungen. Unterstützung finden diese Aktivitäten durch drei neu einzurichtende Zentren für die Querschnittstechnologien Partikeltechnik, Nanoanalytik und Elektronenmikroskopie sowie Multiskalen-Modellierung und Simulation.

24 "Principal Investigators" - darunter Prof. Heiner Ryssel - vertreten dabei herausragende technisch-naturwissenschaftliche Fachgebiete der Universität Erlangen-Nürnberg aus dem Bereich der Materialforschung. Das Exzellenzcluster wird für zunächst fünf Jahre mit 39,5 Mio. € gefördert.

Der LEB ist direkt am Forschungsbereich B "Engineering of Nanoelectronic Materials" beteiligt, in dem organische und Nanopartikel-basierte Materialien für den Einsatz in der Elektronik entwickelt werden. Die Vernetzung der Kompetenzen ist jedoch nicht nur auf die einzelnen Forschungsbereiche beschränkt, so dass innerhalb des Exzellenzclusters eine Reihe neuer Kooperationen und gemeinsamer Forschungsaktivitäten entstehen.

Weiterführende Informationen über das Exzellenzcluster finden sich im Internet unter: <http://www.eam.uni-erlangen.de>.

6.2.3 Übersicht der 2007 am LEB bearbeiteten Förderprojekte

"Helektron: Untersuchung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten", Projektpartner der Qimonda AG (vormals Infineon Technologies AG), München, Träger: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 01.04.2004 - 28.02.2007

"Forschungsverbund FORNEL - Teilprojekt Nanoimprint-Lithographie", Gemeinschaftsprojekt mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, Erlangen und der Suss MicroTec AG, Garching, Träger: Bayerische Forschungstiftung, 01.07.2004 - 30.06.2007

"Ausbildung zum Mikrotechnologen", Kooperationsvereinbarung zwischen dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Erlangen, und dem LEB, 01.09.2004 - 30.06.2007 sowie 01.09.2007 - 31.08.2010

"Entwicklung und Adaptierung von Genetischen Algorithmen für die Anwendung in der Lithographiesimulation", LEB Unterauftragnehmer des Fraunhofer Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, Erlangen, 01.12.2004 - 30.11.2007

"Grundlagen zur Entwicklung von Hochvolt-Transistorstrukturen (U_{BR} ca. 100 V) zur Integration in einen 0,18 μm -CMOS Basisprozess", Industrieförderung, 01.04.2005 - 01.07.2007

Fortsetzung: Übersicht der 2007 am LEB bearbeiteten Förderprojekte

"Entwicklung von Simulationsmodellen zur Beschreibung von Lithographieprozessen mithilfe von Mask-Alignern", LEB Unterauftragnehmer des Fraunhofer Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie, Erlangen, 01.06.2005 - 30.05.2007

"Disperse Systeme für Elektronikanwendungen", Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.10.2005 - 31.03.2010, AZ: GRK 1161/1/ Teilprojekt TP RYS

"Projektbezogener Personenaustausch mit Ungarn (PPP)", Träger: Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), 01.01.2006 - 31.12.2007

Sonderforschungsbereich SFB 694 "Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme", Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.01.2006 - 31.12.2009:

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

"Räumliche Winkelverteilung von gesputterten und rückgestreuten Atomen bei der Ionenbestrahlung unter streifenden Winkeln", Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 15.02.2006 - 14.02.2008, AZ: Ry 1/25-1

"Experimentelle Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen im Silicium", Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.10.2006 - 30.09.2008, AZ: 1/24-1

"Verteilung, Segregation und Dosisverlust von Dotieratomen in DekaNanometer-Strukturen", Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 01.01.2007 - 31.12.2007, AZ: RY 1/23-1

"NANOSONOS" (Forschungs- und Entwicklungsvertrag), Öffentlicher Träger: SAB Sächsische Aufbaubank Träger: Qimonda Dresden GmbH & Co. OHG, 01.03.2007 - 31.10.2007, AOST: 871134-3

"Kooperationsvertrag im Rahmen einer Doktorarbeit im ECPE-Doktorandenprogramm", Öffentlicher Träger European Center for Power Electronics e.V. (ECPE e.V.) Nürnberg, Träger: Infineon Technologies München AG, 01.09.2007 - 31.08.2009, AOST: 871142-6

6.3 Kooperationsbeziehungen

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

2007 war der LEB u.a. Gastgeber für einen zweimonatigen Aufenthalt der indischen Halbleiterexpertin Prof. Nandita Dasgupta in Erlangen. Der Aufenthalt wurde durch die Alexander von Humboldt-Stiftung über ein Wiedereinladungs-Stipendium gefördert. In ihrer Heimat arbeitet Prof. Dasgupta am renommierten Indian Institute of Technology (IIT) in Madras und ist Associate Professor am Department of Electrical Engineering. In Erlangen untersuchte sie die thermische Nachbehandlung von kathodenzerstäubtem Titandioxid und dessen Einsatz im Steueroxid nichtflüchtiger Speicherzellen.

Nachstehend finden Sie eine Übersicht über die Kooperationspartner des LEB.

Firmen

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

ELMOS (Dortmund)

Infineon Technologies (München, Villach)

Nanoworld Services (Erlangen)

Qimonda (Dresden, München, Erlangen)

SiCED (Erlangen)

Texas Instruments (Freising)

ZMD (Dresden)

Hochschulen und Akademien

Ruhr-Universität Bochum

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 (Commisariat à l'Énergie Atomique, Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information), Grenoble, Frankreich

Tyndall Research Institute, Cork, Irland

7 Wissenschaftliche Beiträge

7.1 Bücher und Buchbeiträge

(in alphabetischer Reihenfolge der Autoren)

Martin Rambach: *Untersuchung von Ausheilverfahren für Aluminium-implantierte Schichten in 4H-Siliziumcarbid*, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente, Diss. 2007, <http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2007/653/>.

Mathias Rommel: *Photostrom-Spektroskopie von Silicium im Volumen und an der Grenzfläche zu Siliciumdioxid*, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente, Diss. 2007, <http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2007/732/>.

7.2 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

(in alphabetischer Reihenfolge der Autoren)

T. Erlbacher, A.J. Bauer, H. Ryssel: *Hafnium silicate as control oxide in non-volatile memories*, *Microelectronic Engineering* 84, 2239 - 2242, 2007.

M. Krieger, K. Semmelroth, H.B. Weber, G. Pensl, **M. Rambach, L. Frey:** *Impurity Conduction in Silicon Carbide*, *Materials Science Forum*, Vols. 556-557, 367, 2007.

M. Lemberger, F. Schön, **T. Dirnecker, M.P.M. Jank, L. Frey, H. Ryssel, A. Paskaleva, S. Zürcher, A.J. Bauer:** *MOCVD of Hafnium Silicate Films Obtained from a Single-Source Precursor on Silicon and Germanium for Gate-Dielectric Applications*, *Chem. Vap. Deposition* 13 (2-3), 105 - 111, 2007.

M. Lemberger, S. Thiemann, A. Baunemann, H. Parala, R.A. Fischer, J. Hinz, A.J. Bauer, **H. Ryssel:** *MOCVD of tantalum nitride thin films from TBTEMT single source precursor as metal electrodes in CMOS applications*, *Surface & Coatings Technologie* 201, 9154 - 9158, 2007.

W. Lerch, S. Paul, J. Niess, S. McCoy, J. Gelpey, D. Bolze, F. Cristiano, F. Severac, P. F. Fazzini, A. Martinez, **P. Pichler:** *Advanced Activation and Deactivation of Arsenic-Implanted Ultra-Shallow Junctions Using Flash and Spike + Flash Annealing*, *Proc. of the 15th IEEE International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors RTP 2006*, 191-196, 2007.

W. Lerch, S. Paul, J. Niess, J. Chan, S. McCoy, J. Gelpey, F. Cristiano, F. Severac, P. F. Fazzini, D. Bolze, **P. Pichler, A. Martinez, A. Mineji, S. Shishiguchi:** *Experimental and theoretical results of dopant activation by a combination of spike and flash annealing*, *Proc. of the 2007 International Workshop on Junction Technology*, 129-134, 2007.

Fortsetzung: Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, **C. Steen**, S. Paul, W. Lerch: *Modeling the Diffusion and Activation of Arsenic in Silicon Including Clustering and Precipitation*, Proc. of the Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology XII – GADEST 2007, Solid-State Phenomena 131-133, ed. by A. Cavallini, H. Richter, M. Kittler, S. Pizzini, 277-282, 2008.

A. Martinez-Limia, **C. Steen**, **P. Pichler**, N. Gupta, W. Windl, S. Paul, W. Lerch: *Diffusion and Deactivation of As in Si: Combining Atomistic and Continuum Simulation Approaches*, Proc. of the Simulation of Semiconductor Processes and Devices - SISDAP 2007, ed. by T. Grasser, S. Selberherr, 13-16 (2007).

B. Meliorisz, **A. Erdmann**: *Simulation of mask proximity printing*, Journal of Micro / Nanolithography, MEMS and MOEMS, Apr-Jun 2007, Volume 6, Issue 2, 023006.

B. Meliorisz, P. Evanschitzky, **A. Erdmann**: *Simulation of proximity and contact lithography*, Microelectronic Engineering, Volume 84, Issues 5-8, May-August 2007, 733-736.

J. Schermer, **P. Pichler**, C. Zechner, W. Lerch, S. Paul: *On a Computationally Efficient Approach to Boron-Interstitial Clustering*, Proc. of the ESSDERC 2007, ed. by D. Schmitt-Landsiedel, R. Thewes, 342-345, 2007.

P. Pichler: *Upcoming Challenges for Process Modeling*, Proc. of the Simulation of Semiconductor Processes and Devices - SISDAP 2007, ed. by T. Grasser, S. Selberherr, 81-88, 2007.

M. Rambach, A.J. Bauer, **H. Ryssel**: *High Temperature Implantation of Aluminium in 4H Silicon Carbide*, AIP Conference Proceedings of the 16th International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2006), 287, 2006.

M. Rambach, A.J. Bauer, **H. Ryssel**: *High Temperature Implantation of Aluminum in 4H Silicon Carbide*, Materials Science Forum, Vols. 556-557, 587, 2007.

M. Rommel, A.J. Bauer, **H. Ryssel**: *Quantitative oxide charge determination by photocurrent analysis*, Microelectronics Reliability 47, 673, 2007.

M. Rommel, A.J. Bauer, **H. Ryssel**: *Detailed Photocurrent Analysis of Iron Contaminated Boron Doped Silicon by Comparison of Simulation and Measurement*, ECS Transactions 10 (1): Analytical Techniques for Semiconductor Materials and Process Characterization V (ALTECH 2007), 117, 2007.

H. Schmitt, **L. Frey**, **H. Ryssel**, M. Rommel, C. Lehrer: *UV nanoimprint materials: Surface energies, residual layers, and imprint quality*, J. Vac. Sci. Technol. B. 25(3), 785, 2007.

C. Steen, **P. Pichler**, **H. Ryssel**, L. Pei, G. Duscher, M. Werner, J.A. van den Berg, W. Windl: *Characterization of the Segregation of Arsenic at the Interface SiO₂/Si*, Mat. Res. Symp. Soc. Proc. 994: Semiconductor Defect Engineering - Materials, Synthetic Structures and Devices II, ed. by S. Ashok, P. Kiesel, J. Chevallier, T. Ogino, Warrendale, 0994-F08-02, 2007.

C. Steen, A. Nutsch, **P. Pichler**, **H. Ryssel**: *Characterization of the impurity profile at the SiO₂/Si interface using a combination of total reflection X-ray fluorescence spectrometry and successive etching of silicon*, Spectrochimica Acta Part B 62 (5), 481 - 484, 2007.

C. Steen, A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, **H. Ryssel**, L. Pei, G. Duscher, W. Windl: *Characterization of the Pile-Up of As at the SiO₂/Si Interface*, Proc. of the 37th European Solid-State Device Research Conference - ESSDERC 2007, ed. by D. Schmitt-Landsiedel, R. Thewes, 267-270, 2007.

Fortsetzung: Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

T. Uhlig, A. Bemann, C. Elmers, F. Fuernhammer, **M. Groß**, Y. H. Hu, J. Liu, R.-R. Ludwig, M. Reinhold, **M. Stoisiek**, E. Votinsava, M. Wittmaack: *A18 - a novel 0.18 mm Smart Power SOC IC Technology for Automotive Applications*, Proc. of the 19. Int. Symposium on Semiconductor Power Devices & ICs, 27.-30. Mai 2007, Jeju, Korea.

7.3 Vorträge und Posterpräsentationen

(in alphabetischer Reihenfolge der Autoren)

S. Egelkraut, M. März, H. Ryssel: *Motorintegrierte Leistungselektronik: Strukturflexibel mechatronisch integrierbare passive elektronische Bauelemente*, Vortrag auf dem Industriekolloquium Sonderforschungsbereich 694, 20. Juni 2007, Erlangen, Deutschland.

T. Erlbacher, A.J. Bauer, H. Ryssel: *Hafnium silicate as control oxide in non-volatile memories*, Vortrag auf der Conference on Insulating Films on Semiconductors, 20.-23. Juni 2007, Athen, Griechenland.

T. Erlbacher, A.J. Bauer, H. Ryssel: *Self-Aligned Growth of Organometallic Layers for Non-Volatile Memory Application*, Vortrag auf dem European Congress on Advanced Materials and Processes 2007 (EUROMAT 2007), 10.-13. September 2007, Nürnberg, Deutschland.

M. Groß, M. Stoisiek, T. Uhlig, C. Elmers, F. Fuernhammer: *Lateral HV-MOS Transistors (50 V) for Integration in a 0.18 mm CMOS-Process*, Vortrag auf der Konferenz ESSDERC 2007, 11.-13. September 2007, München, Deutschland.

A. Martinez-Limia, **C. Steen, P. Pichler, N. Gupta, W. Windl, S. Paul, W. Lerch:** *Diffusion and Deactivation of As in Si: Combining Atomistic and Continuum Simulation Approaches*, Vortrag auf der Konferenz SISPAD 2007, 25.-27. September 2007, Wien, Österreich.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler, C. Steen, S. Paul, W. Lerch:** *Modeling the Diffusion and Activation of Arsenic in Silicon Including Clustering and Precipitation*, Vortrag auf der Konferenz Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology XII – GADEST'07, 14.-19. Oktober 2007, Erice, Italien.

B. Meliorisz, S. Partel, T. Schnattinger, T. Fühner, A. Erdmann, P. Hudek: *Investigation of high-resolution contact printing*, Posterpräsentation auf der 33rd International Conference on Micro- and Nano-Engineering 2007, Kopenhagen, Dänemark.

B. Meliorisz: *Proximity printing - Simulation und Anwendung*, Vortrag auf dem Kolloquium Halbleitertechnologie und Messtechnik, 16. Juli 2007, Erlangen, Deutschland.

M. Sekowski, C. Steen, A. Nutsch, E. Birnbaum, A. Burenkov, P. Pichler: *TXRF as a sensitive analysis method for the investigation of sputtering processes*, Posterpräsentation auf der 12th Conference on Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis and Related Methods (TXRF 2007), 18.-22. Juni 2007, Trento, Italien.

C. Steen, P. Pichler, H. Ryssel, L. Pei, G. Duscher, M. Werner, J.A. van den Berg, W. Windl: *Characterization of the Segregation of Arsenic at the Interface SiO₂/Si*, Vortrag auf dem 2007 MRS Spring Meeting, Symposium F "Semiconductor Defect Engineering-Materials, Synthetic Structures, and Devices II", 9.-13. April 2007, San Francisco, USA.

Fortsetzung: Vorträge und Posterpräsentationen

C. Steen, A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, **H. Ryssel**, L. Pei, G. Duscher, W. Windl: *Characterization of the Pile-Up of As at the SiO₂/Si Interface*, Vortrag auf der Konferenz ESSDERC 2007, 11.-13. September 2007, München, Deutschland.

J. Schermer, **P. Pichler**, C. Zechner, W. Lerch, S. Paul: *On a Computationally Efficient Approach to Boron-Interstitial Clustering*, Vortrag auf der Konferenz ESSDERC 2007, 11.-13. September 2007, München, Deutschland.

P. Pichler: *Upcoming Challenges for Process Modeling*, Vortrag auf der Konferenz SISPAD 2007, 25.-27. September 2007, Wien, Österreich.

H. Ryssel: *Mikro- und Nanoelektronik: Schlüsseltechnologie unserer Zeit*, Vortrag bei den Erlanger Techniktagen für Nicht-Techniker, 26. März 2007, Erlangen, Deutschland.

H. Ryssel: *Vom Silber zum Silicium - 50 Jahre Elektronikwerkstoffe aus Freiberg*, Vortrag beim Festakt der Universitätsstadt Freiberg, 29. März 2007, Freiberg (Sa.), Deutschland.

H. Ryssel: *Neue Bauelementearchitekturen*, Vortrag auf dem 37. Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation, 11. Mai 2007, Erlangen, Deutschland.

H. Ryssel: *Moore's Law: Wie geht es mit Materialien und Bauelementen für die Nanoelektronik weiter?*, Vortrag auf dem 31. Tag der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik, 6. Juni 2007, Erlangen, Deutschland.

H. Ryssel: *Silicon Technology*, Vortrag auf der 6th Indo-German Winter Academy 2007, 13.-19. Dezember 2007, Guwahati, Indien.

H. Schmitt: *Optimization of the Quartz Template Fabrication for UV Nanoimprint Lithography*, Vortrag auf dem FORNEL-Workshop, 27. März 2007, Erlangen, Deutschland.

H. Schmitt, M. Zeidler, M. Rommel, A.J. Bauer, and **H. Ryssel**: *Custom-specific UV nanoimprint templates and life-time of antisticking layers*, Posterpräsentation auf der MNE 2007, 23.-26. September 2007, Kopenhagen, Dänemark.

S. Walther: *Nanopartikuläre Halbleiterschichten: Leitungsmechanismen und Bauelemente*, Vortrag auf der Summer School Nanotronics, 3.-5. September 2007, Marl, Deutschland.

8 So finden Sie zu uns

8.1 Anreise

Anreise mit dem PKW

A3 bis Ausfahrt Tennenlohe / Erlangen, weiter auf B4 Richtung Erlangen, Abzweigung "Universität Südgelände". Der Beschilderung "Technische Fakultät" bzw. "Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie" folgen bis Cauerstraße. Weiter nach Plan.

Anreise mit dem Flugzeug

Flughafen Nürnberg; von dort mit dem Taxi (15 Minuten) oder den öffentlichen Verkehrsmitteln, Bus der Linie 32 nach Nürnberg Thon. Von dort mit Bus der Linie 30 oder 30E (Richtung Erlangen Hugentottenplatz) bis Haltestelle Erlangen-Süd (30 Minuten).

Anreise mit der Bahn

Erlangen-Hauptbahnhof, weiter mit dem Taxi (15 Minuten) oder mit den Bussen der Linien 287 (bis Haltestelle Stettiner Straße, ca. 20min) oder 30/30E/295 (bis Haltestelle Erlangen Süd ca. 20 min). Sehr gute Zugverbindungen von Nürnberg-Hauptbahnhof nach Erlangen-Hauptbahnhof.



Abb. 8.1: *Gebäude des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente, Cauerstr. 6. Blick von der Cauerstraße. Vollständiger Lageplan zur Technischen Fakultät auf der nächsten Seite*

8.2 Lageplan



Abb. 8.2: Übersichtsplan der Technischen Fakultät der Universität Erlangen