



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



Jahresbericht  
2008





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

**Jahresbericht 2008**





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](mailto:info@leb.eei.uni-erlangen.de)  
WWW: <http://www.leb.uni-erlangen.de>

## IMPRESSUM

### **Redaktion**

Heiner Ryssel  
Thomas Richter  
Tobias Dirnecker  
Jochen Kaiser

### **Gestaltung, Satz und Realisierung**

Christina Ehlig  
Thomas Richter  
Sabine Walther

© Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

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

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Grußwort</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Lehrstuhl</b>	<b>5</b>
2.1	Festveranstaltung Verabschiedung Prof. Heiner Ryssel . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Mitarbeiter und Ausstattung</b>	<b>7</b>
3.1	Mitarbeiter . . . . .	7
3.2	Lehrbeauftragte . . . . .	8
3.3	Gastwissenschaftler . . . . .	9
3.4	Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften . . . . .	10
3.5	Ausstattung . . . . .	12
3.6	Arbeitsgebiete . . . . .	17
3.6.1	Halbleiter- und Nanotechnologie . . . . .	17
3.6.2	Leistungshalbleiter-Bauelemente, Smart-Power-IC-Technologien . . . . .	17
3.6.3	Technologiesimulation . . . . .	18
3.6.4	Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden . . . . .	18
3.6.5	Leistungselektronische Systeme . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Veranstaltungen</b>	<b>21</b>
4.1	Chronik 2008 . . . . .	21
4.2	Bayerische Eliteakademie . . . . .	22
4.3	Girls' Day . . . . .	22
4.4	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme . . . . .	22
4.5	Praktikum Mädchen und Technik . . . . .	24
4.6	Ferienakademie Sarntal . . . . .	25
4.7	Wissenschaftliches Kolloquium des SFB694 . . . . .	25
4.8	Besuch von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften am LEB . . . . .	26
4.9	Verleih des Georg-Waerber-Innovationspreises . . . . .	27
4.10	Indo-German Winter Academy . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Lehre und Ausbildung</b>	<b>31</b>
5.1	Vorlesungen . . . . .	31
5.1.1	Halbleiterbauelemente . . . . .	31
5.1.2	Ringvorlesung Mechatronische Systeme . . . . .	32
5.1.3	Arbeitstechnik . . . . .	32
5.1.4	Produktion in der Elektrotechnik . . . . .	33
5.1.5	Technologie integrierter Schaltungen . . . . .	33
5.1.6	Prozessintegration und Bauelementearchitekturen . . . . .	33
5.1.7	Ionenimplantation . . . . .	34
5.1.8	Halbleiter- und Bauelementemesstechnik . . . . .	34
5.1.9	Nanoelektronik . . . . .	35
5.1.10	Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen . . . . .	35
5.1.11	Leistungshalbleiterbauelemente . . . . .	36
5.1.12	Smart Power Technologien . . . . .	36
5.1.13	Prozess- und Bauelementesimulation . . . . .	37
5.1.14	Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente . . . . .	38

5.1.15	Technik der Halbleiterfertigungsgeräte . . . . .	38
5.1.16	Siliciumcarbid-Hochleistungsbauelemente - Grundlagen, Technologie und Systemaspekte . . . . .	39
5.1.17	Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation . . . . .	39
5.1.18	Automobilelektronik - Leistungselektronik . . . . .	40
5.1.19	Optische Lithographie: Technologie, Physikalische Effekte und Modellierung . . . . .	41
5.1.20	Einführung in die gedruckte Elektronik . . . . .	41
5.2	Praktika . . . . .	42
5.2.1	Praktikum Mechatronische Systeme . . . . .	42
5.2.2	Praktikum zur Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente . . . . .	42
5.2.3	Praktikum zur Halbleiter- und Bauelementemesstechnik . . . . .	43
5.3	Seminare . . . . .	43
5.3.1	Hauptseminar über ausgewählte Kapitel der Silicium-Halbleitertechnologie . . . . .	43
5.3.2	Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen . . . . .	44
5.4	Vorlesungsangebot bei der Virtuellen Hochschule Bayern . . . . .	44
5.4.1	Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen . . . . .	44
5.4.2	Halbleiterbauelemente . . . . .	46
5.5	Einordnung der Lehrveranstaltungen . . . . .	47
5.5.1	Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik . . . . .	47
5.5.2	Mechatronik . . . . .	48
5.5.3	Andere Studiengänge . . . . .	48
5.5.4	Kurse der Virtuellen Hochschule Bayern . . . . .	49
5.6	Exkursionen . . . . .	49
5.7	Ausbildung zum Mikrotechnologen . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Wissenschaftliche Arbeiten von Studenten und Mitarbeitern</b>	<b>51</b>
6.1	Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten . . . . .	51
6.1.1	<i>In-situ</i> -Messung der Erosionen an Sputtertargets . . . . .	51
6.1.2	Inbetriebnahme und Automatisierung eines Hallmessplatzes . . . . .	52
6.1.3	Studie zu den notwendigen Voraussetzungen und Funktionalitäten bei der Umrüstung eines Serienfahrzeugs in ein Hybridfahrzeug . . . . .	52
6.1.4	Studie über Möglichkeiten und Grenzen technischen Kopierschutzes . . . . .	52
6.1.5	Analyse und Optimierung beim Umspritzen eines Spulenkörpers mit wärmeleitfähig modifizierten Thermoplasten . . . . .	53
6.1.6	Auswirkungen von Ionenimplantation auf Schichten aus Nanopartikel-Dispersionen . . . . .	53
6.1.7	Thermische Simulationen einer mechatronischen Baugruppe aus wärmeleitfähigem Kunststoff . . . . .	54
6.1.8	Untersuchung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Sicherungsbrücken . . . . .	55
6.1.9	Untersuchung und Bewertung der Einflüsse einer hohen Temperaturbelastung von Schaltungsträgern durch fehlerhafte leistungselektronische Bauelemente . . . . .	56
6.1.10	Konzeptstudie für die Umrüstung eines konventionellen Serienautos in ein Hybridfahrzeug . . . . .	56
6.2	Diplomarbeiten . . . . .	57
6.2.1	Entwicklung eines Batterie-Management-Systems für Lithium-Ionen Akkumulatoren in Matlab-Simulink . . . . .	57
6.2.2	Charakterisierung dünner TaN-Schichten . . . . .	57

6.2.3	Entwicklung und Implementierung der Regelung des Hybridantriebsstranges eines Kraftfahrzeugs . . . . .	58
6.2.4	Mechatronische Integration eines Doppelumrichters für den elektrischen Antrieb einer Fahrzeugachse . . . . .	58
6.2.5	Entwicklung, Simulation und Integration eines induktiven Energieübertragungssystems für heizbare Handschuhe in einen Druckknopf . . . . .	58
6.2.6	Aufbau eines automatisierten Kalorimetermessplatzes zur hochgenauen Bestimmung von Verlustleistungen in leistungselektronischen Baugruppen . . . . .	59
6.2.7	Der Einfluß der Dispergierung und Stabilisierung auf die charakteristischen Eigenschaften eines auf ZnO Nanopartikeln basierenden elektronischen Bauelementes . . . . .	60
6.2.8	Entwicklung eines Mikrocontroller-basierten universellen LAN-Interface für Messgeräte . . . . .	60
6.2.9	Bestimmung der Gateoxidzuverlässigkeit mittels eines neuartigen Photostrom-Messverfahrens . . . . .	60
6.2.10	Entwicklung einer aktiven Zellsymmetrierung für Li-Ionen-Akkusysteme für Hybridfahrzeuge . . . . .	61
6.2.11	Entwicklung eines Basisprozesses zur plasmaunterstützten Nitridierung dünner Gateoxidschichten an einem Mini-Batch Vertikalofen . . . . .	62
6.3	Promotionen . . . . .	63
6.3.1	Schichten hoher Dielektrizitätskonstante für den Einsatz in ladungs-basierten nichtflüchtigen Speicherzellen . . . . .	63
6.3.2	Bidirektionale DC-Spannungswandlung für Kleinleistungsanwendungen . . . . .	65
6.3.3	Entwicklung von Verfahren zur Kontrolle von Plasmaätzprozessen mittels <i>in situ</i> -Ellipsometrie und optischer Emissionsspektroskopie . . . . .	68
6.3.4	Untersuchung der UV-Nanoimprint-Lithografie als Strukturierungsverfahren für elektronische Bauelemente . . . . .	70
<b>7</b>	<b>Forschung</b> . . . . .	<b>73</b>
7.1	Beispiele aus der Forschung . . . . .	73
7.1.1	Sonderforschungsbereich 694, Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme . . . . .	73
7.1.2	Energieeffiziente Fahrzeugkonzepte – Das „TechFak EcoCar“ . . . . .	76
7.1.3	Graduiertenkolleg Disperse Systeme . . . . .	78
7.1.4	Untersuchung von Dotierungsprofilen in Silicium nach Protonenimplantation im MeV-Bereich . . . . .	81
7.1.5	Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen in Silicium . . . . .	83
7.1.6	Winkelverteilung abgesputterter Atome . . . . .	84
7.1.7	Beteiligung des LEB an der Erlangen „Graduate School in Advanced Optical Technologies“ (SAOT) . . . . .	86
7.2	Übersicht der 2008 am LEB bearbeiteten Förderprojekte . . . . .	87
7.3	Kooperationsbeziehungen . . . . .	88
<b>8</b>	<b>Wissenschaftliche Beiträge</b> . . . . .	<b>91</b>
8.1	Bücher und Buchbeiträge . . . . .	91
8.2	Veröffentlichungen in Fachzeitschriften . . . . .	91
8.3	Vorträge und Posterpräsentationen . . . . .	95

<b>9 So finden Sie zu uns</b>	<b>101</b>
9.1 Anreise . . . . .	101
9.2 Lageplan . . . . .	102

## 1 Grußwort

Das Jahr 2008 markiert einen Wendepunkt in der Entwicklung des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente. Zum Ende des Sommersemesters bin ich in den Ruhestand gegangen und deshalb erscheint es mir angemessen, das Grußwort zunächst als Rückblick zu gestalten.

In engeren Kontakt zu Erlangen kam ich Anfang der 80er Jahre, als ich von Prof. Schulz (damals Lehrstuhl für Angewandte Physik) mehrfach zu Vorträgen in das Physikalische Kolloquium eingeladen wurde. 1984 erfuhr ich zum ersten Mal von den Plänen Prof. Seitzers (damals Lehrstuhl für Technische Elektronik), die Aktivitäten zur Mikroelektronik in Erlangen spürbar auszubauen, wobei mir damals die Vorstellungen der Herren Seitzer, Gerhäuser und Pfitzner nicht schlüssig erschienen. Im gleichen Jahr noch wurde in Erlangen ein „Lehrstuhl für elektronische, insbesondere integrierte Bauelemente“ ausgeschrieben und meine Bewerbung auf diesen Lehrstuhl war erfolgreich. Gleichzeitig sprach mich die Fraunhofer-Gesellschaft an, ob ich gemeinsam mit dem Kollegen Seitzer eine Fraunhofer-Einrichtung auf dem Gebiet von integrierten Schaltungen gründen wollte. Die Entscheidung für Erlangen ist nach reiflicher Überlegung und hitzigen Diskussionen in der Familie gegen Angebote aus den Vereinigten Staaten gefallen. Ende März 1985 habe ich dann offiziell den Dienst angetreten, vernünftige Arbeitsbedingungen waren jedoch erst nach dem Umbau der alten Schlosserei in ein Halbleiterlabor ab dem Wintersemester 1985/86 gegeben. Auf dem kleinen Dienstweg habe ich dabei gleich noch den Namen des Lehrstuhls etwas gestrafft auf die gegenwärtige Form „Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente“. Am 1. Juli des gleichen Jahres wurde auch die Fraunhofer Arbeitsgruppe für Integrierte Schaltungen (AIS) mit zwei Abteilungen, der AIS-A unter Professor Seitzer in Tennenlohe und der AIS-B in der Artilleriestraße im gleichen Gebäude wie der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, gegründet.

Der 2. November 1985 war mein erster Vorlesungstag. Sofort begannen auch die Planungen für die Reinraumhalle des Lehrstuhls und für das Lehrstuhlgebäude – auf dem Gelände der Technischen Fakultät. Bis zum Jahr 1989 dauerte es jedoch, bis die Haushaltsunterlage durch den Bayerischen Landtag bewilligt wurde. Anfang des gleichen Jahres gab es übrigens die erste Promotion am Lehrstuhl, es war Herr Seidl aus München, der jetzt Professor in Magdeburg ist. Im Mai 1990 war Baubeginn für die Reinraumhalle und im Juni kam Staatsminister Zehentmeier zur Grundsteinlegung. Trotz der großen Baumasse war bereits 1991 im Februar bei bitterer Kälte das Richtfest für die Reinraumhalle und im Juni das Richtfest für das Lehrstuhlgebäude. 1992 im Mai konnte die Reinraumhalle eingeweiht werden, das Lehrstuhlgebäude wurde ca. 1 Jahr später im April eingeweiht. 1994 konnte dann auch das Gebäude für das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) – früher Arbeitsgruppe für Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie (AIS-B) – bezogen werden.

Um die Jahrtausendwende gab es im Rahmen der Strategiekommission der Elektrotechnik, die ich viele Jahre leitete, intensive Diskussionen zur Reformierung des Studiums der Elektrotechnik. Mehrere der damaligen Ideen fanden sich unvermuteterweise später im neuen Bayerischen Hochschulgesetz wieder, so die Modularisierung des Studiums, vorlesungsbegleitende Prüfungen, etc. Im Zusammenhang mit einem sehr großen Forschungsvorhaben zur Mechatronik diskutierte ich gemeinsam mit Kollege Feldmann die Gründung eines neuen Studiengangs Mechatronik, was wir erfolgreich in den beiden Fachrichtungen Maschinenbau und Elektrotechnik durchsetzen konnten. Im Jahr 2004 war dann die 50. Promotion zu feiern und es konnten endlich zwei Habilitanden am Institut beglückwünscht werden: die Herren Dr. Lothar Frey und Dr. Peter

Pichler. Dr. Frey hat kurz nach der Habilitation den Lehrstuhl verlassen, um in der Industrie neue Herausforderungen zu finden. Sehr erfolgreich beteiligte sich der Lehrstuhl bei der Einwerbung im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder bei der Graduierten Schule „Graduate School in Advanced Optical Technologies“, die 2006 bewilligt wurde sowie bei dem Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“, das im Jahr 2007 bewilligt wurde. Der LEB ist der einzige Lehrstuhl der EEI, der in beiden Exzellenzmaßnahmen beteiligt ist. Seit 2006 läuft der Sonderforschungsbereich „Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme“, der gemeinsam vom Maschinenbau (federführend) und der Elektrotechnik bearbeitet wird. Der Lehrstuhl ist für einen der Demonstratoren des Sonderforschungsbereiches verantwortlich. Seit Gründung des Lehrstuhls wurden unter meiner Betreuung ca. 170 Studien- und Projektarbeiten durchgeführt, 169 Abschlusarbeiten (Diplom und Master) erstellt sowie 67 Promotionen abgeschlossen. Ich gehe davon aus, dass im Laufe der nächsten Jahre hier noch etwa 20 weitere hinzukommen.

Während meiner aktiven Zeit an der Universität Erlangen habe ich mich, trotz der Belastung durch die Leitung des IISB, welches mittlerweile auf ca. 160 Mitarbeiter angewachsen ist und zwei Außenstellen in Nürnberg und Freiberg hat, voll in die Gremienarbeit der Universität eingebracht. Viele Jahre war ich Mitglied des Fachbereichs, mehrfach Sprecher der Studienkommission EEI, geschäftsführender Vorstand der EEI, Sprecher der Studienkommission Mechatronik, Mitglied des Senats und zahlreicher weiterer Kommissionen der Technischen Fakultät bis hin zur Kommission der Universität für die Weiterentwicklung im Rahmen der Exzellenzinitiative.

Seit 2006 leite ich die jährlich statt findende Indo-German Winter Academy, die zum Ziel hat, die Kontakte zu den Indian Institutes of Technology zu stärken. Im vergangenen Jahr wurde die Winter Academy gemeinsam mit dem Indian Institute of Technology Madras (IITM) in Chennai organisiert. Es nahmen 48 Studenten (davon sechs aus Erlangen) an der einwöchigen Veranstaltung teil, die wiederum sehr erfolgreich verlief. Im nächsten Jahr ist geplant, die Winter Academy in Dehradun gemeinsam mit dem IIT Roorkee zu organisieren.

Der Jahresbericht soll diesmal aber nicht nur ein Rückblick sein, er soll auch in die Zukunft blicken, die Entwicklungen am Lehrstuhl ansprechen und einen Überblick über die verfügbaren Technologien, Geräte und die angebotenen Lehrveranstaltungen liefern. Das Berufungsverfahren zu meiner Nachfolge wurde erfolgreich abgeschlossen und Herr Prof. Frey von der Bergakademie Freiberg, der in Erlangen 2004 habilitiert hatte (siehe weiter oben) wurde zu meinem Nachfolger berufen. Er hat seine Amtsgeschäfte aufgenommen und wird das Grußwort zum nächstjährigen Jahresbericht schreiben.

In den folgenden Abschnitten des Jahresberichtes 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.

Meinem Nachfolger, Herrn Kollegen Frey wünsche ich so viel Glück, Erfolg und Freude bei der Leitung des Lehrstuhls wie ich hatte.

Erlangen, im Dezember 2008

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'M' followed by a dot and a cursive 'Ryssel'.

Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel





## 2 Lehrstuhl

### 2.1 *Festveranstaltung Verabschiedung Prof. Heiner Ryssel*

Prof. Heiner Ryssel, ehemaliger Inhaber des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente (LEB) der Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) wurde am 20. November 2008 mit einer Festveranstaltung in den Ruhestand verabschiedet.

Prof. Ryssel leitete den Lehrstuhl und das Fraunhofer-Institut mehr als 23 Jahre seit deren Gründung im Jahr 1985. In dieser Zeit entwickelten sich die beiden Einrichtungen zu international anerkannten Kompetenzzentren für die Mikro- und Nanoelektronik und die Leistungselektronik. Eine wesentliche Grundlage für diese Erfolgsgeschichte ist die enge Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer-Gesellschaft und der Universität in Erlangen. Heiner Ryssels Nachfolger als Leiter von LEB und IISB ist Prof. Dr. Lothar Frey.

Rund 150 internationale Forschungs- und Industriepartner, Wegbegleiter und Kollegen überbrachten Heiner Ryssel bei der Festveranstaltung die besten Wünsche für die Zukunft und ihre Anerkennung für seine Leistungen in der Wissenschaft und beim Aufbau von LEB und IISB. Zu den Grußwortrednern gehörten Erlangens Oberbürgermeister Dr. Siegfried Balleis, FAU-Rektor Prof. Dr. Karl-Dieter Gröske, Fraunhofer-Forschungsvorstand Prof. Dr. Ulrich Buller, Dr. Gerd-Achim Gruppe vom Bayerischen Wirtschaftsministerium, Markus Lötzsch, Hauptgeschäftsführer der IHK Nürnberg für Mittelfranken, Prof. Dr. Heinz Gerhäuser, Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik, und Prof. Dr. Johannes Huber, Dekan der Technischen Fakultät der FAU.

Prof. Dr. Dieter Seitzer, ehemaliger Leiter des zweiten Erlanger Fraunhofer-Instituts (IIS) und enger Partner beim Aufbau der Mikroelektronik-Forschung in Erlangen, hob in seiner Laudatio insbesondere Heiner Ryssels führende Rolle bei internationalen Halbleitertechnologie-Aktivitäten, seine Initiative bei der sehr erfolgreichen Ausweitung und der Erschließung neuer Arbeitsgebiete sowie sein großes Engagement für die Belange der Technischen Fakultät der FAU und ihrer Studenten und Studentinnen hervor. Festredner Dr. Reinhard Ploß, Vorstandsmitglied der Infineon Technologies AG und Kuratoriumsvorsitzender des IISB, betonte die Schlüsselrolle und das enorme Potential der Mikroelektronik für die Energieeinsparung und damit den Klimaschutz.

### **Zur Person: Prof. Heiner Ryssel**

Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel ist seit fast vier Jahrzehnten einer der Pioniere und führenden Experten auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie in Deutschland. Nach Studium der Elektrotechnik und Promotion an der TU München arbeitete er bis zu seiner Habilitation am Fraunhofer-Institut für Festkörperttechnologie in München. 1985 wurde er als Inhaber des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente an die Universität Erlangen-Nürnberg berufen. Im gleichen Jahr wurde er Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie in Erlangen. Beide Einrichtungen leisten mit heute insgesamt rund 160 Mitarbeitern von den Grundlagen bis zur angewandten Forschung weltweit anerkannte und vielfach ausgezeichnete Arbeiten in vielen Bereichen der Mikro-/Nano- und Leistungselektronik. Ebenso hervorzuheben ist Heiner Ryssels großes Engagement in der Lehre, das neben viel-



Abb. 2.1: Heiner Ryssel (links) übergibt den symbolischen Institutsschlüssel an seinen Nachfolger Lothar Frey (Foto: Kurt Fuchs)

fältigen Lehrveranstaltungen an der Universität auch Vorlesungen der Virtuellen Hochschule Bayern und eine maßgebliche Rolle bei der Modernisierung des Studiengangs „Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik“ sowie bei der Einführung des Studiengangs Mechatronik in Erlangen umfasst. Seit 1. Oktober 2008 befindet sich Prof. Ryssel im Ruhestand, steht dem Lehrstuhl und dem IISB aber weiterhin beratend zur Seite.

### Zur Person: Prof. Lothar Frey

Der Physiker Lothar Frey war zuletzt Direktor des Instituts für Angewandte Physik an der TU Bergakademie Freiberg. Seine bisherigen Forschungsaktivitäten zur Halbleiterprozessstechnologie für Silicium und Siliciumcarbid, insbesondere auf den Gebieten der physikalischen Analytik, der Nanostrukturierung und der Halbleiterspeicher, passen ideal zu den Kernkompetenzen des IISB. Nach dem Studium der Physik und Promotion zum Dr. rer. nat. an der Universität Würzburg sowie einem Aufenthalt an der Rice University in Houston, Texas, war Lothar Frey als Abteilungsleiter am Fraunhofer IISB tätig. Nach seiner Habilitation an der Universität Erlangen-Nürnberg arbeitete er bei der Infineon Technologies bzw. Qimonda AG in Dresden in der Vorfeldentwicklung, bis er 2006 nach Freiberg berufen wurde.

### 3 Mitarbeiter und Ausstattung

#### 3.1 Mitarbeiter

##### Lehrstuhlinhaber

Prof. Dr. rer. nat. habil. Lothar Frey	seit 10/2008
Prof. Dr.-Ing. habil. Heiner Ryssel	bis 09/2008

##### Professur Elektronische Bauelemente

Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisieck	Leistungshalbleiterbauelemente
--	--------------------------------

##### 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	WS Consulting, Zimmern
Hon.-Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stephani	

##### Wissenschaftliche Assistenten

Dr.-Ing. Tobias Dirnecker	Bauelemente / Elektrische Aufladungseffekte
Dipl.-Nat. Christina Ehlig	Bauelemente / Neue Materialien (seit 11/2008)
Dipl.-Ing. Jochen Kaiser	Germanium-Bauelemente
Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev	Ionenimplantation (bis 03/2008)
Thomas Richter, M.A.	Multimedia in der Lehre (bis 09/2008)

##### Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. (FH) Joachim vom Dorp	Bauelementetechnologie
Dipl.-Ing. Sven Egelkraut	Weichmagnetische Kunststoffe
Dipl.-Ing. Tobias Erlbacher	Nichtflüchtige Speicherzellen
Dipl.-Ing. Michael Groß	Leistungshalbleiterbauelemente
Dipl.-Phys. Oliver Klar	Neue Speicherkonzepte (bis 03/2008)
Dipl.-Phys. Johannes Laven	Dotierung durch Protonenimplantation
Dipl.-Phys. Peter Bálint Meliorisz	Lithographiesimulation, Nahfeld- und Kontaktbelichtung (bis 08/2008)
Bernhard Meyer, M. Sc.	Halbleitermaterialien für gedruckte Bauelemente (seit 06/2008)
Dipl.-Phys. David Reibold	Hochabsorbierende dünne Schichten (bis 09/2008)
Dipl.-Ing. David Schindele	Gitterleerstelleneigenschaften in Silicium (seit 12/2008)

Dr. Holger Schmitt	UV-Nanoimprint-Lithographie (bis 03/2008)
Dipl.-Phys. Matthias Sekowski	Winkelverteilung bei der Ionenbestrahlung (seit 10/2008)
Dipl.-Phys. Sebastian Weis	Ladungstransport in nanopartikulären Schichten (seit 08/2008)
Dipl.-Ing. Sabine Walther	Elektronische Bauelemente auf nanokristalli- ner Matrix

### **Technische Mitarbeiter / Verwaltung**

Diana Arnold	Verwaltung / Sekretariat
Jessika Bolch	Sonderforschungsbereich 694 (seit 09/2008)
Sieglinde Elsesser	Photolithographie / Nasschemie
Christian Heilmann	Prozessgeräte / Elektrofachkraft Sicherheitsbeauftragter
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Klauser	Rechner / Leitsysteme
Stefan Knopf	Physikalische Schichtabscheidung Mechanische Werkstatt
Angela Meixner	Photolithographie / Nasschemie
Andrea Merkel	Verwaltung / Sekretariat
Oliver Pöhlmann	Auszubildender Mikrotechnologe
Anna-Maria Rehm	Reinigung Reinraumlabor
Dipl.-Ing. Heinrich Schier	Infrastruktur / Reinraum
Katharina-Luise Stimm	Reinigung Reinraumlabor
Jonas Strobelt	Auszubildender Mikrotechnologe

### **3.2 Lehrbeauftragte**

#### **Lehrbeauftragte**

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

### 3.3 Gastwissenschaftler

Prof. Guan Dazhong / China

10.01.2008 – 16.01.2009

Stipendiat

Dr. Miklos Fried / Ungarn

Ungarische Akademie der Wissenschaften

17.11. – 21.11.2008

Development of optical models for *ex situ* and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures

Prof. Jozsef Gyulai / Ungarn

Ungarische Akademie der Wissenschaften

02.07. – 29.07.2008

Allgemeine Diskussion von gemeinsamen Projekten

Dr. György Juhasz / Ungarn

Ungarische Akademie der Wissenschaften

17.11. – 21.11.2008

Development of optical models for *ex situ* and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures

Dmitry Kazantsev / Russland

16.01. – 01.02.2008

10.03. – 02.06.2008

09.06. – 25.06.2008

DFG-Antragstellung „Aperturlose Streulicht-Rasternachfeldmikroskopie“

Peter Kozma / Ungarn

Ungarische Akademie der Wissenschaften

19.05. – 23.05.2008

17.11. – 21.11.2008

Development of optical models for *ex situ* and in line mapping ellipsometry of chemically deposited

Ashutosch Kumar / Indien

19.05. – 28.07.2008

Temperaturbestimmung von SiC-Scheiben während der Ionenimplantation

Dr. Shiji Liu / China

01.05. – 31.05.2008

Simulation dicker Photolacke

Dr. Casaba Major / Ungarn

Ungarische Akademie der Wissenschaften

19.05. – 23.05.2008

17.11. – 21.11.2008

Development of optical models for *ex situ* and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures

Dr. Kasuhisa Murakami / Japan

Universität Osaka

06.03. – 14.03.2008

Untersuchung mittels Elektronenstrahl abgeschiedenen Kohlenstofffeldemittern durch TEM

19.09. – 24.09.2008

Diskussion mit Prof. Frey bzgl. eines Humboldt-Stipendiums

Dr. Masao Noborio / Japan 10.07. – 30.07.2008	Stabilitätsmessungen von abgeschiedenen Oxiden auf 4H-SiC
Dr. Albenka Paskaleva / Bulgarien Bulgarische Akademie der Wissenschaften 13.10. – 05.11.2008	Advanced electrical characterization of high-k metal electrode stacks
Dr. Peter Petrik / Ungarn Ungarische Akademie der Wissenschaften 08.01. – 11.01.2008 17.03. – 28.03.2008 19.05. – 23.05.2008 07.07. – 18.07.2008 17.11. – 21.11.2008	Schulung am neuen Ellipsometer Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures
Dr. Olivier Polgar / Ungarn Ungarische Akademie der Wissenschaften 17.11. – 21.11.2008	Development of optical models for <i>ex situ</i> and in line mapping ellipsometry of chemically deposited nanostructures
Yi Qugang / China seit 26.11.2008	Stipendiat
Prof. Mikio Takai / Japan Universität Osaka 19.09. – 23.09.2008	
Youhui Zhu / China China Aluminium Ltd. 15.05.2007 – 14.05.2008	Stipendiat China Scholarship Council

### 3.4 Mitarbeit in Gremien und Mitgliedschaften

Prof. Dr. rer. nat. habil. Lothar Frey	Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik (IHP) in Frankfurt/Oder Mitglied der Böhmisches Physikalischen Gesellschaft Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft Gutachter für das Institute of Physics Publishing Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. Heiner Rysse	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“ (EUROCVD).

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)

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

Mitglied des „International Advisory Committee“ der „International Conference Micro- and Nanoelectronics“ (ICMNE)

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 (Life 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 (bis Sommersemester 2008)

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 (bis Sommersemester 2008)

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

Mitglied in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

Mitglied in der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG)

Mitglied im „Zentrum Leistungselektronik, Universität Erlangen“



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

### 3.5 Ausstattung

Als experimentelle Grundlage für die Forschungsarbeiten des LEB stehen in Kooperation mit dem Fraunhofer IISB zwei Reinräume mit insgesamt etwa 1500 m<sup>2</sup> Reinraumfläche, davon ca. 1200 m<sup>2</sup> 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 Scheibendurchmesser, größtenteils bis 200 mm und teilweise bis 300 mm ausgelegt. Modernste analytische Verfahren zur Charakterisierung von Oberflächen, Schichten, Grenzflächen sowie Flüssigmedien und Gasen erlauben es, störende Verunreinigungen in geringsten Konzentrationen und deren Ursachen zu erkennen.

Im Berichtszeitraum konnte das Portfolio der vorhandenen Prozess- und Messgeräte erweitert werden.

Für das bereits in die Jahre gekommene und sehr störanfällige Vier-Spitzenmessgerät wurde ein Neues beschafft, das auf Scheiben bis zu einem Durchmesser von 300 mm vollautomatisch den Widerstand der einzelnen Schichten über die Scheibe bestimmen kann. Bei den Heißprozessen war es bisher nicht möglich Scheiben mit Durchmessern größer 150 mm zu prozessieren. In der Erprobung befindet sich gerade ein RTP-Ofen (Rapid Thermal Processing) der Firma Kornic, mit dem Scheiben bis 200 mm Durchmesser bei Temperaturen bis 1150 °C ausgeheilt oder oxidiert werden können. Für Kooperationen mit der Industrie ist es manchmal nötig, deren Scheiben am LEB weiter zu prozessieren. Da in der Industrie ausschließlich Scheiben mit Durchmessern von 200 mm bis 300 mm verwendet werden, diese Durchmesser aber für viele der Geräte am Lehrstuhl zu groß sind, ist es nötig solche Scheiben auf geringere Durchmesser zu verkleinern. Eine Möglichkeit ist das Schneiden mit Lasern. Dies ist aber sehr kostenaufwendig. Am LEB zusammen mit dem IISB wurde daher in Eigenregie ein Hochratenätzter entwickelt, der in weniger als einer halben Stunde Scheiben mit einem Durchmesser von 150 mm oder kleiner aus einer 200 mm oder 300 mm Scheibe herausätzen kann. Mit diesem Ätzer können natürlich auch herkömmliche Ätzprozesse, wie Oxid- oder Polyätzen, durchgeführt werden. Für die Zukunft der Mikroelektronik ist es von enormer Bedeutung, dass neue Materialien die herkömmlichen ersetzen, um die Leistungsfähigkeit der Bauelemente weiter steigern zu können. Die Abscheidung und eine erste Prüfung neuer Materialien funktioniert am besten mit der Sputtermethode. Um mit dieser Entwicklung mithalten zu können, wurde eine hochmoderne Sputteranlage von der Firma Von Ardenne beschafft. Mit dieser Anlage ist es möglich zwei Materialien gleichzeitig oder drei Materialien hintereinander mit atomarer Auflösung zu sputtern. Der Prozess kann dabei beliebig oft wiederholt werden. Dadurch können Lamine oder Schichten mit einstellbarer Stöchiometrie mit fast allen zur Verfügung stehenden Elementen hergestellt werden. Des Weiteren wurde ein neues DLTS-Gerät (Deep Level Transient Spectroscopy) angeschafft, das eine deutlich schnellere und genauere Bestimmung der Energieniveaus von Verunreinigung ermöglicht als die bereits vorhandene Ausstattung. Durch die Anschaffung einer neuen Anlage mit fokussierten Ionenstrahlen (FIB) mit zusätzlichen Analysefunktionen

(energiedispersive Röntgenspektroskopie, EDX und Raster-Transmissionselektronenmikroskopie, STEM-Detektor) können deutlich kleinere Strukturen mit fokussierten Ionenstrahlen analysiert und erzeugt werden. Zudem wurden zwei neue Rasterelektronenmikroskope mit erweiterten Analysefunktionen (u.a. EDX) angeschafft, mit denen nun auch große Proben bis 150 mm Durchmesser untersucht werden können. Für die Evaluierung und Erprobung neuer Prozessgeräte gibt es eine weitere Mehrkammerprozessanlage (Clusterplattform), in die bis zu vier Prozesskammern für Scheiben mit einem Durchmesser von 200 mm und 300 mm integriert werden können. In dieser Anlage können der Aufbau integrierter Prozessketten sowie die Verknüpfung mit Messtechnik getestet werden.

Im Zuge der Beteiligung am Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“ und am DFG Graduiertenkolleg 1161/1 „Disperse Systeme für elektronische Anwendungen“ wurde in Kooperation mit dem IISB die Laboreinrichtung für die Herstellung gedruckter elektronischer Bauelemente erweitert.

Ein Tintenstrahldrucker erlaubt die präzise Deposition einer Menge von einem Picoliter funktionseller Tinte. Für die Aufkonzentration von Tinten und die Klassifizierung und Trennung nach Partikelgrößen wurde eine Ultrazentrifuge beschafft. Der Winkelrotor leistet eine Beschleunigung von über 60000 *g*. Ein Mikroviskosimeter wird für die Viskositätsmessung an kleinen Probenvolumina eingesetzt. Gleichzeitig wurde ein tragbares Dichtemessgerät zur Überprüfung von Dichten angeschafft. Derzeit wird ein mobiles und kompaktes Mini-Probersystem für den halbautomatischen Test von Bauelementen aufgebaut. Dieses wird es erlauben, an einer Probe automatisch verschiedene Positionen anzufahren und mit spezifischen Messroutinen die kontaktierten Teststrukturen zu charakterisieren. Hauptvorteil des Systems ist das Entfallen zeitaufwendiger Positionier- und Kontaktierungsarbeiten, beispielsweise in Handschuhboxen oder Klimakammern.

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, Rohrwärmer, Rohrofen für Nanopartikelschichten
- Schichtabscheidung: Niederdruck-Dampfphasenabscheidung (LPCVD) von Standard-CMOS-Dünnschichten ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 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, Sputteranlage zum Co-Sputtern verschiedener Materialien, Ausheil- und Epitaxieanlagen für SiC, plasmaunterstützte Abscheidung atomar dünner Schichten (ALD)
- MESC-kompatible Cluster-Plattform mit XPS-Messmodul, Messgeräte für Partikelmessung und Plasmadiagnose, Vertikalofen mit *in-situ* Schichtdickenmesstechnik
- Lithographie: Kontakt- und Proximity-Belichtung, vollautomatische Horde-zu-Horde-Lack- und Entwicklerstraßen, Elektronenstrahlolithographie

- Nanoimprint-Lithographie: Nano-Patterning-Stepper (NPS) 300, Strukturierung von Substraten mit Durchmessern bis 200 mm
- Feinfokus-Ionenstrahlanlagen (FIB)
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 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 ( $\mu$ -PCD))
- Oxidladungs- und Grenzflächenzustandsdichte (hoch- und niederfrequente Kapazitäts-Spannungs-Messung, Thermo-Stress)
- Störstellen (Trap)-Konzentration ( $C(U)$ , DLTS, TSC und PICTS)
- $I(U)$ - und  $C(U)$ -Messungen mit manuellen oder automatischen Scheibenprobern
- Stressverfahren zur Untersuchung der Zuverlässigkeit dünner dielektrischer Schichten
- Elektronenstrahltester zur Analyse von Halbleiterbauelementen mittels Potentialkontrastmethode
- Solarzellenmessplatz
- Spektrometer für Photolumineszenz (14 K, 300 K) und IR-Absorption
- Photometer

## Prozessmesstechnik, physikalische und chemische Analytik

- Scheibendicke und -form (kapazitiv)
- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für *in situ*-Messungen, Spektrelellipsometer (*in situ*, *ex situ*), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten)
- Kontaktwinkelmessgerät
- 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 Emissionsspektroskopie (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
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR), Möglichkeit zur Untersuchung von 300 mm-Substraten

#### Leistungselektronische Messtechnik

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

#### Prozess- und Analysetechnik gedruckte Elektronik

- Tintenstrahldrucker
- Handschuhbox
- Ultrazentrifuge
- Ultraschallfinger
- Schleudern für die Beschichtung
- Heizplatten, davon eine mit Vakuumchuck
- Mikroviskosimeter

## Softwareausstattung

- Schaltungssimulatoren Pspice, Simplorer
- Flotherm (3D thermische Finite-Elemente-Analyse)
- Ansoft PEMAG
- Verschiedene Programme (sowohl kommerzielle Programme als auch Eigenentwicklungen) für Geräte-, Prozess- und Bauelementesimulation, z. B. ICECREM, TRIM, DIOS, DESSIS, FLOOPS, SENTAURUS, SOLID, DEP3D, ANETCH, Dr.Litho, ENCOTION und Arena
- Cadence Design Paket zur Synthese von Analog-Mixed-Signal ASICs
- Entwicklungswerkzeuge zur Gerätesteuerung
- Fuzzyentwicklungssystem

## Rechner

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

## 3.6 Arbeitsgebiete

### 3.6.1 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 Halbleiter-Nanopartikeln. Weitere Kompetenzen liegen im Bereich der Untersuchung einzelner Prozessschritte, z.B. durch Bestimmung der Schichtzusammensetzung, der Topographie, der Dotierprofile und weiterer physikalischer und chemischer Parameter sowie in der Charakterisierung von Halbleiterbauelementen, wie z.B. NROM-Speicher durch entsprechende elektrische Messtechnik, u.a.  $C(U)$ -Messungen und  $I(U)$ -Messungen.

### 3.6.2 Leistungshalbleiter-Bauelemente, Smart-Power-IC-Technologien

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

Schwerpunkt ist hierbei die Konzeption, Entwicklung und Charakterisierung neuartiger diskreter und – im Rahmen von Smart-Power-IC-Technologien - integrierbarer Leistungshalbleiter. Aktuelle Forschungsthemen stellen integrierbare Bauelemente für Smart-Power-IC-Prozesse mit einer Spannungsfestigkeit bis 100 V für Produkte zum Einsatz in der Automobilelektronik sowie

mit einer Spannungsfestigkeit von ca. 600 V für Anwendungen an 230 V-Netzwechselspannung dar. Die Charakterisierung des Bauelementverhaltens und die Designoptimierung erfolgen durch numerische Device- und Prozess-Simulation sowie experimentelle Funktionsanalyse. Die Realisierung von Bauelementen und Teststrukturen erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern.

### 3.6.3 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 Prozess-Schritte 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 Vorlauftforschung 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.

### 3.6.4 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.

### 3.6.5 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.





## 4 Veranstaltungen

### 4.1 Chronik 2008

<b>Datum</b>	<b>Veranstaltung</b>
25. Januar	Reinraumführungen im Rahmen eines Kontaktvormittags für Studenten der Elektrotechnik
7. März	Schülerinformationstag des Instituts für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
12. März	Erlanger Techniktage 2008, Besuch von Studierenden der Bayerischen Eliteakademie
24. April	Besuch einer Schülergruppe im Rahmen des „Girl's Day 2008“
6. Mai	Treffen des Bayerischen Forschungsverbundes für Nanoelektronik (FORNEL) und Reinraumführung
7. Mai	Führung durch das IISB und den Reinraum für Bamberger Schüler
21. Mai	Führung durch das IISB und den Reinraum für Auszubildende der Firma Kaeser
27. Mai	Abschluss der Promotion von Tobias Erlbacher
23. Juni	Lehrstuhlpräsentation für Studierende der EEI im 4. Semester
26. Juni	Sommerfest der Technischen Fakultät
30. Juni	Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme (Organisation durch LEB) und Verleihung des Studienpreises Mechatronik der Firma Baumüller (Nürnberg)
28. Juli	Abschluss der Promotion von Georg Roeder
28. Juli	Gemeinsames Grillfest der Lehrstühle im Gebäude Cauerstr. 6
1. August	Betriebsausflug des IISB und des LEB nach Nürnberg
1. September	Amtsantritt von Prof. Frey als Leiter des IISB
08.-12. September	Praktikum Mädchen und Technik
17.-19. September	Blockpraktikum Technologie der Silicium-Halbleiterbauelemente am LEB für Studenten der FH Aschaffenburg
21. September-3. Oktober	Ferienakademie Sarntal (Südtirol, Italien)
22.-23. Oktober	Wissenschaftliches Kolloquium des Sonderforschungsbereiches 694 (Veranstaltungsort Fraunhofer IISB)
1. Oktober	Amtsantritt von Prof. Frey als Lehrstuhlinhaber
13. Oktober - 5. November	Besuch von Dr. Albena Paskaleva von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften im Rahmen.
16. Oktober	Verleih des Georg-Waerber-Innovationspreises an Dr. Matthias Rommel und Dr. Holger Schmitt vom IISB (beide ehemalige Mitarbeiter am LEB)
27. Oktober	Abschluss der binationalen Promotion von Vincent Lorentz (Kooperation zwischen Universität Erlangen-Nürnberg und Universität Straßburg)

31. Oktober	Führung für den Alumniverein der Technischen Fakultät Erlangen (ATE e.V.)
31. Oktober	EEI-Kontaktmesse für Studierende im 1. Semester
20.-21. November	Feierliche Verabschiedung von Prof. Ryssel und Amtseinführung von Prof. Frey
5. Dezember	Kontaktvormittag mit Reinraum- und Laborführung für Studierende im 1. Semester
13. - 19. Dezember	7th Indo German Winter Academy (Chennai, Indien)
22. Dezember	Gemeinsame Weihnachtsfeier von LEB und IISB

#### 4.2 *Bayerische Eliteakademie*

Bereits zum fünften Mal war der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zusammen mit dem IISB Partner der Erlanger Techniktage für die Bayerische Eliteakademie, die vom 9.-12. März 2008 stattfanden. Die Techniktage bieten Studenten nichttechnischer Fachrichtungen wie Betriebswirtschaftslehre oder Jura die Möglichkeit, über Vorträge und vor allem eigene praktische Erfahrungen einen Eindruck von den Möglichkeiten sowie der volkswirtschaftlichen Bedeutung moderner Technologien zu bekommen, um diese Erfahrung in späteren Führungspositionen nutzen zu können.

Am IISB und am LEB konnten sich rund 35 Studenten der Bayerischen Eliteakademie sowie des Augsburger Elitestudiengangs „Finance & Information Management“ (FIM) am Abschluss-tag der Veranstaltung einen Einblick in die Mikro- und Nanoelektronik verschaffen. Neben Programmpunkten zur Prozess- und Bauelementesimulation sowie zur Leistungselektronik war ein Höhepunkt der Besuch im Reinraumlabor (Abbildung 4.1), in dem die Studenten unter fachmännischer Betreuung selbst einige Prozessschritte für die Herstellung von elektronischen Bauelementen durchführen konnten.

#### 4.3 *Girls' Day*

Am 24.04.2008 fand der jährliche, bundesweite Girls' Day 2008 statt. Im gesamten Bundesgebiet bieten Firmen und Einrichtungen ein buntes Programm für Schülerinnen an, um die Begeisterung für Technik und Naturwissenschaften zu wecken bzw. zu fördern.

Die Technische Fakultät bot an diesem ein buntes Programm aus 4 Departments an. Der Lehrstuhl wurde von 2 Gruppen besucht, die sich über die Fertigungsbedingungen moderner Mikroelektronik informierten.

Weitere Informationen zum Girls' Day finden Sie unter der Internetadresse [www.girls-day.de](http://www.girls-day.de).

#### 4.4 *Abschlussveranstaltung zum Praktikum Mechatronische Systeme*

Bereits zum 6. Mal fand in den Räumlichkeiten des IISB am 30. Juni 2008 die Abschlussveranstaltung mit dem Abschlusstest zum Praktikum Mechatronische Systeme - auch einfach „Roboterwettbewerb“ genannt - statt. Das Praktikum wird jährlich mit den Studenten des 4. Semesters im Studiengang Mechatronik an der Technischen Fakultät durchgeführt und ist ein



*Abb. 4.1: Teilnehmer der Erlanger Techniktage im Reinraumlabor des Lehrstuhls*

Höhepunkt in diesem Studium. An der Durchführung des Praktikums sind in der Regel 12 Lehrstühle aus den Departments Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik sowie Maschinenbau beteiligt. In diesem Jahr wurde es erstmalig vom Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) unter der Leitung von Prof. Ryssel organisiert.

Im Praktikum wird den Studenten die Gelegenheit geboten, ihre bis zum Ende des Grundstudiums angeeigneten theoretischen Kenntnisse an einer vorgegebenen Aufgabenstellung auszuprobieren und potentielle Interessengebiete für die Auswahl einer Vertiefungsrichtung im Hauptstudium kennen zu lernen. Die Teilnehmer erarbeiten dabei in Gruppen von 6 bis 10 Studenten alle Phasen einer technischen Produktentwicklung, vom ersten Konzept über die Entwicklung funktionsfähiger Einzelkomponenten bis hin zum einsatzbereiten System. Neben klassischen Ingenieur-tugenden trainieren die Studenten auch wichtige Schlüsselqualifikationen, wie das Arbeiten in der Gruppe, selbständiges und verantwortungsvolles Handeln oder das Lösen von Konflikten.

Die diesjährige Aufgabenstellung beinhaltete eine Thematik aus dem relativ jungen Gebiet der Rettungs-Robotik. Es sollte ein autonomes System entwickelt werden, welches - ausgehend von einem Startbereich - eine Boje mit zweifach moduliertem Infrarot-Leuchfeuer ortet und in einen Zielbereich transportiert. Die ganz bewusst auf das Wesentliche reduzierten Anforderungen stellten sich im Wettbewerb als relativ anspruchsvoll heraus, da einige Gruppen mit der Zuverlässigkeit ihrer Systeme zu kämpfen hatten. Erfreulicherweise konnte die Gruppe des LEB den Wettkampf wieder für sich entscheiden und damit den Hattrick im Praktikum landen. Das dritte Mal in Folge hat eine Gruppe des Lehrstuhls das schnellste System an den Start gebracht. Dieser Erfolg ist eine schöne Bestätigung für das Engagement von Prof. Ryssel und seines Lehrstuhls für den Studiengang Mechatronik im Allgemeinen und das Praktikum Mechatronische Systeme im Speziellen. Neben den Anstrengungen für eine angemessene Laborausstattung und gute Arbeitsbedingungen wird am LEB immer auch Wert darauf gelegt, dem Erfindungsreichtum der Studenten freien Raum zu geben und sie bei der eigenverantwortlichen

Umsetzung ihrer Ideen und Ziele kontinuierlich zu motivieren und zu unterstützen.

Weitere Informationen zum Praktikum Mechatronische Systeme finden sich auf der Internetseite des Lehrstuhl unter der Rubrik „Lehre“.



*Abb. 4.2: Mitglieder der Praktikumsgruppe des LEB mit Prof. Ryssel bei der Siegerehrung im Abschlusstest zum Praktikum Mechatronische Systeme 2008*

#### **4.5 *Praktikum Mädchen und Technik***

Die Technische Fakultät hat sich zum Ziel gesetzt den Anteil weiblicher Studienanfänger bis 2012 auf 22% zu steigern. Um mehr Schülerinnen für ein technisches Studium zu gewinnen, wurde auch 2008 das Mädchen&Technik-Praktikum durchgeführt. Das diesjährige Praktikum fand vom 8. bis 12. 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“ traf auf besonderes Interesse. Hierbei wurde erklärt, wie eine Solarzelle 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 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.

Auf der Internetseite [www.maedchen-technik.de](http://www.maedchen-technik.de) finden Sie weiterführende Informationen zum Praktikum.



Abb. 4.3: Teilnehmerinnen des Mädchen&Technik-Praktikums

#### **4.6 Ferienakademie Sarntal**

Diese Ferienakademie wird von der TU München gemeinsam mit den Universitäten in Erlangen und Stuttgart organisiert. Sie soll der Motivation und der Förderung begabter und interessierter Studierender dienen. Von den Teilnehmern wird bei der Vorbereitung und Durchführung der Kurse eine aktive Beteiligung erwartet. Jedes Jahr werden ca. 12 Kurse mit einem breitem Themenspektrum angeboten.

Herr Prof. Ryssel beteiligte sich 2008 am Kurs „Mikrobauteile mit Megapotential im hochtechnologischen Alltag“ der Ferienakademie im Sarntal in Südtirol.

Die Besonderheit der Akademie liegt im ungezwungenen Rahmen. Die Kursteilnehmer und Dozenten wohnen fast zwei Wochen gemeinsam in einem Hotel im Sarntal. Mithilfe von Referaten und ausgiebigen Diskussionen werden aktuelle wissenschaftliche Themen intensiv bearbeitet. Daneben gibt es ein attraktives Rahmenprogramm mit Bergwanderungen, Tischtennisturnier, Ausflügen, und weiteren Angeboten. Auch 2009 wird der Lehrstuhl an einem Kurs der Ferienakademie beteiligt sein.

Informationen hierzu finden Sie unter der Adresse [www.ferienakademie.de](http://www.ferienakademie.de).

#### **4.7 Wissenschaftliches Kolloquium des SFB694**

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches (SFB) „Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme“ fand in den Räumlichkeiten des Fraunhofer IISB am 22. und 23. Oktober 2008

ein wissenschaftliches Kolloquium statt. Dazu wurden zahlreiche Vertreter aus der Industrie eingeladen, die sich vor Ort über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Arbeiten informieren konnten. Das Wissenschaftliche Kolloquium diente dabei als Forum zum wechselseitigen Gedanken- und Ideenaustausch zwischen Wissenschaft und Industrie. Neben Wissenschaftlern aus elf Teilprojekten beteiligten sich auch Mitarbeiter von Forschungseinrichtungen der Industrie an den Vorträgen. Im Anschluss an die Hauptveranstaltung hatten die interessierten Industriepartner die Möglichkeit, Labore und Einrichtungen der beteiligten Lehrstühle und Forschungsinstitute zu besichtigen.



Abb. 4.4: Vortrag im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums des SFB 694

#### 4.8 Besuch von der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften am LEB

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

Auch bei ihrem Besuch vom 13. Oktober bis zum 5. November 2008 beschäftigt sich Dr. Paskaleva mit dieser Thematik. Dabei führte sie Untersuchungen an dünnsten Schichten aus Zirkoniumdioxid durch, die mit Aluminium und Silicium dotiert sind. Anhand elektrischer Messungen analysierte Dr. Paskaleva die Auswirkungen unterschiedlicher Prozessparameter bei der kontrollierten Abscheidung einzelner Atomlagen (Atomic Layer Deposition, ALD) dieses Materialsystems. Die untersuchten Isolationsschichten sollen in zukünftigen DRAM-Speicherelementen Verwendung finden.



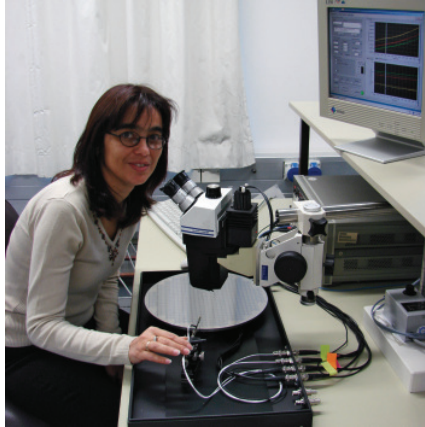


Abb. 4.5: Dr. Albena Paskaleva im Analytiklabor des LEB bei der elektrischen Charakterisierung von zirkoniumbasierten Isolatorschichten für DRAM-Speicherzellen

#### 4.9 Verleih des Georg-Waeber-Innovationspreises

Dr. Mathias Rommel und Holger Schmitt, ehemalige Doktoranden des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente und heute am Fraunhofer IISB beschäftigt, erhielten gemeinsam mit Dr. Michael Hornung von der Süss MicroTec Lithography GmbH in Garching sowie Gilbert Lecarpentier von der französischen Firma S.E.T. SAS für ihre Arbeiten zur so genannten UV-Nanoimprint-Lithographie den Georg-Waeber-Innovationspreis 2008 des in Nürnberg ansässigen Förderkreises für die Mikroelektronik e.V. verliehen. Die Preisverleihung fand im Rahmen der Jahrestagung des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) am 16. Oktober 2008 in Erlangen statt.

Im Gegensatz zur aktuell für die Chipherstellung eingesetzten optischen Lithographie, die sehr teure Geräte mit hochpräzisen Linsensystemen benötigt, überträgt das Nanoimprint-Verfahren mittels einer Quarzform aller kleinste Bauelementestrukturen durch einen Prägevorgang in eine Lackschicht. Die durch Bestrahlung mit UV-Licht ausgehärtete strukturierte Lackschicht ermöglicht dann das Ätzen der Strukturen in darunterliegende Schichten. Die Entwickler konnten durch ihre Arbeit das kostengünstige Verfahren in zwei Anlagentypen zur Marktreife entwickeln. Damit ist es auch kleinen und mittelständischen Unternehmen möglich, innovative Ideen in der Mikro- und Nanoelektronik umzusetzen.

#### 4.10 Indo-German Winter Academy

##### 7. Indo-German Winter Academy 2008 am IIT Madras (Chennai)

Die „Indo-German Winter Academy“ 2008 der Indian Institutes of Technology (IIT) und der Universität Erlangen-Nürnberg fand von 13. bis 19. Dezember 2008 im MGM Beach Resorts on Muttukadu, Chennai statt.

Die Winterakademie bietet indischen und deutschen Studenten die Gelegenheit außergewöhn-





Abb. 4.6: Verleihung des Georg-Waeber-Innovationspreises 2008: Dr. Ralf Süß (stellv. für Dr. Michael Hornung), Gilbert Lecarpentier, Dr. Mathias Rommel, Holger Schmitt, Dr. Dietrich Ernst, Vorsitzender des Förderkreises (v.l.) (Foto: Kurt Fuchs)

liche Einblicke in aktuelle Technologien zu bekommen. Ziel ist es talentierte Studenten der führenden technischen Hochschulen Indiens und der Universität Erlangen-Nürnberg für die Erforschung naturwissenschaftlicher und technischer Probleme zu motivieren. Im Jahr 2008 lag der Schwerpunkt der Winterakademie auf Bereichen mit hoher Relevanz für Industrie und Forschung: „Fluid Flow, Heat Transfer, and Energy Conversion“, „High Performance Computing for Engineering Problems“ und „Semiconductor Processes, Devices and Systems“.

Studenten natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fächer im 5. oder 7. Semester der indischen technischen Hochschulen (IIT Bombay, IIT Delhi, IIT Guwahati, IIT Kanpur, IIT Kharagpur, IIT Madras und IIT Roorkee) und der Universität Erlangen-Nürnberg bewarben sich um einen der Plätze nahmen an der Winterakademie teil. Jeder Teilnehmer hatte einen Vortrag zu einem spezifischen Thema innerhalb des gewählten Kurses vorzubereiten. Darauf aufbauend diskutierten die Studierenden und die betreuenden Hochschullehrer in entspannter Atmosphäre über zugrunde liegenden theoretischen Konzepte bis hin zu technischen Anwendungsmöglichkeiten. Durch die Unterstützung von Industriepartnern und anderen Organisationen konnten die Kosten der Teilnehmer für Verpflegung, Unterbringung und Anreise von den Veranstaltern übernommen werden. Wie schon in den Jahren zuvor, ergab sich für mehrere Studierende die Möglichkeit Forschungsprojekte oder Praktika in Indien und Deutschland zu absolvieren.

Die „Indo-German Winter Academy“ bietet Studierenden und Hochschullehrern die einzigartige Gelegenheit interessante und aktuelle Fragen der Forschung international zu diskutieren. Die Kooperation zwischen allen 7 technischen Elite-Hochschulen Indiens und einer deutschen Universität ist bisher beispiellos. Zusammen mit seinen Kollegen Prof. Franz Durst (Lehrstuhl für Fluidmechanik, Leiter der Akademie bis 2005) und Prof. Ulrich Rüde (Lehrstuhl für Systemsimulation) hat Prof. Heiner Ryssel als Direktor der Winterakademie von deutscher Seite geleitet. Die Organisation in Indien wurde 2008 am IIT Madras durch Prof. Amitava DasGupta und Prof. Dhiman Chatterjee übernommen.

Der anhaltender Erfolg und die beständige Erweiterung der Indo-German Winter Academy bestärkte die Verantwortlichen auch im Jahr 2009 eine Winterakademie zu veranstalten. Die Organisation erfolgt diesmal durch das IIT Roorkee.



*Abb. 4.7: Teilnehmer der 7. Indo-German Winter Academy 2008 in Madras (Chennai)*



## 5 Lehre und Ausbildung

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

Die Grundlagenvorlesung „Halbleiterbauelemente“ wird in den Bachelor-Studiengängen Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (EEI) und Mechatronik weiterhin als Pflichtveranstaltung angeboten.

Der LEB beteiligt sich im EEI-Diplomstudium an den Vertiefungsrichtungen „Mikroelektronik“ und „Leistungselektronik“ und „Allgemeine Elektrotechnik“. Im Mechatronik-Diplomstudium 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 und eine Reihe von Wahlfächern für weitere Studiengänge an.

An der Technischen Fakultät wurde der interdisziplinäre Bachelor-Master-Studiengang „Nanotechnologie“ zum Wintersemester 2008/09 neu eingeführt. Der Lehrstuhl beteiligt sich mit Vorlesungen und Praktika im Bereich Nanoelektronik und mikroelektronischen Fertigungsverfahren an der Ausbildung.

Im Berichtszeitraum wurde eine Lehrveranstaltung neu in das Programm des LEB aufgenommen. Die Vorlesung „Einführung in die gedruckte Elektronik“ gibt einen ausführlichen Einblick in die komplexen und interdisziplinären Problemstellungen, die sich im Bereich der gedruckten Elektronik ergeben.

### 5.1 Vorlesungen

#### 5.1.1 Halbleiterbauelemente

Dozenten:	Prof. Dr. Heiner Ryssel Prof. Dr. Lothar Frey
Übung:	Dr.-Ing. Tobias Dirnecker
Zeitraum:	2008 nur Wintersemester, sonst in jedem Semester

#### 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.

### 5.1.2 Ringvorlesung Mechatronische Systeme

Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel u.a.  
Zeitraum: Sommersemester

#### Inhalt

In der Ringvorlesung Mechatronische Systeme stellen 12 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.

### 5.1.3 Arbeitstechnik

Betreuer: Thomas Richter, M.A.  
Dipl.-Nat. Christina Ehlig  
Zeitraum: Wintersemester

#### Inhalt

Die Lehrveranstaltung Arbeitstechnik besteht aus einer Einführungsvorlesung, drei Workshops, der Kontaktmesse des Departments Elektrotechnik-Elektronik-Informationstechnik für Studierende im 1. Semester und den Kontaktnachmittagen bzw. -Vormittagen an den Lehrstühlen. Initiator der Arbeitstechnik ist Prof. Dr.-Ing. Friedrich Oehme vom Lehrstuhl für Technische Elektronik (LTE). Seit dem Wintersemester 2005/2006 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. Darüber hinaus 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 dann einzelne Lehrstühle besucht werden.

### 5.1.4 Produktion in der Elektrotechnik

Dozenten: Prof. Dr. Heiner Ryssel  
Prof. Dr. Lothar Frey (je 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 Studienbeiträgen eine Online-Übung zum Vorlesungsteil des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente aufgebaut.

### 5.1.5 Technologie integrierter Schaltungen

Dozenten: Prof. Dr. Heiner Ryssel  
Prof. Dr. Lothar Frey  
Übung: Dipl.-Ing. Jochen Kaiser  
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 Prozessschritte Lithographie, Ätztechnik und Chemisch-Mechanisches Polieren.

### 5.1.6 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.

### 5.1.7 Ionenimplantation

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel  
Übung: Dipl.-Ing. Jochen Kaiser  
Zeitraum: Wintersemester (bis WS 2007/08)

## 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.

### 5.1.8 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.

### 5.1.9 Nanoelektronik

Dozent:	Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel Dr.-Ing. Christine Dehm
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.

### 5.1.10 Zuverlässigkeit und Fehleranalyse integrierter Schaltungen

Dozent:	Priv.-Doz. Dr.-Ing. Peter Pichler (Fraunhofer IISB)
Übung:	Priv.-Doz. Dr.-Ing. Peter Pichler (Fraunhofer IISB) Dr.-Ing. Michael Jank
Zeitraum:	Wintersemester

## Inhalt

Wirtschaftlicher Erfolg beim Einsatz von elektronischen Bauelementen hängt unter anderem von deren Lebensdauer ab. Zu geringe Lebensdauern führen zu überproportionalen Garan-



tiefeleistungen 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.

#### 5.1.11 Leistungshalbleiterbauelemente

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

#### 5.1.12 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 TreiberSchaltungen 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 Spannungs-klasse sowie der Komplexität der integrierten signalverarbeitenden Schaltungsteile. Zu ihrer Herstellung kommen abhängig von den Produkthanforderungen 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 Leistungsbau-elemente 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 Produkterstellungstechnologie-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?“

### 5.1.13 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 Prozessschritte 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 der in der Industrie verbreitetsten Prozess-Simulationsprogramme sowie einem Ausblick auf die weitere Entwicklung des Gebiets und seiner Anwendungen.

### 5.1.14 Festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterbauelemente

Dozent: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisieik  
Übung: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisieik  
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, Stokionisation). 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 dem MOS-Kondensator.

### 5.1.15 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 Plasma-prozesse sowie zur Messtechnik und Qualitätskontrolle behandelt. Der Teil II befasst sich mit Maschinen- und Anlagenkonzepten, Scheibenhandhabung, Wafertrack-Anlagen, Partikelmesstechnik, Fertigungstechnik im Reinraum sowie Reinraumtechnik und Infrastruktur. Besonders berücksichtigt werden dabei mechanische und elektrische Anlagentechnik, Maschinenelemente, Subkomponenten, Maschinensteuerung, Anlagenvernetzung 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.

### 5.1.16 Siliciumcarbid-Hochleistungsbauelemente - Grundlagen, Technologie und Systemaspekte

Dozent: Hon.-Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stephani (Fa. SiCED, siehe 3.2)  
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.

### 5.1.17 Bauelementmodelle für die Schaltkreissimulation

Dozent: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak  
Übung: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisiak  
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 "SSonderbauelemente", 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.

Einen weiteren 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.

### 5.1.18 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.

### 5.1.19 Optische Lithographie: Technologie, Physikalische Effekte und Modellierung

Dozent: Dr. rer. nat. Andreas Erdmann  
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 45nm herstellen. Zur Herstellung der Lithographiemasken bzw. von optischen und mechanischen Bauelementen im Mikrometerbereich und darunter werden andere lithographische Verfahren, wie Elektronenstrahlolithographie, Masken Proximity- und Kontaktbelichter, 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, gekoppelte Kinetik- und Diffusionsprozesse in chemisch verstärkten Lacken werden im Detail analysiert. Die Vorlesung beinhaltet weiterhin Einführung in die Lithographiesimulation, welche zur Analyse und Optimierung lithographischer Prozesse eingesetzt wird.

Die Vorlesung wird in englischer Sprache gehalten.

### 5.1.20 Einführung in die gedruckte Elektronik

Dozent: Priv.-Doz. Dr. Klaus Schmidt (Fa. PolyIC)  
Zeitraum: Wintersemester (neu in WS 2008/09)

#### Inhalt

Die Idee, elektronische Schaltungen ähnlich wie die tägliche Zeitung zu drucken, fasziniert Forschung und Industrie in gleichem Maße. Zur Erreichung dieses Zieles ist allerdings eine

intensive Zusammenarbeit der unterschiedlichsten Fachgebiete notwendig. So müssen z.B. in der Chemie, Physik und Materialwissenschaft neue Materialien mit bestimmten elektronischen und drucktechnischen Eigenschaften entwickelt werden. Es müssen neue Formulierungen erstellt und Druckprozesse identifiziert und angepasst werden. Schließlich ist ein Verständnis der physikalischen Eigenschaften der gedruckten Schichten notwendig, damit die Elektrotechnik angepasste Designs und Simulationsmodelle zur Verfügung stellen kann. Erst wenn all diese Puzzlestücke nahtlos ineinander greifen, wird gedruckte Elektronik realisierbar. Ziel der Vorlesung ist es, bei den Zuhörern eine gemeinsame grundlegende Wissensbasis zu schaffen, sie für die Problemstellungen der unterschiedlichen Fachgebiete zu sensibilisieren und Verständnis für die Komplexität und Wechselwirkungen auf dem Gebiet der gedruckten Elektronik zu wecken.

## 5.2 *Praktika*

### 5.2.1 **Praktikum Mechatronische Systeme**

Betreuer: Thomas Richter, M.A.

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 10 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 und günstigsten funktionsfähigen Konzepte ermittelt.

Im Rahmen der diesjährigen Aufgabenstellung war ein autonomes Fahrzeug zu entwickeln werden, das ein Objekt mit Infrarot-LED (Leuchtfeuer) orten und anfahren kann, um es anschließend in eine sichere Zone zu bringen. Im Wettkampf musste diese Aufgabe gegen die Uhr erfüllt werden, das schnellste Team gewann.

### 5.2.2 **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.

### 5.2.3 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.

## 5.3 Seminare

### 5.3.1 Hauptseminar über ausgewählte Kapitel der Silicium-Halbleitertechnologie

Dozenten: Assistenten und Mitarbeiter  
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 beiden zurückliegenden Semestern wurden folgende Schwerpunktthemen behandelt:

**SS 2008:** Bauelemente mit Substrat Engineering  
**WS 2008/09:** Anforderungen an Bauelemente in Automobilen



### 5.3.2 Numerische Simulation grundlegender Vorgänge in Halbleiterbauelementen

Organisation: Prof. Dr. phil. nat. Michael Stoisieck  
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 Phase 3 vereinbart und in Phase 3 von den Teilnehmern erarbeitet.

### 5.4 Vorlesungsangebot bei der Virtuellen Hochschule Bayern

#### 5.4.1 Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel  
Umsetzung: Thomas Richter, M.A.  
Tutor: Dipl.-Ing. Mikhail Lazarev  
Zeitraum: Kurs wird in jedem Semester angeboten

#### Allgemeine Informationen

Im Rahmen der Virtuellen Hochschule Bayern (vhb) werden von verschiedenen Hochschulen und Fachhochschulen in Bayern Lehrveranstaltungen erarbeitet, die mittels neuer Medien den

Lernenden angeboten werden.

Genauere Informationen über die vhb finden sich unter [www.vhb.org](http://www.vhb.org).

Die vhb gliedert sich in verschiedene Fachbereiche. Der LEB ist an der so genannten „School of Engineering“ beteiligt und bietet seit dem Wintersemester 2003/2004 die vollständig überarbeitete Lehrveranstaltung „Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen“ in Form einer virtuellen Vorlesung an, die als interaktive Selbstlernumgebung zu Verfügung gestellt wird. Aufgrund des Umfangs des Datenmaterials und der technischen Konzeption erfolgt die Distribution auf CD-ROM. Der Kurs „Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen“ ist aus dem vhb-Pilotprojekt „Prozessintegration und Bauelementearchitekturen“ hervorgegangen. Bei seiner Entwicklung konnte nicht nur eine finanzielle Förderung, sondern auch die Betreuung durch das Projektmanagement der vhb in Anspruch genommen werden. 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.

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 zur Verfügung gestellt. Der Zugang erfolgt jeweils über entsprechende Verweise in der Lernumgebung. Benötigt werden eine Benutzerkennung und ein Passwort, welche vom LEB bei Zustellung des Lehrmaterials nach Anmeldung bei der vhb den Kursteilnehmern mitgeteilt werden. Es besteht die Möglichkeit zum Erwerb eines benoteten Leistungsnachweises durch Teilnahme an einer Klausur oder, bei nur geringer Teilnehmerzahl, durch eine mündliche Prüfung bei Prof. Ryssel. Es werden 5 ECTS-Punkte vergeben.

## 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 inklusive eines 1D-Prozess-Simulationsprogrammes können ebenfalls im Internet 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 [www.vhb.org](http://www.vhb.org) („Kursprogramm“ / „Ingenieurwissenschaften“ / „A-Kurse“). Ein Quereinstieg ist nach persönlicher Absprache möglich.

#### 5.4.2 Halbleiterbauelemente

Dozenten:	Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel Prof. Dr. rer.-nat. Doris Schmitt-Landsiedel
Umsetzung:	Thomas Richter, M.A.
Tutor:	Dr.-Ing. Tobias Dirnecker
Zeitraum:	Kurs wird in jedem Semester angeboten

#### Allgemeine Informationen

„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 2 Semesterwochenstunden zur Festigung der vermittelten Inhalte zur Verfügung gestellt. Der Zugang erfolgt jeweils über entsprechende Verweise in der Lernumgebung. Benötigt werden eine persönliche Benutzerkennung und ein Passwort, welche vom LEB nach erfolgter Registrierung bei der vhb den Kursteilnehmern mitgeteilt werden. Es besteht die Möglichkeit zum Erwerb eines benoteten Leistungsnachweises durch Teilnahme an einer Klausur oder, bei nur geringer Teilnehmerzahl, durch eine mündliche Prüfung bei Prof. Ryssel. Es werden 5 ECTS-Punkte vergeben.

#### 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, Feldeffekttransistoren und Bipolartransistoren liegt. Die Umsetzung erfolgt als virtuelle Vorlesung in Form einer interaktiven Internet-Präsentation mit ergänzenden Übungsaufgaben. Dazu wurden Folieninhalte aus der Präsenzvorlesung aufbereitet, mit dem Audiokommentar von Prof. Ryszel 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. Feldeffekttransistoren
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 [www.vhb.org](http://www.vhb.org) („Kursprogramm“ / „Ingenieurwissenschaften“ / „A-Kurse“). Ein Quereinstieg ist nach persönlicher Absprache möglich.

### ***5.5 Einordnung der Lehrveranstaltungen***

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

#### **5.5.1 Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik**

##### **Diplom**

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

##### **Bachelor/Master**

Mit der Umstellung auf Bachelor/Master-Studiengänge hat sich die Einteilung der Fächer geändert. Nach den Grundlagenfächern im 1. und 2. Semester folgt im 3. und 4. Semester

das allgemeine Fachstudium, wobei die Vorlesung „Halbleiterbauelemente“ weiterhin für alle Studierenden verpflichtend ist. Im 5. und 6. Semester entscheiden sich die Studierenden auch hier wieder für eine der oben genannten Studienrichtungen. Im Bachelor- bzw. Masterstudium wird in den Studienrichtungen zwischen Kern- und Vertiefungsmodulen (K bzw. V) unterschieden. Für beide Modulararten kann aus einem Fächerkatalog ausgewählt werden, wobei bis zum Abschluss des konsekutiven Masterstudium alle Kernmodule belegt werden müssen. Die Studierenden können jedoch frei entscheiden, welche Module im Rahmen des Bachelor- bzw. Masterstudiums abgelegt werden.

## 5.5.2 Mechatronik

### Diplom

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

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

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

### Bachelor/Master

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

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

## 5.5.3 Andere Studiengänge

Zum Wintersemester 2008/2009 wurde der Studiengang „Nanotechnologie“ erstmals an der Technischen Fakultät angeboten. Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird neben der

Vorlesung „Nanoelektronik“ ein Reinraumpraktikum für diese Studenten als Pflichtveranstaltung anbieten.

#### 5.5.4 Kurse der Virtuellen Hochschule Bayern

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

Der Kurs „Technologie und Architektur mikroelektronischer Schaltungen“ kann nach erfolgreichem Abschluss an der Universität Erlangen zudem im Studiengang Werkstoffwissenschaften die Vorlesung Technologie integrierter Schaltungen als Teil der technischen Schwerpunkt- bzw. Wahlfächer ersetzen.

#### 5.6 Exkursionen

Im Sommersemester 2008 fand keine Exkursion statt. Die für das Wintersemester 2008/09 vorgesehene Exkursion nach Reutlingen zur Firma Bosch (Geschäftsbereich Automotive Electronics) konnte aus organisatorischen Gründen erst am 19. Januar 2009 stattfinden.

#### 5.7 Ausbildung zum Mikrotechnologen



Abb. 5.1: Die Auszubildenden Jonas Strobel und Oliver Pöhlmann an ihrem Arbeitsplatz

Der Ausbildungsberuf Mikrotechnologe/in stellt das Bindeglied zwischen dem reinen Operator, einem angelernten Arbeiter und dem Prozessingenieur in der Halbleiterindustrie dar. Die komplexen und technisch anspruchsvollen Tätigkeiten erfordern großes Fachwissen und hohe Flexibilität. Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente und das Fraunhofer IISB sind seit 1999, also ein Jahr nach Einführung des Berufsbildes 1998, in der Ausbildung zum Mikrotechnologen tätig. Durch ein entsprechendes Kooperationsabkommen mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie im Jahr 2004 konnte die Anzahl der an beiden Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehenden Ausbildungsplätze zudem um 50% erhöht werden.

Die Ausbildung erfolgt vorwiegend in der Technologiehalle des LEB, dessen Reinraumfläche mit ca. 1000 m<sup>2</sup> eine breitgefächerte Ausbildung ermöglicht. Im Zeitraum von 28.04 bis 30.04.08 besuchten deshalb zwei Auszubildende der Siemens AG Erlangen den LEB, um einen Einblick in die Siliciumtechnologie (CVD, PVD, Ionenimplantation und Fotolithographie) zu bekommen.

Die beiden derzeitigen Auszubildenden des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente Oliver Pöhlmann und Jonas Strobel werden im Frühjahr 2009 ihre Zwischenprüfung und Mitte 2010 ihre Abschlussprüfung absolvieren.

Der vielseitige Aufgabenbereich und die Güte dieser Ausbildung bieten die besten Zukunftsperspektiven mit unzähligen Einsatzgebieten, wie z.B. in Industriebetrieben zur Produktion von Computerchips, diskreten Halbleitern, Leistungshalbleitern und Optohalbleitern oder in zahlreichen Forschungseinrichtungen.

LEB und IISB geben gern allen Interessenten weiterführende Auskünfte über die Ausbildung zum Mikrotechnologen.

## 6 Wissenschaftliche Arbeiten von Studenten und Mitarbeitern

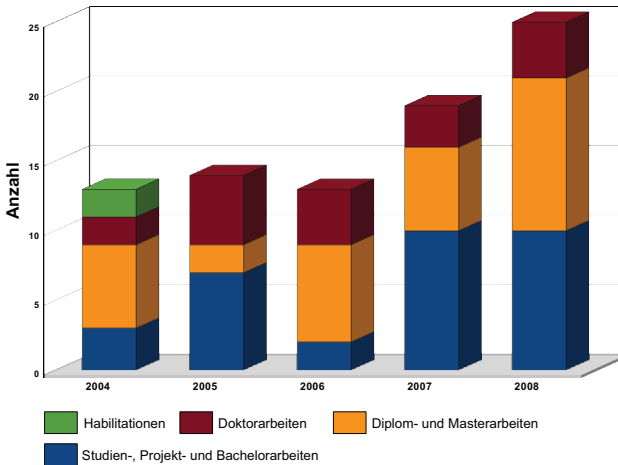


Abb. 6.1: Anzahl der am LEB abgeschlossenen Arbeiten

### 6.1 Studien-, Projekt- und Bachelorarbeiten

#### 6.1.1 *In-situ*-Messung der Erosionen an Sputtertargets

(Projektarbeit von Christoph Benker)

Der Verlauf der Erosion an Sputtertargets wird zurzeit nur empirisch bestimmt. Dies ist für eine verbesserte Prozesskontrolle nicht ausreichend. Deshalb wird in dieser Projektarbeit die grundlegende Eignung der Lasertriangulation und der Ultraschallmessung für die Kontrolle der Erosion an Sputtertargets überprüft. Die Messungen wurden an einer Aluminiumplatte durchgeführt. Diese simuliert die Eigenschaften eines erodierten Targets durch unterschiedliche Vertiefungen, an denen vor allem das Auflösungsvermögen der Laser- und Ultraschallmessmethoden überprüft werden kann. Für das Ultraschallmessverfahren ist die Fähigkeit, durch das Gehäuse einer Sputterquelle zu messen, wichtig, deshalb wurde diese Fähigkeit an einem Aufbau überprüft, der aus Kunststoff aufgebaut und mit Wasser gefüllt war. Es zeigte sich, dass das Ultraschallmessverfahren mit dem beschriebenen Messaufbau für Targetdicken unter 1 cm nicht geeignet ist, da es zu Überlagerungen benachbarter Signale kommt und die Rekonstruktion der Targetdicke dadurch sehr erschwert wird. Für die Lasertriangulation wurde der Einfluss von der Geometrie der Oberfläche, einer in der Messstrecke aufgestellten Glasscheibe untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Lasertriangulationsmessung für die angestrebte Messaufgabe sehr gut geeignet ist und Target-Dickenprofile mit einer Genauigkeit von einigen Mikrometern (abhängig vom verwendeten Sensor) aufgenommen werden können.



### **6.1.2 Inbetriebnahme und Automatisierung eines Hallmessplatzes**

(Studienarbeit von Jan Bialek)

Während dieser Arbeit wurde ein Hallmessplatz in Betrieb genommen. Es wurden erste Testmessungen durchgeführt, um die Funktionalität des Messplatzes zu überprüfen, sowie die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Messergebnisse zu untersuchen. Dies geschah anhand eines Widerstandsnetzwerkes und anhand von Halbleiterproben.

Es wurde eine Software in LabVIEW erstellt, mit der eine Messung automatisch durchgeführt wird. Dabei wird der Schichtwiderstand und der Schichthallkoeffizient bestimmt. Die resultierenden Schichtwiderstandswerte wurden mit den Ergebnissen eines IV-Messplatzes verglichen.

Mit Hilfe der Messungen am Widerstandsnetzwerk konnte ermittelt werden, dass die Abweichungen der Messergebnisse innerhalb der Toleranz der Messgeräte liegen. Die anschließende Messung an Halbleiterproben ergab einen höheren Schichtwiderstand als eine mit ICECREM durchgeführte Simulation des Herstellungsprozesses der Halbleiterproben erwarten ließ. Die Messungen am IV-Messplatz bestätigten die Größenordnung der zuvor gemessenen Schichtwiderstandswerte, allerdings traten teilweise erhebliche Abweichungen von bis zu 15% zwischen den beiden Messplätzen auf. Die Abweichung zwischen simuliertem und realem Wert ist auf Toleranzen bei der Herstellung der Proben zurückzuführen. Das erklärt auch die Unterschiede zwischen den theoretisch ermittelten Werten und den Messergebnissen der durchgeführten Hallmessungen. Dauermessungen zeigten, dass die Messergebnisse reproduzierbar sind.

### **6.1.3 Studie zu den notwendigen Voraussetzungen und Funktionalitäten bei der Umrüstung eines Serienfahrzeugs in ein Hybridfahrzeug**

(Projektarbeit von Frederik Ferber)

Das Ziel dieser Projektarbeit ist es, eine Konzeptstudie für die Umrüstung eines konventionellen Serienfahrzeugs mit Ottomotor in ein Hybridfahrzeug zu liefern. Mit dieser Hybridisierung soll mittels eines über die Straße gekoppelten Parallelhybrid eine Verbrauchsreduzierung im Stadtverkehr und im stockenden Verkehr ohne Einbußen an Fahrdynamik erreicht werden. Hierzu wurde zu Projektbeginn ein Audi TT als Versuchsfahrzeug ausgewählt.

Es werden grundlegende Überlegungen angestellt, welche Betriebsfunktionen mit einem Hybridfahrzeug realisiert werden können. Danach wird erläutert, welche Modifikationen am Fahrzeug getätigt werden müsse, um die erwähnten Betriebsfunktionen zu ermöglichen. Damit ein Hybridfahrzeug möglichst effizient bewegt werden kann, werden als nächstes mögliche Betriebsstrategien erläutert. In einem weiteren Schritt wird gezeigt, wie in die konventionelle Fahrzeugsteuerung eingegriffen werden kann, um den hybriden Antriebsstrang in das konventionelle Fahrzeugkonzept zu integrieren.

### **6.1.4 Studie über Möglichkeiten und Grenzen technischen Kopierschutzes**

(Projektarbeit von Tobias Greger)

Regelmäßige Nachrichten über den Verlust, den gefälschte Produkte global verursachen, lassen

die Frage aufkommen, ob es einen technischen Kopierschutz gibt um Plagiate zu verhindern bzw. diese zu erschweren. In der Arbeit werden darüber hinaus Kennzeichnungsmaßnahmen geprüft um sicherzustellen, dass Fälschungen erkannt werden. Dies ist wichtig um Rechtsfolgen aus Gewährleistungsansprüchen zu vermeiden.

Die Untersuchung stützt sich auf drei Bereiche. Zum Einen sind es Hardwaremaßnahmen, wie eine Individualisierung von Bauelementen oder der Verguss mit hochfesten Polymeren, zum Anderen werden Softwaremaßnahmen begutachtet, wie beispielsweise Systeme zur Authentifizierung von Baugruppen bzw. Bauteilen. Die dritte Säule bildet die bereits erwähnte Kennzeichnung der Originalprodukte, mittels Hologrammen, RFID und weiterer Maßnahmen.

Im Rahmen der Arbeit werden die Maßnahmen in einer Bewertung diskutiert und eine subjektive Abschätzung der Kosten, sowohl für den Hersteller als auch dem Kopierer getroffen. Mittels einer Kennzahl sollen die Maßnahmen charakterisiert werden, sodass eine Relation zwischen den Varianten gegeben ist. Abschließend wird eine Kombination der Maßnahmen erörtert und deren Vorteil anhand der Kennzahlen plakatiert.

### **6.1.5 Analyse und Optimierung beim Umspritzen eines Spulenkörpers mit wärmeleitfähig modifizierten Thermoplasten**

(Projektarbeit von Hannes Greve)

Aufgrund steigender Leistungsdichte in der Leistungselektronik müssen wachsende Wärmemengen über abnehmende Flächen abgeleitet werden. Die gestiegenen Anforderungen an das thermische Management dieser Wärmeströme erfordert die Entwicklung alternativer Kühlkonzepte. Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde ein Kühlkonzept für ein passives Leistungsbauelement (Drossel) untersucht. Der Ansatz war hierbei, den Spulenkörper vollständig mit einem thermisch leitfähig modifizierten Thermoplasten durch ein Spritzgießverfahren zu Umspritzen. Der verwendete Werkstoff war mit Aluminiumoxid gefülltes Polyamid. Aufgrund hoher Füllgrade und der hohen thermischen Leitfähigkeit ist die Prozessführung während der Verarbeitung im Vergleich zu ungefüllten Kunststoffen kompliziert. Aus diesem Grund wurden hohe Einspritzdrücke benötigt, die eine starke mechanische Belastung des Spulenkörpers zur Folge haben.

Thermische Untersuchungen zeigten, dass die im Rahmen der Projektarbeit hergestellten Spulen im Vergleich zu konventionellen Spulenkonzerten abhängig vom Füllgrad gleichwertiges oder besseres thermisches Verhalten aufweisen. Die Auswirkungen des Spritzgießprozesses auf die elektrischen Eigenschaften der Spulen wurden als unkritisch eingestuft. Alterungsversuche zeigten jedoch, dass die hergestellten Spulen anfällig gegenüber schneller Alterung sind.

### **6.1.6 Auswirkungen von Ionenimplantation auf Schichten aus Nanopartikel-Dispersionen**

(Studienarbeit von Sebastian Meier)

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen einer Ionenimplantation auf nanopartikuläre Indiumzinnoxid- und Zinkoxidschichten untersucht.

Die Schichten wurden dabei mit dem Spin-Coating-Verfahren hergestellt, Argon-Ionen bei einer Dosis von  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$  in die Schichten implantiert und anschließend bei unterschiedli-

chen Temperaturen einer Ausheilbehandlung unterzogen. Im Vordergrund der anschließenden Charakterisierung stand der Einfluss auf die strukturellen und morphologischen Schichteigenschaften. Es wurden aber auch elektrische und optische Untersuchungen durchgeführt. Das angestrebte Ziel durch die Implantation amorphe Schichten zu erhalten konnte nicht realisiert werden. Infolge der Implantation bilden sich in den ITO-Schichten Risse, die sich bei einer anschließenden Temperaturbehandlung mit steigender Temperatur verkleinern beziehungsweise teilweise vollständig verschwinden. Als Folge der Rissbildung ist eine Zunahme der Oberflächenrauigkeit feststellbar, die sich durch die Temperaturbehandlungen und die damit verbundene Rückbildung der Risse wieder verringert. Der Anstieg der Rauigkeit bei einer Temperung bei 800°C ist auf ein Partikelwachstum zurückzuführen. Im Fall der Leitfähigkeit wurde eine Abnahme durch die Ionenimplantation festgestellt. Eine Temperaturbehandlung im Anschluss an die Implantation ist mit einem Anstieg der Leitfähigkeit verbunden, wobei eine Verdopplung von  $56 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  auf  $114 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  bei einer RTP-Behandlung unter Argonatmosphäre bei 800°C beobachtet werden konnte.

Alle untersuchten ZnO-Schichten zeigten Vorzugsorientierungen der Kristallite mit deren (100)- beziehungsweise (101)-Ebenen parallel zur Substratoberfläche. Durch die Berechnungen nach Laue und Scherrer wurde eine annähernd konstante Partikelgröße aller untersuchten ZnO-Schichten festgestellt. Im AFM konnte hingegen eine Zunahme des Korndurchmessers durch die Implantation beobachtet werden. Dieses Partikelwachstum führt zu einer erhöhten Rauigkeit der Schichtoberfläche. Die elektrischen Eigenschaften der ZnO-Schichten werden durch die Implantation negativ beeinflusst. Die Leitfähigkeit nimmt um vier Größenordnungen von  $3,03 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  auf  $2 \cdot 10^{-8} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  ab, durch die anschließende Temperbehandlung jedoch wieder deutlich zu. Durch eine RTP-Behandlung unter Argonatmosphäre bei 800 °C im Anschluss an die Implantation stellt sich der höchste gemessene Wert von  $20 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  ein.

### 6.1.7 Thermische Simulationen einer mechatronischen Baugruppe aus wärmeleitfähigem Kunststoff

(Projektarbeit von Susanne Messingschlager)

In dieser Arbeit wird das thermische Verhalten einer mechatronischen Baugruppe in Form eines Kühlkörpers untersucht. Hierfür werden in der Simulation isotrope und anisotrope Wärmeleitfähigkeiten angenommen, wie sie bei der Befüllung eines Kunststoffes mit Kugeln, Fasern oder Plättchen vorkommen können. Die Werte der Wärmeleitfähigkeiten in x-, y-, und z-Richtung werden dabei auf die möglichen Füllstofforientierungen in den einzelnen Baugruppen des Kühlkörpers abgestimmt.

Thermisch belastet wird die Baugruppe mit einer auf die Bodenplatte aufgetragenen Wärmeleistung. Auf der Oberseite des Kühlkörpers wird ein konstanter und an allen Flächen gleich großer Wärmeübergangskoeffizient verwendet. Eine hohe Wärmeleitfähigkeit entlang der Rippen ausgehend von der Bodenplatte ist entscheidend für den Wärmetransport durch den Kühlkörper. Die y-Richtung ist ebenfalls relevant und darf nicht vernachlässigt werden. Die Wärmeleitfähigkeit in z-Richtung zeigt in dieser Arbeit keinen essentiellen Anteil an der Wärmeverteilung.

Mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , was der freien Konvektion entspricht, ist es nach den Simulationsergebnissen möglich, dass der Kunststoffkühlkörper mit einer Wärmeleistung von ungefähr 5 W ohne thermische Beschädigung belastet werden kann. Bei

einer Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten auf  $80 \text{ W/m}^2\text{K}$  wäre sogar eine Belastung von  $20 \text{ W}$  möglich.

Im Vergleich der Simulationsergebnissen mit den Messergebnissen des anschließenden Experiments wird eine gute Übereinstimmung der Werte bei der freien Konvektion erreicht. Bei der erzwungenen Konvektion weichen die Messergebnisse von den Simulationsergebnissen stärker ab. Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass der Wärmeübergangskoeffizient bei einer erzwungenen Strömung im Vergleich zu den vorausgegangenen Simulationen als örtlich nicht konstant angenommen werden kann.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der Infrarotaufnahmen macht deutlich, dass bei den Simulationen die Abschattungseffekte nicht beachtet werden. Diese liegen vor allem bei dem Anlegen einer erzwungenen Konvektion vor und beeinflussen die Messergebnisse maßgeblich.

Ein Kühlkörper aus gut wärmeleitfähigem Kunststoff kann in der Praxis in Kombination mit einem Metallgitter als Wärmesenke eingesetzt werden. Das Gitter wird beim Urformprozess in die Kavität eingelegt und umspritzt. Bei diesem Kühlsystem wird die abzuführende Wärme durch die gute Wärmeleitfähigkeit des Metalls in den Kühlkörper eingebracht, wo sie dann gespreitet sowie abgeleitet wird.

### 6.1.8 Untersuchung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Sicherungsbrücken

(Projektarbeit von Markus Niedermeier)

Da die Anforderungen an die Leistungselektronik in mobilen Systemen immer höher werden, ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit leistungselektronischer Komponenten von besonderer Bedeutung. Ein Ansatz hierfür ist die Verwendung von neuartigen integrierten Bauelementen, um undefinierte und kritische Betriebszustände der Systeme zu kontrollieren. Das in dieser Projektarbeit untersuchte integrierte Sicherungsbaulement ist ein solches Bauelement. Diese Sicherungsbaulemente schalten im Fehlerfall das betroffene leistungselektronische System ab, indem sie es schnell, sicher und zuverlässig von der Spannungsversorgung trennen. Durch eine solche irreversible Trennung werden eine weitere Erhitzung und eine eventuelle Entzündung des Systems verhindert.

Das im Verlauf dieser Arbeit untersuchte Sicherungsbaulement besteht aus einem aktiven Schalter und einer passiven Sicherungsstrecke. Der aktive Schalter reagiert auf ein externes Signal (z.B. von einem Temperatursensor) oder die Auswertung einer physikalischen Größe führt zu dessen Auslösung (z.B. Temperaturänderung). Die eigentliche Sicherungsstrecke ist Teil der Leiterbahn einer leistungselektronischen Baugruppe und mit dem aktiven Schalter verbunden. Nach Aktivierung des Schalters wird ein Überstrom über die Sicherungsstrecke geleitet, der genügend groß, ist um die Sicherungsstrecke zu zerstören und somit den Strompfad zu trennen. Um eine sichere Trennung des Strompfads zu gewährleisten, befindet sich unter der Sicherungsstrecke eine Grabenstruktur. Diese Grabenstruktur dient sowohl der schlechteren Wärmeabfuhr der Sicherungsstrecke als auch der Aufnahme des dort im Auslösefall geschmolzenen Sicherungsstreckenmaterials.

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurden die Sicherungsstrecken der integrierten Sicherungsbaulemente auf ihre mechanischen und elektrischen Eigenschaften untersucht. Hierzu wurden zunächst ein automatisierter Prüfstand und eine eigens entworfene Messsoftware zur Aufnahme

und Auswertung der Messdaten erstellt. Mit Hilfe der aus den Messungen ermittelten Daten wurde das Schmelzverhalten der Brücke charakterisiert. Insbesondere die Bildung eines Lichtbogens sowie die Möglichkeiten der Unterdrückung dieses Phänomens wurden näher untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Herstellung funktionierender Sicherungsstrecken mit dem in dieser Arbeit beschriebenen Prozess möglich ist. Weiterhin wurden Tests zur zuverlässigen Funktionsweise durchgeführt, diese zeigten, dass der zum Schmelzen der Sicherungsstrecke benötigte Strom innerhalb einer fehlerfrei hergestellten Siliciumscheibe um ungefähr 20 mA schwankt. Zudem wurden Ansätze und Methoden zur Abschwächung auftretender Lichtbogen ermittelt und getestet. Ein Lösungsweg war die Verwendung einer passiven Snubberbeschaltung. Diese besteht aus einer zur Sicherungsstrecke parallel geschalteten Kombination eines Hochlastwiderstandes und einer Kapazität. Im Moment des Durchbrennens der Sicherungsstrecke kann die Kapazität so kurzzeitig den Stromfluss übernehmen und so auftretende Spannungsspitzen vermeiden. Zudem wird hierbei durch den Widerstand überschüssige elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Hierdurch gelang es Funkenentladungen zu vermeiden und so das Auftreten der Lichtbogen zu verhindern.

### **6.1.9 Untersuchung und Bewertung der Einflüsse einer hohen Temperaturbelastung von Schaltungsträgern durch fehlerhafte leistungselektronische Bauelemente**

(Studienarbeit von Sebastian Schernick)

In dieser Arbeit wurden FR-4 Leiterplatten auf ihre Spannungsfestigkeit bei hohen Temperaturen untersucht. Zuerst wird ein Überblick der Herstellung und der Basismaterialien von Schaltungsträgern gegeben. Es wird insbesondere auf FR-4 Leiterplatten und deren Materialien Epoxidharz und Glasfasermatten eingegangen. Es wurden mehrere Leiterplatten mit verschiedenen Layouts erstellt. Die Versuche wurden in einem Ofen durchgeführt. Die Spannungen wurden mit je einem Netzteil erzeugt. Zur Strombegrenzung im Kurzschlussfall auf den Leiterplatten wurden Lastwiderstände verwendet. Des Weiteren wurde eine Software erstellt, in der die Zeitdauer bis zum Ausfall der Schaltungsträger erfasst werden kann. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden in Tabellen und Grafiken zusammengefasst und erläutert. Wie anzunehmen ist, ist die Zeit zum Kurzschluss stark von der Temperatur in dem Bereich zwischen 280°C und 310°C abhängig. Eine Abhängigkeit von den Strukturen ist nicht festzustellen.

### **6.1.10 Konzeptstudie für die Umrüstung eines konventionellen Serienautos in ein Hybridfahrzeug**

(Projektarbeit von Martin Vogl)

Die Kombination drei verschiedener Systeme zur Erzeugung von Antriebsenergie in Personenkraftwagen wird in dieser Arbeit beschrieben. Hauptaugenmerk liegt auf der Hybridisierung eines Serienfahrzeuges und dem optimalen Einfügen der Hybridkomponenten in das bestehende Fahrzeugkonzept. Weiterhin werden die Möglichkeiten, das Fahrzeug im Kraftstoffbetrieb verbrauchs- und kostenreduzierend betreiben zu können, erörtert. Hierbei spaltet sich die Arbeit in die Optimierung der Komponenten des Benzinantriebes und den Einbau eines zusätzlichen Autogassystems. Als Gesamtergebnis wird sich ein flexibel und optimal auf die jeweiligen Bedürfnisse einsetzbarer trivalenter Antrieb ergeben.

## 6.2 Diplomarbeiten

### 6.2.1 Entwicklung eines Batterie-Management-Systems für Lithium-Ionen Akkumulatoren in Matlab-Simulink

(Diplomarbeit von Daniel Gauss)

Diese Arbeit soll in einer Studie Verwendung finden, deren Ziel es ist, einen konventionellen PKW mit Verbrennungsmotor in ein Hybridfahrzeug umzurüsten. Für den benötigten Energiespeicher wurde ein neuer Typ von Lithium-Ionen-Akkus ausgewählt, über den noch keine ausreichenden Kenntnisse vorhanden sind. Zur Charakterisierung wurde ein Messkonzept erstellt und dann auf einen bereits existierenden Messplatz für Akkumulatoren übertragen. Nachdem Messungen über den gesamten zulässigen Temperaturbereich durchgeführt waren, konnte ein Simulationsmodell und darauf aufbauend ein Batterie-Management-System erstellt werden. Das Akkumodell soll in Verbindung mit dem Gesamtmodell des Hybridantriebsstrangs Simulationen des Verhaltens ermöglichen. Das Batterie-Management ist im weiteren Verlauf dafür verantwortlich, dem Hybridsteuergerät den Zustand des Energiespeichers möglichst genau zu übermitteln, um diesem eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Betriebsstrategie zu geben.

### 6.2.2 Charakterisierung dünner TaN-Schichten

(Diplomarbeit von Thomas Langer)

Beim Einsatz von high- $\kappa$ -Materialien als Oxid in einer MOS-Struktur kann es zu unerwünschten Effekten zwischen hochdotiertem Silizium und dem high-kappa-Material kommen. Das hochdotierte Silicium hat metallische Eigenschaften und wird dementsprechend als Metall in der MOS-Struktur verwendet. Tantalnitrid ist ein möglicher Ersatz als Metall in einer solchen MOS-Struktur mit einem high-kappa-Material. Allerdings stehen noch Forschungen hinsichtlich seiner Anwendungsmöglichkeiten aus. Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts SEA-NET wurden in dieser Arbeit dünne TaN-Schichten in MOS-Strukturen charakterisiert.

Dazu wurden TaN-Schichten verschiedener Schichtdicken mittels der TIMARIS PVD-Sputter Anlage von der Firma Singulus Nano Deposition Technologies hergestellt. Anhand dieser Schichten wurde das Temperaturverhalten der Austrittsarbeit des TaN untersucht. Die Austrittsarbeit ist die Differenz zwischen der Vakuumenergie und der Fermienergie des Metalls und ist ein sehr wichtiger Parameter in einer MOS-Struktur, da sie einen erheblichen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Bauteils hat und die Einsatzspannung eines MOSFET mitbestimmt. Zur Untersuchung der Austrittsarbeit wurden Kapazitäts-Spannungs-Kurven gemessen. Auch die Schichtdicken und der spezifische Widerstand wurden gemessen, wozu Messungen mit einem Spektralellipsometer und Vierspitzen-Messungen durchgeführt wurden.

Es wurde eine Abnahme der Austrittsarbeit bis 600°C beobachtet und anschließend eine Zunahme bis 850°C. In den selben Temperaturbereichen konnte gezeigt werden, dass die Oxidladungen abnehmen und wieder zunehmen. Es wird davon ausgegangen, dass die Ladungsänderung die Hauptursache für die Änderung der Austrittsarbeit ist. Ein Einfluss der Phasen, in denen TaN vorliegt, auf die Austrittsarbeit konnte nicht gefunden werden. Der spezifische Widerstand steigt mit steigender Temperatur, was auf eine Änderung der Korngrößen und auf eine Änderung der Phasenzusammensetzung zurückzuführen ist. Die Änderung der Phasenzusammensetzung muss noch anhand von XRD-Messungen verifiziert werden.

### **6.2.3 Entwicklung und Implementierung der Regelung des Hybridantriebsstranges eines Kraftfahrzeugs**

(Diplomarbeit von Bernd Müller)

Diese Arbeit ist Teil einer Studie mit dem Ziel ein konventionelles Fahrzeug in ein Hybridelektrofahrzeug umzurüsten. Dafür wird ein Hybridsteuergerät benötigt, welches in der Lage ist, ausgehend vom Befehl des Fahrers die Drehmomente zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor aufzuteilen und diese Aufteilung an die entsprechenden Steuergeräte weiterzugeben. Dazu wird mit dem Programm „Matlab und Simulink“ ein Modell der Längsdynamik eines Fahrzeugs erstellt, eine Betriebsstrategie entwickelt und diese in das Fahrzeugmodell integriert. Anschließend wird das Modell in ein in dieser Arbeit ausgewähltes Prototypensteuergerät implementiert und dort getestet. Die Betriebsstrategie ist variabel einstellbar und in Richtung verschiedener Zielvorgaben wie Fahrkomfort oder Verbrauchersparnis optimierbar. Dadurch ist das Modell auch nachträglich an Veränderungen des Gesamtkonzeptes anpassbar. Sind alle Anpassungen gemacht, kann das Steuergerät in das Fahrzeug eingebaut und dort betrieben werden.

### **6.2.4 Mechatronische Integration eines Doppelumrichters für den elektrischen Antrieb einer Fahrzeugachse**

(Diplomarbeit von Florian Munker)

Diese Arbeit befasst sich mit der Konstruktion eines Doppelumrichters für zwei elektrische Maschinen mit Hilfe eines 3D CAD Systems. Die Bezeichnung Doppelumrichter kommt daher, dass der Umrichter zwei elektrische Maschinen ansteuern soll, funktional aber in eine Einheit integriert wird. Bei der Integration ergeben sich grundsätzliche mechanische, thermische und elektrische Herausforderungen. In dieser Arbeit werden alle Komponenten des Umrichters detailliert beschrieben und mechanische, thermische und elektrische Herausforderungen konkret dargestellt. Zur Dimensionierung einer Kühlstruktur ist eine experimentelle Optimierung mit Hilfe von thermischen Simulationen nötig. Die zentrale Schwierigkeit dieser Arbeit ist der sehr begrenzte Bauraum, in dem ein elektrisches Antriebsmodul, bestehend aus zwei elektrischen Maschinen und dem Umrichter, bauraumneutral anstelle eines Hinterachsdifferentials in ein Fahrzeug integriert werden soll. Dazu sind innovative Konstruktionslösungen erforderlich, da handelsübliche Standardkomponenten weitestgehend ungeeignet sind.

### **6.2.5 Entwicklung, Simulation und Integration eines induktiven Energieübertragungssystems für heizbare Handschuhe in einen Druckknopf**

(Diplomarbeit von Markus Niedermeier)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein induktives Energieübertragungssystem, das mit Resonanzwandlerprinzip arbeitet, entwickelt. Um Trennbarkeit zu gewährleisten und ohmsche Kontakte sowie Korrosion zu vermeiden, wurde dieses Energieübertragungssystem in einen druckknopfähnlichen Aufbau integriert. Durch dieses System kann ein aus einer externen Energieversorgung gespeister beheizbarer Handschuh betrieben werden. Die Arbeit gliedert sich in zwei Hauptbestandteile: Schaltungsentwurf und Aufbau eines Prototypen. Der Schaltungsentwurf beinhaltet die Berechnung und Simulation einer LLC-Resonanzwandlertopologie, die Erstellung des Schaltplans mit Hilfe der Layoutsoftware EAGLE der Firma Cadsoft und die

Erstellung eines platzsparenden, 1-Eurocent-großen Platinenlayouts. Im Aufbau des Prototypen wurde der zur Leistungübertragung benötigte Ferritkern-Transformator erstellt, sowie die Ansteuerungsplatine bestückt, programmiert und ausgemessen. Es wurde zudem ein druckknopf-fähliches, magnetisches Befestigungssystem und Gehäuse für das Energieübertragungssystem realisiert. Um das Bauvolumen gering zu halten, wurde in dieser Arbeit zur Versorgung der Bauelemente auf der Ansteuerungsplatine ein Linearregler benutzt. In diesem fielen hohe Wärmeverluste an, und es konnte deshalb für das Energieübertragungssystem nur ein Wirkungsgrad von maximal 60 % erreicht werden. Somit konnte in die Verbraucher Heizfolie und beheizbarer Handschuh nur eine maximale Leistung von etwas mehr als 3 W übertragen werden.

### 6.2.6 Aufbau eines automatisierten Kalorimetermessplatzes zur hochgenauen Bestimmung von Verlustleistungen in leistungselektronischen Baugruppen

(Diplomarbeit von Benjamin Potschies)

Ziel dieser Arbeit ist der Aufbau eines automatisierten Kalorimetermessplatzes zur Messung von Verlustleistungen in elektronischen Bauelementen und Baugruppen.

Die wichtigsten Spezifikationen des Messplatzes sind: Messbereich von 10 W bis 500 W bei einer maximal zulässigen Messabweichung von 5 %; die Energieversorgung soll ausgelegt sein für eine Spannungsfestigkeit von 2,5 kV und eine Stromtragfähigkeit von 1000 A; ein Messvolumen von  $300 \times 300 \times 300 \text{ mm}^3$  soll zur Verfügung gestellt werden. Der Messplatz soll vollautomatisiert arbeiten. Hieraus leitet sich ein PC-gesteuerter Messablauf ab.

Ausgehend von einer Literaturrecherche ist ein geeignetes Kalorimeterkonzept abgeleitet worden. Ein geschlossenes Doppelkammer-System verringert die Leistungsverluste auf ein Minimum und verspricht die geringste Messabweichung. Die geforderten Spezifikationen lassen sich mittels eines Doppelkammer-Kalorimeters erfüllen.

Ausgehend von dem vorgegebenen Messkammervolumen wurden die mechanischen Elemente des Kalorimeters mittels eines 3D-CAD-Programms konstruiert. Für die Auswertung der Sensoren des Kalorimeters wurde eine mikrocontrollergesteuerte Auswerteschaltung aufgebaut. Ein geschlossener Kühlkreislauf ermöglicht die Leistungsabfuhr aus der Messkammer. Dieser wird von einer steuerbaren Zahnradpumpe im Durchfluss geregelt. Ein PC übernimmt die Steuerung des Messablaufes. Als Programmiersprache für das Steuerprogramm dient LabView.

Eine abschließende Messreihe mit bekannten Verlustleistungen ermöglichte eine Aussage über die Messabweichungen. Es wurde eine maximale Messabweichung von 4 % ermittelt. So ist es mit diesem System möglich Verlustleistungen präzise zu messen. Als erstes Messobjekt dient die Leistungsdrossel eines Tiefsetzstellers. Bei dieser Drossel ist eine indirekte Bestimmung der Verlustleistung durch Erfassen der elektrischen Parameter nicht möglich, da durch die hohen Schaltfrequenzen eine präzise Leistungsbestimmung nicht möglich ist. Mittels Kalorimetrie lässt sich jedoch die Verlustleistung direkt erfassen.

Aufgrund elektromagnetischer Störungen waren keine Messungen der Verlustleistung der Leistungsdrossel möglich. Um die Verlustleistung mit dem aufgebauten Kalorimeter zu ermitteln, muss der Einfluss der elektromagnetischen Störung vermindert werden. Hierzu werden Lösungsvorschläge gegeben. Es handelt sich bei dieser Arbeit in großen Teilen um eine praktische Arbeit. Es mussten mechanische und elektronische Elemente konstruiert werden. Auch die



gesamte Messsoftware wurde entwickelt. Durch die Vereinigung von Elektronik, Mechanik und Informatik stellt das aufgebaute Kalorimeter ein Beispiel eines mechatronischen Systems dar.

### **6.2.7 Der Einfluß der Dispergierung und Stabilisierung auf die charakteristischen Eigenschaften eines auf ZnO Nanopartikeln basierenden elektronischen Bauelementes**

(Diplomarbeit von Stefan Schäfer)

In Rahmen dieser Arbeit werden Zinkoxid Nanopartikel (ZnO-NP) Suspensionen mit verschiedenen Additiven dispergiert und stabilisiert. Die Dispersionen dienen als Basis zur Herstellung von Dünnschichten. Zur Charakterisierung werden Methoden wie DLS, AFM, TGA, REM und Profilometrie angewendet. Anschließende Temperaturvorbehandlungen der Schichten geben Aufschlüsse über Abhängigkeiten von Additiven auf die elektrischen Eigenschaften von Dünnschichttransistoren (TFT). Eine Vorbehandlung mit einer Temperatur von 400°C wird als optimal für die Leitungseigenschaften gezeigt. Werte für den spezifischen Widerstand werden im Bereich von  $10^3 \Omega\text{cm}$  bis  $10^7 \Omega\text{cm}$  gefunden. Ladungsträgerbeweglichkeiten werden im Bereich von  $10^{-4} \text{cm}^2/\text{Vs}$  bis  $10^{-2} \text{cm}^2/\text{Vs}$  ermittelt. Mit ethanolschen ZnO-NP Dispersionen stabilisiert mit TODS werden weiterführende Untersuchungen durchgeführt.

Bei Untersuchungen an TFTs an Luft und unter Stickstoffatmosphäre und nach längerer Lagerung an Luft, können reproduzierbare Kennlinien erfolgreich gemessen werden. Somit konnten aus einem ZnO-Pulver, welches kostengünstig hergestellt werden kann, funktionierende Dünnschichttransistoren realisiert werden.

### **6.2.8 Entwicklung eines Mikrocontroller-basierten universellen LAN-Interface für Messgeräte**

(Diplomarbeit von Lothar Stolz)

In der vorliegenden Arbeit wird der Entwurf eines netzwerk-basierten Messgerätes zur galvanisch getrennten Auswertung von Thermoelementen vorgestellt. Es basiert auf den integrierten Schaltkreisen ATmega128, ENC28J60, DS2760 und ADuM5241 und dient der Erfassung von Temperaturprofilen bei vollständiger Integration in ein lokales EDV-Netzwerk nach dem Ethernet-Standard IEEE 802.3. Zum Einen lassen sich über die Netzwerkschnittstelle Messdaten zur Weiterverarbeitung direkt an einen PC transferieren, zum Anderen erlaubt die Netzwerkschnittstelle einen Messplatz aus der Ferne zu kontrollieren. Die implementierte TCP/IP-Protokollsuite mit HTTP-Server und SMTP-Client ermöglicht die Bedienung über gewöhnliche Webbrowser und auch eine Integration des Gerätes in das globale Internet.

### **6.2.9 Bestimmung der Gateoxidzuverlässigkeit mittels eines neuartigen Photo-strom-Messverfahrens**

(Diplomarbeit von Stefan Thiemann)

Die vorliegende Arbeit untersucht einen neuartigen Ansatz zur Bestimmung der Gateoxidzuverlässigkeit von thermisch hergestellten Siliciumdioxidschichten mittels eines Photo-strom-

Messverfahrens. Hierzu wird eine modifizierte Elymat-Messapparatur eingesetzt, die eine Kontrolle des Oberflächenpotentials im Halbleiter erlaubt. Durch eine schrittweise Erhöhung der Spannung über der bei der Messanordnung vorliegenden Elektrolyt-Isolator-Halbleiter-Struktur wird der Halbleiter von Verarmung in starke Inversion gebracht, wobei der durch das Oxid an der Vorderseite der Halbleiterscheibe fließende Leckstrom gemessen wird. Das Verfahren beruht dabei auf der Annahme, dass der durch das thermische Siliciumdioxid austretende Leckstrom in starker Inversion ohne Beleuchtung durch die thermisch generierten Minoritätsladungsträger aus dem Halbleitersubstrat beschränkt wird. Um diesen Ansatz zu überprüfen, wurden Strom-Spannungs-Messungen an MIS-Strukturen und Elymos-Diffusionsstrommessungen an thermisch oxidierten Siliciumscheiben durchgeführt. Diese Messungen dienen der Feststellung von Auffälligkeiten an den verwendeten Proben. Bis auf einen im Vergleich zur Theorie sehr flachen Verlauf der Leckstrom-Kennlinien der Proben mit einem 3 nm bzw. 5 nm dicken Oxid und einer deutlichen Herabsetzung der Minoritätsladungsträger-Lebensdauer im Volumen für Proben mit Oxiddicken von 3 nm, 5 nm bzw. 7 nm wiesen die Proben jedoch keine Auffälligkeiten auf. Beide Abweichungen lassen sich allerdings durch eine Diffusion des als Metallisierung verwendeten Chroms durch das Siliciumdioxid erklären.

Obwohl die Ergebnisse der Elymos-Leckstrommessungen nicht den theoretischen Erwartungen entsprachen, bestätigten sie doch aufgrund des unterschiedlichen Anstieges der Leckstromkurven die Annahme, dass eine Unterscheidung und lokale Detektion von unterschiedlichen Oxiddicken mittels des Elymos-Verfahrens möglich ist. Lediglich bei geringen Spannungen konnten Unterschiede in den Oxiddicken nicht detektiert werden. Des Weiteren konnte ein Durchgreifen eines an der Rückseite der Halbleiterscheibe anliegenden Potentials auf die Vorderseite festgestellt werden, woraus sich folgern lässt, dass das Anlegen einer Rückseitenspannung UBPC bei zukünftigen Messungen unbedingt zu vermeiden ist. Auch eine Degradation der Leckstromkurven nach mehreren Messungen konnte ermittelt werden.

Abschließend wurde ein Vergleich zwischen Strom-Spannungs-Kennlinien, die durch das Elymos-Verfahren zur Aufzeichnung des Leckstromes gewonnen wurden, und an MIS-Strukturen aufgenommenen Strom-Spannungs-Kennlinien durchgeführt, bei dem jedoch keine Korrelation zwischen den Messkurven gefunden werden konnte. Insgesamt lässt sich feststellen, dass eine Unterscheidung, sowie lokale Auflösung unterschiedlicher Oxiddicken mittels des Elymos-Verfahrens möglich ist, auch wenn noch nicht alle grundlegenden Fragen beantwortet werden konnten.

### **6.2.10 Entwicklung einer aktiven Zellsymmetrierung für Li-Ionen-Akkusysteme für Hybridfahrzeuge**

(Diplomarbeit von Martin Wenger)

Diese Arbeit befasst sich mit der Symmetrierung von Zellspannungen in Energiespeichern, die aus mehreren, in Reihe geschalteten Zellen bestehen. Besondere Beachtung finden dabei Lithium-Ionen-Akkupacks, wie sie in Hybridfahrzeugen Anwendung finden. Zunächst werden bekannte Möglichkeiten zur Symmetrierung vorgestellt und besprochen. Ausführlich wird auf sogenannte aktive Symmetrierungsverfahren eingegangen. Diese besitzen den Vorteil, dass die Energie, die bei der Symmetrierung entnommen wird, nicht in Wärme umgesetzt wird. Anschließend werden Anforderungen an eine Symmetrierung für den Einsatz im Akkupack eines Hybridfahrzeugs formuliert. Davon ausgehend wird eine eigene Schaltung entwickelt und

ausführlich erklärt. Die Schaltung basiert auf einem unidirektionalen Sperrwandler pro Zelle, der sekundärseitig an das 12V-Bordnetz des Fahrzeugs angeschlossen ist. Es ist somit möglich, die Energie, die bei der Symmetrierung aus den Zellen entnommen wird, zur Versorgung des Bordnetzes zu verwenden. Es wird ein Prototyp der Schaltung aufgebaut und anhand verschiedener Messungen charakterisiert. Abschließend wird in einem Ausblick auf mögliche Verbesserungen und Erweiterungen eingegangen.

### **6.2.11 Entwicklung eines Basisprozesses zur plasmaunterstützten Nitridierung dünner Gateoxidschichten an einem Mini-Batch Vertikalofen**

(Diplomarbeit von Matthias Wolf)

Im Zuge der fortschreitenden Skalierung der Strukturen in der Halbleitertechnologie werden auch die Schichtdicken der Gateoxide immer weiter reduziert, um hohe Stromdichten im Kanal der Feldeffekttransistoren gewährleisten zu können. Für zukünftige Technologiegenerationen und Dicken unterhalb von 3 nm ist thermisches Siliciumdioxid aufgrund hoher Tunnelströme und einer erheblichen Bordiffusion aus der Gateelektrode nicht mehr als Gateoxid einsetzbar. Es werden andere Materialien benötigt, die bei vergleichbaren Eigenschaften zu thermischem Oxid höhere relative Dielektrizitätskonstanten aufweisen. Hierdurch können bei unveränderter Kapazität zwischen Gate und Kanalregion durch eine Erhöhung der physikalischen Schichtdicke geringere Leckströme erreicht werden. Vielversprechende Gatematerialien hierfür sind Oxinitride, die durch den Einbau von Stickstoffatomen in thermische Oxidschichten mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren erzeugt werden können.

Die vorliegende Arbeit umfasst die Entwicklung eines Prozesses zur plasmaunterstützten Nitridierung dünner thermischer Siliciumdioxidschichten im Prototyp eines Mini-Batch Vertikalofens. Neben dem Aufbau als Mini-Batch, der im Vergleich zu den momentan im Einsatz stehenden Einzelscheibenplasmareaktoren bei optimalen Prozessparametern einen gesteigerten Durchsatz verspricht, ist in diesem Gerät ein neuartiges Anlagenkonzept verwirklicht. Es stehen hier erstmals zwei unterschiedliche Verfahren zur Plasmaerzeugung zur Verfügung. Mit einem Niederfrequenzgenerator, der zur Reduzierung plasmainduzierter Strahlenschäden gepulst betrieben werden kann, kann Leistung über Elektroden kapazitiv in das Prozessgas eingekoppelt und so oberhalb der einzelnen Siliciumscheiben ein direktes Niederfrequenzplasma gezündet werden. Zusätzlich befindet sich ein Mikrowellengenerator zur weiteren Plasmaerzeugung auf der Oberseite des Reaktors, der das Einströmen von angeregten Teilchen ermöglicht.

Ziel der Untersuchungen war es, die Einflüsse von verschiedenen Prozessparametern auf das Nitridierungsergebnis zu analysieren und den Prozess hinsichtlich des Stickstoffgehalts der erzeugten Oxinitridschichten und hinsichtlich der Plasmahomogenität innerhalb des Reaktors zu optimieren. Hierfür kamen Siliciumscheiben mit einer 5 nm und 100 nm dicken thermischen Siliciumdioxidschicht zum Einsatz.

Erste Versuche wurden unter der Verwendung von Stickstoff als Prozessgas durchgeführt, wobei nach der plasmaunterstützten Nitridierung der Proben im Mini-Batch Vertikalofen unterschiedliche Messverfahren zum Einsatz kamen, um die Schichteigenschaften der hergestellten Oxinitride zu charakterisieren. Eine Charakterisierung der physikalischen Schichteigenschaften mittels Spektrellipsometrie und röntgenstahlinduzierter Photonenspektroskopie fand ebenso statt wie die elektrische Charakterisierung mittels Kapazitäts-Spannungs- und Strom-Spannungs-Messungen von in einem weiteren Prozessschritt hergestellten MOS-Strukturen. Anhand der

Ergebnisse aus diesen Messverfahren wurde der Einfluss des Niederfrequenzplasmas und auch des Mikrowellenplasmas auf das Nitridierungsergebnis analysiert. Für die Untersuchung der Plasmahomogenität innerhalb des Reaktors wurde neben einem Vergleich der Schichteigenschaften von nitridierten Proben, die an unterschiedlichen Positionen im Reaktor prozessiert wurden, auch die optische Emissionsspektroskopie eingesetzt. Diese erlaubte *in situ* Messungen bzw. eine Plasmaanalyse während der Nitridierungsprozesse und half so bei der Optimierung.

Mit den Vorkenntnissen aus diesen Versuchen fanden weiterführende Untersuchungen unter der Verwendung von Ammoniak als Prozessgas statt. Auch hier wurden die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der hergestellten Oxinitride charakterisiert bzw. die Einflüsse der verschiedenen Prozessparameter analysiert und somit der Nitridierungsprozess weiter optimiert.

### 6.3 Promotionen

#### 6.3.1 Schichten hoher Dielektrizitätskonstante für den Einsatz in ladungsbasierten nichtflüchtigen Speicherzellen

(Tobias Erlbacher)

In dieser Arbeit wird der Einsatz von Hafniumsilicat ( $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ ), als ausgewählter Vertreter der Schichten hoher Dielektrizitätskonstante im Gatedielektrikum von haftstellenbasierten nichtflüchtigen Speicherzellen untersucht. Zunächst werden grundlegende elektrische Eigenschaften (z.B. Haftstellentiefe, Haftstellendichte, dominierender Ladungstransportmechanismus) der Hafniumsilicatschichten, welche mittels chemischer Dampfphasenabscheidung aus einer einzigen chemischen Verbindung abgeschieden wurden, aus Strom- und Kapazitäts-Spannungsmessungen abgeleitet. Die mittlere energetische Tiefe der Haftstellen in dem vorliegenden hafniumreichen Hafniumsilicat beträgt 0,8 eV und als Stromleitungsmechanismus dominiert die feldunterstützte thermische Emission. Außerdem werden mittels Ellipsometrie durchgeführte Schichtdickenmessungen an Hafniumsilicatschichten mit den äquivalenten Oxiddicken verglichen, welche aus Kapazitäts-Spannungsmessungen ausgewertet wurden.

Im Anschluss wird anhand von MIS-Kondensatoren Hafniumsilicat als Ladungsspeicherschicht untersucht. Messungen zeigen, dass  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ -Dünnschichten weniger Haftstellen aufweisen, wenn das thermische Budget während der Bauelementherstellung erhöht wird. Die Haftstellendichte der untersuchten  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ -Schichten kann derart beeinflusst werden, dass sie höher als die in Siliciumnitrid ist. In diesem Fall weisen Proben mit einer Speicherschicht aus  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$  im Vergleich zu konventionellen Speicherteststrukturen bei einer geringeren äquivalenten Oxiddicke durch die größere Haftstellendichte eine höhere Schreibgeschwindigkeit auf. Gleichzeitig ist auf Grund der geringeren äquivalenten Oxiddicke eine deutliche Verringerung der Schreibspannung möglich. Andererseits wird der Löschvorgang mittels feldunterstützter thermischer Emission durch die geringere Feldstärke in der  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ -Schicht behindert. Dieser Nachteil kann umgangen werden, wenn die Injektion heißer Löcher als Lösmechanismus eingesetzt wird. Messungen zur Speicherhaltezeit zeigen, dass die Information in einer Speicherzelle mit einer Speicherschicht aus  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$  zuverlässig für mehr als 10 Jahre gespeichert werden kann. Dabei muss jedoch die Dicke der darüber und darunter liegenden Oxidschichten vergrößert werden, um zusätzliche Ladungsträgerverluste zu kompensieren, die durch die geringere Haftstellentiefe und effektive Elektronenmasse in  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$  bedingt sind.

Als nächstes werden MIS-Kondensatoren mit einem Steueroxid aus einer Schichtfolge von

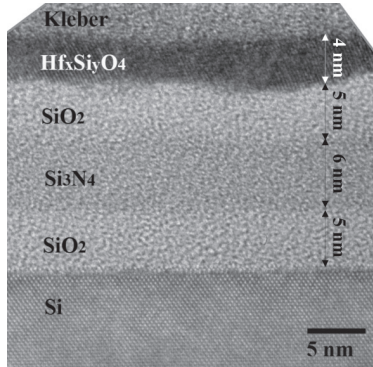


Abb. 6.2: Aufnahme eines Speicherstapels mit Hafniumsilicatschicht im Steueroxid mittels hochauflösender Transmissionselektronenmikroskopie

Hafniumsilicat und Siliciumdioxid charakterisiert. In Abbildung 6.2 ist die Aufnahme einer solchen Schichtfolge mittels hochauflösender Transmissionselektronenmikroskopie abgebildet. Diese MIS-Kondensatoren werden mit Teststrukturen verglichen, die einen konventionellen Speicherschichtstapel aufweisen.

Der Schreibvorgang läuft für beide Schichtstapel mit vergleichbarer Geschwindigkeit ab, da sich die Bedingungen zur Ladungsinjektion, insbesondere die elektrische Feldstärke im Tunneloxid, nicht wesentlich unterscheiden. In Abbildung 6.3 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Löschverhalten der Speicherteststrukturen dargestellt. Die Ladungsemission (Löschvorgang) findet bei den Teststrukturen mit Hafniumsilicat schneller statt, weil die parasitäre Injektion von Elektronen aus der Gateelektrode auf Grund des geringeren elektrischen Feldes im Material hoher Dielektrizitätskonstante unterdrückt wird. Dies erhöht die Anwendbarkeit von feldunterstützter thermischer Emission als Lösmechanismus in nichtflüchtigen Speicherzellen im Vergleich zur stromintensiven Injektion heißer Löcher. Durch die Reduzierung des Leckstroms erhöht sich auch die elektrische Oxidstabilität, weshalb höhere Löschspannungen verwendet werden können. Somit ist im Vergleich zu konventionellen nichtflüchtigen Speicherzellen eine schnellere Entfernung von Ladungen aus der Speicherschicht möglich. Allerdings ist auf Grund des Ladungseinfangs in der Hafniumsilicatschicht ein anfänglich starker Ladungsverlust zu beobachten. Eine Verringerung der Barrierehöhe des Steueroxids unter hohen Feldstärken erhöht ferner die Tunnelwahrscheinlichkeit eingefangener Ladungen aus den Haftstellen. Eine Verringerung der  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ -Schichtdicke, bei der die guten Löscheigenschaften erhalten bleiben und gleichzeitig die Ladungsverlustrate während der Informationsspeicherung verringert wird, erscheint daher zweckmäßig.

An Hand dieser Ergebnisse werden Schlussfolgerungen bezüglich der Verwendung von Hafniumsilicat und anderer Schichten hoher Dielektrizitätskonstante im Gestapel nichtflüchtiger Speicherzellen hergeleitet. Während der ausschließliche Ersatz der Ladungsspeicherschicht aus Siliciumnitrid durch eine  $\text{Hf}_x\text{Si}_y\text{O}_4$ -Schicht zur Erhöhung der Löschdauer führt, könnte der Einsatz einer zusätzlichen dünnen Hafniumsilicatschicht im Steueroxid diesen Nachteil kompensieren. Außerdem erscheint eine weitere Erhöhung der Speicherhaltezeit durch die Verwendung von Dielektrika mit einer höheren Barrierehöhe zu Silicium (z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oder mit

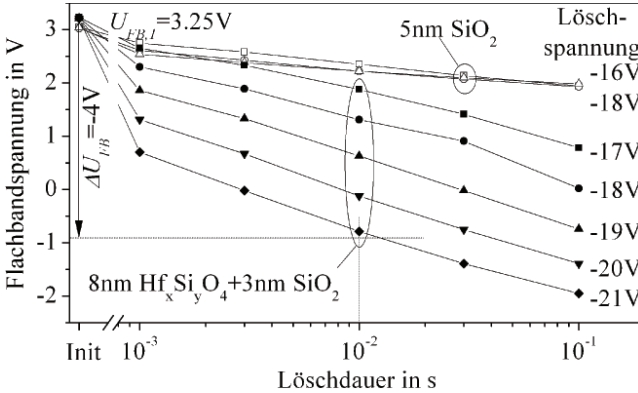


Abb. 6.3: Vergleich der Löscharakteristik zwischen Teststrukturen mit und ohne Hafniumsili- catschicht im Steueroxid

vergleichbarer Barrierehöhe aber einer nochmals höheren Dielektrizitätskonstante (z.B.  $\text{La}_2\text{O}_3$ ) sinnvoll.

### 6.3.2 Bidirektionale DC-Spannungswandlung für Kleinleistungsanwendungen

(Vincent Lorentz)

Batteriebetriebene Mobilgeräte sind ein wichtiger Tragpfeiler des heutigen Elektronikmarkts, besonders seit Mobiltelefone eingeführt wurden. Allerdings haben alle Mobilgeräte den gleichen Nachteil: Die Batterie verfügt über eine begrenzte Autonomie, die nur durch zwei Wege erweitert werden kann. Der erste Weg besteht aus der Entwicklung einer neuen Batteriechemie, um die Energiedichte zu erhöhen. Der zweite Weg besteht aus einer effizienteren Benutzung dieser Energie durch ein intelligenteres Energiemanagement. Die hier vorgestellte Arbeit befasst sich mit diesem zweiten Punkt, und zwar mit der Spannungswandlung, die weitgehend in Mobilgeräten benutzt wird. Das vorgestellte Konzept besteht darin, den Spannungswandler mit dem Energiemanagement zu kombinieren, damit ein *intelligenter Leistungswandler* (IPC) entsteht, der in die Batterie integriert wird. Diese *intelligente Batterie* liefert der Last eine geregelte und einstellbare Spannung. Damit ist sie in jedem Mobilgerät einsetzbar. Der IPC muss aber einen bidirektionalen Energiefluss ermöglichen, damit die Batterie wieder aufgeladen werden kann. Abgesehen davon, dass es wesentliche Fortschritte in Wandler topologien oder neuen Bauelementetechnologien geben wird, sind in den kommenden Jahren nur minimale Verbesserungen im Bereich der Energiedichte zu erwarten. Die Anzahl der verschiedenen benötigten Spannungen in Mobilgeräten, wie zum Beispiel Handys, steigt weiter. Gleichzeitig besteht Bedarf an Management- und Kontrollschaltungen zum Steuern all dieser Spannungen; deswegen wurde das Batteriemangement entwickelt. Dieses Batteriemangement übernimmt nicht nur das Überwachen der verschiedenen Spannungsversorgungen, sondern steuert zusätzlich das Laden und Entladen der Batterie. Da die intelligente Batterie ein Batteriemangementsystem enthält und eine einstellbare Spannung ausgibt, kann sie einfach ausgetauscht werden. In Abbildung 6.4 ist ein Blockdiagramm eines solchen Systems zu sehen.

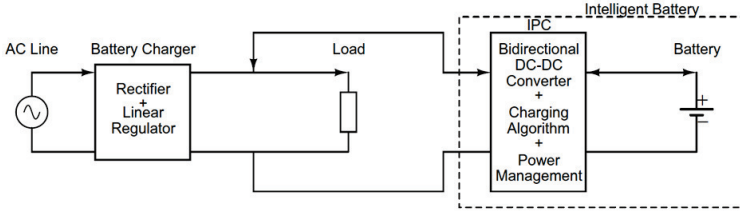


Abb. 6.4: Neue Batterietopologie

Das weitere Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, eine *intelligente Batterie* zu entwickeln. Diese intelligente Batterie wird einen bidirektionalen DC/DC-Wandler mit einem integrierten Batteriemangement besitzen. Der bidirektionale DC/DC-Wandler wird beim Laden und Entladen der Batterie benutzt werden. Durch das Entwickeln eines digitalen rekonfigurierbaren Batteriemagements kann jedes Mobilgerät unterstützt werden. Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, ein Konzept eines solchen bidirektionalen DC/DC-Wandlers mit integriertem Batteriemangement zu entwickeln und die Effizienz dieses Konzept anhand eines Demonstrators zu beweisen. In Abbildung 6.5 ist das Blockdiagramm des IPCs zu sehen.

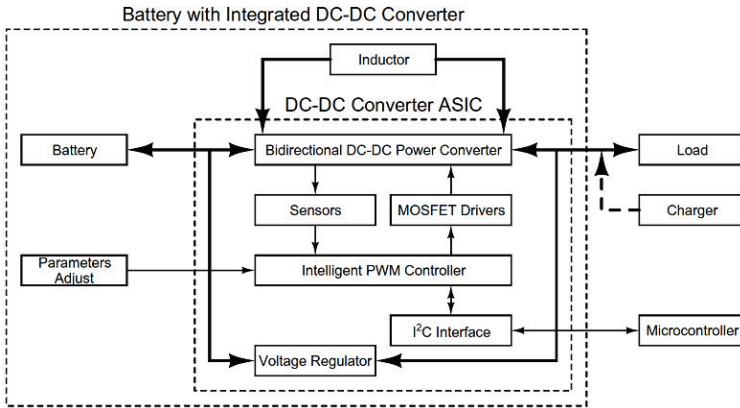


Abb. 6.5: Blockdiagramm des intelligenten Leistungswandlers

Die Hauptforschungsziele, die während dieser Arbeit verfolgt wurden, sind nachfolgend aufgelistet:

1. Entwicklung eines bidirektionalen DC/DC-Wandlers, der automatisch die Anwesenheit eines Batterie-ladegeräts mit einer parallel angeschlossenen Last erkennen kann. Der DC/DC-Wandler muss auch erkennen können, wenn kein Ladegerät und keine Last anhängen, so dass er auf den Energiesparmodus eingehen kann.
2. Integration von Analog-, Digital- und Leistungselektronik auf dem gleichen Siliciumchip. Ziel ist es, einen monolithisch integrierten, bidirektionalen DC/DC-Wandler zu bauen, der die Leistungsschalter, die Steuerungselektronik und die Überwachungsfunktionen für das Batteriemangement beinhaltet. Da sensible Analogschaltungen für die Regelungsschleife

benötigt werden, ist es – besonders wegen des Rauschens und thermischer Probleme – eine große Herausforderung, sie mit dem Leistungsschalter auf dem gleichen Siliciumchip unterzubringen. Eine Folge dieser Integrationsherausforderung ist die Erhöhung der Komplexität des Wandlerdesigns. Da sich der Bedarf für verschiedene Überwachungsfunktionen erhöht, wird das Schaltungsdesign sehr komplex, was zu digitalen Kontrollschaltungen führt.

3. Untersuchung des Einsatzes der *dynamischen Einstellung der Weite des MOSFETs* bei hohen Schaltfrequenzen. Die Untersuchungen von der dynamischen Einstellung der Weite des MOSFETs haben im Frühjahr 2004 angefangen. Diese konzentrieren sich auf CMOS integrierte Spannungsmode DC/DC-Wandler, die hohe Schaltfrequenzen benutzen (z.B. für die Integration von Leistungsspulen auf Silicium).
4. Entwicklung einer kontinuierlichen Regelungsschleife für einen auf H-Brücken-Topologie basierenden DC/DC-Wandler. Diese Regelungsschleife muss dafür sorgen, dass es einen glatten Übergang gibt, wenn der Wandler zwischen Buck- und Boostmode umschaltet, da die Batteriespannung sinkt, wenn sich die Batterie entlädt. Dieses Regelungsprinzip ist insofern neu, da es Buck- und Boostmodes in beide Richtungen bei hohen Schaltfrequenzen (d.h. bis 10 MHz) erlauben muss.
5. Entwicklung einer verlustlosen durchschnittlichen Strommessmethode, die bei hohen Schaltfrequenzen einsetzbar ist. Diese Methode muss für „Low-Power“-Wandler ausgelegt werden, die eine Schätzung des Durchschnittstromes durch die Leistungsspule bei Schaltfrequenzen bis 10 MHz und höher benötigen. Dieser geschätzte Durchschnittstromwert wird für die konstante Stromladephase einer Lithium-Ionen Batterie benötigt. Ferner wird dieser Wert auch für die dynamische Einstellung der Weite der Leistungstransistoren benötigt, sofern diese Funktion benutzt wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der IPC entwickelt, simuliert, entworfen und in einer 0.18  $\mu\text{m}$  mixed-signal CMOS Technologie von UMC prozessiert. Ein auf Cadence-Software basierender full-custom Designfluss wurde erstellt. Zusätzlich zu den Modellen von UMC wurden Monte-Carlo-Modelle entwickelt, um die Herstellungsprozessvariationen bei den Simulationen berücksichtigen zu können. Um Elektromigration zu verhindern, wurden Designregeln geschrieben, damit die Stromüberlastung der Metallverbindungen im Leistungsteil vermieden wird. Die Eigenschaften des IPCs sind ein Betriebsspannungsbereich von 1.2 V-3.6 V, ein konstanter Laststrom von 2000 mA und eine Betriebsfrequenz im Bereich 100 kHz-10 MHz.

In Abbildung 6.6 ist ein Mikroskopbild eines gefertigten IPCs dargestellt. Die experimentellen Ergebnisse haben einen voll funktionsfähigen DC/DC-Wandler gezeigt. Der Digitalteil ( $T^2C$  Schnittstelle) wurde erfolgreich mit einem externen Mikrocontroller getestet. Der Leistungsteil des IPC hat experimentell einen Wirkungsgrad von 77% erreicht, und eine Schaltfrequenz von 5 MHz. Wegen der Art des Chipaufbaus, lag der maximale Strom nur bei 200 mA, anstatt den in der Spezifizierung definierten 2000 mA. Dieses Problem kann durch die Reduzierung der Leistungsverluste in den Bonddrähte gelöst werden, was z.B. durch die Verwendung von Flip-Chip bump mapping auf der Chipebene möglich ist. Der Analogteil hat bei allen 45 Prototypen des IPC funktioniert, was beweist, dass das Layout eine sehr hohe Ausbeute (Yield) erreicht. Die Grundanalogschaltungen haben alle so funktioniert, wie es von den Simulationsergebnisse zu erwarten war (z.B., Stromquelle, Spannungsreferenz, Dreieck Oszillator, Linearspannungsregler, soft-start Schaltung, Überstromschutz, 2-phasige 200 MHz Ladungspumpe). Auch die komplexen Analogschaltungen haben ihre Funktionsfähigkeit gezeigt: Die im PWM-Teil integrierte



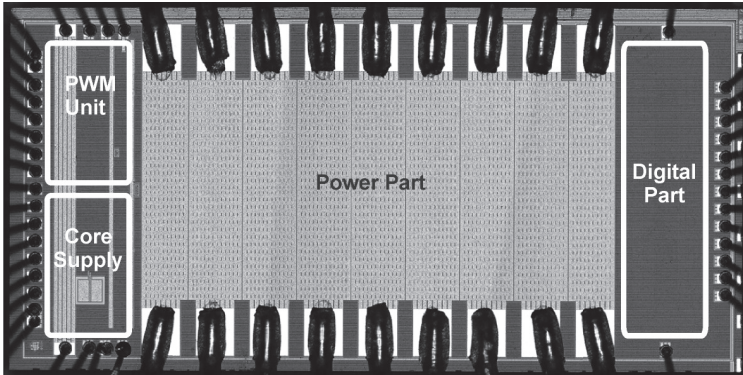


Abb. 6.6: Blockdiagramm des intelligenten Leistungswandlers

kontinuierliche Regelungsschleife hat experimentell die theoretische Analyse bestätigt. Die automatische Erkennung eines Batterieladegerätes auf der Lastseite wurde erfolgreich simuliert und bei einem Experiment demonstriert. Spannungsspitzen wurden beobachtet, wenn die Batterie aufgeladen wird. Diese kommen von den parasitären Induktivitäten in den Bonddrähte vom IPC und von der niedrigen Qualität der Leiterplatte, die für die Tests benutzt wurde. Ein Modell dieser parasitären Induktivitäten wurde entwickelt und simuliert, so dass die Lösung, um diese zerstörende Spannungsspitzen zu vermeiden, für zukünftige Arbeiten bekannt ist. Die Lösung besteht aus der Verwendung von Flip-Chip bump mapping, um die Bonddrähte zu vermeiden, und aus der Verwendung einer 4-lagigen Leiterplatte mit Masse- und Versorgungsplänen.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde ein Konzept entwickelt, das das Aufrüsten von Batterien ermöglicht (z.B. Einsatz von neuen Batteriechemien in älteren Mobilgeräten, um eine höhere Energiedichte zu erreichen), so dass die Laufzeit des Mobilgerätes erweitert wird. Die Integration von Elektronik erlaubt es, zusätzlich Schutzfunktionen gegen Kurzschlüsse, Überladung oder Fälschungen unterzubringen. Das Konzept der intelligenten Batterie wird in „Energy Harvesting“ Anwendungen eine zentrale Rolle spielen.

### 6.3.3 Entwicklung von Verfahren zur Kontrolle von Plasmaätzprozessen mittels *in situ*-Ellipsometrie und optischer Emissionsspektroskopie

(Georg Roeder)

Thema dieser Dissertation ist die Entwicklung von Verfahren zur Kontrolle von Plasmaätzprozessen unter Anwendung zerstörungsfreier *in situ*-Messverfahren. Als Messverfahren wurden dabei die *in situ*-Einwellenlängenellipsometrie und die optische Emissionsspektroskopie eingesetzt und weiterentwickelt.

Bei der Herstellung integrierter Schaltungen erfolgt eine immer weitergehende Automatisierung des Fertigungsablaufs. Eine Voraussetzung hierfür ist der Einsatz einer automatisierten Prozesskontrolle unter Verwendung integrierter Messtechnik. Trockenätzverfahren in Plasmen sind wichtige Prozesse bei der Herstellung integrierter Schaltungen, die zur Strukturübertragung und zum großflächigen Materialabtrag auf Scheiben und zur Reinigung von Reaktoren eingesetzt

werden. Bei Plasmaprozessen treten komplexe Wechselwirkungen zwischen dem Plasma, dem Reaktor und den Substraten auf. Zur Sicherung der Prozessergebnisse werden daher bereits häufig *in situ*-Messtechniken zur Plasmadiagnostik und Verfahren zur Prozesskontrolle angewandt. Ein durchgängiger Einsatz von *in situ*-Messtechniken bei der Prozessentwicklung und der automatisierten Prozesskontrolle ist bisher jedoch noch nicht umfassend vollzogen.

In dieser Arbeit wurde daher an einem modifizierten kommerziellen Parallelplattenreaktor für das reaktive Ionenätzen mit  $\text{SF}_6$  als Ätzgas und an Polysiliciumschichtstrukturen aus Substratsilicium, thermischen Siliciumdioxid und Polysilicium untersucht, wie der gleichzeitige Einsatz der *in situ*-Einwellenlängenellipsometrie und der optischen Emissionsspektroskopie für die Prozesscharakterisierung und eine nachfolgende Prozesskontrolle angewandt werden kann. Abbildung 6.7 zeigt den Parallelplattenreaktor für das reaktive Ionenätzen und die Integration der *in situ*-Messgeräte.

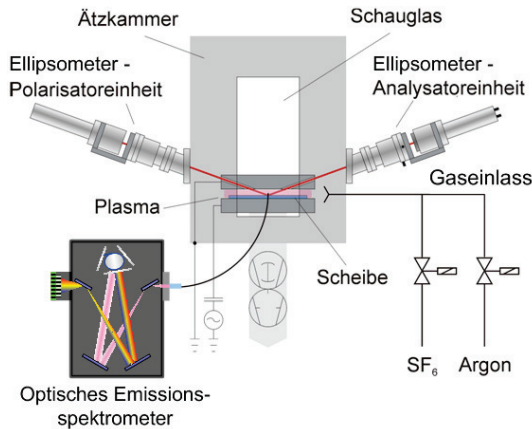


Abb. 6.7: Parallelplattenreaktor für das reaktive Ionenätzen und Integration des *in situ*-Einwellenlängenellipsometers und des optischen Emissionsspektrometers

Für die *in situ*-Einwellenlängenellipsometrie wurde erstmalig eine Strahlführung durch die Parallelplatten realisiert und eine vergleichbare Messpräzision wie an einem baugleichen stand-alone-Ellipsometer nachgewiesen. Weiterhin wurde ein neues Regressionsverfahren entwickelt, das eine exakte Schichtdicken- und Ätzratenbestimmung bei Ätzprozessen ermöglicht, bei denen Planarisierungseffekte von Oberflächenrauigkeiten der geätzten Schichten auftreten und Temperatureinflüsse auf die optischen Parameter der geätzten Schichten zu berücksichtigen sind. Hierbei müssen mehr als zwei Parameter der abgetragenen Schicht und gleichzeitig zeitlich veränderliche optische Parameter einer zur Modellierung des Schichtsystems erforderlichen Oberflächenschicht ermittelt werden, was mit Standardauswerteverfahren der Einwellenlängenellipsometrie nicht möglich ist. Bei der neuen Auswertemethode wird dieses Problem dadurch gelöst, dass mehrere der bei verschiedenen Schichtdicken *in situ* gemessenen  $\Psi$ - $\Delta$ -Ellipsometermesswerte gleichzeitig in die Auswertung einbezogen werden. Hierdurch können das korrekte optische Modell des Schichtsystems und gleichzeitig die zugehörigen Schichtdicken der abgetragenen Schicht sowie der Oberflächenschicht ermittelt werden.

Für das neuentwickelte Auswerteverfahren wurde durch Simulationen und in Experimenten

nachgewiesen, dass es zuverlässig für die Auswertung von *in situ*-Messungen bei Ätzprozessen eingesetzt werden kann. Abbildung 6.8 zeigt die exakte Anpassung von  $\Psi$ - $\Delta$ -Signaturen beim Ätzen von undotierten und dotierten Polysiliciumschichten mit einer Ausgangsschichtdicke von 500 nm, die unterschiedliche optische Parameter und Oberflächenrauigkeiten aufweisen. Die Dicke der unterliegenden Siliciumdioxidschicht betrug 20 nm. Es konnte weiterhin abgeschätzt werden, dass das Regressionsverfahren auch für die Auswertung von Polysiliciumschichtstrukturen mit Siliciumdioxidschichtdicken im Bereich weniger Nanometer angewandt werden kann.

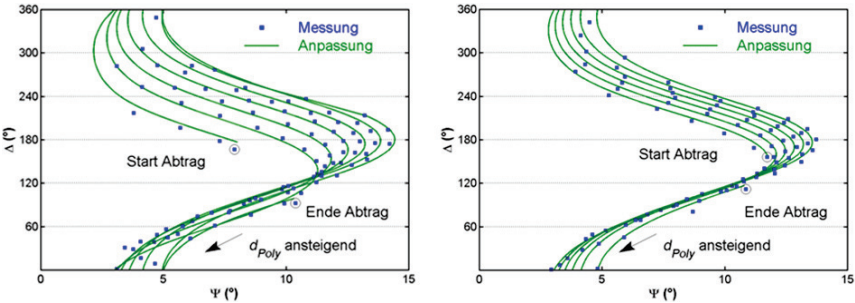


Abb. 6.8: Anpassung der bei der *in situ*-Einwellenlängenellipsometrie gemessenen  $\Psi$ - $\Delta$ -Signaturen beim Ätzen von undotierten (rechts) und dotierten Polysiliciumschichten (links)

Für die optische Emissionsspektroskopie wurde untersucht, wie aus dem zeitlichen Verlauf einer charakteristischen Emissionslinie des atomaren Fluors beim Übergang vom Ätzen des Polysiliciums zum Ätzen des Siliciumdioxids auf die Inhomogenität der Polysiliciumätzrate geschlossen werden kann. Mit den für die beiden Messtechniken entwickelten neuen Auswerteverfahren konnten die Polysiliciumätzrate, die Selektivität zu Siliciumdioxid und die Inhomogenität der Polysiliciumätzrate *in situ* ermittelt und nach dem Prozessende für die Prozesskontrolle zur Verfügung gestellt werden. Die Anwendbarkeit der *in situ*-Messverfahren zur Prozesskontrolle wurde anhand zweier Beispiele nachgewiesen. Für die an dem modifizierten Parallelplattenreaktor durchgeführten Ätzprozesse wurde ein Prozesskontrollverfahren implementiert. Anhand von Simulationen konnte gezeigt werden, dass damit eine schnelle Kompensation sprunghafter und kontinuierlicher Störungen von Anlagenparametern erreicht werden kann. Als weiteres Anwendungsbeispiel wurde das für die optische Emissionsspektroskopie entwickelte Verfahren zur Beschreibung der zeitlichen Intensitätsverläufe von Emissionslinien für die Endpunkterkennung bei plasmagestützten Kammerreinigungsprozessen weiter optimiert und in einer 300 mm Pilotfertigung von DRAMs für einen zweistufigen Reinigungsprozess mit  $\text{NF}_3$  als Ausgangsgas getestet. Mit dem neuen Verfahren wurde eine genauere Endpunkterkennung gegenüber dem Standardverfahren erreicht, die insgesamt zu einer Verringerung der gesamten Prozesszeit und des  $\text{NF}_3$ -Verbrauchs führt.

### 6.3.4 Untersuchung der UV-Nanoimprint-Lithografie als Strukturierungsverfahren für elektronische Bauelemente

(Holger Schmitt)

Lithografieverfahren werden in vielen Arbeitsgebieten eingesetzt, um eine Oberfläche zu strukturieren. Im Bereich der Halbleitertechnik kommen für die lithografische Strukturierung zumeist optische Verfahren zum Einsatz, an die auf Grund der Miniaturisierung elektronischer Bauelemente immer höhere Anforderungen gestellt werden. Moderne Projektionsbelichtungsanlagen (sogenannte „Stepper“) kosten mittlerweile bis zu 20 Millionen Euro, weshalb diese nur im industriellen Maßstab für hohe Durchsätze und Stückzahlen rentabel sind. Da die „Stepper“ zusätzlich die zukünftigen Anforderungen bzgl. des Auflösungsvermögens wahrscheinlich nicht mehr erreichen werden, ist man in der Forschung und Industrie auf der Suche nach Alternativverfahren zur Nanostrukturierung. Zu diesen zählt neben der EUV- und Elektronenstrahl-Lithografie die UV-Nanoimprint-Lithografie (UV-NIL), deren Potential als kostengünstiges Nanostrukturierungsverfahren für elektronische Bauelemente im Rahmen der Arbeit untersucht wurde. Das Prinzip der Strukturübertragung mittels UV-NIL ist in Abbildung 6.9 dargestellt. In einem ersten Schritt wird die Prägeform zu dem Substrat planparallel ausgerichtet.

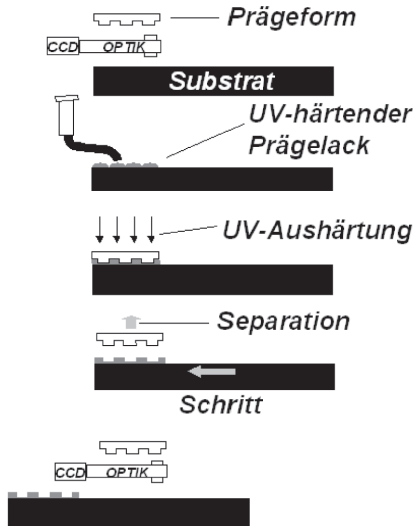


Abb. 6.9: Schematische Darstellung des „step and repeat“ UV-NIL Prägevorgangs

Nach dem Einstellen der Planparallelität werden mit einem sogenannten „Ink-Jet“-System gezielt Tropfen eines geeigneten Prägelacks auf dem zu prägenden Feld verteilt. Die Verteilung richtet sich sowohl nach den zu füllenden Vertiefungen in der Prägeform als auch nach der Topografie des Substrats. Im nächsten Schritt erfolgt der eigentliche Prägevorgang bei dem das Relief der Prägeform in den Prägelack übertragen wird. Während des Kontakts erfolgt die Aushärtung des Prägelacks durch die Prägeform hindurch mittels UV-Licht, weswegen die Prägeform aus einem UV-transparenten Material wie z.B. aus hochreinem Quarzglas bestehen muss.

Da bei der UV-NIL im optimalen Fall das Relief der Prägeform 1:1 in den Prägelack übertragen wird und folglich das Auflösungsvermögen bestimmt, wurden im Rahmen der Arbeit zuerst der Herstellungsprozess für Quarzprägeformen optimiert sowie ein neues Konzept entwickelt

und umgesetzt, bei dem die Gesamtherstellungskosten von Prägeformen im Vergleich zum etablierten Konzept um eine Größenordnung geringer sind. Im Rahmen der Arbeit wurden Quarzprägeformen mit einer minimalen Quarzstegbreite von 100 nm hergestellt, die durch 50 nm breite Zwischenräume voneinander getrennt sind (siehe Abbildung ??). Die minimale Strukturbreite wurde durch das Auflösungsvermögen der Elektronenstrahl-Lithografie bestimmt, die für die Definition der Strukturen verwendet wurde.

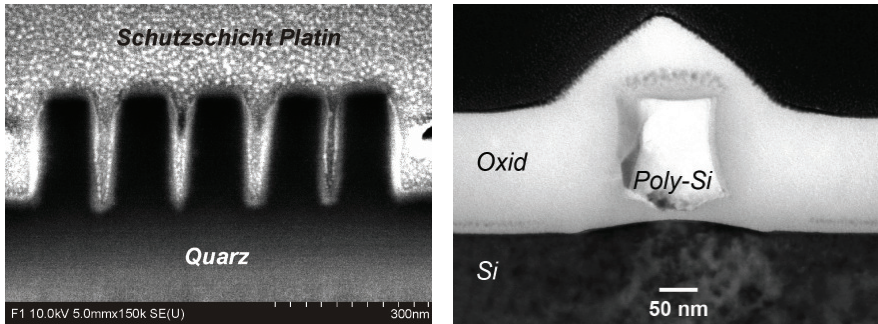


Abb. 6.10: a) REM-Aufnahmen von Quarzstegen mit einer Breite von 100 nm, getrennt durch 50 nm breite Zwischenräume; b) TEM-Querschnittsaufnahme eines Poly-Si Gatefingers mit einer Kanallänge von etwa 100 nm

Um nach einem Prägevorgang eine defektfreie Trennung zwischen ausgehärtetem Prägelack und Prägeform zu erreichen, wurde die Haftung zwischen verschiedenen Prägelacken und Oberflächen (Substrat und Prägeform) optimiert. Dazu wurde die Prägeformoberfläche im Rahmen der Arbeit mit verschiedenen Antihafschichten modifiziert und mit einer optimalen Kombination aus Antihafschicht und Prägelack wurden 500 Prägungen ohne Degradation der Antihafschicht durchgeführt. Entscheidend bei der Haftungsoptimierung waren auch die Entwicklung einer neuen Auswertemethode zur Bestimmung der Oberflächenspannung von Prägelacken und die Untersuchung der Benetzung von Oberflächen durch Prägelacke. Um die geprägten Lackstrukturen maßgetreu in ein Substrat zu übertragen, war es notwendig, die Restlackschichtdicke, die sich unterhalb der geprägten Strukturen ausbildet und die vor dem Substratätzprozess entfernt werden muss, auf wenige 10 nm zu reduzieren. Dies wurde durch die Integration eines „Ink-Jet“-Systems in die Imprintanlage erreicht, wodurch die unvermeidbare Restlackschichtdicke auf bis zu 30 nm reduziert werden konnte. Dies war die Voraussetzung, um nachfolgende maßgetreue Substratätzprozesse zu entwickeln. Schließlich wurde durch die Strukturierung von Poly-Si Gatefingern mittels UV-NIL und reaktivem Ionenätzen (siehe Abbildung ??) im Rahmen eines n-Kurzkanal MOSFET Prozesses sowie der anschließenden optischen und elektrischen Charakterisierung der Transistoren das Potential der UV-NIL als ein kostengünstiges Nanostrukturierungsverfahren für elektronische Bauelemente demonstriert.

## 7 Forschung

### 7.1 Beispiele aus der Forschung

#### 7.1.1 Sonderforschungsbereich 694, Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme

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

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

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter [www.sfb694.forschung.uni-erlangen.de](http://www.sfb694.forschung.uni-erlangen.de).

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

(Sven Egelkraut)

#### **Ziele**

Das Teilprojekts B4 hat es sich zum Ziel gesetzt, weichmagnetische Werkstoffe auf Basis hochgefüllter Kunststoffe zu untersuchen, mögliche Anwendungen im Bereich der Leistungselektronik zu beschreiben und induktive Bauelemente aus diesen Werkstoffen zu charakterisieren. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, in Zukunft induktive Bauelemente direkt am Wirkungsort zu integrieren. Dadurch wird es möglich werden, Leistungselektronik formflexibler zu gestalten, in komplexe Bauräume vorzustößen und die Produktion effektiver umzusetzen. Der im Rahmen des SFB 694 realisierte Demonstrator ist ein komplex geformtes EMV Filter für Elektromotoren in hybriden Antriebskonzepten für Kraftfahrzeuge. Die Integration dieses Filters wird die Leistungsdichte der gesamten Leistungselektronik erhöhen und den benötigten Bauraum reduzieren.

#### **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 und werden anschließend in einem Spritzgießprozess genutzt, um Ringkern-Testkörper herzustellen. Auf Grund ihrer Geometrie eignen sich diese Ringkerne besonders gut für die Charakterisierung der magnetischen Eigenschaften mittels eines speziellen Testaufbaus. Nach der Messung der magnetischen Parameter wurden Zuverlässigkeits- und Lebensdaueruntersuchungen durchgeführt. In Abbildung 7.1 links ist beispielhaft die Abnahme der Permeabilität über der Zeit für eine Alterung bei 85°C und 85% relativer Luftfeuchte für einen gefüllten Kunststoff dargestellt. Die gewonnenen Ergebnisse

sind Eingangsparameter für elektromagnetische Simulationen zukünftiger leistungselektronischer Bauelemente. Die Abbildung 7.1 rechts zeigt die elektromagnetische Feldsimulation eines induktiven Bauelementes für EMV Filter. Als weichmagnetisches Kernmaterials wurde dabei ein kunststoffgebundenes Vitropermpulver 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 motor- oder leistungselektronikintegrierte induktive Bauelemente zum Beispiel für Filteranwendungen dar.

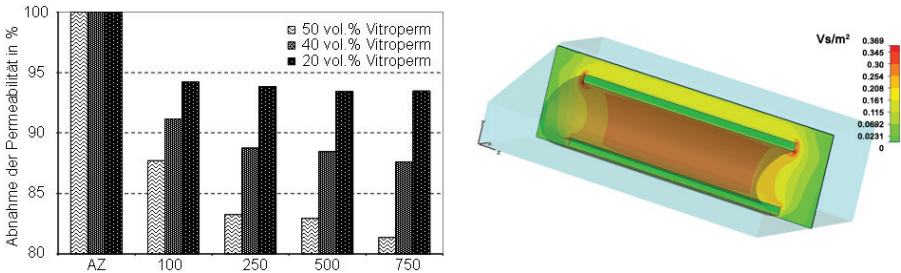


Abb. 7.1: links: Messungen der Permeabilität hochgefüllter Kunststoffe nach beschleunigter Alterung bei 85°C und 85% rel. Feuchte. rechts: Simulation der magnetischen Feldverteilung in einem integrierten, induktiven Bauelement für Filteranwendungen im Hybridmotor

## 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.



## Stand der Untersuchungen

Die gesetzten Ziele lassen sich nur erreichen, wenn Konzepte zur Verkleinerung und zur Flexibilisierung der Bauform und damit integrierbare Leistungsbaulemente 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 7.2 links schematisch dargestellt. In Abbildung 7.2 rechts ist ein Querschnitt des Kondensators als Rasterelektronenmikroskop-Bild gezeigt. Um eine große Kapazität mit möglichst geringem Platzverbrauch herzustellen, wird die Oberfläche durch eine dreidimensionale Strukturierung vergrößert. In einem Gesamtprozess wurden Kondensatoren mit einer Lochtiefe von  $\approx 40 \mu\text{m}$  bei einem Lochdurchmesser von  $\approx 4 \mu\text{m}$  prozessiert. In Abbildung 7.3 sind Querschnitte eines Leistungskondensators mit unterschiedlichen Lochdurchmessern nebeneinander dargestellt. Man kann erkennen, dass die durch das Trockenätzen zu erreichende Tiefe mit größerem Lochdurchmesser zunimmt.

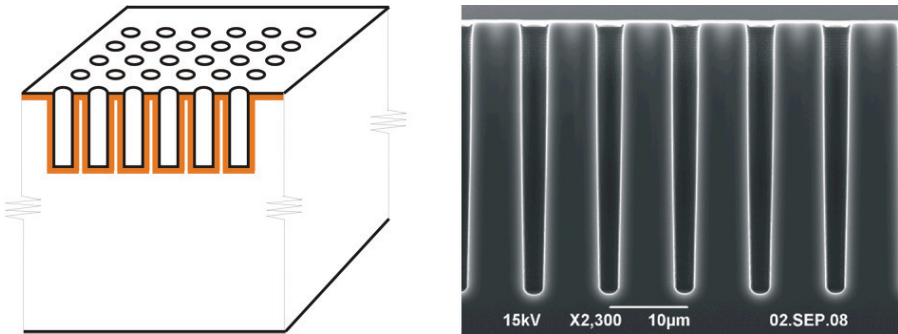


Abb. 7.2: Schematische Darstellung eines integrierbaren Leistungskondensators (links) und rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts (rechts)

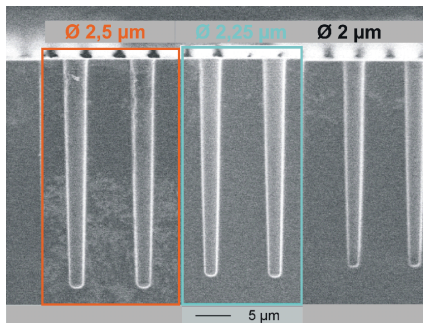


Abb. 7.3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Leistungskondensatorquerschnitten mit unterschiedlichen Lochdurchmessern

Durch den Einsatz integrierter Sicherungskomponenten werden kritische bzw. undefinierte



Betriebszustände vor Ort beherrscht, was zu einem sicheren Betrieb, beispielsweise von Kraftfahrzeugen, führt. Ein Beispiel für eine integrierbare Sicherungskomponente ist in Abbildung 7.4 links in Form eines Sicherungselementes gezeigt. Das Sicherungselement besteht aus einer Leiterbahnstruktur, unter der sich ein Graben befindet. Im Fehlerfall wird ein erhöhter Strom eingepreßt, der zum Durchbrennen der Leiterbahn führt. Verstärkt wird dieser Effekt noch durch die Wärmeisolation im Bereich der Grabenstruktur, und es kommt zum Durchschmelzen. Die Schmelze wird in den Graben abgeleitet und es kommt somit zu einer irreversiblen Trennung des Strompfades. In Abbildung 7.4 rechts kann man ein bereits ausgelöstes Sicherungselement erkennen.

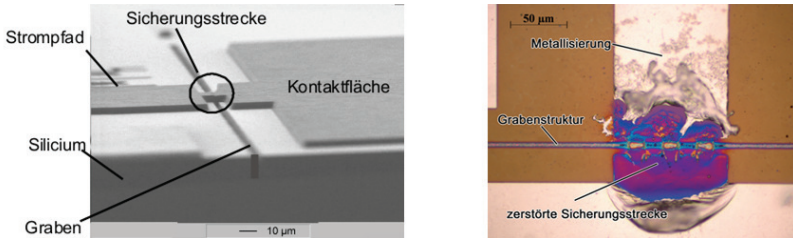


Abb. 7.4: Integrierbares Sicherungselement: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (links) und lichtmikroskopische Aufnahme (rechts) eines ausgelösten Sicherungselementes

### 7.1.2 Energieeffiziente Fahrzeugkonzepte – Das „TechFak EcoCar“

Anfang des Jahres 2008 wurde am LEB ein interdisziplinäres Gruppenprojekt ins Leben gerufen, welches sich mit Fragestellungen zum effizienten Umgang mit Energie in Kraftfahrzeugen befasst. Dabei erarbeiten und verwirklichen Studenten eigenverantwortlich zukunftsorientierte Lösungsansätze. Die Thematisierung umweltbewusster Fahrzeugkonzepte bietet Raum für eigene Ideen und Gelegenheit, die dabei auftretenden Herausforderungen zu meistern. Im Projekt beweisen die Studenten fachliches Engagement und setzen dabei die im Studium erlernte Theorie in praxisnahe Anwendung um.

Basierend auf Simulationsergebnissen wird im Rahmen von „TechFak EcoCar“ ein vorhandenes Elektrofahrzeug weiterentwickelt und optimiert. Dafür sind Kompetenzen aus den unterschiedlichen Departments der Technischen Fakultät notwendig: Bezüglich der Fahrstabilität, des Gewichts und der Abmessungen der verbauten Komponenten ergeben sich besondere konstruktionstechnische Anforderungen. Diese Anforderungen müssen bereits bei der Auswahl des Elektroantriebs berücksichtigt werden und haben entscheidenden Einfluss auf dessen Effizienz. Auf der Grundlage werkstoffwissenschaftlicher Überlegungen und der Lösungsansätze des Maschinenbaus bzw. der Mechatronik erfolgt die detaillierte Dimensionierung der mechanischen Konstruktion. Das Zusammenspiel von Elektromotor, Spannungswandlern und Energiespeicher beeinflusst wesentlich den Wirkungsgrad des Antriebsstrangs und die erzielbare Reichweite. Die effiziente Abstimmung des elektrischen Systems bedarf wissenschaftlicher Methoden der Elektrotechnik.

Als interdisziplinäres Gruppenprojekt der Technischen Fakultät wird „EcoCar“ finanziell aus Studienbeiträgen gefördert. Aus diesen Mitteln wurden zu Beginn des Jahres zwei leistungsstarke

Rechner beschafft, die mit der Simulationsumgebung Matlab/Simulink ausgestattet sind. Mit einem im Rahmen des EcoCar-Projekts entwickelten Simulationsmodell für Elektrofahrzeuge erfolgt nun die Auslegung der einzelnen elektrischen Komponenten. Mit dem Modell lassen sich auch Aussagen zur möglichen Energieeinsparung gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor treffen. So zeigte sich bereits in der Simulation, dass sich das höchste Einsparpotenzial insbesondere im Stadtverkehr ergibt. Aber auch Bremsvorgänge bei höheren Geschwindigkeiten führen bei Fahrzeugen mit Elektromotor zu einer nicht zu unterschätzenden Verringerung des Energieverbrauchs. Ferner konnte gezeigt werden, dass für eine tragfähige Prognose der Energieeffizienz die weiteren elektrischen Verbraucher im Fahrzeug, wie z.B. Klimaanlage und Heizung, in der Simulation berücksichtigt werden müssen.

In der nächsten Projektphase wird ein Elektrofahrzeuges mit modernen leistungselektronischen Baugruppen aufgerüstet. Hierdurch soll eine deutliche Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften, wie etwa die Verringerung des Fahrzeuggewichts und eine deutliche Erhöhung der Reichweite, erzielt werden.



Abb. 7.5: Testfahrzeug des LEB zur Erprobung energieeffizienter Fahrzeugkonzepte im Rahmen des „TechFak EcoCar“ Projekts

Hierfür hat der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente die Möglichkeit, vor Ort eine Technologieplattform zu nutzen. Diese Plattform basiert auf einem Fahrzeugmodell vom Typ „AX électrique“, welches von der Firma Citroën bis 1998 in Kleinserie produziert wurde. Es war mit einem Gleichstrommotor und Nickel-Cadmium-Akkumulatoren ausgerüstet, welche nicht mehr zum Stand der Technik gehören. Das Fahrzeug stellt eine komplette Testumgebung für Prüfstandsversuche und nicht-öffentlichen Fahrbetrieb dar. Ohne weitere Fahrzeugteile wie Bremsen, Radaufhängung oder Chassis selbst entwickeln zu müssen, können sich die Studenten auf die Modifikation des elektrischen Antriebsstrangs konzentrieren.

Das Fahrzeug wird zunächst mit Sensoren und einem Fahrdatenschreiber ausgerüstet, um im realen Fahrbetrieb zuverlässige Messdaten, wie z.B. den Energieverbrauch und die Rekuperationsrate, zu erheben. Die Kosten für den Datenschreiber wurden zur Hälfte von der Technischen

Fakultät aus Mitteln für interdisziplinäre Gruppenprojekte bereitgestellt. Die am vorhandenen Fahrzeug gemessenen Daten ermöglichen eine Validierung des Simulationsmodells und eine Aussage über die durch den Umbau zu erzielende Energieersparnis. Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen fließen in die Dimensionierung, der von den Studenten selbst entwickelten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs ein. Schließlich soll das ungerüstete Fahrzeug praktisch erprobt und die tatsächliche Energieeinsparung bestimmt werden. Diese Daten bieten ihrerseits eine Grundlage für weitere Optimierungen.

### 7.1.3 Graduiertenkolleg Disperse Systeme

(Sabine Walther)

#### Einleitung

Das Graduiertenkolleg „Disperse Systeme für Elektronikanwendungen“ läuft seit August 2005 und wird von der DFG gefördert. Zusammen mit dem Industriepartner Evonik Degussa GmbH wird das interdisziplinäre Feld der Herstellung druckbarer Elektronik auf Basis von anorganischen Nanopartikeln untersucht. An acht Lehrstühlen in Erlangen und Bayreuth sind hier neun Doktoranden auf den Gebieten Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaften und Elektrotechnik beschäftigt. Damit ist die gesamte Prozesskette von der Aufbereitung der Partikel zu Tinten und Pasten, dem Druck von funktionalen Strukturen, der Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften der Partikelschichten bis zur Herstellung von elektronischen Schaltungen abgedeckt. Am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird das Teilprojekt „Elektronische Bauelemente auf nanokristallinem Netzwerk“ bearbeitet.

#### Ziele

Das Ziel des Teilprojektes war zunächst die Herstellung leitender bzw. halbleitender Schichten aus Nanopartikelsuspensionen. Durch geeignete Prozessierung sollen daraus elektronische Bauelemente wie zum Beispiel Feldeffekttransistoren realisiert und charakterisiert werden. Abschließend sind einfache Schaltungen wie logische Gatter oder Ringoszillatoren zur Demonstration der Funktionalität vorgesehen.

#### Methoden

Zur Prozessierung der Nanopartikelschichten wurde im Rahmen des Projektes ein Labor eingerichtet, in dem Substrate vorbereitet und Schichten hergestellt werden können. Für eine thermische Nachbehandlung wird unter anderem der ebenfalls neu eingerichtete Rohofen benutzt. Für unterstützende Prozessschritte, die konventionell, d.h. nicht mit Drucktechnik, durchgeführt werden, stehen Anlagen der CMOS Linie im Reinraum des Lehrstuhls zur Verfügung. Beispielsweise werden Metallkontakte durch eine Schattenwurfmaske aufgedampft und gesputtert oder durch optische Lithografie strukturiert. Dielektrika werden in einer PECVD- oder Sputteranlage abgeschieden. Für die Charakterisierung der Proben werden bestehende Anlagen wie Rasterelektronenmikroskope (REM), Rasterkraftmikroskope (AFM) sowie elektrische Messplätze genutzt. Ein weiterer Messplatz in einer Glovebox wurde aufgebaut, um elektrische Messungen unter Ausschluss von Feuchte und O<sub>2</sub> durchführen zu können.

## Experimentelles

Für die Herstellung von Dünnschichtfeldeffekttransistoren (TFT) wurde der in Abbildung 7.6 schematisch dargestellte sogenannte bottom-gate Aufbau gewählt. Das heißt, die Nanopartikelsuspensionen werden auf oxidierte Siliciumträger aufgebracht. Das  $\text{SiO}_2$  dient dabei als Gateisolator und die Siliciumscheibe als Gatekontakt. Durch Aufschleudern von Nanopartikelsuspensionen werden halbleitende Filme hergestellt, deren Dicke über die Schleuderrate beeinflusst werden kann. Nach einer Temperaturbehandlung zur Entfernung von Lösungsmitteln und anderen organischen Bestandteilen werden Metallkontakte für Source und Drain aufgebracht. Die Schichtrauigkeit wurde mithilfe von AFM bestimmt und die Morphologie mit dem REM untersucht. Elektrische Messungen wurden an Luft, in Stickstoff und in einem Klimaschrank mit einstellbarer Luftfeuchte durchgeführt.

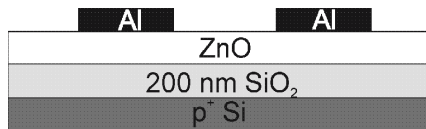


Abb. 7.6: Schematische Darstellung eines Dünnschichttransistors in bottom-gate Konfiguration

## Ergebnisse

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik wurden zunächst mit unterschiedlich stabilisierten ZnO Nanopartikelsuspensionen TFTs hergestellt, um anhand der elektrischen Charakteristik eine geeignete Suspensionszusammensetzung zu finden. Die hergestellten Schichten wurden bei  $400^\circ\text{C}$  an Luft getempert, um alle thermisch zersetzbaren Bestandteile zu entfernen. Die AFM-Messungen an den Schichten ergaben für alle Proben Rauigkeiten im Bereich von 10 nm bis 15 nm. Auch im REM waren keine Unterschiede in den relativ dicht gepackten Schichten zu erkennen. Das Ergebnis der elektrischen Messungen an Luft ist in Bild 7.7 dargestellt.

Der TFT hergestellt mit der ionisch stabilisierten ZnO Suspension in Abbildung 7.7a) zeigt große Hysteresen im Ausgangskennlinienfeld und eine Ladungsträgerbeweglichkeit von  $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  bei einem Verhältnis von  $I_{on}$  zu  $I_{off}$  von ca. 100. Die Kennlinien zeigen keine vollständige Sättigung. Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Transistor auf Basis einer elektrosterisch stabilisierten ZnO-Suspension (Abbildung 7.7b)). Eine Ladungsträgerbeweglichkeit von  $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  bei einem  $I_{on}/I_{off}$ -Verhältnis von ca. 10 wurde berechnet. Auch hier ist keine vollständige Sättigung des Drain-Stromes gegeben und große Hysteresen sind vorhanden. Der TFT hergestellt mit einer sterisch stabilisierten ZnO-Suspension zeigt hingegen nur sehr kleine Hysteresen und einen klar erkennbaren Sättigungsbereich im Ausgangskennlinienfeld (Abbildung 7.7c)). Die Ladungsträgerbeweglichkeit liegt im Bereich  $4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  bei einem Verhältnis von  $I_{on}$  zu  $I_{off}$  von ca. 100. Daher eignet sich diese ZnO-Suspension am Besten für die Herstellung von ZnO-TFTs. Für die Übertragung der Ergebnisse auf vollständig gedruckte Bauelemente wurde zunächst ein ZnO-TFT in einer bottom-gate Konfiguration mit dem MIMIC (micro molding in capillary)-Verfahren gedruckten Source- und Drain-Kontakten aufgebaut. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe und dem Lehrstuhl für Glas und Keramik eine Negativ-Maske aus Silicium prozessiert, von der

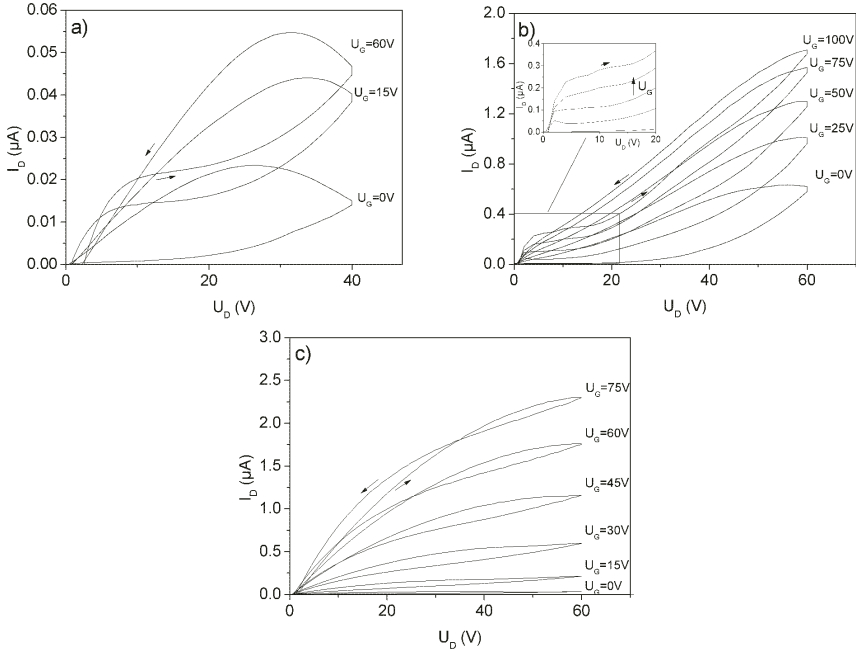


Abb. 7.7: Ausgangskennlinienfelder von ZnO Transistoren basierend auf a) einer ionisch stabilisierten ZnO-Suspension, b) einer elektrosterisch stabilisierten ZnO-Suspension, c) einer sterisch stabilisierten ZnO-Suspension

Polymerstempel abgezogen werden können. Die Source- und Drain-Kontakte wurden mit einer ITO (Indiumzinnoxid)-Tinte gedruckt und anschließend getempert. Abbildung 7.8a) zeigt eine solche Transistorstruktur nach dem Aufschleudern der ZnO-Suspension und einem weiteren Temperschritt. Das Ergebnis der elektrischen Messungen an Stickstoff ist in Abbildung 7.8b) dargestellt. Eine Ladungsträgerbeweglichkeit von  $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  wurde berechnet bei einem  $I_{on}/I_{off}$ -Verhältnis von ca. 100.

## Ausblick

In einem Hybridansatz mit konventionell prozessierten bottom-gate Substraten und mit Drucktechnik realisierter aktiver Schicht und Kontakten wurden erfolgreich ZnO-Nanopartikeltransistoren hergestellt. Um diese Bauelemente in Schaltungen zu integrieren, ist es allerdings vorteilhaft, die Transistoren in einer top-gate Konfiguration aufzubauen. Dafür sollen nun geeignete druckbare Dielektrika gefunden werden und ein Druckverfahren zur strukturierten Aufbringung von Metallkontakten auf Nanopartikelschichten ausgewählt werden. Die Dimensionierung der Längen und Weiten der Transistoren sowie der Leiterbahnen unter den Rahmenbedingungen der Auflösungsgrenze der Druckverfahren und den elektrischen Anforderungen ist eine weitere Aufgabe.

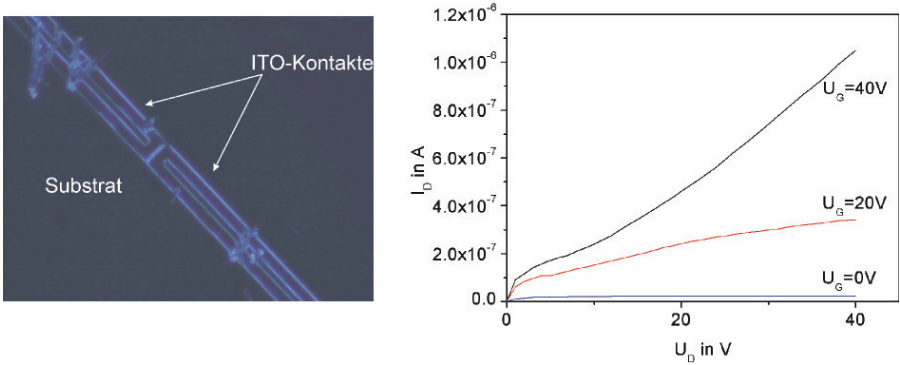


Abb. 7.8: links: Drain- und Source-Kontakte auf einem oxidierten Siliciumträger hergestellt aus einer ITO-Tinte mit dem MIMIC-Verfahren. rechts: Ausgangskennlinienfeld eines TFT mit einer darauf aufgeschleuderten aktiven Schicht aus ZnO-Nanopartikeln

#### 7.1.4 Untersuchung von Dotierungsprofilen in Silicium nach Protonenimplantation im MeV-Bereich

(Johannes Laven)

Zur Erzeugung von Dotierungsprofilen in mehreren  $10 \mu\text{m}$  bis über  $100 \mu\text{m}$  Tiefe unter der Oberfläche des Siliciumsubstrates eignet sich die Implantation von Protonen mit Beschleunigungsspannungen im MeV-Bereich aufgrund ihrer großen Eindringtiefe hervorragend. Nach einer thermischen Nachbehandlung des Wasserstoff-implantierten Siliciummaterials in einem Temperaturbereich zwischen  $350^\circ\text{C}$  und  $550^\circ\text{C}$  bilden sich gut lokalisierte Dotierstoffprofile aus, wobei lebensdauerermindernde Strahlungsdefekte bereits größtenteils ausgeheilt sind. Während es sich bei dem Donator-bildenden Charakter des implantierten Wasserstoffs in Silicium bei entsprechender thermischer Nachbehandlung um einen seit Dekaden bekannten Effekt handelt, sind die Mechanismen, die zur Bildung der Donator-artigen Zentren führen sowie deren mikroskopische Natur nach wie vor nicht schlüssig beschrieben.

Ziel dieses Projektes ist es, die elektrischen Eigenschaften von Wasserstoff-implantiertem Silicium, sowie den Einfluss der thermischen Nachbehandlung hierauf sinnvoll nachbilden zu können. In diesem Rahmen werden zunächst die Abhängigkeiten der erzeugten Dotierstoffprofile von den Implantations- und Temperungsparametern untersucht. Hierzu werden die Siliciumproben nach ihrer Bestrahlung mit schnellen Protonen und Temperung bei unterschiedlichen Ofenparametern mit Hilfe von Ausbreitungswiderstandsprofilen (SRP) und Kapazitäts-Spannungskennlinien ( $C(V)$ ) untersucht und Tiefenprofile der freien Ladungsträgerkonzentrationen erstellt. Die experimentell abgeleiteten Parameterabhängigkeiten werden anschließend durch analytische Funktionen approximiert und zu einem Simulationsmodell zusammengefasst.

Abbildung 7.9 links zeigt beispielhafte Profile der Ladungsträgerkonzentration aus SRP-Messungen nach Implantationen mit verschiedenen Protonenenergien zwischen  $500 \text{ keV}$  und  $2,5 \text{ MeV}$ . Abbildung 7.9 rechts zeigt aus diesen und anderen Profilen entnommene Maximalwerte der Ladungsträgerkonzentrationen an der projizierten Reichweite der Protonen nach unterschiedlichen Implantationsenergien und isochronalen Temperungen sowie die durch Integration

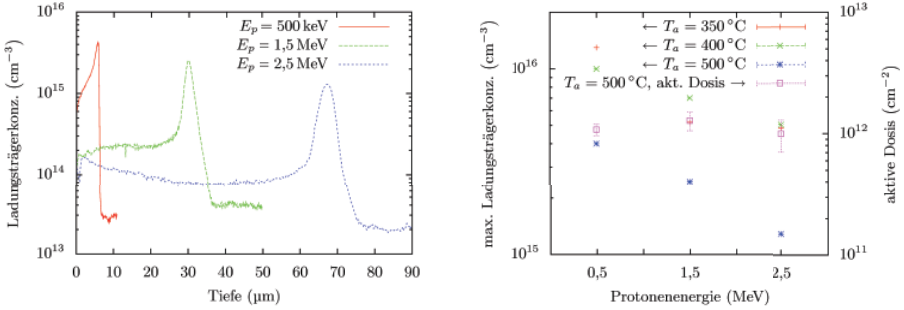


Abb. 7.9: (links) Tiefenprofile nach Protonenimplantation und Temperung bei 500 °C. (rechts) Ladungsträgerkonzentrationen an der proj. Reichweite sowie die aktive Dosis in Abh. der Implantationenergie. In allen Fällen wurde p-typ FZ-Si mit einer Protonendosis von  $4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  bestrahlt und 5 h ausgeheilt.

der Ladungsträgerkonzentration über die modifizierte Siliciumschicht gewonnene aktive Dosis.

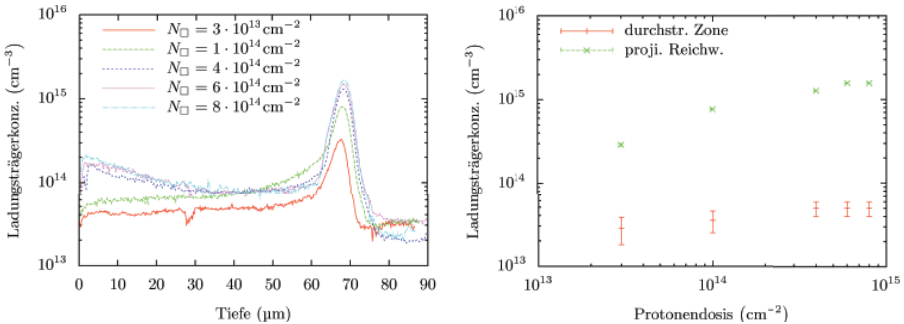


Abb. 7.10: (links) Tiefenprofile nach der Implantation von verschiedenen Protonendosen. (rechts) Ladungsträgerkonzentration in der durchstrahlten Zone und an der proj. Reichweite in Abhängigkeit der implantierten Dosis. In allen Fällen wurde p-typ FZ-Si mit einer Protonenenergie von 2,5 MeV bestrahlt und 5 h ausgeheilt.

Im Gegensatz zu niederenergetischeren Implantationen existiert auf Grund der relativ großen Eindringtiefe von Protonen mit Implantationsenergien von mehr als einem MeV eine ausgezeichnete durchstrahlte Zone im Siliciummaterial, deren Eigenschaften und Parameterabhängigkeiten signifikant von denen des Profils in der Region der projizierten Reichweite abweichen. Abbildung 7.10 links zeigt Konzentrationsprofile der freien Ladungsträger nach der Implantation von Protonendosen mit Implantationsenergien von 2,5 MeV. In Abbildung 7.10 rechts sind die Dosisabhängigkeiten der Ladungsträgerkonzentrationen in der durchstrahlten Zone sowie an der projizierten Reichweite aus Abbildung 7.10 links gezeigt.

Darüber hinaus werden die, durch die Bestrahlung erzeugten, tiefen Niveaus in der Bandlücke des Siliciums untersucht. Durch Messung der Temperaturabhängigkeit der Kapazitätstransienten (DLTS) an unterschiedlich bestrahlten und nachbehandelten Proben in verschiedenen Tiefen

unter der durchstrahlten Oberfläche werden die elektrischen Eigenschaften dieser Zentren, ihre thermische Stabilität sowie ihre Verteilung im Tiefenprofil bestimmt.

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

### 7.1.5 Bestimmung der thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften von Gitterleerstellen in Silicium

(David Schindele)

#### Ziele

Im DFG-Projekt „Gitterleerstellen“ geht es um die Bestimmung von Gleichgewichtskonzentration und Diffusionskoeffizient von Gitterleerstellen in Silicium. Die in der Literatur zu findenden Angaben zu diesen Eigenschaften unterscheiden sich um bis zu zehn Größenordnungen. Da Gitterleerstellen in sehr vielen Prozessen der Halbleiterfertigung, wie z.B. Diffusionsprozesse von Dotieratomen oder die Bildung von Defekten, eine bedeutende Rolle einnehmen, ist eine genauere Kenntnis dieser Eigenschaften für das Verständnis und für die Simulation der Prozesse hilfreich. In diesem Projekt soll dies durch eine Kombination von Kurzeitenausheilung und numerischer Simulation der währenddessen stattfindenden Prozesse erreicht werden. Die während des Ausheilens an der Oberfläche thermisch gebildeten Gitterleerstellen diffundieren in das Material ein und reagieren mit in der Probe als Grunddotierung vorhandenen Phosphoratomen zu Phosphor-Gitterleerstellen-Paaren (E-Zentren). Die gesuchten Eigenschaften der Gitterleerstellen wirken sich dabei in unterschiedlicher Weise auf das Konzentrationsprofil dieser E-Zentren aus, das mit Hilfe der Kapazitätstransientenspektroskopie (DLTS) gemessen wird.

#### Stand der Arbeit

Es wurden verschiedene Methoden zur Kurzeitenausheilung angewendet. Hierfür kamen bei der Firma Mattson Technology Canada eine auf Blitzlichtlampen basierende Methode (flash assisted rapid thermal annealing) und bei der Firma Innovavent GmbH Laserausheilung mit einem gepulsten Laser mit einer Wellenlänge von 515 nm, sowie mit einem Dauerstrichlaser mit einer Wellenlänge von 808 nm zum Einsatz. Es wurden bei diesen Prozessen, bei denen technologisch relevante Parameter verwendet wurden, viele Zentren gefunden, von denen einige bislang nicht identifiziert wurden. In den mit dem gepulsten Laser ausgeheilten Proben ist auch das E-Zentrum vorhanden. Es wurden bereits die ersten Konzentrationsprofile des E-Zentrums in diesen Proben gemessen. In Abbildung 7.11 ist ein solches zu sehen.

Die Simulation der thermischen Verhältnisse während der Ausheilung ist bei den Laserausheilungen in allen drei Dimensionen durchzuführen. Ein Programm dazu wurde bereits für den Dauerstrichlaser geschrieben und wird mit geringen Änderungen auch für den gepulsten Laser einsetzbar sein.



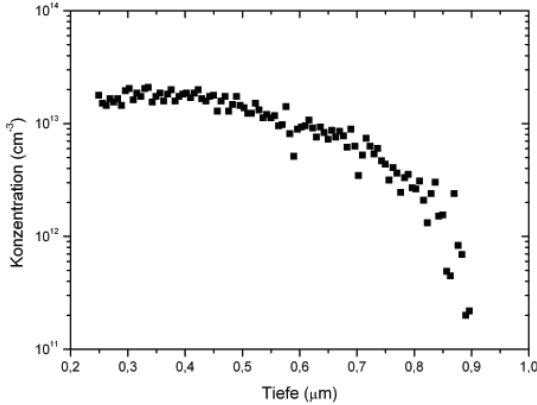


Abb. 7.11: Konzentrationsprofil des E-Zentrums in einer mit dem gepulsten Laser ausgeheilten Probe.

### 7.1.6 Winkelverteilung abgesputterter Atome

(Matthias Sekowski)

Dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Projekt befasst sich mit dem komplexen Thema der Ionenzerstäubung (im Englischen wird der Begriff „Sputtern“ verwendet). Die Zerstäubung ist stets die Folge der Bestrahlung eines Materials mit Ionen. Bei Dotierung durch Ionenimplantation ist der Effekt unerwünscht und man muss ihn als gegeben hinnehmen. Aber das Zerstäuben durch Ionenbestrahlung hat auch ein eigenes Anwendungsgebiet: das Ionenätzen. Dabei kommen fokussierte Ionenstrahlen (FIB) zum Einsatz, um eine gezielte Strukturierung der Oberfläche im Nanometerbereich zu erzielen. Es verschiebt sich auch der Schwerpunkt der Effekte: das Zerstäuben ist der Haupteffekt, während die Dotierung ein eher unerwünschter Nebeneffekt ist.

Der Zerstäubungsprozess bei der Ionenimplantation ist bekannt und daher auch gut erforscht worden. Beim Ionenätzen treten allerdings aufgrund der erzeugten Strukturen zum Teil streifende Ioneneinfallswinkel  $\alpha$  auf. Bei solchen Winkeln ändert sich der Zerstäubungsprozess deutlich, was anhand von Tabelle 7.1 veranschaulicht werden soll. Darin werden für diese Arbeit wichtige Werte wie Zerstäubungsausbeute (Anzahl an herausgeschlagenen Festkörperatomen pro eingefallenes Ion) und Reflexionsgrad (Anteil der an der Oberfläche reflektierten Ionen) in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  aufgezeigt.  $\alpha$  ist definiert als Winkel zwischen der Oberflächennormalen und dem Ionenstrahl. Die Werte wurden für den Fall der Bestrahlung einer amorphen Siliciumschicht mit 30 keV Galliumionen simuliert.

Tabelle 7.1: Simulierte Werte für den Ionenbeschuss von Si mit 30 keV Ga Ionen.

Einfallswinkel	Zerstäubungsausbeute	Reflexionsgrad
0	1,91	0
80	15,53	0,36

Ein Effekt, welcher bei immer kleiner werdenden Strukturgrößen an Bedeutung gewinnt, ist

die Wiederanlagerung von zerstäubten Atomen. Will man beispielsweise einen Graben mittels Ionenätzen herstellen, werden sich die an der einen Grabenwand zerstäubten Atome auch auf der gegenüberliegenden Grabenwand anlagern. Um solche Phänomene gut simulieren zu können, ist eine genaue Kenntnis der Winkelverteilung der zerstäubten Atome nötig. Im Rahmen dieser Arbeit werden solche Winkelverteilungen experimentell und mittels Monte-Carlo-Simulationen bestimmt. Ziele der Arbeit sind zum Einen eine analytische Darstellung der Winkelverteilungen um diese für Simulationszwecke verwenden zu können, zum Anderen sollen die bisher vorhandenen Modelle in Monte-Carlo-Programmen zur Simulation des Ioneneinfalls, falls nötig, verbessert werden.

Zur Simulation von Zerstäubungsprozessen steht ein hausinternes Monte-Carlo-Programm (MC\_Sim) zur Verfügung. Das Programm simuliert das Eindringen von Ionen in einen Festkörper nach einem Modell von Ziegler, Biersack und Littmark (in der Literatur als ZBL-Modell zu finden). Die Stoßabfolge wird dabei im Rahmen vorgegebener Wahrscheinlichkeiten zufällig gewählt, so dass jedes simulierte Ion eine andere Flugbahn durch den Festkörper durchläuft. Die herausgeschlagenen Atome werden in einer Tabelle abgespeichert, welche hinterher ausgewertet wird. Zum Vergleich mit den Experimenten fließen in die Auswertung auch Parameter wie die Winkel- und Ortsauflösung des entsprechenden experimentellen Aufbaus ein.

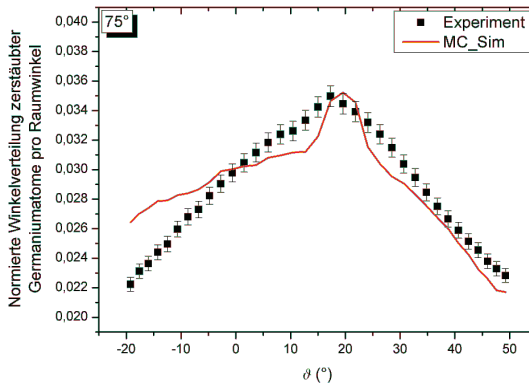


Abb. 7.12: Vergleich von simulierter und experimentell bestimmter Winkelverteilung von zerstäubten Germaniumatomen. Argonionen mit einer Energie von 20 keV und  $\alpha = 75^\circ$  wurden zur Bestrahlung verwendet. Winkeldefinitionen sind im Text zu finden.

Experimente werden mit der Kollektortechnik durchgeführt, bei welcher die zerstäubten Atome auf einer Sammelprobe aufgefangen werden. Anschließend werden diese Sammelproben ortsaufgelöst ausgewertet und daraus die Winkelverteilung der Atome bestimmt. Abbildung 7.12 zeigt einen Vergleich einer simulierten mit einer experimentell bestimmten Winkelverteilung. Dabei wurden Argonionen einer Energie von 20 keV unter einem Einfallswinkel  $\alpha$  von  $75^\circ$  untersucht. Das bestrahlte Material ist hier Germanium. Dargestellt ist die Winkelverteilung der zerstäubten Germaniumatome als Funktion des Polarwinkels  $\vartheta$  (relativ zur Germaniumoberfläche) in der Ioneneinfallsebene. Negative  $\vartheta$  zeigen in die Rückstreurichtung (Azimutwinkel  $\varphi$  gleich  $180^\circ$ ). Die Unterschiede in der Verteilung sind vor allem in der Richtung senkrecht zur Ionenstrahlrichtung ( $\varphi$  gleich  $15^\circ$ ) deutlich. Insbesondere sind die lokalen Maxima der Simulation nur sehr abgeschwächt im Experiment zu erkennen. Grund dafür ist das vereinfachte

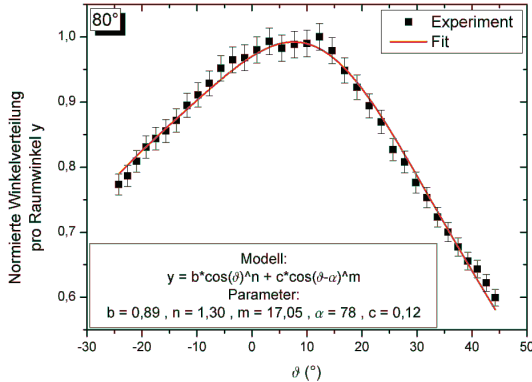


Abb. 7.13: Ein analytisches Modell zur Beschreibung der Winkelverteilung in der Ioneneinflachse für den Fall: Ar, 20 keV,  $\alpha = 80^\circ$  auf Germanium.

Modell der Oberfläche in der Simulation, was in einer ideal glatten Ebene realisiert wird. Die weiteren Arbeiten werden folglich eine genauere Beschreibung der Oberfläche zum Inhalt haben.

Ein analytisches Modell für die Winkelverteilung zerstäubter Germaniumatome ist in Bild 7.13 dargestellt. Die freien Parameter  $b, c, n$  und  $m$  wurden dabei angefitet. Die Übereinstimmung mit dem Experiment ist sehr gut, so dass in einem weiteren Schritt ein zweidimensionales Modell entwickelt wird, das die Winkelverteilung in Abhängigkeit von  $\vartheta$  und  $\varphi$  beschreibt.

### 7.1.7 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 ihr verbundene 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 zwei SAOT-Doktoranden auf dem Sektor der Lithographiesimulation tätig. In ihren Forschungsarbeiten beschäftigen sie sich mit der Modellierung kostengünstiger Lithographieverfahren, mit der Anwendung rigoroser elektrischer

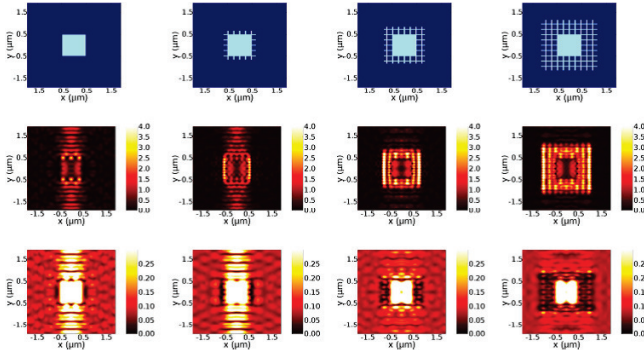


Abb. 7.14: Simulation von Transmissionseffekten für dünne strukturierte Metallschichten: obere Reihe – Aufsicht der Geometrie, die dunklen Bereiche sind von einer 30 nm dicken Silberschicht bedeckt; mittlere Reihe – transmittiertes Feld 1 nm unter der Metallschicht, untere Reihe – transmittiertes Feld 100 nm unter der Metallschicht; Die Skalierung der Transmissionswerte im Abstand von 1 nm und 100 nm unterscheidet sich; aus D. Reibold et al., *Optics Express* 17 (2009) 544-551

Feldberechnungsverfahren in der Lithographiesimulation und mit potentiellen Anwendungen neuer Materialien für lithographische Masken.

Weitere Informationen über SAOT sind auf der folgenden Internetseite verfügbar: [www.aot.uni-erlangen.de/saot\\_summary.shtml](http://www.aot.uni-erlangen.de/saot_summary.shtml).

## 7.2 Übersicht der 2008 am LEB bearbeiteten Förderprojekte

- „Ausbildung zum Mikrotechnologen“, Kooperationsvereinbarung zwischen dem Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Erlangen, und dem LEB, 01.09.2007 - 31.08.2010
- „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), 01.01.2008 - 31.12.2009
- **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)
  - Teilprojekt B04: „Motorintegrierte Leistungselektronik: Strukturflexibel mechatronisch 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 - 31.07.2009, AZ: 1/24-1
- „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
- Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“, Säule B „Nanoelectronic Materials“, Teilprojekt B-2 „Particulate Based Electronics“, Gemeinschaftsprojekt mit ingenieur- und naturwissenschaftlichen Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Träger: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder, 01.11.2007-31.10.2012
- Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“, Säule B „Nanoelectronic Materials“, „Industrial Liaison Programme“, Gemeinschaftsprojekt mit ingenieur- und naturwissenschaftlichen Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Träger: PolyIC GmbH & Co. KG, DFG / Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder
- Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen X-FAB, Dresden und der Friedrich-Alexander-Universität (vertreten durch Prof. phil. nat. Stoisiej), 01.02.2008-31.12.2010

### 7.3 Kooperationsbeziehungen

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

#### Firmen

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

ELMOS (Dortmund)

Infineon Technologies (München, Villach)

Nanoworld Services (Erlangen)

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

Tyndall Research Institute, Cork, Irland



## 8 Wissenschaftliche Beiträge

### 8.1 Bücher und Buchbeiträge

**Tobias Erlbacher:** „Schichten hoher Dielektrizitätskonstante für den Einsatz in ladungsbasierten nichtflüchtigen Speicherzellen“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss. 2008,

[www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source\\_opus=934&la=de](http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source_opus=934&la=de)

Georg Roeder: „Entwicklung von Verfahren zur Kontrolle von Plasmaätzprozessen mittels in situ-Ellipsometrie und optischer Emissionsspektroskopie“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss. 2008.

**M.P.M. Jank, A. Bauer,** B. Fischer, A. Slama, T. Potinecke: „Hightech-Materialien für die Elektronik von morgen“, Fokus Technologie - Chancen erkennen, Leistungen entwickeln, 2008.

Vincent Lorentz: „Bidirectional DC Voltage Conversion for Low Power Applications“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss.2008,

[www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source\\_opus=1237&la=de](http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source_opus=1237&la=de)

**Holger Schmitt:** „Untersuchung der UV-Nanoimprint-Lithografie als Strukturierungsverfahren für elektronische Bauelemente“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss.2008,

[www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source\\_opus=1198&la=de](http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/frontdoor.php?source_opus=1198&la=de)

Thomas Schnattinger: „Mesoscopic Simulation of Photoresist Processing in Optical Lithography“, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Diss. 2008, [www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2008/743/](http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2008/743/)

### 8.2 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

**A. Bauer,** M. Lemberger, **T. Erlbacher,** W. Weinreich: „High-k: latest developments and perspectives“, Materials Science Forum 573-574, 165-180, 2008.

S. Beuer, M. Rommel, S. Petersen, B. Amon, T. Sulzbach, W. Engl, **A. Bauer,** **H. Ryssel:** „Recent Improvements in the Integration of Field Emitters into Scanning Probe Microscopy Sensors“, Microelectronic Engineering 85, 5-6, 2008.

S. Beuer, V. Yanev, M. Rommel, **A. Bauer,** **H. Ryssel:** „SSRM Characterisation of FIB Induced Damage in Silicon“, Microelectronic Engineering 85, 1135, 2008.

A. Burenkov, C. Kampen, E. Bär, **J. Lorenz,** **H. Ryssel:** „Application driven Simulation of Nanoscaled CMOS Transistors and Circuits“, Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 5, 1170, 2008.

A. Burenkov, C. Kampen, **J. Lorenz,** **H. Ryssel:** „Pre-Silicon SPICE Modeling on Nano-Scaled SOI MOSFETs“, Proceedings „9th International Conference on ULtimate Integration on Silicon“ (ULIS) 2008, 215, 2008.

S. Burger, L. Zschiedrich, F. Schmidt, P. Evanschitzky, **A. Erdmann:** „Benchmark of rigorous methods for electromagnetic field simulations“, Proc. SPIE 7122, 71221S, 2008.



B. Eckardt, **M. März**: „Anforderungsgerechte Auslegung von Leistungselektronik im Antriebsstrang“, ETG-Fachbericht, 21, 2008.

**S. Egelkraut**, C. Heinle, B. Eckardt, P. Krämer, Z. Brocka, **M. März**, **H. Ryssel**, G. Ehrenstein: „Highly Filled Polymers for Power Passives Packaging“, 2nd Electronics Systemintegration Technology Conference, Greenwich, 403-410, 2008.

**A. Erdmann**, P. Evanschitzky, T. Fühner, T. Schnattinger, C. Xu, C. Szmanda: „Rigorous Electromagnetic Field Simulation of Two-Beam Interference Exposures for the Exploration of Double Patterning and Double Exposure Scenarios“, Proc. SPIE 6924, 692452, 2008.

**A. Erdmann**, T. Fühner, P. Evanschitzky: „Optimization of mask absorber stacks and illumination settings for contact hole imaging“, Proc. SPIE 7028, 70283L, 2008.

**T. Erlbacher**, **M.P.M. Jank**, **H. Ryssel**, L. Frey, R. Engl, A. Walter, R. Sezi, C. Dehm: „Self-Aligned Growth of Organometallic Layers for Nonvolatile Memories: Comparison of Liquid-Phase and Vapor-Phase Deposition“, J. Electrochem. Soc. 155, H693-H697, 2008.

**T. Erlbacher**, **M.P.M. Jank**, M. Lemberger, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „HfSiO/SiO<sub>2</sub>- and SiO<sub>2</sub>/HfSiO/SiO<sub>2</sub>- Gate Stacks for non-volatile memories“, Thin Solid Films 516, 7727-7731, 2008.

**T. Erlbacher**, T. Graf, N. DasGupta, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „Suppression of parasitic electron injection in SONOS-type memory cells using high-k capping layers“, Workshop on Dielectrics in Microelectronics, Bad Saarow, 145-146, 2008.

A. Fet, V. Häublein, **H. Ryssel**: „Threshold Voltage Engineering by Lanthanide Doping of the MOS Gate Stack“, 17th International Conference on Ion Implantation Technology, Monterey (California), 501-504, 2008.

T. Fühner, **A. Erdmann**, P. Evanschitzky: „Simulation-based EUV source and mask optimization“, Proc. SPIE 7122, 71221Y, 2008.

T. Fühner, I. Kodrasi, C. Kampen, T. Schnattinger, A. Burenkov, **A. Erdmann**: „Evaluation of lithographic processes in terms device performance data – a simulation study“, Proc. SPIE 6924, 692453, 2008.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, M. Uhle, **A. Erdmann**, C. Szmanda, C. Truong: „A model of self-limiting residual acid diffusion for pattern doubling“, Microelectronic Engineering, in print, 2008.

M. Grieb, D. Peters, **A. Bauer**, P. Friedrichs, **H. Ryssel**: „Influence of the Oxidation Temperature and Atmosphere on the Reliability of Thick Gate Oxides on the 4H-SiC C(000-1) face“, Materials Science Forum 600, 597, 2008.

V. Häublein, L. Frey, **H. Ryssel**: „Simulation of Mass Interferences Considering Charge Exchange Events and Dissociation of Molecular Ions During Extraction“, 17th International Conference on Ion Implantation Technology 2008, Monterey (California), 159-162, 2008.

A. Hamida, Z. Ouennoughi, A. Sellai, R. Weiss, **H. Ryssel**: „Barrier Inhomogeneities of Tungsten Schottky Diodes on 4H-SiC“, Semiconductor Science and Technology 23, 045005, 2008.

C. Kampen, A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, A. Burenkov, **J. Lorenz**, **H. Ryssel**: „On

*the Stability of Fully Depleted SOI MOSFETs Under Lithography Process Variations*“, 38th Solid-State Device Research Conference, Edinburgh, Schottland, 194-197, 2008.

C. Kampen, A. Burenkov, **J. Lorenz**, **H. Ryssel**, V. Aubry-Fortuna, A. Bournel: „*An Application-driven Improvement of the Drift-Diffusion Model for Carrier Transport in Decanano-scaled CMOS Devices*“, IEEE Transactions on Electron Devices 55, 3227, 2008.

C. Kampen, A. Burenkov, **J. Lorenz**, **H. Ryssel**: „*Alternative Source/Drain Contact-pad Architectures for Contact Resistance Improvement in Decanano-scaled DMOS Devices*“, Proceedings „9th International Conference on Ultimate Integration on Silicon“(ULIS) 2008, 179, 2008.

M. Kozłowska, R. Oechsner, M. Pfeffer, **A. Bauer**, E. Meissner, **H. Ryssel**, **L. Pfitzner**, W. Maass: „*Properties of TaN Thin Films Produced Using PVD Linear Dynamic Deposition Technique*“, Proceedings „14th International Conference on Solid Films and Surfaces“, 2008.

W. Lerch, S. Paul, J. Niess, S. McCoy, J. Gelpey, F. Cristiano, F. Severac, P. Fazzini, A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, H. Kheyrandish, D. Bolze: „*Advanced Activation Trends for Boron and Arsenic by Combinations of Single, Multiple Flash Anneals and Spike Rapid Thermal Annealing*“, Materials Science and Engineering B 154-155, 3-13, 2008.

C. Manke, A. Schröder-Heber, G. Roeder, P. Baumann, G. Ruhl, **L. Pfitzner**, M. Schellenberger: „*Control and Optimization of Ru-deposition by Pulsed MOCVD Using Mass Spectroscopy*“, Proceedings „9th European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control (AEC/APC) Conference“, Tel-Aviv, P303, 2008.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, W. Lerch, S. Paul, H. Kheyrandish, A. Pakfar, C. Tavernier: „*Experimental Investigations and Simulation of the Deactivation of Arsenic during Thermal Processes after Activation by SPER and Spike Annealing*“, Materials Science and Engineering B 154-155, 211-215, 2008.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, C. Steen, S. Paul, W. Lerch: „*Modeling and Simulation of Advanced Annealing Processes*“, Materials Science Forum 573-574, 279, 2008.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, C. Steen, S. Paul, W. Lerch: „*Modeling the Diffusion and Activation of Arsenic in Silicon Including Clustering and Precipitation*“, Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology XII, Italien, 277 (Solid-State Phenomena 131-133), 2008.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, C. Steen, S. Paul, W. Lerch: „*Rapid Thermal Processing and beyond: Applications in Semiconductor Processing*“, Materials Science Forum 573-574, 279-293, 2008.

**B. Meliorisz**, **A. Erdmann**, T. Schnattinger, U. Strößner, T. Scherübl, P. De Bisschop, V. Philippen: „*Increasing the Predictability of AIMS Measurements by Coupling to Resist Simulations*“, Proc. SPIE 7028, 70282S, 2008.

G. Patsis, D. Drygiannakis, I. Raptis, E. Gogolides, **A. Erdmann**: „*Advanced lithography models for strict process control in the 32nm technology node*“, Microelectronic Engineering, in print, 2008.

L. Pei, G. Duscher, C. Steen, **P. Pichler**, **H. Ryssel**, E. Napolitani, D. De Salvador, A. Piro, A. Terrasi, F. Severac, F. Cristiano, K. Ravichandran, N. Gupta, W. Windl: „*Detailed arsenic*

*concentration profiles at Si/SiO<sub>2</sub> interfaces*“, J. Appl. Phys. 104, 043507, 2008.

L. Pei, G. Duscher, C. Steen, **P. Pichler**, **H. Ryssel**, E. Napolitani, D. De Salvador, A. Piro, A. Terrasi, F. Severac, F. Cristiano, K. Ravichandran, N. Gupta, W. Windl: „*Detailed arsenic concentration profiles at Si/SiO<sub>2</sub> interfaces*“, Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology 18(9), 2008.

M. Pfeffer, R. Oechsner, **L. Pfitzner**, **H. Ryssel**, B. Ocker, P. Verdonck: „*Performance Optimization of Semiconductor Manufacturing Equipment by the Application of Discrete Event Simulation*“, Proceedings „28th Computers and Information in Engineering Conference (CIE) 2008“, 2008.

**P. Pichler**, A. Martinez-Limia, C. Kampen, A. Burenkov, S. Schermer, S. Paul, W. Lerch, J. Gelpey, S. McCoy, H. Kheyrandish, A. Pakfar, C. Tavernier, D. Bolze: „*Process Models for Advanced Annealing Schemes and Their Use in Device Simulation*“, 2008 International Workshop on Junction Technology, Shanghai, China, 120-125, 2008.

M. Rambach, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „*Electrical and Topographical Characterization of Aluminium Implanted Layers in 4H Silicon Carbide*“, Physica Status Solid (b) 245, 1315, 2008.

**D. Reibold**, F. Shao, **A. Erdmann**, U. Peschel: „*Extraordinary low transmission effects for ultra-thin patterned metal films*“, Optics Express, in print, 2008.

R. Roeder, C. Manke, P. Baumann, S. Petersen, V. Yanev, A. Gschwandter, G. Ruhl, P. Petrik, M. Schellenberger, **L. Pfitzner**, **H. Ryssel**: „*Characterization of Ru and RuO<sub>2</sub> Thin Films Prepared by Pulsed Metal Organic Chemical Vapor Deposition*“, Physica Status Solidi (c) 5, 1231, 2008.

M. Rommel, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „*Detailed Carrier Lifetime Analysis of Iron-Contaminated Boron-doped Silicon by Comparison of Simulation and Measurement*“, Journal of the Electrochemical Society 155, H117, 2008.

J. Schermer, A. Martinez-Limia, **P. Pichler**, C. Zechner, W. Lerch, S. Paul: „*On a Computationally Efficient Approach to Boron-Interstitial Clustering*“, Solid-State Electronics 52, 1424-1429, 2008.

**H. Schmitt**, M. Zeidler, M. Rommel, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „*Custom-specific UV Nanoimprint Templates and Life-time of Antisticking Layers*“, Microelectronic Engineering 85, 897, 2008.

T. Schnattinger, **A. Erdmann**: „*A comprehensive resist model for the prediction of line edge roughness material and process dependencies in optical lithography*“, Proc. SPIE 6923, 69230R, 2008.

T. Schnattinger, **A. Erdmann**: „*Lithographic importance of base diffusion in chemically amplified photoresists*“, Microelectronic Engineering, in print, 2008.

**M. Sekowski**, C. Steen, A. Nutsch, E. Birnbaum, A. Burenkov, **P. Pichler**: „*Total reflection x-ray fluorescence as a sensitive analysis method for the investigation of sputtering processes*“, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 63, 1382-1386 2008.

**M. Sekowski**, A. Burenkov, J. Hernandez-Mangas, A. Martinez-Limia, **H. Ryssel**: „*Angular Distributions of Sputtered Atoms from Semiconductor Targets at Grazing Ion Beam Incidence Angles*“, 17th International Conference on Ion Implantation Technology, Monterey (California), 236 (AIP Conf. Proc. Bd. 1066), 2008.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann**: „*Rigorous diffraction simulations of topographic wafer stacks in double patterning*“, Microelectronic Engineering in print, 2008.

F. Shao, P. Evanschitzky, **D. Reibold, A. Erdmann**: „*Fast rigorous simulation of mask diffraction using the waveguide method with parallelized decomposition technique*“, Proc. SPIE 6792, 679206, 2008.

C. Steen, A. Martinez-Limia, **P. Pichler, H. Ryssel**, S. Paul, W. Lerch, L. Pei, G. Duscher, F. Severac, F. Cristiano, W. Windl: „*Distribution and segregation of arsenic at the SiO<sub>2</sub> /Si interface*“, J. Appl. Phys. 104, 023518, 2008.

C. Steen, **P. Pichler, H. Ryssel**: „*Segregation of Antimony to Si/SiO<sub>2</sub> Interfaces*“, Materials Science and Engineering B 154-155, 264-267, 2008.

**J. vom Dorp**, S. Berberich, **A. Bauer, H. Ryssel**: „*DC-Arc Behavior of a Novel Active Fuse*“, ESSDERC 2008, Edinburgh, 67-70, 2008.

**S. Walther, M.P.M. Jank**, A. Ebbers, **H. Ryssel**: „*Ion Implantation Into Nanoparticulate Functional Layers*“, 17th International Conference on Ion Implantation Technology 2008, Monterey (California), 537-540, 2008.

V. Yanev, M. Rommel, M. Lemberger, S. Petersen, B. Amon, **T. Erlbacher, A. Bauer, H. Ryssel**, A. Paskalev, W. Weinreich, C. Fachmann, J. Heitmann, U. Schroeder: „*Tunneling atomic-force microscopy as a highly sensitive mapping tool for the characterization of film morphology in thin high-k dielectrics*“, Applied Physics Letters 92, 252910 2008.

### 8.3 Vorträge und Posterpräsentationen

P. Baumann, C. Manke, G. Ruhl, G. Roeder, A. Schröder-Heber, **L. Pfitzner**, M. Schellenberger: „*Ruthenium and Ruthenium Oxide Thin Films Prepared by Atomic Vapor Deposition for MIM Applications*“, Vortrag auf dem „AVS 55th International Symposium“, Boston, USA, 2008.

A. Burenkov, C. Kampen, **J. Lorenz, H. Ryssel**: „*Pre-Silicon SPICE Modeling on Nano-Scaled SOI MOSFETs*“, Posterpräsentation auf der „9th International Conference on Ultimate Integration on Silicon (ULIS)“, Udine, Italien, 2008.

S. Burger, L. Zschiedrich, F. Schmidt, P. Evanschitzky, **A. Erdmann**: „*Benchmark of rigorous methods for electromagnetic field simulations*“, Vortrag auf dem „BACUS Symposium“, Monterey, USA, 2008.

B. Eckardt, **M. März**: „*Anforderungsgerechte Auslegung von Leistungselektronik im Antriebsstrang*“, Vortrag auf der „Elektro Mobil Ausstellung (EMA)“, Aschaffenburg, 2008.

**S. Egelkraut**, C. Heinle, B. Eckardt, P. Krämer, Z. Brocka, **M. März, H. Ryssel**, G. Ehrenstein: „*Highly Filled Polymers for Power Passives Packaging*“, Vortrag auf der „2nd Electronics System- Integration Technology Conference (ESTC)“, London, United Kingdom, 2008.

**S. Egelkraut, H. Ryssel, M. März**: „*Polymer bonded soft magnetic particles for planar inductive devices*“, Vortrag auf der „5th International Conference on Integrated Power Electronics Systems“, Nürnberg 2008.

**A. Erdmann:** „*Lithography simulation*“, Vortrag auf den Dornbirner Mikrotechniktagen, Dornbirn, Österreich 2008.

**A. Erdmann:** „*Mask topography effects: modeling techniques and impact on lithographic processes*“, Vortrag bei Samsung, 2008.

**A. Erdmann:** „*Optical lithography for semiconductor fabrication: basics, resolution enhancement techniques, and selected problems*“, Vortrag bei der Max-Planck-Gesellschaft, 2008.

**A. Erdmann:** „*Optische Lithographie in der Halbleiterherstellung: Grundlagen, Techniken zur Verbesserung der Auflösung und ausgewählte aktuelle Problemstellungen*“, Vortrag an der Universität Jena, 2008.

**A. Erdmann:** „*Selected topics in advanced lithography simulation*“, Vortrag am „Toshiba Research Centre“, 2008.

**A. Erdmann, P. Evanschitzky, T. Fühner, B. Meliorisz, T. Schnattinger:** „*Lithography simulation: modeling techniques and selected applications*“, Vortrag auf der Semicon, Seoul, Korea, 2008.

**A. Erdmann, P. Evanschitzky, T. Fühner, T. Schnattinger, C. Xu, C. Szmanda:** „*Rigorous electromagnetic field simulation of two-beam interference exposures for the exploration of double patterning and double exposure scenarios*“, Posterpräsentation auf der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, 2008.

**A. Erdmann, T. Fühner, P. Evanschitzky:** „*Optimization of mask absorber stacks and illumination settings for contact hole imaging*“, Vortrag auf der „Photomask Japan“, Yokohama, Japan, 2008.

**A. Erdmann, D. Reibold, T. Fühner, P. Evanschitzky:** „*Photomasks for semiconductor lithography: from simple shadow casters to complex 3D scattering subjects*“, Vortrag auf der CIMTEC, Silizien, 2008.

**T. Erlbacher, T. Graf, N. DasGupta, A. Bauer, H. Ryssel:** „*Suppression of Parasitic Electron Injection in SONOS type Memory Cells Using High  $k$  Capping Layers*“, Posterpräsentation bei dem „Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WODIM)“, Bad Saarow, 2008.

T. Fühner, **A. Erdmann, P. Evanschitzky:** „*Simulation-based EUV source and mask optimization*“, Vortrag auf dem „BACUS Symposium“, Monterey, USA, 2008.

T. Fühner, I. Kodrasi, C. Kampen, T. Schnattinger, A. Burenkov, **A. Erdmann:** „*Evaluation of lithographic processes in terms device performance data – a simulation study*“, Posterpräsentation auf der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose, USA, 2008.

J. Fuhrmann, A. Fiebach, M. Uhle, **A. Erdmann, C. Szmanda, C. Truong:** „*A model of self-limiting residual acid diffusion for pattern doubling*“, Vortrag auf der „Micro-and Nano-Engineering“, Athen, Griechenland, 2008.

**M. Groß, M. Stoisiek:** „*Methode zur orts- und zeitaufgelösten Temperaturmessung und -steuerung bei großflächigen MOS-Leistungshalbleiterbauelementen*“, Vortrag auf dem 31. Kolloquium „Halbleiterleistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung“, Freiburg, 2008

**M.P.M. Jank:** „*Entwicklung und Charakterisierung eines CMOS-Prozesses mit minimierter*

*Anzahl an Lithographieebenen*“, Vortrag auf dem 39. Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation, Erlangen, 2008.

**M.P.M. Jank:** „*Materials and Processes for Printed Electronics*“, Vortrag auf dem „Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials“ Minisymposium, Erlangen, 2008.

**M.P.M. Jank:** „*Printing Electronics-Printed Electronics Projects at LEB and FhG IISB*“, Vortrag auf dem „Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials“ Kolloquium der Säule B: Nanoelectronic Materials, Erlangen, 2008.

**M.P.M. Jank, S. Steinert, S. Walther, S. Schäfer, H. Ryssel, L. Frey:** „*Ink and Surface Modification for Printing of Nanoparticulate Functional Structures*“, Vortrag auf dem „Core-to-core Program Meeting: Advanced Particle Handling Science“, Japan Society for the Promotion of Science, Erlangen, 2008.

C. Kampen, A. Burenkov, **J. Lorenz, H. Ryssel:** „*Alternative Source/Drain Contact-Pad Architectures for Contact Resistance Improvement in Decanano Scales DMOS Devices*“, Posterpräsentation auf der „9th International Conference on ULtimate Integration on Silicon (ULIS)“, Udine, Italien 2008.

C. Kampen, A. Martinez-Limia, **P. Pichler, A. Burenkov, J. Lorenz, H. Ryssel:** „*Advanced Annealing Strategies for the 32 nm Node*“, Vortrag auf der „International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD)“, Hakone, Japan 2008.

R. Körmer, H. Schmid, **M.P.M. Jank, H. Ryssel, W. Peukert:** „*High yield aerosol synthesis of monodisperse, high-purity silicon nanoparticles*“, Vortrag auf der „European Aerosol Conference (EAC)“, Thessaloniki, Griechenland, 2008.

R. Körmer, H. Schmid, **M.P.M. Jank, H. Ryssel, W. Peukert:** „*Low pressure gas phase synthesis of monodisperse, high-purity Si building blocks*“, Posterpräsentation auf dem „2nd International Workshop on Semiconducting Nanoparticles“, Duisburg 2008.

C. Manke, A. Schröder-Heber, G. Roeder, P. Baumann, G. Ruhl, **L. Pfitzner, M. Schellenberger:** „*Control and Optimization of Ru-deposition by Pulsed MOCVD Using Mass Spectroscopy*“, Vortrag auf der „9th European AEC/APC Conference“, Tel Aviv, Israel, 2008.

A. Martinez-Limia, **P. Pichler, W. Lerch, S. Paul, H. Kheyrandish, A. Pakfar, C. Tavernier:** „*Simulation of the Deactivation of Arsenic During Thermal Processes after Activation by SPER*“, Vortrag auf dem „2008 EMRS Spring Meeting“, Straßburg, Frankreich 2008.

**M. März:** „*Aktive Elemente: Schalter-Eigenschaften, Ansteuerung und Schutz*“, Vortrag auf dem OTTI Profiseminar „Getaktete Stromversorgung“, Regensburg (14.-16.01.2008).

**M. März:** „*Aktive Elemente: Schalter-Eigenschaften, Ansteuerung und Schutz*“, Vortrag auf dem OTTI Profiseminar „Getaktete Stromversorgung“, Regensburg, 13.-15.10.2008.

**M. März:** „*Das Zentrum für KFZ-Leistungselektronik und Mechatronik -Neue Wege zum Hybrid-Antrieb*“, Vortrag, Fraunhofer Haus, 2008.

**M. März:** „*Leistungselektronik - Ein Schlüssel für Energieeffizienz und Mobilität*“, Vortrag beim Festakt „5 Jahre ECPE“, Nürnberg, 2008.

**M. März:** „*Losses in Power Electronic Systems*“, Vortrag beim „ECPE Workshop on Advanced Cooling“, Delft, Niederlande 2008.

**M. März**, B. Eckardt: „Anforderungsgerechte Auslegung von Leistungselektronik im Antriebsstrang“, Vortrag bei der Haus der Technik Tagung „Elektrik/Elektronik in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“, München, 2008.

**B. Meliorisz**, **A. Erdmann**: „Simulation of mask proximity printing“, Vortrag auf den Dornbirner Mikrotechniktage, Dornbirn, Österreich, 2008.

**B. Meliorisz**, **A. Erdmann**, T. Schnattinger, U. Strößner, T. Scherübl, P. De Bishop, V. Philipsen: „Increasing the predictability of AIMS measurements by coupling to resist simulations“, Posterpräsentation auf der „Photomask Japan“, Yokohama, Japan, 2008.

G. Patsis, D. Drygiannakis, I. Raptis, E. Gogolides, **A. Erdmann**: „Advanced lithography models for strict process control in the 32 nm technology node“, Vortrag auf der „Micro- and Nano- Engineering“, Athen, Griechenland 2008.

**P. Pichler**: „Project Overview, Management, and Response to the Recommendations of the 1st Review“, Vortrag auf dem „STMicroelectronics ATOMICS Review Meeting“, Crolles, 2008.

**P. Pichler**: „Summary“, STMicroelectronics ATOMICS Review Meeting, Crolles, 2008.

**P. Pichler**, A. Martinez-Limia, C. Kampen, A. Burenkov, J. Schermer, S. Paul, W. Lerch, J. Gelpey, S. McCoy, H. Kheyrandish, A. Pakfar, C. Tavernier, D. Bolze: „Process Models for Advanced Annealing Schemes and their Use in Device Simulation“, Vortrag bei dem „IEEE 8th International Workshop on Junction Technology“, Shanghai, 2008.

**H. Ryssel**: „23 Jahre Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) und Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB)“, Vortrag auf der Fraunhofer IISB Abschiedsveranstaltung Professor Ryssel, Erlangen 2008.

**H. Ryssel**: „Hightech-Materialien und Hybridantriebe -Forschung für die Elektronik von morgen“, Vortrag auf der Präsidialprojekt II - Abschlußveranstaltung des Fraunhofer Innovationsforums, Stuttgart, 2008.

**H. Ryssel**: „Moore’s Law: Wie geht es mit Bauelementen und Materialien für die Nanoelektronik weiter“, Vortrag auf dem „Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials“ Kolloquium der Säule B: Nanoelectronic Materials, Erlangen, 2008.

S. Schäfer, A. Reindl, **S. Walther**, **M.P.M. Jank**, **H. Ryssel**, W. Peukert: „Dispersing and stabilizing semiconducting nanoparticles (Posterpräsentation)“, Vortrag bei dem „2nd International Workshop on Semiconducting Nanoparticles“, Duisburg, 2008.

**H. Schmitt**, B. Amon, S. Beuer, S. Petersen, M. Rommel, **A. Bauer**, **H. Ryssel**: „UV Nanoimprint Lithography Process Optimization for Electron Device Manufacturing on Nanosized Scale“, Vortrag auf der „34th International Conference on Micro-and Nano-Engineering (MNE)“, Athen, Griechenland, 2008.

T. Schnattinger, **A. Erdmann**: „A comprehensive resist model for the prediction of lineedge roughness material and process dependencies in optical lithography“, Vortrag auf der „SPIE Advanced Lithography“, San Jose 2008.

T. Schnattinger, **A. Erdmann**: „Lithographic importance of base diffusion in chemically amplified photoresists“, Vortrag auf der „Micro- and Nano-Engineering“, Athen (Griechenland), 2008.



**M. Sekowski:** „*Angular Distributions of Sputtered Atoms from Semiconductor Targets at Grazing Ion Beam Incident Angles*“, Vortrag auf dem 39. Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation, Erlangen, 2008.

F. Shao, P. Evanschitzky, T. Fühner, **A. Erdmann:** „*Rigorous diffraction simulations of topographic wafer stacks in double patterning*“, Posterpräsentation auf der „Micro- and Nano-Engineering“, Athen, Griechenland, 2008.

F. Shao, P. Evanschitzky, **D. Reibold, A. Erdmann:** „*Fast rigorous simulation of mask diffraction using the waveguide method with parallelized decomposition technique*“, Vortrag auf der „24th European Mask and Lithography Conference (EMLC)“, Dresden, 2008.

G. Spoldi, S. Beuer, M. Rommel, V. Yanev, **A. Bauer, H. Ryssel:** „*Experimental Observation of FIB Induced Lateral Damage on Silicon Samples*“, Vortrag auf der „34th International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE)“, Athen, Griechenland, 2008.

C. Steen, **P. Pichler, H. Ryssel:** „*Segregation of Antimony to Si/SiO<sub>2</sub> Interfaces*“, Vortrag auf dem „2008 EMRS Spring Meeting“, Straßburg, Frankreich 2008.

**S. Walther:** „*Elektronische Bauelemente auf nanopartikulärer Basis*“, Vortrag auf der Jahrestagung Fraunhofer IISB, Erlangen, 2008.

**S. Walther, F. Hofmann, M.P.M. Jank, A. Ebbers, H. Ryssel:** „*Impact of Physical and Chemical Treatment on Si Nanoparticulate Systems*“, Posterpräsentation auf der „Advanced Processing of Novel Functional Materials (APNFM)“, Dresden, 2008.

**S. Walther, M.P.M. Jank, A. Ebbers, H. Ryssel:** „*Ion Implantation into Nanoparticulate Functional Layers*“, Vortrag auf dem 39. Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation, Erlangen, 2008.

**S. Walther, M.P.M. Jank, A. Ebbers, H. Ryssel:** „*Ion Implantation Into Nanoparticulate Functional Layers*“, Posterpräsentation auf der „17th International Conference on Ion Implantation Technology“, Monterey, USA, 2008.

**S. Walther, S. Schäfer, M.P.M. Jank, H. Ryssel:** „*Fabrication and Characterization of Nanoparticulate ZnO-TFTs (Posterpräsentation)*“, Vortrag bei der „Summer School Nanotronics“, Marl, 2008.

V. Yanev, M. Rommel, G. Spoldi, S. Beuer, B. Amon, S. Petersen, A. Lugstein, A. Steiger, **A. Bauer, H. Ryssel:** „*Electrical AFM Techniques for the Advanced Characterization of Materials in Semiconductor Technology*“, Vortrag auf der „Seeing at the NanoScale VI“, Berlin, 2008.





## 9 So finden Sie zu uns

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

### 9.2 Lageplan

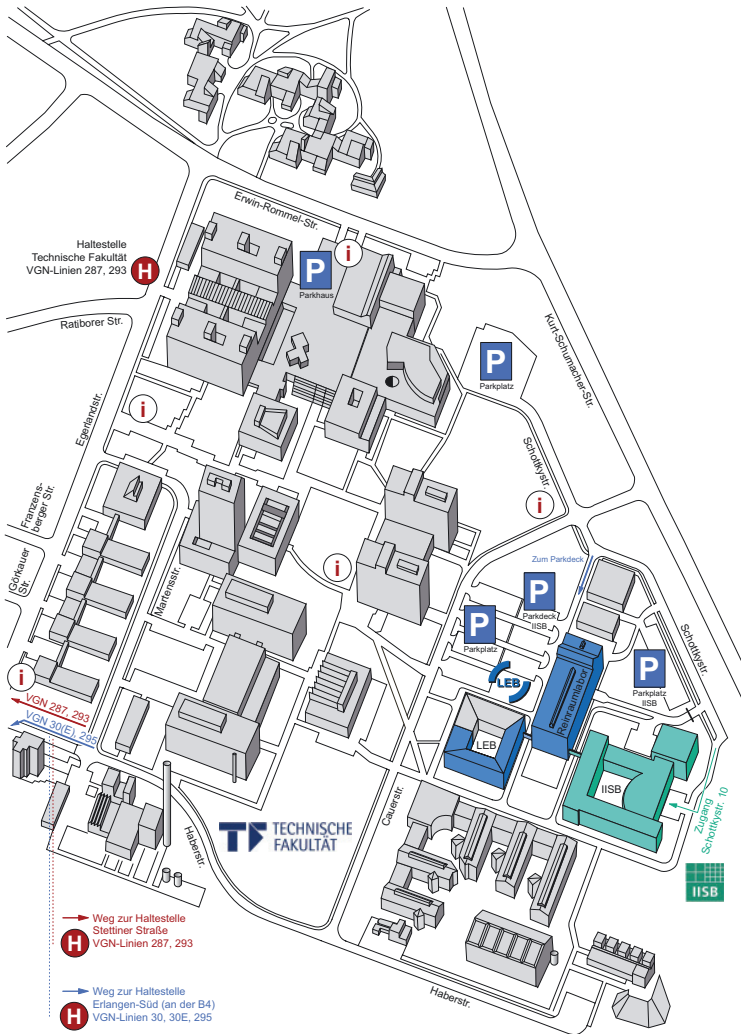


Abb. 9.2: Übersichtsplan der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente  
Prof. Dr.-Ing. Heiner Ryssel / Prof. Dr. rer. nat. Lothar Frey

Cauerstr. 6  
91058 Erlangen

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