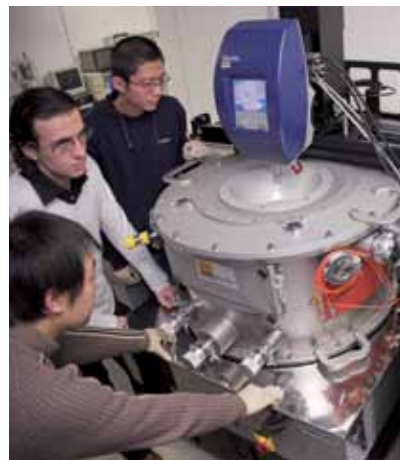
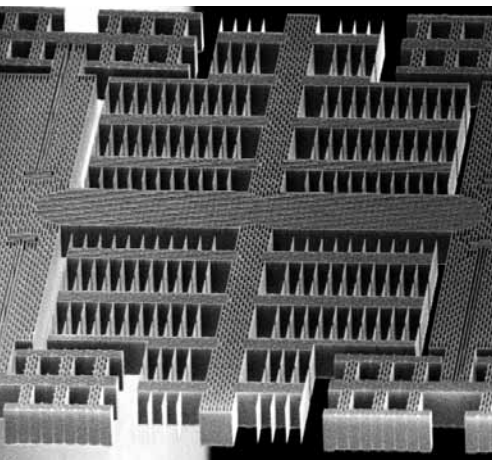


# Zentrum für Mikrotechnologien

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Technische Universität Chemnitz



**ZfM**  
Zentrum für  
Mikrotechnologien



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ  
1836-2011  
*175 Jahre*

## Kompetenzprofil

Überblick der Professuren und Abteilungen  
des Zentrums für Mikrotechnologien

# Inhalt

Zentrum für Mikrotechnologien	5
Höhepunkte der vergangenen 20 Jahre	6
Professur für Mikrotechnologie	10
Professur für Mikrosystem- und Gerätetechnik	12
Professur für Schaltkreis- und Systementwurf	14
Professur für Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik	16
Professur für Mess- und Sensortechnik	18
Professur für Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit	20
Professur für Werkstoffe und Zuverlässigkeit von mikrotechnischen Systemen	22
Honorarprofessur für Technologien der Nanoelektronik	24
Honorarprofessur für Opto-Elektronische Systeme	26
Abteilung Lithografie/Ätzen/Masken	28
Abteilung Schichtabscheidung	29
Ausstattung und Serviceleistungen	30
Lehre 2010	32
Interdisziplinäre Kooperation	34
Netzwerke	35
DFG-Forschergruppe 1713 „Sensorische Mikro- und Nanosysteme“	36
Nanett – Kompetenznetzwerk für Nano System Integration	38
Internationales Graduiertenkolleg (IRTG)	40

# Zentrum für Mikrotechnologien

Das Zentrum für Mikrotechnologien (ZfM) der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik wurde 1991 aus dem Technikum Mikroelektronik an der Technischen Universität Chemnitz neu gegründet. Das ZfM ist die Grundlage für die forschungs- und praxisnahe Ausbildung der Studenten, Praktikanten und jungen Wissenschaftler sowie für Forschungsarbeiten in den Bereichen Mikro- und Nanoelektronik, Mikromechanik und Mikrosystemtechnik.

Der Schlüssel zum Erfolg ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb des Zentrums für Mikrotechnologien. Geleitet wird das ZfM von Prof. Dr. Thomas Geßner. Zum Direktorium gehören die Inhaber der folgenden Professuren:

- Professur Mikrotechnologie – Prof. Dr. Thomas Geßner
- Professur Mikrosystem- und Gerätetechnik – Prof. Dr. Jan Mehner
- Professur Schaltkreis- und Systementwurf – Prof. Dr. Ulrich Heinkel
- Professur Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik – Prof. Dr. John Thomas Horstmann
- Professur Mess- und Sensortechnik – Prof. Dr. Olfa Kanoun
- Professur Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit – Prof. Dr. Josef Lutz
- Professur Werkstoffe und Zuverlässigkeit mikrotechnischer Systeme – Prof. Dr. Bernhard Wunderle

Darüber hinaus gehören zwei Abteilungen, die Abteilung Lithografie/Ätzen/Maske sowie die Abteilung Schichtabscheidung zum ZfM.

Das Zentrum für Mikrotechnologien verfügt über 1000 m<sup>2</sup> Reinraum, davon entsprechen 300 m<sup>2</sup> der Reinraumklasse ISO 4. Modernes Equipment gestattet die Prozessierung von 4-Zoll-, 6-Zoll- und 8-Zoll-Wafern. Das ermöglicht sowohl die Entwicklung und Untersuchung einzelner Herstellungsschritte als auch die Entwicklung von Gesamttechnologien.

Vor allem Grundlagenforschung und Forschungsprojekte, die auf direktem Weg in die Industrie überführt werden, sind Aufgabenbereiche des ZfM. Dabei liegt der Fokus auf folgenden Gebieten:

- Basistechnologien und Komponenten für Mikro- und Nanosysteme, wie zum Beispiel Sensoren, Aktoren, Arrays,
- Entwicklung von Technologien für Metallisierungssysteme in der Mikroelektronik,
- Design von Komponenten und Systemen,
- Nanotechnologien, -komponenten und ultradünne funktionale Schichten.



leitender Direktor  
Prof. Dr. Thomas Geßner



stellvertretende Direktorin  
Dr. Karla Hiller

# Höhepunkte der vergangenen 20 Jahre

## 1991

Neugründung des Zentrums für Mikrotechnologien aus dem Technikum Mikroelektronik

Wissenschaftliche Highlights:

- Anodisches Bonden, Silicon Fusion Bonden
- Simulation von orientierungsabhängigem Silizium-Nassätzen
- Eindimensional elektrostatisch angetriebene Mikrospiegel
- Hochpräziser Beschleunigungssensor in Bulk-technologie

## 1992

Wissenschaftliche Highlights:

- Sputtern hoch reflektiver Schichten
- PECVD an dünnen Membranen mit reduzierten mechanischen Spannungen

## 1993

Berufung Prof. T. Geßner (Professur Mikrotechnologie), Prof. W. Dötzel (Professur Mikrosystem- und Gerätetechnik), Prof. G. Ebest (Professur Elektronische Bauelemente)

Emeritierung Prof. H. Lippmann (Professur Festkörper- und Optoelektronik)

Erster gemeinsamer Jahresbericht

Seit 1990 wurden 14 Millionen DM in Reinraumtechnologie und Equipment investiert

Abschluss des Planungsvorhabens für die Sanierung des Reinraumes

## 1994

Berufung Prof. C. Radehaus (Professur Festkörper- und Optoelektronik)

Umfangreiche Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten beginnen im ZfM

## 1995

Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten dauern an

Einrichtung des Sonderforschungsbereiches 379 „Mikromechanische Sensor- und Aktorarrays“ am 1. Januar

Das ZfM ist Gastgeber und Organisator der Konferenz MAM '95: Materials for Advanced Metallization (19. - 22. März 1995) mit Teilnehmern aus 16 Ländern

Integration der Arbeitsgruppe Werkstoffe der Elektrotechnik/Elektronik, Dr. J. Frühauf

Wissenschaftliche Highlights:

- Metallisierungssysteme mit hoher Temperaturstabilität



## 1996

Feierliche Einweihung der Reinräume des ZfM durch die Staatsminister Herr Prof. Hans-Joachim Meyer und Herr Prof. Georg Milbradt am 15. August mit ca. 250 Gästen

Das ZfM ermöglicht die komplette Fertigung von Teststrukturen sowie Sensoren, Aktoren auf Siliziumbasis.

## 1997

Positive Evaluierung des Sonderforschungsbereiches 379

Umstieg auf 6-Zoll-Siliziumtechnologie, hauptsächlich für Forschungen im Bereich der Interconnect-Technologie in der Mikroelektronik

Wissenschaftliche Highlights:

- Kupfertechnologie (PVD/CVD und RIE) für 0,3µm-Strukturen demonstriert
- Scannerarray bis Resonanzfrequenzen 200 kHz
- Erster Prototyp eines hochpräzisen Drehratesensors
- Erstes Patterning mit Dimensionen kleiner 50 nm realisiert

## 1998

Integration Prof. D. Müller (Professur Schaltungs- und Systementwurf) und Prof. V. Krozer (Professur Hochfrequenztechnik) in das Direktorium des ZfM

Wissenschaftliche Highlights:

- Installation der Centura für Cu-RIE im Rahmen des gemeinsamen Entwicklungsprogramms mit Applied Materials
- Neue Methoden für MEMS und Mikroelektronik-Design
- Mikros Scanner
- Low k-CF-Dielektrikum ( $k = 2.2...2.5$ , thermische Beständigkeit bis zu 420° C) basierend auf der CVD-Technologie

Gründung der Abteilung Micro Devices and Equipment des Fraunhofer IZM in Chemnitz

## 1999

ZfM wird aktives Mitglied des Netzwerks „Ultradünne funktionale Schichten“

Wissenschaftliche Highlights:

- CVD-Prozess von Kupfer optimiert
- Neue Anwendungsbereiche für mehrere Mikroaktoren werden nachgewiesen
- Neuartiger Gassensor wurde entwickelt für Anwendungen im Bereich hoher Temperaturen

## 2000

Erfolgreiche Evaluierung des Sonderforschungsbereiches 379

Wissenschaftliche Highlights:

- Der Kupfer-CVD-Prozess wird erfolgreich für vertikale Chipintegration genutzt
- Erfolgreicher Test des Metalloxidgassensors im Auspuff
- Demonstration der monolithischen Integration eines Si-Resonator-MEMS in Standard CMOS

## 2001

10jähriges Jubiläum des ZfM am 22. November 2001



**2002**

Ausscheiden Prof. V. Krozer (Professur Hochfrequenztechnik) aus dem Direktorium des ZfM

## Wissenschaftliche Highlights:

- Test der Eignung von nanoporösen SiO<sub>2</sub> und CF-Polymeren als low-k-Material innerhalb von Damascene-Prozessmodulen (einschließlich Kupfer und CMP)
- Anwendung von neuen Barrierschichtmaterialien und -prozesse für kupferbasierte Technologien
- Eine neuartige High-Aspect-Ratio-Technologie (AIM) für MEMS wird entwickelt
- Ein High-Aspect-Ratio-Vertical-FET-Sensor, der als Bewegungsdetektor funktioniert, wird erfolgreich getestet
- Neue Methoden und Tools zur Ordnungsreduzierung von Modellen finiter Elemente
- neue Ansätze für Waferbond-Technologien werden etabliert

**2003**

Erfolgreiche Evaluierung des Sonderforschungsbereiches 379

## Wissenschaftliche Highlights:

- Eine neue Methode für MEMS-Verkappung bei niedrigen Temperaturen und Selective-Adhesion-Bonding wird entwickelt und verifiziert
- Verifikation der AIM-Technologie durch die Herstellung von Prototypen der Neigungsmesser und erfolgreiche Tests durch Industriepartner
- Abstimmbare Infrarot-Fabry-Perot-Filter erfolgreich getestet
- Miniaturisierte NIR/MIR-Spektrometer basierend auf mikromechanischen Scannern, verwendbar für die Analyse von Stoffen in gasförmigem, flüssigem und festem Zustand

- Messung und Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von einer Vielzahl von low-k- und ultra-low-k-Dielektrika sowie thermische Modellierung von low-k-Materialien
- Entwicklung einer ultradünnen, amorphen PECVD-W-N-Diffusionsbarriere für Kupfer-Damascene-Metallisierung mit einer thermischen Stabilität bis zu 600° C

**2004**

Professor J. Lutz (Professur Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit) wird in das Direktorium des ZfM integriert

## Wissenschaftliche Highlights:

- Silizium-Gyroskop-Chips aus Chemnitz werden erfolgreich in einen miniaturisierten LITEF Demonstrator für Avionik-Anwendungen eingebaut und getestet
- Systemintegration von frequenzselektiven Sensor-Arrays für Schwingungsüberwachung an Schneidwerkzeugen
- Im Rahmen der Projekte NanoCMOS und Skalar wird die hauseigene Mehrzweck-Simulationsumgebung T2 zur mehrskaligen Simulation der Abscheidung dünner Schichten unter Verwendung PVD und zur Planarisierung von Oxidschichten für Shallow Trench Isolation (STI) erweitert
- Entwicklung eines low-k-kompatiblen Resist Stripping Prozesses auf H<sub>2</sub> Basis

**2005**

Prof. D. Müller (Professur Schaltungs- und Systementwurf) wird emeritiert

Prof. U. Heinkel wird auf die Professur Schaltkreis- und Systementwurf berufen und in das Direktorium des ZfM integriert

Internationale Beziehungen zu China und Japan werden intensiviert

**2006**

Neues Forschungsgebiet: Smart Systems Integration

Sonderforschungsbereich 379 „Mikromechanische Sensor- und Aktorarrays“ endet nach 12 Jahren erfolgreicher Forschung

Start des internationalen Graduiertenkollegs „Materialien und Konzepte für fortschrittliche Interconnectsysteme“ gemeinsam mit Fraunhofer IZM, TU Berlin, Fudan Universität Shanghai und Jiao Tong Universität Shanghai

Beginn der Bauarbeiten am neuen Reinraum des ZfM im Gebäude des Instituts für Physik auf dem Smart Systems Campus Chemnitz

**2007**

Prof. W. Dötzel (Professur Mikrosystem- und Gerätetechnik) und Prof. G. Ebest (Professur Elektronische Bauelemente) werden emeritiert

Prof. J. Mehner wird auf die Professur Mikrosystem- und Gerätetechnik und Prof. J.-T. Horstmann wird auf die Professur Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik berufen

Beide Professoren werden in das Direktorium des ZfM integriert

Frau Dr. K. Hiller übernimmt die Funktion der stellvertretenden Direktorin des ZfM

Fertigstellung des Reinraumes des ZfM (Reinraumklasse 10) im neuen Gebäude des Instituts für Physik auf dem Smart Systems Campus

**2008**

Frau Prof. O. Kanoun wird auf die Professur Mess- und Sensortechnik berufen und in das Direktorium des ZfM integriert

Prof. C. Radehaus wird emeritiert

Dr. G. Herrmann wird zum außerplanmäßigen Professor, Dr. T. Otto zum Honorarprofessor für Optoelektronische Systeme sowie Dr. S. E. Schulz zum Honorarprofessor für Technologien der Nanoelektronik berufen

**2009**

Prof. J. Frühauf wird emeritiert

Prof. B. Wunderle wird auf die Professur Werkstoffe und Zuverlässigkeit mikrotechnischer Systeme berufen und in das Direktorium des ZfM integriert

Kompetenznetzwerk „Nanosystemintegration“ startet im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“

**2010**

Die Honorarprofessoren Prof. T. Otto und Prof. S. E. Schulz werden in das ZfM integriert

Erfolgreiche Evaluierung des internationalen Graduiertenkollegs (IRTG), Fortführung als internationales Graduiertenkolleg „Materialien und Konzepte für fortschrittliche Interconnect- und Nanosysteme“

**2011**

Erfolgreiche Evaluierung der DFG-Forschergruppe „Sensorische Mikro- und Nanosysteme“

# Professur für Mikrotechnologie



**Kontakt: Prof. Dr. Thomas Geßner**

**Telefon: +49 (0)371 531-33130**

**E-Mail: thomas.gessner@zfm.tu-chemnitz.de**

## Wichtigste Arbeitsgebiete:

- Entwicklung neuer Materialien und Prozesse für Metallisierungssysteme in der Mikro- und Nanoelektronik sowie für die 3D-Integration
- Simulation und Modellierung von Equipment und Prozessen für die Mikro- und Nanoelektronik sowie für Nanomaterialien und Nanostrukturen
- Entwicklung von Nanotechnologien, Nanokomponenten und ultra-dünnen funktionalen Schichten
- Entwicklung von Plasmaprozessen für die Photovoltaik
- Entwicklung von Technologien und Komponenten für Mikrosysteme und Nanosysteme (Sensoren, Aktuatoren und Arrays)
- Prozesse und Technologien für die Integration von Elektronik mit Mikro- und Nanosystem-Komponenten
- Herstellung von Prototypen (Sensoren, Aktuatoren und Arrays)
- Fertigungsservice für kundenspezifische Anwendungen

Im Fokus der Arbeiten stehen insbesondere Silizium-basierte MEMS-Technologien:

- Volumenttechnologien
- HAR-Technologien (High aspect ratio), z.B. AIM-Technologie (air gap insulated microstructures)
- Verkapselung von MEMS durch Waferbonden
- Verkapselung durch Dünnschichttechnologien

Verschiedene HAR-Technologien, wie die patentierte AIM-Technologie oder die BDRIE-Technologie (Bonding and Deep RIE), wurden entwickelt und qualifiziert und stehen für die Herstellung von hochpräzisen Inertialsensoren, wie Beschleunigungs-, Vibrations- und Neigungssensoren sowie Drehratensensoren zur Verfügung. Weiterhin werden gegenwärtig Hochfrequenz-Schalter und -Resonatoren entwickelt. Die Performance von Sensoren und Aktuatoren, welche das kapazitive/elektrostatische Wirkprinzip nutzen, wird wesentlich durch die Kapazitätsänderung in Bezug auf eine Bewegung der Elektrode bestimmt. Die kleinsten Elektrodenspalten sind jedoch durch die Herstellungstechnologien begrenzt. Durch Verringerung dieser Spalte nach der Fertigung bis in den Sub- $\mu\text{m}$ -Bereich können diese Grenzen überwunden werden. Die Empfindlichkeit von Inertialsensoren und der Arbeitsbereich von Aktuatoren können so erhöht werden, Schaltzeiten von HF-Schaltern und die Impedanz von HF-Resonatoren verringern sich.

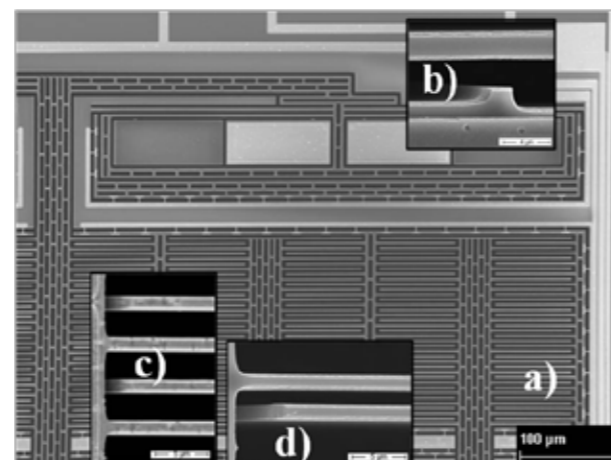


Abb. 1: REM-Aufnahmen – a) hergestellte Teststruktur, b) detaillierter Ausschnitt eines Mikro-Schmelzfeldes, c) detaillierter Ausschnitt der Initial-Spalt-Separation und d) die reduzierte Spalt-Separation zwischen den fixierten und beweglichen Elektroden

Eine Methode zur Spaltreduzierung unter Nutzung von elektrostatischen Kräften (als Aktuatorprinzip) in Kombination mit dem Aufschmelzen von Silizium in definierten Bereichen (für die permanente Fixierung des verringerten Spaltabstandes) konnte an einer AIM-Struktur erfolgreich demonstriert werden. Bild 1 zeigt die Draufsicht auf einen Ausschnitt der Struktur sowie Detailaufnahmen des Mikro-Schmelzpfades und der Kondensatoranordnung vor sowie nach der Spaltreduzierung. Die REM-Aufnahme in Bild 2 zeigt den Schmelzbereich nach Ablauf der Spaltreduzierung. Der Schmelzvorgang wird durch die Entladung eines Kondensators initiiert. Bei einer Spannung ( $> 100\text{ V}$ ) fließt kurzzeitig ein Strom, wodurch das Silizium im Kontaktbereich schmilzt und anschließend eine feste Verbindung bildet. Die Spaltgröße verringerte sich dadurch von ursprünglich  $4,5\ \mu\text{m}$  auf weniger als  $400\ \text{nm}$ , wodurch sich das Aspektverhältnis von 12 auf ca. 150 erhöht. Die Zuverlässigkeit der dadurch hergestellten Verbindung wurde an einem HF-Schalter getestet, dessen Funktionsfähigkeit in mehr als  $10^9$  Schaltzyklen nachgewiesen wurde.

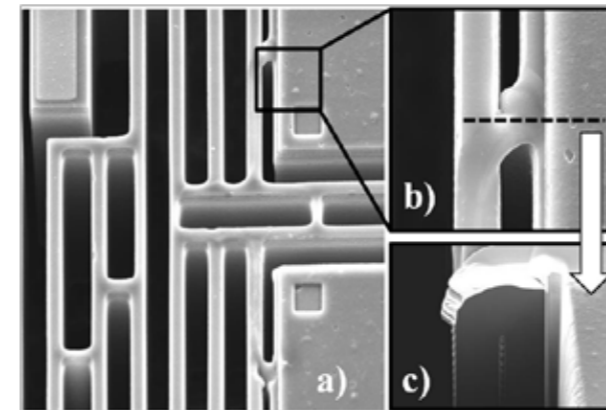


Abb. 2: REM-Aufnahmen – a) Spaltreduktionsgebiet nach der Spaltreduktion erfolgte, b) Draufsicht auf ein Mikro-Schmelzfeld und c) Querschnitt eines Mikro-Schmelzfeldes nach der FIB-Päparation

Mikrostrukturierte Fabry-Perot-Filter für den nahen IR-Bereich ( $3\text{...}5\ \mu\text{m}$ ) für Anwendungen in der Spektralanalyse werden seit mehreren Jahren hergestellt. In weiterführenden Projekten mit den Partnern Fraunhofer ENAS, InfraTec Dresden, Jenoptik LOC und IOM Leipzig konnte die Performance weiter gesteigert werden. Durch die Integration neuer optischer Materialien wurde der Messbereich auf bis zu  $11\ \mu\text{m}$  ausgedehnt und Filter mit Dualband-Charakteristik gestatten die gleichzeitige Messung in den Fenstern  $4\text{...}5\ \mu\text{m}$  und  $8\text{...}11\ \mu\text{m}$  (Bild 3). Neben Bragg-Schichten werden gegenwärtig auch nanostrukturierte Oberflächen als Reflektormaterialien untersucht.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Herstellung und Anwendung dünner Schichten, deren Dicke von wenigen Nanometern bis zu einigen Mikrometern reicht. Sie finden ihren Einsatz als aktive und funktionelle Schichten in der Mikroelektronik, als Zwischenschichten und elektrische Verbindung in Packaging-Technologien, als Schutzschichten auf Oberflächen sowie als aktive Schichten in optischen Komponenten (z.B. Reflektoren und Gitterstrukturen für Interferometer).

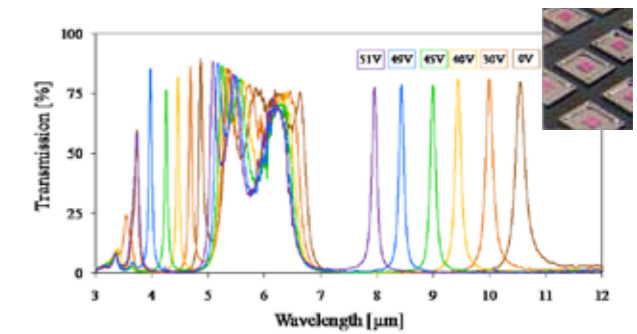


Abb. 3: Transmissionscharakteristika eines Dual-Band-IR-Filters unter Beachtung der Ansteuerspannung (mit freundlicher Genehmigung von InfraTec GmbH Dresden)

## Ausgewählte Veröffentlichungen:

Nowack, M.; Reuter, D.; Bertz, A.; Kuechler, M.; Aurich, T.; Dittrich, C.; Gessner, T.: **A Novel Three-Axis AIM Vibration Sensor for High Accuracy Condition Monitoring**. IEEE Sensors 2010 Conference, Waikoloa (USA), Nov 1 – 4, 2010, Proceedings, pp. 879 – 884 (ISBN 978-1-4244-8168-2).

Kurth S., Leidich, S.; Bertz, A.; Nowack, M.; Kaufmann, C.; Faust, W.; Gessner, T.; Akira, A.; Ikeda, K.: **Reliability enhancement of Ohmic RF MEMS switches**. Proc. SPIE Vol. 7928-11 (2011), SPIE Photonics West, San Francisco, USA, January 22 – 27, 2011.

Meinig, M.; Kurth, S.; Hiller, K.; Neumann, N.; Ebermann, M.; Gittler, E.; Gessner, T.: **Tunable mid-infrared filter based on Fabry-Pérot interferometer with two movable reflectors**. Proc. of SPIE Vol. 7930-18 (2011).

Waechtler, T.: **Thin Films of Copper Oxide and Copper Grown by Atomic Layer Deposition for Applications in Metallization Systems of Microelectronic Devices**. published by Universitätsverlag Chemnitz, 2010 (ISBN 978-3-941003-17-0).

Hofmann, L.; Braeuer, J.; Baum, M.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Electrochemical deposition of reactive nanoscale metallization systems for low temperature bonding in 3D integration**. AMC, Baltimore (USA), October 13 – 15, 2009; Proceeding of the Advanced Metallization Conference 2009, pp. 241-251 (ISBN 987-1-60511-218-3).

Hofmann, L.; Ecke, R.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Pulse Reverse Electroplating for TSV Filling in 3D Integration**. Smart Systems Integration, Como (Italy), Mar 23 – 24, 2010, Proceedings (ISBN 978-3-8007-3081-0).

Hermann, S.; Fiedler, H.; Waechtler, T.; Falke, M.; Ecke, R.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Approaches for Fabrication of Carbon Nanotube Vias**. Nanoelectronic Days 2010, Aachen (Germany), Oct 4 – 7, 2010; Poster presentation.

# Professur für Mikrosystem- und Gerätetechnik



**Kontakt: Prof. Dr. Jan Mehner**

**Telefon: +49 (0)371 531-24430**

**E-Mail: jan.mehner@etit.tu-chemnitz.de**

Die Professur für Mikrosystem- und Gerätetechnik beschäftigt sich vornehmlich mit dem Entwurf, der Charakterisierung und mit Anwendungen von Mikrosystemen. Dies erfordert interdisziplinäre Forschung, um Mechanik, Elektrotechnik, Optik und Mikroelektronik zu verbinden. Feinwerktechnik und Medizintechnik sind die folgerichtige Ergänzung der bearbeiteten Sachgebiete.

## Hauptarbeitsgebiete:

- Modellierung und Simulation multiphysikalischer Domänen und deren Interaktion
- Experimentelle Charakterisierung von Mikrosystemen und Charakterisierungsmethoden
- Sensor und Aktorentwicklung
- Drahtlose Signalübertragung und Energy Harvesting

Mikrosysteme stellen Schlüsselkomponenten in komplexen heterogenen Baugruppen im Automobilbereich, in der Automatisierungstechnik und in endkundenorientierten Produkten dar. Aus diesem Grund sind Forschung und Lehre stark mit Partnern aus Industrie und Forschungslandschaft verknüpft. (zum Beispiel diverse Fraunhofer-Institute, IPHT Jena, Freescale, u.a.).

Eine der größten Herausforderungen auf dem Gebiet des MEMS-Entwurfs ist die Bereitstellung von schnellen und genauen Verhaltensmodellen. Die vielversprechendste Herangehensweise ist die in Abbildung 1 dargestellte Nutzung parametrischer Modelle mit reduzierter Ordnung (reduced order modeling ROM). Diese parametrischen Makromodelle mit reduzierter Ordnung sind in der Lage die komplexe nichtlineare Dynamik von Mikrosystemen abzubilden. Die Komplexität erwächst aus stark nichtlinearen elektrostatischen Kräften, mechanischer Vorspannung und geometrischen Nichtlinearitäten. Zusätzlich sind die Modelle in der Lage, Mehrelektrodensysteme und mechanische Anschlagphänomene zu behandeln. Geometrische Nichtlinearitäten, wie Stress Stiffening, werden durch die Nutzung der zweiten Ableitungen der Verformungsenergie nach den modalen Koordinaten berücksichtigt. Die Technik der modalen Superposition ist eine sehr effiziente Methode für eine transiente Simulation von MEMS mit dem Ziel exportierbarer Makromodelle für eine Systemsimulation.

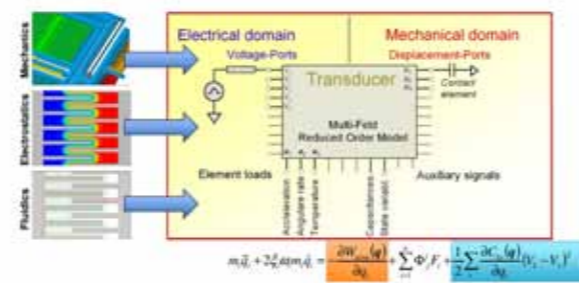


Abb. 1: Modelle mit reduzierter Ordnung für das Design von Mikrosystemen

Diese hochentwickelten Entwurfsmethoden werden erfolgreich zum Beispiel für das Design des in Abbildung 2 gezeigten Beschleunigungssensors verwendet.

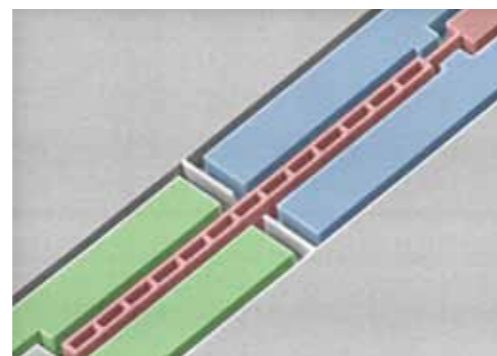


Abb. 2: Vergrößerter und colorierter Ausschnitt eines Vibrationssensors für die Detektion von Geräuschen in Maschinen

Ein sehr gut ausgestattetes Labor für die Charakterisierung steht am Lehrstuhl für Mikrosystem- und Gerätetechnik zur Verfügung. Zum Gerätepark gehören zwei Waferprober, ein Atomic Force Mikroskop, verschiedene Interferometrische Topographiemessgeräte, ein fokusbasiertes scannendes Topographiemesssystem, verschiedene Messsysteme zur dynamischen Charakterisierung. Abbildung 3 zeigt mit dem PVM-200-Vakuum-Waferprober, welcher in Verbindung mit dem Micro System Analyzer MSA 500 eine dynamische und topographische Charakterisierung von MEMS auf Waferlevel und unter Einfluss von Druck und Temperatur ermöglicht.



Abb. 3: PVM-200-Vakuum-Waferprober und Mikrosystem-Analyser

Das MSA kombiniert ein scannendes Laser-Doppler-Vibrometer für die Messung von vertikalen Bewegungen mit einem kamerabasierten Messsystem für laterale Bewegungen, welches mit getriggertem stroboskopischer Beleuchtung sehr schnelle Bewegungen sichtbar und messbar macht. Ein Weißlichtinterferometerobjektiv mit Korrekturglas erlaubt topographische Messungen im Vakuum.

Eines der derzeitigen Medizintechnikprojekte untersucht einen Drucksensorkatheter für die Funktionsdiagnostik im Verdauungstrakt. Basierend auf Faser Bragg Gittern (FBGs) soll eine hohe Orts- und Druckauflösung erreicht werden. Abbildung 4 erläutert das Funktionsprinzip des Messsystems mit einem FBG-Array. Eine breitbandige Lichtquelle beleuchtet das FBG-Array, welches getrennte und örtlich zuordenbare Reflexionspeaks erzeugt. Die Wellenlängen dieser Peaks sind dehnungs- und temperaturabhängig und werden mit einem Interrogator ausgewertet. Aufgabe des Kathetermantels ist die Umformung von radialen Kräften am Katheter in eine Dehnung der optischen Faser.

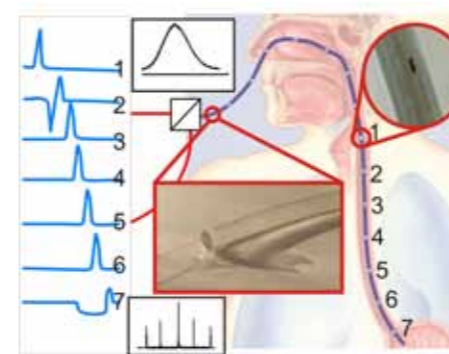


Abb. 4: Funktionsprinzip eines medizinischen Drucksensorkatheters für Untersuchungen der Speiseröhre

hängig und werden mit einem Interrogator ausgewertet. Aufgabe des Kathetermantels ist die Umformung von radialen Kräften am Katheter in eine Dehnung der optischen Faser.

## Andere Forschungsprojekte:

- Parametrische ROM-Modellierung von MEMS für schnelle und genaue Entwurfsmodelle
- Entwurf und Charakterisierung, sowie Anwendung von MEMS-basierten Acoustic-Emission-Sensoren.
- Teststrukturbasierte Parameteridentifikation auf Waferlevel durch Bestimmung von Eigenmoden
- Vibrationsenergyharvester
- Reibungsvakuumsensor
- Blasendrucksensor
- Herztonmessung mittels Beschleunigungssensoren

## Ausgewählte Veröffentlichungen:

Voigt, S.; Rothardt, M.; Becker, M.; Lüpke, T.; Thieroff, C.; Teubner, A.; Mehner, J.: **Homogeneous catheter for esophagus high-resolution manometry using fiber Bragg gratings.** SPIE Photonics West, Proc. SPIE 7559, 75590B (2010).

Mehner, J.; Kolchuzhin, V.; Schmadlak, I.; Hauck, T.; Li, G.; Lin, D.; Miller, T. F.: **The influence of packaging technologies on the performance of inertial MEMS sensors.** Proceedings of 15. Intern. Conf. on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, Transducers' 09, (2009) pp. 1885 – 1888.

Shaporin, A.; Streit, P.; Specht, H.; Dötzel, W.; Mehner, J.: **Novel test-structures for characterization of microsystems parameters at wafer level.** SPIE – Photonics West, Proc. SPIE 7206 (2009) pp. 72060E-1-12.

Naumann, M.; Koury, D.; Lin, D.; Oi, H.; Miller, T.F.; Mehner, J.: **Characterisation of sticking effects by surface micromachined test structures.** Chemnitzer Fachtagung Mikrosystemtechnik, Tagungsband, (2009). S. 103 – 107.

Forke, R.; Scheibner, D.; Dötzel, W.; Mehner, J.: **Measurement unit for tunable low frequency vibration detection with MEMS force coupled oscillators.** Sensors and Actuators A: Physical, 156, 1 (2009) pp. 59 – 65 (ISSN 0924-4247).

Kolchuzhin, V.; Forke, R.; Dötzel, W.; Mehner, J.: **High Order Derivatives Technology in Advanced MEMS Modeling.** Smart Systems Integration 2009, Proceedings (2009) pp. 472 – 475 (ISBN 978-3-89838-616-6).

# Professur für Schaltkreis- und Systementwurf



**Kontakt:** Prof. Dr. Ulrich Heinkel

**Telefon:** +49 (0)371 531-24310

**E-Mail:** ulrich.heinkel@etit.tu-chemnitz.de

## Hauptarbeitsgebiete

- Entwurf von ASICs (Application Specific Integrated Circuits) und FPGAs (Field Programmable Gate Arrays)
- Entwurf heterogener Systeme (MEMS) in Kooperation mit den Professuren des Zentrums für Mikrotechnologien
- Methoden der formalen Spezifikation/Verifikation und der Simulation für digitale, analoge und heterogene Systeme mit VHDL, VHDL-AMS, SystemC, SystemC-AMS, SystemVerilog, PSL
- Effiziente Kommunikation (Car2X, Applikation von drahtlosen Netzwerken, ad-hoc-Netzwerke, Netzwerk-Management, Bandbreiten-Reduktion mit digitaler Bildverarbeitung, Lokalisierungsalgorithmen)

Durch die langjährige Arbeit auf dem Gebiet des Schaltkreis- und Systementwurfs ist an der Professur ein umfangreiches Wissen zu anwendungsspezifischen Schaltkreisen (ASICs) entstanden. Spezialkenntnisse und Fertigkeiten existieren zum Entwurf und Einsatz von CPLD-Schaltkreisen, von anwenderprogrammierbaren ASICs (FPGAs) und von maschinenprogrammierbaren ASICs (Gate-Arrays, Standardzelle).

Viele verschiedene Systeme wurden entworfen, zum Beispiel Systeme für Echtzeitverarbeitung, Rapid-Prototyping-Systeme für die Bildverarbeitung und zur Analyse von Geräuschkennlinien, Kopplung von Simulatoren und Emulatoren. Auf dem Gebiet der Methodik- und Toolentwicklung werden u. a. Themen zu Low Power, Intellectual Properties und rekonfigurierbarer Hardware bearbeitet. Die Forschungsgebiete umfassen:

- Systementwurf von heterogenen Mikrosystemen in Zusammenarbeit mit der Professur Mikrosystem- und Gerätetechnik und dem Zentrum für Mikrotechnologien
- Forschungsarbeiten zum Logik- und Systementwurf, zu FPGAs, PLDs, Gate-Arrays Applikationen
- Hochleistungsarithmetik für verschiedene Spezialanwendungen (z. B. MPEG-Video-Decoder, Bildkompression, Grafikcontroller)
- Entwicklung von wiederverwendbaren Komponenten, IPs (Intellectual Properties), Entwurfsumgebungen zur Wiederverwendung, Applikationen
- Formale Spezifikation mit Interface-basierten Entwurfsmethoden, Specification Capturing
- Entwurf und Applikation eines Modularsystems (einschließlich eines GUI (graphical user interface)) für Echtzeitaufgaben (Inspektion textiler Oberflächen, Untersuchung von Hautkrankheiten, Echtzeitbildverarbeitung, Fuzzy-Klassifikationssysteme, Ansteuerung von Projektionssystemen)
- Low-Power-Entwurf
- Methoden zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Testbarkeit von Systemen
- Entwurf von sensornahen Auswerteschaltungen und Kurzstreckenübertragungssystemen (Bruchdetektion, Feuchtedetektion, Sportgerätetechnik)
- Entwurf von Aktorik-Ansteuerungen für Medizintechnik (Reizstrombody, Mobilizer)

Derzeit sind 28 Mitarbeiter an der Professur beschäftigt, die meisten davon arbeiten an applikationsspezifischen Industrie-Forschungsprojekten. Im Folgenden sind einige dieser Projekte angegeben:

- BMBF-Projekt Innoprofile „Generalisierte Plattform zur Sensordaten-Verarbeitung GPSV“



Abb. 1: Daniel Kriesten präsentiert einen Prototypen einer On-board-Einheit, die im Projekt „Generalisierte Plattform zur Sensordaten-Verarbeitung GPSV“ entwickelt wurde.

- Verbundprojekt (BMBF): Kompetenznetzwerk für Nanosystemintegration – Teilvorhaben: „NEMS/MEMS-Elektronik-Integration für energieeffiziente Sensorknoten“
- BMBF-Projekt ForMaT2: „Faserkunststoffverbunde mit integrierter Zustandsüberwachung in Echtzeit“ (FIZ-E)
- Verbundprojekt (DLR): SEIS: Teilvorhaben: „Entwurf und Bewertung eingebetteter IP-basierter Netze“
- ZiM-AiF-Projekt: „ProTecT – Progressive Techniques for Testing Embedded Systems“
- ZiM-AiF-Projekt: „Entwicklung eines therapeutischen Reizstrombodies“

## Ausgewählte Publikationen:

Kriesten, D.; Pankalla, V.; Heinkel, U.: **An Application Example of a Run-time Reconfigurable Embedded System**. Accepted for publication in the Proceedings of the International Conference on ReConfigurable Computing and FPGAs (ReConFig'10). IEEE Computer Society. Mexiko, 13. – 15. Dezember 2010.

Markert, E.; Billich, E.; Tischendorf, C.; Proß, U.; Leibelt, T.; Knäblein, J.; Schneider, A.; Heinkel, U.: **An In-band Reconfigurable Network Node based on a heterogeneous Platform**. Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing DASIP, 26. – 28. Oktober 2010, Edinburgh, Schottland, ISBN 978-1-4244-8734-9.

Shende, M. A.; Wolf, P.; Markert, E.; Herrmann, G.; Heinkel, U.: **Modeling of electrical resistance strain gauge using VHDL-AMS for the realtime structural health monitoring of wind turbines**. 10. Chemnitzer Fachtagung Mikrosystemtechnik - Mikromechanik & Mikroelektronik, Chemnitz, 20. – 21. Oktober 2010, Chemnitz, ISBN 978-3-00-032052-1.

Froß, D.; Langer, J.; Froß, A.; Heinkel, U.: **Hardware-Implementierung eines Partikelfilters zur Positionsbestimmung**. DASS 2010 Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf, 18. – 19. Mai 2010, ISBN 978-3-8396-0126-6.

Knäblein, J.; Tischendorf, C.; Markert, E.; Heinkel, U.: **Technology Independent, Embedded Logic Cores – Utilizing synthesizable embedded FPGA-cores for ASIC design validation**. ReCoSoC'2010, Karlsruhe, 17. – 19. Mai 2010, ISBN 978-3-86644-515-4.

Roßberg, C.; Froß, A.; Froß, D.; Heinkel, U.: **Beacon Frame based Network Simulation using TrueTime Network Simulator**. SIMUTools 2010, Torremolinos, Spanien, 15. – 19. März 2010, ISBN 978-963-9799-87-5.

Proß, U.; Goller, S.; Markert, E.; Jüttner, M.; Langer, J.; Knäblein, J.; Schneider, A.; Heinkel, U.: **Demonstration of an in-band reconfiguration data distribution and network node reconfiguration**. Proceedings DATE conference 2010, Dresden, Germany, March 8 – 12, 2010, ISBN 978-3-9810801-6-2.

Langer, J.; Pepelyasev, D.; Heinkel, U.: **Determinierung von Automaten bei der High-Level-Synthese von Operationseigenschaften**. 13. Workshop „Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen“, 22. – 24. Februar 2010, Fraunhofer IIS, EAS Dresden, Tagungsband zum Workshop pp. 31 – 40, Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0103-7.

Billich, E.; Rößler, M.; Heinkel, U.: **Effiziente Auslastung der heterogenen Ressourcen eines Systems durch domänenübergreifendes Multithreading**. 13. Workshop „Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen“, 22. – 24. Februar 2010, Fraunhofer IIS, EAS Dresden, Tagungsband zum Workshop pp. 127 – 136, Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0103-7.



# Professur für Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik



**Kontakt: Prof. Dr. John Thomas Horstmann**

**Telefon: +49 (0)371 531-37114**

**E-Mail: john-thomas.horstmann@etit.tu-chemnitz.de**

## Kompetenzen:

- analog und mixed-signal Schaltungsentwurf (Simulation, Layout, Maske)

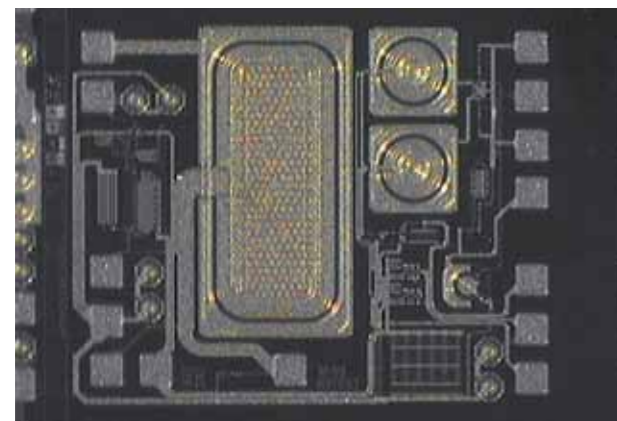


Abb. 1: Beispiel eines elektronischen Mikrosystems

- integrierte und diskrete Mikroelektronik zur Sensorsignalauswertung und Aktoransteuerung
- Modellierung und Simulation elektronischer Bauelemente, beispielsweise von Sub-50nm-Transistoren, und deren Wirkprinzipien

- Elektrische Messtechnik, Entwicklung von Teststrukturen und Parameterextraktion auf Waferlevel
- Analyse des Matching-Verhaltens von Nano-CMOS-Transistoren
- Integrierte Schaltungsentwicklung der Mikroelektronik auf den Gebieten Low Noise, geringen Leistungen und hohen Spannungen
- Entwicklung, Analyse und Charakterisierung von elektronischen Nanobauelementen der nächsten Generation

## Forschungsschwerpunkte der Professur Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik:

- Entwicklung neuer Schaltungskonzepte für nanoelektromechanische Systeme
- Evaluierung der In-Die-Parametervariation, Charakterisierung von Halbleiterstrukturen in Nanotechnologie und Konzeption angepasster Messstrategien
- Charakterisierung von Hochvolt-Trenchisolationen
- Strategieentwicklung zur Reduzierung statistischer Parameterstreuungen sehr kleiner MOS-Transistoren



Abb. 2: SEM-Aufnahme der Gateelektrode eines Sub-50nm-MOS-Transistors

- Charakterisierung und Simulation von Sub-50nm-MOS-Transistoren
- Analyse der physikalischen Eigenschaften von Bauelementen der Mikro- und Nanotechnik
- Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von Nanobauelementen der nächsten Generation
- Entwicklung neuer Materialien im CMOS-Prozess für Nanobauelemente der nächsten Generation

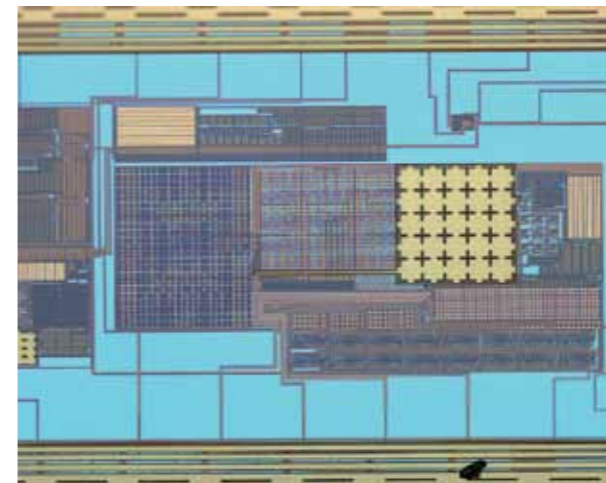


Abb. 3: Layout eines Bauelementes der Mikroelektronik

Die Hauptaufgaben der Arbeitsgruppe „Mikroelektronik“ der Professur liegen auf den Gebieten der Entwicklung elektronischer Mikrosysteme und elektronischer Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik und im Bereich der Lösung kundenspezifischer Problemstellungen.

## Die aktuellen Forschungsprojekte sind:

- Das Projekt „Smart Power Anwendungen Realisiert durch Trench Isolations-Prozesse“ (SPAR-TIP) beinhaltet den Entwurf integrierter Hochvoltelektronik und die Charakterisierung von Hochvolt-Isolationsstrukturen zur Optimierung der Fertigungstechnologie.
- Auf dem Gebiet der Nanosystemintegration werden Forschungen hinsichtlich Anwendungen von Nanotechnologien für energie-effiziente Sensorsysteme betrieben. Hierbei laufen Untersuchungen zur Weak-Inversion-Schaltungstechnik.

- Entwurf von „Intellectual Properties“ für MEMS-Technologien mit monolithisch integrierten Drucksensoren in einer 1µm-CMOS-Technologie.
- Entwicklung moderner elektrischer Antriebssysteme, wie Elektromotoren mit hohem Wirkungsgrad und Smart-Power-Ansteuerkonzepten.
- Konzeption angepasster Messstrategien und die Charakterisierung der In-Die-Parametervariation von Halbleiterstrukturen in Nanotechnologie.
- Elektrischer und physikalischer Entwurf analoger und mixed-signal Grundsaltungen.
- Erstellung von Simulationsmodellen für SOI-Bauelemente, wie beispielsweise DMOS-Hochvolt-Transistoren.
- Untersuchungen und Modellierung von Isolationsstrukturen für High-Voltage-ICs.

## Nachfolgend ein Beispiel für die Ergebnisse der Forschungsarbeiten:

Für die Trenchisolation eines High-Voltage-SOI-Prozesses wurden im Herstellungsverfahren verschiedene Modifikationen untersucht. Die Charakterisierung der Isolationsstrukturen erfolgte durch die Aufnahme so genannter Strom-Spannungs-Kennlinien. Die Arbeiten ermöglichten eine erhebliche Steigerung der Durchbruchspannung der Strukturen gegenüber herkömmlichen Trenchisolationen. In Verbindung mit den Messungen wurde ein Herstellungsverfahren entwickelt mit dem es möglich ist Single-Trenches zu fertigen, welche eine Durchbruchspannung von bis zu 650 V aufweisen. Die neuen Trenches werden als SITRIS-Module im XD10-Prozess der X-FAB-Semiconductor Foundries AG angeboten.

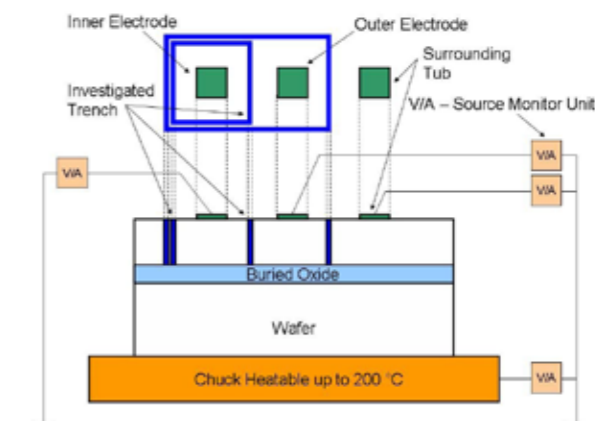


Abb. 4: Messaufbau der Charakterisierung der Trenchisolation

# Professur für Mess- und Sensortechnik



**Kontakt: Prof. Dr. Olfa Kanoun**

**Telefon: +49 (0)371 531-36931**

**E-Mail: olfa.kanoun@etit.tu-chemnitz.de**

## Forschungsschwerpunkte:

- Mess- und Sensorsysteme
- Energiespeicherung für mobile und stationäre Anwendungen
- Energieautonome Systeme

Messtechnik und Sensortechnologien gewinnen an Bedeutung in technischen Systemen aufgrund der ständig steigenden Anforderungen an Automatisierung, Qualitätssicherung, Sicherheit und Komfort. Die Forschungsaktivitäten an der Professur für Mess- und Sensortechnik (MST) sind strategisch ausgerichtet auf Messmethoden, Sensortechnologie, Impedanzspektroskopie, Entwurf von Sensorsystemen und modellbasierte Signalverarbeitung.

Die Impedanzspektroskopie ist eine leistungsfähige Messmethode und wird in vielen Anwendungsgebieten verwendet, wie unter anderem in der Elektrochemie und in der Materialforschung. Die Forschungsaktivitäten der Professur MST auf diesem Gebiet umfassen verschiedene methodische Beiträge, die wesentliche Aspekte der Messtechnik einschließen, wie die physikalisch-chemische Modellierung und die Signalverarbeitung. Beispielhaft dafür steht die Diagnose von Li-Ionen-Batterien.

Die Energiespeicherung gewinnt eine stark wachsende Bedeutung aufgrund ihrer Schlüsselposition auf den Gebieten Elektromobilität, Energie und Unterhaltungselektronik. Langzeitstabilität, geeignete Lade- und Entladeeigenschaften sowie Verhaltensvorhersage sind entscheidende Faktoren, die abhängig sind von der Entwicklung neuer Technologien und Managementsysteme. Intelligente Batteriemanagementsysteme können entwickelt werden, indem impedanzbasierten Methoden in Kombination mit geeigneten Modellen (Abb. 1) zum Einsatz kommen.

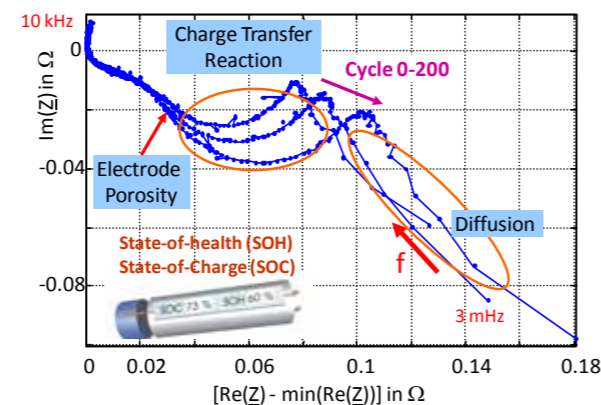


Abb. 1: Diagnose von Li-Ionen-Batterien mittels Impedanzspektroskopie

Die Nutzung von Umgebungenergie für den Betrieb von kleinen elektronischen Geräten erlaubt die Realisierung von autonomen drahtlosen Systemen, die reduzierte Installations- und Betriebskosten aufweisen. Heutzutage kann eine Vielzahl von Energiewandlungsprinzipien und -technologien angepasst werden, um Temperaturdifferenzen, Vibration (Abb. 2) oder elektrostatische Energie in Nutzenergie zu wandeln. Für die Überbrückung von Zeiten geringer Energieverfügbarkeit, sollten Systeme in der Lage sein, Energie zu akkumulieren und die Energieflüsse zwischen den Wandlern, den Speichereinheiten und den Verbrauchern in geeigneter Weise zu steuern. Die begrenzte Effizienz von Energiewandlern, starke Fluktuationen der Energieverfügbarkeit, veränderliche Umgebungsbedingungen und die begrenzte Kapazität der Speichereinheiten stellen besondere Herausforderungen für den Systementwurf dar. Neuartige Lösungen konnten zur Energiegewinnung für spezielle Anwendungsanforderungen entwickelt werden. Anspruchsvolle Konzepte zum Energiemanagement unter Berücksichtigung starker Schwankungen der Energieverfügbarkeit wurden erfolgreich untersucht.

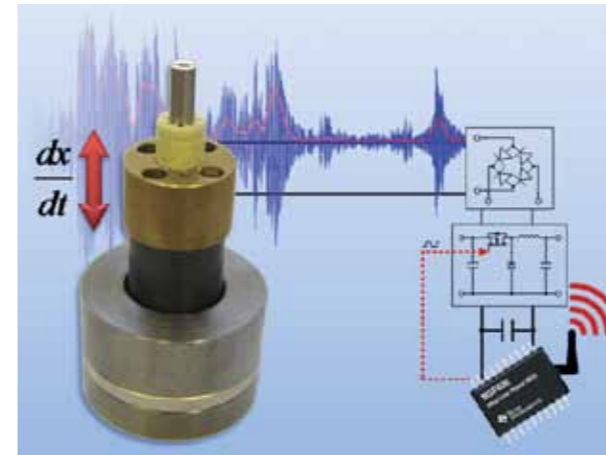


Abb. 2: Elektromagnetischer Vibrationswandler

Der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Mikro- und Nanotechnologie bietet zukunftsreiche Möglichkeiten für neue Sensoren und Sensorprinzipien. Neuartige Sensoren mit hervorragenden Eigenschaften können unter Verwendung von einwandigen und mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) realisiert werden. So konnten CNT-Dünnschichten mit ausgeprägter Homogenität für die Verwendung als Dehnungsmessstreifen (Abb. 3) realisiert werden. Sie sind selbsthaftend und zeigen eine hohe Sensitivität und einen großen Messbereich im Vergleich zu metallischen Dehnungsmessstreifen.

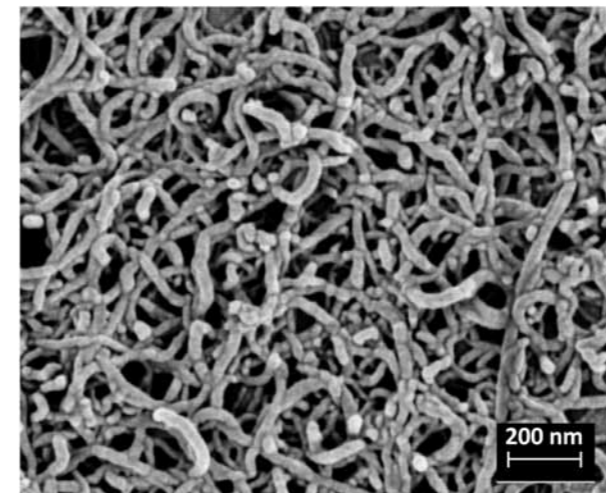


Abb. 3: CNT-Schichten, mit spin-coating hergestellt

## Aktuelle Forschungsprojekte sind gerichtet auf:

- Energiespeicherung für mobile und stationäre Anwendungen

- Batteriediagnose (Ladungszustand, Alterung, Funktionszustand)
- Simulation von Batterien und deren Verhaltensvorhersage
- Materialuntersuchung mit Impedanzspektroskopie
- Fleischqualitätsbewertung mit Impedanzspektroskopie
- Kabeldefekterkennung und -ortung
- Verfügbarkeit und Wandlung von Umgebungenergie
- Experimentelle Charakterisierung von thermoelektrischen Wandlern
- Entwurf energieautonomer Systeme
- Energiegewinnung aus dem elektrischen Umgebungsfeld
- Intelligentes Energiemanagement
- Dehnungsmessstreifen aus CNTs (carbon nanotubes)

## Ausgewählte Veröffentlichungen:

Kanoun, O.; Tröltzsch, U.; Tränkler, H.-R.: **Benefits of Evolutionary Strategy in Modeling of Impedance Spectra**. *Electrochimica Acta* 51 (2006), Elsevier, S. 1453 – 1461.

Tröltzsch, U.; Kanoun, O.; Arnold, M.; Stöckel, C.: **Untersuchungen zur Machbarkeit von Fleischqualitätsbewertung mit Impedanzspektroskopie**. *Sensoren und Messsysteme*, 18. – 19. Mai 2010, Nürnberg.

Kanoun, O.; Wallascheck, J.: **Energy Harvesting**. Expert-Verlag, 2007, ISBN 978-3-8169-2789-1.

Ben Amor, N.; Kanoun, O.: **Availability of Vibration Energy for Supply of Hearing Aids**. Article in press, *Transactions on Systems, Signals & Devices*, Vol. 4, No. 4, 2009.

Dinh, N. T.; Kanoun, O.; Arriba, A.; Blaudeck, T.; Sowade, E.; Belau, R.; Baumann, R. R.: **Performance of Liquid-Deposited Multiwalled Carbon Nanotube Films under Strain**. *Proceedings of Smart Systems Integration 2011*, March 22 – 23, 2011. Dresden, VDE VERLAG GMBH, 2011.

# Professur für Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit

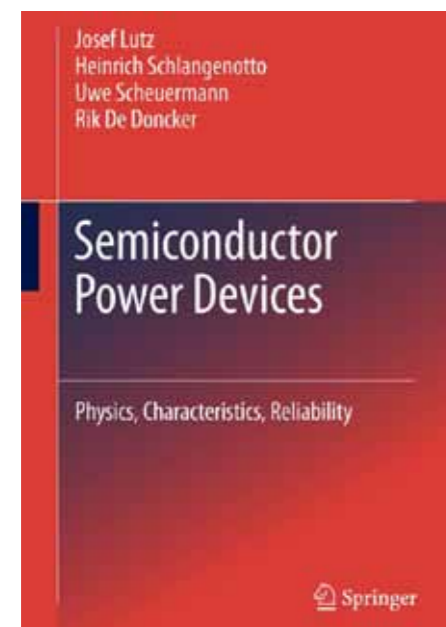


**Contact:** Prof. Dr. Josef Lutz

**Phone:** +49 (0)371 531-33618

**Email:** josef.lutz@etit.tu-chemnitz.de

Die Lehre umfasst Bauelemente der Leistungselektronik, thermomechanische Probleme der Leistungselektronik, leistungselektronische Schaltungstechnik, Energieelektronik und elektromagnetische Verträglichkeit. Die Vorlesung "Semiconductor Power Devices" wird in englischer Sprache gehalten.



Im Bereich der Forschung liegt der Schwerpunkt auf den Halbleiter-Leistungsbaulementen, besonders deren Zuverlässigkeit. Die Hauptforschungsfelder sind:

- Dynamischer Avalanche und Robustheit. Unter hoher Belastung im dynamischen Avalanche treten Stromfilamente auf. Von besonderer Bedeutung sind die Vorgänge am  $nn^+$ -Übergang. Strukturen mit verbesserter Robustheit werden abgeleitet.
- Stoßstromfähigkeit von Leistungsdioden in Si und SiC. Abb. 1 zeigt die neue "Inverse Dependency of Emitter Efficiency"-Diode.

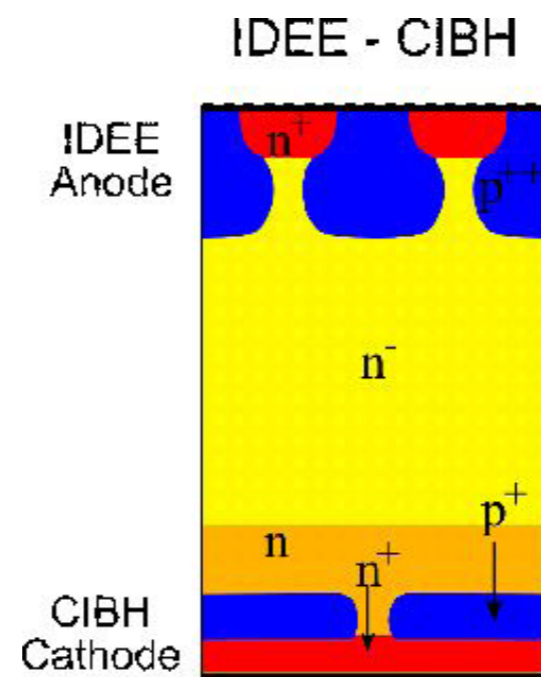


Abb. 1: Inverse Dependency of Emitter Efficiency (IDEE) Diode. Üblicherweise sinkt die Emittiereffizienz bei hoher Stromdichte. Bei der IDEE Diode steigt sie.

- Kurzschlussfestigkeit von Hochspannungs-IGBTs: Bauelemente der Leistungselektronik müssen in der Lage sein, extrem hohen Belastungen im Fehlerfall standzuhalten.
- Langzeitstabilität der Leistungselektronik: Eine Prüfstand, Gleichspannung 2500 V, Temperatur bis 200° C, wurde gebaut und in Betrieb genommen.
- Zuverlässigkeit von Packaging-Technologien: Der Schwerpunkt liegt auf Lastwechselstests. Sieben selbstgebaute Lastwechselplätze laufen. Eine neuer 2000A-Lastwechselplatz befindet sich in Bau.
- Simulation von thermisch-mechanischer Belastung in Bauelementen der Leistungselektronik: Die Analyse zeigt die lokalen mechanischen Spannungen und Dehnungen im Package, die auf der Diskrepanz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien beruhen.
- Fehleranalyse: Elektrische Messungen, Öffnung von Bauelementen, Inspektion, wenn nötig REM-Analyse usw., Fehlerreport einschließlich Evaluierung.



Abb. 2: Getriebe eines Hybridfahrzeugs mit integrierter Leistungselektronik (Bild von ZF AG, Friedrichshafen).

## Wichtige Forschungsprojekte:

Elektrische Komponenten für Aktivgetriebe – Efa: gemeinsames Projekt 2006 – 2011 für erhöhte Energiedichte der elektrischen Komponenten im Antriebsstrang eines Hybridfahrzeugs. Verbundprojekt, gefördert vom BMWi.

Untersuchung des Designs von Leistungsmodulen für hohe thermische Belastungen für Anwendungen in der Automobilindustrie, Luftfahrt- und Raumfahrt – HiT-Modul. Verbundprojekt, vom BMBF gefördert.

Hochleistungskonverter für Offshore-Anwendungen, gemeinsames Projekt mit NTNU Trondheim und SINTEF Norwegen. Lastwechselfestigkeit und Design-Regeln für lange Lebensdauer von Hochleistungskonverter für künftige große Offshore-Windparks.

Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Konvertern-Energiespeichersysteme. Unterprojekt der ESF und SAB geförderte Jugendforscherguppe "Intelligente-Vor-Ort-Energiespeichersysteme".

Robustheit von Hochspannungs IGBTs unter spezieller Betrachtung der Ansteuerbedingungen – Industrieprojekt.

## Ausgewählte Publikationen:

Lutz, J.; Schlangenotto, H.; Scheuermann, U.; De Doncker, R.: **Semiconductor Power Devices**. Physics, Characteristics, Reliability; Springer 2011.

Baburske, R.; Lutz, J.; Schulze, H.-J.; Siemieniec, R.; Felsl, H.-P.: **A new diode structure with inverse injection dependency of emitter efficiency (IDEE)**. Proc. IEEE International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs, Hiroshima, Japan, 2010.

Poller, T.; Lutz, J.: **Comparison of the Mechanical Load in Solder Joints Using SiC and Si Chips**. Proc. International Seminar on Power Semiconductors, 1 – 3 September 2010, Prague: CTU, 2010, S. 217 – 222.

Lutz, J.; Baburske, R.: **Dynamic Avalanche in Bipolar Power Devices**. Proc. International Seminar on Power Semiconductors, 1 – 3 September 2010, Prague: CTU, 2010.

Baburske, R.; Lutz, J.; Heinze, B.: **Effects of Negative Differential Resistance in High Power Devices and some Relations to DMOS Structures**. Proc. International Reliability Physics Symposium, Anaheim, California, IEEE, 2010.

Hensler, A.; Lutz, J.; Thoben, M.; Guth, K.: **First Power Cycling Results of Improved Packaging Technologies for Hybrid Electrical Vehicle Applications**. Proc. 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS) 2010.

# Professur für Werkstoffe und Zuverlässigkeit von mikrotechnischen Systemen



**Kontakt: Prof. Dr. Bernhard Wunderle**

**Telefon: +49 (0)371 531-24450**

**E-Mail: bernhard.wunderle@etit.tu-chemnitz.de**

Der Lehrstuhl "Werkstoffe und Zuverlässigkeit von mikrotechnischen Systemen" ist seit Juli 2009 von Bernhard Wunderle besetzt. Die Arbeitsgruppe besteht zur Zeit aus sechs wissenschaftlichen Mitarbeitern und einem Techniker.

## Lehre:

Der Lehrstuhl führt die werkstoffwissenschaftliche Ausbildung auf den Gebieten Elektrotechnik, Elektronik und Mikro(system)technik durch und fokussiert auf die Zuverlässigkeitsbewertung von Mikro- und Nanosystemen im Haupt- und Masterstudium.

## Forschung:

Die Zuverlässigkeit als wissenschaftliche Disziplin beschäftigt sich mit der Analyse, Bewertung und Vorhersage der Lebensdauer von mikrotechnischen Systemen (z. B. der Aufbau- und Verbindungstechnik in der Mikroelektronik, MEMS, etc.). Die Hauptherausforderungen sind dabei die Handhabung der Komplexität mikrotechnischer Systeme (System-Zuverlässigkeit), die Korrelation der Degradation zur Nanostruktur der Werkstoffe (Nano-Zuverlässigkeit) und die Generierung von Lebensdauermodellen zur Korrelation zwischen Labor- und Feldbelastung (Definition von beschleunigten und kombinierten Tests).

Eine Zuverlässigkeitsprognose steht und fällt mit der Gültigkeit und Genauigkeit des Lebensdauermodells für den jeweiligen Fehlermechanismus. Die Forschung umfaßt daher die Entwicklung von Lebensdauermodellen für mikrotechnische Systeme von der Werkstoff- bis zur Systemebene. Grundlage hierfür ist das physikalische Verständnis von Werkstoffen in Bezug auf ihre Eigenschaften und Fehlermechanismen als Funktion des strukturellen Aufbaus und externer Randbedingungen ('Physics-of-Failure').

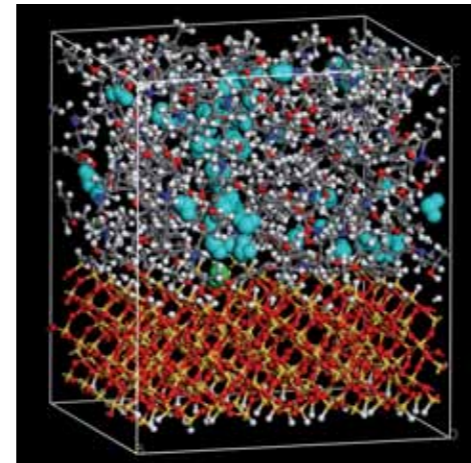


Abb. 1: Molekulardynamiksimulation von vernetztem Epoxidharz mit  $H_2O$ -Molekülen auf  $SiO_2$  zur Analyse verschiedener Struktur-Eigenschafts-Beziehungen. Untersucht werden Feuchtediffusion und Hafteneigenschaften bei unterschiedlichen Temperaturen und Drücken.

Die folgenden drei Kompetenzfelder werden hierzu aufgebaut:

### Werkstoffcharakterisierung:

Die Forschung umfasst die thermische und mechanische Charakterisierung von Werkstoffen und Werkstoffverbunden mikrotechnischer Systeme unter typischen applikationsrelevanten Lastbedingungen wie z.B. Temperatur, Feuchte oder Vibration. Dabei werden insbesondere Grenzflächeneigenschaften betrachtet und z. B. mittels bruchmechanischer Methoden untersucht. Wichtig sind hierbei auch Prozesseinflüsse auf das Material- und Schädigungsverhalten.

### Simulation:

Für die rechnergestützte Lebensdauerprognostik wird in der Regel ein Fehlerparameter berechnet, welcher den zu erwartenden lokalen Schaden als Funktion externer Lastbedingungen definiert. Um Zuverlässigkeitsaussagen über komplexe Systeme treffen zu können, kommen Multiskalen und Feldkopplungs-Ansätze zur Anwendung. Methoden der Molekulardynamik werden zur Struktur-Eigenschafts-Korrelation im Mikro/Nano-Übergangsbereich eingesetzt ('Nano-Reliability'), bzgl. der Bruchmechanik oder im Kontinuum handelt es sich hauptsächlich um Finite-Elemente-Simulationen zur Kopplung thermischer, mechanischer und fluidischer Felder.

### Experimentelle Analytik:

Simulationsergebnisse müssen auf jeder Komplexitätsebene verifiziert werden. Dazu kommen auf Werkstoffebene moderne struktur- und mikrodeformationsanalytische Verfahren zum Einsatz, um Degradation, Risse oder Eigenspannungen auch in kleinsten Bereichen nachweisen zu können (z. B. microDAC im Verbund mit REM, AFM oder FIB). Auf Prüfkörperebene wird u.a. an verschiedenen Methoden zur Bestimmung von Rissparametern geforscht. Dabei werden die Proben verschiedenen bzw. kombinierten thermo-mechanischen Belastungen ausgesetzt.

Prof. Wunderle ist ein Mitglied des European Centre for Micro and Nanoreliability (EUCEMAN) und beteiligt sich zusammen mit dem Fraunhofer ENAS und Industriepartnern am Aufbau eines KeyLab for Microreliability in Chemnitz. Es besteht überdies eine enge Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IZM in Berlin.

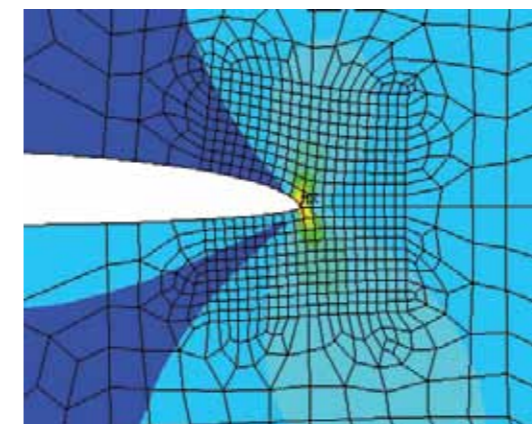


Abb. 2: Finite-Elemente-Simulation eines asymmetrischen Risswachstums im Mixed-Mode am Interface zwischen  $SiO_2$ -gefülltem Epoxidharz und einer Kupferoberfläche zu untersuchen.

### Ausgewählte Projekte:

- EU-IP eBRAINS: Ambient intelligent nano-sensor systems: 3D-SiP architectures in Silicon.
- DFG Research-Group Sensoric Micro- und Nanosystems: Design of sensors based on nano-structures.
- VW Foundation: Integration and Reliability of CNTs into sensor structures.
- EU-IP Smartpower: Smart integration of GaN & SiC high power electronics.

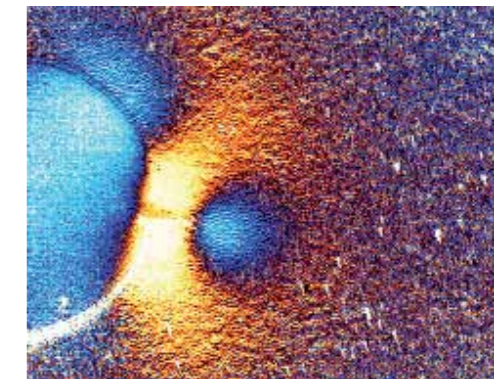


Abb. 3: IR-Phasen-Bild eines mK-Temperaturfeldes, erzeugt während unterkritischer zyklischer Belastung eines Risses in PMMA. Ermöglicht beispielsweise die genaue Bestimmung der Risspitzen-Position.

### Ausgewählte Veröffentlichungen:

Wunderle, B.; Michel, B.: **Lifetime Modeling for Microsystems Integration – from Nano to Systems**. J. of Microsystem Technologies, Vol. 15, No. 6, pp. 799 – 813, 2009.

Wunderle, B.; Dermitzaki, E.; Hölck, O.; Bauer, J.; Walter, H.; Shaik, Q.; Rätzke, K.; Faupel, F.; Michel, B.; Reichl, H.: **Molecular Dynamics Approach to Structure-Property Correlation in Epoxy Resins for Thermo-Mechanical Lifetime Modeling**. J. Microelectronics Reliability, Vol. 50, pp. 900 – 909, 2010.

Brunschwiler, T.; Paredes, S.; Drechsler, U.; Michel, B.; Wunderle, B.; Reichl, H.: **Angle-of-attack investigation of pin fin arrays in non-uniform heat-removal cavities for Interlayer cooled chip stacks**. Proc. Semitherm Conf., San Jose, USA, March 20 – 24, 2011.

Hölck, O.; Bauer, J.; Wittler, O.; Lang, K. D.; Michel, B.; Wunderle, B.: **Experimental Contact Angle Determination and Characterisation of Interfacial Energies by Molecular Modeling of Chip to Epoxy Interfaces**. Proc. 61st ECTC Conf. Orlando, FL, USA, May 30 – June 3, 2011.

# Honorarprofessur für Technologien der Nanoelektronik



**Kontakt:** Prof. Dr. Stefan E. Schulz

**Telefon:** +49 (0)371 45001-232

**E-Mail:** stefan.schulz@enas.fraunhofer.de

Die Mikro- und Nanoelektronik hat in ihren fortgeschrittensten Technologien minimale Strukturbreiten von unter 30 nm sowohl im Transistorbereich als auch in der Metallisierung erreicht. Dabei ist ihre Entwicklung nicht nur durch die fortschreitende Miniaturisierung der CMOS-Technologie (More Moore) gekennzeichnet, welche absehbar an wissenschaftlich-technische und ökonomische Grenzen stößt, die nicht einfach durch eine Weiterentwicklung bekannter Technologien umgangen werden können. Immer mehr tritt die Notwendigkeit der Einführung nanoskaliger Materialien und funktionaler Schichten in den Vordergrund, um die physikalischen und technologischen Herausforderungen meistern zu können. Parallel dazu werden zudem radikale Technologiewechsel (Beyond CMOS) erforderlich werden.

Die Forschergruppe der Professur adressiert für die zeitnahe Bewältigung gegenwärtiger, miniaturisierungsgetriebener Technologieherausforderungen Gebiete der Prozess- und Materialentwicklung einschließlich Modellierung und Simulation. Zukunftsorientierte Arbeiten beinhalten vor allem neue Technologieansätze und alternative Materialien. Dabei existiert eine enge Kooperation mit dem Zentrum für Mikrotechnologien und dem Fraunhofer ENAS.

**Hauptarbeitsgebiete:**

**Prozess- und Materialentwicklung für fortschrittliche on-chip Leitbahnsysteme:** Die Miniaturisierung resultiert in schnelleren Arbeitsgeschwindigkeiten im Transistorbereich, führt durch kleinere Strukturen und erhöhte Komplexität zu-

gleich aber zu ansteigenden Signalverzögerungen (RC-Produkt) im Leitbahnsystem. Die Reduzierung des RC-Produktes und der damit verbundenen parasitären Effekte stehen im Mittelpunkt der Forschung. Untersucht wird z.B. der Einsatz von Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante (low-k- und ultra-low-k-Dielektrika). Aufgrund deren spezifischer Eigenschaften, wie geringe mechanische Festigkeit und inhärente Porosität, ist die Integration in die Gesamttechnologie von besonderer Bedeutung. Spezifische Themen sind diesbezüglich schädigungsarme Strukturierungs- und Reinigungsverfahren sowie die Entwicklung von Repair-Prozessen. Darüber hinaus wird als alternativer Technologieansatz auf diesem Gebiet die Air-Gap-Technologie verfolgt.

**Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) für Leitbahnanwendungen** als neuer Technologieansatz für den Ersatz von Kupfer in Vias. Schwerpunkte sind die Abscheidung hoch-qualitativer CNTs mittels Niedrigtemperatur-CVD mit verschiedenen Katalysatormaterialien, die strukturelle und elektrische Charakterisierung der CNTs sowie die Integration des Prozesses in die Gesamttechnologie eines Leitbahnsystems.

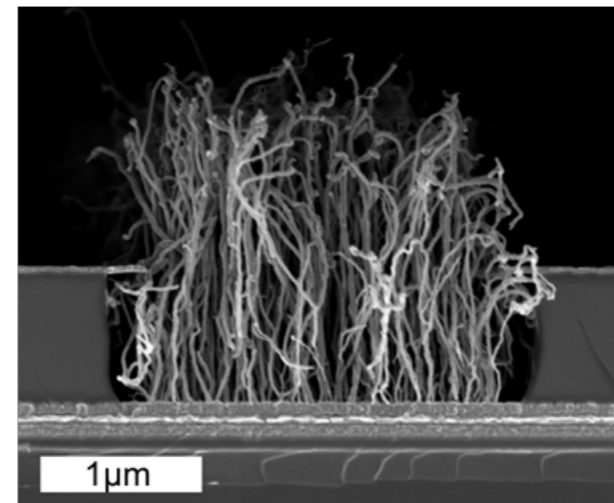


Abb. 1: Selektives CNT-Wachstum in einer Via-Struktur

**Entwicklung von Dünnschichten mit hohen Spannungen (Stressoren)** für die Erhöhung der Ladungsträgerbeweglichkeit in MOS-Transistoren einschließlich der Modellierung und Simulation von Spannungsfeldern in MOS-Transistorstrukturen sowie deren Einfluss auf die Transistoreigenschaften.

**Konzepte und Metallisierungsprozesse für die Integration von Elektronik- und Mikro-/Nano-System-Komponenten** so z.B. Entwicklung von dreidimensionalen Integrationskonzepten (3D-Integration) mittels Through Silicon Vias

(TSV) unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der Mikro-/Nanosystem-Komponenten. TSV-Metallisierung mit Kupfer-CVD und ECD für gute Kantenbedeckung und defektfreie Füllung auch von TSVs mit hohen Aspektverhältnissen ( $AR \geq 4$ )

**Atomlagenabscheidung von Metall- und Metalloxid-Schichten** insbesondere Prozessentwicklung basierend auf metallorganischen Precursoren, Evaluierung neuer Precursoren und Integration der Prozesse und Materialien in den Technologiestrom für die Fertigung von Leitbahnsystemen bzw. Sensoranwendungen (z.B. GMR-Sensoren oder Funktionalisierung von CNTs).

**Materialien und Metallisierungen für NEMS:** Synergien mit der Mikro- und Nanosystemtechnologie ergeben sich durch Materialien, welche auch für Sensorfunktionen anwendbar sind. Beispiele sind CNTs mit ausgewählten Eigenschaften und exakter Positionierung mittels Dielektrophorese sowie Dünnschichtabscheidungen und Strukturierungsprozesse für die Herstellung von Bauelementen (ALD-Schichten, Metallisierungsprozesse, Trockenätzen von Multilagenschichten für spintronische Anwendungen).

**Simulation und Modellierung von Bauelementen, Prozessen und Equipment:** Die Entwicklung neuer Materialien und Technologien erfordert neue oder optimierte Prozesse und Anlagen. Hochentwickelte Modelle und Simulationstools unterstützen die Entwicklung von verbesserten Prozessbedingungen, Anlagenkonfigurationen und Schichteigenschaften. Von besonderer Bedeutung ist die Entwicklung quantenmechanischer Simulationsmodelle zur Beschreibung nanoskaliger Bauelemente und deren Einbindung in auf Kontinuumsbeschreibungen basierender Devicesimulatoren; z.B. Simulation der Transporteigenschaften in CNTs und Übergang zu Metallkontakten.

**Ausgewählte Publikationen 2010:**

Ahner, N.; Zimmermann, S.; Schaller, M.; Schulz, S.E.: **Optimized wetting behavior of water-based cleaning solutions for plasma etch residue removal by application of surfactants.** 10th International Symposium on Ultra Clean Processing of Semiconductor Surfaces, Ostende (Belgium), 2010 Sep 20 - 22; Proceedings, pp. 48 - 49.

Fischer, T.; Ahner, N.; Zimmermann, S.; Schaller, M.; Schulz, S.E.: **Influence of thermal cycles on the silylation process for recovering k-value and chemical structure of plasma damaged ultra-low-k materials (Talk).** Advanced Metallization Conference, Albany, NY (USA), Oct 5 - 7, 2010.

Zimmermann, S.; Ahner, N.; Blaschta, F.; Schaller, M.; Zimmermann, H.; Ruelke, H.; Lang, N.; Roepcke, J.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Etch processes for dense and porous Si-**

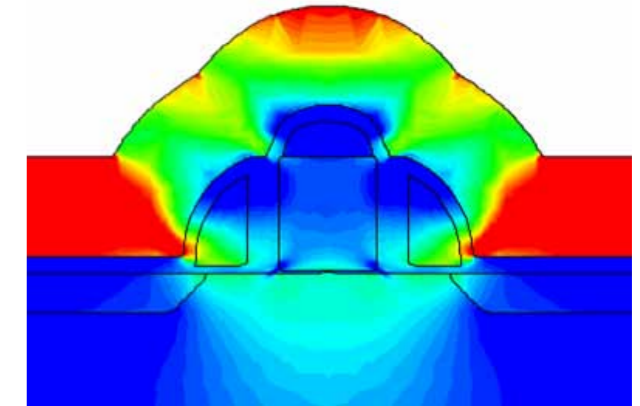


Abb. 2: Stress  $\sigma_{xx}$ , nFET, tensile 2 GPa

**COH materials: plasma states and process results.** 3rd International Workshop Plasma Etch and Strip in Microelectronics, PESM 2010, Grenoble (France), 4 - 5 March, 2010.

Schulze, K.; Jaschinsky, P.; Erben, J.; Gutsch, M.; Blaschta, F.; Freitag, M.; Schulz, S.E.; Steidel, K.; Hohle, J.; Gessner, T.; Kuecher, P.: **Variable-Shaped E-Beam lithography enabling process development for future copper Damascene technology (Poster).** 36th International Conference on Micro- and Nanoengineering (MNE), Genoa (Italy), Sept 19 - 22, 2010.

Hermann, S.; Fiedler, H.; Waechtler, T.; Falke, M.; Ecke, R.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Approaches for Fabrication of Carbon Nanotube Vias.** Nanoelectronic Days 2010, Aachen (Germany), Oct 4 - 7, 2010; Poster presentation.

Hofmann, L.; Ecke, R.; Schulz, S.E.; Gessner, T.: **Pulse Reverse Electroplating for TSV Filling in 3D Integration.** Smart Systems Integration, Como (Italy), Mar 23 - 24, 2010; Proceedings (ISBN 978-3-8007-3081-0).

Waechtler, T.; Ding, S.-F.; Hofmann, L.; Mothes, R.; Xie, Oswald; Detavernier, C.; Schulz, S.E.; Qu, X.-P.; Lang, H.; Gessner, T.: **ALD-grown seed layers for electrochemical copper deposition integrated with different diffusion barrier systems.** Materials for Advanced Metallization (MAM), Mechelen (Belgium), Mar 7 - 10, 2010.

Wolf, H.; Streiter, R.; Friedemann, M.; Belsky, P.; Bakaeva, O.; Letz, T.; Gessner, T.: **Simulation of TaNx deposition by Reactive PVD.** Microelectronic Eng., 87 (2010) pp. 1907 - 1913 (ISSN 0167-9317).

Zienert, A.; Schuster, J.; Streiter, R.; Gessner, T.: **Transport in carbon nanotubes: Contact models and size effects.** IWEPNM, Kirchberg (Austria), Mar 6 - 13, 2010; phys. stat. sol. (b), 247 (2010) pp. 3002 - 3005.

# Honorarprofessur für Opto-Elektronische Systeme



**Kontakt: Prof. Dr. Thomas Otto**

**Telefon: +49 (0)371 45001-231**

**E-Mail: thomas.otto@enas.fraunhofer.de**

## Technologiefelder:

- Entwicklung von mikro-optischen elektro-mechanischen Systemen (MOEMS)
- Entwicklung von polymerbasierten (funktionelle Polymere, Nanokomposite) Technologien und Komponenten für Sensoren und Aktoren
- Entwicklung polymerbasierter microfluidischer Systeme für unterschiedliche Lab-on-Chip-Systeme

## Komponenten- und Systemprototypenservice:

Die Entwicklung und Validierung von Infrarot-MEMS-Spektrometer ist eine exemplarische Anwendung für die Aktivitäten im Bereich der Mikrooptik. Ein solches miniaturisiertes Spektrometer wurde gemeinsam mit der TQ Systems GmbH Chemnitz entwickelt. Diese Systeme können für unterschiedliche Wellenlängenbereiche konfiguriert werden und somit in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz kommen. Zu den Anwendungsmöglichkeiten zählen unter anderem Nahrungsmittelstudien, Umweltüberwachung, Medizindiagnostik, Metrologie oder die physikalisch-forensische Analyse.

Nanokompositmaterialien bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber den klassischen anorganischen Materialien, wie eine einfache Verarbeitung und nahezu unbegrenzte Designmöglichkeiten für die Komponenten. Zusätzlich kann durch die typischen Nanoeffekte (zum Beispiel Quantenhaftung) die Systemperformance beträchtlich erhöht oder gänzlich neue Funktionalitäten erzielt werden. Zu den großen Herausforderungen zählt es, Nanopartikel, Nanostäbchen und Nanoringe mit der Mikro- und Makrowelt zu verbinden. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, wie zum Beispiel die Nutzung speziell konditionierter Komposite (Schnittstellen, Ausrichtung der Einschlüsse) oder selbstorganisierende Technologien.

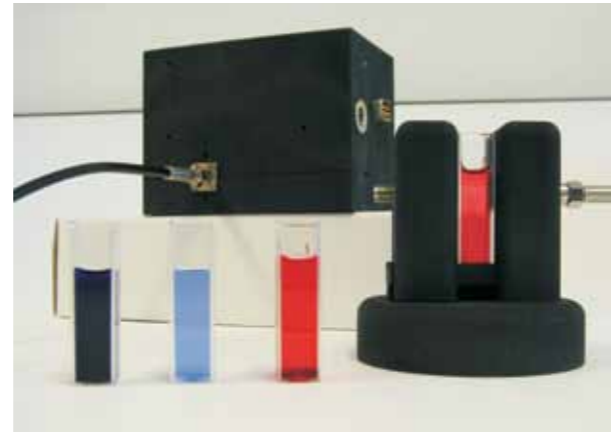


Abb. 1: NIR/MIR-MEMS-Spektrometer

In aktuellen Projekten werden Feuchtesensoren und magnetische Positionssensoren mittels Nanokompositen entwickelt. Erste Ergebnisse sind vielversprechend und eröffnen durch den Vorteil der Komposite, die separate Konditionierbarkeit anorganischer (Nano-)Einschlüsse und der organischen Matrix, die Möglichkeit, kosteneffiziente sensitive Sensoren mit gleichzeitig hoher Verlässlichkeit und hoher Lebensdauer zu entwickeln.

Für alle Mikrosysteme wird die passende Elektronik für die Datenverarbeitung und -kontrolle bereitgestellt. Dabei sind die Hauptmerkmale der Elektronik unter anderem die Lärmreduzierung sowie die Energieeffizienz.

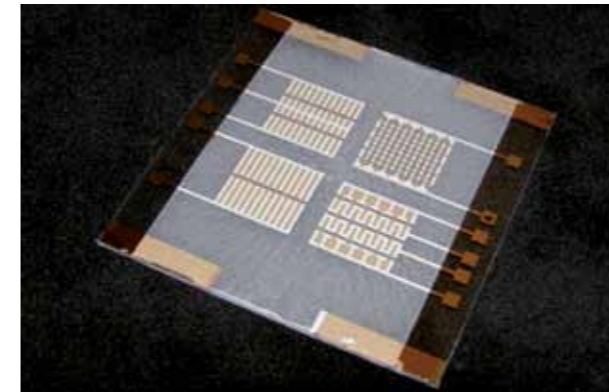


Abb. 2: Feuchtesensor basierend auf Nanokompositen

## Ausgewählte Veröffentlichungen:

Martin, J.; Schwittlinsky, M.; Piasta, D.; Streit, P.; Billep, D.; Otto, T.; Gessner, T.: Thermoelectric generators based on polymers and nanocomposites. Smart System Integration, Como (Italy), Mar 23 – 24, 2010; Proceedings (CD-ROM), Paper 80, VDE Verlag GmbH 2010. ISBN 978-3-8007-3208-1.

Nestler, J.; Morschhauser, A.; Hiller, K.; Otto, T.; Bigot, S.; Auerswald, J.; Knapp, H.F.; Gavillet, J.; Gessner, T.: **Polymer Lab-on-Chip systems with integrated electrochemical pumps suitable for large scale fabrication.** Int. J. Adv. Manuf. Technol., 47, 1 (2010) pp. 137 – 145 (ISSN 0268-3768).

Otto, T.; Saupe, R.; Weiss, A.; Stock, V.; Throl, O.; Graehlert, W.; Kaskel, S.; Schreck, H.; Gessner, T.: **MEMS Analyzer for fast determination of mixed gases.** MEMS/MOEMS Conference, San Jose, Proceedings of SPIE (2009).

# Abteilung Lithografie/Ätzen/Masken



**Kontakt: Dr. Andreas Bertz**

**Telefon: +49 (0) 371 531-33129**

**E-Mail: andreas.bertz@zfm.tu-chemnitz.de**

Die Abteilung Lithografie/Ätzen/Maske repräsentiert die technologische Basis für alle Strukturierungsprozesse im Zentrum für Mikrotechnologien und ihre Partner. In einem Reinraum der Klasse 4 (ISO 14644-1) ist eine komplette Prozesslinie für Maskenfertigung und Lithografie verfügbar:

- Verschiedene Nass- und Trockenätzprozesse
- 4-Zoll- und 6-Zoll-Wafer können prozessiert werden
- 5-Zoll- und 7-Zoll-Maskenherstellung
- Partiiell sind Prozesstools für 8-Zoll-Wafer verfügbar

Optische Lithografie basiert auf Justage der Masken (bis 8-Zoll-Wafer) und einem i-line Waferstepper (bis 6-Zoll-Wafer).

Zusätzlich zu konventioneller Lithografie besitzt die Abteilung Erfahrungen mit Zweiseitenbelichtung, Spraycoating auf 3-D-Oberflächen und der Verwendung spezieller Resists wie SU8. Darüber hinaus können Kavitäten individuell gefüllt werden durch spezielle Sprayroboter.

Hinsichtlich Nanostrukturierung bestehen seit 20 Jahren Erfahrungen mit Elektronenstrahlolithografie. In Kombination mit rund zehn Trockenätz-Tools sind in verschiedene Materialien Strukturen kleiner 0,25 µm geätzt worden. Unter Nutzung von Resist-Pattern die durch Partner hergestellt wurden und spezieller Hartmasken, sind Strukturbreiten kleiner 100nm übertragen worden.

Neben diesen Technologien werden Dienstleistungen für interne und externe Partner angeboten. So führt die Abteilung F&E-Projekte mit dem Fokus auf Trockenätzprozesse und High-Aspect-Ratio-MEMS (HAR-MEMS) durch. Diese adressieren Anwendungen im Bereich der Mikrosystem-technologie, der Mikroelektronik, Spintronik und Photovoltaik. Das Ätzen neuer Materialien und die Oberflächenmodifizierung werden untersucht. Basierend auf der entwickelten und patentierten AIM-Technologie (Air-gap Insulation of Microstructures) ist eine Sensor- und Aktuatorfertigungsplattform verfügbar. Mit dieser Technologie können hoch genaue Low-g- und Vibrationssensoren für die Systemintegration angeboten werden. Dafür werden zusätzliche Anstrengungen in die Bauteil-Charakterisierung auf Waferebenen und die Erhöhung der Ausbeute investiert. Ein weiteres Beispiel erfolgreicher Technologieforschung ist die Entwicklung einer neuen Dünnschicht-Verkapselungsmethode, um die Package-Größe und Kosten der Bauteile zu reduzieren.



Abb. 1: Prüfung von Wafern im Lithografie-Reinraum

# Abteilung Schichtabscheidung



**Kontakt: Dr. Christian Kaufmann**

**Telefon: +49 (0) 371 531-35096**

**E-Mail: christian.kaufmann@zfm.tu-chemnitz.de**

Die Abteilung "Schichtabscheidung" besitzt ausgeprägte Kompetenzen im Bereich der Entwicklung und Herstellung von leitfähigen und isolierenden Schichten und Schichtstapeln für die Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik. Dafür verfügt die Abteilung über verschiedene Anlagentechnik. Die Abteilung bietet Unterstützung für Prozessmodule für Forschung und Entwicklung sowie Prototypenfertigung. Die Prozessmodule schließen ein:

Physikalische Dampfphasenabscheidung (Sputtern, Elektronenstrahlverdampfen):

- Vertikales Sputtersystem MRC 643 (Ti, TiN, Ta, TaN, Cu)
- Vertikales Sputtersystem MRC 643 (Al, Al-Alloys, Cr, TiW, W)
- F&E-Sputtersystem FHR MS 150 x 4 (Ag, Al, Au, Co, Cr, MoNi, MoFe, Ti, TiN)
- F&E-Sputtersystem FHR MS 150 x 4-AE-B (Al, Al-Alloys, Hf, Pyrex)
- F&E-Elektronenstrahlverdampfen (Al, Cu, Pd, Pt ...)

Chemische Dampfphasenabscheidung (MO-CVD, PE-CVD, LP-CVD):

- MO-CVD- F&E-System Varian Gartek (Cu, TiN)
- PE-CVD-System Precision 5000 Mark II Applied Materials (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SixOyNz, SiCOH, SiCH)
- PE-CVD-System Plasmalab Plasma Technology (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)
- PE-CVD-System Microsys 400 Roth & Rau (Diamond-like Carbon)
- LP-CVD-System LP-Thermtech (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Polysilizium)

Hochtemperaturprozesse (Diffusion / thermische Oxidation / Tempern / RTP):

Für die Charakterisierung der abgeschiedenen Schichten und Schichtstapel werden verschiedene Messmethoden und -systeme genutzt, unter anderem:

- KLA Tencor Oberflächenprofilometer Alpha step 500
- Messung mechanischer Spannungen dünner Schichten TENCOR FLX 2900
- Weißlichtinterferometer Nanometrics NanoSpec / AFC
- Ellipsometer: Gaertner L11B (632.8 nm)
- Ellipsometer: Sentech instruments GmbH SE 850 (190 nm – 2550 nm).



Abb. 1: Anlagen zur Beschichtung von Wafern mittels Elektronenstrahlbedampfung

# Ausstattung und Serviceleistungen



Abb. 1: Blick in den neuen Reinraum mit Ausrüstung für die Abscheidung von Fotoresist

Zum ZfM gehören insgesamt 1000 m<sup>2</sup> Reinraum inklusive 300 m<sup>2</sup> der Reinraumklasse ISO 4. Moderne Ausstattung für die Prozessierung von 4-Zoll-, 6-Zoll- und 8-Zoll-Wafern sowie Design- und Testlabors bilden die Basis für folgende Prozesse:

## Design

- MEMS/NEMS,
- IC, ASICs und FPGAs
- Low power und low noise, analog-mixed signal ICs
- Integrierte Schaltkreise für hohe Spannungen
- Design support
- Optimierung basierend auf neuen Ansätzen, Methoden und speziellen Design-Tools
- Design für Zuverlässigkeit

## Modellierung und Simulation

- Anlagen und Prozesse für die Mikro- und Nanoelektronik
- Physicalische Domänen und ihre Wechselwirkungen
- Thermische Simulation
- Elektronische Bauelemente
- Defekte und ihre Einflüsse

## Maskenherstellung

- 3" ... 7" Masken
- Elektronenstrahl-Lithografie
- Nah- und doppelseitige Kontaktierungslithografie



Abb. 2: P5000 für die Abscheidung von Kupfer

## Prozesse

- Hochtemperatur-Prozesse: Diffusion / thermische Oxidation / Temperung / RTP
- Physikalische Dampfphasenabscheidung PVD
- Sputtern
- Elektronenstrahlbedampfung
- Chemische Dampfphasenabscheidung CVD
- Plasma-unterstützte CVD (PE-CVD)
- Niedrigdruck-CVD (LP-CVD)
- Metall-organische CVD (MOCVD)
- Galvanik: Cu, Ni, Au
- Ätzen (trocken: Plasma- und RIE-mode & nass: isotrop / anisotrop)
- Trockenätzen (Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Polysilizium, Silziede, Al, refr. Metalle, TiN, Cr, DLC, low-k-Dielektrika)
- Nassätzen (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si, Polysilizium, Al, Cr, Au, Pt, Cu, Ti, W)
- Wafer-Lithografie / Elektronenstrahl-Lithografie
- Chemisch-mechanisches Polieren CMP (Kupfer, Silizium, SiO<sub>2</sub>)

## Charakterisierung und Test

- MEMS/NEMS
- Nanoelektronische Bauelemente
- Parametrisches Testen: Waferprober, HP Testsystem
- Charakterisierung von analog-mixed signal ICs bis 500 MHz
- Charakterisierung und Modellierung von Bauelementen für low-voltage und high-voltage Mikrotechnologien

## Analytik

- Rasterelektronenmikroskop REM / EDX
- Atomkraftmikroskop AFM
- Winkelvariierende spektroskopische Ellipsometrie
- Laser-Profilometrie (UBM, TENCOR FLX-2900)
- Oberflächen-Profilometer
- Ultraschall-Mikroskop
- Zug-Druckprüfmaschine Zwick 4660 universal
- Perkin-Elmer DMA 7e dynamisch-mechanischer Analyser
- Mikromechanische Tests
- Lebensdauer-Tests



Abb. 3: Optische Prüfung eines Wafers am Mikroskop



# Lehre 2010

## Professur für Mikrotechnologie

Process and Equipment Simulation  
Dozent: Prof. Dr. T. Gessner, Dr. R. Streiter

Advanced Integrated Circuit Technology  
Dozent: Prof. Dr. S. E. Schulz, Dr. R. Streiter

Microelectronics Technology  
Dozent: Prof. Dr. T. Gessner, Prof. Dr. S. E. Schulz,

Micro Technology  
Dozent: Prof. Dr. T. Gessner, Dr. K. Hiller, Dr. A. Bertz

Microoptical systems  
Dozent: Prof. Dr. T. Otto

Technology of Micro and Nanosystems  
Dozent: Prof. Dr. T. Gessner, Dr. K. Hiller

Micro and Nano Technology  
Dozent: Prof. Dr. T. Gessner, Dr. K. Hiller

Lectures of International Research Training Group  
Dozent: Prof. Dr. S. E. Schulz

## Professur für Mikrosystem- und Gerätetechnik

Mikro- und Feingerätetechnik  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Gerätekonstruktion  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Mikro- und Nanosysteme  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

CAD  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Mikromechanische Komponenten  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Microsystems Design  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Mikrosystementwurf  
Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Mess- und Prüftechnik in MST  
Dozent: Dr. J. Markert, Dr. S. Kurth

Prüftechnik/MST  
Dozent: Dr. J. Markert, Dr. S. Kurth

Gerätetechnik  
Dozent: Dozent: Prof. Dr. J. Mehner

Klein- und Mikroantriebe  
Dozent: Dr. R. Kienscherf

Gerätetechnische Antriebe  
Dozent: Dr. R. Kienscherf

Angewandte Optik  
Dozent: Dr. H. Specht

Grundlagen der Medizin  
Dozent: Dr. A. Müller

Spezielle Aspekte der Medizintechnik  
Dozent: Dr. A. Müller

## Professur für Schaltkreis- und Systementwurf

Integrated Circuit Design 1+2  
Dozent: Prof. Dr. U. Heinkel, Prof. Dr. G. Herrmann,  
Dr.-Ing. E. Markert

System Design  
Dozent: Prof. Dr. U. Heinkel

EDA-Tools  
Dozent: Prof. Dr. U. Heinkel

Rapid Prototyping  
Dozent: Prof. Dr. U. Heinkel

ASIC Design  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann

Components and Architectures  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann

Microprocessor Systems  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann

Design of heterogeneous Systems  
Dozent: Dr.-Ing. E. Markert

Design for Testability für Circuits and Systems  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann, Dipl.-Ing. J. Schmid,  
Dr.-Ing. E. Markert

Micro Production Technologies (BTU Cottbus)  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann

Micro Systems (BTU Cottbus)  
Dozent: Prof. Dr. G. Herrmann

## Professur für Elektronische Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik

Elektronische Bauelemente und Schaltungen  
Dozent: Prof. Dr.-Ing. J. Horstmann

Elektronische Bauelemente  
Dozent: Prof. Dr.-Ing. J. Horstmann

Integrierte analoge Schaltungstechnik  
Dozent: Dr.-Ing. S. Heinz

Physikalischer und elektrischer Entwurf  
Dozent: Dr.-Ing. S. Heinz

Mikroelektronik  
Dozent: Dr.-Ing. S. Heinz

Bauelemente der Mikro- und Nanotechnik  
Dozent: Prof. Dr.-Ing. J. Horstmann

Micro- and Nano Devices  
Dozent: Prof. Dr.-Ing. J. Horstmann

Integrierte Schaltungstechnik – Transistor Level  
Dozent: Dr.-Ing. S. Heinz

Lithografie für Nanosysteme  
Dozent: Prof. Dr.-Ing. J. Horstmann

Integrierte Schaltungstechnik  
Dozent: Dr.-Ing. S. Heinz

## Professur für Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit

Power Electronics  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz

Semiconductor Power Devices  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz

Semiconductor Power Devices (English)  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz

Design and Calculation of Power Electronic Systems  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz

Industrial Electronics  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz

Energy Electronics  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz, Dr. S. Koenig

Simulation of Electroenergetic Systems  
Dozent: Prof. Dr. J. Lutz, Dr. S. Koenig

## Professur für Mess- und Sensortechnik

Electric Measurement Technology  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun, Prof. Dr. N. Kroemer

Electronic Measurement Technology  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Smart Sensor Systems  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Sensor Signal Processing  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Sensors and Actuators  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Automotive Sensors  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Praxis Seminar Measurement and Sensor Technology  
Dozent: Prof. Dr. O. Kanoun

Fundamentals of Technical Optics  
Dozent: Dr. M. Arnold

Optoelectronic  
Dozent: Dr. M. Arnold

Photonics  
Dozent: Dr. M. Arnold

## Professur für Werkstoffe und Zuverlässigkeit mikro-technischer Systeme

Reliability of Micro and Nanosystems  
Dozent: Prof. Dr. B. Wunderle

Materials of Microsystems and Precision Engineering  
Dozent: Prof. Dr. J. Frühauf

Materials of Electrical Engineering and Electronics  
Dozent: Prof. Dr. J. Frühauf

Materials of Micro Technology  
Dozent: Prof. Dr. J. Frühauf

# Interdisziplinäre Kooperation

Interdisziplinäre Kooperation ist der Schlüssel zum Erfolg. Seit Beginn der Aktivitäten des Fraunhofer ENAS, das als Abteilung und später als Institutsteil des Fraunhofer IZM startete, existiert eine enge Verflechtung und Kooperation mit dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz. Diese zielt auf den Ausbau der Synergien zwischen der mehr grundlagen-orientierten Forschung am ZfM und der stärker anwendungsorientierten Forschung am Fraunhofer ENAS hin. Der Schwerpunkt am Fraunhofer ENAS liegt im Bereich Smart Systems Integration unter Nutzung von Mikro- und Nanotechnologien.

Um langfristig am Markt erfolgreich zu agieren, hat das Fraunhofer ENAS die drei Geschäftsfelder

- Micro and Nano Systems,
- Micro and Nano Electronics / BEoL und
- Green and Wireless Systems

definiert. Jedes Geschäftsfeld verfügt über ein eigenes Kundenprofil und adressiert verschiedene Märkte.

Die Kernkompetenzen widerspiegeln das spezifische technologische Know-How des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS. Eine besondere Stärke des Fraunhofer ENAS liegt im breiten Spektrum an Technologien und Methoden für die Smart Systems Integration.

Dazu gehören:

- Design and Test of Components and Systems,
- Silicon Based Technologies for Micro and Nano Systems,
- Polymer Based Technologies for Micro and Nano Systems,
- Printing Technologies for Functional Layers and Component,
- Interconnect Technologies,
- System Integration Technologies,
- Reliability of Components and Systems.

Die Aufteilung in diese sieben Kernkompetenzen widerspiegelt die innere Struktur des Technologieportfolios. Die Kernkompetenzen werden unterstützt durch die Kooperationspartner Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz, Professur Digitale Drucktechnologie und Bebilderungstechnik der Fakultät Maschinenbau der TU Chemnitz und Professur Sensorik der Fakultät Elektrotechnik der Universität Paderborn.

Darüber hinaus ist das ZfM mit Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie über die Teilnahme an Projekten und Europäischen Technologieplattformen vernetzt. Langjährige Kooperationen existieren im asiatischen Raum mit der Tohoku Universität Sendai, der Fudan Universität Shanghai, der Jiao Tong Universität Shanghai und der Chongqing Universität.

Beide Partner, das ZfM und das Fraunhofer ENAS gehören zum Smart Systems Campus Chemnitz, welches ein innovatives Netzwerk mit Expertise im Bereich Mikro- und Nanotechnologien sowie Systemintegration darstellt. Der Technologiepark verbindet auf kurzen, direkten Wegen renommierte wissenschaftlich-technische Einrichtungen mit dem Gründergeist, Unternehmertum und wirtschaftlichen Aufschwung. Eine enge Verflechtung von Wissenschaft, angewandter Forschung und Industrie ist nicht nur Vision, sondern konkreter Inhalt und gelebte Strategie.

Das Start-Up-Gebäude für branchenaffine Unternehmen ist ein wesentlicher Bestandteil des Campus. Es bietet Platz für etwa 15 Unternehmen. Gegenwärtig sind folgende Start-Up-Unternehmen vor Ort:

- Berliner Nanotest und Design GmbH, gemeinsame Labore mit EUCEMAN, CWM GmbH, AMIC GmbH, Amitronics GmbH, SEDEMAT GmbH, Clean Technologies Campus GmbH
- Memsfab, gemeinsames Labor mit Leibniz IFW
- EDC Electronic Design Chemnitz GmbH
- LSE Lightweighth Structures Engineering GmbH
- SiMetrics GmbH
- saXXocon GmbH
- BiFlow Systems GmbH

Der Campus bietet expandierenden Unternehmen die Möglichkeit, sich im angrenzenden Gewerbegebiet anzusiedeln. Die erste Firma im Gewerbegebiet ist die 3D-Microcromac AG, welche leistungsstarke und innovative Tools und Maschinen für die Lasermikrobearbeitung entwickelt und herstellt.

# Netzwerke

Die Arbeit in Netzwerken ist unser Erfolgsrezept. Das Zentrum für Mikrotechnologien beteiligt sich in verschiedenen nationalen und internationalen Netzwerken.



Silicon Saxony

Der Silicon Saxony e.V. ist Europas größtes Netzwerk der Mikroelektronik-Industrie.

Der Verein wurde 2000 als Netzwerk für die Halbleiter-, Elektronik- und Mikrosystemtechnik-Industrie gegründet. Silicon Saxony verbindet Hersteller, Lieferanten, Dienstleister, Hochschulen, Forschungsinstitute und öffentlichen Einrichtungen der Wirtschaftsregion Sachsen miteinander. Aktuell stieg die Anzahl der Mitglieder auf 280 an. Die Mitgliedsunternehmen beschäftigen über 35.000 Arbeitnehmer und erreichen einen Gesamtumsatz von 4 Milliarden Euro pro Jahr. Das ZfM gehört zu den Gründungsmitgliedern des Silicon Saxony e.V..

13 Arbeitsgruppen wirken innerhalb des Netzwerkes. Die Arbeitsgruppe "Smart Integrated Systems" wurde 2007 gegründet und wird von Prof. Thomas Geßner geleitet.

Seit 2010 gehört Prof. Thomas Geßner zum wissenschaftlichen Beirat von Silicon Saxony.



IVAM

Als internationaler Fachverband für Mikrotechnik, Nanotechnologie und Neue Materialien zielt IVAM darauf ab, den Mitgliedern die entscheidenden Wettbewerbsvorteile zu verschaffen. Mittlerweile erschließen rund 300 Unternehmen und Institute aus 20 Ländern mit Hilfe von IVAM innovative Märkte und setzen neue Standards. Das Zentrum für Mikrotechnologien ist seit 2005 Mitglied im IVAM-Netzwerk.

Seit 2007 ist Prof. Thomas Geßner Mitglied im IVAM-Beirat, um Impulse aus der anwendungsnahen Wissenschaft in die Verbandsaktivitäten zu integrieren. Neben ihrer beratenden Funktion vertreten die Mitglieder des Beirates IVAM auch in der Öffentlichkeit.



Nanotechnologie-Kompetenzzentrum  
"Ultrathin Functional Films"

Das vom BMBF als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten anerkannte Nano-Kompetenzzentrum "Ultrathin Functional Films" wird vom Fraunhofer IWS Dresden koordiniert. 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 Forschungseinrichtungen und 5 Verbände haben sich zu einem Netzwerk zusammengeschlossen

Die Arbeit im Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten" wird in sechs Arbeitskreisen (AK) durchgeführt. Jeder Arbeitskreis wird durch ein Mitglied geleitet und koordiniert.

AK 1: Advanced CMOS

AK 2: Neuartige Bauelemente

AK 3: Biomolekulare Schichten für Medizin und Technik

AK 4: Mechanische und Schutzschichtanwendungen

AK 5: Ultradünne Schichten für die Optik und Photonik

AK 6: Nanoaktorik und -sensorik (Nanosysteme)

Der Arbeitskreis 1 „Advanced CMOS“ wird von Prof. Thomas Gessner geleitet. Prof. Christian Radehaus, ehemaliges Mitglied im Direktorium des ZfM, steht dem Arbeitskreis 2 „Neuartige Bauelemente“ vor.

# DFG-Forschergruppe 1713 „Sensorische Mikro- und Nanosysteme“

Im März 2011 wurde die Forschergruppe 1713 „Sensorische Mikro- und Nanosysteme“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) an der Technischen Universität Chemnitz zunächst für drei Jahre eingerichtet. Neben den Professuren des Zentrums für Mikrotechnologien der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik sind auch die Fakultät für Naturwissenschaften, das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (Fraunhofer ENAS) und das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW Dresden) an der Forschergruppe beteiligt. Sprecher der Forschergruppe ist Prof. Thomas Geßner.

Die Smart Systems Integration – die Integration intelligenter Systeme – ist ein gemeinsamer Forschungsschwerpunkt der Technischen Universität Chemnitz und des neu gegründeten Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS. Sie greift den Trend zu miniaturisierten multifunktionalen Baugruppen und Systemen auf, der in der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) als More Moore bezeichnet wird. Sie zielt dabei vor allem auf die Interaktion des Systems mit der analogen Umwelt über unterschiedliche Domänen ab, genauso wie auf die Integration heterogener Systeme zum Beispiel in einem System-in-Package (SiP). Diese Systeme vereinigen leistungsfähige heterogene Komponenten, die durch ihr Zusammenwirken komplexe Systemfunktionen auf kleinstem Raum erfüllen.

Die wissenschaftliche Zielstellung der Forschergruppe besteht in der Integration von Nanostrukturen und neuartigen Materialien sowie der räumlichen und funktionellen Integration von heterogenen Komponenten in Mikro- und Nanosystemen. Insbesondere für die Integration von Nanotechnologien und die Entwicklung neuartiger Materialien ist die Beteiligung des Zentrums für Mikrotechnologien sowie der Institute für Chemie und Physik der TU Chemnitz von großer Bedeutung. Gemeinsam mit dem Fraunhofer ENAS und dem IFW Dresden werden so die Kompetenzen auf den Gebieten des Entwurfs, der Herstellung, der Charakterisierung und Zuverlässigkeitsbewertung von Mikro- und Nanostrukturen sowie Integrations- und Packagingtechnologien gebündelt, um die vielschichtigen

wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Entwicklung von Multifunktionalen Mikro- und Nanosystemen abdecken zu können.

In der ersten Förderperiode der Forschergruppe stehen zunächst die Integration von Nanostrukturen und neuer Materialien sowie die räumliche und funktionelle Integration heterogener Komponenten für Sensoranwendungen im Blickpunkt. Die Umsetzung dieser Forschungsziele wird in drei unabhängigen Technologielinien verfolgt:

- NEMS – Nanosensoren auf Siliziumbasis,
- Modellierung und Integration von Nanoröhren,
- Neue Materialien und Technologien für Sensoranwendungen.

In der Technologielinie „NEMS – Nanosensoren auf Siliziumbasis“ sollen ausgehend von bekannten MEMS-Technologien Nanostrukturen in Mikrosysteme integriert bzw. nanotechnologische Prozesse für die Realisierung von Funktionalitäten wie elektromechanische Wandler angewendet werden. Dabei stellen sich Fragen der Strukturierung sowie der Einbindung neuer Prozesse in herkömmliche Technologien, wie bei der unmittelbaren Kopplung von mechanischem Bauelement und Transistor. Um die Vorteile, die sich durch die Verwendung von nanoskalierten Elementen ergeben, zu nutzen, müssen Entwurfskonzepte und Packagingverfahren weiterentwickelt werden.

Die Technologielinie „Modellierung und Integration von Nanoröhren“ deckt die gesamte Bandbreite von der atomistischen Modellbildung von Kohlenstoffnanoröhren (CNTs), über die Prozessentwicklung und technologische Integration von Nanoröhren, deren Charakterisierung mittels Rastersondenverfahren bis hin zur Anwendung in Sensorsystemen ab. Für die Modellierung und Simulation werden Nanoröhren, speziell CNTs, oft als ideale Elemente betrachtet. Für anwendungsorientierte und technologiegetriebene Simulationen müssen aber Strukturdefekte, Kontakteigenschaften sowie Kontaminationen durch nach-

folgende Prozessschritte einbezogen werden. Die Evaluierung dieser Modelle anhand der Realität erfordert wiederum eine hochgenaue Charakterisierung, wofür eine im Nanometerbereich ortsauflösende Analytik notwendig ist, die möglichst viele Materialparameter zugänglich macht. Die Anforderungen an die Integrationsprozesse können für die geplanten Anwendungen von Nanoröhren in mikrofluidischen Systemen und Resonatoren umfassend untersucht werden.

In der Technologielinie 3 „Neue Materialien und Technologien für Sensoranwendungen“ stehen Synthese, Strukturierung und Integration von magnetischen Funktionsmaterialien im Vordergrund. Dazu werden neuartige geometrische Konfigurationen wie Nanopartikelanordnungen durch Selbstorganisationsprozesse und durch das Aufrollen von Dünnschichtsystemen (magnetische Nano-

röhren) reproduzierbar hergestellt und fundamental untersucht. Die Verknüpfung beider Methoden erlaubt die Herstellung völlig neuartiger, gerollter Heterostrukturen, bestehend aus beschichteten Partikelmonolagen und Filmmembranen, mit einem definierten Schaltverhalten dieser Strukturen im Magnetfeld.

Für weitere Informationen besuchen Sie bitte unsere Internetseite:

<http://www.zfm.tu-chemnitz.de/for1713/>



Abb. 1: Forschungsk Kooperation auf dem Smart Systems Campus Chemnitz: Standort für die Technische Universität Chemnitz mit dem Zentrum für Mikrotechnologien, der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, der Fakultät für Naturwissenschaften sowie für das Fraunhofer ENAS und die Chemnitzer Forschergruppe des Leibniz IFW Dresden

# Nanett – Nano System Integration Kompetenznetzwerk

Das Kompetenznetzwerk für Nanosystemintegration – nanett – ist eine der erfolgreichen Initiativen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“. Das interdisziplinäre Netzwerk unter Leitung der Technischen Universität Chemnitz und des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS vereint die Kompetenzen und Ressourcen von neun renommierten und erfolgreichen Forschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern, um konkurrenzfähige Spitzenforschung für die Integration und technische Anwendung von Nanotechnologien zu ermöglichen. Die Höhe der Förderung durch das BMBF beträgt für das gesamte Verbundprojekt 14 Millionen Euro über einen Zeitraum von 5 Jahren.

Unter dem Begriff Nanosystemintegration verstehen die Verbundpartner die technische Nutzbarmachung von bekannten und neuen Effekten resultierend aus nanoskaligen Elementen in einem Werkstoff, einem Chip, einer Baugruppe oder einem größeren System. Das Anliegen des Netzwerkes ist es, der Wirtschaft als attraktiver, kompetenter und vielseitiger Entwicklungspartner im Bereich der zukunfts-tragenden Nanotechnologien und der Systemintegration nachhaltig zur Verfügung zu stehen. Aufgrund der hochgradigen Interdisziplinarität und der hohen Investitionskosten auf dem Gebiet der Mikro- und Nanotechnologien ist für eine erfolgreiche und wettbewerbsfähige Forschung und Entwicklung die Nutzung von Synergien durch die Zusammenarbeit thematisch unterschiedlich ausgerichteter Forschungszentren von zentraler Bedeutung.

Als Grundlage dieser Aktivitäten wurden relevante technische Fragestellungen und Anwendungshemmnisse identifiziert und in drei Kompetenzfeldern zusammengefasst. Aus diesen Kompetenzfeldern wurden drei Leitprojekte abgeleitet, die zusammen mit den beteiligten Partnern in der nebenstehenden Grafik veranschaulicht sind. Die Bearbeitung dieser Leitprojekte erfolgt in einer ersten dreijährigen Phase, in der die Integration auf Komponentenebene innerhalb der Kompetenzfelder im Vordergrund steht. Dabei werden anhand von konkreten Problemstellungen übergeordnete Lösungsansätze für die Thematik verfolgt. In einer zweiten Phase erfolgt eine Verschmelzung der Leitprojekte hin zu Applikationsprojekten in denen die Integration auf Systemebene fortgesetzt wird.

Die drei Kompetenzfelder mit den zu bearbeitenden Forschungsthemen sind:

## Prozesse und Technologien für nanoskalige Materialsysteme

- Nutzung von quantenmechanischen Phänomenen und Nanostruktureffekten
- Nanostrukturierung von unkonventionellen Materialien
- Charakterisierung magnetischer Eigenschaften

## Mikro-Nano-Integration

- Integration von Nanostrukturen mit elektromechanischer Funktionalität
- Systementwurf und Architektur energieeffizienter Sensornetzwerke
- Technologien für autonome Sensorknoten

## Nanomaterialien

- Herstellung funktionaler Nanokompositwerkstoffe
- Materialintegrierte Sensorik in Leichtbaustrukturen
- Zuverlässigkeit von Funktionswerkstoffen

Das Zentrum für Mikrotechnologien ist mit sechs Professuren an allen drei Kompetenzfeldern mit den folgenden Themen beteiligt: Nanostrukturierung von unkonventionellen Materialien, Integration von Nanostrukturen mit elektromechanischer Funktionalität, Systementwurf und Architektur energieeffizienter Sensornetzwerke, Technologien für autonome Sensorknoten und Zuverlässigkeit von Funktionswerkstoffen.

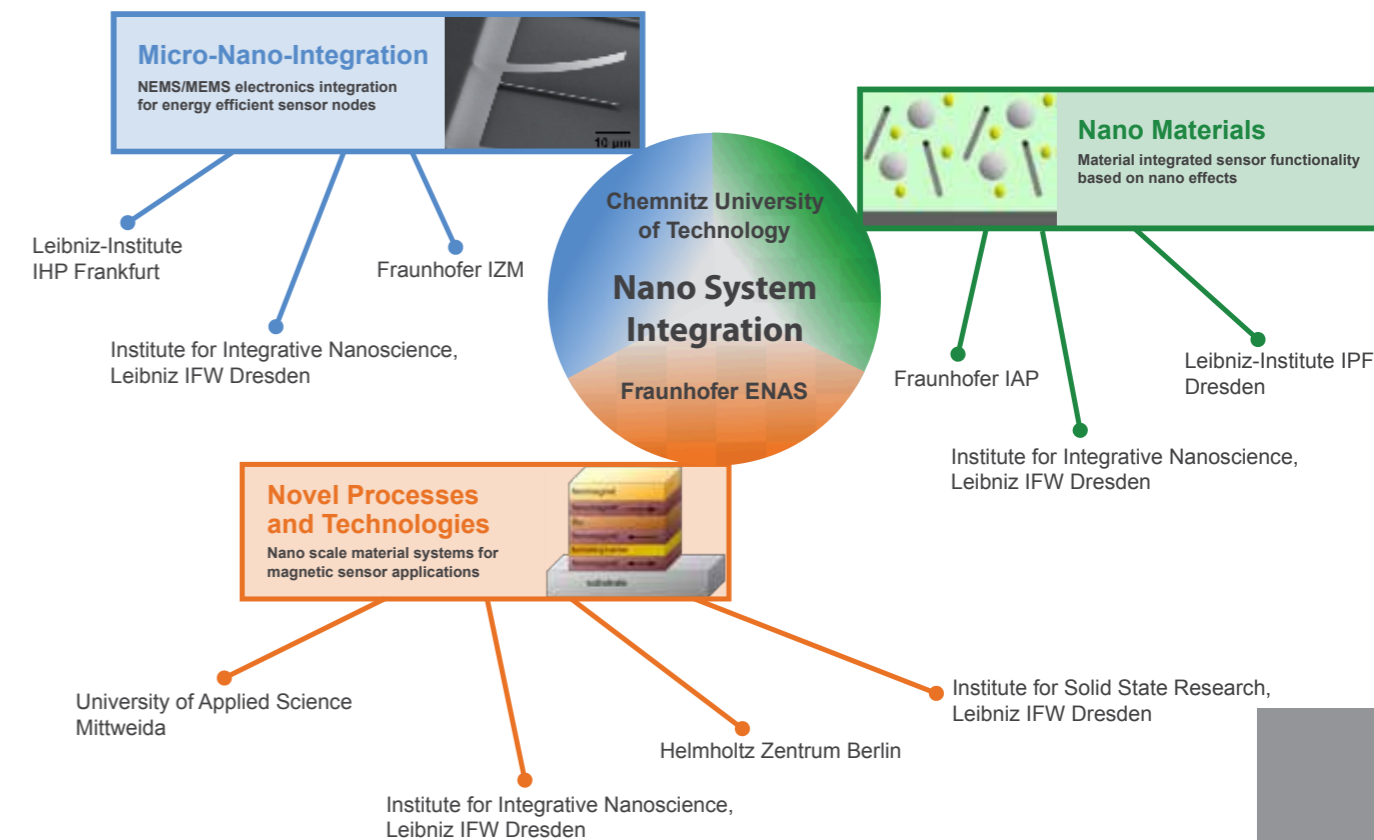
Für weitere Informationen besuchen Sie bitte unsere Internetseite:

<http://www.nanett.org/>

**nanett**

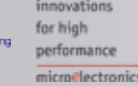
nano system integration  
network of excellence

Application of Nanotechnologies for Energy Efficient Sensor Systems



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Internationales Graduiertenkolleg (IRTG)

## Auf einen Blick

Im April 2006 wurde das Internationale Graduiertenkolleg 1215 „Materialien und Konzepte für fortschrittliche Metallisierungssysteme“ für eine Dauer von 4,5 Jahren von den folgenden Einrichtungen aufgestellt:

- Technische Universität Chemnitz
  - » Institut für Physik
  - » Institut für Chemie
  - » Zentrum für Mikrotechnologien
- Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS
- Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
- Technische Universität Berlin
- Fudan University, Shanghai
- Shanghai Jiao Tong University

Das IRTG wird gemeinschaftlich von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Chinesischen Ministerium für Bildung unterstützt.

Nach einer erfolgreichen Evaluierung im März 2010 startete die zweite Förderphase des IRTG-Programms im Oktober 2010. Der wissenschaftliche Schwerpunkt wurde dabei auf „Materialien und Konzepte fortschrittlicher Metallisierungs- und Nanosysteme“ ausgeweitet.

Dieses internationale Graduiertenkolleg ist das erste dieser Art an der Technischen Universität Chemnitz. Die Leitung auf chinesischer Seite hat Prof. Ran Liu von der Fudan University und auf deutscher Seite ist Prof. Thomas Gessner Koordinator. Eine Graduiertenschule wie diese gibt hervorragenden jungen Promotionsstudenten die einzigartige Gelegenheit ihre Promotion innerhalb von zweieinhalb bis drei Jahren in einem interdisziplinären Umfeld zu absolvieren. Im laufenden Programm arbeiten und studieren bis zu 14 Doktoranden in den deutschen Partnereinrichtungen und 20 an den beiden chinesischen Universitäten. Außerdem ist ein bereits promovierter Forscher am Zentrum für Mikrotechnologien in das Programm eingebunden. Die interdisziplinäre Verknüpfung

zwischen den Projektpartnern reicht von Elektroingenieuren und Ingenieuren der Mikroelektronik, über Materialwissenschaftler, bis hin zu Physikern und Chemikern. Im Detail arbeiten die Wissenschaftler am IRTG an der Entwicklung neuartiger Materialien und Prozessen sowie neuen Konzepten für die Kontaktierung von Bauteilen innerhalb integrierter mikroelektronischer Schaltkreise. Daneben werden Forschungen auf den Gebieten des Packging von Komponenten und Siliziden für die Komponentenfertigung betrieben. In diesem Sinne trägt das IRTG zur Lösung von aktuellen Problemen für die Weiterentwicklung der Nanoelektronik bei.

Dabei konzentriert sich das Forschungsprogramm des IRTG auf anwendungsspezifische und grundlagenorientierte Aspekte und behandelt mittel- und langfristige Themen der Metallisierung in der Mikroelektronik. Atomlagenabscheidung (ALD) von Metallen, neue Precursor für die metall-organische chemische Gasphasenabscheidung (MOCVD), ultra-low-k-Dielektrika und deren mechanische und optische Charakterisierung werden ebenso wie Prüftechnik für den Nanobereich untersucht. Neue und innovative Konzepte für zukünftige Mikroelektronik als auch Metallisierungssysteme mit Kohlenstoffnanoröhren oder molekulare Elektronik neben Siliziden für die Verbindung mit Front-end-of-Line-Prozessen sind von Interesse, ebenso wie die Evaluierung von neuen Materialien für die Fabrikation. Darüber hinaus adressiert das Forschungsprogramm Fragen der Zuverlässigkeit und des Packaging von Mikro-Bauteilen. Das Hauptziel des Programms ist die Hervorhebung der Verbindung zwischen grundlegenden Materialeigenschaften, deren Charakterisierung auf Nanoebene und ihrer Anwendung in mikroelektronischen Bauteilen.

Die grundlegende Idee des Graduiertenkollegs basiert auf vier Säulen. Das Forschungsprogramm gibt den Rahmen für die Aktivitäten und Themen für die Dissertationen vor. Diese werden von speziell abgestimmten Studienprogrammen inklusive Vorlesungen, Seminaren und Laborpraktika begleitet, um eine umfassendes Fachwissen im Forschungsbereich des IRTG anzubieten. Der dritte Schwerpunkt des Programms schließt eine jährliche Sommerschule, die entweder in China oder in Deutschland abgehalten wird, ein. Dieses jährliche Treffen aller Doktoranden des IRTG gibt die Gelegenheit aktuelle Forschungsergebnisse zu präsentieren und zu diskutieren. Eine weitere grundlegende Komponente des Programms

für jeden Doktoranden ist der Forschungsaufenthalt von drei bis sechs Monaten in einem der ausländischen Partnerinstituten. Neben dem Fachwissen im jeweiligen Forschungsbereich soll dieses Angebot die interkulturelle Kompetenz der Teilnehmer stärken.

## Sommerschule 2010

Die fünfte Sommerschule des IRTG 1215 fand vom 26. März bis 1. April 2010 in Chemnitz statt. Die Veranstaltung wurde durch die deutschen Kooperationspartner unter der Leitung von Prof. Thomas Geßner organisiert.

Die Sommerschule startet mit einer geführten Tour nach Freiberg in Sachsen für alle Mitglieder des IRTG. Die Professoren, Tutoren und Doktoranden besuchten das historische Zentrum der Stadt Freiberg und den Dom „St. Marien“. Nach dem Mittagessen nahmen alle Beteiligten an einer „Mineralogischen Reise um die Welt“ im Rahmen der „Terra Mineralia“ der Bergakademie Freiberg, eine der größten Sammlungen von Mineralien weltweit, teil. Aufgrund bereits absolvierter Forschungsaufenthalte einiger Doktoranden auf chinesischer und deutscher Seite, wurde dieser Ausflug von einer lebhaften Kommunikation aller Teilnehmer begleitet.

Am 29. und 30. März wurden insgesamt 18 Vorträge und 32 wissenschaftliche Poster von den deutschen und chinesischen Doktoranden präsentiert. Dabei zeigten sie den Stand und Fortschritt ihrer unterschiedlichen wissenschaftlichen Arbeiten. Nach jedem Vortrag wurde Fragen der Zuhörer beantwortet. Daneben entwickelten sich an den beiden Tagen auch bei der Präsentation der wissenschaftlichen Poster und während der Pausen zwischen den internationalen Teilnehmern interessante Gespräche und Diskussionen über die verschiedenen Forschungsthemen.

Als Abschluss der Sommerschule 2010 wurde gemeinsam mit allen Teilnehmern am 31. März die Evaluierung des IRTG 1215 durchgeführt.

## Evaluierungssitzung am 31. März 2010

Der Antrag für die zweite Förderphase des internationalen Graduiertenkollegs wurde im Oktober 2009 bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gemeinsam mit einem ausführlichen Bericht zur ersten Periode des IRTG eingereicht. Das neue Thema „Materialien und Konzepte fortschrittlicher Metallisierungs- und Nanosysteme“ vereint die Aktivitäten im Bereich „More Moore“ sowie im Bereich „More than Moore“ und bezieht sich auf die aktuellen Trends in der Mikro- und Nanoelektronik. Der Antrag enthält neun Teilprojekte auf deutscher und 11 Teilprojekte auf chinesischer Seite.

Am 31. Mai fand die Evaluierung der ersten Förderperiode des IRTG an der Technischen Universität Chemnitz statt. Die Mitglieder des IRTG begrüßten sechs Gutachter aus deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen, zwei Gutachter vom Chinesischen Ministerium für Bildung und vier Vertreter der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Chemnitz.

Die Veranstaltung wurde von Prof. Thomas Geßner eröffnet, dem Sprecher des internationalen Graduiertenkollegs 1215. Er präsentierte die Aktivitäten und Fortschritte des wissenschaftlichen Programms innerhalb der ersten vier Jahre. Einen Überblick zu allen chinesischen Aktivitäten sowie der chinesischen Forschungslandschaft gaben Prof. Ran LIU von der Fudan University in Shanghai und Prof. Di CHEN von der Shanghai Jia Tong University. Außerdem präsentierten zwei Doktoranden jeweils der deutschen und chinesischen Seite ihre Forschungsarbeit ausführlich. Darüber hinaus gab es eine Posterpräsentation mit 34 wissenschaftlichen Postern aller im IRTG beschäftigten Doktoranden und Doktoren. Der zweite Teil des Tages war umfangreichen Diskussionen der Gutachter und Mitglieder des IRTG vorbehalten. Der Tag endete mit einem Empfang im Hotel „Chemnitzer Hof“ für alle Teilnehmer.

Die erste Periode des IRTG erhielt die Bewertung „herausragende Forschung“. Im Juli 2010 wurde die zweite Förderphase des internationalen Graduiertenkollegs von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gebilligt.

## Statistische Daten aus der ersten IRTG-Periode 04/2006 – 09/2010

Obwohl das Programm das erste dieser Art an der Technischen Universität Chemnitz war, konnte es schnell und gut etabliert werden und arbeitet erfolgreich seit April 2006.

Innerhalb der viereinhalb Jahre der ersten Periode wurden eine Herbst und vier Sommerschulen unterschiedlicher Dauer in Deutschland und China abgehalten. Mehr als 20 Doktoranden nahmen am Austauschprogramm nach China bzw. Deutschland für mehr als drei Monate Aufenthalt an einer der Partnereinrichtungen teil. Als Ergebnis der engen Zusammenarbeit aller Partnerinstitutionen entstanden rund 10 gemeinsame wissenschaftliche Publikationen und mehr als insgesamt 150 Veröffentlichungen im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeiten am IRTG. Auf deutscher Seite schlossen 10 Doktoranden ihre Promotion ab oder reichten ihre Dissertation in der ersten Periode ein. Die Frauenquote bei den deutschen Doktoranden betrug über 35 Prozent.

Weitere Informationen erhalten Sie auf der Internetseite <http://www.zfm.tu-chemnitz.de/irtg/>

Impressum:

Herausgeber  
Technische Universität Chemnitz  
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
Zentrum für Mikrotechnologien

Reichenhainer Straße 70  
09126 Chemnitz

Telefon: +49 (0) 371 531-24060  
Fax: +49 (0) 371 531-24069  
E-Mail: [info@zfm.tu-chemnitz.de](mailto:info@zfm.tu-chemnitz.de)  
Internet: <http://www.zfm.tu-chemnitz.de/>

Direktor: Prof. Dr. Thomas Gessner

Redaktion  
Dr. Martina Vogel,  
Technische Universität Chemnitz

Fotos  
Technische Universität Chemnitz  
InfraTec GmbH Dresden

Layout & Design  
Andrea Messig-Wetzel,  
Technische Universität Chemnitz

Druck  
druck & MEDIA



# ZfM

Zentrum für  
Mikrotechnologien

Kontakt:

Prof. Dr. Thomas Geßner  
leitender Direktor des Zentrums für Mikrotechnologien

Technische Universität Chemnitz  
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
Zentrum für Mikrotechnologien

Reichenhainer Straße 70  
09126 Chemnitz

Telefon: +49 (0) 371 531-24060  
Fax: +49 (0) 371 531-24069

E-Mail: [info@zfm.tu-chemnitz.de](mailto:info@zfm.tu-chemnitz.de)  
Internet: <http://www.zfm.tu-chemnitz.de/>

