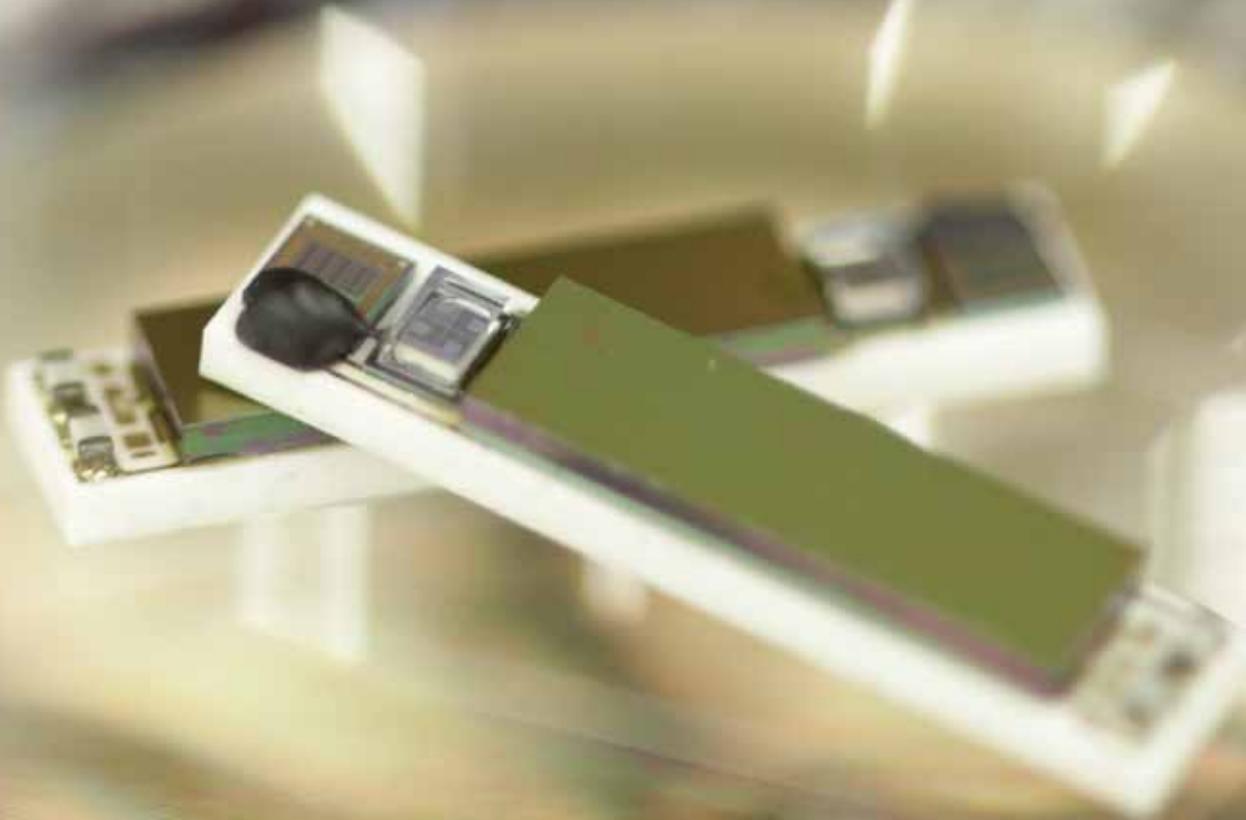




Fraunhofer
ENAS

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ELEKTRONISCHE NANOSYSTEME ENAS

Jahresbericht
2017



INHALT

3	Vorwort
5	Strategie: Der Schlüssel zum Erfolg
11	Fraunhofer ENAS: Profil
12	Fraunhofer-Gesellschaft
13	Fraunhofer ENAS
14	Organisationsstruktur
16	Zahlen und Fakten
18	Kuratorium
19	Fraunhofer ENAS – Partner für Innovationen
27	Geschäftsfelder
29	Micro and Nanoelectronics
39	Sensor and Actuator Systems
49	Technologies and Systems for Smart Power and Mobility
57	Technologies and Systems for Smart Health
63	Technologies and Systems for Smart Production
71	Highlights

Titelseite:

Sensorsystem zum hämodynamischen Controlling aus dem Leitprojekt

»Theranostische Implantate« der Fraunhofer-Gesellschaft (siehe Seite 24).

Das System besteht aus dem Beschleunigungssensor des Fraunhofer ENAS

(siehe mittlerer Chip des Systems, in BDRIE-Technologie Glas/Sil/Glas-Aufbau

hergestellt) und dem Drucksensor mit geschützten Drahtbonds sowie dem

ASIC des Fraunhofer IMS.

Foto: Frank Roscher, Fraunhofer ENAS

VORWORT

Foto: Ines Escherich



»Das Geheimnis des Erfolges ist, den Standpunkt des Anderen zu verstehen.« (Henry Ford)

Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme, sehr geehrte Leserinnen und Leser,

im Jahr 2018 begehen wir das zehnjährige Bestehen des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS. Das Institut hat sich kontinuierlich positiv entwickelt. Ein Großteil unseres Forschungsvolumens wird durch Vertragsforschung, d.h. im Rahmen von Direktaufträgen der Industrie und durch öffentlich geförderte Projekte, generiert. An dieser Stelle möchten wir unseren Partnern und Kunden für das Vertrauen und die Unterstützung danken.

Wir haben 2017 neue Dinge begonnen und traditionelle weitergeführt. Wir nehmen die Erstellung eines umfassenden Qualitätsmanagementsystems entsprechend DIN EN ISO 9001:2015 in Angriff, haben die Kooperationen innerhalb strategischer Projekte in der Fraunhofer-Gesellschaft, wie z. B. der Forschungsfabrik Mikroelektronik, verstärkt und intensivieren im Zeitalter der Digitalisierung die Vorlaufforschung in relevanten Themen. Dazu gehören u. a. die Bereiche rekonfigurierbare Schalter für Hardwaresicherheit und künstliche Intelligenz, Sensorik für Harsh Environment, Sensorsysteme für Industrie 4.0 und Landwirtschaft 4.0 sowie individualisierte Serienbauteilfertigung unter Massenfertigungsbedingungen.

Unsere Schwerpunktthemen am Markt sind nach wie vor die Sensor- und Aktorsysteme auf der einen Seite und die Halbleitertechnologie / Mikroelektronik / Nanoelektronik auf der anderen Seite. Darüber hinaus standen auch 2017 Smart Systems für die verschiedensten Anwendungsbereiche im Mittelpunkt unserer Forschungs- und Entwicklungstätigkeit.

Das Jahr 2017 brachte auch personelle Veränderungen. Im Dezember 2017 übernahm Frau Dr. Tina Kießling die Funktion der Verwaltungsleiterin am Fraunhofer ENAS. Seit Oktober 2017 leitet Dr. Ralf Zichner die Abteilung Printed Functionalities.

In unserem Jahresrückblick 2017 finden Sie einen kleinen Auszug der Themen, die uns im abgelaufenen Jahr beschäftigt haben. Lassen Sie sich inspirieren.

Prof. Dr. Thomas Otto
Kommissarischer Leiter des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme



**STRATEGIE:
DER SCHLÜSSEL
ZUM ERFOLG**

STRATEGIE: DER SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG

Strategieprozess / Auditnachfolgeprozess

Das Fraunhofer ENAS kann seit seiner Gründung 2008 auf eine positive Entwicklung mit durchgängig hohen erwirtschafteten Industrierträgen und kontinuierlichem Wachstum zurückblicken. Um langfristig die Wettbewerbsfähigkeit des Fraunhofer ENAS zu sichern und auszubauen, um neue Anwendungsfelder zu erschließen, das FuE-Portfolio weiterzuentwickeln und an neuen Märkte zu antizipieren, ist eine permanente Auseinandersetzung mit Trends, Entwicklungen und Marktverschiebungen erforderlich. Das ist Gegenstand des systematischen Strategieprozesses am Fraunhofer ENAS.

In diesem Strategieprozess werden das Projektportfolio, die Ziele, Kunden und adressierten Märkte des Instituts intensiv auf den Prüfstand gestellt. Die erarbeiteten Ergebnisse sind nicht nur im September 2016 durch ein externes Expertengremium aus Industrie, Wissenschaft und Politik auditiert worden, sondern bilden die Basis für Handlungsmaßnahmen und Ziele mit einem Zeithorizont von bis zu fünf Jahren.

So sind im Jahr 2017 im Rahmen des Auditnachfolgeprozesses zukunftsichernde Maßnahmen definiert, priorisiert und mit Projektteams umgesetzt worden. Diese Teams haben die Aufgabe, gesteuert durch die Institutsleitung Diskussions- und Entscheidungsvorlagen zu erarbeiten. Der Zeithorizont für die unterschiedlichen Themen bewegt sich zwischen einem und vier Jahren.

Zu den Ergebnissen dieses Prozesses gehören u. a. die Neuausrichtung der Geschäftsfelder sowie der Schärfung und Weiterentwicklung der Kernkompetenzen.

Eine der zukunftsichernden Maßnahmen zielt auf die Zertifizierung des Instituts nach DIN EN ISO 9001:2015. Diese komplette Zertifizierung soll in den nächsten drei Jahren abgeschlossen werden.

Im Zeitalter der Digitalisierung mit seinen erhöhten Anforderungen an Interdisziplinarität und Kompetenzen sind strategische Kooperationen eine wesentliche Voraussetzung für ein erfolgreiches Agieren am Markt. Im Jahr 2017 ist das Fraunhofer ENAS eine Reihe strategische Partnerschaften eingegangen. Drei davon werden im Folgenden kurz dargestellt.



Strategische Partnerschaften

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)

Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) ist ein Zusammenschluss aus elf Instituten des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und den zwei industrierelevanten Halbleiter-Forschungsinstituten der Leibniz-Gemeinschaft (FBH, IHP). Das für die Forschungsfabrik von Fraunhofer und Leibniz gemeinsam entwickelte Konzept sieht vor, die technologischen Fähigkeiten in einem gemeinsamen Technologiepool zusammenzuführen, Ausstattungslücken abgestimmt zu schließen und die wichtigen Laborlinien für Mikroelektronik-Technologien an die technische Entwicklung anzupassen. Das Ziel ist es, den Kunden aus Großindustrie, kleinen und mittleren Unternehmen, Start-ups sowie den Universitäten die gesamte Wertschöpfungskette für die Mikro- und Nanoelektronik unkompliziert aus einer Hand anbieten zu können. Dadurch entsteht ein einzigartiges Angebot für die deutsche und europäische Halbleiter- und Elektronikindustrie. Darüber hinaus wird die neue Form der Zusammenarbeit erheblich dazu beitragen, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu stärken.

Mit den Investitionen in die »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« und dem Rahmenprogramm »Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung« unterstützt das BMBF Forschung und Innovation in der Mikroelektronik mit insgesamt rund 800 Millionen Euro bis 2020. Für die Modernisierung und Ergänzung ihrer Anlagen und Geräte erhalten alle 13 beteiligten Forschungseinrichtungen insgesamt rund 350 Millionen Euro. 100,8 Millionen Euro gehen davon an die vier in Sachsen ansässigen Fraunhofer-Institute.

Um die zukunftsrelevanten Forschungsthemen möglichst effizient und zeitnah vorzubringen ist die FMD in vier Technologieparks organisiert:

- Technologiepark 1: Neueste auf Silizium-basierte Technologien für die Sensorik, Aktorik und Informationsverarbeitung
- Technologiepark 2: Verbindungshalbleiter mit modernsten Materialien für Energiespar- und Kommunikationstechnik
- Technologiepark 3: Heterointegration – neuartige Kombinationen von Silizium- und anderen Halbleitern, z. B. für das Internet der Dinge
- Technologiepark 4: Design, Test und Zuverlässigkeit für Entwurf und Entwurfsmethoden, Qualität sowie Sicherheit

Das Fraunhofer ENAS ist mit seinen Kompetenzen in den Technologieparks eins, drei und vier vertreten. Die bisherigen Standorte der Institute bleiben erhalten, der Ausbau und der Betrieb werden in einer gemeinsamen Geschäftsstelle in Berlin koordiniert und organisiert.

www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de

Sächsischer Auftakt für die »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« im August 2017.

Foto: Jürgen Lösel für Fraunhofer IPMS

STRATEGIE: DER SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG

USeP - Revolutionäre Sensor-Plattform für IoT-Systeme der nächsten Generation

Das Forschungsprojekt USeP (Universelle Sensor-Plattform) zielt auf die Entwicklung einer neuartigen Sensor-Plattform ab, mit der zukünftig nach dem Baukastenprinzip verschiedenste innovative Komponenten automatisiert generiert und zu einem Gesamtsystem zusammengefügt werden können. Dabei setzen die Projektpartner auf eine zentrale Steuer- und Recheneinheit mit zahlreichen Schnittstellen sowie auf eine breite Auswahl an gängigen und zukünftigen Sensoren und Aktoren. Neben der Systemarchitektur mit flexiblen Baublöcken bietet die Plattform auch innovative Lösungen für die Hardware- und IT-Sicherheit. Im Ergebnis soll das Sensor-Modul mit den diversen Gestaltungsvarianten hunderte verschiedene Anwendungsfälle abdecken können.

Die Plattform soll bis 2019 entwickelt werden und vor allem kleineren Systemanbietern zugutekommen, um den wachsenden Entwicklungs- und Fertigungsaufwand für Elektronik der nächsten Generation schultern zu können. Basis für die neu zu entwickelnde Plattform wird die in Dresden gefertigte 22FDX-Technologie (Fully Depleted SOI) von GLOBALFOUNDRIES sein, die hochintegrierte Chips mit besonders stromsparenden und kostengünstigen Eigenschaften ermöglicht. Die Fraunhofer-Institute bringen in das Projekt vor allem ihre Kompetenzen für ein innovatives Packaging sowie ihr Know-how bei der Konzeptentwicklung, dem Systemdesign, der Sensorik und Datenübertragung sowie bei Simulation und Test ein. Damit Unternehmen die neue Plattform über einen möglichst langen Zeitraum nutzen können, stellt USeP sicher, dass die Ergebnisse auch auf die nächsten Technologie-Generationen übertragbar sein werden.

Das Projekt wird durch den Freistaat Sachsen und die Europäische Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Zu den Partnern gehören die Fraunhofer-Institute IPMS, ENAS, IZM und IIS/EAS sowie GLOBALFOUNDRIES Dresden.

www.enas.fraunhofer.de/de/news_events/presse_uebersicht/2017-12-12_Mit_revolutionaerer_Sensor_Plattform_zu_IoT_Systemen_der_naechsten_Generation.html



Smart Systems Hub – Enabling IoT

Mit der Digital Hub Initiative zur strategischen Förderung der Kooperation von Unternehmen, Gründern und Wissenschaft unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Entstehung digitaler Hubs in Deutschland. Im April 2017 wurden weitere Standorte durch das BMWi ausgewählt. Dazu gehört der Smart Systems and Smart Infrastructure Hub mit den Hauptstandorten Dresden und Leipzig. Chemnitz bringt seine Expertise insbesondere in den Smart Systems Hub ein. Um die digitalen Gestaltungsmöglichkeiten auszuschöpfen und im rasanten Wettbewerb um innovative Entwicklungen und deren Wertschöpfung erfolgreich zu sein, setzt der Smart Systems Hub – Enabling IoT auf eine eng vernetzte Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure: Als lebendiger Knotenpunkt wird er die umfassende Kompetenz in den Schlüsselbereichen Hardware – Software – Connectivity am Standort bündeln und Wirtschaft, Start-up-Szene, Wissenschaft und Investoren zusammenbringen.

In diesem Innovationsraum mit Zugang zu Expertenwissen, Unternehmen, Start-ups und ambitionierten Machern vom Software-Entwickler bis zu Hardware- und Connectivity-Experten entsteht eine High-Tech-Community, die im Bereich Technologietransfer eine neue Qualitätsstufe von nationaler und internationaler Sichtbarkeit erreicht. Durch einfachen Zugang zu Produktionsmitteln, das nötige Know-how und die fachliche Expertise in einer kreativen Atmosphäre werden Angebote für den entscheidenden Sprung in die digitale Zukunft geschaffen.

Der Smart Systems Hub bietet derzeit verschiedene Trails an, wobei jeder Trail ein spezifisches Kompetenzfeld des Hubs ausstellt, in dem Besuchern innovative Anwendungen, Technologien und Geschäftsmodelle zur Digitalisierung in verschiedenen Anwendungsgebieten demonstriert werden. Ziel ist es, Austausch, Kooperation und Kollaboration zwischen den Stakeholdern innerhalb und außerhalb des Hubs zu starten.

Fraunhofer ENAS engagiert sich sowohl beim Aufbau des Smart Systems Hubs an sich als auch in zwei Trails, dem Trail »Smart Maintenance« und dem »Trail Smart Sensor and Production Systems for Industrial IoT«. Letztgenannter Trail zielt auf die Darstellung innovativer Lösungen zur durchgängigen Digitalisierung in der Produktion über die vollständige Wertschöpfungskette hinweg. Dabei stehen diverse Aspekte des IoT im Vordergrund, von bspw. der sensorbasierten Bereitstellung von Device-Daten, über deren Analyse und Auswertung, bis hin zur Rückkopplung unterstützender produktionsrelevanter Informationen und zum Menschen. Mit der Visualisierung und der Darstellung der Devices in der Virtual/Augmented Reality bildet dieser Trail Szenarien der durchgängigen Digitalisierung ab.

www.smart-systems-hub.de

Foto: Susann Hering, Silicon Saxony e. V.



FRAUNHOFER ENAS: PROFIL

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

www.fraunhofer.de

FRAUNHOFER ENAS

Die Stärke des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS liegt in der Entwicklung von Smart Systems (intelligenten Systemen) für verschiedenste Anwendungen. Die Systeme verbinden Mikro- und Nanosensoren sowie -aktoren und Elektronikkomponenten mit Schnittstellen zur Kommunikation und einer autarken Energieversorgung. Die Systeme sind zunehmend mit der Fähigkeit ausgestattet, sich gegenseitig anzusprechen, zu identifizieren und in Konsortien zu arbeiten. Sie bilden somit die Basis für das Internet der Dinge.

Die Produkt- und Dienstleistungspalette reicht von Einzelkomponenten, den entsprechenden Technologien für deren Fertigung über Systemkonzepte und Systemintegrationstechnologien bis hin zur Überführung in die praktische Nutzung. Fraunhofer ENAS begleitet Kundenprojekte von der Idee über den Entwurf, die Technologieentwicklung oder die Umsetzung anhand bestehender Technologien bis zum getesteten Prototypen. Wenn Standardkomponenten den Anforderungen nicht gerecht werden oder an Grenzen stoßen, entwickelt Fraunhofer ENAS eine kundenspezifische Lösung und unterstützt den Transfer zum Kunden.

Die Anwendungsfelder sind u. a. in der Halbleiterindustrie (Anlagen- und Materialhersteller), der Luft- und Raumfahrt, dem Automobilbau, der Kommunikationstechnik, der Sicherheitsbranche, der Logistik, der Medizin- und Prozesstechnik, der Landwirtschaft sowie im Maschinenbau zu finden.

Um die Aktivitäten des Fraunhofer ENAS zu fokussieren, wurden die Schwerpunkte im Technologieportfolio und in der Marktbearbeitung auf die fünf Geschäftsfelder gelegt:

- Micro and Nanoelectronics
- Sensor and Actuator Systems
- Technologies and Systems for Smart Power and Mobility
- Technologies and Systems for Smart Health
- Technologies and Systems for Smart Production

Jedes Geschäftsfeld verfügt über ein eigenes Kundenprofil, das in Abhängigkeit der benötigten Forschungs- und Entwicklungsleistungen verschiedene Stellen der industriellen Wertschöpfungskette anspricht.

Organisatorisch ist das Fraunhofer ENAS in die sechs Fachabteilungen Advanced System Engineering, Back-End of Line, Micro Materials Center, Multi Device Integration, Printed Functionalities, System Packaging sowie die Verwaltung gegliedert. Der Hauptstandort ist Chemnitz. Die Abteilung Advanced System Engineering ist in Paderborn angesiedelt. Die Abteilung Micro Materials Center hat darüber hinaus noch eine Projektgruppe in Berlin-Adlershof.

www.enas.fraunhofer.de

ORGANISATIONSTRUKTUR

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

Institutsleiter (kommissarisch): Prof. Dr. Thomas Otto
 Stellvertretender Institutsleiter: Prof. Dr. Stefan E. Schulz

Abteilung Multi Device Integration Komm.: Dr. S. Kurth / Dr. A. Weiß	Verwaltung Leiterin: Dr. Tina Kießling Technischer Leiter: Uwe Breng	Geschäftsfeld Micro and Nanoelectronics Prof. Dr. Stefan E. Schulz
Abteilung Micro Materials Center Prof. Dr. Sven Rzepka	Marketing / Public Relations Referentin der Institutsleitung Dr. Martina Vogel	Geschäftsfeld Sensor and Actuator Systems Prof. Dr. Karla Hiller
Abteilung Printed Functionalities Dr. Ralf Zichner		Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Power and Mobility Dr. Steffen Kurth
Abteilung Back-End of Line Prof. Dr. Stefan E. Schulz		Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Health Dr. Mario Baum
Abteilung System Packaging Dr. Maik Wiemer		Geschäftsfeld Technologies and Systems for Smart Production Dr. Ralf Zichner
Abteilung Advanced System Engineering Dr. Christian Hedayat		

Internationale Büros

Fraunhofer Project Center an der Tohoku Universität, Japan Prof. Thomas Otto Prof. Masayoshi Esashi Prof. Shuji Tanaka	Büro Shanghai, China SHI Min	Büro Manaus, Brasilien Hernan Valenzuela
--	--	--

Technische Universität Chemnitz

Zentrum für Mikrotechnologien (ZfM) Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

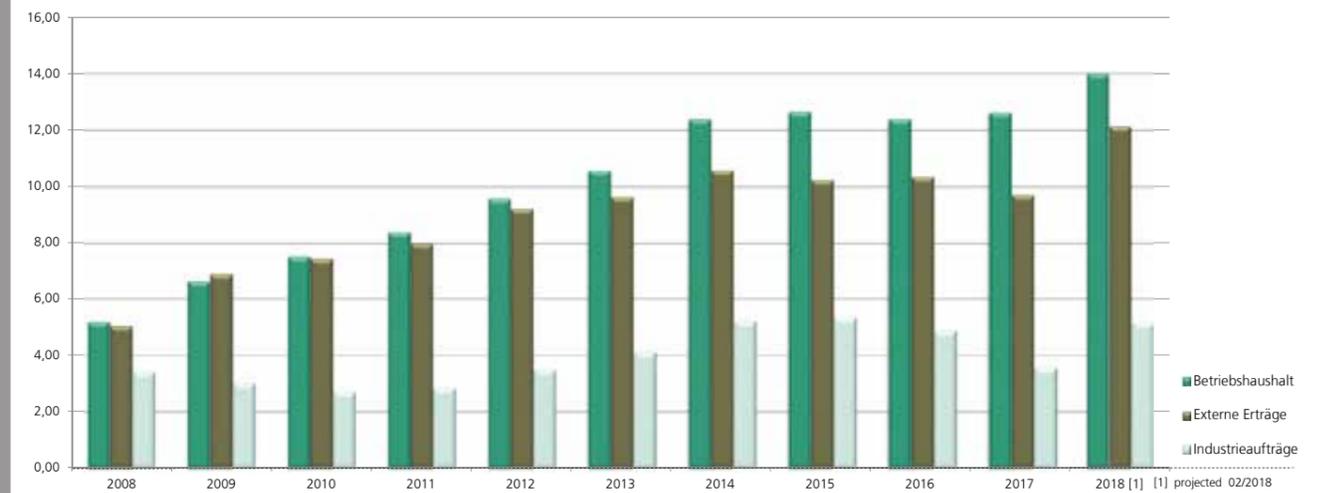
Direktor: Prof. Dr. Thomas Otto Stellvertretende Direktorin: Prof. Dr. Karla Hiller

Abteilung Lithografie und Strukturübertragung Dr. Danny Reuter	Honorarprofessur für Optoelektronische Systeme Prof. Dr. Thomas Otto
Abteilung Schichtabscheidung Dr. Sven Zimmermann	Honorarprofessur für Technologien der Nanoelektronik Prof. Dr. Stefan E. Schulz
Professur für Mikrotechnologie Prof. Dr. Thomas Otto	Honorarprofessur für Zuverlässigkeit von Smart Systems Prof. Dr. Sven Rzepka
Fakultät für Maschinenbau	Exzellenzcluster
Professur für digitale Drucktechnologie und Bebilderungstechnik Prof. Dr. Reinhard R. Baumann	MERGE Prof. Dr. Thomas Otto Martin Schüller
	cfaed Prof. Dr. Stefan E. Schulz Dr. Sascha Hermann

Universität Paderborn

Fachbereich Sensorik Prof. Dr. Ulrich Hilleringmann

ZAHLEN UND FAKTEN



Entwicklung des Fraunhofer ENAS

	Jahr	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Umsatz (in Mio EUR)		5,2	6,7	7,6	8,4	9,6	10,6	12,4	12,65	12,41	12,62
Steigerung Umsatz (bezogen auf 2008)		–	29 %	46 %	62 %	85 %	104 %	138 %	143 %	139 %	143 %
Industrieertrag (in Mio EUR)		3,4	3	2,8	2,8	3,49	4,1	5,2	5,24	4,85	3,54
Invest (in Mio EUR)		0,65	5,45	6,8	1,5	1,81	1,44	7,23	2,02	1,89	2,72
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter		63	73	91	102	104	125	129	127	132	139
Azubis		0	2	3	5	6	7	7	6	7	6
Studenten und Hilfskräfte		10	10	20	40	43	51	51	43	43	35
Publikationen und Vorträge		61	75	114	119	112	215	198	173	176	144
Patente		7	5	13	20	8	17	9	9	12	6
Promotionen		6	0	4	2	3	3	3	5	3	5
Vorlesungen (Technische Universität Chemnitz)		17	17	23	27	24	24	24	24	17	17
Vorlesungen (Universität Paderborn)		8	9	9	8	9	10	7	10	10	11
Vorlesungen (Technische Universität Dresden)		0	0	2	2	2	1	0	0	0	1

Finanzielle Situation und Invest

Das Jahr 2017 war für Fraunhofer ENAS, aufgrund der internen Entwicklungsstrategie, geprägt von starkem Wachstum im Bereich der öffentlichen Projektförderung. Fraunhofer ENAS erwirtschaftete externe Erträge in Höhe von 9,7 Millionen Euro. Die Ertragsquote liegt bei 77,1 Prozent. Beide Werte spiegeln für 2017 die Fokussierung auf die technologische Weiterentwicklung des Institutes im Rahmen Fraunhofer interner Entwicklungsprojekte wider. Diese haben sich im Vergleich zum Vorjahr mehr als verdoppelt. Die Aufträge aus deutschen und internationalen Industrieunternehmen betragen 3,54 Millionen Euro und der Betriebshaushalt von 12,62 Millionen Euro.

Die laufenden Investitionen des Geschäftsjahres betragen 2,72 Millionen Euro. In Summe ergibt sich ein Gesamthaushalt von 15,34 Millionen Euro was einer Steigerung von 1,04 Millionen Euro entspricht.

Personalentwicklung

Ende des Jahres 2017 waren 145 Personen an den Fraunhofer ENAS Standorten Chemnitz, Paderborn und Berlin beschäftigt. 14 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden neu eingestellt, sechs Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wechselten von Fraunhofer ENAS entweder in die Industrie oder in den Ruhestand.

Zwei Auszubildende schlossen 2017 erfolgreich ihre Ausbildung ab. Einer ist seitdem bei Fraunhofer ENAS beschäftigt. In Kooperation mit der TU Chemnitz und der Universität Paderborn haben Studentinnen und Studenten sowie junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Abschlussarbeiten erfolgreich verteidigt.

Ende 2017 waren 35 Praktikanten, Diplomanden/Masterstudenten und studentische Hilfskräfte bei Fraunhofer ENAS beschäftigt. Dieser Mitarbeiterstamm erweist sich in wachsendem Maße als Quelle für den Nachwuchs von Wissenschaftlern und Technikern.

Verwaltungsleiterin:
Dr. Tina Kießling
Telefon: +49 371 45001-210
E-Mail: tina.kiessling@enas.fraunhofer.de

KURATORIUM

Die Kuratorien sind externe Beratungsorgane, die an den Instituten angesiedelt sind. Sie beraten die Institutsleitung und den Vorstand in Fragen der fachlichen Ausrichtung und strukturellen Veränderung des Instituts. Mitglieder in den Kuratorien der Fraunhofer-Institute sind Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und dem öffentlichen Leben. Sie werden vom Vorstand im Einvernehmen mit der Institutsleitung berufen. An den jährlichen Kuratoriumssitzungen nimmt mindestens ein Mitglied des Vorstands teil.

Die Mitglieder des Kuratoriums am Fraunhofer ENAS waren 2017:

Vorsitzender:

Prof. Dr. Udo Bechtloff, Prof. Bechtloff Unternehmensberatung

Stellvertretender Vorsitzender:

Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht, Direktor, Institut für Mikro- und Nanomaterialien, Universität Ulm

Kuratoriumsmitglieder:

MRn Dr. Annerose Beck, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

Jürgen Berger, Bereichsleiter Elektronik und Mikrosysteme, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Dr. Wolfgang Buchholtz, Manager Project Coordination, GLOBALFOUNDRIES Dresden

Dr. Stefan Finkbeiner, Geschäftsführer, Bosch Sensortec GmbH

Prof. Dr. Maximilian Fleischer, Corporate Technology, Siemens AG

Dr. Arbogast M. Grunau, Senior Vice President Corporate R&D, Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Dr. Christiane Le Tiec, CTO Ozone Products, MKS Instruments Deutschland GmbH

MDirigin Barbara Meyer, Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr

MR Hermann Riehl, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Thomas Schmidt, Staatsminister, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Prof. Dr. Ulrich Schubert, Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie, Universität Jena

Uwe Schwarz, Manager Development MEMS Technologies, X-FAB MEMS Foundry GmbH

Prof. Dr. Gerd Strohmeier, Rektor, Technische Universität Chemnitz

Helmut Warnecke, Geschäftsführer, Infineon Technologies Dresden GmbH

Mit Ablauf des Jahres 2017 scheidet Helmut Warnecke aus unserem Kuratorium aus. Wir danken ihm besonders für seine Mitarbeit und Unterstützung in den vergangenen sieben Jahren. Neu in unserem Kuratorium begrüßen wir 2017 Dr. Stefan Finkbeiner und MinR Hermann Riehl.

Wir danken allen Mitgliedern des Kuratoriums insbesondere dem Vorsitzenden Prof. Dr. Udo Bechtloff und dem stellvertretenden Vorsitzenden Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht für ihre Unterstützung.

FRAUNHOFER ENAS – PARTNER FÜR INNOVATIONEN

Als innovativer Partner entwickelt Fraunhofer ENAS Einzelkomponenten, Technologien für deren Fertigung aber auch Systemkonzepte und Systemintegrationstechnologien und überführt sie in die praktische Nutzung. Das FuE-Portfolio reicht dabei von der Idee über Design und Technologieentwicklung oder Realisierung basierend auf existierenden Technologien bis zum getesteten Demonstrator oder Prototyp. Wenn Standardkomponenten nicht in der Lage sind die gestellten Anforderungen zu erfüllen, unterstützt Fraunhofer ENAS den Kunden bei der Realisierung innovativer und marktfähiger Lösungen.

Interdisziplinäre Kooperation – Schlüssel zum Erfolg

Fraunhofer ENAS ist aktives Mitglied in verschiedenen weltweiten, europäischen und regionalen Netzwerken, angefangen bei SEMI und dem Micromachine Center, über EPoSS – der Europäischen Technologieplattform für Smart Systems Integration, Silicon Saxony und IVAM bis hin zum Smart Systems Campus Chemnitz. Die komplette Liste ist im Anhang zu finden.

Kooperationen am Smart Systems Campus

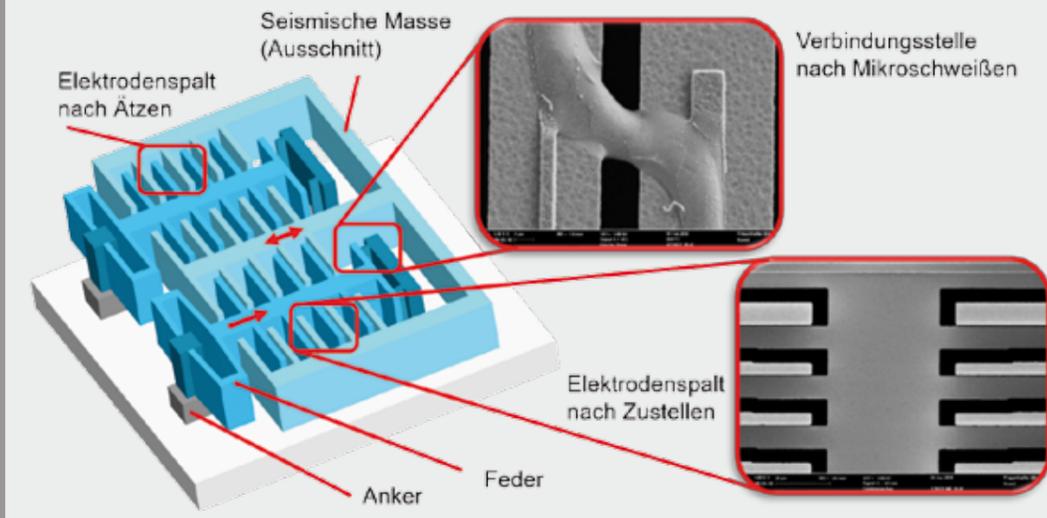
Lokal ist das Fraunhofer ENAS in den Technologie-Campus Reichenhainer Straße, insbesondere in den Smart Systems Campus Chemnitz, integriert. Der Smart Systems Campus ist ein innovatives Netzwerk mit Expertise im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien sowie der Smart Systems Integration. Der Campus verbindet Grundlagenforschung (vorrangig an der TU Chemnitz) und angewandte Forschung mit dem Unternehmergeist junger, neu gegründeter Unternehmen im Start-up-Gebäude sowie am Markt etablierter Unternehmen innerhalb des Businessparks.

Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungsportfolio

- Entwicklung, Design, Packaging und Test von MEMS/NEMS
- Methoden und Technologien für das Wafer-zu-Wafer- und Chip-zu-Wafer-Bonden
- Integration von Nanofunktionalitäten z. B. CNTs, Quantum Dots, Spintronik, Memristoren
- Metallisierung: Interconnect-Systeme für die Mikro- und Nanoelektronik und 3D-Integration
- Beyond CMOS-Technologien
- Simulation und Modellierung von Bauelementen, Prozessen und Equipment für Mikro- und Nanosysteme
- Material- und Zuverlässigkeitsforschung
- Analytik von Materialien, Prozessen, Komponenten und Systemen
- Hochpräzise Sensoren und Aktoren
- Entwicklung gedruckter Funktionalitäten für elektronische Anwendungen
- Anwendungsspezifische drahtlose Daten- und Energiesysteme
- Entwicklung von mikrofluidischen Systemen und Biosensorintegration
- Sensor- und Aktorsysteme mit Steuereinheit, integrierter Elektronik, eingebetteter Software und Benutzerschnittstelle
- Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen

Märkte und Anwendungsfelder

- Halbleiter-, Halbleiterequipment- und Materialhersteller
- Kommunikationstechnik
- Medizintechnik und Lebenswissenschaften
- Landwirtschaft
- Maschinenbau
- Prozesstechnik
- Sicherheit
- Automobilbau
- Logistik
- Luft- und Raumfahrt
- Internet der Dinge



Schema und REM-Aufnahmen einer kapazitiven Detektionsstruktur mit zustellbaren Elektroden.



Foto: Dirk Hanus

Kooperation mit der Industrie

Innerhalb des Arbeitsgebietes Smart Systems Integration unterstützt Fraunhofer ENAS Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von KMUs und Großunternehmen. Durch die Integration von smarten Systemen in vielfältige Anwendungen adressiert Fraunhofer ENAS die unterschiedlichsten Branchen und Märkte.

Die Vertragsforschung ist der am häufigsten genutzte Weg für die Zusammenarbeit des Fraunhofer ENAS mit Industriekunden. Sind allerdings die Aufgabenstellungen zu komplex und risikobehaftet, bieten wir auch Vorlaufforschung an. In solchen Fällen ist es oft zielführend, durch Projektteams aus Industrie und Forschungsinstituten, unter Nutzung öffentlicher Förderung, die anstehenden Fragestellungen zu lösen. Im Jahr 2017 hat Fraunhofer ENAS mit mehr als 150 weltweiten Partnern aus der Industrie über Direktaufträge, gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie in Vorlaufforschungsprojekten zusammengearbeitet.

Transfer von Forschungsergebnissen und Technologien in industrielle Anwendungen

Die anwendungsorientierte Forschung am Fraunhofer ENAS ermöglicht eine wirksame Unterstützung von Innovationen an kleinen und mittelständischen Unternehmen bis hin zu großen, international etablierten Firmen. So wurden beispielsweise technologische Entwicklungen für hochpräzise Inertialsensoren Partnern in Deutschland, Europa und Asien zugänglich gemacht, um dort eigene Fertigungsmöglichkeiten zu erschließen. Weiterhin erfolgt eine enge Kooperation mit MEMS-Foundries, um am Institut entwickelte Designs in eine kommerziell verfügbare Fertigungstechnologie zu überführen und damit auch kleineren Forschungspartnern und Unternehmen den Zugang zu innovativen Lösungen zu ermöglichen.

Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung eines sehr rauscharmen, breitbandigen Beschleunigungssensors, für den eine extrem hohe Sensitivität der kapazitiven Detektion kleinster Bewegungen gefordert wird. Diese Anforderungen können nur durch eine große Strukturhöhe (75 µm) für eine große seismische Masse und eine dauerhafte Reduzierung des Elektrodenpalt gegenüber dem Minimalwert, der ätztechnisch herstellbar ist, erfüllt werden. Nachdem Funktionsdemonstratoren dieser Sensoren mit Fraunhofer ENAS-eigenen MEMS Designs und Technologien erfolgreich erprobt wurden, erfolgt gegenwärtig die Designanpassung an die MFB-MEMS-Technologie der X-FAB GmbH, wo parallel dazu eine Technologieentwicklung zur Erhöhung der Strukturhöhe von 30 µm auf 75 µm durchgeführt wird. Der am Fraunhofer ENAS entwickelte und patentierte Prozess zur Zustellung und dauerhaften Fixierung der späteren Festelektroden nutzt einen Silizium-Mikroschweißprozess, so dass sich eine stoffschlüssige Verbindung bildet (Bild oben). Dadurch lässt sich der Elektrodenpalt von ca. 3 µm bis in den Sub-µm-Bereich auf ca. 500 nm reduzieren, wodurch sich die kapazitive Empfindlichkeit etwa um den Faktor 36 erhöht. Eine spezielle Elektrodenanordnung an einem Waferprober und die gezielte Erzeugung von Schweißstromimpulsen

ermöglicht die effektive Durchführung dieses technologischen Spezialprozesses auf Waferlevel. Es erfolgte ein Technologietransfer dieser Mikroschweißtechnologie zum Entwicklungspartner EDC Electronic Design Chemnitz GmbH, welcher die Sensorelektronik entwickelt und zukünftig als kommerzieller Anbieter dieses Sensorsystems agieren wird.

Kooperationen mit Universitäten und Forschungseinrichtungen

Als zuverlässiger Partner für die Industrie hat das Fraunhofer ENAS ein strategisches Netzwerk mit Forschungsinstituten und Universitäten in Deutschland und weltweit etabliert. Langjährige, internationale Kooperationen existieren mit der Tohoku Universität Sendai, der Fudan Universität Shanghai und der Shanghai Jiao Tong Universität.

Fraunhofer ENAS und die Tohoku Universität arbeiten seit vielen Jahren auf dem Gebiet neuer Materialien für mikroelektronische Systeme zusammen. 2012 wurde das Fraunhofer Project Center »MEMS/NEMS Devices and Manufacturing Technologies at Tohoku University« etabliert, um die Zusammenarbeit weiter zu intensivieren und zu verstetigen. Das Project Center ist daher mittlerweile nicht nur eine Plattform für gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, sondern auch eine Plattform für gemeinsamen FuE-Services für die Industrie.

Darüber hinaus ist das Fraunhofer ENAS eng mit den örtlichen Universitäten, der Technischen Universität Chemnitz und der Universität Paderborn, vernetzt. Die Kooperation mit den Universitäten sichert Synergien zwischen der Grundlagenforschung an der Universität und der stärker anwendungsorientierten Forschung am Fraunhofer ENAS. Der Hauptkooperationspartner an der TU Chemnitz ist das Zentrum für Mikrotechnologien der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik. Diese Kooperation übergreift nicht nur gemeinsame Forschungsprojekte, sondern schließt auch die gemeinsame Nutzung von Geräten und Anlagen, Gebäuden und Infrastruktur ein. Mit der Fakultät für Maschinenbau stehen die Themen gedruckte Funktionalitäten und Strukturleichtbau im Fokus der Kooperation. Die Abteilung Advanced System Engineering des Fraunhofer ENAS ist nicht nur örtlich an der Universität Paderborn beheimatet. Sie arbeiten überdies in den Bereichen elektromagnetische Zuverlässigkeit und Verträglichkeit, drahtlose Energie- und Datenübertragung sowie drahtlose Sensorknoten für den Maschinenbau zusammen.

www.enas.fraunhofer.de/de/ueber_uns/kooperationen/01/fraunhofer-project-center

www.zfm.tu-chemnitz.de

www.uni-paderborn.de

Mehrfach exzellent – Kooperationen innerhalb der Exzellenzcluster

Mit der Exzellenzinitiative fördernden Politik und Wissenschaft bis Oktober 2017 herausragende Projekte und Einrichtungen an den Hochschulen. An sie schließt sich eine neue Bund-Länder-Initiative zur Förderung universitärer Spitzenforschung an. Bis zu deren Inkrafttreten werden die

FRAUNHOFER ENAS – PARTNER FÜR INNOVATIONEN

aktuellen Projekte über eine Übergangsfinanzierung weiter gefördert. Fraunhofer ENAS und das Zentrum für Mikrotechnologien der Technischen Universität Chemnitz arbeiten in zwei dieser Exzellenzcluster.

Merge Technologies for Multifunctional Lightweight Structures – MERGE

Der Exzellenzcluster der Technischen Universität Chemnitz »Merge Technologies for Multifunctional Lightweight Structures – MERGE« wird von Prof. Kroll, Direktor des Instituts für Leichtbau der Fakultät für Maschinenbau koordiniert.

Das Ziel der Forschung am Chemnitzer Bundesexzellenzcluster MERGE ist die Fusion großserientauglicher Basistechnologien aus den Bereichen Kunststoff, Metall, Textil und Smart Systems zur Entwicklung ressourceneffizienter Produkte und Produktionsprozesse. Mehr als 100 Forscher und Forscherinnen sowie Techniker und Technikerinnen aus insgesamt sechs interagierenden Forschungsbereichen arbeiten an der Umsetzung des Projekts. Das Fraunhofer ENAS arbeitet maßgeblich im Forschungsbereich D, der Mikro- und Nanosystemintegration.

www.tu-chemnitz.de/MERGE

Center for Advancing Electronics Dresden cfaed

Das »Center for Advancing Electronics Dresden cfaed« arbeitet an der Entwicklung Erfolg versprechender Technologien für die Mikro- und Nanoelektronik. Ziel ist es, CMOS-Technologien um völlig neuartige Technologien zu ergänzen und zu erweitern und damit elektronische Informationsverarbeitungssysteme der Zukunft zu entwickeln. Beheimatet ist der von Prof. Fettweis geleitete Cluster an der TU Dresden. In den interdisziplinären Forschungsteams arbeiten Wissenschaftler und Techniker von 11 Forschungseinrichtungen in 9 Forschungspfaden. Fraunhofer ENAS und das Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz arbeiten gemeinsam im Kohlenstoffpfad (carbon path) und im BAC-Pfad (biomolecular assembled circuit path). Im Kohlenstoffpfad werden CNT-FETs entwickelt und die Technologie für Prototypen auf Waferebene umgesetzt. Die Anwendungen zielen auf analoge Hochfrequenzschaltkreise ab. Im BAC-Pfad arbeiten die Chemnitzer an der Strukturierung auf Waferebene, welche erforderlich für die Selbstorganisation der DNA ist.

www.tu-dresden.de/cfaed

Kooperationen innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft

Seit seiner Gründung ist das Fraunhofer ENAS Mitglied im Fraunhofer-Verband Mikroelektronik (V μ E). Darüber hinaus ist Fraunhofer ENAS in den Fraunhofer-Allianzen Nanotechnologie, auto-MOBIlproduktion und Textil aktiv. Themenorientiert arbeitet das Fraunhofer ENAS außerdem in den Fraunhofer-Clustern 3D-Integration sowie Nanoanalytik.



Kick-off-Veranstaltung zum
Fraunhofer-Leitprojekt
»Go Beyond 4.0« .
Foto: Ines Escherich für die
Fraunhofer-Gesellschaft

Gemeinsam mit weiteren Instituten des V μ E ist Fraunhofer ENAS Teilnehmer der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (siehe Kapitel Strategie) und Mitglied in der Heterogeneous Technology Alliance (HTA). Die HTA verbindet die Europäischen Forschungspartner CEA-LETI, CSEM, VTT mit dem V μ E. Gemeinsam bieten sie die Entwicklung von Mikrotechnologien, Nanoelektronik und intelligenten Systemen für zukünftige Produkte an.

Um Lösungen für Herausforderungen der deutschen Industrie zu liefern, setzt die Fraunhofer-Gesellschaft mit Leitprojekten strategische Schwerpunkte. Ziel der Leitprojekte ist das Ausschöpfen des Fraunhofer-Synergiepotenzials durch Zusammenführung von Kompetenzen mehrerer Fraunhofer-Institute. Fraunhofer ENAS leitet und koordiniert das im Dezember 2016 gestartete Leitprojekt »Go Beyond 4.0«. Im Leitprojekt »Theranostische Implantate« arbeitet Fraunhofer ENAS gemeinsam mit elf weiteren Instituten an intelligenten Implantaten. Das dritte Leitprojekt, an dem Fraunhofer ENAS beteiligt ist, »eHarsh« beinhaltet die Entwicklung und Bereitstellung einer Technologieplattform, auf deren Basis Sensorsysteme für den Einsatz in extrem rauer Umgebung entwickelt und hergestellt werden können.

Das Fraunhofer-Konzept der Leistungszentren bündelt und vernetzt innerhalb einer Region die Kompetenzen von Instituten und Hochschulen. Fraunhofer ENAS arbeitet in zwei Leistungszentren. Das Leistungszentrum »Smart Production« wurde im September 2017 eröffnet. Das Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« arbeitet seit 2016 und wurde 2017 positiv evaluiert.

Leitprojekte

Go Beyond 4.0

Industrieübergreifend wächst der Bedarf an innovativen, individualisierten Bauteilen für die Zukunftsmärkte Automotive, Aerospace, Photonics und Manufacturing. Die hochqualifizierten Funktionalitäten der entsprechenden Bauteile werden durch den Einsatz moderner Funktionswerkstoffe realisiert. Im Leitprojekt »Go Beyond 4.0« soll die Serienproduktion von Zukunftsprodukten bis hin zur Losgröße eins durch die Integration der digitalen Fertigungsverfahren Digitaldruck als materialhinzufügendes Verfahren und Laserbearbeitung als materialabtragendes Verfahren in existierende Massenfertigungsumgebungen demonstriert werden. Um das zu erreichen, bündeln die Fraunhofer-Institute ENAS, IWU, IFAM, ILT, IOF und ISC disziplinübergreifend ihre Kompetenzen aus den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Photonik und Materialwissenschaften. Dem Konzept folgend wird die zuverlässige 0-Fehlerproduktion systematisch in die Prozessketten zur Herstellung von Produktdemonstratoren integriert. Die Produktdemonstratoren stammen aus den Fertigungsdomänen Automobilbau, Luftfahrt und Beleuchtung: Smart Door, Smart Wing und Smart Luminaire. Hierzu werden die digitalen Fertigungstechnologien Digitaldruck und Laserbearbeitung an die Geometrien der jeweiligen Demonstratoren adaptiert und an die Eigenschaften der Materialien angepasst.

www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/fraunhofer-go-beyond-40

FRAUNHOFER ENAS – PARTNER FÜR INNOVATIONEN



Eröffnung des Leistungszentrums »Smart Production« in der E³-Forschungsfabrik des Fraunhofer IWU.
Foto: Fraunhofer IWU

Theranostische Implantate

Theranostische Implantate sind komplexe implantierbare medizinische Produkte, die diagnostische und therapeutische Eigenschaften in einem System vereinen. Die Anforderungen an solche Implantate der nächsten Generation sind enorm: hohe Komplexität bei geringer Baugröße und geringem Gewicht, stabile Funktionsweise im Körper in einem feuchten und warmen Milieu, umgeben von ständigem Zellwachstum. Entscheidende Faktoren sind die Biokompatibilität im Körper sowie die Energieversorgung. Das Konsortium konzentriert sich besonders auf Technologieplattformen für Energie- und Signallösungen sowie auf die Langlebigkeit und Verträglichkeit der Implantate.

Die dauerhafte Überwachung von Vitalwerten hilft dabei, therapeutische Maßnahmen gezielt einzusetzen. In dem Fraunhofer-Leitprojekt arbeiten zwölf Fraunhofer-Institute (Leitung Fraunhofer IBMT) daran, gemeinsam in drei Teilprojekten Demonstratoren mit Fokus auf das Skelett, das Herz-Kreislauf- sowie das neuromuskuläre System aufzubauen. Fraunhofer ENAS forscht in zwei Teilprojekten an miniaturisierten Sensoren, Energieübertragung und -speicherung, Kommunikation und an Packaging- und Integrationsaspekten sowie biokompatiblen Verkapselungstechnologien.

eHarsh

Ziel des Leitprojekts »eHarsh« ist die Entwicklung und Bereitstellung einer Technologieplattform, auf deren Basis Sensorsysteme, bestehend aus Sensorik und Elektronik, für den Einsatz in extrem rauer Umgebung »extreme harsh environment« entwickelt und hergestellt werden können.

Das Konsortium, sieben Institute unter Leitung des Fraunhofer IMS, adressiert damit den schnell zunehmenden Bedarf an intelligenten Steuerungs- und Kommunikationstechniken in Industrie und Gesellschaft, insbesondere in den für Fraunhofer interessanten Forschungsfeldern »Mobilität und Transport«, »Energie und Rohstoffe« sowie »Produktion und Dienstleistungen«.

Im Rahmen des Leitprojekts werden robuste Sensoren für den Einsatz bis 500 °C sowie MEMS-Sensoren, integrierte Schaltungen und Systemkomponenten für den Einsatz bis 300 °C (weiter-)entwickelt und bereitgestellt. Parallel dazu wird an hermetisch dichten Verkapselungen, 3D-Integration und Verkapselung auf Systemebene als »System-Scaled Package«, Analytik, Test und Zuverlässigkeitsanalysen und -modellierungen gearbeitet. Das Fraunhofer ENAS arbeitet insbesondere auf den Themenfeldern MEMS-Beschleunigungssensoren für Geothermie (Betrieb bis 300 °C), Entwicklung langzeitstabiler hermetischer Verkapselung mit integrierten keramischen Fenstern für das Geothermie Sensorsystem sowie Zuverlässigkeit.

www.fraunhofer.de/del/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/fraunhofer-theranostische-implantate

www.fraunhofer.de/del/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/eleharsh

Leistungszentren

Leistungszentrum Smart Production

Das Leistungszentrum Smart Production, unter Beteiligung des Fraunhofer IWU, des Fraunhofer ENAS und der TU Chemnitz, entwickelt interdisziplinär neue Technologien zum Thema Digitalisierung der Produktion. Künftig wird das Leistungszentrum zentrale Drehscheibe für strategische Forschungs- und Transferprojekte sein, dabei kleine und mittlere Unternehmen aktiv einbeziehen sowie den Innovations- und Wissenstransfer in die Wirtschaft nachhaltig unterstützen. Ziel des Leistungszentrums ist es, Entwicklungen für die digitale industrielle Produktion schnellstmöglich von der universitären und außeruniversitären Forschung in die Wirtschaft zu übertragen. Schwerpunktthemen und Forschungsziele des Leistungszentrums sind interdisziplinäre und profilbildende Forschung, Digitalisierung der Produktion, intelligente Fabrik, Smart Materials und Industrie 4.0.

Darüber hinaus stehen die Stärkung des Innovations- und Wissenstrfers, die international sichtbare und nachhaltige Positionierung des Forschungsstandorts, das Kooperationsnetzwerk regionaler Unternehmen mit Inkubator-Funktion für Start-ups und die Gewinnung von Talenten und Spitzenforschern themenübergreifend im Fokus.

www.leistungszentrum-smart-production.de

Leistungszentrum Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik

Das Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« wurde als Pilot-Leistungszentrum mit einer Laufzeit vom 12.2.2016 bis 31.12.2017 konzipiert. Am 30. November 2017 wurden die Arbeit und die Ergebnisse erfolgreich unter Beteiligung von externen Gutachtern aus Politik, Wirtschaft und Forschung durch die Fraunhofer-Gesellschaft evaluiert. Ziel des Leistungszentrums war es, ein Eco-System für die schnelle Überführung von Forschungsergebnissen in innovative Produkte bereitzustellen und so die Stärken des Standorts weiterzuentwickeln. Neben der Bereitstellung von inhaltlichen wie organisatorischen Voraussetzungen sollte bereits in dieser Pilotphase die Wirksamkeit des Leistungszentrums durch intensive Beteiligung der Industrie nachgewiesen werden. Partner waren die Fraunhofer-Institute IPMS, ENAS, EAS/IIS, IZM/ASSID und die Hochschulen TU Dresden, TU Chemnitz und der HTW Dresden.

Das fachliche Profil des Leistungszentrums konzentrierte sich auf Technologien für die durchgängige Entwicklung integrierter mikro- und nanoelektronischer Systeme:

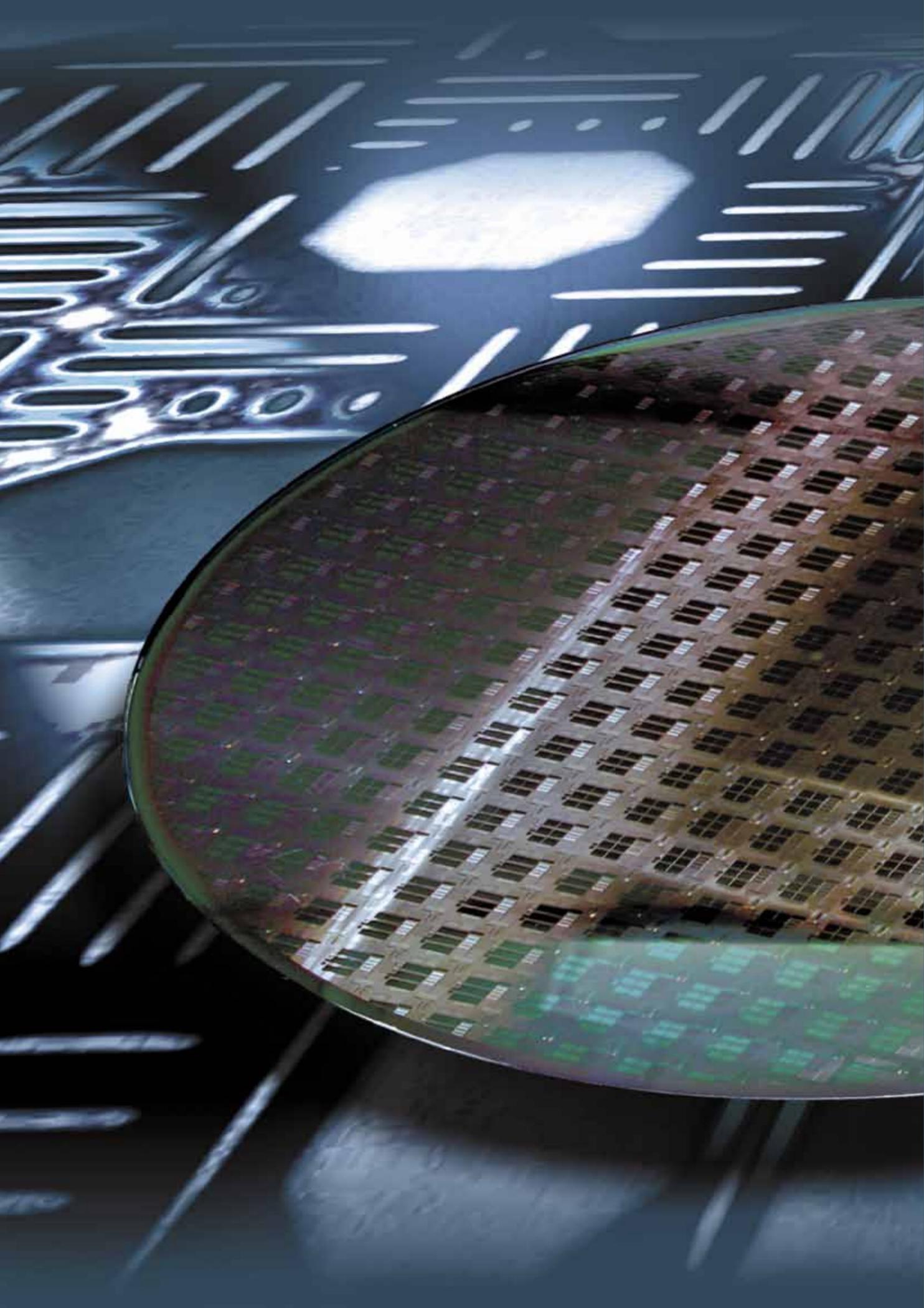
- Vom Systementwurf über Komponentenentwicklung und deren Systemintegration bis hin zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Demonstratoren für technologische und Systementwicklungen, z.B. für Industrie 4.0 und IoT Innovationen, sind verfügbar

Die Projektarbeit wurde aus Mitteln des Freistaats Sachsen und Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft finanziert. Basierend auf den Vorlaufentwicklungen wurden durch die Projektpartner Industrieaufträge in einer Gesamthöhe von mehr als 6 Millionen Euro eingeworben. Das Leistungszentrum wird als Transferzentrum ausgebaut und für die Jahre 2018 bis 2020 mit neuen Projekten finanziert.

www.leistungszentrum-mikronano.de



GESCHÄFTSFELDER



MICRO AND NANO ELECTRONICS

Die Mikro- und Nanoelektronik gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Die fortschreitende Skalierung (More Moore), die Integration unterschiedlichster Funktionalitäten (More than Moore) sowie die Entwicklung neuer nichtsiliziumbasierter Materialien (Beyond CMOS) gehören zu den gefragtesten Themen. Das Geschäftsfeld fokussiert dabei vor allem auf:

Prozesse und Technologien für die Mikro- und Nanoelektronik mit Fokus auf Back-End of Line und Interconnects

Im Themenfeld Interconnects werden Einzelprozessentwicklungen (Metall-ALD, CVD, ULK-Prozesse, Trockenätzen), neue Konzepte zu Diffusionsbarrieren und alternative Interconnect-Architekturen zur Reduzierung parasitärer Effekte (Airgaps, alternative ULK-Integration) bearbeitet.

Modellierung und Simulation technologischer Prozesse, Anlagen und Bauelemente

Die experimentellen Entwicklungen werden durch die Simulation technologischer Prozesse (PVD, CVD, ALD, ECD), Anlagen und Bauelemente gestützt. In diesem Themenfeld werden weiterhin Bauelemente-Modellierung und -simulation von CMOS- und anderen Nanobauelementen (z. B. CNT-FETs) sowie Blackbox-Modellierung und ereignisgesteuerte Modellierung und Simulation realisiert.

Beyond-CMOS- und HF-Bauelemente sowie integrierte Schaltungen und Technologien

Das Themenfeld umfasst Entwicklungen zu Hochfrequenzschaltern, CNT-FETs und memristiven Bauelementen sowie Schaltungen.

Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) und (Heterogene) Integration (2D, 2,5D, 3D) für elektronische Bauelemente

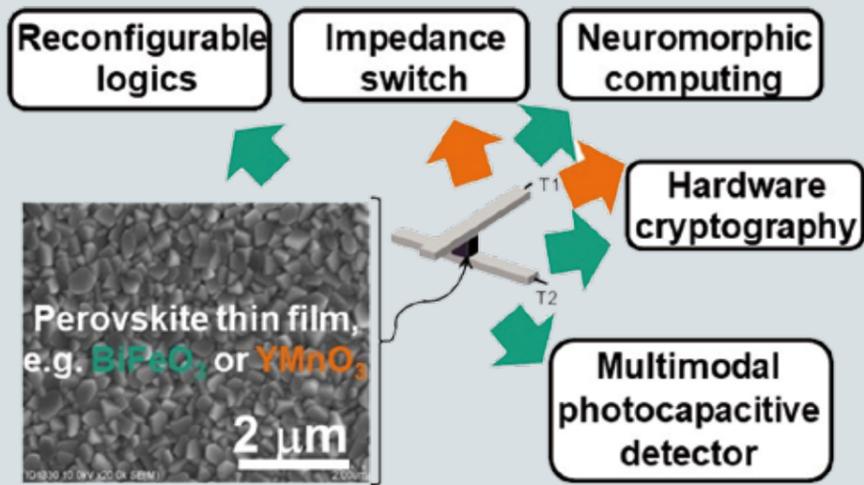
Im Themenfeld AVT werden vorrangig Prozessentwicklungen für die Integration elektronischer Bauelemente mit Fokus auf Waferlevel-, Füge- und Kontaktierungsverfahren, Dünnschichtverpackung und Siebdruck für Metallisierung/Lotabscheidung durchgeführt.

Elektromagnetische und thermomechanische Charakterisierung und Zuverlässigkeitsbewertung

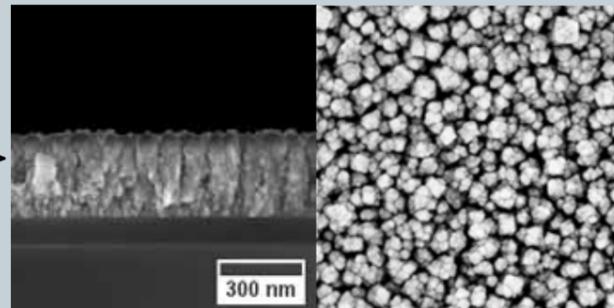
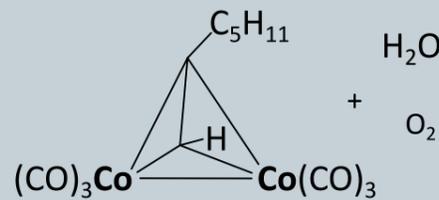
Dieses Themenfeld adressiert BEOL-Komponenten, die Chip-Package-Wechselwirkung sowie Zuverlässigkeitsbewertungen im Board- und System-Level. Dabei wird sowohl die thermomechanische Zuverlässigkeitsanalyse und optimale Auslegung für elektronische Bauelemente, Baugruppen und Systeme als auch die simulative thermo-elektrische Zuverlässigkeit auf System-(PCB) und Package-Ebene bearbeitet.

GESCHÄFTSFELD-MANAGER

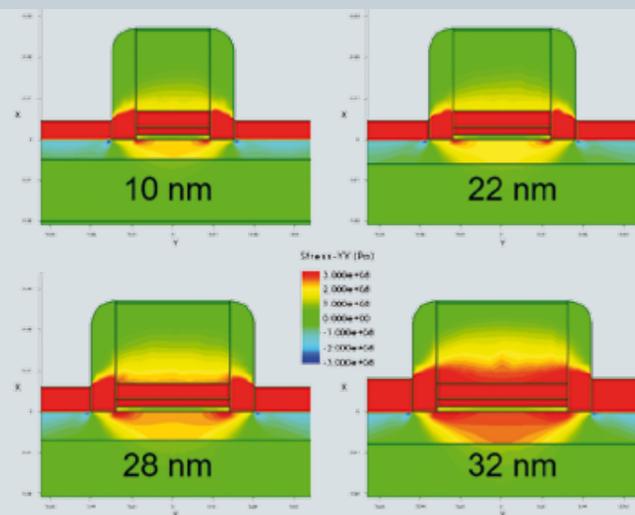
Prof. Dr. Stefan E. Schulz
+49 371 45001-232
stefan.schulz@enas.fraunhofer.de



Rastermikrowellenaufnahme der Oberfläche eines BiFeO₃-Films in einem BiFeO₃-Widerstandsschalter mit Bit-Line (T1) und Word-Line (T2) und eine schematische Darstellung der möglichen Anwendungsfelder von nichtflüchtigen, rekonfigurierbaren Widerstandsschaltern.



Schematische Darstellung der Cobaltoxid-CVD mit verwendetem Precursor und Co-Reaktand sowie REM-Aufnahmen der resultierenden Schicht.



Verspannung in FDSOI-Transistoren verschiedener Technologieknoten. Mit Verkleinerung der Abmessungen wird der Verspannungseintrag vom Raised Source Drain in den Kanal weniger effizient.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- INTERCONNECTS UND BEOL-INTEGRIERTE FUNKTIONALITÄTEN
- BAUELEMENTE-SIMULATION

MICRO AND NANO-ELECTRONICS

NICHTFLÜCHTIG REKONFIGURIERBARE WIDERSTANDSSCHALTER

Die Entwicklung von memristiven, oxidischen Schaltern hat auch das Interesse am feldverstärkten Hopping-Transport von Sauerstoff-Vakanzen geweckt, da memristive oxidische Schalter eine ultra-nichtlineare Schaltcharakteristik aufweisen. Eine optimierte Arbeitsweise erfordert ein Widerstandsschalten (SET und RESET) innerhalb von wenigen Nanosekunden nach Anlegen einer Schreibspannung und bis zu 10 Jahre stabile ON- und OFF-Widerstandszustände. Das nichtlineare Ionendrift-Modell von Mott-Gurney und ein quasistatisches Testprotokoll wurde angewendet, um den Einfluss eines elektrischen Feldes auf die nichtlineare Ionentransportrate in memristiven Au/BiFeO₃-(BFO)/Pt/Ti-Widerstandsschaltern zu untersuchen. Memristives Bismut-Eisenoxid (BFO) zeigt exzellentes bipolares Widerstandsschalten mit Langzeit-Retention und stabiler Endurance bis zu 85 °C. Darüber hinaus ist das Widerstandsschalten in BFO ein elektroformierungsfreies Grenzflächenschalten ohne Joule-Heating und die gemessene Erhöhung der Ionentransportrate kann eindeutig auf einen feldverstärkten Hopping-Transport zurückgeführt werden.

CHEMISCHE GASPHASENABSCHIEDUNG VON COBALTOXIDEN BEI NIEDRIGEN TEMPERATUREN

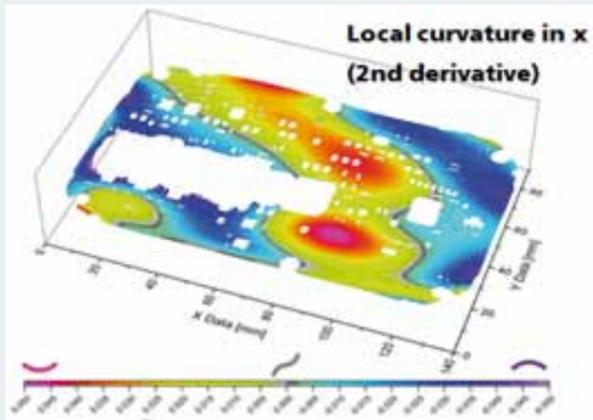
Cobaltoxide sind vielversprechende Materialien für vielfältige Anwendungen. Sie können als Katalysator für die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, als Aktivmaterialien von Gassensoren oder als Elektrodenmaterial für leichte wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden. Die Entwicklung eines Niedrig-Temperatur-Abscheidungsverfahrens von Cobaltoxiden ist ein Schlüssel für die Entwicklung und Fertigung von flexiblen Speichersystemen, welche erweiterte Anwendungsszenarien von »Wearables« ermöglichen. Um diese Prozessanforderungen zu erfüllen, wurde das Dicobaltatetrahedran [Co₂(CO)₈(η²-H-C≡C-ⁿC₅H₁₁)] als Precursor

für die chemische Gasphasenabscheidung untersucht. Als mögliche Coreaktanden wurden Sauerstoff, Wasserdampf und ein Gemisch aus beiden untersucht. Speziell feuchter Sauerstoff zeigt sich als geeignetes Oxidationsmittel, mit dem Schichten hoher Dichte und Reinheit in einem Temperaturbereich von 130 °C bis 250 °C hergestellt werden können. Ein Schichtwachstum setzt bereits bei 100 °C ein, was zeigt, dass dieses Verfahren geeignet ist, um flexible und temperaturempfindliche Substrate zu beschichten.

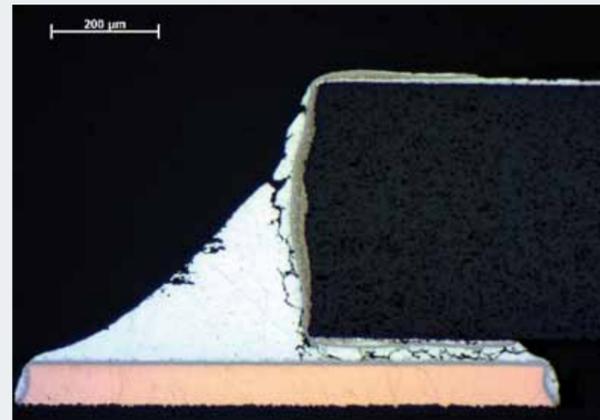
SIMULATION MECHANISCHER VERSPANNUNGEN IN BAUELEMENTEN DER 22 NM FDSOI-TECHNOLOGIE

Fully Depleted Silicon On Insulator (FDSOI) ist der europäische Ansatz für höchstintegrierte, energieeffiziente mikroelektronische Bauelemente. Im Projekt WAYTOGOFAS, Teil der europäischen Initiative ECSEL, erforscht ein großes industriegetriebenes Konsortium FDSOI-Bauelemente für die 22 nm Technologie und für die weitere Miniaturisierung. Mechanisch verspannte Transistorkanäle dienen der Erhöhung der Ladungsträgermobilität. Maßgeschneiderte Verspannung ist somit ein Schlüssel für leistungsfähige und energieeffiziente FDSOI-Bauelemente. Viele Faktoren, wie die Bauteilgeometrie, Prozessdetails sowie die Vorspannung der ultradünnen Siliziumschicht auf dem Wafer, beeinflussen die eigentliche Verspannung im Transistorkanal. Wissenschaftler des Fraunhofer ENAS haben die Verspannung in 22 nm FDSOI-Bauelementen modelliert und simuliert. Die Verspannungssimulationen erlauben einzigartige Einblicke in das Wechselspiel zwischen Mechanik und Elektronik nanoskaliger Bauelemente. Es konnten einige Schlüsselparameter identifiziert werden, die einen dramatischen Einfluss auf die Verspannung und somit auf die Leistungsfähigkeit der Bauteile haben. Durch Untersuchung eines sehr großen Parameterraums konnte gezeigt werden, dass Prozessvariationen, die bei der Bauteilfertigung unvermeidlich auftreten, zu enormen Verschlechterungen der Eigenschaften der Bauelemente führen können.

MICRO AND NANOELECTRONICS



Verteilungsstruktur lokaler Verwölbungen auf einer montierten Leiterplatte mit Steuereinheiten eines Automobils unter thermischer Belastung.



Charakteristische Rissbildung in SAC-Lötstellen nach acht Jahren Zykluszeit.

SYSTEMISCHE UND LANGZEIT-EFFEKTE AUF DIE ZUVERLÄSSIGKEIT VON LÖTVERBINDUNGEN FÜR DIE MOBILITÄT DER ZUKUNFT

Angesichts der sehr hohen Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanforderungen, die für die Entwicklung elektronischer Systeme in Anwendungen Richtung autonomes Fahren von besonderer Bedeutung sind, kann ein erneutes Interesse an der Zuverlässigkeitsanalyse und -vorhersage für elektronische Verbindungen festgestellt werden. Ein Schwerpunkt ist die Beständigkeit von bleifreien Lötverbindungen.

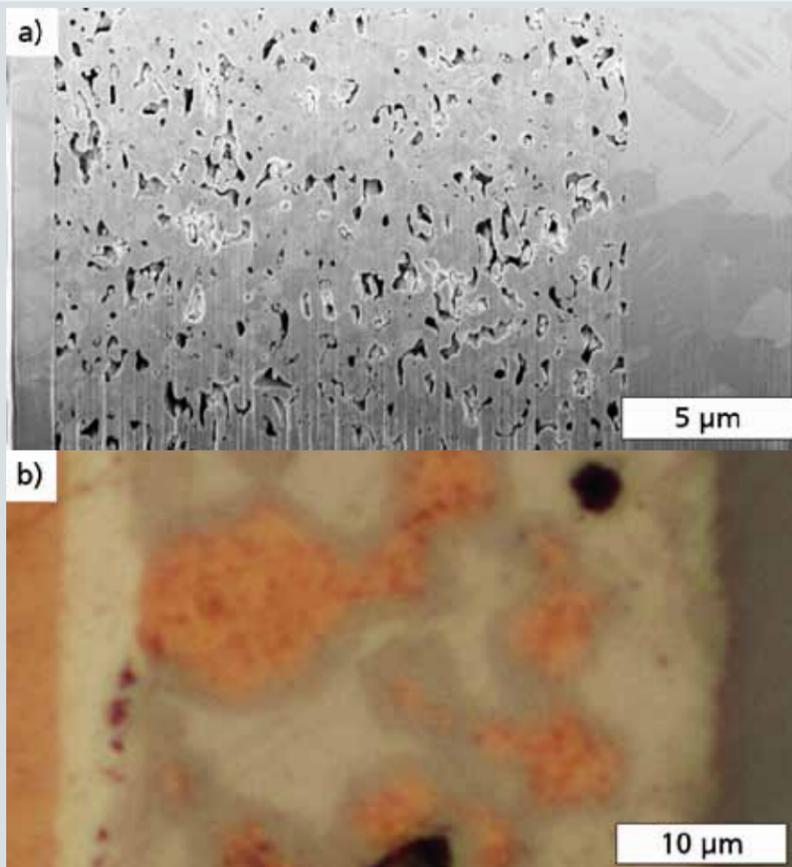
Theoretische Modellierung ist weit verbreitet, um Risiken von thermo-mechanisch induziertem Versagen in elektronischen Systemen zu bewerten. Die Komplexität der Modelle ist jedoch sowohl in Bezug auf die Systemgeometrie, z. B. komplett montierte Einheiten, als auch in Bezug auf die Bewertungskriterien, die häufig Systemwirkungen nicht berücksichtigen, noch begrenzt. Daher wurde eine Methodik entwickelt, die Mess- und Simulationstechniken kombiniert, um die Zuverlässigkeitsbewertung auf Bord- und Systemebene zu verbessern. Es wurde ein optisches Multisensor-Messsystem entwickelt, das in der Lage ist, präzise Deformationsmessungen von Platinen in elektronischen Steuergeräten (ECUs) von globaler bis lokaler Ebene durchzuführen. Die hohe Präzision, die über der von bisher verwendeten Lösungen liegt, ermöglicht insbesondere die Messung von Bauteilverformungen bis in den Nanometerbereich unter Systembelastungsbedingungen. Zusätzlich erlauben Software-Tools die Bestimmung abgeleiteter Größen wie Dehnungen, lokale Krümmungen und lokale Verzugsradialen. Letzteres kann als Input für FE-Simulationen verwendet werden.

Eine weitere Herausforderung von allgemeinem Interesse ist ein Missionsprofil-Transformationsprozess bis hin zu relevanten mechanischen, thermischen und elektrischen Schnittstellen betroffener Komponenten. Die Qualität und Präzision der Beschleunigungsmodelle muss auch bei Lötstellen neu untersucht werden. Um die theoretischen

Modelle zu kalibrieren, wird seit mehr als acht Jahren ein typischer thermischer Feld-Zyklus-Test mit langsamen Temperaturschwankungen (20/90 °C) und einer relativ langen Verweilzeit (6 h) durchgeführt. Die rechte obere Abbildung auf Seite 32 zeigt die Rissbildung von SAC-Lötstellen nach acht Jahren Zykluszeit.

POWER PACKAGING: SILBER- UND KUPFER-ZINN-SINTERN FÜR LEISTUNGSELEKTRONIK

Der Markt für Power Packaging wächst jedes Jahr um etwa 8 Prozent. Höhere Leistungsdichten, geringere Kosten, höhere Zuverlässigkeit und ein höherer Integrationsgrad erfordern neue Verpackungskonzepte und -materialien. Ein kritischer Punkt ist die Chipbefestigung, die zu einem vorzeitigen Ausfall eines Powermoduls führen kann. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes untersuchte das Fraunhofer ENAS in Kooperation mit SHINKO (Japan) Silbersintermaterialien, aber auch Ttransient-Liquid-Phase-(TLP)-basierte Pasten für innovative Die-Attach-Materialien. Um optimale Prozessparameter zu erhalten, wird ein Parameter-Screening für das Die-Attach-Material durchgeführt. Hierbei müssen die Druckparameter, die Trocknungsbedingungen und der Bondprozess berücksichtigt werden. Im Allgemeinen zeigen die Parameter für das Bonden den größten Einfluss. Es ist notwendig, die Bondtemperatur niedrig zu halten, um die Proben bei nicht übereinstimmenden Wärmeausdehnungskoeffizienten nicht zu zerbrechen. Beispielhaft sind die resultierenden Bondzwischen-schichten nach dem Bonden in den unteren Abbildungen (a und b) auf Seite 32 dargestellt. Die Proben wurden im Prüfstand für aktive Lastwechseltests (Active Power Cycling) getestet. Üblicherweise können Ausfälle von Testmustern in zwei Hauptfehler klassifiziert werden: Die-Attach- oder Drahtbondfehler. Bis zum aktuellen Stand der Untersuchungen zeigen die Ergebnisse, dass Drahtbondfehler im Vergleich zu Die-Attach-Fehlern bei beiden Materialien dominieren, was auf eine hohe Modulzuverlässigkeit hindeutet.



In Kooperation mit



Die-Attach-Interface:

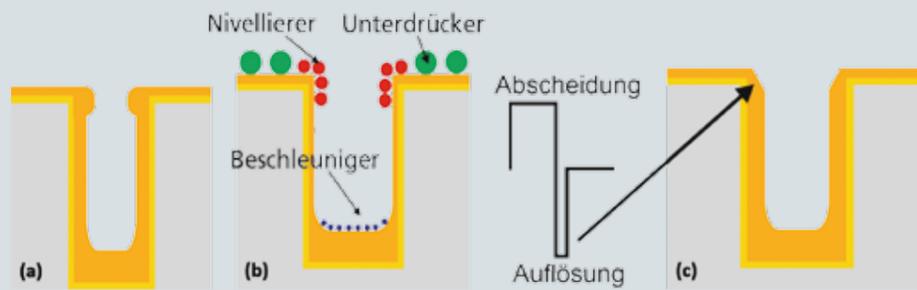
a) gesintertes Silber bei 250 °C gebondet,

b) CuSn bei 225 °C gebondet.

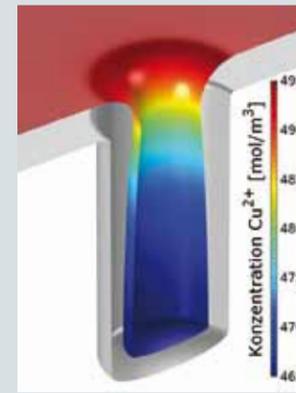
FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

PACKAGING UND ZUVERLÄSSIGKEIT

MICRO AND NANOELECTRONICS



Bei konventioneller ECD erfolgt die Abscheidung bevorzugt an der TSV-Öffnung (a). Zur Verbesserung der Konformität kommen chemische Additive (b) oder das Prinzip der gepulsten Abscheidung mit Umkehrpuls (c) zum Einsatz.



TSV-Modell (grau, \varnothing 50 μm , Tiefe 100 μm) mit simulierter Kupferschicht (farbige Oberfläche) nach 3 h ungepulster Abscheidung mit Stromdichte 0,4 A/dm².

SIMULATION DER GEPULSTEN ELEKTROCHEMISCHEN ABSCHIEDUNG VON KUPFER IN THROUGH SILICON VIAS MIT HOHEM ASPEKTVERHÄLTNIS

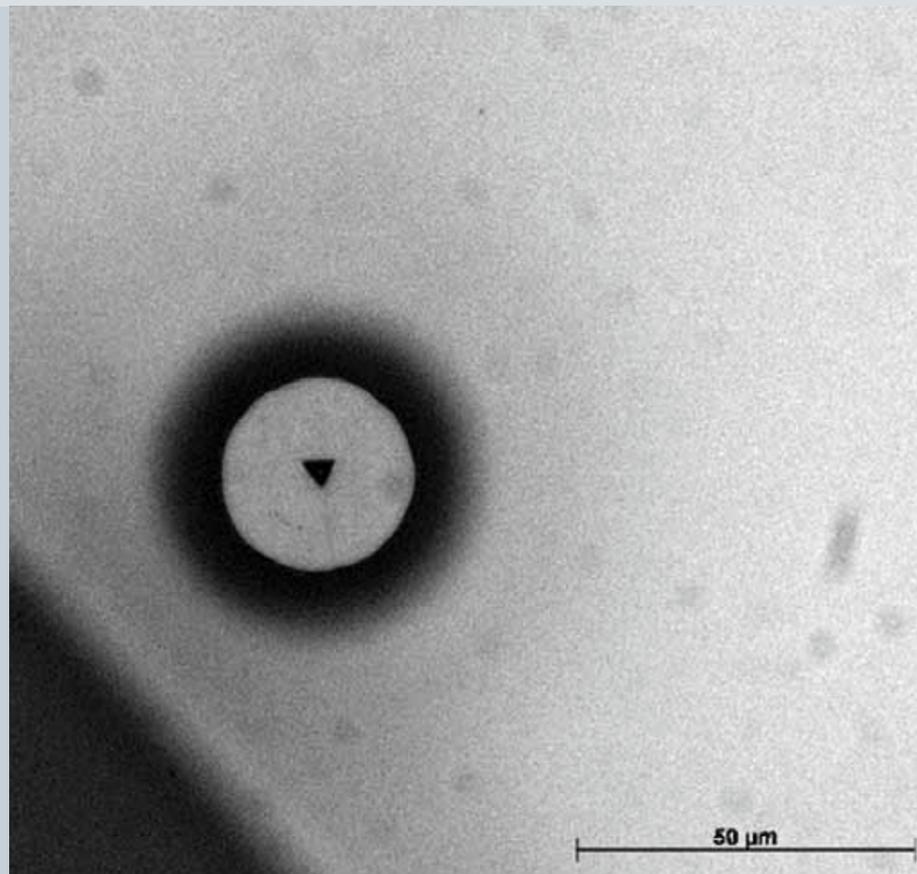
Für die 3D-Integration sind Silizium-Durchkontakte (engl. through silicon via, TSV) mit hohem Aspektverhältnis von entscheidender Bedeutung für die Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Im Projekt VEProSi wird ein vereinfachter Prozess für die elektrochemische Abscheidung (engl. electrochemical deposition, ECD) von Metallen in TSVs entwickelt.

Eine möglichst konforme elektrochemische Beschichtung in Löchern, mit den für TSV typischen hohen Aspektverhältnissen, stellt noch immer eine große Herausforderung dar, der bisher mit dem Einsatz teurer und umweltschädlicher Chemikalien (Additive) begegnet wird. Eine Alternative stellt die gepulste Abscheidung mit Umkehrpulsen dar. Dieser Prozess wurde am Fraunhofer ENAS auf Basis der Nernst-Planck-Gleichung modelliert und mittels Finite Elemente Methode für eine Vielzahl von Pulsparametern simuliert.

Es konnte gezeigt werden, dass auch ohne Einsatz von Additiven deutlich konformere Schichten erzielt werden können. Dabei stehen die Anforderungen nach kurzen Prozesszeiten und guten Konformitäten in Konkurrenz zueinander. Aus der Fülle der Simulationsergebnisse leiten sich Empfehlungen für eine optimierte Prozessführung ab.

PARAMETERIDENTIFIKATION MIT NANOINDENTER

Kontinuierliches Downsizing und die Integration multipler Features in mikroelektronische Schaltungen erhöhen kontinuierlich ihre strukturelle Komplexität. Dies gilt auch für Vias durch Silizium (TSV), bei denen die mechanische Charakterisierung des Kupfers im TSV aufgrund der geringen Größe mit klassischen Methoden der Materialcharakterisierung nicht realisierbar ist. Die instrumentierte Nanoindentation stellt jedoch bei Verwendung mehrerer Indenterspitzen einen vielversprechenden Ansatz dar. Eindeutige Lösungen für elastisch-plastisches Materialverhalten konnten unter Verwendung von Berkovich- und Cube-Corner-Indenterspitzen erzielt werden. Die ermittelten Kraft-Weg-Kurven wurden durch Finite-Elemente-Modellierung und Simulation unter der Annahme isotroper Verfestigung (Ramberg-Osgood) nachgebildet. Aus dem Abgleich konnten Verfestigungsexponent und Streckgrenze spezifiziert werden. Die vorgestellte Methode ermöglicht somit eine schnelle Vorhersage des Werkstoffverhaltens in einem sehr guten ersten Ansatz. Mit Hilfe von Finite-Elemente-Simulationen konnte bereits das Delaminationsrisiko im BEoL-Stack um Kupfer-TSVs abgeschätzt werden, wo Materialien mit großen thermischen Ausdehnungsunterschieden interagieren.

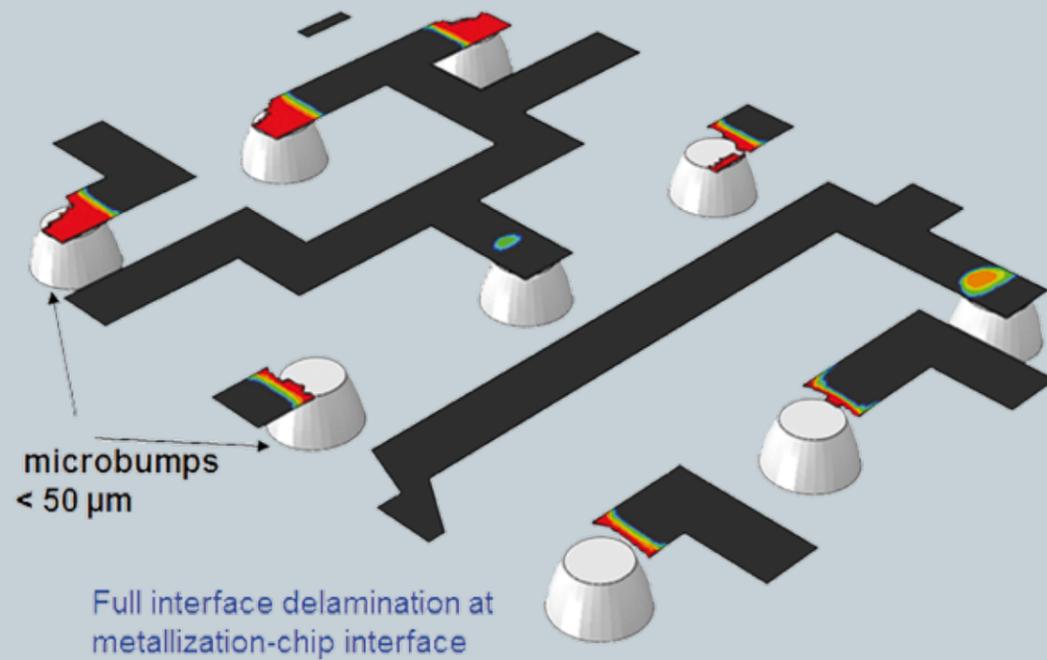


Berkovich Imprint auf einem TSV-Abschnitt.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- 3D TSV
- PROZESS-SIMULATION
- ZUVERLÄSSIGKEIT

MICRO AND NANOELECTRONICS



Delaminationsanalyse der Metallisierung eines 3D-Waferlevel-Packages, das einem Schertest unterzogen wurde.



Foto eines Siliziumwafers mit hermetisch verschlossenen HF-MEMS-Schaltern.

NEUER SIMULATIONSMODELLANSATZ: ZUVERLÄSSIGKEITSANALYSE UNTER VERWENDUNG VON CZM FÜR 3D-PACKAGES

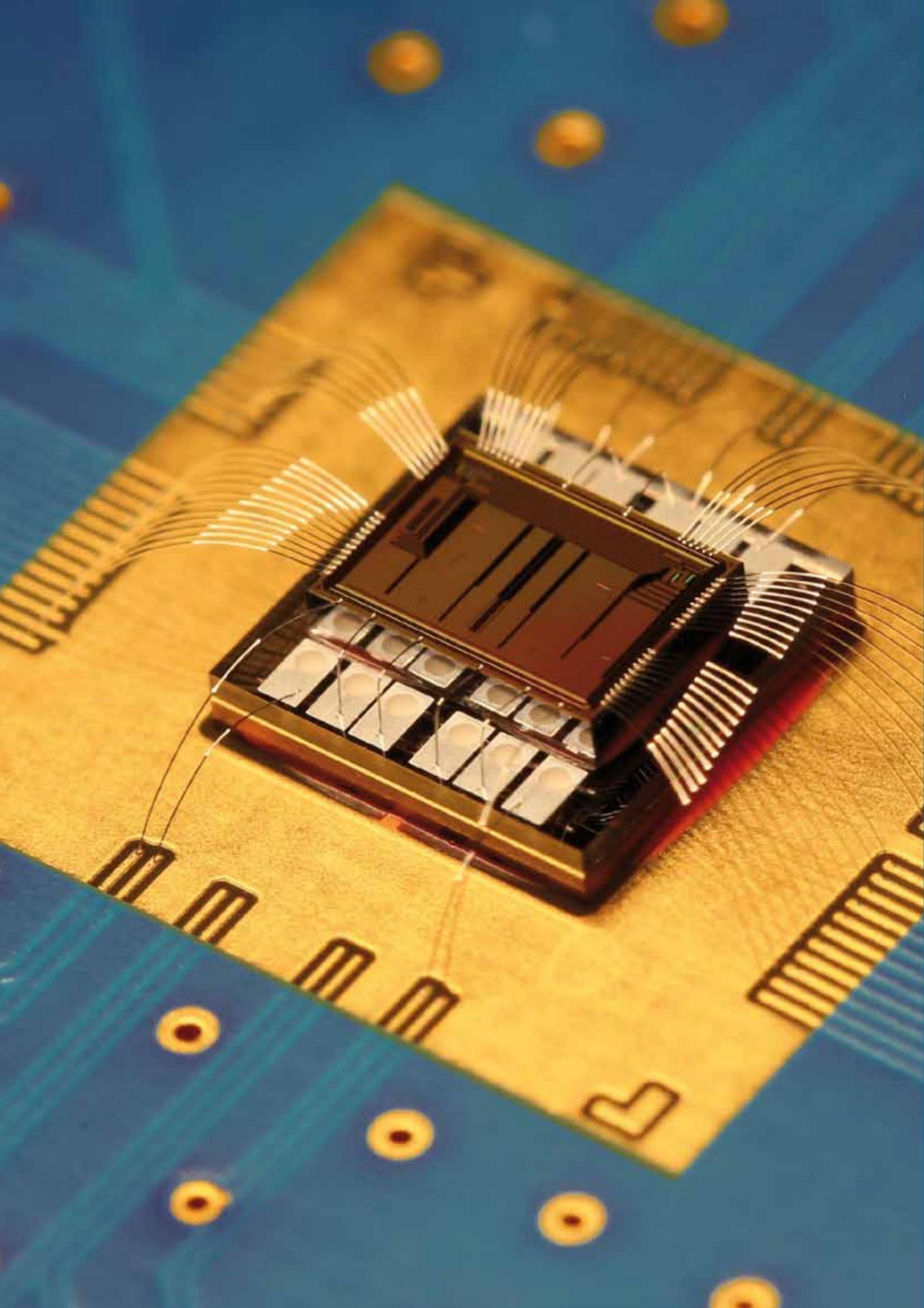
Die thermo-mechanisch bedingte Delamination von Grenzflächen ist ein Hauptproblem, das zu Zuverlässigkeitsproblemen in Multi-Material-Strukturen führen kann, die im Allgemeinen in 3D-Mikrosystemgehäusen auftreten. Finite-Elemente-Simulationen, die traditionell auf der Festigkeitslehre basieren, werden häufig eingesetzt, um ein besseres Verständnis der Fehlerursachen und der kritischen Parameter zu erreichen. Die korrekte Auswertung von Finite-Elemente-Ergebnissen an Grenzflächendiskontinuitäten ist jedoch ein generelles Problem für die numerische Analyse von Grenzflächen-Delaminationen, da das Spannungsfeld an scharfen Grenzflächenkanten und Grenzflächenrissen einer Singularität gehorcht. Um irreführende Simulationsergebnisse zu vermeiden, ist eine bruch- oder schädigungsmechanische Behandlung erforderlich. In den letzten Jahren wurde die Schädigungsmethodik »Kohäsive Zonenmodellierung (CZM)« entwickelt, die zusätzlich den Delaminationsfortschritt verfolgen kann und auf eine Vielzahl von Packaging- und Interconnect-Lösungen angewendet wurde. Durch Anpassung an experimentelle Befunde, wie z. B. durch Scherversuche am Beispiel einer »Metallisierungs-Grenzfläche zu gestapelten Chips« entsprechend der oberen Abbildung auf Seite 36 bestimmt, wurden Parameter für verschiedene Grenzflächen elektronischer Materialien gesammelt. Auf diese Weise stehen Analysemöglichkeiten für zahlreiche Grenzflächen-Festigkeitsbewertungen zur Verfügung.

HOCHFREQUENZ-MEMS-SCHALTER

HF-MEMS-Schalter sind extrem miniaturisierte HF-Relais mit elektrostatischer Betätigung. Sie sind als Silizium-Chip mit einer hermetisch verschlossenen Kaverne ausgeführt, in dem die beweglichen Teile des Antriebs und die Kontakte untergebracht sind. Der HF-Signalpfad besteht aus in ihrer Impedanz angepassten Leitungen und aus zwei in Serie angebrachten Metall/Metall-Kontaktpaaren, so dass Signale im Spektralbereich von DC bis zu mm-Wellen-Frequenzen übertragen werden können. Mittels einer High-Aspect-Ratio-MEMS-Technologie werden so große Flächen für die Antriebselektroden hergestellt, dass mit einer relativ niedrigen Aktuierungsspannung von 5 Volt eine genügend große Kontaktkraft aufgebracht wird, die ein sicheres Schließen und Öffnen der Kontakte ermöglicht. Außer dem Umladestrom beim Schaltvorgang fließt lediglich ein sehr niedriger Ruhestrom von weniger als 10 nA, so dass praktisch eine leistungslose Steuerung möglich ist. Elektronische Spannungswandler, die bislang oft bei anderen HF-MEMS-Schaltern die erforderliche hohe Antriebsspannung erzeugen müssen, werden nicht benötigt. Durch ein neuartiges Konzept für den HF-Pfad, das den Einsatz von koplanaren Wellenleitern an den HF-Anschlüssen unterstützt, wird bis zu einer Signalfrequenz von 75 GHz eine Einfügedämpfung von lediglich ca. 1 dB erreicht. Die Applikationsfelder reichen von Test- und Messgeräten (Schaltmatrizen für sehr hohe Signalfrequenzen, variable Signalabschwächer) über das Steuern der Richtwirkung von Antennen (phasen-gesteuerte Antennengruppen, agile Antennen) bis zu rekonfigurierbaren Front-Ends in Kommunikationssystemen (Antennenschalter, Filter-Rekonfiguration mit hoher Linearität $IIP_3 > 65 \text{ dBm}$).

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- ZUVERLÄSSIGKEIT VON 3D-PACKAGES
- HF-BAUELEMENTE



SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

Das Geschäftsfeld »Sensor and Actuator Systems« umfasst vielfältige Sensor- und Aktuatorssysteme, welche auf unterschiedlichen Technologien und Wirkprinzipien beruhen, sowie Verfahren, Methoden und Sensorik zur Material- und Strukturanalyse. Besonderes Augenmerk liegt auf der zunehmenden Integration von Nanostrukturen. Das Geschäftsfeld adressiert folgende Themenfelder:

Inertialsensorik || Der Fokus liegt auf der Entwicklung von hochpräzisen siliziumbasierten Sensoren zur Messung von Beschleunigung, Vibration, Neigung und Drehraten. Die gesamte Wertschöpfungskette, beginnend mit dem MEMS- und Systemdesign über die Technologieentwicklung und Prototypenfertigung bis zur Charakterisierung und zum Systemtest, wird abgedeckt.

Optische Bauelemente/MOEMS || Optische Bauelemente/MOEMS sind etablierte siliziumbasierte Systeme, wie durchstimmbare optische Filter und Shutter auf der Basis optischer Bragg-Reflektorschichten, welche durch geeignete Lichtquellen und Detektoren ergänzt werden. Darüber hinaus ermöglichen Quantum Dot-basierte LEDs und Photodetektoren eine kundenspezifische spektrale Sensorik, materialintegrierte Lichtquellen sowie Design- und Anzeigeelemente.

Elektromagnetische Sensorik || Mehrdimensionale magnetische Sensoren auf der Basis des GMR- bzw. TMR-Effektes unter Nutzung von ferromagnetischen Dünnschichten liegen im Fokus dieses Themenfeldes. Sie finden neben der direkten Magnetfeldmessung auch Anwendung in der Messung von z. B. Abstand, Position und Rotation. Weiterhin ist eine elektromagnetische Sensorik zur Nahfeldmessung elektromagnetischer Felder und Bestimmung der Abstrahlcharakteristik entwickelt worden.

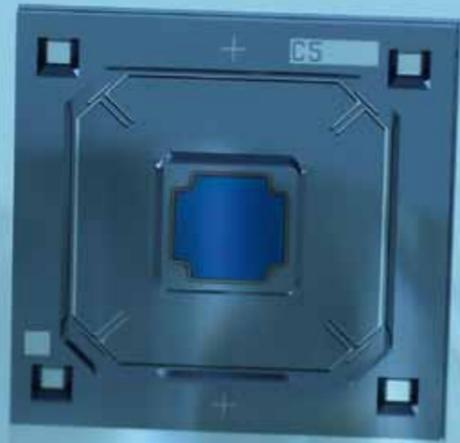
Druck- und Kraftwandler || Siliziumbasierte Ultraschallwandler und Umgebungsdruck-sensitive Resonatoren sowie MEMS-Lautsprecher sind entwickelt worden. Die Lautsprecher basieren auf neuartigen Materialien und Technologien wie gesputtertem metallischen Glas und gedruckten dauermagnetischen Schichten.

Material- und Struktursensorik || Dieses Themenfeld umfasst Verfahren, Methoden und Anordnungen zur Material- und Struktursensorik. Dabei basiert die Sensorik für mechanische Spannung, Dehnung und Überlast (Riss- und Bruchdetektion) zum einen auf Siliziumtechnologien. Die Nanokomposit-basierte Überlastsensorik sowie Feuchtesensorik nutzt andererseits dünne Schichten organischer Materialien mit eingebetteten Nanopartikeln, wodurch eine Integration in Faserverbundwerkstoffe ermöglicht wird. Ein weiteres Standbein dieser Art Sensorik basiert auf Kohlenstoffnanoröhren.

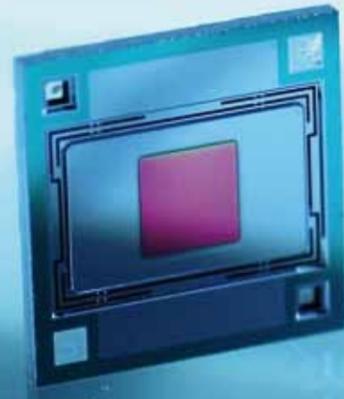
GESCHÄFTSFELD-MANAGERIN

Prof. Dr. Karla Hiller
+49 371 45001-400
karla.hiller@enas.fraunhofer.de

SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS



a)



b)

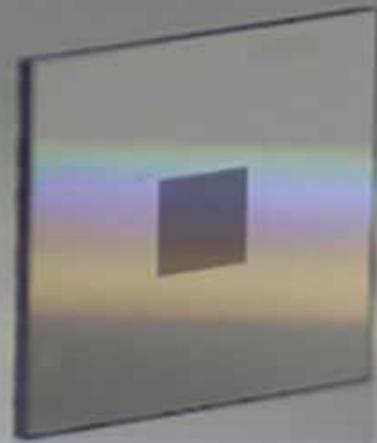


c)

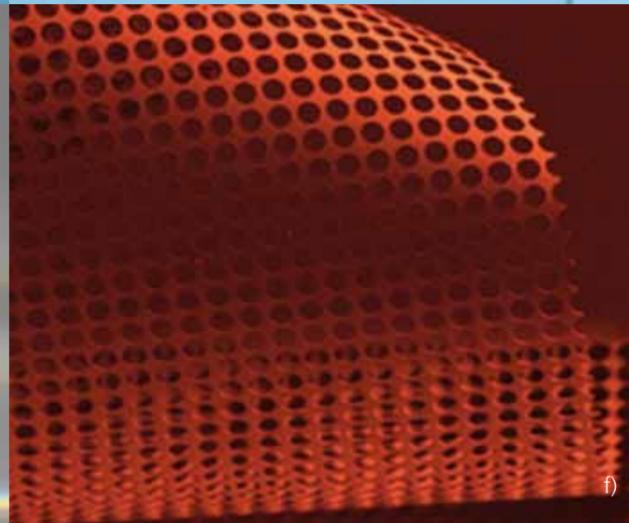


d)

a) bis c) Fotografien von FPIs für das Infrarotspektrum und d) FPIs für das sichtbare Spektrum.



e)



f)

e) Fotografie eines MEMS-Choppers für Infrarotstrahlung und f) SEM-Aufnahme eines Teils der verwendeten Membran mit Subwellenlängenstrukturen als oberste Schicht dieser Komponente.

FABRY-PÉROT INTERFEROMETER AUS CHEMNITZ: EINE FLEXIBLE MOEMS-PLATTFORM FÜR SENSORANWENDUNGEN VOM SICHTBAREN SPEKTRUM BIS ZUM THERMISCHEN INFRAROT

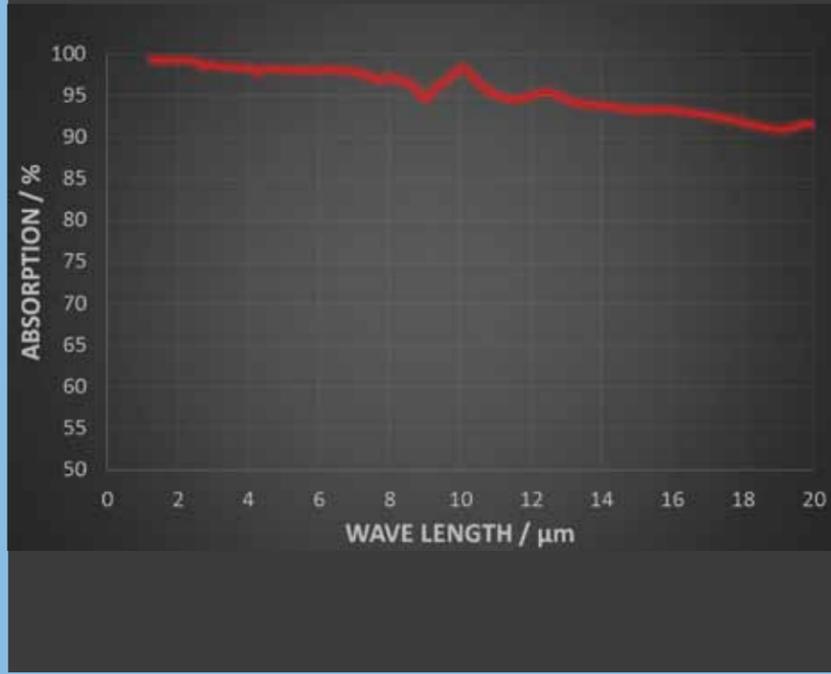
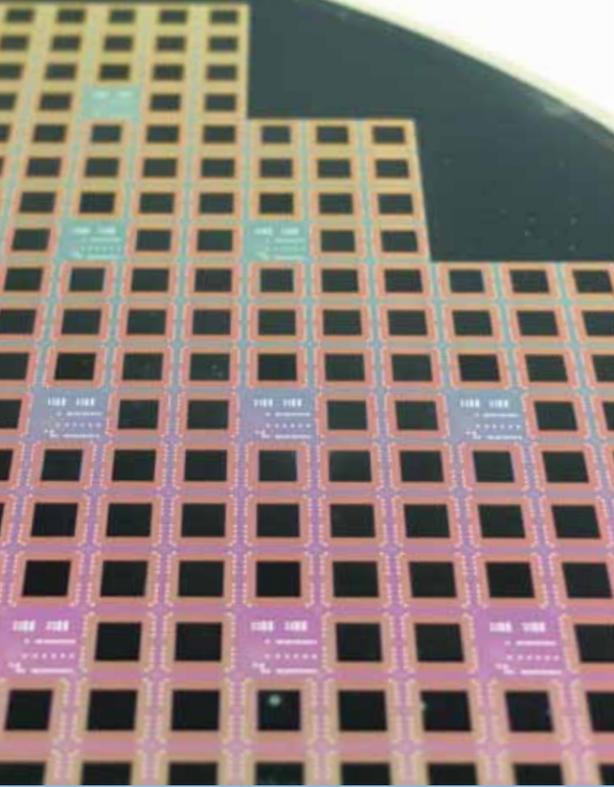
Spektrale optische Sensoren detektieren die Intensität elektromagnetischer Strahlung als Funktion der Wellenlänge. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig und reichen vom einfachen Farbsensor bis zum komplexen Laborspektrometer, vom Farbbildsensor für die Fotografie, bis zur hyperspektralen Kamera für die Erdbeobachtung mit Satelliten. Alle diese Anwendungen beruhen auf der Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Materie im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich und dem daraus resultierenden, unterschiedlichen und wellenlängenabhängigen Transmissions-, Reflexions- und Absorptionsverhalten der Materialien. Die in Chemnitz entwickelten Fabry-Pérot Interferometer (FPI) werden genutzt, um elektromagnetische Strahlung im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich schmalbandig zu filtern. Der spektrale Durchlassbereich kann elektrisch und stufenlos hinsichtlich der Wellenlänge eingestellt werden. Durch Kombination von FPI und Einzelpunkt-detektor oder einem Detektorarray können preisgünstige, robuste und sehr kleine spektrale Sensoren oder Bildsensoren hergestellt werden. In verschiedenen Projekten wurde ihre Anwendung in der Medizintechnik (Anästhesieüberwachung), in der Sicherheitstechnik (Gaswarngeräte), in ATR-Sonden zur Prozesskontrolle, in stationären Gasanalysatoren, in mobilen Spektrometern und in spektralen Kameras erfolgreich demonstriert. Die Entwicklungen werden in einer Kooperation zwischen dem Fraunhofer ENAS (Design, Charakterisierung und Anwendungen) und dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz (Technologieentwicklung und Herstellung) durchgeführt. Für die FPI im infraroten Spektralbereich besteht eine langjährige und enge Kooperation mit der Firma InfraTec GmbH.

MEMS MIT SUBWELLENLÄNGENSTRUKTUREN FÜR INFRAROTBAUELEMENTE

Der Einsatz von Subwellenlängenstrukturen ist eine neuartige Alternative zur Funktionalisierung optischer Oberflächen im Gegensatz zu bislang oft eingesetzten optischen Schichten oder Schichtstapeln. Hochreflektive Oberflächen, Oberflächen mit spektraler Filterwirkung, mit besonders niedriger Reflektivität oder auch stark absorbierende Oberflächen sind herstellbar. Die Nano-Imprint-Lithographie offeriert die Herstellung von Strukturen mit Abmessungen im Subwellenlängenbereich, wodurch nanooptische Effekte nutzbar gemacht werden. Dadurch sind konventionell eingesetzte Funktionsschichten und Schichtstapel aus hoch- und niedrigbrechendem Material, wie hochreflektierende Bragg-Reflektoren, Antireflexionsbeschichtung oder Absorber in bestimmten Anwendungsfällen durch strukturierte Einzelschichten substituierbar und mit technologiekompatiblen Materialien, z. B. mit Aluminium oder mit Poly-Silizium, realisierbar. Elektrisch steuerbare Filter und Chopper sind neben Detektoren Schlüsselkomponenten für die Entwicklung miniaturisierter Spektralanalysatoren und Hyperspektralkameras. Subwellenlängenstrukturen sind für diese Bauelemente hervorragend einsetzbar, was die Ergebnisse der letzten Jahre an Beispielen wie steuerbaren Infrarot-Filtern, Infrarot-Chopperrn und spektral selektiv absorbierenden Detektoren und Emittlern zeigen.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- OPTISCHE BAUELEMENTE / MOEMS
- SUBWELLENLÄNGEN-STRUKTUREN ALS ALTERNATIVE METHODE, OPTISCHE OBERFLÄCHEN ZU FUNKTIONALISIEREN



SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS

KOHLENSTOFFNANORÖHREN ALS SCHWARZSCHICHTABSORBER/-EMITTER FÜR IR-ANWENDUNGEN

Eine wichtige Voraussetzung für mikrooptische Infrarot-(IR-) Sensoren der nächsten Generation sind optische Absorptionsschichten, welche hohen technologischen und materiellen Anforderungen gerecht werden. Momentan verfügbare Lösungen für Absorptionsschichten wie Schwarzsichten, gefüllte Polymere oder $\lambda/4$ -Schichten haben Defizite bei wichtigen Eigenschaften wie Absorptionsgrad, Spektralverhalten, Wärmekapazität, mechanische Stabilität und Technologiekompatibilität. Eine vielversprechende Alternative sind direkt integrierte Kohlenstoffnanoröhren (carbon nanotubes, CNTs) als Absorptionsschicht. Diese haben ein wellenlängenunabhängiges Absorptionsverhalten sowie gute thermische und mechanische Eigenschaften.

Das Ziel im Projekt Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« war die Entwicklung einer skalierbaren Integration von CNTs für optische Absorber, welche in IR-Sensoren bzw. -Emittlern eingesetzt werden sollen. Dafür wurde ein CVD-Prozess (CVD – Chemical Vapour Deposition, Chemische Gasphasenabscheidung) entwickelt, welcher ein strukturiertes Wachstum der CNTs bei Temperaturen unter 500 °C erlaubt und in eine MOEMS-Technologie implementiert werden kann. Die Hauptmerkmale der hier vorgestellten CNT-basierten MOEMS sind im Folgenden aufgelistet:

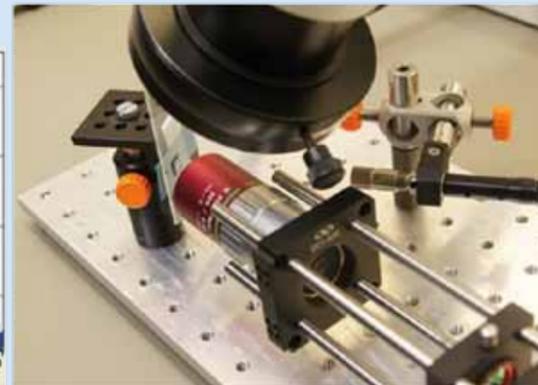
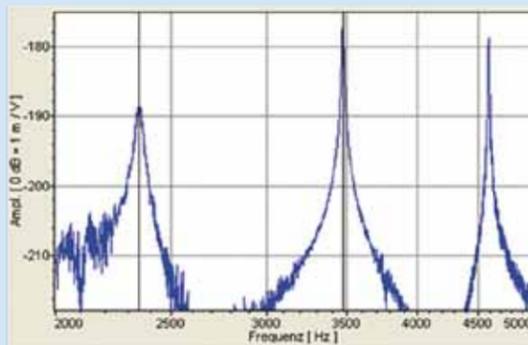
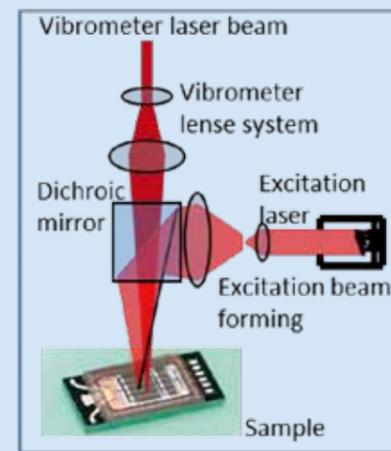
- Hohe, breitbandige Absorptionswerte über 95 % für $\lambda = 2 \dots 12 \mu\text{m}$ und über 90 % $\lambda = 2 \dots 20 \mu\text{m}$
- Temperaturstabilität bis 500 °C in N_2 -Atmosphäre
- Gute Kompatibilität von IR-Absorbern und IR-Emittlern mit MEMS-, MOEMS- und CMOS-Technologien

Mögliche Anwendungsgebiete sind Antireflectionsschichten, Absorptionsschichten für thermische IR-Sensoren (z. B. Thermosäulen und Pyrometer für die Gasdetektion bzw. Thermographie) sowie Schwarzsichten für IR-Emitter, welche für die Gasdetektion bei Raumüberwachung, Medizin- und Sicherheitstechnik eingesetzt werden.

THERMO-MECHANISCHE ANREGUNG VON GESCHLOSSENEN MEMS-BAUELEMENTEN

Neben den klassischen Möglichkeiten der mechanischen Anregung von Mikrostrukturen durch die inhärenten Transducer, durch spezielle Vibrations-Chucks oder durch elektrostatische Feldsonden, kommt die thermo-mechanische Anregung in Frage, um bei messtechnischen Analysen die Resonanzfrequenzen und die Gütefaktoren der Resonanzmodi zu bestimmen und daraus auf Fertigungstoleranzen zurück zu schließen. Licht oder infrarote Strahlung kann zum Eintragen der thermischen Leistung eingesetzt werden. Für den Einsatz bei verkappten Silizium-MEMS-Bauelementen bietet sich der Wellenlängenbereich im nahen Infrarot (NIR) an. In einer gerätetechnischen Lösung zum Waferlevel-Test von MEMS-Bauelementen muss die thermo-dynamische Anregung gleichzeitig mit der Detektion der Schwingung erfolgen. Dazu wird ein Anregungslaser gleichzeitig mit einem Messlaser als Bestandteil eines Laser-Doppler-Interferometers zusammen mit einer NIR-Kamera eingesetzt. Der Anregungsstrahl wird aus einem direkt modulierbaren Diodenlasermodul mittels optischer Faser auf einen Kollimator geleitet. Ein schwenkbarer breitbandiger Spiegel lenkt die kollimierte Strahlung in Richtung der Einkoppelstelle in das Messgerät um und gestattet gleichzeitig die Positionierung des Ortes der thermo-mechanischen Anregung innerhalb des zu testenden MEMS. Prinzip-Tests brachten Messergebnisse an den eingesetzten Proben hervor, die ein hinreichend gutes Signal/Rausch-Verhältnis im Bereich um die Resonanzfrequenzen herum zeigten. Die Resonanzfrequenzen und die Frequenzbandbreiten, anhand derer die Gütefaktoren bestimmt werden können, sind sicher zu bestimmen.

CNT-Absorptionsschichten integriert in eine IR-Emitterstruktur (links) und das Absorptionsverhalten derartiger CNT-Schichten (rechts).



Skizze eines Messaufbaus zur Ermittlung des Resonanzverhaltens von MEMS durch thermo-mechanische Anregung (links), Ergebnis einer Beispielmessung (Mitte) und Foto eines Testaufbaus zur Evaluierung des Verfahrens (rechts).

RESEARCH AND DEVELOPMENT

- INERTIALSENSORIK
- OPTISCHE BAUELEMENTE / MOEMS



Sensorfolie mit Ausgangshelligkeit (links) und durch mechanische Belastung reduzierte Helligkeit der Sensorfolie (rechts).

SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS



Sensorfilm (elektro-optischer Wandler) und piezoelektrischer Wandler integriert in Faser-Kunststoff-Verbund.

XMR-SENSOR MIT MHZ-SAMPLING-RATE

Die vierte industrielle Revolution, mit dem Ziel den Automatisierungsgrad und die Autonomie von Prozessen, Maschinen usw. zu maximieren, ist eng verbunden mit hohen Anforderungen an die autonomen Sensorsysteme sowie die notwendige Kommunikation (Internet der Dinge). Magnetfeld- und Stromsensoren sind dabei wichtige Sensorkategorien und letztere gerade auch hinsichtlich globaler Trends bzgl. der Energiewende und Elektromobilität von großer Bedeutung. Das Fraunhofer ENAS verfügt über ein breites Spektrum an mikro- und nanoelektronischen Technologien für die sogenannte Smart Systems Integration. Im Geschäftsfeld Sensor- und Aktorsysteme wurde am Beispiel einer Stromsensoranwendung nun ein Technologiedemonstrator mit SPI-Schnittstelle entwickelt, welcher eine besonders hohe Dynamik der Stromstärke- bzw. allgemein Magnetfeldmessung mit einer Abtastfrequenz im MHz-Bereich aufzeigt. Als Sensor dient eine Wheatstone-Brückenschaltung magnetoresistiver Elemente basierend auf dem Riesenmagnetwiderstand (GMR) Effekt, welcher eine sub- μT Auflösung mit entsprechend hoher Sensitivität sowie eine hochfrequente Messwerterfassung gewährleistet. Die stets Sättigungseffekten unterliegende XMR-Technologie kann anhand eines entsprechenden Designs der Stromführung bzw. elektromagnetischer Spulen dennoch auch für einen großen Strommessbereich zugänglich gemacht werden. Als eine weitere Anwendung besonders sensitiver und hochfrequenter XMR-Magnetfeldsensoren sei die präzise Winkelmessung sowie Positionsbestimmung von rotierenden Spindeln bspw. im Turbolader genannt.

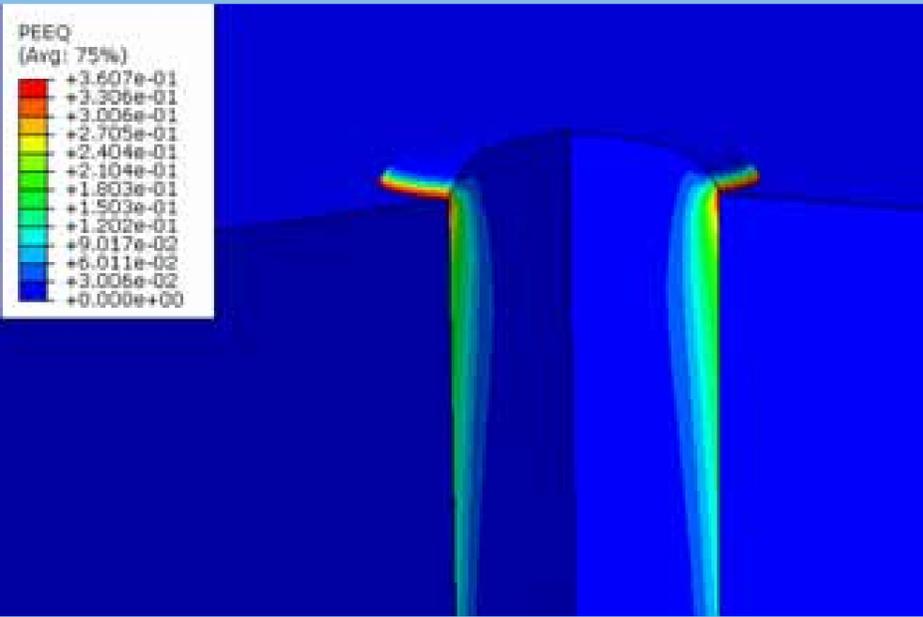
BELASTUNGSENSORIK FÜR LEICHTBAUMATERIALIEN

In vielen Bereichen des täglichen Lebens sind optische Informationen ein zentraler Bestandteil unseres Handelns. Elektro-optische Wandler auf Basis von Quantum Dots können elektrische Informationen detektieren und ohne weiteren Energieverbrauch speichern. Dadurch kann diese Information auch zu einem späteren Zeitpunkt optisch ausgelesen werden, wodurch die elektro-optischen Wandler auf Basis von Quantum Dots eine große Anwendungsvielfalt zur Ereignis- und Zustandsüberwachung bieten. In Kombination mit einem kraftsensitiven Element können so die gespeicherten Informationen als Indikator für den Zustand oder die mechanische Belastung des Leichtbaumaterials verwendet werden. Grundlage dafür bildet eine gemeinsam vom Fraunhofer ENAS und dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz entwickelte Sensorfolie, welche mühelos in Leichtbaumaterialien integriert werden kann. Im Ausgangszustand wird UV-Licht durch die in der Folie eingebetteten Quantum Dots in sichtbares Licht umgewandelt. Durch mechanische Belastung werden elektrische Ladungsträger ($< 50 \text{ nC/mm}^2$) über das Elektrodensystem in die Quantum Dots injiziert und der Wandlungsprozess der Photolumineszenz (PL) in einem Zeitraum von $< 1 \text{ ms}$ unterbunden. Die Folge ist eine Helligkeitsreduzierung des sichtbaren Lichts, welcher als Indikator für die stattgefunden mechanische Belastung am Leichtbaumaterial genutzt und auch nach über 60 Stunden ausgelesen werden kann. Durch diese Chemnitzer Entwicklung können so Schäden am Bauteil frühzeitig erkannt und rechtzeitig gehandelt werden. Das stellt einen Zugewinn an Sicherheit dar, der auch für viele andere Anwendungsfälle denkbar ist. Diese Arbeit entstand im Rahmen des Bundesexzellenzcluster EXC 1075 »MERGE Technologies for Multifunctional Lightweight Structures« und wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung.

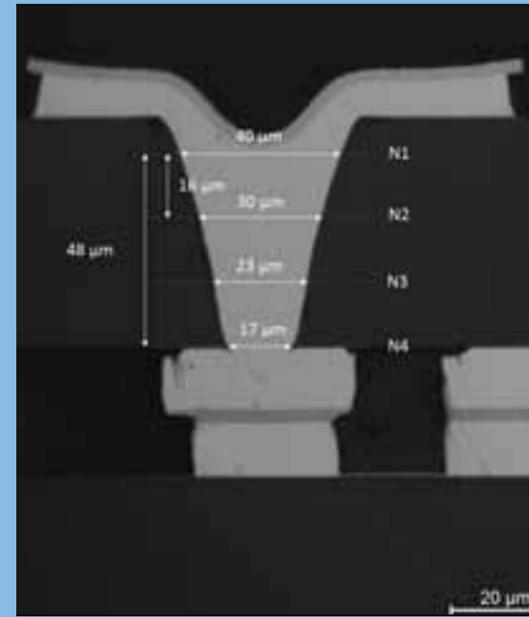
FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- ELEKTROMAGNETISCHE SENSORIK
- MATERIAL- UND STRUKTURENSORIK

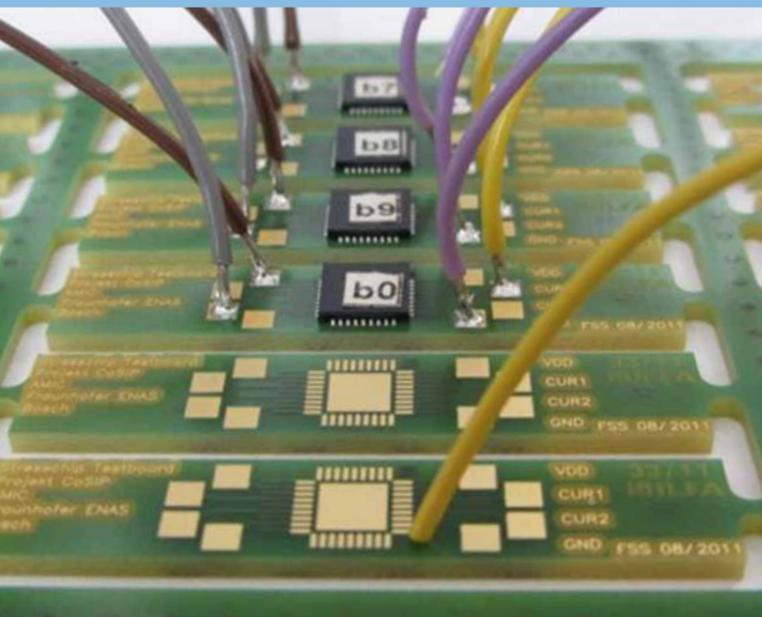
SENSOR AND ACTUATOR SYSTEMS



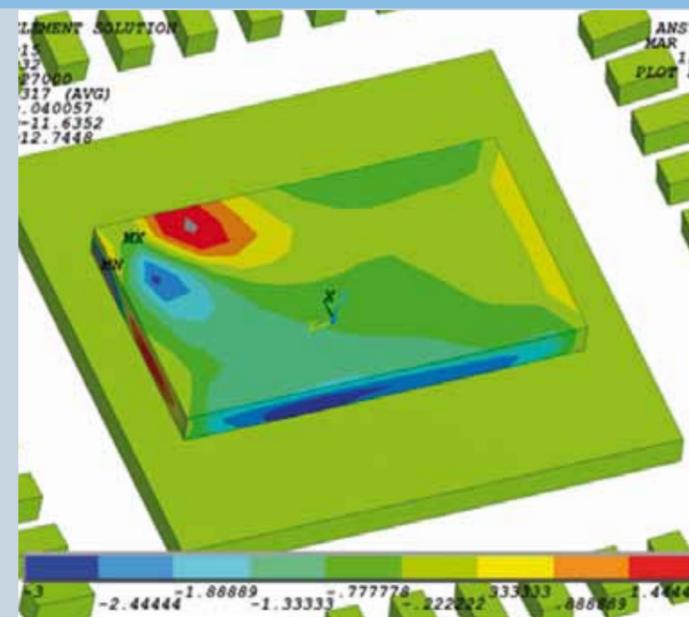
Akkumulierte plastische Deformation.



Querschnitt eines TSV.



Stresschip-Testboard.



Entwicklung der Spannungen und Ausbreitung der Delamination.

TSV-ZUVERLÄSSIGKEIT

Kupfer-Durchkontakte (Through Silicon Vias, TSVs) stellen eine effektive Kontaktierungslösung für die 3D-Integration dar, begründen aber auch neue Herausforderungen für die thermo-mechanische Zuverlässigkeit. Das große Mismatch der thermischen Ausdehnung zwischen Kupfer und dem umgebenden Silizium stellt ein erhebliches Risiko für Delaminationen zwischen Kupfer und der angrenzenden Seed-Schicht sowie für die Schädigung von Redistribution Layer (RDL) und Back-End of Line (BEoL)-Stacks auf beiden Seiten des Siliziumsubstrats dar. Daraus resultierende Pump- und Protrusionseffekte zeigen sich sowohl bei der Herstellung von BEoL-Strukturen als auch bei der thermischen Zykelprüfung (TCT). Dies ist auch auf Veränderungen der Kupfermorphologie – Korngröße, Kornausrichtung – als Annealing-Effekt zurückzuführen. Hierzu werden mechanische Eigenschaften aus Nanoindentationsexperimenten bestimmt. Finite-Elemente-Simulationen zur Untersuchung des thermo-mechanischen Verhaltens von Schädigungsvorgängen betrafen deshalb mögliche Delaminationen zwischen Kupfer-TSV und Barriere und innerhalb des BEoL-Stacks unter TCT- und Chip-Package-Interaction (CPI)-Bedingungen. Bei der Simulation der Rissbildung an den Grenzflächen wurde ein CSM-Verfahren (Cohesive Surface Contact Method) zur Beschreibung des Schädigungsverlaufs verwendet. Die Simulationsergebnisse weisen auf mögliche Interfacedelaminationen an der Grenzfläche Kupfer/Seed unterhalb des oberen Endes des TSV hin. Die Bewertung der Wechselwirkung von TSVs und BEoL-Stack mittels schädigungsmechanischer Ansätze bietet eine gute Basis für Untersuchungen der Schadensinitiierung innerhalb der RDL- und BEoL-Stacks auf Ober- und Unterseite des Siliziumsubstrats. Basierend auf Simulationen der Abhängigkeit des Schadensrisikos vom Abstand zwischen den TSVs als auch der Kristallorientierung von Silizium gegenüber TSV-Paaren wurden schließlich Vorschläge für ein zuverlässiges Via-Design unterbreitet.

IN SITU MESSUNG MECHANISCHER SPANNUNGEN MIT HILFE EINES STRESSMESSCHIPS

Die unmittelbare Detektion von thermo-mechanischen Schwachstellen in Komponenten der Mikroelektronik stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Stand der Technik ist, in den Technologie- und Produktqualifikationen das letztendliche Versagen der Aufbau- und Verbindungstechnik-(AVT)-Strukturen durch Überwachung von Kontaktketten zu ermitteln. Dieser Ausfall in Form der kompletten Unterbrechung oder der Überwachung des elektrischen Widerstands kann dabei jeweils eine Vielzahl geometrischer, werkstofflicher oder verfahrenstechnischer Ursachen haben, die sich z. T. auch noch gegenseitig beeinflussen. Mit den Kontaktketten kann die konkrete Ausfallursache nicht unmittelbar bestimmt werden. Im Gegensatz dazu könnte die Restlebensdauer leichter identifiziert werden, wenn die Möglichkeit bestünde, die mechanischen Spannungen zu bestimmen und zu überwachen, die während Herstellung, Test und/oder Betrieb entstehen. Die abgeschlossene Entwicklung eines Stressmesschips verfolgte genau das Ziel, den Betrag und die Verteilung der mechanischen Spannungen in situ während des Packings und im Betrieb zu bestimmen. Das entwickelte Messsystem ist nun in der Lage, Informationen zu den beiden Normal- und Scherspannung in der Ebene der aktiven Oberfläche des Chips bereitzustellen. Das Stressmesssystem kam bisher zur Charakterisierung von aushärtenden Klebstoffen und Underfillern, Lötprozessen, aktiven und passiven Temperaturzykeltests, während des Feuchteinflusses, Spritzgussversuchen und anderen in situ Messungen zum Einsatz. In Zukunft ist geplant den Chip zur Bestimmung von Restlebensdauern einzusetzen. Hierbei soll der Belastungszustand während der gesamten Lebensdauer aufgezeichnet und mit Hilfe mathematischer Verfahren der zukünftige Zeitpunkt des Ausfalls bestimmt werden.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

- ZUVERLÄSSIGKEITSBEWERTUNG
- THROUGH SILICON VIAS



TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

Die wesentlichen Leistungen des Geschäftsfeldes »Smart Power and Mobility« bestehen im Know-how- und Technologie-Transfer sowie in der Entwicklung von Forschungsmustern und Prototypen in diesem technologischen Bereich. Dabei sind gegenwärtig Systeme zum Monitoring von elektrischen Hochspannungsleitungen, Integrationstechnologien für Mikroaktoren zur Steuerung aerodynamischer Strömungen, die Optimierung der Zuverlässigkeit im Bereich der Leistungselektronik und die Integration von Sensoren in Leichtbaumaterialien im Fokus der Arbeiten.

Fraunhofer ENAS entwickelt gemeinsam mit weiteren Partnern Monitoringsysteme für Leitungen im Hochspannungs- und im Mittelspannungsbereich, wobei neben Sensoren auf den Leitungen auch die Datenübertragung ins Netzleitsystem eingeschlossen ist. Derartige Systeme können zur optimalen Auslastung der Leitungen genutzt werden, indem sie die aktuelle Stromtragfähigkeit der Leitungen messen, und sind zudem zur Detektion von Eislasten und zur Ortung von Erdschlüssen und so genannten Wischern (kurzzeitig auftretende Erdschlüsse) einsetzbar.

Synthetic-Jet-Aktoren sind miniaturisierte Aktoren zur Erzeugung von Luftstößen in sehr rascher Folge und können zur Beeinflussung des Strömungsfeldes an Flugzeugen und anderen Fahrzeugen im hohen Geschwindigkeitsbereich eingesetzt werden. Dadurch besteht ein Potential zur Kraftstoffeinsparung aufgrund der Optimierung der Umströmung der Flugzeug- oder Fahrzeugbauteile.

Fraunhofer ENAS entwickelt drahtlose Systeme zur Leistungsversorgung mobiler Geräte im Leistungsbereich < 100 Watt und auch für hohe Leistungen. Zudem werden flexible Low-Cost-Batterien und die zugehörige Herstellungstechnologie entwickelt.

Ein weiterer Aspekt ist die Entwicklung passiver Sensoren zum Structural Health Monitoring (SHM) von Leichtbaukonstruktionen. Die passive Sensorfunktion und das drahtlose Auslesen der Sensordaten wird durch den Einsatz elektromagnetischer Resonatoren ermöglicht, die direkt in den Werkstoff integriert werden. Durch diesen neuen Ansatz werden die Detektion von Rissen und Delaminationen sowie das Eindringen von Feuchtigkeit in Leichtbaustrukturen möglich.

GESCHÄFTSFELD-MANAGER

Dr. Steffen Kurth
+49 371 45001-255
steffen.kurth@enas.fraunhofer.de



TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

ORTSBESTIMMUNG VON ERDSCHLUSS-FEHLERN AN 110-KV-HOCHSPANNUNGS-FREILEITUNGEN MITTELS SEILBASIERTEN MONITORINGSYSTEME

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen, wie z. B. regelmäßiges Rückschneiden von Bäumen oder regelmäßige Trassenbegehungen, lassen sich Erdschlüsse, welche zum Spannungseinbruch einer oder mehrerer Phasen führen, im Stromverteilnetz der 110-kV-Hochspannungsebene nicht vollkommen ausschließen. Ein typisches Erdschlussereignis ist der Kontakt eines stromführenden Leitungsseiles mit einem durch Sturm in die Leitung gedrückten Baumes. Aber auch Vögel beim Nestbau oder beschädigte sowie verschmutzte Isolatoren können kurzzeitige Erdschlüsse auslösen. Ein auftretender Erdschluss wirkt sich immer im gesamten, galvanisch verbundenen Teilnetz aus. Mittels elektronischer Schutzeinrichtungen in den angeschlossenen Umspannwerken lassen sich die Fehler bestenfalls auf eine Leitungstrasse begrenzen. Doch diese können bis zu 70 Kilometer lang sein. Der zeitliche, logistische sowie finanzielle Aufwand für die Fehlersuche ist enorm.

Im Projekt ISOSTROSE (gefördert durch BMWi) wurde zusammen mit den Partnern MITNETZ Strom, LTB, First Sensor sowie Fraunhofer IZM ein leiterseilbasiertes Monitoringsystem zur Ortsdetektion von Erdschlüssen entwickelt. Das Herzstück des autark arbeitenden Systems ist der am Fraunhofer ENAS entwickelte Erdschluss-Sensor. Die Erdschlussdetektion erfolgt über verschiedene unabhängige Prinzipien. Zum einen werden Spannungseinbruch und der im Moment des Erdschlusses fließende Maximalstrom detektiert, zum anderen wird die hochfrequente elektromagnetische Welle, hervorgerufen durch den kurzzeitig fließenden Erdschlussstrom, herangezogen. Die Ortsdetektion erfolgt dabei über das auf der Leitung verteilte Sensorsystem. Das entwickelte System wird in einem seit Mitte November 2017 laufenden Feldversuch im Harz an einer 110-kV-Freileitung getestet. Seit der Inbetriebnahme konnten bereits mehrere Erdschlüsse detektiert werden.

PROJEKT AFLONEXT / CLEANSKY 2

Im europäischen Forschungsprojekt AFLoNext war das Fraunhofer ENAS mit verschiedenen Aktivitäten an der Entwicklung von Aktoren zur aktiven Strömungskontrolle beteiligt. Strömungskontrolle ist eine Technologie, welche in unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz kommt und die Basis für eine zukünftige Optimierung der Aerodynamik von Luftfahrzeugen, aber auch von Windkraftanlagen und Fahrzeugen bildet.

Im Projekt AFLoNext wurden Funktionsmuster von sog. Synthetic-Jet-Aktoren (SJA) untersucht, die auf eine Verbesserung der Strömungsverhältnisse auf Flugzeugtragflächen zielen. Der Abschluss des Forschungsprojektes erfolgte anhand von großskaligen Windkanaltests mit dem Ziel, die Effizienz der Aktor-Prototypen zu überprüfen. Hierzu wurden in Europas größtem Windkanal am zentralen aerodynamischen Institut TsAGI in Zhukovsky bei Moskau (Russland) 85 als Array angeordnete Synthetic-Jet-Aktoren auf ein sechs Meter breites Flügelteilstückmodell mit Triebwerksdummy erfolgreich integriert und getestet. Die Resultate der Tests bilden die Grundlage für die weiterführende Entwicklung von Aktoren im Rahmen der europäischen Initiative CleanSky 2, bei welcher aussichtsreiche Technologien für die Reduzierung von Emissionen und Lärm im Bereich der Luftfahrt erforscht werden.

Synthetic-Jet-Aktoren sind kleine Elemente, die in der Lage sind, kurze, gut gerichtete Luftpulse mit Geschwindigkeiten größer 100 m/s auszuströmen, wobei hierfür keine zusätzliche Druckluftversorgung benötigt wird. Sie sind daher auch gut für Sortieranwendungen in der Industrie oder für den (Langzeit-)Test von dünnen Membranen von MEMS geeignet.

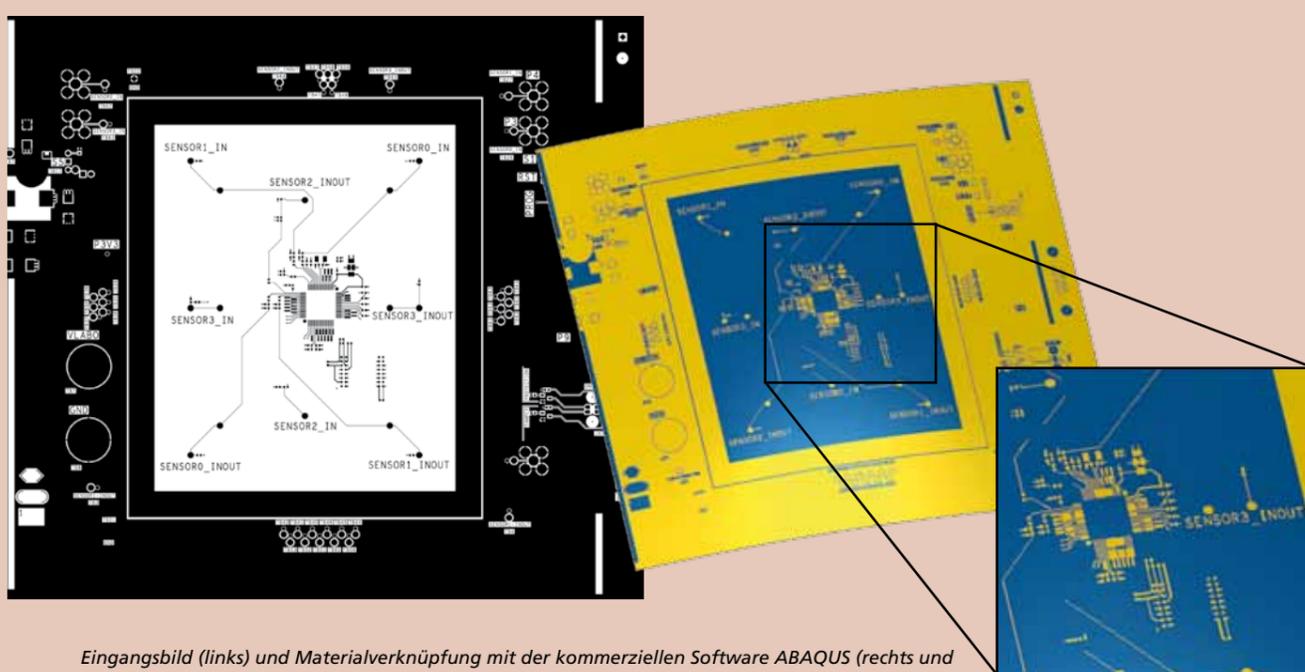
Monitoring-System zur Ortsbestimmung von Erdschlussfehlern an 110-kV-Hochspannungsfreileitungen.



AFLoNext Windtunnel-Modell mit integriertem Synthetic Jet Aktoren Array.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- MONITORING VON ENERGIENETZEN
- REDUZIERUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS
- SYNTHETIC-JET-AKTOREN FÜR FLUGZEUGE



Eingangsbild (links) und Materialverknüpfung mit der kommerziellen Software ABAQUS (rechts und Vergrößerung).

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART POWER AND MOBILITY

PROFILOPTIMIERUNG VON MULTILAYER-PCBS IN SIMULATION UND DEFORMATIONSMESSUNG

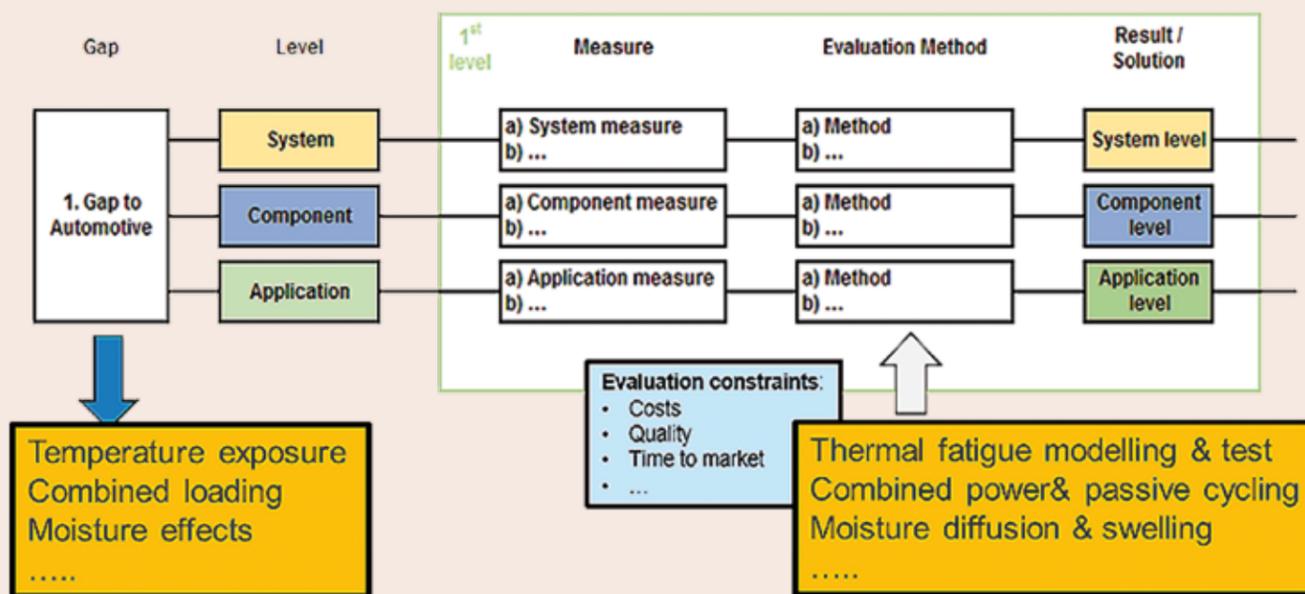
Heutige Elektronikentwicklungen werden durch die Erhöhung der Funktionsdichte, aber auch durch die Erhöhung der Zuverlässigkeit aller Komponenten auf Chip-, Package- und Board-Ebene vorangetrieben. Dabei ist die Verbindung zur Leiterplatte ein entscheidender Aspekt der Systemzuverlässigkeit und das mechanische Verhalten von SMD- oder eingebetteten Komponenten sowie das der Leiterplatte müssen gut verstanden und in Form von thermo-mechanisch induzierten Spannungen und Dehnungen determiniert werden. In diesem Sinne wurde eine detaillierte Repräsentation der Leiterplatte (PCB) mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) etabliert. Der Modellierungsansatz zur Beschreibung von Multilayer-PCB auf Basis der kommerziellen Software ABAQUS wurde mit experimentellen Verwölbungsmessungen, durchgeführt mit einem MicroProf 300-System, verifiziert.

Eine auf Python V2.7.3 basierende Benutzeroutine ist nun in der Lage, Multilayer-Leiterplatten in ABAQUS adäquat darzustellen. Das Verfahren verwendet Bilder von jedem Lagenlayout und dessen Dicke als Input für die Diskretisierung in ein benutzer-definiertes Rechtecknetz (Source Grid). Nach dem Aufbau eines CAE-Modells (ABAQUS GUI) unter Berücksichtigung von Bohrungen und Ausschnitten und der Vernetzung des Modells mit benutzerdefinierter Netzdicke werden die Elemente des FE-Modells auf die entsprechenden Segmente der Bild-Diskretisierung abgebildet, um dem FE-Modell die Materialinformationen zuzuordnen. Der Vorteil liegt in einer einfachen Vernetzung der komplexen Grundgeometrie und der hohen Detailgenauigkeit der entsprechenden FE-Diskretisierung unter Erhalt der Fähigkeit, eine Vielzahl von Materialeigenschaften für das Modell wie linear elastisches, elastisch-plastisches oder viskoelastisches Verhalten zu nutzen. Die Simulation ist somit heute und in Zukunft in der Lage, basierend auf einer präziseren

Multilayer-PCB-Diskretisierung das thermo-mechanische Verhalten von belasteten Leiterplatten hinsichtlich der Wechselwirkung mit oberflächenmontierten sowie eingebetteten Bauelementen zu beschreiben.

PROJEKT TRACE: TECHNOLOGIE-BEREITSCHAFT FÜR DIE NUTZUNG VON CONSUMERELEKTRONIK IN AUTOMOBILANWENDUNGEN

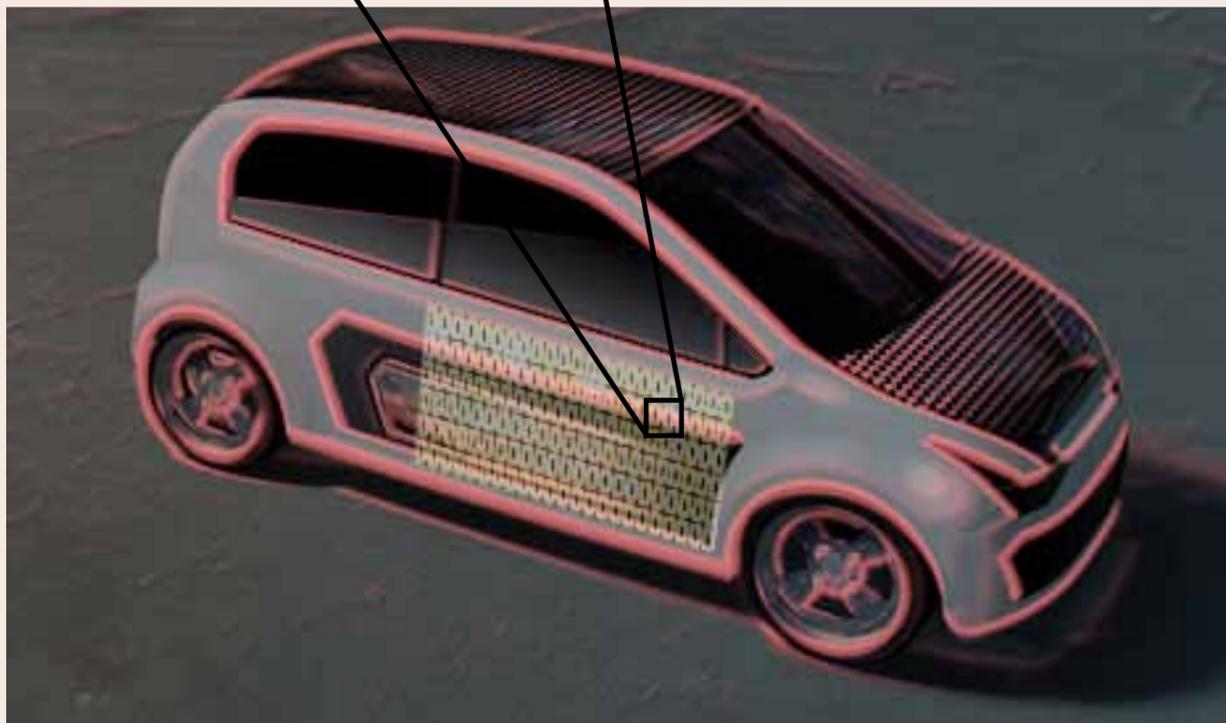
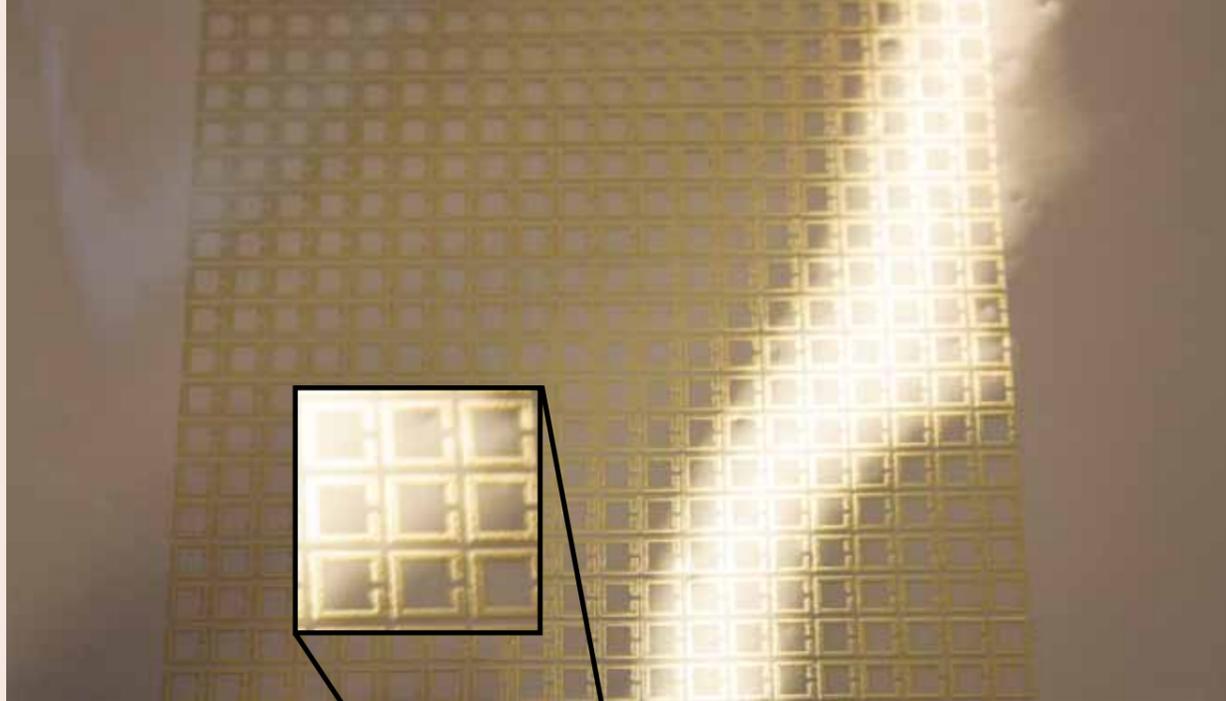
Das Projekt TRACE umfasst mehr als 30 europäische Partner, deren Ziel es ist, eine Methodik zu entwickeln, die den Einsatz von elektronischen Halbleiterbauelementen und -technologien in Automobilanwendungen unter transparenten Regeln und Einschränkungen ermöglicht. Diese Entwicklung der Automobilelektronik hin zu autonomen Fahrzeuganwendungen bringt vielfältige Herausforderungen mit sich, insbesondere auch an die zuverlässige Funktionalität. In manchen Fällen fehlt es an speziellen automobiltauglichen Komponenten und es müssen Consumer-Komponenten verwendet werden, die kaum die Automobilnormen erfüllen. Viele der Zuverlässigkeits Herausforderungen sind thermo-mechanischer Natur, da der Einsatz im Automobilbereich den Einsatz in einer viel rauerer Umgebung bedeutet. Wesentlicher Aufwand wurde in die Identifizierung von Unterschieden oder Lücken auf Komponenten-, System- und Anwendungsebene investiert. Das Fraunhofer ENAS arbeitet zusammen mit den Partnern daran, auf der Grundlage von »Physics of Failure« Bewertungsstrategien zu entwickeln, die die meisten kritischen Fehlermechanismen abdecken, um Produktfehlfunktionen aufgrund typischer Fahrzeuglasten zu vermeiden. Charakteristische Zuverlässigkeits Herausforderungen wie SnAgCu-(SAC)-Lötermüdung oder systeminduzierte in-plane- und Verwölbungseffekte auf Komponenten wurden aufgedeckt und ein neuer dedizierter Testaufbau entworfen, um die Auswirkungen der Montage zu untersuchen. Die Entwicklung und Anwendung kombinierter experimenteller numerischer Techniken zur



Identifizierte kritische Punkte zur Evaluierung von »Physics of Failure-Methoden«.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- ELEKTROMOBILITÄT
- ENERGIEVERSORGUNG
- ZUVERLÄSSIGKEIT VON CONSUMER-PRODUKTEN UND FÜR RAUHE UMGEBUNGEN



Im Tiefdruckverfahren hergestellten Metamaterials bestehend aus einem SSR-Resonator-Array auf flexiblem Foliensubstrat für Anwendungen im Bereich der passiven Zustandsüberwachung.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- **MONITORING VON LEICHTBAU-STRUKTUREN FÜR AUTOMOTIV-ANWENDUNGEN**

Bewertung und Vermeidung thermo-mechanischer Fehler führte zu Test- und Simulationsstrategien, wie sie in der Abbildung auf Seite 52 dargestellt sind. Die Analysemethoden der »Physics of Failure«, die mit den für den CE/AE-Transfer vorgesehenen Systemen verknüpft sind, haben gezeigt, dass sie für Zuverlässigkeitsanalysen und die Bewertung von 3D-Strukturen, die in rauen Umgebungen eingesetzt werden, allgemein anwendbar sind.

METAMATERIALIEN – MÖGLICHKEITEN DER REALISIERUNG PASSIV WIRKENDER SMARTER STRUKTUREN

Die Zustandsüberwachung von Leichtbaustrukturen oder gummielastischen Verbundmaterialien stellt aufgrund der Grenzflächenproblematik eine technische Herausforderung dar. Wo Grenzflächen und damit die unterschiedlichen Materialeigenschaften aufeinandertreffen, kann es zu komplexen Fehlermodi, wie Delaminationsprozessen, kommen, welche zum Verlust der Stabilität und Zuverlässigkeit des Materials führen. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Bundesexzellenzclusters EXC 1075 »MERGE Technologies for Multifunctional Lightweight Structures« die Anwendung und Integration von Metamaterialien in Verbundmaterialien untersucht, um mit deren Hilfe Materialien mit sensorischen Eigenschaften hervorzubringen, die es erlauben, Zustandsinformationen berührungslos und bei Bedarf mit passiver Sensorik zu ermitteln.

Der hier verfolgte Ansatz der Realisierung von Metamaterialien mit Sensorfunktion basiert auf der Integration von elektromagnetischen Subwellenlängen-Resonatoren in einem Verbundmaterial. Die dafür notwendigen Resonatoren werden als zweidimensionales Array auf einem Substrat mittels Druck- oder Sticotechnologien appliziert. Die Dimensionierung, Ausrichtung und Anordnung der einzelnen Resonatoren ermöglicht ein spezifisches

Reflexions-, Transmissions- und Adsorptionsverhalten von elektromagnetischen Wellen im Mikrowellenbereich. Treten nachträglich stoffliche Veränderungen, z. B. durch eindringende Feuchtigkeit, auf oder wird die Interaktion zwischen mehreren integrierten Resonator-Arrays durch Deformation oder Delamination beeinflusst, übernehmen die Resonatoren die Sensorfunktion und detektieren die Materialveränderungen. Die Auswertung erfolgt über eine Reflexionsmessung mittels eines hochfrequenten Mikrowellensignals sowie der Auswertung der Reflexionsantwort.

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

Das Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Health« bündelt abteilungsübergreifend die FuE-Aktivitäten mit medizinischem, biologischem und lebenswissenschaftlichem Hintergrund. Der Fokus unserer Entwicklungen liegt auf den technischen bzw. technologischen Aspekten, insbesondere auf der Nutzung von Mikro- und Nanotechnologien für einen Einsatz in der Medizintechnik. Die medizinische Kompetenz wird mit Hilfe von Partnern, Beratern und externen Experten ergänzt.

Im Bereich Implantate werden alle Arbeiten zusammengefasst, die implantierbare Sensor- und Aktorsysteme zum Ziel haben (in vivo). Die wesentliche Motivation für implantierbare Sensoren und Aktoren liegt im Ersatz bzw. der Verbesserung menschlicher Sinne, aber auch der Unterstützung von körperlichen Funktionen von Gelenken bis hin zu Organen.

Zur Forschung an Medizingeräten gehören alle Arbeiten zu chirurgischen Werkzeugen sowie Sensoren und Aktoren, die der Patientenüberwachung dienen und nicht implantiert werden bzw. nur kurzzeitig, im Falle einer Operation, im Körper eingesetzt werden (ex vivo). Eine wesentliche Rolle für die FuE-Inhalte spielen biokompatible Materialien, insbesondere für den Schnittstellenbereich biologisches Gewebe und technisches Gerät, aber auch die Verwendung von MRT-verträglichen Materialien sowie die drahtlose Daten- und Energieübertragung.

Im Bereich Messtechnik/Analytik sind die Arbeiten zu (diagnostischen) Analysesystemen zusammengefasst, welche durch mikrofluidische und/oder spektroskopische Komponenten gekennzeichnet sind. Ziel der Entwicklungen ist die Miniaturisierung und Automatisierung etablierter Analyseverfahren in portablen Systemen sowie die Entwicklung vollkommen neuer Systeme und Komponenten basierend auf Mikro- und Nanotechnologien.

GESCHÄFTSFELD-MANAGER

Dr. Mario Baum
+49 371 45001-261
mario.baum@enas.fraunhofer.de



Eine Milchprobe wird zur Analyse in eine mikrofluidische Kartusche gefüllt.



Sensorsystem zum hämodynamischen Controlling aus dem Leitprojekt »Theranostische Implantate« der Fraunhofer-Gesellschaft.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- **VOR-ORT-DIAGNOSTIK IN DER VETERINÄRMEDIZIN**
- **MINIATURISIERTE IMPLANTATE UND**
- **THERANOSTISCHE BAUELEMENTE**
- **DÜNNFILM-PACKAGING UND VERKAPSELUNG**

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

MOBILE ERREGERANALYSE ZUR REDUKTION VON BREITBAND-ANTIBIOTIKA IN DER VETERINÄRMEDIZIN

Im Jahr 2011 fielen, mit ca. 1.700 Tonnen, gut 2/3 des jährlichen Antibiotikaverbrauches in Deutschland auf den Bereich Veterinärmedizin. Auf Grund des vermehrten Auftommens antibiotikaresistenter Keime in der Veterinär- und Humanmedizin und den immer stärker offengelegten ökologischen und medizinischen Folgen des Medikamenteneintrages in die Umwelt ist die rationale Verwendung von Antibiotika ein erklärtes Ziel. Mastitis, d.h. eine Entzündung eines oder mehrerer Euterviertel bei Milchkühen, ist dabei eine der häufigsten Indikationen für den Antibiotikaeinsatz in der Milchwirtschaft. Unbehandelt kann eine Mastitis zum Verlust des betreffenden Euterviertels oder gar zum Verenden des Tieres führen. Im durch die Sächsische Aufbaubank geförderten Projekt MANTRA (Mastitis-Erreger- und Antibiotika-Resistenz-Test für die Vorort-Analyse) entwickelt das Fraunhofer ENAS gemeinsam mit Veterinärmedizinern, Biotechnologen und Geräteentwicklern einen neuartigen Schnelltest für Mastitis-Erreger. Der Test soll die Zeit zur gezielten Behandlung reduzieren, in dem schnell relevante Keime in der Milch und eventueller Antibiotikaresistenzen nachgewiesen werden. Zusätzlich wird so die Verwendung von unspezifischen Breitband-Antibiotika reduziert. Für den schnellen Nachweis der Erreger wird eine Milchprobe in ein mikrofluidisches System eingegeben, welches dann alle notwendigen Schritte der Probenvorbereitung, DNA-Amplifikation und Nachweis der Erreger-DNA mittels DNA-Microarray automatisiert durchführt. Der Nachweis eventuell vorhandener Antibiotikaresistenzen erfolgt analog über die Analyse von spezifischen Punktmutationen der Erreger-DNA.

THERANOSTISCHE IMPLANTATE

Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojektes »Theranostische Implantate« wurden in den letzten drei Jahren innovative Technologien für zukünftige Implantate entwickelt. Theranostik

beschreibt im Allgemeinen die Verbindung von Therapie und Diagnostik in einem Gerät. Es misst und agiert autonom. Das Gesamtsystem besteht aus einem Drucksensor, einem ASIC für das Daten- und Energiemanagement, einem Beschleunigungssensor zur Positionsmessung des Patienten und einem Interposer als Träger. Der ASIC und der Drucksensor wurden vom Fraunhofer IMS entwickelt. Die Basis des Systems bildet ein LTCC-Interposer der Firma NIKKO (Japan) mit 75 µm minimalem Abstand zwischen den elektrischen Strukturen und einem Stapel von 13 Lagen. Der Interposer enthält zudem eine Spule zur induktiven Energieversorgung und Datenübertragung. Der ASIC und der MEMS-Beschleunigungssensor werden auf dem Interposer entweder durch Flip-Chip-Bonden mit Golddraht (Stud-Bumps) oder durch Chipbefestigung und Drahtbonden befestigt. Der Aufbau wurde begleitend zur Entwicklung mittels Mikro-Computertomographie (Micro-CT) und akustischer Mikroskopie (Scanning Acoustic Microscopy, SAM) auf Bondqualität und -lücken untersucht. Weiterhin wurde ein Al₂O₃/Parylene-Dünnschicht-Multilagen-Ansatz für die biokompatible und hermetische Verkapselung verwendet. Nach der Silikonverkapselung wird das hochminiaturisierte System (Länge: ca. 15 mm, Durchmesser: ca. 3 mm) abschließend für den funktionellen Betrieb gemeinsam mit dem Fraunhofer IMS erprobt.

PROJEKT ENDOSTIM

Medizinischer Ultraschall ist eine leistungsfähige Diagnostik- und Therapietechnik, die zur Visualisierung einer Vielzahl von inneren Körperstrukturen, insbesondere von Weichgewebe, verwendet wird. Die Mehrzahl der medizinischen Ultraschallverfahren ist nicht invasiv. Allerdings erlaubt die minimalinvasive Form des Ultraschalls, auch endoskopischer Ultraschall genannt, eine hochauflösende Bildgebung vom Zielgewebe. Diese endoskopischen Ultraschallsonden sind in der Regel piezobasierte Wandler. Im Rahmen von Endostim, einem vom BMBF geförderten Projekt, arbeitet das Fraunhofer ENAS an der Entwicklung von hochminiaturisierten Ultraschallwandlern auf Siliziumbasis, welche für diagnostische und therapeutische Anwendungen vorgesehen



Eine auf einem technischen Textil hergestellte Batterie treibt eine LED.



Der Demonstrator der vom BMBF geförderte Entwicklung der Sens-o-Spheres zur neuartigen Messung in Bioreaktorsystemen.

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART HEALTH

sind. Diese kapazitiven mikromechanischen Ultraschalltransducer (CMUTs) bieten im Vergleich zu piezobasierten Wandlern viele Vorteile, wie bspw. eine große Bandbreite, geringe Größe und hohe thermische Effizienz. In einer Kooperation der zwei am Projekt beteiligten Firmen wird der zu entwickelnde CMUT-Chip mit einem CMOS-basierten Optikchip und der zugehörigen Steuerelektronik in ein Mikro-Endoskop-System für ultraschallgestützte Verfahren integriert.

20 mAh drucktechnisch auf den technischen Textilien aufgebaut (die Funktionsfähigkeit zeigt die obere Abbildung auf Seite 60 durch das Betreiben einer LED). Ebenfalls wurden Schaltung und Bluetooth-Antenne entworfen. Im nächsten Schritt wird die Schaltung finalisiert und auf den gegebenen Substraten realisiert.

PROJEKT SENS-O-SPHERES

Die Bioverfahrenstechnik beschäftigt sich mit der Entwicklung von Prozessen im Labormaßstab. Die Prozesse werden dann in technischen Anwendungen überführt. Damit die Endprodukte möglichst ressourcenschonend, effizient und mit hoher Güte umgesetzt werden können, ist die genaue Kenntnis der ablaufenden Prozesse essenziell. Neben dem eigentlichen Optimierungsprozess, bildet die Aufnahme einer großen Menge von Prozessparametern die Grundlage der Entwicklungen. Mit dem völlig autarken, minimalinvasiven Mikromesssystem »Sens-o-Spheres« (siehe untere Abbildung Seite 60), werden die Nachteile der klassischen Prozessüberwachung umgangen. Jede der Kugeln ist mit einer wiederaufladbaren Batterie ausgestattet. Sie schwimmen frei ohne Einfluss im Medium. Um die Sphäre identifizieren zu können und sie auch zwischen parallel laufenden Prozessen zu unterscheiden, besitzt jede von ihnen ihre eigene einzigartige Sphären-ID. Im Teilprojekt des Fraunhofer ENAS wurde ein spezielles Energieübertragungssystem entwickelt. In Kombination mit einer intelligenten Steuerung einer jeden Energiesendespule konnte für das komplexe System eine hohe Ladeabdeckung für das gleichzeitige Laden von mehreren Sensoren erreicht werden. Um die Daten in Echtzeit aus dem Reaktor übermitteln zu können, wurde von den Fraunhofer-Ingenieuren eine Antenne für das Innere der Kugel entwickelt, welche bei der Übertragungsfrequenz den größten Gewinn hat. Einher mit dem Design der Antenne geht auch die Charakterisierung der Medien, um die Übertragung zuverlässig zu gewährleisten. Dadurch ist es möglich, die gesendeten Daten auch in einem Abstand von mehreren Metern außerhalb des Reaktors zu empfangen.

PROJEKT LEITEX: GEDRUCKTE ENERGIESPEICHER FÜR DRAHTLOS AUSWERTBARES SENSOR-LABEL

Sensor-Label sind bereits heute in vielfältiger Art und Weise im Einsatz. Insbesondere für Anwendungen im Bereich der Medizintechnik gibt es allerdings noch Herausforderungen. Dazu zählen u. a. die hohe Integrierbarkeit in medizinischen Textilien, die drahtlose Auswertung mittels WLAN oder Bluetooth und die vergleichsweise kostengünstige Herstellung. Ziel ist es, gedruckte Energiespeicher zu entwickeln, welche die hohen Anforderungen der Medizintechnik und der Sensoreigenschaften erfüllen.

Das Umsetzungsprojekt leiTEX (Drucktechnische Fertigung leitfähiger Strukturen und Energiequellen auf textilen Flächengebilden) innerhalb des Projektes futureTEX, das vom BMBF im Rahmen des Programms »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« gefördert wird, adressiert die Fragestellung der Entwicklung von drucktechnisch herstellbaren, dünnen und hochgradig integrierbaren Energiequellen für Anwendungen in drahtlos auswertbaren Sensorsystemen, u. a. für eine Anwendung in der Medizintechnik. Im Projekt werden, neben der Entwicklung von gedruckten Energiequellen (Batterien), auch weitere Teile des Sensorsystems wie gedruckte Leiterbahnen und Antennen entwickelt. Dabei kommen die Druckverfahren Inkjet- und Siebdruck zum Einsatz. Somit werden Sensorsysteme für z. B. Temperaturmessungen auf technischen Textilien (Kunstleder und Hygienetextilien) möglich. Innerhalb des Projektes wurden zunächst 3 V Batterien mit

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- **BIOKOMBATIBLE MATERIALIEN**
- **FLEXIBLE ENERGIEQUELLEN**
- **AUTONOME SENSORSYSTEME**
- **DRAHTLOSE KOMMUNIKATION**



TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

Das Geschäftsfeld »Technologies and Systems for Smart Production« adressiert Themen der Automatisierung und Digitalisierung der Fertigung. Im Fokus steht die Bereitstellung von Technologien zur Individualisierung von Produkten und die sensorische Überwachung der Produktion.

Mit digitalen Fertigungsverfahren wie dem Inkjet- und dem Aerosol Jet-Druckverfahren wird die ressourcenschonende Serienfertigung intelligenter und individualisierter Produkte bis hin zur Stückzahl 1 ermöglicht. Die dazu notwendigen smarten Produktionsumgebungen werden durch eigene Sensorlösungen unterstützt. Dazu zählen insbesondere Sensorlösungen, welche ein Maschinenzustands- und Prozessmonitoring innerhalb der Produktion sicherstellen. So geht es z. B. neben der Implementierung der Plug and Play Funktionalität beim Austausch von Sensoren in Produktionsumgebungen um die Entwicklung neuer Sensorsysteme für Harsh Environments bzw. um die Überwachung von Produktionshilfsmitteln wie Fetten und Ölen oder die Kontrolle der Luftqualität.

GESCHÄFTSFELD-MANAGER

Dr. Ralf Zichner
+49 371 45001-441
ralf.zichner@enas.fraunhofer.de

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

DIGITALE FERTIGUNG IN DER MASSENPRODUKTION – INNOVATION DER SERIENFERTIGUNG MIT DIGITALEN DRUCK- UND LASERVERFAHREN

Im Zuge des Marktbedarfes der individualisierten Serienbauteilfertigung unter Massenfertigungsbedingungen wird an der Nutzung von digitaler Druck- und Laserfertigung in der Produktion geforscht. Das Fraunhofer ENAS erforscht in diesem Kontext die Einsetzbarkeit des Inkjet- und Dispens-Druckverfahrens. Die wissenschaftlichen Untersuchungen werden dabei am Beispiel gedruckter Kabelbäume / Leiterbahnen für Automobil-Anwendungen durchgeführt. Ganz konkret bestand die wissenschaftliche Herausforderung darin, ein Aluminiumblech des Fahrzeugbaus vollautomatisch mit gedruckten Leiterbahnen zu versehen. Die Verlegung eines heutigen Standard-Kabelbaums könnte durch diese Technik in Teilbereichen eines Fahrzeugs ersetzt werden. Entsprechend hoch wird das Einsparpotential bewertet. In der Produktion eines Fahrzeuges wird das besagte Aluminiumblech umgeformt, um als Fahrzeugteil zur Anwendung zu kommen. Um die Taktzeit dieses Produktionsschrittes nicht zu stören, müssen entweder (a) die gedruckten Leiterbahnen auf den Aluminiumblech-Rohling oder (b) auf das dreidimensional umgeformte Aluminiumblech digital aufgebracht werden. Im Jahr 2017 wurden beide Konzepte untersucht. Es konnten zum einen gedruckte Leiterbahnen auf planaren Aluminiumblechen hergestellt werden, welche nach dem dreidimensionalen Umformprozess weiterhin funktional waren und es konnten zum anderen auf bereits umgeformte Aluminiumbleche Leiterbahnen gedruckt werden. Die gezielte Anpassung von Druckparametern und Tintenparametern stellte dabei den Schlüssel zum Erfolg dar.

PROJEKT AGENT-ELF: ADDITIVE FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN ZUR INTEGRATION ELEKTRONISCHER FUNKTIONALITÄTEN

Additive Fertigungsverfahren werden weltweit als Technologie der Zukunft gehandelt. Durch die direkte Integration von zusätzlichen Funktionsbausteinen in oder auf Strukturwerkstoffen während der Fertigung entsteht eine ganz neue »Hardware für Industrie 4.0« zum Beispiel mit integrierter Sensorik. Die Vorteile liegen in der Einsparung von Bauteilen und Montageschritten, wodurch sich die Kosten, der Materialverbrauch und das Gewicht verringern. Als Teil des vom BMBF im Programm »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« geförderten Verbundvorhabens AGENT-3D wurde AGENT-elf 2016 als Teilprojekt bewilligt. Das Projektziel besteht in der Fertigung dreidimensionaler Bauteile mit integrierten elektrischen Funktionalitäten als Multimaterialsysteme. Diese sollen in einer eigens dafür in diesem Projekt entwickelten Anlage, welche auf Basis des Dispensdrucks die komplette Prozesskette abdeckt, gefertigt werden. Im Ergebnis entstehen Werkstoffverbunde, welche bisher nicht oder nur sehr aufwändig herstellbar sind und in die je nach Anforderung sensorische Elemente integriert werden können. Das AGENT-elf-Konsortium besteht aus zehn Industriepartnern, vier Fraunhofer-Instituten sowie zwei Universitäten. Es repräsentiert die vollständige Wertschöpfungskette von der Materialentwicklung über Simulation und Modellierung, Prozessüberwachung und Anlagenbau bis hin zum Endanwender. Das Fraunhofer ENAS entwickelt in zwei Teilprojekten Modelle, Messmethoden und Bewertungsstrategien für additiv gefertigte elektrisch leitfähige Strukturen. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse werden in Technologiedemonstratoren für zwei ausgewählte, industriegetriebene Anwendungen in den Bereichen Schaltungstechnik und Thermoelektrik umgesetzt.

Gedruckte Leiterbahnen auf einem planaren und einem dreidimensional umgeformtem Aluminiumblech.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- **SMARTE DIGITALE PRODUKTION**
- **INDIVIDUALISIERTE PRODUKTION VON SERIENTEILEN**

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION



Modell eines Kugelgewindetriebs mit Sensoring aus dem Projekt SdSeMa. (Abbildung: Fraunhofer IWU)

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- **SENSORSYSTEME FÜR PROZESS- UND ZUSTANDSMONITORING**

PROJEKT SdSEMA: STRUKTURINTEGRIERTE, DRAHTLOSE SENSORIK/AKTORIK IM MASCHINENBAU

Die Digitalisierung unserer Arbeitswelt hat den Anspruch auf eine umfassendere Intelligenz der zugrundeliegenden technischen Systeme, um das Ziel einer selbstorganisierenden, anwenderorientierten und bedarfsgesteuerten automatisierten Produktion (Industrie 4.0) zu erreichen. Im Rahmen des SdSeMa-Projekts wurde hierfür eine Strukturintegration von Sensoren in Fertigungssysteme am Beispiel eines Kugelgewindetriebs entwickelt.

Die Herausforderung bestand vor allem darin, eine prozessgesteuerte in situ Zustandsüberwachung an schwer zugänglichen Stellen von Werkzeugmaschinen zu erreichen. Daher wurden miniaturisierte, vernetzte und energieeffiziente Informations- und Kommunikationstechnologien direkt in Antriebsmechanismen und Werkzeugkomponenten integriert. Wichtige Entwicklungen sind beispielsweise die Miniaturisierung des Sensorsystems, ein vielseitiger Zugang zu diesem Strukturintegrationskonzept für weitere Systemkomponenten, sowie eine drahtlose Energieübertragung. Hier zeigt das Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« – insbesondere die Fraunhofer-Institute ENAS, IIS/EAS, IPMS und IZM/ASSID mit Unterstützung des Fraunhofer IKTS und des Fraunhofer IWU – seine Kompetenzen, Sensoren und Aktoren zu entwerfen, herzustellen und als vollständig integriertes System in Maschinen zu implementieren. Diese Methoden und Technologien lassen sich in vielen Anwendungen zur funktionalen Integration im Maschinenbau einsetzen, z. B. wo eine geringe Rückwirkung auf Maschine und Komponenten, ein minimaler Formfaktor, eine robuste Installation in Maschinen, eine intelligente Datenerfassung bzw. Vorverarbeitung und eine drahtlose Datenübertragung relevant sind.

FUNKTIONALE SICHERHEIT

Industrie 4.0 bedeutet sehr enge Vernetzung der Produktionsabläufe und Produktionsausrüstungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das erfordert intelligente Elektroniksysteme für Datenerfassung, -verarbeitung, -interpretation und Kommunikation. Selbst unter rauen Einsatzbedingungen müssen diese Elektroniksysteme sehr zuverlässig sein. Unvorhergesehene Ausfälle können zum Verlust essenzieller Informationen oder gar zum plötzlichen Stopp einer hochvernetzten automatischen Fertigungsstraße führen. Um den großen ökonomischen Schaden zu verhindern, der dadurch erzeugt werden könnte, wurde ein neues Konzept für das prognostische Zustandsmanagement (prognostic health management, PHM) entwickelt, das auf allen Stufen der Industrieelektronik jeweils ein Minimum an PHM-Elementen einfügt. Es beginnt mit dem Integrieren nanoskopischer Sensoren in die Elektronikkomponenten, die Delaminationen oder Verbindungsschäden erkennen. Ihre Informationen werden auf Leiterplatten-, Modul- und Maschinenebene zusammengetragen und ausgewertet, um Wartung und Reparatur stets rechtzeitig vor dem Auftreten eines Ausfalls auszulösen. Die Methoden der künstlichen Intelligenz können dabei mithelfen, kontinuierliches Selbstlernen zu erreichen und die Treffsicherheit immer weiter zu erhöhen. Auf diese Weise wird die funktionale Sicherheit und die Anlagenverfügbarkeit soweit angehoben, dass Industrie 4.0-Lösungen möglich werden.



In Kooperation mit

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SMART PRODUCTION

DRAHTLOSE SENSORSYSTEME ZUR FLEXIBLEN GESTALTUNG VON PRODUKTIONSPROZESSEN

Im Rahmen der Industrie 4.0 werden der Automatisierungsgrad und die Flexibilität von Produktionsanlagen durch modernste Technologien und Kommunikationsverfahren immer weiter erhöht. Das Fraunhofer ENAS entwickelt in Kooperation mit mehreren Partnern in einem vom BMBF geförderten Projekt »DiSSproSiP« ein neues Verfahren, durch welches das Produkt selbst die Produktionsanlagen indirekt steuert. Dazu trägt das Produkt alle für seine Produktion notwendigen Informationen auf einem RFID-Tag mit sich, welcher an jeder Anlage ausgelesen und an die Anlagensteuerung übergeben wird. Unterstützt durch den gezielten Einsatz ausgewählter Sensoren, steuert das Produkt seinen eigenen Produktionsprozess und überwacht darüber hinaus die korrekte Ausführung bestimmter Prozessschritte. Einige RFID-Tags sind für Messaufgaben um einen Mikrocontroller ergänzt und benötigen einen Energiespeicher, welcher regelmäßig geladen werden muss. Die Hauptaufgabe des Fraunhofer ENAS war die Entwicklung eines geeigneten drahtlosen Energieübertragungssystems und eines Datenübertragungsprotokolls, um über einen RFID-Tag mit einem nachgeschalteten Mikrocontroller kommunizieren zu können.

OPTISCHES MONITORINGSYSTEM ZUR QUALITÄTSKONTROLLE VON GALVANIKLÖSUNGEN

Um Galvaniklösungen während des Abscheideprozesses hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zu überwachen, werden üblicherweise kostenintensive offline-Methoden, wie High-Performance Liquid Chromatographie, eingesetzt. In einem Kooperationsprojekt hat das Fraunhofer ENAS gemeinsam mit dem japanischen Unternehmen SHINKO ELECTRIC INDUSTRIES CO., LTD. ein optisches Sensorsystem entwickelt, mit dessen Hilfe wesentliche Bestandteile in Galvaniklösungen mit geringem Aufwand online quantifiziert werden können. Das System basiert auf der Erfassung spektraler Eigenschaften der zu messenden Flüssigkeiten mittels Festkörpersensorik. In Kombination mit multivariaten Algorithmen wird die Konzentration der zu erfassenden Bestandteile bestimmt. Bei einer Abweichung von den vorgegebenen Parametern können diese somit bei Bedarf direkt nachreguliert werden. Kompakte Abmessungen, Drahtloskommunikation und optionaler Batteriebetrieb ermöglichen eine effiziente Integration in bestehende Anlagen und die Anpassung für weitere Anwendungen. Dazu zählen unter anderem Prozess- und Qualitätskontrollen in der Lebensmitteltechnik, Umweltanalytik oder in der Halbleiterindustrie.



Optisches Sensorsystem zur Qualitätsüberwachung von Galvanikprozessen.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- SENSORSYSTEME FÜR PROZESS- UND ZUSTANDSMONITORING
- DRAHTLOSES SENSORSYSTEM

144 PUBLIKATIONEN

29 VORLESUNGEN

5 DISSERTATIONEN

6 PATENTE

**16 MESSEN UND
AUSSTELLUNGEN**

25 MITGLIEDSCHAFTEN

HIGHLIGHTS

DISSERTATIONEN

10. Januar 2017

Promovend: Robert Schulze
Thema: Strukturintegrierbare mikrospritzgegossene Sensoren auf Basis piezoelektrischer Polymere
Institution: Technische Universität Chemnitz

12. Mai 2017

Promovend: Christian Friedemann Wagner
Thema: Mechanische, elektronische und optische Eigenschaften verspannter Kohlenstoffnanoröhrchen
Institution: Technische Universität Chemnitz

13. Juni 2017

Promovend: Christian Hangmann
Thema: Hocheffiziente Modellierung, Charakterisierung und Analyse von Mixed-Signal Phasenregelkreisen unter Berücksichtigung von nichtlinearen und nicht-idealen Effekten
Institution: Universität Paderborn

2. November 2017

Promovend: HU Xiao
Thema: Multiskalensimulation der Atomlagenabscheidung von metallischem Kupfer und Kupferoxid aus Cu Beta-Diketonaten
Institution: Technische Universität Chemnitz

29. November 2017

Promovend: Lutz Hofmann
Thema: Ansätze zum 3D-Wafer Level Packaging für MEMS unter Nutzung von Cu-basierten Si-Durchkontaktierungen mit hohem Aspektverhältnis
Institution: Technische Universität Chemnitz

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN

EuroSimE Achievement Award

Im April 2017 fand in Dresden die 18. EuroSimE statt. Auf ihr wurde erstmalig der EuroSimE Achievement Award vergeben, welcher herausragende Forschungsleistungen verbunden mit langjährigen Verdiensten um deren Verbreitung und Implementierung in die Industriepraxis ehrt. Das sechsköpfige Award Komitee hat den Preis 2017 an Dr. Rainer Dudek, Fraunhofer ENAS, vergeben. Besonders hervorzuheben ist seine langjährige Erfahrung zur Untersuchung der Zuverlässigkeit von Mikrosystemen und mikroelektronischen Schaltkreisen mittels Simulation (FEM) und experimenteller thermo-mechanischer Charakterisierung.

www.enas.fraunhofer.de/ueber_uns/daten_und_fakten/auszeichnungen

Best Poster Award auf MAM 2017

Im März 2017 fand die MAM2017 - Advanced Metallization Conference in Dresden statt. Den Best Poster Award der Wissenschaftler erhielt Frau Dr. Ramona Ecke für ihr Poster »Resistive switching behavior of BiFeO₃ and BiFeO₃:Ti based films on different bottom electrode materials«.

Fraunhofer ENAS-Forschungspreis

Zum bereits siebten Mal verlieh das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS den Fraunhofer ENAS-Forschungspreis an einen Wissenschaftler für dessen exzellente wissenschaftliche Forschungsergebnisse in der Mikroelektronik und/oder Mikrosystemtechnik. Am 20. Dezember 2017 wurde der Paderborner Wissenschaftler Dr. Christian Hangmann mit diesem Preis ausgezeichnet. In seinen Arbeiten entwickelte Dr. Hangmann effizientere und robustere Stabilitätsbedingungen und optimierte so den Entwurfsprozess für hochkomplexe Systeme. Mithilfe dieser neuen und robusteren Entwurfskriterien, erlangen Ingenieure einen schnellen und exakten Einblick in das hochkomplexe und chaotische Systemverhalten. Sie können die Auslegung nichtlinearer und nicht-idealer Regelkreise vereinfachen und die Entwurfsphase deutlich beschleunigen.

Fellows des Fraunhofer ENAS

Das Fraunhofer ENAS verleiht in unregelmäßigen Abständen den Titel »Fellow des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS« an langjährige verdienstvolle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Im Dezember 2017 erhielten gleich drei Wissenschaftler den Titel.

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN

Prof. Dr. Reinhard R. Baumann baute die Abteilung Printed Functionalities am Fraunhofer ENAS auf. Im Rahmen seiner Professur für Digitale Drucktechnologie und Bebilderungstechnik an der TU Chemnitz und in der von ihm geleiteten Abteilung am Fraunhofer ENAS erzielte er herausragende Forschungsergebnisse im Bereich der gedruckten Funktionalitäten. 2017 startete das erste Leitprojekt (Go Beyond 4.0) der Fraunhofer-Gesellschaft unter Koordination des Fraunhofer ENAS.

Für seine exzellente Forschungstätigkeit am Fraunhofer ENAS wurde außerdem Dr. Jürgen Auersperg mit dem Fellow Grade geehrt. Er ist ein international anerkannter Experte im Bereich Bruch- und Schädigungsmechanik und langjähriger Projektleiter der Abteilung Micro Materials Center am Fraunhofer ENAS.

Ebenfalls in der Abteilung Micro Materials Center forscht der langjährige Gruppenleiter Dr. Dietmar Vogel. Als international anerkannter Experte im Bereich der experimentellen Analytik erhielt er den dritten Fellow des Fraunhofer ENAS im Jahr 2017.

Fraunhofer-Forschungsmanager

Seit 2015 bildet die Fraunhofer-Gesellschaft in ihrem Prädikatsprogramm »Fraunhofer-Forschungsmanager/in« talentierte Nachwuchskräfte aus, die die Institute bei ihrem Auftrag Forschungsprojekte auf Basis origineller Ergebnisse zu verwerten, unterstützen. Die zweite Abschlussklasse des neuen Programmes erhielt am Mittwoch, den 8. März 2017, ihre Prädikate von Prof. Georg Rosenfeld, Vorstand für Technologiemarketing und Geschäftsmodelle. Zu ihnen gehört Dr. Mario Baum, stellvertretender Abteilungsleiter der Abteilung System Packaging und Manager des Geschäftsfeldes »Technologies and Systems for Smart Health«.

Bester Auszubildender

Die Fraunhofer-Gesellschaft ehrt jährlich die besten Auszubildenden. Im Jahr 2017 wurde Herr Carol Schmidt als einer der besten Auszubildenden in der Fraunhofer-Gesellschaft ausgezeichnet.



Prof. Dr. Georg Rosenfeld (l.), Vorstand Technologiemarketing und Geschäftsmodelle der Fraunhofer-Gesellschaft, gratuliert Dr. Mario Baum, Manager des Geschäftsfeldes »Technologies and Systems for Smart Health« am Fraunhofer ENAS, zu dem erfolgreichen Abschluss der Qualifikation zum Fraunhofer-Forschungsmanager.



Prof. Dr. Thomas Otto (2. v. l.), kommissarischer Leiter des Fraunhofer ENAS, ehrte drei Fraunhofer-Wissenschaftler – Dr. Dietmar Vogel (l.), Prof. Dr. Reinhard R. Baumann and Dr. Jürgen Auersperg (r.) – mit dem Fellow des Fraunhofer ENAS.



Der Preisträger des Fraunhofer ENAS-Forschungspreises 2017, Dr. Christian Hangmann (3. v. l.) mit dem kommissarischen Institutsleiter des Fraunhofer ENAS, Prof. Dr. Thomas Otto (2. v. l.), der Vorsitzenden des Forschungspreiskomitees, Prof. Dr. Karla Hiller (l.) sowie dem Laudator Prof. Dr. Yves Leduc (r.) von der Universität Nizza Sophia Antipolis, Polytech'Nice Sophia, Dr. Christian Hedayat (3. v. r.), Leiter der Abteilung ASE, und Prof. Dr. Ulrich Hilleringmann, Universität Paderborn..

KONFERENZEN



Der vom Fraunhofer ENAS organisierte Workshop »Micro and Nanotechnologies for Applied Spectroscopy« fand im Oktober 2017 in Dresden statt.

Internationale Konferenzen, Workshops und Seminare

Am 8. und 9. März 2017 fand die 11. Smart Systems Integration Conference and Exhibition in Cork, Irland statt. Mehr als 280 Experten aus 22 Ländern diskutierten über neueste Entwicklungen im Bereich Systemintegration und Packaging sowie Design of Smart Integrated Systems und Smart Systems Applications. Ein besonderer Schwerpunkt lag dabei auf dem Thema »Emerging Trends and Technologies in IoT and Industry 4.0«. Im Vorfeld der Konferenz fanden eine Exkursion zum Tyndall National Institute in Cork sowie EPoSS-Arbeitsgruppentreffen statt.

Vom 26. bis 29. März 2017 fand die MAM2017 – Advanced Metallization Conference in Dresden statt. Mehr als 80 Wissenschaftler aus der ganzen Welt nahmen an dem internationalen Workshop teil. Im Mittelpunkt der Tagung standen praxisbezogene Aspekte der Halbleiterindustrie: Materialien, Prozesse und Integration; Schichtabscheidung; Charakterisierung und Modellierung sowie Anwendungen bis in den nanoskaligen Bereich.

Am 19. Mai 2017 fand das erste Innovationsforum des Fraunhofer ENAS mit Vertretern auf Forschung, Industrie und Politik statt. Ziel des neuen Formats ist die Diskussionen zwischen Industrie und Forschung auf spezifischen Themen anzuregen und fortzuführen. Das Schwerpunktthema des ersten Innovationsforums war »Optische Sensoren«.

Am 13. und 14. Juni 2017 lud das Fraunhofer ENAS zu einer weiteren Veranstaltung der Reihe »Chemnitzer Seminare« ein. Ausgerichtet durch die Abteilung System Packaging fand das Seminar zum Thema »System Integration Technologies« mit Schwerpunkt auf Bondtechnologien und Anwendung in der Medizintechnik statt.

Das Fraunhofer ENAS lud am 17. Oktober 2017 zu einem Workshop mit dem Thema »Mikro- und Nanotechnologien für die angewandte Spektroskopie« in Dresden ein. Organisiert wurde der Workshop durch die Abteilung Multi Device Integration, um den Austausch zwischen Anwendern, Herstellern, Systemintegratoren und Forschungsinstituten anzuregen und die Entwicklung der nächsten Generation von miniaturisierten Spektrometern voranzutreiben.

Die Wissenschaftler des Fraunhofer ENAS stellten 2017 ihre Forschungsergebnisse auf mehr als 80 Konferenzen vor. Darüber hinaus arbeiteten die Wissenschaftler in den Komitees zahlreicher internationaler Konferenzen mit.

Fraunhofer ENAS war Organisator/Co-Organisator der folgenden Konferenzen und Workshops:

Smart Systems Integration Conference (Co-Organisator)	Cork, Irland	8.–9. März 2017
Materials for Advanced Metallization MAM 2017 (Organisator)	Dresden	26.–29. März 2017
Microclean 2017 (organisiert durch den Leiter der Abteilung Micro Materials Center)	Meerane	11.–12. Mai 2017
5. Europäischer Experten-Workshop on Smart Systems Reliability – EuWoRel 2017 (Co-Organisator)	Berlin	26.–27. September 2017
Printing Future Days (organisiert durch den Leiter der Abteilung Printed Functionalities)	Chemnitz	4.–5. Oktober 2017



AUSSTELLUNGEN UND MESSEN

Wissenschaft trifft Kunst

Seit sieben Jahren finden am Fraunhofer ENAS zweimal jährlich Kunstausstellungen statt. Im Rahmen der Ausstellungsreihe »Wissenschaft trifft Kunst« lädt das Institut Kooperationspartner, Gäste aus Politik und Gesellschaft sowie interessierte Bürger aus Chemnitz und der Umgebung ein.

2016/17 zeigten wir die Ausstellung »Zeitmomente« unseres Ausstellungskurators, Georg Felsmann, anlässlich seines 75. Geburtstags. Mit einem Künstlergespräch zwischen ihm und der Kunsthistorikerin Beate Düber wurde die Ausstellung im April beendet.

Im Sommer zeigte der Bernsdorfer Maler und Grafiker Siegfried Otto Hüttengrund in seiner Ausstellung »Aus der Tiefe« Farbholzrisse und Öllasurmalerei mit vorwiegend mythologischen Themen. Georg Felsmann und Siegfried Otto Hüttengrund nahmen die Gäste des Künstlergesprächs mit auf eine Reise durch die Entwicklungsperioden des Malers. Sie besprachen die Technik des Farbholzrisses und tauchten in die Welt der Mythologie und der Bildthemen von Otto Hüttengrund ein.

Ab Herbst 2017 war der Maler Ralf Dunkel aus der Oberlausitz mit seiner Ausstellung »CARS« zu Gast in den Räumen des Instituts. Er präsentierte Arbeiten in Mischtechniken mit Acryl, Öl, Blattsilber und -gold. Sein bestimmendes Thema ist Geschwindigkeit und Formschönheit von Oldtimern oder aktuellen Sondereditionen von Straßenwagen.

Chemnitzer Firmenlauf

Am 12. Chemnitzer Firmenlauf am 6. September 2017 nahmen vier Frauen und 21 Männer als gemeinsames Team des Fraunhofer ENAS und des Zentrums für Mikrotechnologien der TU Chemnitz teil. 7640 Läuferinnen und Läufer nahmen am Chemnitzer Firmenlauf teil. Darunter belegte unser bester männlicher Starter Platz 10 und unsere schnellste weibliche Läuferin kam auf Position 374 ins Ziel. Das Team unserer besten vier Läufer belegte gemeinsam Platz 2, die besten vier Läuferinnen Platz 124 und das Mixed-Team Platz 13. Herzlichen Glückwunsch! Wir freuen uns bereits auf den Chemnitzer Firmenlauf 2018.

Im Jahr 2017 präsentierte Fraunhofer ENAS seine Forschungsergebnisse und Prototypen auf den folgenden internationalen Messen und Ausstellungen:

European 3D Summit 2017	Grenoble, Frankreich	23.–25. Januar 2017
Smart Systems Integration 2017	Cork, Irland	8.–9. März 2017
SEMICON China 2017	Shanghai, China	14.–16. März 2017
LOPEC 2017	München	29.–30. März 2017
MEMS Engineer Forum	Tokio, Japan	26.–27. April 2017
HANNOVER MESSE 2017	Hannover	24.–28. April 2017
Techtextil 2017	Frankfurt	9.–12. Mai 2017
SENSOR + TEST 2017	Nürnberg	30. Mai–1. Juni 2017
SEMIEXPO Russia 2017	Moskau, Russland	7.–8. Juni 2017
Paris Air Show 2017	Paris, Frankreich	19.–25. Juni 2017
12th Silicon Saxony Day 2017	Dresden	20. Juni 2017
MEMS Sensing & Network System 2017	Chiba, Japan	4.–6. Oktober 2017
MST Kongress 2017	München	23.–25. Oktober 2017
COMPAMED 2017	Düsseldorf	13.–16. November 2017
SEMICON Europa 2017	München	14.–17. November 2017
productronica 2017	München	14.–17. November 2017

MITGLIEDSCHAFTEN

Mitgliedschaften des Fraunhofer ENAS

AGENT-3D e.V.	Dresden
ALD Lab Dresden	Dresden
biosaxony e.V.	Dresden
Cool Silicon e.V.	Dresden
Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik	Dresden
Eureka Cluster Metallurgy Europe	Ulm
European Center for Micro and Nanoreliability EUCEMAN	Berlin
European Platform on Smart Systems Integration EPoSS	Berlin
Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion	Deutschland
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	Deutschland
Fraunhofer-Allianz Textil	Deutschland
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik	Deutschland
Fraunhofer-Cluster 3D Integration	Dresden und Chemnitz
Industrieverein Sachsen 1828 e.V.	Chemnitz
InnoZent OWL e.V.	Paderborn
it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe e.V.	Bielefeld
IVAM Fachverband für Mikrotechnik	Dortmund
Micromachine Center	Tokio, Japan
Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«	Dresden
Organic Electronics Association OE-A	Frankfurt/Main
Organic Electronics Saxony e.V. OES	Dresden
Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI)	San Jose, USA
Silicon Saxony e.V.	Dresden
Innovationsverbund Maschinenbau Sachsen VEMASinnovativ	Chemnitz

PUBLIKATIONEN UND PATENTE

Publikationen

Die Wissenschaftler des Fraunhofer ENAS veröffentlichten 2017 ihre Forschungsergebnisse in 144 Artikeln, Büchern und Tagungsbänden.

Wenn Sie mehr erfahren möchten, finden Sie alle unsere Publikationen in der Datenbank von Fraunhofer publica. Diese enthält neben den Veröffentlichungen auch die Patente der Fraunhofer-Institute:

publica.fraunhofer.de/starweb/pub09/newPub.htm

Außerdem stehen alle Publikationen auch auf der Webseite unseres Kooperationspartners, dem Zentrum für Mikrotechnologien der TU Chemnitz, unter:

www.zfm.tu-chemnitz.de/publications/index.php.en

Elektronische Dokumente können über Fraunhofer publica heruntergeladen werden.

Patente

Im Jahr 2017, wurden 6 Patente von Wissenschaftlern des Fraunhofer ENAS veröffentlicht und/oder erteilt. Mitarbeiter des Fraunhofer ENAS sind in Summe an 155 Patentanmeldungen, offengelegten und erteilten Patenten beteiligt, die zu insgesamt 42 Patentfamilien gehören.

Publikationen:

Anke Geike

Telefon: +49 371 45001-202

E-Mail: anke.geike@enas.fraunhofer.de

fraunhofer.de

Patente:

Dr. Andreas Bertz

Telefon: +49 371 45001-402

E-Mail: andreas.bertz@enas.fraunhofer.de

fraunhofer.de

IMPRESSUM

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS
Technologie-Campus 3
09126 Chemnitz

Telefon: +49 371 45001-0

Fax: +49 371 45001-101

E-mail: info@enas.fraunhofer.de

Internet: www.enas.fraunhofer.de

Institutsleiter (komm.): Prof. Dr. Thomas Otto

Redaktion

Dr. Martina Vogel

Dr. Bianca Milde

Layout

Andrea Messig-Wetzel

Fotos

Fraunhofer ENAS

alle weiteren Quellenangaben sind direkt auf den Fotos gekennzeichnet

Druckproduktion

Elbe Druckerei Wittenberg GmbH

Fraunhofer ENAS ist Teilnehmer an der



**Forschungsfabrik
Mikroelektronik
Deutschland**

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

www.enas.fraunhofer.de

