



JAHRESBERICHT

2020

2021



WIR FORSCHEN FÜR DIE
MENSCHEN. ANWENDUNGS-
NAH, INNOVATIV UND
PROFESSIONELL.

Mit mehr als 400 Mitarbeitenden entwickelt das Fraunhofer IPMS an mittlerweile vier Standorten in Dresden, Cottbus und Erfurt innovative, kundenspezifische Lösungen in den Bereichen Intelligente Industrielösungen, Medizintechnik und Gesundheit und verbesserte Lebensqualität.

Unsere Forschungsschwerpunkte sind miniaturisierte Sensoren und Aktoren, integrierte Schaltungen, drahtlose und drahtgebundene Datenkommunikation, kunden- und anwendungsspezifische mikro-elektro-mechanische Systeme (MEMS) sowie „leading edge“-Technologien auf 300-mm-Wafern für künftige Anwendung in den Bereichen Digital, Neuromorphic und Quantum Computing.

Als zuverlässiger und kompetenter Forschungs- und Dienstleistungspartner bieten wir unseren Kunden dabei Komplettlösungen an: vom ersten Konzept über die Technologieentwicklung bis zur Muster- und Pilotfertigung auf 200-mm-Wafern im eigenen Reinraum nach qualifizierten, industrienahen Prozessen. Die Prozess- und Materialentwicklung auf 300-mm-Wafern vervollständigt unser Leistungsangebot.

VORWORT



Prof. Dr. Harald Schenk
Geschäftsführender Institutsleiter



Prof. Dr. Hubert Lakner
Institutsleiter

LIEBE FREUNDE UND PARTNER DES FRAUNHOFER-INSTITUTS FÜR PHOTONISCHE MIKROSYSTEME,

wir blicken auf ein bewegtes Jahr zurück. Die Corona-Krise hat unser aller Leben und unsere Arbeitswelt maßgeblich beeinflusst und noch immer sind die wirtschaftlichen Auswirkungen schwer abschätzbar. Vor diesem Hintergrund freuen wir uns besonders, dass wir das Jahr 2020 wirtschaftlich erfolgreich abschließen konnten und mit nunmehr vier Standorten und deutlich mehr als 400 Mitarbeitenden eine bemerkenswerte Größe, verbunden mit einer hohen thematischen Vielfalt erreicht haben. Noch dazu haben wir die bis dato beste Bewertung im Rahmen unserer Kundenzufriedenheitsanalyse erhalten. Das zeigt uns, dass unsere Strategie, basierend auf unseren Alleinstellungsmerkmalen langfristige Partnerschaften mit unseren Kunden aufzubauen, einmal mehr aufgegangen ist. Unsere Kunden bauen auf unsere Dienstleistungen, um wettbewerbsfähig zu bleiben – gerade auch in herausfordernden Zeiten.

Die global steigende Nachfrage nach Halbleitern verdeutlicht besonders in Krisenzeiten, wie wichtig unsere Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen für die Wertschöpfungsketten der Industrie national und international sind. Durch die weltweit fortschreitende Digitalisierung rücken neben der reinen Verfügbarkeit von Halbleitern weitere Themen in den Vordergrund: Technologische Souveränität und Vertrauenswürdigkeit in der Mikroelektronik („Trusted Electronics“), Nachhaltigkeitsaspekte („Green ICT“) sowie Next Generation Computing seien hier als Stichworte genannt. Diese Schwerpunkte setzt auch Deutschland und hat ein entsprechendes Rahmenprogramm Mikroelektronik auf den Weg gebracht. Das Fraunhofer IPMS beteiligt sich maßgeblich an der Erreichung der Ziele dieses Programms. Auch im europäischen Raum sind Vorhaben wie das Important Project of Common European Interest 2 (IPCEI) angestoßen, die zu einem weiteren Kapazitätsausbau bei den deutschen Halbleiterfirmen führen werden. Dabei erwarten wir, dass wir die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen durch unsere Dienstleistungen und Innovationsanstöße weiterhin signifikant unterstützen können.

Dass wir das auch heute schon erfolgreich tun, zeigt eine Vielzahl von Highlights im Jahr 2020: So konnte das Center Nanoelectronic Technologies seinen Umzug an den neuen Standort in unmittelbarer Nähe zu Globalfoundries und Bosch mit Bravour vollziehen. Mit nunmehr 4000 m² Reinraumfläche und 80 Anlagen können wir ab sofort noch zielgerichteter angewandte Forschung auf 300-mm-Wafern für Mikrochipproduzenten, Zulieferer, Equipmenthersteller und R&D-Partner bieten. Unser großer Dank gilt dem Freistaat Sachsen sowie der Fraunhofer-Gesellschaft, ohne deren Einsatz dieses Großprojekt nicht hätte realisiert werden können. Diese nicht selbstverständliche Unterstützung zeigt eindrucksvoll, welche Bedeutung dem Fraunhofer IPMS und dadurch auch der Mikroelektronik in Sachsen beigemessen werden.

Die Wichtigkeit der Medizintechnik und des Gesundheitswesens werden uns seit letztem Jahr sehr deutlich vor Augen geführt. Mit dem Projektzentrum »Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS« am Standort Erfurt, an dem wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IZI und dem Fraunhofer IOF forschen, haben wir erfolgreich die Weichen für gemeinsame Innovationsforschung in diesen Bereichen gelegt. Unsere neuen bildgebenden diagnostischen Verfahren mit KI-gestützter Auswertung, innovative mobile Sensoren und Monitoringsysteme tragen wesentlich zur Beflügelung der Digitalisierung der Medizin bei.

Für ein weiteres Highlight sorgt unser Institutsteil in Cottbus: Wir haben innerhalb des „Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus (iCampus)“ das erste Projektjahr erfolgreich abgeschlossen und die gesetzten Ziele erreicht. Dies bestätigt uns, dass wir auf dem richtigen Weg sind. Unser Dank gilt dem Land Brandenburg und besonders dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur, das nicht nur die geplante zweite Phase des iCampus ab 2022 stark unterstützt, sondern auch unsere

geplanten Forschungsaktivitäten in Richtung neuartiger sensorischer Bauelemente und Systeme für biomedizinische Anwendungen. So wollen wir den Strukturwandel in der Lausitz auch zukünftig aktiv mitgestalten und weiterhin wichtige Impulse setzen.

Auch themenspezifische Highlights sind zu benennen. Mit großem Engagement ist es dem Geschäftsfeld Flächenlichtmodulatoren SLM nach fünf Jahren gelungen, ein europaweites Großprojekt für das Thema Holografie einzuwerben. Im Bereich Active Micromachined Systems AS verzeichnen wir einen weiteren entscheidenden Erfolg durch den Vertragsabschluss mit AEye Inc., die unsere MEMS-Scanner Spiegel zukünftig in ihren LiDAR-Systemen für das autonome Fahren einsetzen werden.

Zum Schluss ein Blick auf unsere internen Strukturen. Im Jahr 2020 haben wir mit dem Ziel einer zukunftssicheren Aufstellung unsere Organisationsstruktur angepasst und damit die Voraussetzungen geschaffen, um auch künftig effizient und schlagkräftig zu agieren.

Wir bedanken uns ganz herzlich für Ihr langjähriges Vertrauen in unser Institut und freuen uns darauf, mit Ihnen als Kunden, Förderern und Partnern auch weiterhin erfolgreich zusammenzuarbeiten, Lösungen für Industrie und Gesellschaft zu entwickeln und innovative Ideen in die Anwendung zu bringen.

Harald Schenk

Hubert Lakner

INHALT

- 2 Über das Fraunhofer IPMS
- 4 Vorwort
- 6 Inhalt
- 8 Interview mit der Institutsleitung

DIGITALISIERUNG

- 12 Green ICT – Wege zur ressourcenschonenden Mikroelektronik
- 13 Trusted Electronics: Vertrauenswürdigkeit durch RFID
- 14 Sensor Edge Nodes – Künstliche Intelligenz 2.0
- 15 Sensorik für die kollaborative Robotik
- 16 Innovative Hardware für Neuromorphic Computing
- 17 ANDANTE – mit neuen Speichern zum Edge-AI-Beschleuniger für Neuromorphic Computing
- 18 Skalierbare Konzepte für Siliziumbasierte Quantencomputer
- 19 Kommunikationslösungen für die moderne Produktion

INNOVATIONSIMPULSE

- 22 Mikrolautsprecher-Ausgründung und Fraunhofer IPMS – mit Schalldruck auf dem Erfolgsweg
- 23 SENSRY – Hightech-IoT-Lösungen für den Mittelstand
- 24 CNT 2.0: Das Center Nanoelectronic Technologies an seinem neuen Standort
- 25 Pilotserienfertigung von MEMS-Scannerspiegeln für Automotive LiDAR

MEDIZINTECHNIK UND GESUNDHEIT

- 28 M³Infekt – Dezentrales Monitoring von Covid-19-Patienten
- 29 Gemeinsam aktiv gegen Corona
- 30 Atemluftanalyse zur Krankheitsdiagnostik
- 31 HYBRIDECHO – medizinischer Ultraschall neu gedacht
- 32 VirOFET – Detektion von Viren durch organische Feldeffekttransistoren
- 33 GCVID – MEMS-basierte Gaschromatographie für die Covid-19-Detektion

SPOTLIGHT

- 36 Entwicklung von Mikrospiegel-Arrays für die Holografie
- 37 Sensorik der Zukunft: Next Generation MEMS
- 38 Neuer Standort, neue Möglichkeiten
- 40 EMMA – Hochfrequenz-Messexpertise für 5G-Basisstationen der Zukunft
- 41 Abschluss des ersten Bauabschnitts am Projektzentrum MEOS
- 42 Ein Jahr iCampus Cottbus – neuartige Mikrosensorik aus der Lausitz
- 43 Leistungszentrum Mikro/Nano – Forschen für den Transfer
- 44 Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

EVENTS

- 47 #Digitalisierungsschub für die Messen und Veranstaltungen des Fraunhofer IPMS

PREISE

- 49 Fraunhofer ehrt Johannes Ziebarth als einen der bundesbesten Auszubildenden 2020

FRAUNHOFER IPMS IM PROFIL

- 52 Das Fraunhofer IPMS in Zahlen
- 53 Kuratorium 2020
- 54 Services
- 55 Evaluation Kits
- 56 Netzwerke und Kooperationen
- 57 Wissenschaftskooperationen
- 58 Patente und Publikationen
- 60 Abschlussarbeiten
- 62 Organigramm
- 64 Ansprechpersonen
- 65 Standorte
- 66 Vernetzen Sie sich
- 67 Impressum



INTERVIEW

Im Interview sprechen die beiden Institutsleiter des Fraunhofer IPMS, Prof. Harald Schenk (links) und Prof. Hubert Lakner (rechts), über das herausfordernde Jahr 2020, ihren positiven Blick in die Zukunft und die zunehmende Bedeutung der Mikroelektronik in Deutschland und Europa.

Wie haben Sie das Jahr 2020 erlebt?

Schenk – Man kann sicher sagen: Es war ein besonderes Jahr. Für die gesamte Gesellschaft, für Unternehmen, für Familien und für unsere Mitarbeitenden war es geprägt von Unsicherheit und Belastung. So etwas haben wir noch nicht erlebt. In einer solchen Krise zeigt sich aber auch, wie gut ein Team funktioniert und welche Stärken es hat. Und wenn ich in diesem Sinne auf das Jahr zurückblicke, bin ich unheimlich stolz. Unsere Mitarbeitenden haben hohe Stärke und auch ein großes Maß an Resilienz und Flexibilität bewiesen. Durch die Zusammenarbeit aller Mitarbeitenden konnten wir schnell und reibungslos ins Home Office wechseln und parallel den Reibrumbetrieb aufrechterhalten. Wir haben das Jahr wirtschaftlich erfolgreich abgeschlossen und haben von unseren Kunden die jemals besten Werte in unserer Kundenzufriedenheitsumfrage attestiert bekommen. Das ist bemerkenswert. Dementsprechend schaue ich auch mit Freude auf 2020 zurück.

Lakner – 2020 war sicherlich ein Game Changer. Gleichzeitig haben wir gelernt, dass wir uns schnell anpassen können und dabei dennoch innovativ bleiben. Ich bin sehr stolz, dass wir es geschafft haben, trotz der Herausforderungen der Pandemie große Projekte umzusetzen: Wir haben unsere Institutsorganisation umstrukturiert und auf die Zukunft ausgerichtet und den Umzug des CNT an den neuen Standort vollzogen. Dass das möglich war, ist der Unterstützung unserer Mitarbeitenden zu verdanken. Ich hoffe, dass auch sie stolz darauf sind, was sie geleistet haben!

Und wie sehen Sie nach vorne?

Lakner – Für mich persönlich geht es in ein paar Jahren in den Ruhestand (lacht). Aber natürlich habe ich trotzdem Vorstellungen, wie es weitergeht. Wir beschäftigen uns gerade mit dem Gedanken an ein Mikroelektronik-Forschungszentrum in Sachsen. Damit wollen wir den Strukturwandel zu einer innovativen Gesellschaft durch neue, intelligente

Kommunikationstechnologien unterstützen. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IZM-ASSID bauen wir unsere 300-mm-Forschung weiter aus. In Cottbus verstärken wir unsere Forschungsaktivitäten in Richtung „Next Generation MEMS“ und wollen langfristig ein Zentrum für Mikrosensorik aufbauen. Und an unserem Projektzentrum MEOS in Erfurt arbeiten wir an Schlüsseltechnologien im Bereich Biowissenschaften. Die Fundamente für eine erfolgreiche Zukunft haben wir also gelegt.

Schenk – Ich sehe eine große Chance für Deutschland und Europa in den kommenden Jahren ganz klar im Bereich der technologischen Souveränität. Ich finde es enorm wichtig, dass wir uns bei der Entwicklung mikroelektronischer Systeme und bei den Innovationen nicht abhängen lassen. Forschungseinrichtungen und Universitäten müssen auf Augenhöhe mit Unternehmen in Asien und den USA sprechen können, wo ja der größte Teil der Volumenproduktion stattfindet. Für mich geht es insbesondere um die Frage, wie man Mikroelektronik – vom Schaltkreis bis zum fertigen Sensor – in Systeme einbringt. Da müssen Deutschland und Europa aufholen. Es geht immerhin um so wichtige Themen wie Gesundheitswesen, Mobilität, Informations- und Kommunikationstechnologie. Das Wissen und die Technologien haben wir, nun geht es speziell am Fraunhofer IPMS darum, das Anwendungs-Know-how weiter auszubauen.

Wie generiert das Fraunhofer IPMS immer wieder neue Innovationsimpulse?

Lakner – Die Zukunft entsteht ja nicht rein zufällig. Man entwirft ein Bild der Zukunft und arbeitet darauf hin. Dabei muss man den gesellschaftlichen Nutzen immer im Blick haben, also schon von Beginn der Entwicklung an überlegen, welche Probleme man mit einer Technologie lösen kann. Voraussehen, ob daraus Innovation entsteht, kann man natürlich nicht – aber es hilft, sich von bestehenden Schemata zu lösen und eine neue Perspektive zu gewinnen.

Schenk – Das ist uns in der Vergangenheit zunehmend gut gelungen. Ein Beispiel – wir hatten vor Jahren eine Aktortechnologie entwickelt, den „nano-electronic drive“. Bei einer Recherche fanden wir heraus, dass es ein ungelöstes Problem im Bereich der Mikrolautsprecher gibt. Wir haben also eine Lösung erarbeitet, ein Patent erstellt, das als Basispatent gilt, haben einen Demonstrator aufgebaut und ein Spin-off namens Arioso Systems gegründet. Mittlerweile hat die Ausgründung ihre erste Seedfinanzierungsrunde mit sagenhaften 2,6 Millionen € abgeschlossen und führt Gespräche mit den weltweit größten Playern im Bereich mobiler Endgeräte.

Was erachten Sie als die Basis des Erfolgs des Fraunhofer IPMS – auch in der Krise?

Lakner – Wir planen für die Zukunft und hinterfragen uns ständig, wie wir uns noch verbessern können. Unser Motto bleibt „don't stop thinking about tomorrow“.

Schenk – Wir haben über Jahre hinweg sehr viel Wert darauf gelegt, stabile, langjährige und strategische Kundenbeziehungen aufzubauen. Das gelingt uns, weil wir über weltweite Alleinstellungsmerkmale verfügen, die für unsere Kunden stark wertschöpfend sind. Außerdem möchte ich noch einmal betonen, dass wir ein wirklich tolles Team am Fraunhofer IPMS haben, das neben dieser Kontinuität auch immer offen für Neues ist. Ich denke, diese Kombination macht uns erfolgreich.

Und wie wichtig ist Ihnen dabei die Vernetzung mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft?

Schenk – Man kann gar nicht überschätzen, was Netzwerke und Partnerschaften für einen Wert haben! Wir haben am Fraunhofer IPMS eine exzellente F&E-Infrastruktur und eine hervorragende Technologiekompetenz. Wir können allerdings keine Experten für alle denkbaren Anwendungen

sein. Daher ist es für uns unheimlich wichtig, mit den richtigen Partnern ins Gespräch zu kommen. Zuzuhören, wo ungelöste Probleme sind, die wir mit unserer Technologie lösen können.

Lakner – Ich vergleiche das immer gerne mit einem Musikstück: Solisten können eben nur Solostücke spielen, eine Philharmonie kann die großen Werke aufführen. Zum Beispiel die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland: Sie bietet als größter standortübergreifender Forschungszusammenschluss für die Mikroelektronik in Europa eine einzigartige Kompetenz- und Infrastrukturvielfalt. Was sich hier in den letzten Jahren entwickelt hat, ist beeindruckend und zeigt ganz deutlich die Wichtigkeit von Netzwerken.

Was wünschen Sie sich für die Zukunft?

Lakner – Ich träume immer noch von einem stärker vernetzten Europa, gesellschaftlich wie auch im Bereich der Forschung. Für das Fraunhofer IPMS wünsche ich mir, dass es noch weiter wächst und dass die Standorte sich erfolgreich weiterentwickeln.

Schenk – Vor allem wünsche ich mir, dass wir immer die Möglichkeit haben werden, gestalten zu können! Das macht unheimlich viel Freude. Außerdem wünsche ich mir wieder mehr Miteinander in der Gesellschaft. Dass die Bereitschaft zur Kommunikation miteinander nicht abreißt. Wir haben ein unheimlich großes Potenzial in Deutschland, unser Leben und das Leben unserer Mitbürger – auch auf der ganzen Welt – positiv mitzugestalten. Das sollten wir nutzen!

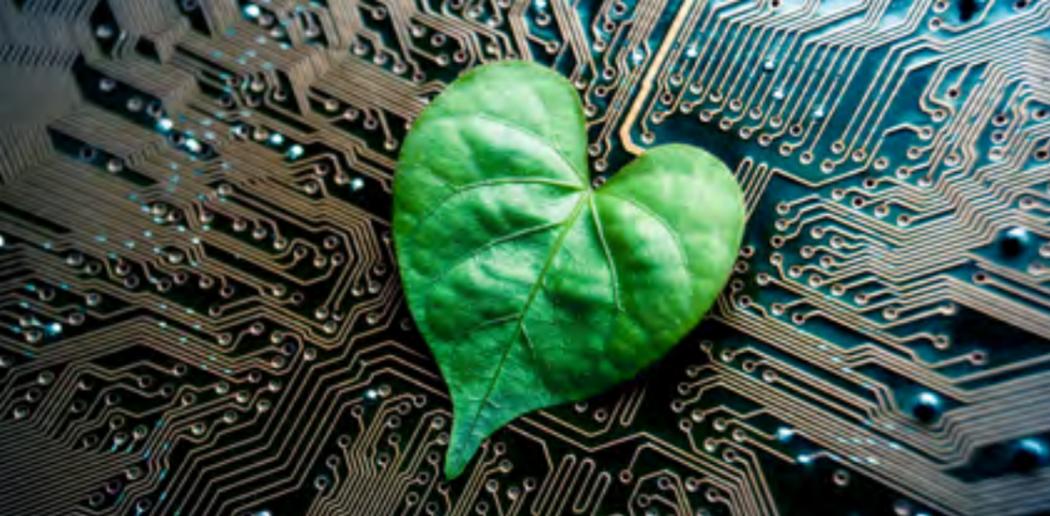
DIGITALISIERUNG

Mikroelektronik, als Basis für miniaturisierte, intelligente und vernetzte Sensoren und Aktoren, ist Schlüsseltechnologie und Enabler für die Digitalisierung, IoT und Industrie 4.0.

Sie spielt zudem eine entscheidende Rolle für die Zukunftsthemen:

- Nachhaltigkeit („Green ICT“)
- Vertrauenswürdige Elektronik („Trusted Electronics“) und Technologiesouveränität,
- Künstliche Intelligenz (KI) und Sensor Edge Nodes
- Next Generation Computing (Neuromorphic Computing, Quantencomputing).

Wir laden Sie herzlich ein, auf den nächsten Seiten mehr über unsere Forschung in diesen Bereichen zu erfahren.



Das Fraunhofer IPMS entwickelt 60-GHz-RFID für vertrauenswürdige Lieferketten für die Mikroelektronik.

GREEN ICT – WEGE ZUR RESSOURCENSCHONENDEN MIKROELEKTRONIK

Trotz aller technischen Anstrengungen ist der Gesamtenergieverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik in der Vergangenheit kontinuierlich gestiegen. Vor dem gesellschaftspolitischen Ziel der weltweiten Reduktion der CO₂-Emissionen entsteht damit für die Entwicklung von elektronischen Systemen die Herausforderung, sowohl für Herstellung als auch für den Betrieb eine Reduktion der erforderlichen Ressourcen zu erreichen. Das schließt die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette von Elektronikprodukten inklusive der Herstellungsprozesse und der Lieferketten ein. Das Fraunhofer IPMS hat sich dabei das Ziel gesetzt, zusammen mit der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) diese Ressourcenminimierung aktiv voranzutreiben.

Ziel der Initiative „Green ICT“ ist es, innerhalb der FMD ein Green-ICT-Kompetenzzentrum zu installieren, welches als zentraler Ansprechpartner für Industrie, Politik und Wissenschaft in Deutschland und Europa fungiert. Thematisch fokussierte Green-ICT-Hubs bieten den Projektpartnern die Möglichkeit, in dezidierten Testbeds Systeme und Subsysteme, Demonstratoren und Prototypen im Hinblick auf die besonderen Anforderungen an umweltgerechte Produkte evaluieren und ggf. optimieren zu lassen.

Das Fraunhofer IPMS konzentriert sich neben energiesparenden Sensor-Edge-Cloud-Systemen und energiesparenden Kommunikationsinfrastrukturen insbesondere auf eine ressourcenoptimierte Mikroelektronik-Produktion. Dabei kann sich das Institut auf umfangreiche Erfahrungen stützen, die innerhalb der zwei Reinräume des Instituts (200-mm-MST-Linie und 300-mm-Mikroelektronik-Linie) gewonnen wurden. Durch seine Expertise bietet das Fraunhofer IPMS so ein breites Spektrum mit umfassenden Angeboten für Anlagen-, IC-

und Materialhersteller, um eine ressourcenoptimierte und umweltfreundliche Elektronik-Produktion zu realisieren. Im Bereich der Prozessierung unterstützt das Institut seine Kunden durch ressourcenoptimierte Beratungs- und Entwicklungsleistungen, insbesondere im Bereich der Lithographie und der Nassprozesse. Dies beinhaltet sowohl die Untersuchung von alternativen Materialien (bspw. ceroxidfreie Slurries für CMP-Prozesse) und deren Verbrauchsreduktion als auch die Optimierung des Energieverbrauchs zur Reduktion des CO₂-Impacts.

Allgemein ist die Reinraum-Infrastruktur ein wesentlicher Faktor hinsichtlich des umwelttechnischen Impacts. Hier konzentriert sich das Fraunhofer IPMS auf die optimierte Steuerung der Infrastrukturtechnik (z. B. der Umlufttechnik) als auch auf die Nutzung von Rückgewinnungselementen (Kälteenergie-Rückgewinnung bzw. Kraft-Wärme-Kopplung). In ihrer gesamtheitlichen Betrachtung ermöglicht die Green-ICT-Initiative Angebote für eine grünere Zukunft der mikroelektronischen Produktion.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/GreenICT>

Ansprechpersonen:
Jörg Amelung
Bereichsleiter Aktive Mikromechanische Systeme
+49 351 8823-49691
joerg.amelung@ipms.fraunhofer.de

Tina Hoffmann
Bereichsleiterin Corporate Development
+49 351 8823-430
tina.hoffmann@ipms.fraunhofer.de

TRUSTED ELECTRONICS: VERTRAUENSWÜRDIGKEIT DURCH RFID

Durch die globalisierte Entwicklung und Fertigung elektronischer Komponenten und Systeme ist der Sicherheitsaspekt für Hersteller und Anwender von zentraler Wichtigkeit. Bei der sogenannten vertrauenswürdigen Elektronik („Trusted Electronics“) geht es um die Souveränität der Fertigungsprozesse, sodass sichergestellt ist, dass nur vertrauenswürdige Komponenten verbaut werden. Um dies zu erreichen, wäre ein System von Vorteil, bei dem alle mikroelektronischen Komponenten mit einem fälschungssicheren Label ausgestattet werden. Bisher scheiterte dies an den Kosten und der Größe der möglichen technischen Lösungen. Das Fraunhofer IPMS hat nun einen nur 1,5 mm² großen RFID-Tag entwickelt, der – integriert in jeden einzelnen mikroelektronischen Chip – die Vertrauenswürdigkeit sicherstellen kann.

Bei der Fertigung von Halbleiterbauelementen ist das gezielte Einbringen zusätzlicher Funktionalität, um Information über das System zu erlangen und so die Sicherheit zu umgehen, ein großes Risiko. Diese Möglichkeiten werden dadurch erleichtert, dass die moderne Fertigung von elektronischen Bauelementen und Systemen heute in vielen Fabriken globalisiert verteilt ist. So erfolgen Wafer-Fertigung, Montage ins Gehäuse sowie der Endtest in spezialisierten Fertigungsstätten, die oft nicht zu einem Konzern gehören. Nur über die Begleitpapiere und aufgedruckte Seriennummern auf den Gehäusen lässt sich die Logistik nachverfolgen. Für sicherheitsrelevante Anwendungen reicht dieser Informationsfluss nicht aus. Er ist beliebig manipulierbar und schafft so kein Vertrauen in die Bauelemente.

Am Fraunhofer IPMS wird eine Lösung durch spezielle RFID-Tags verfolgt. Dabei wird ein winziger Authentifizierungschip in das Gehäuse der zu schützenden mikroelektronischen Schaltungen eingebaut. Der Chip arbeitet vollständig autonom und besitzt keine elektrische Verbindung zu seiner Umgebung. Zur Energieversorgung werden Energy-Harvesting-Prinzipien genutzt. Die Kommunikation erfolgt über das aus der Radar-Technik bekannte Backscatter-Prinzip. Der Datenverkehr wird über kryptografische Verfahren abgesichert, um so eine Manipulation zu verhindern.

In Vorprojekten konnte bereits die prinzipielle Machbarkeit derartiger Konzepte nachgewiesen werden. Nun sollen die technischen Parameter verbessert werden, indem der Leseabstand zwischen Lesegerät und Authentifizierungschip auf ca. 5 cm verzehnfacht, die Chipfläche unter 1 mm² verkleinert und die Authentifizierungsgeschwindigkeit auf unter 100 ms gesenkt wird. Erreicht werden kann dies durch die Nutzung von Frequenzbändern über 60 GHz, durch die eine Verkleinerung der Antenne erreicht werden kann, sowie den Einsatz modernster CMOS-Technologie, um eine extrem niedrige Versorgungsspannung von 0,4 V zu realisieren.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/TrustedElectronics>

Ansprechperson:
Thomas Zarbock
Bereichsleiter Engineering, Manufacturing & Test
+49 351 8823-372
thomas.zarbock@ipms.fraunhofer.de



SENSOR EDGE NODES – KÜNSTLICHE INTELLIGENZ 2.0

Sensoren sind die Voraussetzung für Automation und Digitalisierung – von Smart Health bis zu IoT und Industrie 4.0. Die zunehmende Bedeutung und der massive Einsatz von Sensorik ist mit neuen Herausforderungen gekoppelt. Bereits heute kommen beispielsweise in Autos ca. 100 Sensoren zum Einsatz, Tendenz steigend. Die Auswertung und intelligente Nutzung dieser Daten gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung. Aktuell werden die durch die Sensoren erfassten Daten in der Regel mit Hilfe von Cloud-Lösungen in zentrale Lernsysteme eingespeist. Für Anwendungen mit hohen Anforderungen hinsichtlich Datenmengen, Latenzzeit und Sicherheit gewinnt die sensornahe, intelligente Datenverarbeitung an Bedeutung.

Das Fraunhofer IPMS bietet seinen Kunden in diesem Zusammenhang eine Komplettlösung von der Sensorentwicklung über die Sensordatenvorverarbeitung, Edge-KI-Hardwarebasis und Softwareintegration bis hin zur anwendungsspezifischen Implementierung.

Innovative Sensorlösungen wie LiDAR (Light Detection And Ranging)-Systeme, Infrarot-Arrays oder auch Ultraschallarrays kommen in zahlreichen Anwendungen zum Einsatz und generieren Datenmengen, deren Transport auch moderne Bussysteme an ihre Grenze bringen. Auch Multi-Sensorsysteme mit mehreren vernetzten Sensorknoten erfordern eine Vorverarbeitung zur Datenreduktion, um die Datenmengen organisierbar zu gestalten. Zur Reduktion der Datenübertragungsmenge und der Sicherheit im Falle eines Abbruchs der Konnektivität wird es immer wichtiger, auch vor Ort nahe des Sensorsystems Künstliche Intelligenz (KI)-Systeme zu realisieren. Hier limitiert die Größe und die Leistungsaufnahme bisher eine erfolgreiche Umsetzung.

Das Fraunhofer IPMS widmet sich der Entwicklung der nötigen Hard- und Software sowie der Konzipierung der Sensordatenverarbeitung in diesen sogenannten Edge-KI (Leistungsaufnahme < 100 mW) oder der noch kleineren Embedded KI (Leistungsaufnahme < 10 mW). Ziel ist die Lösung von kundenspezifische Sensoraufgaben mit KI-Verarbeitung. Edge steht dabei wortwörtlich für „Kante“, d.h. Edge Nodes sind dezentrale Knoten. Im Gegensatz zu den vielerorts erforschten Cloud-basierten KI-Ansätzen und -Lösungen ist dies vor allem für Anwendungen nützlich, für die eine ressourcenschonende und effiziente Verarbeitung von Daten vor Ort, das heißt direkt am Sensor oder Aktor, erforderlich ist.

Auf Basis einer Open-Hardware-Plattform (RISC-V) erarbeitet das Fraunhofer IPMS die Grundlagen und die notwendigen Schaltungskomponenten, Software und Toolchain, um eine maschinelle Verarbeitung vor Ort und applikationsspezifisch zu realisieren. Das Fraunhofer IPMS bietet Kunden dabei eine komplette KI-Plattform und die Entwicklung kompletter Sensorsysteme, inklusive den maschinellen Lernlösungen, in diesem innovativen Integrationsbereich an.

Ansprechpersonen:

Dr. Sebastian Meyer

Institutsteilnehmer Integrated Silicon Systems
+49 351 8823-137
sebastian.meyer@ipms.fraunhofer.de

Tina Hoffmann

Bereichsleiterin Corporate Development
+49 351 8823-430
tina.hoffmann@ipms.fraunhofer.de

SENSORIK FÜR DIE KOLLABORATIVE ROBOTIK

Die Digitalisierung der Produktion erfordert den Einsatz von Sensoren, die wie mehrdimensional wahrnehmende Sinnesorgane funktionieren. Das Fraunhofer IPMS entwickelt Sensoren, die autonom handelnde Systeme, z. B. kollaborative Roboter oder autonom fahrende Fahrzeuge, befähigen sollen, ähnlich dem menschlichen Sehen und Fühlen die Umgebung zu erfassen und somit sicher zusammen mit Menschen agieren zu können. Damit wären Industrieroboter in der Lage, noch anspruchsvollere Aufgaben zu übernehmen und auf ihre Umgebung adäquat zu reagieren. Das Fraunhofer IPMS verfolgt dabei verschiedene Ansätze der maschinellen Wahrnehmung: von der fühlenden Greiferhand bis hin zum „scannenden Auge“, das maschinelles Sehen mit Abstandsmessung im Raum ermöglichen soll.

Sensoren sind für die Umgebungserfassung autonom handelnder Systeme ein immer wichtiger werdendes Handlungsfeld. Zu den autonom handelnden Systemen gehören z. B. kollaborative Robotersysteme, auch COBOTs genannt, die gemeinsam mit Menschen arbeiten und im Produktionsprozess nicht durch Schutzeinrichtungen von diesen getrennt sind. Eine derartige Zusammenarbeit setzt voraus, dass die Roboter keine Gefahr für die in ihrem Umfeld arbeitenden Menschen darstellen. Sensoren, die dies sicherstellen sollen, müssen klein, sicher und möglichst redundant die Umgebung erfassen.

Das Fraunhofer IPMS arbeitet an verschiedenen Sensorprinzipien, um eine umfassende Umgebungserfassung von COBOTs zu ermöglichen. So ist ein Ziel die Entwicklung einer „sehenden Haut“ auf Basis vernetzter Sensoren, die eine umfassende

Kollisionsvermeidung des Roboters ermöglicht. Hierfür werden zur Abstandsdetektion mikromechanische Infrarot- und Ultraschall-Sensoren eingesetzt. Letztere basieren auf der am Fraunhofer IPMS entwickelten und patentierten neuartigen „Nano Electrostatic Drives“-Aktortechnologie. Um auch größere Distanzen sensorisch zu erfassen, arbeitet das Fraunhofer IPMS ergänzend an mikromechanischen LiDAR (Light Detection And Ranging)-Systemen, die die Umgebung wie ein „scannendes Auge“ ständig abtasten.

Neben der Umgebungserfassung arbeitet das Fraunhofer IPMS auch an taktilen Sensorsystemen zum sicheren und objektspezifischen Greifen. Ziel ist es, Roboter mit Hilfe von in der Greifhand integrierter Sensorik zu befähigen, Objekte vor dem Greifen zu detektieren und ihre Lage während des gesamten Greifprozesses zu überwachen. Die dadurch objektspezifisch anpassbare Greifkraft erlaubt eine schonende Behandlung der Teile und deren sicheren Transport. Das Fraunhofer IPMS entwickelt hierfür taktile Ultraschallsysteme für den Nahbereich, die auf kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlern (CMUT) basieren.

Weitere Informationen:

<https://s.fhg.de/IPMS-Cobot>

Ansprechpersonen:

Jörg Amelung

Bereichsleiter Aktive Mikromechanische Systeme
+49 351 8823-49691
joerg.amelung@ipms.fraunhofer.de

Dr. Sandro Koch

Gruppenleiter Ultrasonic Components
+49 351 8823-239
sandro.koch@ipms.fraunhofer.de



DENKENDE CHIPS: INNOVATIVE HARDWARE FÜR NEUROMORPHIC COMPUTING

Die zunehmende Digitalisierung treibt die Anforderungen an elektronische Hardware stetig an. Geschwindigkeit, Leistungsfähigkeit, Miniaturisierung und Energieeffizienz werden zunehmend wichtiger, wenn es darum geht, Anwendungen im Bereich Big Data und Künstlicher Intelligenz (KI) zu ermöglichen. Einen vielversprechenden Lösungsansatz bietet das sogenannte Neuromorphic Computing, bei dem die selbstorganisierende und selbstlernende Natur des Gehirns nachgebildet werden soll. Der Bereich Center Nanoelectronic Technologies des Fraunhofer IPMS entwickelt vor allem für Anwendungen im Edge-Bereich Materialien, Technologien und komplette Hardware-Lösungen mit hoher Energieeffizienz.

Die technologischen Entwicklungen werden in verschiedenen Ausbaustufen verfolgt. Die sogenannten „tiefen neuronalen Netze“ (deep neural networks, DNN) sind mit Hilfe klassischer Technologien (z.B. SRAM oder Flash-basiert) schon in der Anwendung angekommen und bilden zunächst die Parallelität und Effizienz des Gehirns nach. Eine weitere Miniaturisierung und Reduzierung des Energieverbrauchs für Edge-Anwendungen ist unter Verwendung neuer, innovativer Technologien möglich.

Die darauffolgende Generation der sogenannten „Spiking Neural Networks“ (SNN) versucht, zusätzlich die zeitliche Komponente der Funktionalität von Neuronen und Synapsen physikalisch nachzubilden, was eine noch höhere Energieeffizienz und Plastizität ermöglicht. Auch hier sind innovative Technologiekonzepte gegenüber klassischen Technologien vielversprechend.

Für beide Generationen neuromorpher Hardware erforscht das Fraunhofer IPMS Crossbar-Architekturen, die auf nicht-flüchtigen Speichern, den ferroelektrischen Feldeffekttransistoren beruhen. Dies geschieht innerhalb verschiedener europäischer (TEMPO, ANDANTE), aber auch Fraunhofer-intern geförderter Projekte.

Besonders innovative Materialforschung für zukünftige SNNs wird innerhalb des sächsischen Projektes MEMION betrieben, welche das Potenzial Lithium-basierter Transistoren evaluiert. Die mobilen Lithiumionen dienen hier, ähnlich wie in Halbleitern, als Dotierstoff, der die elektronische Leitfähigkeit des Materials in weiten Bereichen variieren kann. Im Unterschied zu den fixen, voreingestellten Dotierungen im Silizium ist ihre Konzentration ähnlich der Funktionsweise einer Batterie im Betrieb variabel. So lassen sich Bauelemente herstellen, die ein stufenloses Schaltverhalten über mehrere Größenordnungen aufweisen und sich so, wie kaum eine andere Technologie, für die Realisierung neuromorpher Architekturen anbieten. Die derzeitige Herausforderung besteht hier zunächst im grundsätzlichen Verständnis und der Kontrolle der ionischen Transportvorgänge auf nanoskopischen Skalen.

Weitere Informationen:

<https://s.fhg.de/NeuromorphicComputing>

Ansprechperson:

Dr. Wenke Weinreich

Bereichsleiterin Center Nanoelectronic Technologies
+49 351 2607-3053
wenke.weinreich@ipms.fraunhofer.de

ANDANTE – MIT NEUEN SPEICHERN ZUM EDGE-KI-BESCHLEUNIGER FÜR NEUROMORPHIC COMPUTING

Für die Implementierung von Neuromorphic Computing sind verschiedene Hardware-Ansätze im Gespräch. Grundlegend ist solch ein Computer ähnlich dem menschlichen Gehirn aus unzähligen Synapsen und Neuronen aufgebaut. Die Synapsen können hierbei effizient durch eingebettete Speicher dargestellt werden, welche die Verknüpfungsstärke verschiedener Neuronen miteinander beschreiben. Im Projekt ANDANTE setzen wir als ideale Synapse auf ferroelektrische Feldeffekttransistoren (FeFETs). Diese zeichnen sich sowohl durch einen sehr hohen Dynamikbereich als auch eine sehr geringe Laufzeitverzögerung aus. Damit können Signale schnell und sehr verlustarm weitergeleitet und gesammelt werden. Zusätzlich können diese in einem Chip neben Standard-Logik-Transistoren eingebaut werden, was einen skalierbaren Edge-AI-Beschleuniger ermöglicht.

„Edge KI“ bezeichnet einen Ansatz, bei dem direkt auf dem Computerchip eine intelligente Datenanalyse durchgeführt wird, was eine erhöhte Rechengeschwindigkeit bei gleichzeitig reduziertem Stromverbrauch ermöglicht. Im 2020 gestarteten Projekt ANDANTE arbeitet das Fraunhofer IPMS daran, FeFETs direkt auf dem Halbleiterchip zu implementieren und somit die energieeffizientesten am Markt verfügbaren Edge-AI-Beschleuniger zu entwickeln. Diese Chips ermöglichen es zum Beispiel, Objekte in Bildern verschiedenen Kategorien zuzuordnen oder Bereiche in einem Bild zu segmentieren.

Algorithmen, die diese Aufgaben bearbeiten, haben jedoch einen hohen Speicherbedarf, beispielsweise um die Verbindung der Neuronen, die Synapsen, zu beschreiben. Zur Lösung dieses Problems werden Chips entwickelt, die wie im menschlichen Gehirn die Funktion der Synapse direkt mit einbetten. Die Berechnungen werden damit sehr effizient

realisiert, da kein komplizierter Datentransfer zwischen Rechner und Prozessor mehr notwendig ist. Damit wird eine dezentrale, blitzschnelle und energieeffiziente Datenverarbeitung für Sensoren in der Edge möglich. In Zukunft können so Sensoren dezentral ausgewertet werden, ohne dass diese ihre Daten in die Cloud senden müssen.

FeFETs eignen sich aufgrund ihrer Widerstandsänderung und ihrer geringen Signalverzögerung ideal als Synapsen für Edge-AI-Beschleuniger. Zusätzlich demonstriert das Fraunhofer IPMS im Projekt ANDANTE auch kompatible Neuronenschaltungen. In enger Zusammenarbeit mit Unternehmen, Universitäten und den Fraunhofer-Instituten IIS und EMFT wird dabei an einem Fraunhofer-FeFET-ASIC gearbeitet, mit der Globalfoundries-Technologie 22FDX gefertigt werden kann. Erklärtes Ziel ist es hierbei, den energieeffizientesten KI-Chip am Markt zu entwickeln.

ANDANTE läuft bis Mai 2023 und weist ein Gesamtvolumen von über 40 Millionen Euro auf. Fördermittelgeber sind die Europäische Union, das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Sächsische Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. Neben Unternehmen aus der Halbleiterbranche beteiligen sich zahlreiche Universitäten und Forschungseinrichtungen an dem Projekt.

Weitere Informationen:

<https://s.fhg.de/IPMS-ANDANTE>

Ansprechperson:

Dr. Thomas Kämpfe

Gruppenleiter CMOS Integrated RF & AI
+49 351 2607-3215
thomas.kaempfe@ipms.fraunhofer.de



SKALIERBARE KONZEPTE FÜR SILIZIUMBASIERTE QUANTENCOMPUTER

Das Fraunhofer IPMS forscht zusammen mit deutschen und europäischen Partnern an skalierbaren Technologien für Halbleiter-Qubits. In verschiedenen Projekten werden industriennahe CMOS-kompatible Fertigungsmethoden entwickelt. Von Materialscreening über Prozessentwicklungen und neuen Integrationskonzepten bis hin zur Charakterisierung und Implementierung notwendiger Ansteuererelektronik werden wichtige Bestandteile für spätere Quantencomputer untersucht. Die hochmoderne 300-mm-Halbleiterinfrastruktur des Center Nanoelectronic Technologies bietet hierfür ausgezeichnete Voraussetzungen.

Quantencomputer haben das Potenzial, die Grenzen herkömmlicher Rechensysteme um ein Vielfaches zu überschreiten. Medizin, Logistik, Materialentwicklung und Kryptographie sind nur einige der Felder, die durch Quantencomputer enorme Fortschritte erfahren können. Obwohl es bereits eine Vielzahl verschiedener Ansätze für Quantencomputer gibt, existieren derzeit in Deutschland nur wenige Realisierungen, die über den Laboraufbau hinausgehen. Für die zukünftige deutsche und europäische Technologiesouveränität auch in der Hardware ist die Entwicklung von eigenen Technologien zur Fertigung skalierbarer und industriekompatibler Quantencomputer entscheidend. Hier wird das Fraunhofer IPMS mit seiner 300-mm-Technologie in den nächsten Jahren wichtige Beiträge liefern. Der Fokus des Fraunhofer IPMS liegt auf der Herstellung von Qubits und deren elektronischem Interfacing.

Konkrete Ansätze in der Herstellung von Qubits, die hohes Potenzial für industriennahe Skalierbarkeit bieten, sind Si/SiGe-, Si-MOSFET- und supraleitende Qubit-Technologien. Ebenso wichtig ist die Entwicklung von neuen und optimierten Materialien, Prozessen und Integrationskonzepten für die Kryoelektronik sowie supraleitenden Metallisierungskonzepte. Daher setzt das Fraunhofer IPMS sein Know-how und seine Infrastruktur ein, um höchstskalierbare Quantenprozessoren zu ermöglichen, die auf die Errungenschaften und Vorteile der siliziumbasierten Halbleiterfertigung aufbauen. Dies betrifft zum Beispiel Fertigungsprozesse zur Nanostrukturierung, aber auch Materialentwicklung und elektrische Ansteuerungen aus dem CMOS-Bereich.

Das Fraunhofer IPMS vernetzt sich bei seinen Tätigkeiten mit europäischen Partnern, beispielsweise im Projekt QLSI („Quantum Large-Scale Integration with Silicon“). Das Projekt ist Teil des ehrgeizigen Quantum Flagship-Programms der EU, einer 10-Jahres-Forschungsinitiative mit einem Volumen von 1 Mrd. €, die 2018 gestartet wurde. Das übergeordnete Ziel ist es, die wissenschaftliche Führung und Exzellenz Europas in den Quantentechnologien zu konsolidieren und auszubauen sowie eine wettbewerbsfähige europäische Industrie für Quantentechnologien in Gang zu bringen.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/Quantum-Computing>

Ansprechperson:
Dr. Benjamin Uhlig
Geschäftsfeldleiter Next Generation Computing
+39 351 2607-3064
benjamin.uhlig@ipms.fraunhofer.de

KOMMUNIKATIONS-LÖSUNGEN FÜR DIE MODERNE PRODUKTION

Industrie 4.0 ist längst kein reines Schlagwort mehr: In modernen Industrieanlagen sprechen Maschinen, Logistik und Produkte direkt miteinander und benötigen Technologielösungen für eine fehlerfreie und schnelle Datenübertragung. Das Fraunhofer IPMS erforscht in diesem Zusammenhang innovative Lösungen für die industrielle Kommunikation in den Technologiefeldern Li-Fi, RFID-Sensoren und IP-Cores. Das Leistungsangebot des Fraunhofer IPMS reicht dabei von der Konzeption über die Produktentwicklung bis zur Pilotserienfertigung – vom Bauelement bis zur kompletten Systemlösung.

Bisher erfolgte die echtzeitfähige Datenübertragung via Kabel mit speziellen Feldbussystemen. Kabel sind für mobile Anwendungen in Industrierobotern und der Automatisierungstechnik allerdings nicht geeignet. Die drahtlose Datenübertragung mittels Li-Fi ermöglicht eine sichere und schnelle Datenübertragung in Echtzeit über Licht und bietet dabei Datenübertragungsraten im Gigabit-Bereich. So kann eine effiziente und störungsfreie Kommunikation zwischen Maschinen in modernen Industrieanlagen sichergestellt werden.

RFID-Sensoren sind die Kombination eines RFID-Transponder-Schaltkreises und integrierten oder externen Sensoren. Sie sind in der Lage, Industrieanlagen drahtlos und auch ohne Batterie zu überwachen. Das Lesegerät versorgt den Sensor mit Energie, um die Messung durchzuführen und anschließend die Messwerte zu übertragen. Auf diese Weise können Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und weitere Parameter drahtlos und wartungsfrei überwacht werden. In diesem Bereich bietet das Fraunhofer IPMS Dienstleistungen für die Systementwicklung von batterielosen RFID-Messsystemen.

IP-basiertes Design ist ein Ansatz, der Entwicklern von ASICs und FPGAs hilft, Zeit und Arbeit durch den Einsatz spezifizierter und getesteter IP-Cores zu sparen. Das Fraunhofer IPMS entwickelt IP-Cores für die industrielle Kommunikation, die eine deterministische Datenübertragung (TSN) von Geräten in Ethernet-Netzwerken ermöglichen. Zur IP-Core-Produktfamilie des Fraunhofer IPMS gehören zudem IP-Cores für CAN2.0, CAN-FD und zukünftig auch CAN-XL als auch LIN-Bussysteme. Ausgewählte IP-Cores sind ASIL-B-Ready bzw. ASIL-D-Ready zertifiziert.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/data-communication>

Ansprechperson:
Dr. Frank Deicke
Geschäftsfeldleiter Wireless Microsystems
+49 351 8823-385
frank.deicke@ipms.fraunhofer.de

INNOVATIONSIMPULSE

Innovation ist der Treiber der Zukunft. Das Fraunhofer IPMS setzt immer wieder Innovationsimpulse mit seinen Leading-edge-Technologien. Zum Beispiel durch unsere erfolgreichen Ausgründungen, die Hochtechnologie in die Anwendung bringen. Oder durch den Ausbau der 300-mm-Forschungslinie unseres Center Nanoelectronic Technologies, das damit einen weiteren Schritt in Richtung der skalierbaren Mikroelektronik geht. Oder auch dadurch, dass unsere Forschung eine Brücke zur Industrie schlägt, indem wir technologische Entwicklungen durch Pilotfertigung in die Anwendung bringen.

Auf den folgenden Seiten laden wir Sie ein, einige der Innovationsimpulse kennenzulernen, mit denen wir zum Erfolg der nationalen und internationalen Wirtschaft beitragen. Damit aus Forschung für den Menschen Innovationen für uns alle werden.





Dr. Konrad Herre, CEO der sensry GmbH.

MIKROLAUTSPRECHER-AUSGRÜNDUNG UND FRAUNHOFER IPMS – MIT SCHALLDRUCK AUF DEM ERFOLGSWEG

Das Internet der Dinge und speziell das Internet der Sprache erfordert sehr energieeffiziente und hochwertige Audiogeräte. Insbesondere kleinste Lautsprecher werden in großen Stückzahlen für In-Ohr-Kopfhörer und andere tragbare, immer akku-getriebene, Kleinstgeräte eingesetzt. Die vom Fraunhofer IPMS 2019 aus gegründete Arioso Systems GmbH hat die exklusive Verwertung solcher Lautsprecher auf Basis von Silizium-Mikrosystemen, die am IPMS erfunden, patentiert und entwickelt wurden, als Geschäftszweck. Diese mikromechanischen Lautsprecher bieten das Potential sowohl sehr energieeffizient als auch sehr hochwertig im Klang zu sein. Um die Produkteinführung zu ermöglichen, wird die Weiterentwicklung zu noch lauterem und besser klingenden Lautsprechern durch weitere gemeinsame Projekte vorangetrieben.

Das innovative Lautsprecherkonzept basiert auf Schallwandlerelementen, die im Siliziumchip das Luftvolumen durch ihre Bewegung verdrängen, woraufhin hörbarer Schall erzeugt wird. Die Besonderheit ist die Anordnung einer großen Anzahl dieser Schallwandlerelemente innerhalb des Chips selbst, im Gegensatz zur sonst klassischen Anordnung als einzelnes größeres Element auf der Lautsprecher-oberfläche. Die grundsätzliche Umsetzbarkeit dieses Ansatzes konnte in der Vergangenheit im Labor nachgewiesen werden. Daraufhin wurden weitere Bauelementvarianten für eine Anwendung außerhalb des Labors entworfen und gefertigt, die insbesondere eine ausreichende Lautheit bzw. einen hohen Schalldruck erreichen: Für eine kommerziell erfolgreiche Anwendung ist dies jedoch noch nicht genug.

Drei wesentliche Eigenschaften bestimmen die Leistungsfähigkeit der Mikrolautsprecher: Effizienz, Lautheit und Klang. Alle drei sind gerade bei den angestrebten kleinsten Systemen als Chips besonders herausfordernd in ihrer Kombina-

tion. So kommt es auf zahlreiche weitere Verbesserungen an. Als wesentlicher Meilenstein wurden 2020 Schallwandlerelemente entwickelt, die sich linear bewegen. Diese Elemente erlauben bereits ohne aufwändige elektronische Vorbereitung des eingespeisten Audiosignals die Erzeugung eines besonders guten Klanges. Dies konnte in Verbindung mit einem gleichzeitig reduzierten Platzbedarf im Chip sowie geringerer benötigter Energieaufnahme erreicht werden. So lassen sich eine größere Anzahl dieser Elemente im Chip unterbringen und bei gleicher Chipgröße eine größere Lautheit ohne höheren Energiebedarf erreichen.

Dass sich die Partnerschaft zwischen der Ausgründung Arioso Systems GmbH und dem Fraunhofer IPMS auf dem Erfolgsweg befindet, wurde 2020 auch durch die Gewinnung weiterer gemeinsamer Förderprojekte sichtbar. Das Verwertungspotenzial der neuartigen Mikrolautsprecher wird derzeit in Gesprächen mit interessierten Industriekunden evaluiert. Gleichzeitig arbeitet das Team bereits an der Patentierung und Umsetzung weiterer Ideen, die aus der initialen Idee eines neuen Lautsprecherkonzept einen nachhaltigen Innovationsimpuls machen.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/Mikrolautsprecher>
<https://arioso-systems.com>

Ansprechperson:
Dr. Bert Kaiser
Stellv. Geschäftsfeldleiter Monolithisch Integrierte Aktor- und Sensorsysteme
+49 351 8803-150
bert.kaiser@ipms.fraunhofer.de

SENSRY – HIGHTECH-IOT-LÖSUNGEN FÜR DEN MITTELSTAND

Die technologische Entwicklung der Mikroelektronik verläuft immer rasanter, was gerade den Mittelstand als Innovationstreiber vor erhebliche Herausforderungen stellt. Bisher greifen KMU meist auf standardisierte Bauteile zurück, die jedoch nicht ausreichen, um leistungsfähige, energieeffiziente und hochintegrierte Lösungen entwickeln zu können. Im vom Freistaat Sachsen und der EU geförderten Projekt USEP („Universelle Sensor-Plattform“) entwickeln das Fraunhofer IPMS, ENAS, IZM, IZM-ASSID, IIS und IIS/EAS sowie Globalfoundries Dresden daher eine flexibel konfigurierbare, chip-integrierte und hochperformante Multisensor-Hardware für verschiedene IoT-Einsatzgebiete. Damit haben nun erstmals auch KMU Zugang zu Hochtechnologie made in Europe. 2019 entstand aus dem Projekt das Start-up Sensry. Im Interview spricht CEO Konrad Herre darüber, wie er das Start-up zum Google des IoT entwickeln will.

Sie sehen sich als Bindeglied zwischen Mittelstand und Innovation. Was verstehen Sie darunter?

Wenn ein Unternehmen seine Produkte mit intelligenter Sensorik ausstatten will, hat es oft keinen Zugang zu Hochtechnologie und auch kein Budget für eine aufwändige Elektronikentwicklung – gerade der Mittelstand. Natürlich können Unternehmen kommerziell erhältliche Bauteile zu kaufen, aber diese sind weder auf die spezifische Anwendung des Unternehmens zugeschnitten, noch weiß man, wie die Elektronik aufgebaut ist – aus Sicherheitsgründen ist das kritisch. In Dresden gibt es die Hochtechnologie und das Knowhow, diese Lücke zu schließen. Dafür ist Sensry da. Wir bieten Hightech aus Europa für Europa. Wir fertigen alles in Europa und achten auch besonders auf die Sicherheit unserer Lösungen. „Trusted Electronics“ ist hier das Stichwort. Kunden fragen das auch vermehrt nach.

Was war 2020 ein Highlight für Sensry?

Besonders positiv war für mich, dass wir ein Pilotprojekt erfolgreich abschließen konnten: Innerhalb von drei Monaten haben wir mit Partnern eine „Predictive Maintenance“-Lösung bei Globalfoundries geschaffen. Dort geht es um die vorausschauende Wartung von Reinstwasserventilen. Unser Sensor „horcht“ das Ventil ab und die am Sensorknoten verortete künstliche Intelligenz gibt eine Information über den Zustand des Ventils. Normalerweise würde so eine Entwicklung mindestens zwei bis drei Jahre in Anspruch nehmen. Wir konnten das in drei Monaten und zu einem Bruchteil der Entwicklungskosten umsetzen.

Was ist Ihr Wunsch für die Zukunft von Sensry?

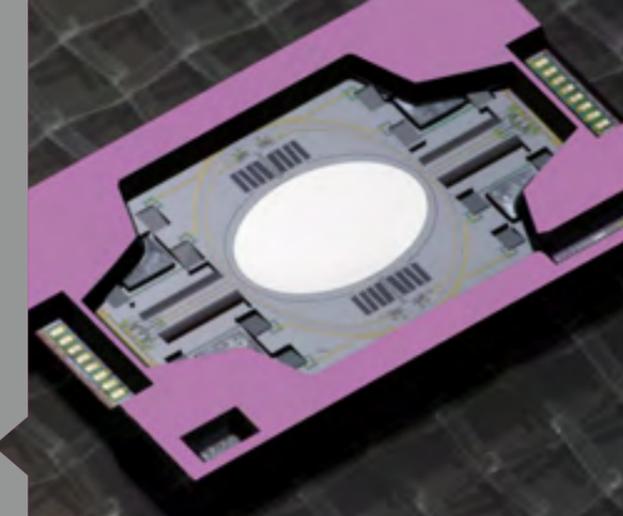
Wir haben das Ziel, unsere Plattform zu einem Hardware-Standard zu entwickeln. So wie Google der Standard bei den Suchmaschinen ist, wollen wir der Standard bei Hightech-IoT-Lösungen werden. Ich wünsche mir, dass wir damit der deutschen Industrie einen Schub verpassen können, dass wir Start-ups und KMUs helfen, innovativ zu bleiben und ihre Produkte zeit- und kosteneffektiv in die Anwendung zu bringen. Das sehe ich auch als unsere politische Aufgabe – der deutschen Industrie Lösungsmöglichkeiten anzubieten. Das steckt einfach in unseren Sensry-Genen!

Weitere Informationen:
<https://www.sensry.net>

Ansprechperson:
Konrad Herre
CEO sensry GmbH
+49 351 7999-2091
k.herre@sensry.de



Der neue Standort des CNT mit Bestandsgebäude im Vordergrund (Status quo, 2021).



Die Mikrosannerspiegel des Fraunhofer IPMS sind die Herzstücke von LiDAR-Sensoren.

CNT 2.0: DAS CENTER NANOELECTRONIC TECHNOLOGIES AN SEINEM NEUEN STANDORT

Mit dem Center Nanoelectronic Technologies CNT betreibt das Fraunhofer IPMS angewandte Mikroelektronikforschung auf 300-mm- Wafern für eine Vielzahl von Kunden. Bisher wurden dafür Reinraum-, Labor und Büroflächen bei Infineon Technologies in Dresden genutzt. Aufgrund der starken wirtschaftlichen Nachfrage benötigte unser langjähriger Partner die Räumlichkeiten selbst. So startete für das CNT 15 Jahre nach der Gründung ein Umzug der Büros sowie der empfindlichen und komplexen Reinraum- und Labor-Anlagen. Mit dem neuen Standort ist der Weg zu weiteren Innovationen geebnet – mittelfristiges Ziel ist es sogar, den neuen Standort in Kooperation mit weiteren Instituten zu einem weltweit anerkannten Kompetenzzentrum für Mikroelektronik-Forschung zu entwickeln.

Im 4. Quartal 2020 wurde der Auszug aus dem alten Standort in der Königsbrücker Straße vollzogen; im Januar 2021 konnten die Schlüssel fristgerecht zurück an Infineon übergeben werden. Seitdem ist das gesamte CNT mit seinen aktuell ca. 80 Mitarbeitenden am neuen Standort „An der Bartlake 5“ im Dresdner Norden in unmittelbarer Nähe von Globalfoundries und Bosch aktiv. Der Umzug selbst und die erforderlichen baulichen Anpassungen der Bestandsgebäude erforderten ein erhebliches Investitionsvolumen, das nur dank der umfangreichen Unterstützung durch den Freistaat Sachsen, der Fraunhofer-Gesellschaft und des BMBF realisiert werden konnte.

Mit dem Erwerb der neuen Liegenschaft durch den Freistaat Sachsen ist nun die Zukunft des CNT langfristig gesichert. Am neuen Standort ist eine stärkere fachliche Kooperation mit dem Fraunhofer IZM-ASSID geplant, das sich auf Advanced Packaging fokussiert. Mit der zukünftig verstärkten

Zusammenarbeit entsteht in Dresden ein zentraler Standort für angewandte Mikroelektronikforschung auf Basis von 300-mm-Wafern in Deutschland.

Nach Abschluss der direkten Umzugsphase liegt der Fokus 2021 auf der schnellstmöglichen Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft aller Anlagen, insbesondere im Reinraum. Im Dezember 2021 beginnt dann mit der Grundsteinlegung für einen neuen Labor- und Bürobau eine weitere Etappe des Standortausbaus, der bis 2024 abgeschlossen sein soll.

Erste Gäste durften wir am neuen Standort bereits begrüßen. Anlässlich eines Informationstages zu künstlicher Intelligenz (KI) konnte das Fraunhofer IPMS dem sächsischen Wissenschaftsminister Sebastian Gemkow im Juli 2020 z. B. innovative KI-Chipkonzepte insbesondere für Edge Computing-Anwendungen vorstellen. Mit Edge Computing ist die Datenverarbeitung in unmittelbarer Umgebung von Sensoren (z.B. Kamerasensoren) gemeint, ohne Übertragung an eine zentrale Chipeinheit oder einen externen Server. KI-Chips für Edge Computing sind in der Lage, direkt am Sensor in Echtzeit Sensordaten auszuwerten und so zum Beispiel autonome Fahrzeuge oder zivile Drohnen zu steuern.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/IPMS-CNT>

Ansprechperson:
Dr. Wenke Weinreich
Bereichsleiterin Center Nanoelectronic Technologies
+49 351 2607-3053
wenke.weinreich@ipms.fraunhofer.de

PILOTSERIENFERTIGUNG VON MEMS-SCANNERSPIEGELN FÜR AUTOMOTIVE LIDAR

Autonom fahrende Fahrzeuge sind seit jeher eine Vision der Menschheit, schon Homer und Leonardo Da Vinci träumten von selbstfahrenden Wagen. Durch die technologischen Entwicklungen der letzten Jahre rückt dieser Traum in immer greifbarere Nähe. Entscheidend dafür ist die sichere Umgebungserfassung der Fahrzeuge - genau hier kommen LiDAR-Sensoren ins Spiel. Das Fraunhofer IPMS entwickelt Mikrosannerspiegel für solche LiDAR-Systeme. Dabei agiert das Institut sowohl als Entwicklungsdienstleister für die kundenspezifische Anpassung von MEMS-Scannermodulen als auch als Pilotfertiger für die Überbrückung kleinerer und mittlerer Fertigungstückzahlen hin zur Massenfertigung bei Foundries.

Autonomes Fahren ist in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit gerückt. Die Automobilhersteller weltweit haben die fünfstufige Roadmap hin zum vollständig autonomen Fahren auf ihre strategische Agenda gesetzt. Die Aussicht auf den Einsatz neuer Technologien wie LiDAR im Massenmarkt „Automobil“ hat zu einer globalen Welle intensiver Vorentwicklungen in diesem Bereich geführt. Allein in den USA sind über 200 Startups entstanden. Darüber hinaus sind die Automobilfirmen selbst als auch ihre Tier-1-Zulieferer sowie Universitäten und Forschungsinstitute in diesem aktuellen Entwicklungsmarkt gemeinsam aktiv. Die unterschiedlichen Systemansätze für die Realisierung von LiDAR-Sensoren haben einen Reifegrad erreicht, bei dem nun die zuverlässige und vor allem kosteneffiziente Herstellung des LiDAR-Sensors selbst und seiner einzelnen Komponenten im Fokus steht. Für klassische LiDAR-Systeme haben sich galvanometrische betriebene Spiegel oder Polygon-Scanner zur optischen Abtastung der Umgebung bewährt. Für die Massenfertigung sind diese Technologien jedoch zu platzintensiv und teuer.

Mikrospiegel (MEMS-Scanner) stellen hier eine Lösung dar. Sie können in Massenfertigung mit Halbleiter-Technologien kosteneffizient hergestellt werden und erlauben eine Miniaturisierung des Gesamtsystems. Dabei sind aufgrund der Dynamik in diesem Entwicklungsmarkt die Übergänge zwischen Weiterentwicklung, Optimierung und bereits benötigten größeren Komponenten-Stückzahlen, durchaus bis zu einigen zehntausend, fließend.

Das Fraunhofer IPMS platziert sich an dieser Stelle als Partner für die Industrie. Neben der Entwicklung neuer Mikrospiegel und Scan-Module (inklusive Packaging, Elektronik + Software), der Durchführung von Machbarkeitsstudien und Beratung der Firmen, entwickeln wir für die Herstellung der Mikrospiegel zugrundeliegende Technologien bis zur Pilotserienreife. Dies erlaubt uns und unseren industriellen Partnern, potenzielle Hindernisse für die Massenfertigung früh zu erkennen und gleichzeitig bereits größere Anzahlen an LiDAR-Sensoren für Tier-1- und Automobilhersteller zur Verfügung zu stellen. Wir wollen so einen wichtigen Brückenbeitrag zur breiten Kommerzialisierung dieser vielversprechenden Technologie leisten.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/lidarvideo>

Ansprechperson:
Dr. Jan Grahmann
Geschäftsfeldleiter Active Microoptical Components & Systems
+49 351 2607-349
jan.grahmann@ipms.fraunhofer.de

MEDIZINTECHNIK UND GESUNDHEIT

2020 hat uns einmal mehr die Bedeutung der Gesundheit vor Augen geführt. Das Fraunhofer IPMS erforscht schon seit vielen Jahren Technologien für eine verbesserte Prävention, Diagnostik und Therapie im medizinischen Bereich. Dazu gehören beispielsweise MEMS-basierte innovative Bildgebungsverfahren, die es erlauben, Krankheiten schon im Anfangsstadium zu diagnostizieren. Darüber hinaus ermöglichen mikromechanische Bauelemente neuartige Therapieformen.

Durch die Corona-Pandemie rückten einige Forschungsthemen des Fraunhofer IPMS verstärkt in den Fokus – etwa die Atemgasanalyse und Methoden zur Entwicklung von CoViD-19-Schnelltests. Wir freuen uns, Sie auf den nächsten Seiten darüber zu informieren.



COVID-19

DECENTRALIZED MONITORING PROJECT
M³INFEKT



M³INFEKT – DEZENTRALES MONITORING VON COVID-19-PATIENTEN

Das Projekt M³Infekt zielt darauf ab, ein Monitoring-system zu entwickeln, das ein schnelles Eingreifen bei plötzlichen medizinischen Zustandsverschlechterungen ermöglicht. Das System soll modular, multimodal und mobil sein und kann z. B. bei der Behandlung von Covid-19-Patienten eingesetzt werden. Durch die frühzeitige Einleitung erforderlicher Maßnahmen hilft das System, Krankheitsverläufe abzumildern, die Therapiedauer zu verkürzen und Intensivtherapiestationen flexibel zu nutzen. Die Förderung erfolgt über das interne Fraunhofer-vs-Corona-Programm.

Die Corona-Pandemie stellt eine Herausforderung für die medizinische Diagnostik dar: Neben schweren Symptomen verursacht das SARS-CoV2-Virus auch initial milde Verläufe, die sich akut verschlechtern können. Eine durchgängige Überwachung des Zustands von Patient*innen gibt es aber bisher nur auf Intensivstationen (ITS). Außerhalb der ITS werden plötzliche Zustandsverschlechterungen oft erst zeitverzögert erkannt und Betroffene zu spät adäquat behandelt. An dieser Stelle setzt M³Infekt an. Durch die mobile Erfassung, Fusion und Analyse relevanter Biosignale können auch außerhalb von ITS valide Aussagen zu Zustand, Diagnose und Krankheitsverlauf getroffen werden.

Das Monitoringsystem adressiert langfristig die dezentrale Überwachung von Patienten auf Normalstationen sowie in außerklinischen Umgebungen. Dies geschieht anhand multimodaler Parameter des Herz-Kreislaufsystems (u.a. Herzrate, EKG, Sauerstoffsättigung, Durchblutungssituation) und der Atmung (u.a. Atemfrequenz/-volumen, Atemluftanalyse). Als Basis zur Auswertung dienen Methoden des maschinellen

Lernens, die die Diagnosestellung erleichtern und die ortsunabhängige Integration in verschiedene Einsatz- und Anwendungsszenarien gewährleisten.

Der modulare und mobile Aufbau des Systems mit standardisierten, offenen Schnittstellen ermöglicht die Anwendbarkeit für verschiedene Infektionskrankheiten, wie bspw. Influenza, Pneumonien und Sepsis. Kontinuierliches Monitoring ist neben dem Einsatz auf ITS auch im außerklinischen Bereich von Interesse, insbesondere für die Kurz- und Langzeitpflege, aber auch für ambulante Behandlungen oder die häusliche Umgebung. So können Patienten in einer für sie förderlichen Umgebung bleiben und müssen nur bei plötzlicher Verschlechterung ihres Zustands hospitalisiert werden.

Das M³Infekt-Konsortium unter Leitung des Fraunhofer IIS und des Projektzentrums MEOS besteht aus zehn Fraunhofer-Instituten und vier medizinischen Partnern. Bis Projektende im September 2021 erfolgt die Entwicklung der Sensormodule. Deren klinische Erprobung sowie die Systemintegration geschieht im Anschluss.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/M3infekt>

Ansprechperson:
Dr. Michael Scholles
Leiter Fraunhofer-Projektzentrum MEOS
+49 361 66338-151
michael.scholles@ipms.fraunhofer.de

GEMEINSAM AKTIV GEGEN CORONA

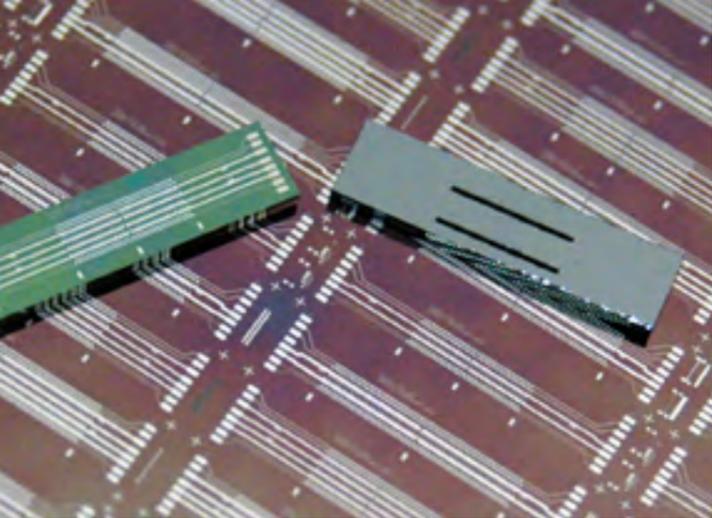
Die Corona-Krise ist eine Herausforderung, die wir nur gemeinsam bewältigen können. Das Fraunhofer IPMS engagierte sich daher schon im März 2020 unbürokratisch bei der Bekämpfung der Pandemie, nachdem es die Nachricht des Universitätsklinikums Dresden über den Engpass bei dringend benötigten Artikeln wie Handschuhen, Schutzkleidung oder Mundschutz erreicht hatte. Gemeinsam mit seinen Kooperationspartnern konnten kurzfristig 5.000 Einmalhandschuhe übergeben werden. Des Weiteren beteiligte sich das Fraunhofer IPMS am Aufruf der Europäischen Union und stellte seine verfügbaren 3D-Drucker an die vom Dresden Concept e.V. koordinierte Initiative „Coronavirus – 3D-Druck“ zur Herstellung dringend benötigter Teile zur Verfügung.

Durch die schnelle weltweite Verbreitung des Coronavirus wurden einerseits die globalen Lieferketten für medizinisch notwendige Teile, beispielsweise für Beatmungsgeräte, unterbrochen, was zu Engpässen führte. Gleichzeitig stieg der weltweite Bedarf an medizinischen Produkten zur Behandlung und für den Infektionsschutz rapide an, was die Situation noch verschärfte. In einigen europäischen Ländern wurden Plattformen gegründet, um durch additive Fertigungsprozesse fehlende Bauteile zu produzieren und so die Medizintechnikunternehmen zu unterstützen. Drucker, die sonst für additive Fertigungsverfahren von Bauteilen für Experimente genutzt werden, konnten so bei der Versorgung von Erkrankten aushelfen. Die Drucker konnten unter anderem Ventile für Beatmungsgeräte, Atemschutzmasken und Maskenhalter, welche die Ohren des Pflegepersonals entlasten, oder Gesichtsschutz aus transparenter Folie herstellen.

Auch das Fraunhofer IPMS beteiligte sich am Aufruf der Europäischen Union, zusammen mit anderen Dresdner Forschungseinrichtungen wie der Professur für Technisches Design der TU Dresden, dem Zentrum für Translationale Knochen-, Gelenk- und Weichgewebeforschung an der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der TU Dresden und dem Makerspace der SLUB. Dabei stellte das Fraunhofer IPMS die am Institut verfügbaren 3D-Drucker an die vom Dresden Concept e.V. koordinierte Initiative „Coronavirus – 3D-Druck“ zur Herstellung dringend benötigter Teile zur Verfügung.

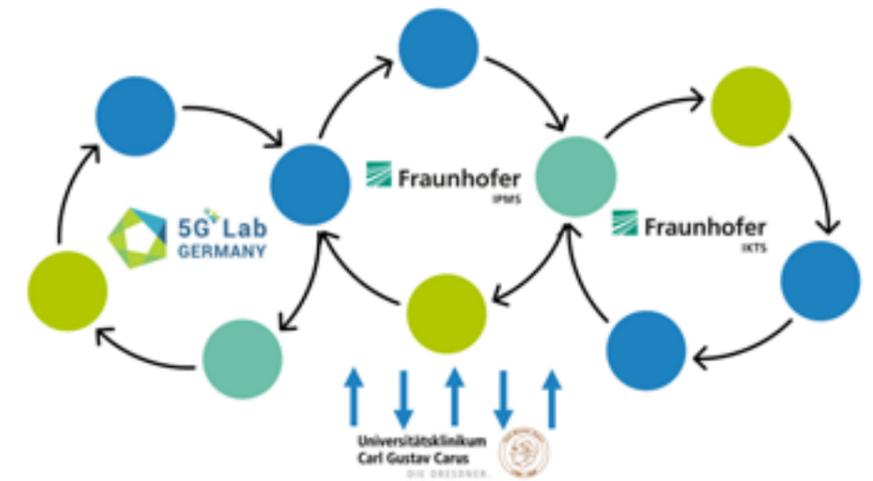
Am 27. März 2020 wurde nach mehreren erfolgreich verlaufenen Tests am Universitätsklinikum Dresden und am Städtischen Klinikum Dresden, Standort Friedrichstadt, das finale Design für die Halterung eines Gesichtsschutzvisiers freigegeben. Alleine am Fraunhofer IPMS wurden jeweils über 70 Kopf- und Unterteile hergestellt und ausgeliefert.

Ansprechperson:
Mario Nitzsche
Gruppe Lichtmodulator-Forschung
+49 351 8823-398
mario.nitzsche@ipms.fraunhofer.de



FAIMS-Chip in MEMS-Technologie zur Atemluftanalyse.

Innovationimpulse durch Fachübergreifende Kompetenzbündelung.



ATEMLUFTANALYSE ZUR KRANKHEITSDIAGNOSTIK

Unsere Atemluft enthält Informationen, die sich für die Diagnose von Krankheiten nutzen lassen. Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Projektzentrum für Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS entwickeln Lösungen, die künftig eine qualitative Analyse der Atemluft ermöglichen. Bei ihren Forschungsarbeiten fokussieren sie sich zunächst auf das frühzeitige Erkennen von Krebserkrankungen. Aber auch die Unterscheidung zwischen gripalen Infekten und COVID-19 ist denkbar.

Manche Krankheiten kann man riechen. Ein leicht süßlich-fruchtiger Acetongeruch in der Atemluft etwa deutet auf Diabetes hin. Die charakteristischen Gerüche entstehen durch spezifische flüchtige organische Verbindungen („volatile organic compounds“, VOC). Diese werden beim Ausatmen freigesetzt, noch bevor Symptome auftreten. Oftmals sind es Kombinationen aus mehreren VOC in einer deutlich erhöhten oder deutlich erniedrigten Konzentration, die charakteristisch für eine bestimmte Krankheit sind.

Das Fraunhofer MEOS nutzt für die Atemluftsensorik die Ionenmobilitätsspektrometrie. Diese nicht invasive Technologie ist sensitiv und selektiv, schnell, kostengünstig und zudem klein und mobil, sodass sie problemlos in Arztpraxen und Krankenhäusern eingesetzt werden kann.

Herzstück des neuartigen Ionenmobilitätsspektrometers ist ein miniaturisierter FAIMS-Chip („High Field asymmetric ion mobility spectrometry“). Das MEMS-Bauelement umfasst einen Ionenfilter und einen Detektor. Eine UV-Lampe komplettiert das Gerät. Zunächst werden die VOC in einem Trägergasstrom in das Spektrometer gepumpt, wo sie im nächsten Schritt mit Hilfe des UV-Lichts ionisiert werden. Die geladenen Moleküle werden in den am Fraunhofer IPMS entwickelten und gefertigten FAIMS-Chip geleitet. Durch das Einstellen der alternierenden Spannung an den Filterelektroden kann man auswählen, welche VOC zum Detektor gelangen. Auf diese Weise erhält man einen VOC-Fingerprint, anhand dessen die Erkrankung erkannt wird.

Derzeit wird an einer optimierten elektronischen Steuerung und einer verbesserten Probenentnahme und Probenführung gearbeitet. Tests mit Zellkulturen wurden erfolgreich durchgeführt, weitere Untersuchungen mit humanem Zellmaterial sind geplant. Am Fraunhofer IZI, einem der drei am Projektzentrum beteiligten Institute, konnten in einem Projekt bereits sieben verschiedene Bakterienstämme mit dem System unterschieden werden. Zukünftig sollen eigens entwickelte KI-Algorithmen die Auswertung der VOC-Fingerprints erleichtern.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/IMS-video>

Ansprechperson:
Dr. Michael Scholles
Leiter Fraunhofer-Projektzentrum MEOS
+49 361 66338-151
michael.scholles@ipms.fraunhofer.de

HYBRIDECHO – MEDIZINISCHER ULTRASCHALL NEU GEDACHT

Sonographie, oder umgangssprachlich „Ultraschall“, kommt heutzutage als bildgebendes Verfahren in nahezu allen medizinischen Fachrichtungen zum Einsatz und zeichnet sich vor allem durch die Unschädlichkeit der eingesetzten Schallwellen aus. Das genutzte technologische Prinzip beruht auf der Erzeugung und Detektion von Schallwellen im nicht-hörbaren Bereich durch piezoelektrische Kristalle. Nachteil hierbei ist die Verschlechterung der Auflösung mit zunehmender Eindringtiefe und die begrenzte laterale Auflösung, was die diagnostische Ausbeute reduziert und u.a. das Risiko von Fehlpunktionen bei Nadelinterventionen erhöht. MEMS-basierte Ultraschallwandler zeichnen sich durch eine vielfach höhere Sensitivität aus. Ziel von HYBRIDECHO ist die Revolutionierung der Sonographie durch die Kombination beider Technologien in einem hybriden Ultraschallwandler.

Im Rahmen des Else Kröner-Fresenius-Stiftungsprojektes „Center for the human interface to digital health“ ist das Fraunhofer IPMS Teil eines Konsortiums, zusammen mit der Universitätsklinik Carl Gustav Carus Dresden, der Technischen Universität Dresden, dem Fraunhofer IKTs sowie der Contronix GmbH. Ziel ist es, durch die Kombination von schalleistungstarken Piezoelektrischen Kristallen als Sendeeinheit mit hochempfindlichen CMUT (Capacitive Micromachined Ultrasound Transducers) als Empfänger das Beste aus beiden Welten in einem hybriden System zu vereinen. In den bereits erfolgten Untersuchungen mit einem solchen hybriden Schallwandler konnte mit dem Nachweis einer 300-fach höheren Sensitivität gegenüber konventionellen Systemen ein entscheidender Meilenstein erreicht werden.

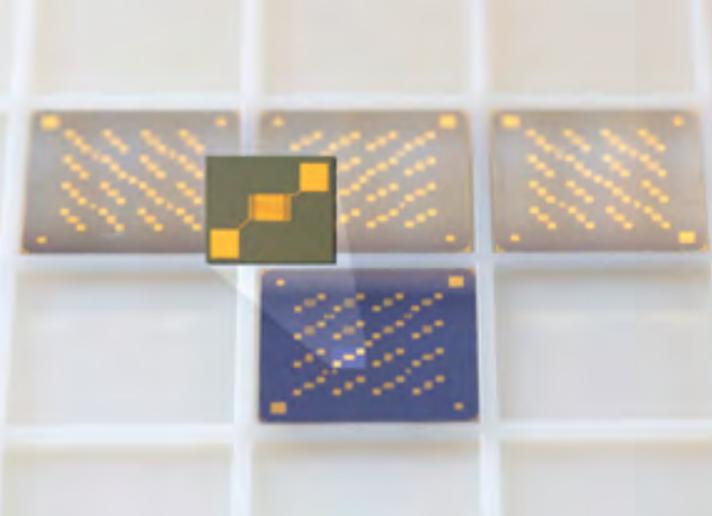
Die gewonnenen Vorteile – erhöhte Send/Empfangs-Sensitivität, höhere Bandbreite, steigende Kanalanzahl – werden mit modernsten Auswertalgorithmen aus der Mobilfunk-

technik nutzbar gemacht: Die Übertragung mithilfe etablierter Methoden wie Kanalschätzung und multistatic Radar des Mobilfunks versprechen zudem eine Steigerung der medizinischen Bildqualität und Übertragungseffizienz. Neben einer signifikanten Erhöhung der Auflösung auch bei größeren Eindringtiefen, hat das Konsortium zudem die Optimierung der lateralen Auflösung zum Ziel. Hierfür wird im nächsten Schritt ein mehrkanaliges hybrides Ultraschallsystem entwickelt, bestehend aus piezoelektrischen und MEMS-Ultraschallwandlern. Ein robotergestütztes System simuliert gleichzeitig mehrdimensionale Send- und Empfangsproblematiken.

Die hybriden Ultraschallsysteme haben durch die erhöhte Sensitivität bei gleichzeitig hohem Miniaturisierungsgrad das Potential neue Anwendungen für die medizinische Bildgebung zu erschließen. So ist ein künftiger Einsatz in Endoskopen und Kathetern zur minimal-invasiven Diagnostik denkbar. Die Technologie unterstützt durch die höhere Auflösung eine frühzeitige Diagnose und damit eine zeitnahe Therapie von Krankheiten, was mit einer verbesserten Prognose und erhöhten Lebensqualität für die Patienten korreliert und sich darüber hinaus positiv auf die Therapiekosten auswirkt. Ein echter gesellschaftlicher Mehrwert.

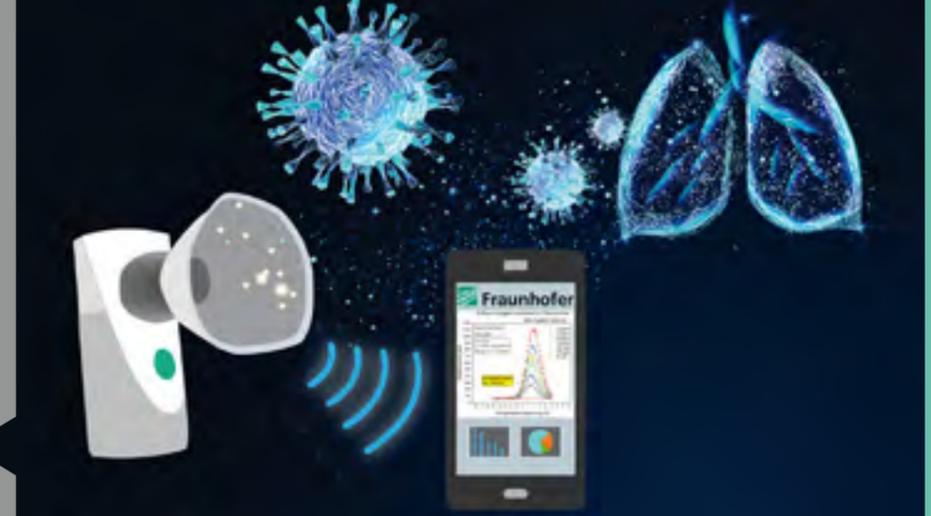
Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/hybridecho>

Ansprechperson:
Dr. Sandro Koch
Gruppenleiter Ultrasonic Components
+49 351 8823-239
sandro.koch@ipms.fraunhofer.de



OFET-Substrate des Fraunhofer IPMS.

Mobile Atemgasanalyse mit MEMS-basierten Komponenten zur Detektion von Atemwegserkrankungen.



VirOFET – DETEKTION VON VIREN DURCH ORGANISCHE FELDEFFEKTTRANSISTOREN

Zur Bekämpfung von Viruserkrankungen ist ein schneller, zuverlässiger Infektionsnachweis erforderlich. Dieser Test muss kurzfristig und in großer Stückzahl verfügbar sein und schnell auf neue Viren angepasst werden können. Ein Lösungsansatz ist die Nutzung organischer Feldeffekttransistoren (OFET). Hierbei kann der Halbleiter an die zu detektierenden Viren angepasst werden. Auf Basis der durch die Viren bedingten Änderung der elektrischen Parameter des OFET kann unmittelbar eine qualitative Aussage über eine Infektion erfolgen. Im Rahmen des Projektes VirOFET soll eine Studie die Eignung der OFET-Technologie zur Herstellung von Virusdetektoren prüfen.

OFET sind vergleichsweise leicht und in großen Stückzahlen produzierbar und lassen sich durch die Auswahl von Materialien und die Modifikation von Oberflächen und Interfaces für zahlreiche sensorische Anwendungen funktionalisieren. Die Funktionsweise besteht darin, dass die Source- und Drainelektrode über ein organisches, halbleitendes Material miteinander verbunden sind. Der Ladungstransport im Kanal zwischen Source und Drain durch den Halbleiter kann durch eine weitere Elektrode, der Gate-Elektrode gesteuert werden. Sie befindet sich typischerweise unterhalb des Halbleiterkanals und ist durch ein Gate-Dielektrikum elektrisch von Source, Drain und Halbleiterkanal separiert. Durch Wechselwirkung des organischen Halbleitermaterials mit spezifischen Markern oder gar dem Virus selbst verändern sich die elektrischen Parameter des OFET und ein Virusnachweis ist möglich.

Für den Nachweis von SARS-CoV-2 lassen sich Graphen-basierte FET durch die Anbindung von SARS-CoV-2-Spike-Protein-Antikörpern über 1-Pyren-buttersäure-N-hydroxysuccinimidester funktionalisieren und ermöglichen so einen COVID-19-Schnelltest (Seo, G. et al.; ACS Nano 14, 5135–5142, 2020).

Die Herausforderungen in der Entwicklung bestehen darin, den OFET ausreichend zu dimensionieren, geeignete Materialien auszuwählen, die Grenzflächen zu beherrschen und geeignete Marker zu identifizieren, die einen selektiven COVID-19-Nachweis ermöglichen. Wenn dies gelingt, ist das Verfahren auch auf andere Viren übertragbar. Das Fraunhofer IPMS entwickelt und produziert seit vielen Jahren Substrate mit Gate, Drain und Source auf Siliziumbasis und strebt die Nutzung dieser Halbezeuge für die Virusdetektion gemeinsam mit Partnern an. Ziele des Projekts VirOFET sind daher die Anforderungen für die Virusdetektion mittels OFETs zu erarbeiten, Anforderungen an ein Substrat und den Halbleiter zu definieren, einen Prozessfluss zur Substratherstellung zu erarbeiten und Partner für eine Zusammenarbeit bezüglich geeigneter Halbleiter zu finden.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/OFET>

Ansprechperson:
Dr. Olaf R. Hild
Gruppenleiter Chemische Sensorik
+49 351 8823-450
olaf.hild@ipms.fraunhofer.de

GCVID – MEMS-BASIERTE GASCHROMATOGRAPHIE FÜR DIE COVID-19-DETEKTION

Im Rahmen des Projekts GCVID werden Möglichkeiten und Grenzen der Atemgasanalytik zur Krankheitsdetektion bewertet. Als Basis dient ein am Fraunhofer IPMS entwickeltes, MEMS-basiertes, miniaturisiertes Ionenmobilitätsspektrometer (IMS). Die Anwendbarkeit der Ionenmobilitätsspektrometrie ist begrenzt, sobald die zu untersuchenden Gasgemische viele unterschiedliche volatile organische Komponenten beinhalten. Die Kombination von IMS mit Gaschromatographen (GC) verspricht, derartig komplexe Gemische besser zu trennen. Mit diesem Ansatz erlauben MEMS-basierte kombinierte GC-IMS-Systeme potenziell eine schnelle, portable Diagnostik als ein Baustein für COVID-19-Schnelltests.

Die Atemgasanalyse bietet eine Nachweismöglichkeit von virusbedingten Erkrankungen, denn Viren erzeugen ein spezifisches Muster in der Zusammensetzung des Atemgases, welches analysiert werden kann. Der Vorteil der Atemgasanalyse besteht in der nichtinvasiven Probennahme sowie bei Vorliegen einer automatischen Datenauswertung in einer schnellen und einfachen Aussage zur einer vorliegenden Viruserkrankung. Derzeit verfügbare Diagnostiktechnologien wie beispielsweise RT-PCR sind zeit- und kostenaufwändig und ans Labor gebunden, sodass sie nur in beschränktem Umfang durchgeführt werden können. Eine Lösung bietet hier die Kombination von Ionenmobilitätsspektrometrie und Gaschromatografie, welche die hochsensitive und selektive Erfassung volatiler organischer Komponenten (VOC) in der Ausatemluft ermöglicht und damit eine schnelle Detektion vorliegender Viruserkrankungen wie z.B. COVID-19.

Das Fraunhofer IPMS beschäftigt sich im Projekt GCVID mit ebendieser Kombination von Ionenmobilitätsspektrometrie und Gaschromatographie. Als Basis dient ein miniaturisiertes, MEMS-basiertes Ionenmobilitätsspektrometer, das seit mehreren Jahren am Fraunhofer IPMS in der Entwicklung ist und nun mit einem Gaschromatographen kombiniert wird. Aktuell werden die beiden Komponenten in einen anwendungsspezifischen Labordemonstrator integriert.

Der Zugriff auf die MEMS-Schlüsseltechnologien im Reinraum des Fraunhofer IPMS ermöglicht eine Miniaturisierung des Geräts und stellt damit eine Möglichkeit dar, portable Geräte in großer Stückzahl herzustellen, so dass flächendeckende Tests außerhalb von Kliniken ermöglicht, entsprechende Maßnahmen umgesetzt und die Pandemie besser bewältigt werden kann.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/chemicalsensors>

Ansprechperson:
Dr. Olaf R. Hild
Gruppenleiter Chemische Sensorik
+49 351 8823-450
olaf.hild@ipms.fraunhofer.de

SPOTLIGHT





SLM des Fraunhofer IPMS ermöglichen in Zukunft echte holografische 3D-Displays mit überlegener Bildqualität.



ENTWICKLUNG VON MIKROSPIEGEL-ARRAYS FÜR DIE HOLOGRAFIE

Die Verschmelzung von realer und virtueller Welt zu Mixed-Reality- oder auch „Augmented Reality“-Umgebungen rückt in greifbare Nähe. Sie erfordert ein natürliches visuelles Erlebnis ohne Einschränkungen in der Tiefenwahrnehmung und ohne physiologische Nebenwirkungen für den Nutzer. Das Fraunhofer IPMS trägt zur Realisierung dieses ehrgeizigen Ziels bei, indem es fortschrittliche MEMS-basierte-Flächenlichtmodulatoren (SLM) als Kernkomponente von 3D-Displays entwickelt, die eine echte Holografie mit perfekt realistischen Bildern ermöglichen sollen. Dabei stützt sich das Institut auf seine jahrzehntelangen Erfahrungen bei der Entwicklung von SLM für andere Anwendungen. Die Arbeiten finden innerhalb des von der EU geförderten Projekts REALHOLO statt, in dem ein holografisches Demonstratorsystem in Zusammenarbeit mit sieben weiteren Partnern aus sechs verschiedenen Ländern entwickelt wird.

Die Schlüsselkomponente eines echt holografischen 3D-Displays ist ein Flächenlichtmodulator (SLM), wobei die Anforderungen an das Bauelement bei dieser Anwendung sehr herausfordernd sind. Ein Flächenlichtmodulator oder auch Mikrospiegel-Array genannt (MMA-SLM) moduliert die Phase des einfallenden kohärenten Lichts mit vielen Millionen individuell ablenkbarer Pixel bei Bildwiederholraten von mehreren kHz. Die Pixel dürfen nur wenige Mikrometer groß sein und müssen trotzdem einen Hubbereich von etwa 350 nm haben, innerhalb dessen jedes Pixel sehr präzise auf eine von vielen Ablenkungsstufen (Strahlablenkung) eingestellt werden muss. Um dies umzusetzen, hat das Fraunhofer IPMS ein innovatives MEMS-Aktorenkonzept entwickelt, das eine Auflösung von 8 Bit zum Ziel hat. Der MEMS-basierte SLM wird zusätzlich optische Eigenschaften aufweisen, die derzeit verfügbaren flüssigkristallbasierten Systemen/ Elementen weit überlegen sind.

Im Rahmen von REALHOLO wird das Fraunhofer IPMS diesen neuen Typ von SLM erforschen, optimieren sowie eine Fertigungstechnologie dafür entwickeln. Um alle Pixel individuell auslenken zu können, wird das MMA auf einer aktiven CMOS-Mixed-Signal-Schaltung gefertigt, die hinsichtlich eines sehr geringen Stromverbrauchs und einer hohen Datenbandbreite optimiert wird. Mit diesem innovativen MEMS -basierten-SLM werden das Fraunhofer IPMS und REALHOLO den Weg für Mixed-Reality-Umgebungen sowie für Virtual- und Augmented-Reality-Systeme ebnen. Holografische Displays mit Fraunhofer IPMS-Mikrospiegelarrays werden dem Nutzer ein bestmögliches Erlebnis bieten, ohne physiologische Nebenwirkungen wie Augenermüdung, Fehleinschätzungen, Schwindel oder Übelkeit, die von alternativen und intermediären Technologien wie stereoskopischem 3D bekannt sind. Das geforderte natürliche Seherlebnis kann nur mit echten holografischen Displays erreicht werden, ein Prinzip, das schon auf Basis verfügbarer Komponententechnologien von einem REALHOLO-Partner demonstriert wurden.

Das Projekt wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101014977 gefördert. Es ist eine Initiative der Photonics Public Private Partnership.

Weitere Informationen:
<https://realholo.eu/>

Ansprechperson:
Dr. Peter Dürr
Gruppenleiter Lichtmodulator-Grundlagen
+49 351 8823-237
peter.duerr@ipms.fraunhofer.de

SENSORIK DER ZUKUNFT: NEXT GENERATION MEMS

Mikro- und nanomechanische aktive Systeme (MEMS/ NEMS) sind die Treiber einer unaufhaltsamen technischen Evolution. Sie finden sich in hochintegrierten Anwendungen, in Smartphones, Wearables, autarken IoT-Geräten und Robotern. Die klassischen mechanisch-elektrischen Ansätze müssen aufgrund steigender Anforderungen durch immer leistungsfähigere Varianten ergänzt und ersetzt werden. Dies bedingt neue Sensor- und Aktoransätze, neue Materialklassen und Materialstrukturen. Auch werden quantenbasierte Effekte künftig eine stärkere Rolle spielen. Diese Sensoren und Aktoren bilden die nächste Generation von MEMS/NEMS-Bauelementen, sogenannte Next Generation MEMS, für Anwendungen von Industrie 4.0, Smart Health bis Landwirtschaft 4.0.

Es zeichnet sich ab, dass aufgrund der Vielzahl der nutzbaren physikalischen Funktionen, der hervorragenden Preisökonomie und der einfachen Integration mit der Mikroelektronik der evolutionäre Trend weiter in Richtung Erfassung und Beeinflussung von Umweltgrößen (mehr und überall), Performance (besser und genauer), Integration im Menschen (implantiert oder getragen) und in Maschinen (sehen und kommunizieren, sich selbst optimieren) weiter unaufhaltsam vorschreitet. Ein Beispiel, wo zukünftig verstärkt MEMS-basierte Systeme zum Einsatz kommen, ist die mobile Erfassung von Umweltbelastungen, sei es durch Mikroplastik, Feinstaub oder Stickoxide. Optische Mikrosysteme – wie beispielsweise MEMS-Spektrometer – sind in der Lage, ubiquitär und zu vertretbaren Kosten ausreichend genaue Messungen durchzuführen.

Die Kombination aus Nanostrukturen, neuen Materialien und quantenbasierten Wirkprinzipien bietet die Chance, völlig neue sensorische und aktorische Mikrosysteme mit überragenden Eigenschaften zu erzeugen. Diese Sensoren und Aktoren bilden die nächste Generation von MEMS/ NEMS-Bauelementen, sogenannte Next Generation MEMS, für Anwendungen von Industrie 4.0, Smart Health bis Landwirtschaft 4.0. Im Sinne der Digitalisierung tragen solche Bauelemente dazu bei, den Wandel zu einer Hightech-unterstützten Wirtschaft voranzutreiben.

Das Fraunhofer IPMS hat sich zum Ziel gesetzt, Next Generation MEMS grundlegend und bei einem niedrigeren Technologiereifegrad beginnend zu entwickeln und zur Anwendung zu bringen. Mit neuen Sensor- und Aktorkonzepten, die zunehmend auch quantenbasierte Effekte und neue Materialien einbinden, sollen sowohl Basistechnologien als auch Bauelementkonzepte erforscht werden. Dabei setzt Next Generation MEMS ausschließlich auf Silizium als Basis-substrat, da so die für die Zukunft avisierte wirtschaftliche Umsetzung auch für hohe Stückzahlen gewährleistet ist. Damit sollen neue Lösungsansätze für höchstempfindliche Sensoren in Umwelt, Landwirtschaft und Industrie entstehen.

Ansprechperson:
Dr. Sebastian Meyer
Institutsteilnehmer Integrated Silicon Systems
+49 351 8823-137
sebastian.meyer@ipms.fraunhofer.de



Dr. Wenke Weinreich,
Bereichsleiterin des Center
Nanoelectronic Technologies CNT.



Blick in den Reinraum am
neuen Standort des CNT.

SPOTLIGHT

NEUER STANDORT, NEUE MÖGLICHKEITEN

Mehr Platz für die 300-mm-Technologien der Zukunft: Das Center Nanoelectronic Technologies CNT startete 2020 seinen Umzug aus dem Reinraum von Infineon an einen eigenen Standort. Das frühere Gebäude von Plastic Logic „An der Bartlake 5“ wurde dafür vom Freistaat Sachsen und der Fraunhofer-Gesellschaft erworben und dem Fraunhofer IPMS zur Nutzung übertragen. Auf nun 4000 m² kann das CNT nun noch zielgerichteter angewandte Forschung auf 300-mm-Wafern für Mikrochipproduzenten, Zulieferer, Equipmenthersteller und R&D-Partner betreiben.

Im Interview spricht Dr. Wenke Weinreich über die Komplexität des Umzugs, die Freude über den modernen Standort und die neuen technologischen Möglichkeiten für Hightech-Forschung der Zukunft.

Umzüge kennt jeder aus dem privaten Umfeld, aber wie fühlt es sich an, einen Reinraum an einen neuen Standort umzuziehen?

Es ist eine riesige Herausforderung, welche noch viel größer wird, wenn man sich die Komplexität vor Augen führt. Das wurde mir erst richtig bewusst, als es schon längst losgegangen war. Dabei ist der klassische Umzug die eine Seite der Medaille; die Ertüchtigung des neuen Reinraumes in der verfügbaren Zeit bis zum Auszug war eine eigene große Aufgabe! Denn es gibt leider nicht den fertigen, idealen Reinraum, der mit einem Fingerschnippen auf der grünen Wiese steht.

Wir haben zum Glück eine sehr gute Lösung gemeinsam mit dem Land Sachsen finden können und freuen uns

riesig über den neuen Standort. Wir sind in ein Bestandsgebäude gezogen, das ehemals Plastic Logic gehörte. Dort waren signifikante Anpassungen und umfangreiche Umbaumaßnahmen notwendig, um unseren Anforderungen der Hightech-Produktion gerecht zu werden. Gleichzeitig dachten wir natürlich auch daran, einen weiteren Schritt in Richtung Energieeffizienz und ressourcenschonende Mikroelektronik-Produktion zu machen.

Was erwartet das CNT am neuen Standort?

Zunächst einmal freuen sich alle Mitarbeitenden und vor allem auch ich über die Chancen und Möglichkeiten, die mit dem neuen Reinraumgebäude und dem Platz ermöglicht werden. Erst dadurch können z.B. auch die Investitionen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) und die neue Anlagentechnik voll zum Tragen kommen. Das bedingt natürlich, strukturiert an die Aufgabe zu gehen, das gesamte Projekt in thematische Teilbereiche und zeitliche Phasen zu zerlegen und am Wichtigsten ist es, das Thema auf viele Schultern zu verteilen.

Tatsächlich kann ich auf ein fantastisches Team bauen, das sich unermüdlich und mit unglaublichem Engagement an jede Aufgabe wagt und vor allem eigeninitiativ arbeitet. Dieser Umzug ist eine Teamleistung sowohl in der Umsetzung aber vor allem auch im Management und der Organisation. Zeitlich bedeutet das aktuell auch, dass die Ertüchtigung des Reinraumes und die Inbetriebnahme der Anlagen oberste Priorität haben, erst danach wird der Büroneubau intensiv vorangetrieben.

Der 300-mm-Reinraum des CNT ist in Deutschland einzigartig. Welche technologischen Entwicklungen werden am neuen Standort möglich?

Natürlich wollen wir die technologischen Potentiale und Möglichkeiten des modernen Reinraumes und der 300-mm-Anlagen komplett ausnutzen, um an vorderster Front aktuelle Themen zu erforschen. Zu nennen sind hier vor allem Neuromorphic Computing und Quantum Computing. Sowohl bei diesen als auch bei allen zukünftigen Themen des CNT wird dabei der Schwerpunkt auf der Skalierbarkeit der entwickelten Technologien und deren zuverlässigen Produzierbarkeit in Deutschland liegen. In näherer Zukunft sehe ich beispielsweise auch eine 300-mm-Silicon-Photonics-Plattform für Deutschland, die große Potentiale für Neuromorphic und Quantum Computing bietet und darüber hinaus insbesondere für den Bereich Trusted Electronics eine entscheidende Rolle spielen kann.

Außerdem sehe ich den Begriff der Nachhaltigkeit in der Mikroelektronik immer stärker in den Vordergrund rücken. Wie kann die Mikroelektronikproduktion der Zukunft aussehen? Wie viel Energie wird dafür notwendig sein? Wie können wir die Produktion nachhaltiger und sauberer gestalten? Wie können wir auf seltene, gesundheits- und umweltschädigende Materialien verzichten, ohne Performanceverluste oder höhere Energieverbräuche in Kauf nehmen zu müssen? Wie sehen die Materialien der Zukunft der 300-mm-Technologien aus und was können wir als Forschungseinrichtung dafür tun, um diese zukunfts-trächtigen Materialien auch in die Produktion zu bringen? Das bedeutet für die Forschung und Entwicklungen des

CNT, ein Bindeglied zwischen der Technologiesouveränität Deutschlands auf der einen Seite und der globalen Verantwortung zur ressourcenschonenden Mikroelektronikproduktion auf der anderen Seite zu sein.

Welche neuen Wege der Zusammenarbeit bieten sich Kunden im neuen Reinraum?

Wir stellen schon viele Jahre eine Prozess- und Anlagenplattform für Supplier und Toolhersteller bereit, die eine 300-mm-Infrastruktur benötigen. Auch für Kunden und Forschungspartner, die Einzelprozesse wollen, welche es nur für diese Technologiegeneration gibt, haben wir viele Möglichkeiten geschaffen. Zum Beispiel können in vielen der Anlagen auch kleinere Wafergrößen prozessiert werden. In den neuen, größeren und vor allem eigenen Räumlichkeiten werden wir das auch unter IP-rechtlichen Gesichtspunkten viel weiter ausbauen und neue Konzepte der Zusammenarbeit anbieten können.

Ansprechperson:
Dr. Wenke Weinreich
Bereichsleiterin Center Nanoelectronic Technologies
+49 351 2607-3053
wenke.weinreich@ipms.fraunhofer.de



Elektrischer Prober über 300-mm-Wafer und Kontaktierungsspitzen.



EMMA – HOCHFREQUENZ-MESSEXPERTISE FÜR 5G-BASISSTATIONEN DER ZUKUNFT

2018 wurde ein bisher in Europa einzigartiges Kooperationsprojekt für die Mikroelektronik- und deren Anwenderindustrien durch die EU-Kommission genehmigt, ein sogenanntes „Important Project of Common European Interest“, kurz IPCEI. Das Projekt wird durch die beteiligten vier Länder Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Italien mit insgesamt 1,75 Milliarden Euro gefördert. Im IPCEI arbeiten im Projektzeitraum 2017 – 2022 ca. 30 europäische Industriepartner in fünf Technologiefeldern zusammen. Größter Partner unter den 18 beteiligten deutschen Unternehmen ist Globalfoundries Dresden. Das Fraunhofer IPMS ist stolz darauf, als mit Abstand größter Forschungspartner im Auftrag von Globalfoundries an diesem IPCEI mitwirken zu können.

Das Forschungsprojekt mit dem Namen EMMA beinhaltet sieben Arbeitspakete sowie ein Doktorandenprogramm zur Qualifizierung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um langfristig Talente aufzubauen und die Wettbewerbsfähigkeit der Region zu fördern. Mit mehr als 15 Mio. Euro Budget ist EMMA der größte Industrieprojektauftrag, den jemals ein Fraunhofer-Institut bundesweit von einem Unternehmen erhalten hat. Forschende des Fraunhofer IPMS arbeiten im Projekt in erster Linie an neuen Prozessentwicklungen für die besonders stromsparende FDX-Technologie von Globalfoundries. In weiteren Projektteilen steht die Entwicklung nichtflüchtiger eingebetteter Speicher im Vordergrund sowie die Charakterisierung und Modellierung von Hochfrequenz-Transistoren (RF).

Im RF-Projektteil ist das CNT für die Evaluierung neuer RF-Transistor-Konzepte in der FDX-Technologie verantwortlich. Dadurch sollen besonders leistungsstarke RF-Chip-Designs identifiziert werden, die für den zukünftigen 5G-Mobilfunk-Ausbau entscheidend sind. Es werden verschiedene Test-Designs auf ihre Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit über längere Zeiträume untersucht. Neben umfangreicher Expertise und Know-how sind dazu hochempfindliche Messgeräte erforderlich. Das wichtigste Messinstrument ist dabei ein elektrische Prober, mit dessen Hilfe RF-Transistoren direkt auf dem Wafer kontaktiert und gemessen werden können. In Kombination mit der FDX-Technologie von Globalfoundries erreichen die Transistoren sehr gute Werte und nur extrem geringe parasitäre Einflüsse. So können höhere Ausgangsleistungen in zukünftigen 5G-Basisstationen erreicht werden, ohne teurere Verbindungshalbleiter-Bauelemente einzusetzen oder unterschiedliche Bauelemente auf einem Chip integrieren zu müssen. Dadurch werden effizientere, leistungsstarke und im Vergleich zu den Alternativen besser miniaturisierbare 5G-Chips ermöglicht.

Weitere Informationen:
<https://s.fhg.de/RF-Characterization>

Ansprechperson:
Dr. Thomas Kämpfe
Gruppenleiter CMOS Integrated RF & AI
+49 351 2607-3215
thomas.kaempfe@ipms.fraunhofer.de

ABSCHLUSS DES ERSTEN BAUABSCHNITTS AM PROJEKTZENTRUM MEOS

Im Fraunhofer-Projektzentrum für Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS arbeitet das Fraunhofer IPMS zusammen mit dem Fraunhofer IZI und dem Fraunhofer IOF an der Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien in den Bereichen Biowissenschaften, Mikroelektronik, Optik und Photonik. 2020 konnte der erste große Bauabschnitt erfolgreich abgeschlossen werden. Nun stehen am Standort Erfurt zunächst vier Optiklabore, ein Elektroniklabor, ein Robotiklabor sowie ein Chemielabor zur Verfügung.

Unser Dank gilt dem Land Thüringen für seine großzügige Unterstützung, indem es die Arbeiten paritätisch mit der Fraunhofer-Gesellschaft finanziert hat.

Das Chemielabor wird die Projektarbeiten zu biofunktionalen Oberflächen und zur Biosensorik unterstützen. Darüber hinaus sind biologische Arbeiten mit Zellkulturen und Mikroorganismen, für die keine besonderen Sicherheitsanforderungen gelten, geplant, um gezielt und anwendungsnah die biomedizinischen Applikationen weiterzuentwickeln.

Im Robotiklabor wird zunächst ein Streulichtrobotiksystem aufgebaut, das die Analyse von Rauheit und Oberflächen-defekten optischer Oberflächen und Mikrostrukturen ermöglicht, während in dem Elektroniklabor vorerst Lötarbeitsplätze sowie eine messtechnische Grundausstattung für die Entwicklung und Tests elektronischer Schaltungen zur Verfügung stehen. In einem der vier Optiklabore beginnen in Kürze die Arbeiten an programmierbaren, diffraktiven Mikrospiegelarrays (SLM). Dieses Labor bietet Arbeitsfläche für den Aufbau der passenden Messtechnik sowie für die Integration eines SLM-basierten Moduls zur strukturierten Beleuchtung in ein Lichtmikroskop.

Während des ersten Bauabschnittes wurde nahezu die gesamte Elektroverteilung des Hauses samt Stromschiene neu gebaut und neue Netzwerkleitungen gezogen. Die Labore wurden weiterhin mit einer zentralen Druckluft- und Gasversorgung ausgestattet. Die aufwendigsten Arbeiten wurden im Chemielabor durchgeführt. Dieses erhielt neben einer komplett neuen Laboreinrichtung zahlreiche technische Anlagen wie Autoklav, VE-Wasseranlage und Neutraanlage.

Die Planungen für den zweiten Bauabschnitt stehen kurz vor dem Abschluss. Dieser wird seinen Schwerpunkt in der Errichtung eines sogenannten S2-Labors haben, in dem zur Erprobung von z.B. diagnostischen Systemen Arbeiten nach den Regeln der Sicherheitsstufe S2 des Gentechnikgesetzes und der biologischen Schutzstufe S2 nach der Biostoffverordnung möglich sein werden.

Weitere Informationen:
<https://www.meos.fraunhofer.de>

Ansprechperson:
Dr. Michael Scholles
Leiter Fraunhofer-Projektzentrum MEOS
+49 361 66338-151
michael.scholles@ipms.fraunhofer.de



Aufnahme der Kick-Off-Veranstaltung des iCampus im November 2019 an der BTU Cottbus-Senftenberg.



Ultraschall-Sensorkopf auf Basis eines CMUT-Chips mit elektrisch einstellbarem Tiefenfokus.

SPOTLIGHT

EIN JAHR iCampus COTTBUS – NEUARTIGE MIKROSENSORIK AUS DER LAUSITZ

Seit November 2019 bündeln im Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik in Cottbus, kurz iCampus, die BTU Cottbus-Senftenberg sowie die vier Institute Fraunhofer IPMS, Fraunhofer IZM, Leibniz FBH und Leibniz IHP ihre Kompetenzen im Bereich der Mikrosensorik. Nach einem Jahr Projektlaufzeit wurden sämtliche Projektziele erfüllt; der iCampus befindet sich nach einer positiven Zwischenevaluierung nun auf dem Weg der Verstetigung hin zu einem Innovationsimpulsgeber in der Lausitz.

Insgesamt werden am iCampus Cottbus sieben verschiedene Technologien entwickelt. Als Transferprojekt steht überdies die Verbindung in die lokale Wirtschaft im Vordergrund. Seit März 2021 besitzt der iCampus eine Anlaufstelle im Gründerzentrum Dock3 Lausitz, die explizit für die Kontakte im größten Industriepark der Lausitz (IGS Schwarze Pumpe) etabliert wurde. Der Institutsleiter des Fraunhofer IPMS, Prof. Harald Schenk, der auch an der BTU den Fachbereich Mikro- und Nanosysteme leitet, ist der Gesamtprojektleiter des Konsortiums. Das Fraunhofer IPMS ist mit seinem Cottbuser Standort IPMS-ISS an insgesamt vier Arbeitspaketen beteiligt. Dabei werden die folgenden Technologien entwickelt:

MEMS-HF-Varaktor

Im Vergleich zu den bekannten MEMS-Varaktoren mit klassischer elektrostatischer Auslenkung können mit der am Fraunhofer IPMS entwickelten NED-Aktorik größere Stellwege der geerdeten Elektroden und somit höhere relative Kapazitätsänderungen realisiert werden. Für die Einsetzbarkeit des Varaktors bei noch höheren Signalfrequenzen wurde eine 3D-Metallisierungstechnologie vorgeschlagen, welche die Einsetzbarkeit des MEMS-HF-Varaktors auch in 5G-Anwendungen ermöglicht.

Siliziumphotodetektor für NIR

Nanophotonische Strukturen ermöglichen die Detektion nahinfraroter Strahlung mittels Silizium-basierter Bauelemente. Dazu werden Herstellungsprozesse unter Berücksichtigung photonischer Simulationen optimiert. Messtechnik zur Charakterisierung der Bauelemente wurde dafür beschafft und eingerichtet.

MEMS-basierter, durchstimmbarer Gitterfilter

In Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut FBH entwickelt das Fraunhofer IPMS ein portables Raman-Analysesystem. Das Fraunhofer IPMS steuert einen miniaturisierten durchstimmbaren Gitterfilter zur frei wählbaren Ansteuerung relevanter Spektralbereiche bei. Damit ermöglicht die Kernkomponente des Fraunhofer IPMS den flexiblen Einsatz des Ramansystems für eine Vielzahl von Targetsustanzen.

Sensorentwicklung Ultraschallsensor

Diese Technologie basiert auf einem NED-Ultraschallwandler und ermöglicht es, einen Sensor mit vier Mikrofonen und fünf Schallgebern auf einer Fläche von 10 x 10 mm² bereit zu stellen. Haupteinsatzgebiet ist der luftgekoppelte Ultraschall im nahen und mittleren Entfernungsbereich für Anwendungen wie Predictive Maintenance.

Weitere Informationen:

<https://www.icampus-cottbus.de/>

Ansprechperson:

Dr. Sebastian Meyer

Institutsteilnehmer Integrated Silicon Systems
+49 351 8823-137
sebastian.meyer@ipms.fraunhofer.de

LEISTUNGSZENTRUM MIKRO/NANO – FORSCHEN FÜR DEN TRANSFER

Im Leistungs- bzw. Transferzentrum „Funktionsintegration für die Mikro- und Nanoelektronik“ arbeiten die Fraunhofer-Institute IPMS, ENAS, IIS/EAS und IZM-ASSID gemeinsam mit Instituten der TU Dresden, TU Chemnitz und HTW Dresden an der Entwicklung neuer Technologien für die Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik. Konkret sind dies Verfahren für die Mikroelektronikfertigung auf 300 mm Wafern, die modulare heterogene Systemintegration, die Realisierung mikro-elektro-mechanischer Ultraschallwandler sowie strukturintegrierter vernetzter Sensorik im Werkzeug- und Maschinenbau. Der Erfolg zeigte sich auch in der Förderperiode 2019/2020 wieder eindrucksvoll: Es konnten Industrieaufträge in einer Gesamthöhe von 6,2 Mio. € eingeworben werden.

Forschen im Verbund, um gemeinsame Technologieplattformen für den Transfer in die Anwendungen von Industriepartnern zu entwickeln – mit diesen Worten lässt sich die Arbeit im Leistungszentrum Mikro/Nano im Jahr 2020 zusammenfassen. Mit dem Projekt Testwafer-Hub stellen das Fraunhofer IPMS und das Fraunhofer IZM-ASSID gemeinsam eine 300-mm-Test- und Evaluierungsplattform bereit. Ziel ist die Unterstützung von Entwicklern für Mikroelektronikprodukte auf Basis von 300-mm-Wafern sowie der zugehörigen Supplier-Industrie bei der Prozess- und Produktentwicklung. Diese Unterstützung reicht von der Lieferung von Testwafern bis hin zur Bereitstellung ganzer Technologiemodule auf etabliertem Fertigungsequipment inklusive anschließender Leading-Edge-Charakterisierungen und Evaluierungen.



Ein weiteres Beispiel ist die Realisierung neuartiger Ultraschallwandler auf Basis kapazitiv angesteuerter mikro-elektromechanischer Bauelemente (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer – CMUT). Der Entwurf dieser Bauelemente erfolgt gemeinsam durch das Fraunhofer IIS/EAS und das Institut für Festkörperelektronik der TU Dresden. Im 200-mm-Reinraum des Fraunhofer IPMS werden die CMUT-Bauelemente auf Basis der Entwurfsergebnisse hergestellt. Die nachfolgende Aufbau- und Verbindungstechnik sowie die Integration in einen wasserdichten Sensorkopf wird vom Zentrum für mikrotechnische Produktion an der TU Dresden vorgenommen. Das obige Foto zeigt einen solchen Sensorkopf in Prototypenform, der für sonografische und auch photoakustische Messverfahren genutzt werden. Mögliche Einsatzgebiete sind in der Medizintechnik und Biomedizin, z.B. in miniaturisierten Ultraschallmessköpfen für die Endoskopie, sowie in der industriellen Mess- und Prüftechnik.

In seiner Funktion als Transferzentrum setzt das Leistungszentrum Mikro/Nano verstärkt auf digitale Kanäle für die Kommunikation und den Transfer in eine zunehmend virtuell interagierende Welt. Als ein Baustein hierfür wurde 2020 ein Imagefilm erstellt. Für 2021 ist die Einrichtung eines digitalen Showrooms geplant, in welchem das Angebot und die Leistungsfähigkeit des Leistungszentrums anhand virtueller Exponate präsentiert werden kann.

Weitere Informationen:

<https://www.leistungszentrum-mikronano.de>

Ansprechperson:

Prof. Dr. Joachim Wagner

Koordinator Leistungszentrum Mikro/Nano
+49 351 8823-369
joachim.wagner@ipms.fraunhofer.de



PVD-Cluster-Tool.



Deep UV-Scanner von Nikon.

FORSCHUNGSFABRIK MIKROELEKTRONIK DEUTSCHLAND

Das Fraunhofer IPMS bildet zusammen mit 12 weiteren Mitgliedern seit April 2017 die standortübergreifende **Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)**. Dieser Forschungsverbund ist mit über 2000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem **Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik** und dem **Leibniz FBH** sowie **IHP** der größte und weltweit führende **FuE-Zusammenschluss für Anwendungen und Systeme der Mikro- und Nanoelektronik**.

Mit dem Ziel, Forschung und Entwicklung in Deutschland über mehrere Standorte hinweg zu betreiben, befand sich die FMD bis zum Jahr 2020 in der Aufbauphase, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit rund 350 Millionen Euro unterstützte. Hierbei handelte es sich vor allem um die Modernisierung der Forschungsausstattung der 13 beteiligten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft. Mit einem neu aufgestellten Konzept zum nachhaltigen Betrieb startet die FMD nach dem Ende der Projektlaufzeit in die Verstetigungsphase.

Neben dem Leistungsangebot für Kunden aus der Wirtschaft bietet die FMD ebenfalls unterschiedlichste Kooperationsmöglichkeiten für Partner in der Wissenschaft. Hier sind die Angebote hervorzuheben, die direkt auf eine kooperative Bearbeitung von Forschungsfragestellungen abzielen, wie gemeinsame Arbeit in Verbundprojekten und den Betrieb der gemeinsamen Labore, den sogenannten Joint Labs. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Institute der FMD zu beauftragen, spezielle Konzepte aus der Grundlagenforschung auf den Anlagen der Institute hinsichtlich ihrer Eignung in stärker anwendungsorientierten Umfeldern zu erproben. Als Beispiele für Kooperationen zwischen der FMD und Universitäten sowie Hochschulen können das Projekt ASCENT+, die Forschungskoopeation »iCampus« oder das Joint Lab SmartBeam-Lab in Duisburg genannt werden.

Der Bedarf an Mikro- und Nanoelektronik nimmt stetig zu: ob im Handy, in medizinischen Geräten oder in der Mobilität. Um in diesen stark wachsenden Märkten auch weiterhin höchst innovative Forschungsleistungen erbringen zu können, ist eine technologische Ausstattung auf industriellem Niveau eine Grundvoraussetzung. Im Rahmen der Anschubfinanzierung der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD konnte das Fraunhofer IPMS knapp 21 Mio. EUR in die Modernisierung seines Toolparks investieren. Inzwischen sind alle Anlagen im Reinraum aufgebaut – darunter Depositions-, Lithografie, Ätz-, Mess- und Spezialtools, welche die Qualität und Zuverlässigkeit unserer Devices nachhaltig verbessern. Einige davon stellen wir Ihnen hier stellvertretend vor.

Deep UV-Scanner (DUV)

Der Deep UV-Cluster ist mit etwa 12 Millionen Euro unsere größte Investition und besteht aus einem Nikon DUV NSR S210D-Scanner, der Auflösungen bis 130 nm aus Line-and-Space ermöglicht. Daran ist ein Tokyo Electron ACT8-Track angebunden, welcher die notwendigen Lacke für eine DUV-Lithografie bereitstellt. Inzwischen konnte das Artwork zur Bereitstellung von DUV-Masken erfolgreich umgestellt werden, sodass die ersten Wafer strukturiert und prozessiert werden können. Dies bietet dem Fraunhofer IPMS und seinen Kunden neue Möglichkeiten in der MEMS-Bearbeitung. Um die Single- und Mix-Match-Lithografie zu gewährleisten und das Overlay zu kontrollieren, ist der DUV-Cluster um ein Overlaytool der Firma MueTec ergänzt worden, das die Lithografie-Ergebnisse zusätzlich optimiert.

300-mm-CVD- und -PVD-Clustertools

Am CNT wurden durch die FMD Investitionen in Höhe von 40,4 Millionen Euro für neue 300-mm-Anlagen und Upgrades ermöglicht. Einen großen Schwerpunkt bilden dabei Abscheideanlagen, darunter zwei CVD-Clustertools (chemical vapor deposition) für Oxidabscheidung und ein PVD-Clustertool (physical vapor deposition). Durch das PVD-Clustertool können am CNT Arbeiten an strategisch wichtigen nicht-flüchtigen Speichern weiter verstärkt werden (z.B. FRAM, RRAM). Diese kommen beispielsweise im Neuromorphic Computing zum Einsatz. Im Bereich Spintronics (z.B. MRAM, Racetrack) können durch die Anlagen neue Fähigkeiten aufgebaut werden. Das PVD-Clustertool ist mit einer benötigten Reinraumfläche von über 21 m² außerdem eine der größten Anlagen am CNT. Sie enthält eine neuartige Messeinheit, welche im sub-nm-Bereich zuverlässig Schichtdicken bestimmen kann. Damit unterstützt sie den Ausbau des CNT als einen state-of-the-art 300-mm-R&D-Standort.



Ansprechpersonen:
Fritz Herrmann
Technical Sales Manager
+49 351 8823-4612
fritz.herrmann@ipms.fraunhofer.de

Dr. Maik Wagner-Reetz
Gruppenleiter Spinbased Concepts
+49 351 2607-3208
maik.wagner-reetz@ipms.fraunhofer.de

EVENTS

#DIGITALISIERUNGSSCHUB FÜR DIE MESSEN UND VERANSTALTUNGEN DES FRAUNHOFER IPMS

Photonics West, Sensor + Test, Optatec, Electronica – es ist Anfang des Jahres 2020. Wir blicken voller Motivation und Zuversicht einem gut gefüllten Messeplan entgegen. Insgesamt 20 Messen sollen es im Laufe des Jahres werden. Doch es kommt alles anders als gedacht. Aufgrund der Corona-Pandemie waren ab März 2020 keine Präsenzveranstaltungen mehr möglich. So hieß es für das Fraunhofer IPMS umdenken, an die ersten digitalen Bausteine anknüpfen und Exponate in die virtuelle Welt transferieren. Dank der hervorragenden Zusammenarbeit mit unseren Geschäftsfeldern und der Offenheit und dem Interesse unserer Kolleginnen und Kollegen, an digitalen Formaten teilzunehmen, können wir Ende 2020 auf zwei physische und sieben erfolgreiche virtuelle Messen und Veranstaltungen zurückblicken.

Ohne Frage war das Messejahr 2020 ein besonderes. Das Gefühl einer Präsenzmesse auf die digitale Welt zu übertragen, schien auf den ersten Blick unmöglich. Wie soll das Schlendern durch Ausstellungshallen, das Erklären von technischen Exponaten und das gemeinsame Netzwerken im virtuellen Raum aussehen? Mit viel Kreativität und einem starken Team gelang es dem Fraunhofer IPMS, seine Exponate in kurzer Zeit erfolgreich in die digitale Welt zu überführen und spannende Zusatzangebote für die Besucher der virtuellen Stände zu entwickeln.

Ein Highlight in diesem Bereich war der Digitaltag, an dem wir einem breiten Zielpublikum vorstellten, wie beispielsweise ein Regenbogen entsteht oder was einen Ingenieur zum Superhelden macht. Daneben boten wir auch ein Speedrecruiting und ein Escape Game online an. Gleichzeitig berichteten wir live auf unseren Social-Media-Kanälen von der Veranstaltung. Rund 200 Interessierte waren an diesem Tag dabei.

Ebenfalls sehr erfolgreich war unsere Beteiligung an der amerikanischen Konferenz Medical Wearables mit begleitender Ausstellung. Um einen umfassenden Einblick in unsere Forschung geben zu können, flankierten wir die Vorträge unserer Wissenschaftler mit umfangreichen Videos, Animationen und einer breit angelegten Social-Media-Kampagne. Die über die Messeplattform angebotene Matchmaking-Möglichkeit führte zu vielen spannenden Gesprächen mit Kunden und Partnern dank Terminvereinbarungen im Vorfeld und ermöglichte somit das bisher schmerzlich vermisste Networking auch im digitalen Bereich.

Für uns bleibt die Erkenntnis: Virtuelle Formate können physische Messen nicht ersetzen, aber gut ergänzen. Mit dem durch die Pandemie ausgelösten Digitalisierungsschub ist es uns gelungen, unsere physischen Exponate mit vielen virtuellen Inhalten zu erweitern und unseren Kunden so einen Rundumblick auf unsere Technologien zu bieten. Wir freuen uns dennoch darauf, möglichst bald wieder auf physischen Messen in Kontakt zu treten – bis dahin laden wir Sie herzlich ein, bei unseren virtuellen Ständen vorbeizuschauen und mehr über unsere Technologien und Projekte zu erfahren.

Weitere Informationen:

<https://s.fhg.de/IPMS-Events>

<https://s.fhg.de/IPMS-Youtube>

Ansprechperson:

Sandra Maria Stumpe

Gruppe Marketing & Kommunikation

+49 351 8823-249

sandra.maria.stumpe@ipms.fraunhofer.de

PREISE

FRAUNHOFER EHRT JOHANNES ZIEBARTH ALS EINEN DER BUNDESBESTEN AUSZUBILDENDEN 2020

Am 16. und 17. November 2020 fand die Ehrung der Besten statt: Bei dieser jährlichen Veranstaltung werden die Auszubildenden und Dual-Studierenden der Fraunhofer-Gesellschaft geehrt, die einen sehr guten Abschluss erreicht haben. Im Rahmen dieser Zeremonie wurde auch Johannes Ziebarth, ehemaliger Auszubildender des Fraunhofer IPMS, zusammen mit seinem Ausbilder Henry Niemann für seine sehr guten Leistungen ausgezeichnet.

Johannes Ziebarth hat seine Ausbildung zum Technischen Produktdesigner (Produktgestaltung und -konstruktion) mit 98 von möglichen 100 Punkten als Kammer-, Landes- und Bundesbester in seinem Ausbildungsberuf bestanden. Das Fraunhofer IPMS gratuliert sehr herzlich zu dieser hervorragenden Leistung. Zudem dankt das Institut Henry Niemann für die gute und wertvolle Betreuung während der Ausbildung. Das Ergebnis spricht für sich!

Die Verleihung der Urkunden und die Festveranstaltung der Fraunhofer-Gesellschaft konnte in diesem Jahr nicht wie gewohnt als Präsenzveranstaltung durchgeführt werden, sondern wurde virtuell über MS Teams abgehalten. Der erste Tag beinhaltete unter anderem eine gemeinsame Erkundung des neuen virtuellen Escape-Rooms der Fraunhofer-Gesellschaft. Danach folgte die feierliche Ehrung – ebenfalls

virtuell – durch den Fraunhofer-Vorstand Prof. Alexander Kurz sowie – vor Ort – durch den Institutsleiter des Fraunhofer IPMS, Prof. Harald Schenk. Darüber hinaus waren Johannes Ziebarth und Henry Niemann auch zur Festveranstaltung bei der IHK Dresden Anfang November eingeladen. Dort sollte zusätzlich zur Ehrung von Johannes Ziebarth auch das Fraunhofer IPMS als ausgezeichnete Ausbildungsbetrieb 2020 prämiert werden. Diese Veranstaltung konnte aufgrund der Pandemie leider nicht stattfinden.

Wir gratulieren ganz herzlich zu dieser ausgezeichneten Leistung und freuen uns besonders, dass Johannes Ziebarth nach Abschluss seiner Ausbildung dem Fraunhofer IPMS treu geblieben ist. Als Mitarbeiter der Gruppe Ultrasonic Components arbeitet er mittlerweile unter anderem an der Entwicklung und Konstruktion eines Demonstrators zur nicht-invasiven intraoperativen Tumordiagnostik für die onkologische Chirurgie.

Ansprechpersonen:

Johannes Ziebarth

Gruppe Ultrasonic Components

+49 351 8823-278

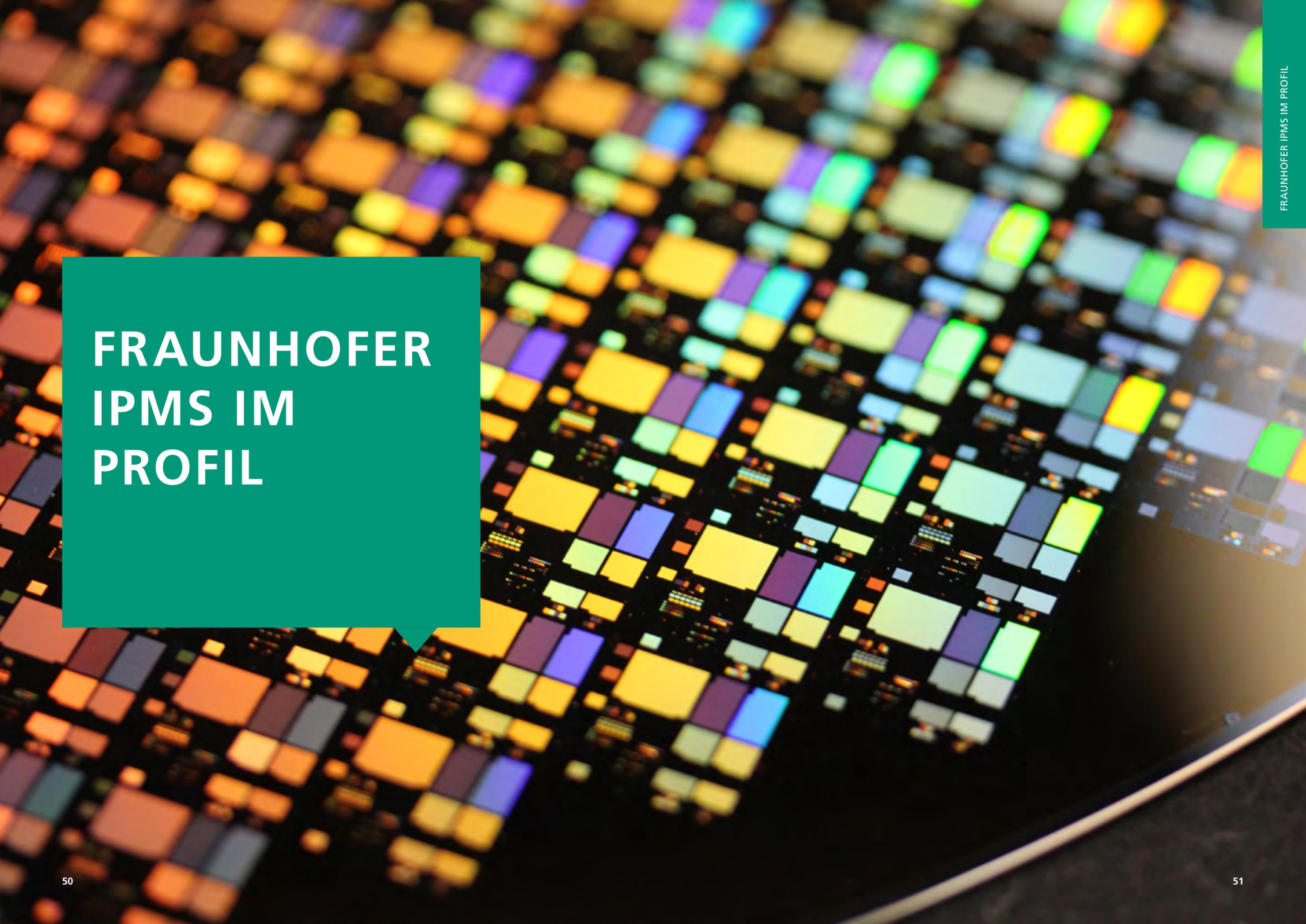
johannes.ziebarth@ipms.fraunhofer.de

Henry Niemann

Gruppe Chemische Sensorik

+49 351 8823-157

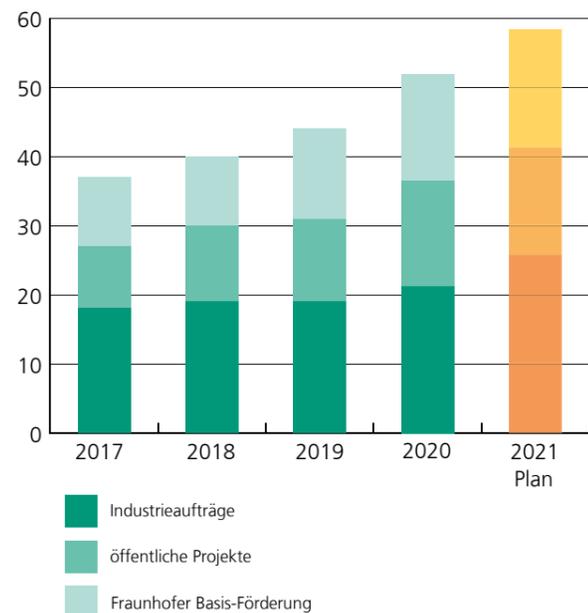
henry.niemann@ipms.fraunhofer.de

A high-magnification, top-down view of a semiconductor chip. The chip is composed of a dense grid of small, square and rectangular elements, each emitting a different color of light, including orange, yellow, green, cyan, blue, purple, and red. The elements are arranged in a regular pattern, and the overall appearance is that of a complex, multi-layered microchip. The background is dark, making the colorful elements stand out prominently.

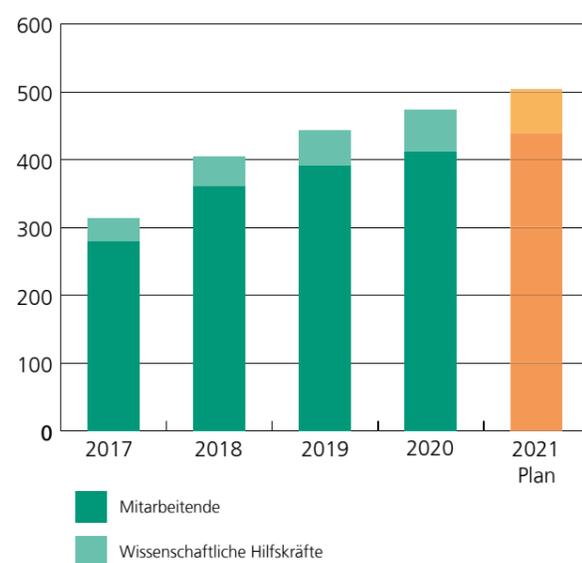
FRAUNHOFER IPMS IM PROFIL

DAS FRAUNHOFER IPMS IN ZAHLEN

BUDGET (IN MILLIONEN EURO)



MITARBEITENDE



AUF EINEN BLICK

	2017	2018	2019	2020	2021
Industrie	48,5%	47%	42,7%	43,5%	47,2%
öffentliche Mittel	24,6%	27,3%	27,1%	31,1%	28,3%
Gesamtertrag	73,2%	74,3%	69,8%	74,6%	75,5%
Mitarbeitende	314	405	443	473	504



KURATORIUM 2020

VERTRETER/INNEN DER WIRTSCHAFT

PD Dr. Ingeborg Hochmair-Desoyer,
MED-EL Medical Electronics,
Geschäftsführerin

Dr. Jens Kosch
X-FAB Semiconductor Foundries GmbH,
CTO

Prof. Dr. Jörg-Uwe Meyer
MT2IT GmbH & Co.KG,
Geschäftsführer

Dr. Axel Preuß
Globalfoundries Dresden
Module One LLC & Co. KG,
GF Fellow

Prof. Dr. Frank Schönefeld
T-Systems Multimedia Solutions
GmbH,
Geschäftsleitung

Dr. Johannes Schumm
Sensirion AG,
Vice President Research
& Development

Rutger Wijburg, PhD
Infineon Technologies Dresden
GmbH & Co. KG,
Vice President & Managing Director

VERTRETER/INNEN DER WISSENSCHAFT

Prof. Dr. Alex Dommann
EMPA Swiss Federal Laboratories for
Materials Science and Technology,
Departmentsleiter „Materials meet
Life“

Prof. Dr. Wilfried Mokwa
RWTH Aachen, Institut für Werkstoff-
e der Elektrotechnik,
Direktor

Prof. Dr. Wolfgang Osten
Universität Stuttgart

Prof. Dr. Katja Schenke-Layland
Universität Tübingen,
Director Natural and Medical Sciences
Institute

Prof. Dr. Ronald Tetzlaff
TU Dresden, Fakultät Elektrotechnik
und Informationstechnik,
Dekan

Prof. Dr. Ulrike Wallrabe
Universität Freiburg, Institut für
Mikrosystemtechnik IMTEK

VERTRETER/INNEN DER ÖFFENTLICHEN HAND

Dr. Lutz Bryja
Sächsisches Staatsministerium
für Wissenschaft und Kunst,
Referatsleiter

Dr. Claudia Herok
Ministerium für Wissenschaft,
Forschung und Kultur Brandenburg,
Referatsleiterin

Dirk Hilbert
Landeshauptstadt Dresden,
Oberbürgermeister

MDgin Barbara Meyer
Sächsisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Arbeit und Verkehr,
Abteilungsleiterin

Dr. Ronald Schnabel
VDE/VDI Gesellschaft Mikro-
elektronik, Mikrosystem- und
Feinwerktechnik (GMM),
Geschäftsführer

Dr. Tina Züchner
Bundesministerium für Bildung
und Forschung,
Referentin

Das Fraunhofer IPMS bietet Ihnen eine Auswahl an Service-Dienstleistungen an:

MEMS Technologien Dresden

Das Fraunhofer IPMS bietet seinen Kunden den kompletten Service für die Entwicklung von mikro-elektro-mechanischen Systemen (MEMS) und mikro-opto-elektro-mechanischen Systemen (MOEMS) auf 200 mm-Wafern.

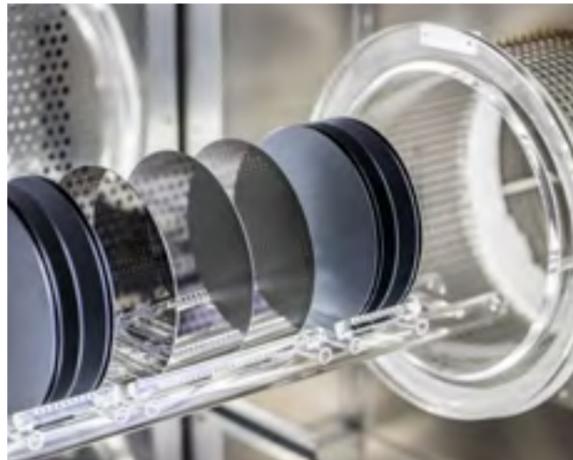
Die technologische Entwicklung und Betreuung der MEMS-Technologien, von Einzelprozessen über Technologiemodule bis hin zur kompletten Technologie sowie die prozesstechnische Betreuung der Anlagen im Reinraum wird durch unser Team von über 90 Ingenieuren, Operatoren und Technikern gewährleistet.

Auf Kundenwunsch übernehmen wir nach der erfolgreichen Entwicklung die Pilotfertigung oder unterstützen einen Technologietransfer. Damit decken wir die technologischen Reifegrade (TRL) von 3 bis 8 ab.

300-mm-Halbleiterprozesse & Screening Fab

Wir bieten im Bereich FEoL und BEoL Technologieentwicklungen und Services an. Für die Serienfertigung von Halbleiterbauelementen wie z. B. Mikroprozessoren ist jeder einzelne Prozessschritt für die Bewertung und Optimierung von Interesse. Testvehikel und Testwafer sind unerlässlich, um Entwicklungen und neue Materialien unter Produktionsbedingungen zu testen und ermöglichen es, schnell auf Prozessänderungen zu reagieren und Chemikalien oder Prozesse von „Lab to Fab“ zu übertragen.

In der „Screening Fab“ bieten wir Ihnen daher Screening- und Evaluierungsdienstleistungen für Materialien, Prozesse, Chemikalien und Verbrauchsmaterialien vom Labor- bis zum Produktionsmaßstab an – unter industriellen Bedingungen in einem state-of-the-art 300-mm-Reinraum.



Mit unseren Evaluation Kits erhalten Sie ein voll funktionsfähiges Versuchssetup und können unsere Technologie sofort für Ihre Anwendung testen.

MEMS-Scanner

Das Evaluation-Kit »QSDrive Scan Kit« gestattet es insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, MEMS-Scanner des Fraunhofer IPMS ohne die aufwendige Eigenentwicklung einer Ansteuerelektronik spezifikationsgemäß zu betreiben. Das Evaluation-Kit besteht aus einem ResoLin-Bauelement – einem kardanischen MEMS-Scanner mit einer linearen Achse und einer optionalen, orthogonal orientierten resonanten Achse – sowie einer Ansteuerelektronik. Das Bauelement wird von einem ebenfalls im Lieferumfang enthaltenen Scankopf gehalten, der dank seiner speziellen Konstruktion leicht in gängige optische Versuchsaufbauten integriert werden kann.



RFID

Unser Evaluation-Kit beinhaltet kommerzielle und eigenentwickelte RFID-Transponder-ASICs für verschiedene Frequenzbereiche. Dank eines flexiblen Interface-Konzepts ist es uns möglich, flexibel analoge und digitale Sensorik zu integrieren. Darüber hinaus enthalten unsere Evaluation-Kits eine Softwarelösung als Middleware. Es lassen sich beliebige Lesegeräte, Identifikations- und Sensor-Transponder in den verschiedenen Frequenzbereichen (LF, HF, UHF und NFC) und von verschiedenen Herstellern einheitlich ansprechen.



CMUT

Das Evaluation-Kit „CEK CMUT“ bietet interessierten Entwicklern von Ultraschall-Sensoren und -Anwendern die Möglichkeit ein voll funktionsfähiges Versuchssetup zur Evaluation von miniaturisierten kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlern (CMUT) aufzubauen. Es besteht aus wahlweise ein oder zwei CMUT-Sensormodulen, einer angepassten Steuerelektronik sowie einer Software als Web-Applikation, die über Plug-and-Play den CMUT kontrolliert.





„ALS DAS FRAUNHOFER IPMS 2003 GEGRÜNDET WURDE, STECKTE SILICON SAXONY – NACH SEINER GRÜNDUNG IM JAHR 2000 – NOCH IN DEN KINDERSCHUHEN. SEITHER SIND WIR ALS VERLÄSSLICH UND VERTRAUENSVOLL ZUSAMMENARBEITENDE INSTITUTIONEN NEBEN- UND MITEINANDER GEWACHSEN.

OB ALS TEIL DER FORSCHUNGSFABRIK MIKROELEKTRONIK ODER MIT SEINEN KOMPETENZEN IN DEN BEREICHEN OPTISCHER SENSOREN UND AKTOREN, ASICS, MIKROSYSTEME (MEMS/MOEMS) SOWIE NANOELEKTRONIK – DAS FRAUNHOFER IPMS IST UND BLEIBT EIN ZENTRALER PARTNER UNSERES HIGHTECH-NETZWERKES.

DANK PROF. HUBERT LAKNER, ALS EINEM WICHTIGEN ENTSCHEIDER UNSERES WISSENSCHAFTLICHEN SILICON-SAXONY-BEIRATS, ERHALTEN WIR ZUDEM BESTE FORSCHUNGSEXPERTISE UND EINEN DIREKTEN DRAHT INS FRAUNHOFER IPMS. AUCH ZUKÜNFTIG FREUEN WIR UNS DAHER AUF EIN ENGES MITEINANDER ZUM VORTEIL DES WIRTSCHAFTS- UND WISSENSCHAFTSSTANDORTES SACHSEN.“

Heinz Martin Esser
Vorstandsvorsitzender, Silicon Saxony



„ORGANISATIONEN WIE DAS FRAUNHOFER IPMS SIND DER SCHLÜSSEL FÜR EIN GE-

SUNDES PHOTONISCHES ÖKOLOGISCHES SYSTEM, INDEM SIE DIE INDUSTRIE MIT INNOVATIVEN HALBLEITERPROZESSEN VERSORGEN, DIE MIT DER GROSSSERIENFERTIGUNG KOMPATIBEL SIND. DAS FRAUNHOFER IPMS SPIELT EINE WICHTIGE ROLLE BEI DER ENTWICKLUNG DER NEUEN GENERATION VON PHOTONISCHEN MIKROSYSTEMEN, WIE MEMS-MIKROSPIEGELN UND MINIATURISIERTE SENSOREN, DIE BEREITS HEUTE EINEN SICHTBAREN EINFLUSS AUF BEREICHE WIE ‚SMART INDUSTRY‘ UND MEDIZINTECHNIK HABEN.“

Dr. Ana Gonzalez
R&D-Managerin, EPIC

WISSENSCHAFTSKOOPERATIONEN

Das Fraunhofer IPMS engagiert sich aktiv für den Transfer der angewandten Forschung in die Wissenschaft und Lehre. Durch die Professuren seiner Institutsleiter Prof. Dr. Harald Schenk und Prof. Dr. Hubert Lakner ist das **Fraunhofer IPMS** eng mit der **Technischen Universität Dresden** und der **Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg** verbunden. Diese enge Verzahnung ist neben den Geschäftsbeziehungen mit der Wirtschaft und der Vernetzung mit anderen Fraunhofer-Instituten im Verbund Mikroelektronik eine zentrale Säule des Fraunhofer-Erfolgsmodells.

Während die Hochschulen ihre Innovationsfähigkeit und Kompetenz in der Grundlagenforschung in die Kooperation einbringen, leistet das Fraunhofer IPMS anwendungsorientierte Forschungsarbeit und steuert seine Kontakte zu Wirtschaftsunternehmen, technischer Ausstattung und Marktexpertise bei. Studierende erhalten so nicht nur eine fundierte theoretische, sondern auch eine praxisnahe Ausbildung.

Alle unsere Netzwerke finden Sie unter:
<https://s.fhg.de/Kooperationen>

PATENTE

PATENTE

Ob neuartige MEMS-basierte Biegeaktoren, IP-Cores oder weltweit einzigartige Flächenlichtmodulatoren mit einzeln auslenkbaren Kipp-Spiegeln – das Fraunhofer IPMS steht für Innovationen im Bereich optischer Sensoren und Aktoren, ASICs, Mikrosysteme sowie Nanoelektronik. Derzeit verfügt das Fraunhofer IPMS über 268 erteilte Patente. 325 Patentanmeldungen befinden sich im Erteilungsverfahren.

Mehr über unsere Patentanmeldungen unter:
<https://s.fhg.de/IPMS-Patents>

PUBLIKATIONEN

PUBLIKATIONEN

Am Fraunhofer IPMS wird exzellent geforscht. Das belegen die zahlreichen Publikationen, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IPMS 2020 veröffentlicht haben. Neben hervorragenden technologisch geprägten Papern war ein Highlight im Jahr 2020 eine ganz andere Art der Publikation: Unter dem Namen „Schöne neue Welt“ veröffentlichte Dr. Christine Ruffert, Gruppenleiterin Monolithische integrierte Aktor- und Sensorsysteme, eine Zukunftsvision im Kurzgeschichtenband „Tales of Science – Zukunftsgeschichten aus der Mikrosystemtechnik“ des Netzwerks microTEC Südwest. Darin erzählt sie, wie das Leben in einem modernen Altersheim der Zukunft aussehen könnte – und welche Rolle dabei „next generation“-Sensoren des Fraunhofer IPMS spielen könnten. Lesenswert!

Weitere Publikationen finden Sie auf:
<https://s.fhg.de/IPMS-Paper>



BACHELORARBEITEN

Evaluierung der optischen Eigenschaften von polymeren Materialien zur Faltmontage

Johannes Anton, TU Ilmenau
Betreuer: Prof. Dr. E. Rädlein; Dr. H. Grüger

Implementierung und Erprobung einer portablen Sensorplattform auf Basis von RISC-V

Stephan Enseleit, TU Ilmenau
Betreuer: Prof. Dr. K. Henke; Dr. Andreas Weder

Untersuchung des Verhaltens von MEMS-Mikrolautsprechern auf mechanische Schockbelastung

Michalina Kulas, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Betreuer: Prof. Dr. H. Schenk; M. Sc. M. Stolz

Modellierung eines Li-Fi Transceivers zur optischen Freiraumdatenübertragung

Jan Rödel, TH Nürnberg
Betreuer: Prof. Dr. R. Engelbrecht; Dipl.-Ing. R. Kirrbach

Entwurf, Konstruktion und Vorbereitung des Aufbaus eines hochminiaturisierten Gitterspektrometers für den Nahinfrarotbereich

Antonia Starcke, TH Lübeck
Betreuer: Prof. Dr. M. Beyerlein; Dr. H. Grüger

DIPLOMARBEITEN

Kundenakquise öffentlicher Forschungseinrichtungen in Deutschland

Steffen Grebe, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. M. Schefczyk; Dipl.-Kffr. C. Ernst; S. Titze

Analysis of the Reliability of Ferroelectric Field Effect Transistors in Combination with Crossbar Circuits for Neuromorphic Computing

Tudor Hoffmann, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. R. Tetzlaff; Dr. T. Kämpfe; Dr. I. Messaris

Ein Beitrag zur Modellbildung und Regelung eines mikromechanischen Scannerspiegels mit hybrid integrierten Stellantrieben zur hochdynamischen vektoriel- len Strahlpositionierung

Paul Hünig, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. K. Janschek; Dr. T. Sandner

Entwicklung eines analogen 100 Mbit/s-Transceiver-Frontends für die Li-Fi-Kommunikation mit harten Echtzeitanforderungen

Benjamin Jakob, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. W.-J. Fischer, Dipl.-Ing. R. Kirrbach

Entwicklung eines Aufbaus für die teilautomatisierte Montage von Mikrospektrometern

Jens Kruse, HTW Dresden
Betreuer: Prof. Dr. W.-J. Fischer, Dr. J. Knobbe

Medizinisches Implantat mit drahtloser Energie- und Datenübertragung zur Ansteuerung einer implantierten Schmerzpumpe

Lukas Oeser, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. W.-J. Fischer

Entwicklung eines universellen WLAN Kommunikations-Moduls für Messgeräte

Weixian Song, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. W.-J. Fischer

MASTERARBEITEN

Modelling of three dimensional deep trench capacitors and identification of parasitic elements

Rishabh Agarwal, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. H. Lakner; Prof. Dr. M. Czernohorsky

High resolution measurement of large out-of-plane displacements utilizing digital holographic microscope

Prashant Akkal Devi, Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Betreuer: Prof. Dr. R. Gerbach; S. Shashank

Development and Characterization of Transition Metal Silicides for Metallization Application

Sarallah Hamtaei, Universität Freiburg
Betreuer: Prof. Dr. M. Fiederle; Dr. T. Sorgenfrei; M. Eng. M. Wislicenus

Thin-Film Development of Cobalt Monosilicide for Spintronic Applications

Meike Hindenberg, TU Bergakademie Freiberg
Betreuer: Prof. Dr. G. Heide; Dr. M. Wagner-Reetz

Entwicklung eines integrierten, digitalen Empfängers für echtzeitfähige, leitungsungebundene, optische Übertragungen

Hagen Steinbach, HAW Hamburg
Betreuer: Prof. Dr. A. Ebberg; Dr.-Ing. M. Faulwaßer

Investigation of Gas flow-regulation and -generation of active Microfluidic MEMS-Devices

Surendran Velmurugan, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. W.-J. Fischer; M. Sc. S. Uhlig

Optimising the crystallisation process of hafnium oxide for improved ferroelectric properties

Pratik Bagul, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. H. Lakner

PROMOTION

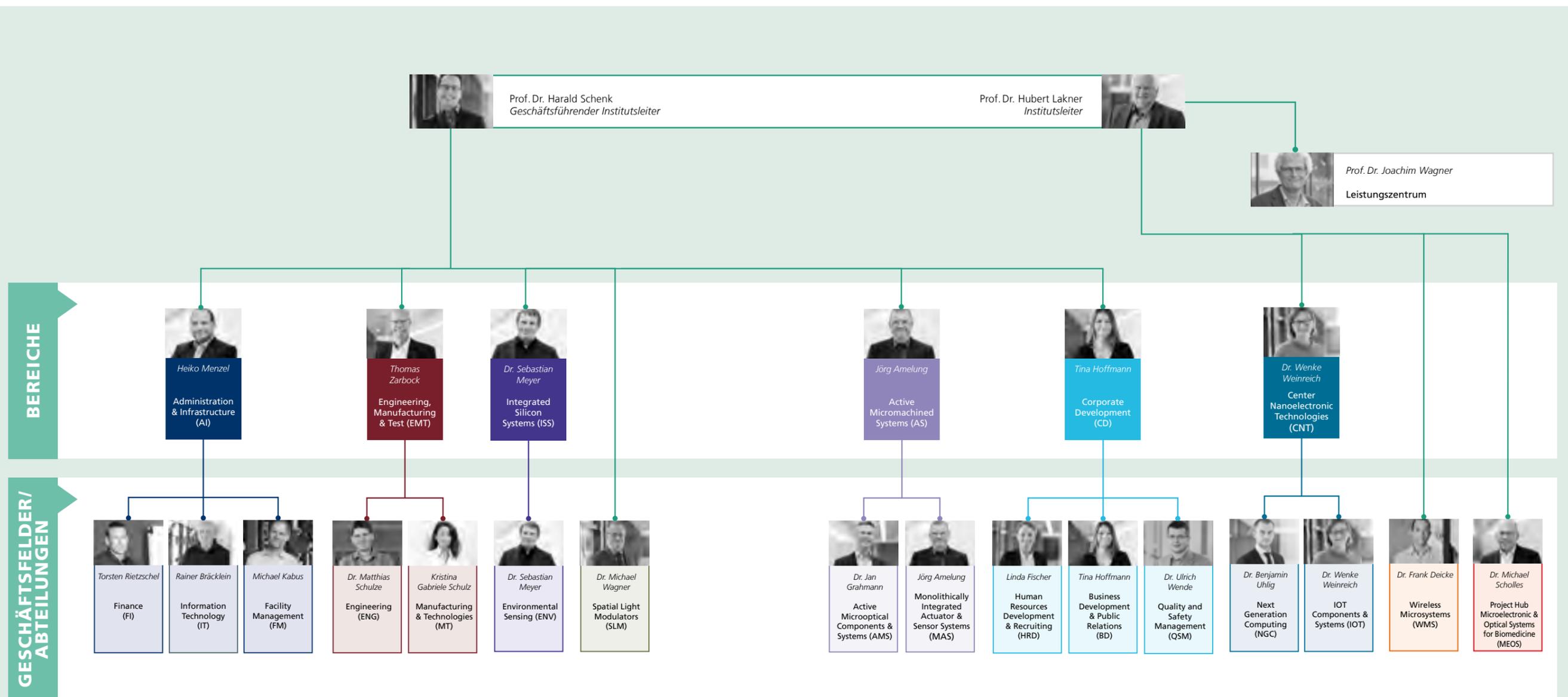
Mechanisch gekoppelte mikroelektromechanische Ultraschallwandler

Marcel Krenkel, TU Dresden
Betreuer: Prof. G. Gerlach; Dr. H. Grüger

Contributions to the design of Fourier-optical modulation systems based on MOEMS tilt-mirror arrays

Matthias Roth, TU Dresden
Betreuer: Prof. Dr. H. Lakner

ORGANIGRAMM



Stand: März 2021

ANSPRECHPERSONEN

Prof. Dr. Harald Schenk | +49 351 8823-154 | harald.schenk@ipms.fraunhofer.de

Heiko Menzel | +49 351 8823-244 | heiko.menzel@ipms.fraunhofer.de

Thomas Zarbock | +49 351 8823-372 | thomas.zarbock@ipms.fraunhofer.de

Dr. Sebastian Meyer | +49 351 8823-137 | sebastian.meyer@ipms.fraunhofer.de

Jörg Amelung | +49 351 8823-4691 | joerg.amelung@ipms.fraunhofer.de

Tina Hoffmann | +49 351 8823-430 | tina.hoffmann@ipms.fraunhofer.de

Torsten Rietzschel | +49 351 8823-425 | torsten.rietzschel@ipms.fraunhofer.de

Rainer Bräcklein | +49 351 8823-342 | rainer.braecklein@ipms.fraunhofer.de

Michael Kabus | +49 351 8823-139 | michael.kabus@ipms.fraunhofer.de

Dr. Matthias Schulze | +49 351 8823-335 | matthias.schulze@ipms.fraunhofer.de

Kristina Gabriele Schulz | +49 351 8823-436 | kristina.schulz@ipms.fraunhofer.de

Dr. Michael Wagner | +49 351 8823-225 | michael.wagner@ipms.fraunhofer.de

Dr. Jan Grahmann | +49 351 8823-349 | jan.grahmann@ipms.fraunhofer.de

Linda Fischer | +49 351 8823-303 | linda.fischer@ipms.fraunhofer.de

Dr. Ulrich Wende | +49 351 8823-406 | ulrich.wende@ipms.fraunhofer.de

Prof. Dr. Hubert Lakner | +49 351 8823-111 | hubert.lakner@ipms.fraunhofer.de

Prof. Dr. Joachim Wagner | +49 351 8823-369 | joachim.wagner@ipms.fraunhofer.de

Dr. Wenke Weinreich | +49 351 2607-3053 | wenke.weinreich@ipms.fraunhofer.de

Dr. Benjamin Uhlig | +49 351 2607-3064 | benjamin.uhlig@ipms.fraunhofer.de

Dr. Frank Deicke | +49 351 8823-385 | frank.deicke@ipms.fraunhofer.de

Dr. Michael Scholles | +49 351 8823-201 | michael.scholles@ipms.fraunhofer.de



STANDORTE

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHOTONISCHE MIKROSYSTEME IPMS

Maria-Reiche-Straße 2
01109 Dresden
Telefon: +49 351 8823 0
Fax: +49 351 8823 266
E-Mail: info@ipms.fraunhofer.de
Internet: www.ipms.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHOTONISCHE MIKROSYSTEME IPMS – CENTER NANOELECTRONIC TECHNOLOGIES CNT

An der Bartlake 5
01109 Dresden
Telefon: +49 351 2607 3004
Fax: +49 351 2607 3005
E-Mail: info@ipms.fraunhofer.de
Internet: www.ipms.fraunhofer.de



FRAUNHOFER IPMS – INSTITUTSTEIL INTEGRATED SILICON SYSTEMS ISS

Fraunhofer IPMS an der
BTU Cottbus-Senftenberg
Konrad-Zuse-Straße 1
03046 Cottbus
Telefon: +49 355 692483
E-Mail: info@ipms.fraunhofer.de
Internet: www.ipms-iss.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-PROJEKTZENTRUM MIKROELEKTRONISCHE UND OPTISCHE SYSTEME FÜR DIE BIOMEDIZIN MEOS

Herman-Hollerith-Straße 3
99099 Erfurt
Telefon: +49 361 66338 150
E-Mail: meos@ipms.fraunhofer.de
Internet: www.meos.fraunhofer.de



VERNETZEN SIE SICH

UNSERE SOCIAL-MEDIA-KANÄLE



LinkedIn

Unsere Pressemeldungen und Veranstaltungen immer im Blick beim weltweit größten Businessnetzwerk. <http://www.linkedin.com/company/fraunhofer-ipms/>



Twitter

Alle News des Fraunhofer IPMS und unserer Projektpartner im Kurzformat beim erfolgreichsten Microblogging-Dienst. <https://twitter.com/fraunhoferipms>



Facebook

Aktuelle Stellenanzeigen, öffentliche Veranstaltungen und Informationen rund um das Fraunhofer IPMS. www.facebook.com/FraunhoferIPMS/



Youtube

Spannende Interviews, Blicke hinter die Kulissen sowie Videos und Animationen der Technologien des Fraunhofer IPMS. <https://www.youtube.com/user/fraunhoferipms>



Xing

Unsere Pressemeldungen und Veranstaltungen immer im Blick beim Businessnetzwerk für den deutschen Raum. <https://www.xing.com/pages/fraunhoferipms>



Webinare

<https://s.fhg.de/IPMS-Webinare>



Whitepaper

<https://s.fhg.de/IPMS-Whitepaper>

IMPRESSUM

© Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Dresden 2021

Rechte

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit Genehmigung der Institutsleitung.

Redaktion

Fraunhofer IPMS

Fotos

Titelbild: Freepik Premium
 Seite 4+8: Prof. Dr. Harald Schenk
 Seite 5+9: Prof. Dr. Hubert Lakner
 Seite 10/11: Freepik Premium
 Seite 12: Shutterstock_444103798
 Seite 13-18: Freepik Premium
 Seite 19: HTW Dresden 2017 – Peter SEBB
 Seite 20/21: Freepik Premium
 Seite 23: Dr. Konrad Herre
 Seite 26/27: Freepik Premium
 Seite 28: Freepik Premium
 Seite 34/35: Freepik Premium
 Seite 36: iStock-993562802
 Seite 37: Freepik Premium
 Seite 38: Dr. Wenke Weinreich
 Seite 45: Nikon
 Seite 46: Freepik Premium
 Seite 48: Freepik Premium
 Seite 49: Johannes Ziebarth
 Seite 56: Heinz Martin Esser
 Seite 57: Dr. Ana Gonzalez
 Seite 59: Freepik Premium
 Seite 66: Freepik Premium

Alle nicht aufgeführten Bilder © Fraunhofer IPMS.

Grammatikalisch maskuline Personenbezeichnungen gelten gegebenenfalls gleichermaßen für Personen jeden Geschlechts.

