

# MEMS REPORT

2 / 2016



## INHALT

Kohlenstoffnanoröhrchen für On-Chip-Verbindungen

RFID-OPC-UA-AutoID-Server erleichtert Implementierung von Transponder-Technik in Industrie 4.0-Umgebungen

Wartungsfreie Sensorknoten für das Internet der Dinge

Versorgung von »Wearable Electronics« durch Energiewandler

IP-Core zeigte robuste Funktionsweise auf »CAN FD-Plugfest«

Akustische Spektroskopie mittels CMUTs für die Qualitätsüberwachung von Flüssigkeiten

Liebe Kunden, Partner und Freunde  
des Fraunhofer IPMS,

die unter dem Schlagwort »Industrie 4.0« zusammengefasste Veränderung der momentan etablierten Produktionsprozesse zu einer weitestgehend selbstorganisierten Fertigung bedingt aufeinander abgestimmte Hardware- und Softwarekomponenten als technische Grundlage. In diesem MEMS Report stellen wir Ihnen neben anderen Themen mehrere Entwicklungsergebnisse des Fraunhofer IPMS in diesem Kontext vor.

Am Institut entwickelte wartungsfreie RFID-Sensorknoten erfassen die notwendigen Daten für die automatische Steuerung der Fertigung. Sie kommen ohne Batterie aus und beziehen die Energie aus dem Lesegerät. Als sensorische Elemente können, neben anderen Komponenten, die am Institut entwickelten, mikromaschinell gefertigten Ultraschallwandler zum Einsatz kommen. Damit die sensorische Information in beliebigen Automatisierungssystemen herstellerunabhängig genutzt werden kann, sind universelle Softwareschnittstellen erforderlich. Das Fraunhofer IPMS bietet hierfür RFID-Komponenten auf Basis des OPC-UA-Standards Softwarelösungen an, wie in diesem MEMS-Report näher erläutert wird. In Summe sind wir als Partner für Kunden, die ihre Produktion für Industrie 4.0 fit machen wollen, gut aufgestellt.

Wir wünschen eine informative Lektüre des aktuellen MEMS Reports.



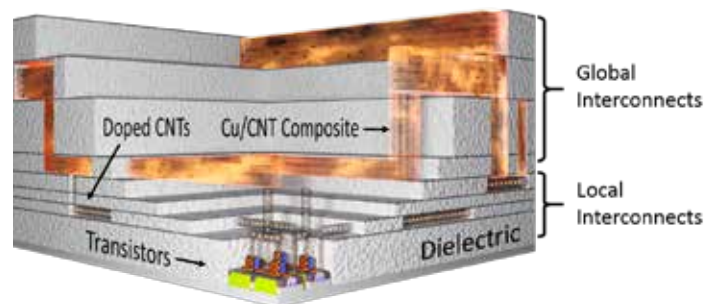
Prof. Dr. Harald Schenk

Prof. Dr. Hubert Lakner

## KOHLENSTOFFNANORÖHRCHEN FÜR ON-CHIP-VERBINDUNGEN

Fraunhofer IPMS, CEA-Leti, IBM, Aixtron, CNRS, GSS und die Universität Glasgow arbeiten im Projekt »CONNECT« zusammen, um neue Herstellungstechniken und Verfahren zu realisieren, die zuverlässige Kohlenstoffnanoröhrchen (Carbon Nanotubes – CNT) für On-Chip-Verbindungen in der Volumenchipproduktion ermöglichen.

Mit sinkender Chipgröße werden, unabhängig vom Anwendungsgebiet, Interconnects zum entscheidenden Faktor, da die Elektromigration zunimmt und der gesamte Stromverbrauch steigt. Das CONNECT-Projekt untersucht ultradünne CNT-Verbindungen und neue Metall-CNT-Verbundmaterialien, um die Fertigungsprobleme der heutigen Kupfer-Interconnects zu adressieren. Um die Energieeffizienz sowie die Schaltkreis- und Architekturperformance untersuchen zu können, werden neue CNT-Interconnectsarchitekturen entwickelt. Weiterhin sind die CMOS-Kompatibilität und die Herausforderungen der Übertragung neuer Prozesse für die industrielle Massenfertigung Gegenstand des Projektes.



Neue Interconnectsarchitektur.

Mit deutlich verbesserten elektrischen Widerstandseigenschaften, höherer Strombelastbarkeit, optimierten Thermal- und Elektromigrationseigenschaften von CNT-Interconnects im Vergleich zu den konventionellen Kupfer-Interconnects wird eine höhere Leistungs- und Skalierungsdichte von CMOS und CMOS-Erweiterungen verfügbar sein. Alternative Rechenansätze, wie neuromorphe Computersysteme, werden von diesen Verbesserungen profitieren. Die Technologien, die in diesem Projekt entwickelt werden, sind ein entscheidender Faktor für die Leistungsfähigkeit und die Machbarkeit von skalierter Mikroelektronik, um auch zukünftig miniaturisierte Produkte mit erweiterten Funktionalitäten bei immer geringer werdenden Kosten zu garantieren. Die Umsetzung von CONNECT wird die Rückgewinnung von Marktanteilen des europäischen Elektroniksektors fördern und die Industrie für künftige Entwicklungen in diesem Bereich vorbereiten.

## RFID-OPC-UA-AUTOID-SERVER ERLEICHTERT IMPLEMENTIERUNG VON TRANSPONDER-TECHNIK IN INDUSTRIE 4.0-UMGEBUNGEN



Das Fraunhofer IPMS hat einen hardwareunabhängigen und einfach integrierbaren RFID-OPC-UA-AutoID-Server für Industrie 4.0 entwickelt. Dieser ermöglicht eine herstellerunabhängige Kommunikation von RFID-Komponenten in der Automatisierungstechnik.

Im Zuge von Industrie 4.0 verzahnt sich die Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik: Prozesse sollen vollkommen automatisiert und die Fertigung und Logistik informatisiert werden. Mensch, Maschine und Prozesssteuerung sind digital miteinander vernetzt und bilden ein autonomes, intelligentes System.

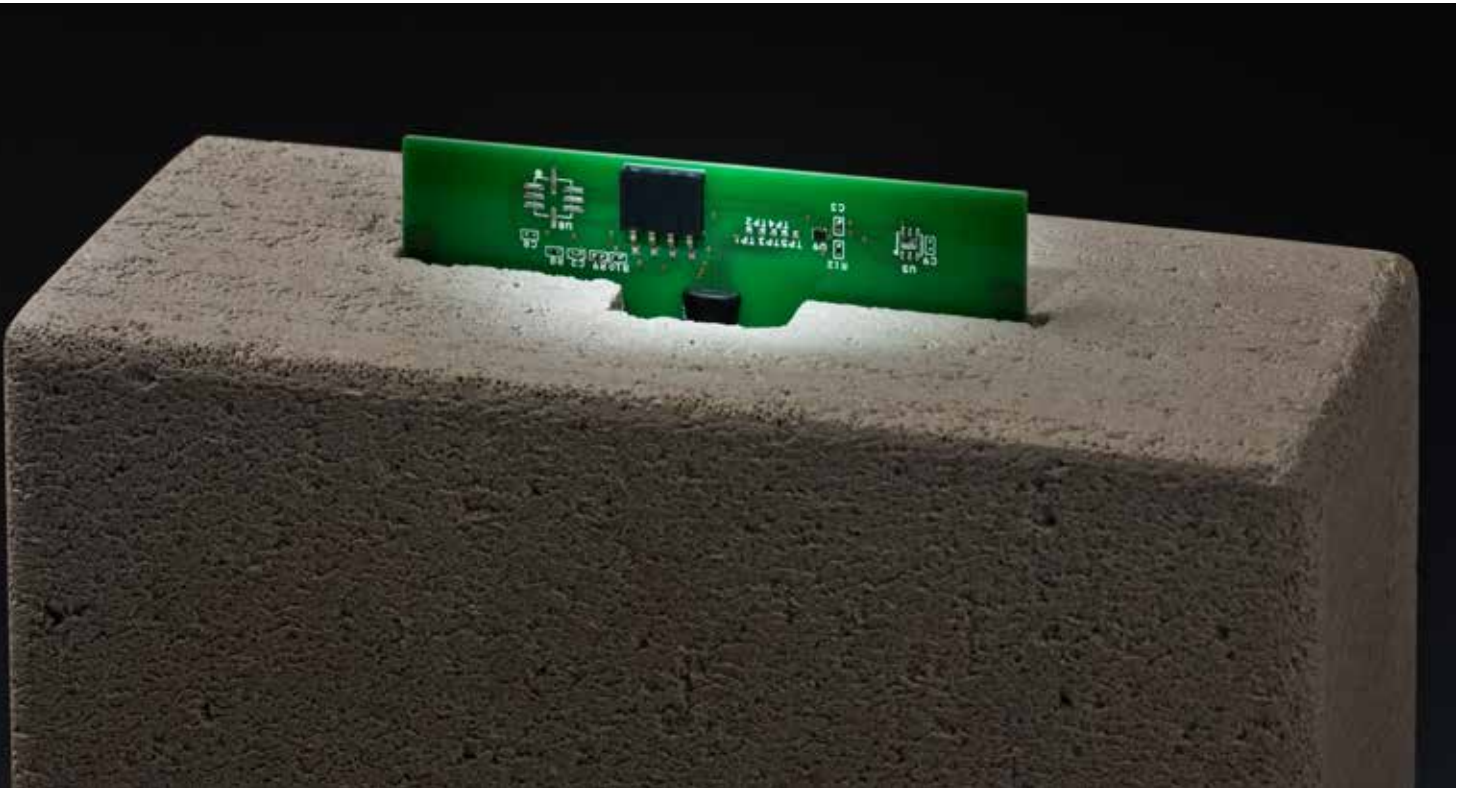
Je mehr sich die Produktion aber digitalisiert und vernetzt, desto mehr Schnittstellen ergeben sich und desto mehr Sensoren, Maschinen, Steuer- und Regeleinheiten müssen miteinander kommunizieren. Zwei Geräte benötigen zum Datenaustausch in modernen Netzwerken genaue Kenntnis über die Kommunikations- und Funktionsmöglichkeiten des Gegenübers – Erweiterungen und Austausch gestalteten sich bisher entsprechend schwierig. OPC-UA (Open Plattform Communication Unified Architecture) bietet hier eine Lösung.

Mit OPC-UA wird für jedes Gerät genau einmal eine OPC-UA-konforme Schnittstelle entwickelt und diese fortan ohne großen

Anpassungsaufwand in beliebig große Steuerungs- und Überwachungssysteme integriert. Als Standard zur herstellerunabhängigen Kommunikation in der Automatisierungstechnik ermöglicht OPC-UA die universelle Verständigung industrieller Bussysteme und Protokolle. Maschinenrelevante und kontextbezogene Informationen können gekapselt und jederzeit bereitgestellt werden.

Das Fraunhofer IPMS hat eine neue Softwarelösung entwickelt, welche die OPC-UA-AutoID-Spezifikation für RFID-Komponenten implementiert. Über diesen OPC-UA-AutoID-Server können verschiedenste RFID-Reader von beliebigen Anbietern für unterschiedliche Frequenzbereiche und mit diversen Transpondern direkt angesteuert werden. Eine hersteller- und frequenzspezifische Integration wird somit überflüssig. Applikationen und Services müssen zukünftig nur noch die Verbindung mit dem Server aufbauen – der Aufwand, den die manuelle Anpassung der zahlreichen Herstellerstandards auf individuelle Steuerungs- und Überwachungs-Infrastrukturen verursacht hat, entfällt. Der vom Fraunhofer IPMS entwickelte RFID-OPC-UA-AutoID-Server ist plattformunabhängig, d. h. er lässt sich unabhängig vom genutzten Frequenzband, dem RFID-Reader und den RFID-Tags einsetzen. Er ist einfach in jede beliebige OPC-UA-Infrastruktur integrierbar. Das Fraunhofer IPMS bietet zugeschnittene Pakete und Dienstleistungen rund um das Thema RFID-OPC-UA-AutoID Server für Readerhersteller, Anbieter von RFID-Technik und Systemintegratoren an.

## WARTUNGSFREIE SENSORKNOTEN FÜR DAS INTERNET DER DINGE



Experten des Fraunhofer IPMS entwickeln seit Jahren kompakte, kundenspezifische Sensortransponder für verschiedenste Industrieanwendungen. Die RFID-Tags sind prädestiniert, voluminöse Sensorknoten herkömmlicher batteriebetriebener Systeme in industriellen Sensornetzwerken abzulösen. Denn die drahtlosen Sensorknoten arbeiten wartungsfrei ohne Batterie und werden allein durch die Antenne des Readers im Netzwerk mit Energie versorgt.

Das »Internet der Dinge« macht es möglich, riesige Mengen industrieller Logistik- und Fertigungsdaten automatisiert ins Web zu speisen und dort mit nahezu unbegrenzten Rechenressourcen zu analysieren und weiterzuverarbeiten. So können komplexe Fertigungsabläufe ferngesteuert organisiert oder die Zuweisung von Ressourcen in Echtzeit optimiert werden.

Voraussetzung dafür sind intelligente Sensornetzwerke, die aus einer Vielzahl von Sensorknoten bestehen. Sie sind die Verbindungsstellen zwischen realer und digitaler Welt und machen smarte Anwendungen, wie die umfassende Überwachung und Fernsteuerung von Industrieanlagen, rentabel. Optimalerweise arbeiten diese Sensorsysteme drahtlos, da eine feste Verkabelung insbesondere bei einer hohen Sensordichte den Installationsaufwand erhöht und die Messergebnisse beeinflussen kann. Gleichzeitig benötigen die

Sensorknoten eine zuverlässige Stromversorgung, da in der Industrie großflächige Messungen zumeist über mehrere Jahre hinweg durchzuführen sind. Batteriebetriebene Systeme, wie sie heute verbreitet sind, sind wegen der begrenzten Batterielebensdauern ungeeignet, da der ständige Wechsel der Batterien den Wartungsaufwand erhöht und zudem Messergebnisse verfälschen kann.

Beide Probleme – die Verkabelung und der nötige Batterieaustausch – können durch Einsatz der am Fraunhofer IPMS entwickelten Radio Frequency Identification (RFID)-Sensorknoten vermieden werden. »Unsere Sensortransponder beziehen die Leistung, die zum Betrieb notwendig ist, vom abgestrahlten elektromagnetischen Feld des Readers«, erklärt Dr. Frank Deicke, Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer IPMS. »Sie sind klein, robust und flexibel einsetzbar. Das heißt, unsere Sensorknoten sind modular aufgebaut und können mit beliebigen Sensoren je nach Anforderungen unserer Kunden bestückt werden«.

Dank der Flexibilität des Transpondersystems, das aus Antenne, Transponder-Chip und Sensor besteht und über eine integrierte I<sup>2</sup>C- oder SPI-Schnittstelle zum Anschluss beliebiger externer Sensoren verfügt sowie einen weiten Temperaturbereich abdeckt, ist die Fraunhofer-Technologie für eine Vielzahl möglicher Industrieanwendungen interessant. Muster sind für die Messung von Temperatur, Luftdruck und Feuchte verfügbar.

## VERSORGUNG VON »WEARABLE ELECTRONICS« DURCH ENERGIEWANDLER



Die Umwandlung der kinetischen Energie menschlicher Bewegungen in elektrische Energie ist eine ideale Lösung für die Versorgung von »Wearable Electronics«, also tragbaren elektronischen Geräten. Forscher des Fraunhofer IPMS haben Energiewandler entwickelt, welche auf Grundlage elektroaktiver Polymere klein genug sind, um in den Sohlen von Schuhen Platz zu finden.

Die Kombination aus Energiegewinnung und portabler am Körper getragener Elektronik bildet ein autarkes System, welches zum Beispiel in Fitnessgadgets zum Erfassen von Temperatur, Geschwindigkeit und Positionsdaten Anwendung findet. Haben Energiewandler ihren Weg aus den Forschungslaboren bereits in erste Anwendung gefunden, ist die Herausforderung dieser Tage die Steigerung deren Effizienz, um immer anspruchsvollere Elektroniken mit ausreichend Energie zu versorgen. »Die entwickelte Komponente, welche mechanische in elektrische Energie wandelt,

nutzt die Eigenschaften dünner dielektrischer Polymerfilme mit besonders hohen Permittivitäten. Im Vergleich zu piezoelektrischen Lösungen arbeitet dieses Konzept in einem nichtresonanten Modus und wandelt daher mechanische Energie auch bei niedrigen Frequenzen effizient um. Weiterhin ermöglicht die kleine und flexible Bauform zum Beispiel eine einfache Einbettung in Schuhsohlen«, erklärt Dr. Florenta Costache, Projektleiterin am Fraunhofer IPMS.

Der erste vom Fraunhofer IPMS entwickelte Demonstrator zeigt die Leistungsfähigkeit der entwickelten Energiewandler. Eingebettet in einem Schuh produziert der Energiewandler unter der Druckbelastung eines Läufers mehrere Mikrowatt pro Sekunde. Der Wandler Schaltkreis ist hierbei auf die Versorgung eines Datentransmitters abgestimmt, so dass, gespeist durch die Bewegung eines Läufers, Telegramme drahtlos im Sekundentakt übermittelt werden können. Ebenso wie zur Versorgung eines Transmitters kann der Energiewandler auf die Versorgung einer Vielzahl anwendungsspezifischer Elektroniken angepasst werden.

## IP-CORE ZEIGTE ROBUSTE FUNKTIONSWEISE AUF »CAN FD-PLUGFEST«

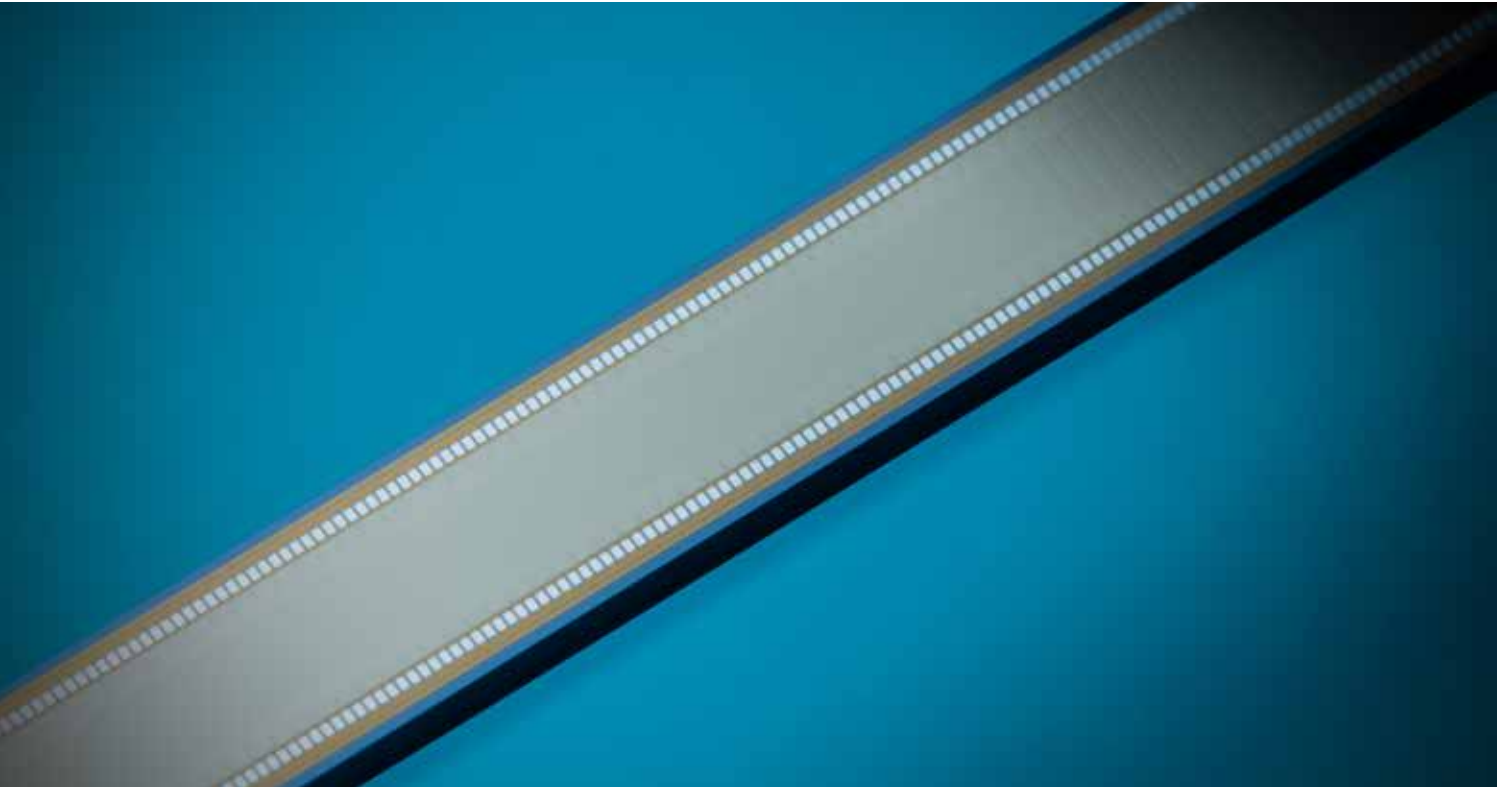
Zum zweiten Mal hat der CAN-Bus-Controller-IP-Core von CAST und dem Fraunhofer IPMS im Rahmen des durch die CAN in Automation (CiA) Vereinigung veranstalteten »CAN FD-Plugfest« eine Reihe von Tests unter realweltlichen Bedingungen erfolgreich absolviert.

Auf dem CAN FD-Plugfest versammelten sich Unternehmen, um zu beurteilen, wie gut ihre jeweiligen CAN FD-Produkte in Netzwerk-Topologien zusammenarbeiten, welche reale

Automobil-Umgebungen nachbilden. Der CAN-CTRL CAN 2.0 & FD-Controller-Core des Fraunhofer IPMS ist einer der wenigen ASIC RTL und FPGA-Netlist-IP-Cores, welcher alle aktuellen und beabsichtigten Anforderungen (CAN 2.0, CAN FD ISO und Bosch, Time-Triggered TTCAN) unterstützt. Er ist auch der erste Soft-IP-Core, der bereits im zweiten Jahr in Folge Tests im Rahmen des CAN FD-Plugfests absolvierte. Der CAN FD-Controller-IP-Core inklusive Referenzdesign-Board, anderer Entwicklungshilfen und Verifikations-IP ist ab sofort über CAST weltweit erhältlich.

---

## AKUSTISCHE SPEKTROSKOPIE MITTELS CMUTS FÜR DIE QUALITÄTS- ÜBERWACHUNG VON FLÜSSIGKEITEN



Die kontinuierliche Überwachung der Eigenschaften von Flüssigkeiten und Schmierstoffen ist eine wichtige Aufgabe in der Sensorik. Insbesondere bei Schmierstoffen ist die Charakterisierung von Feststoff- bzw. Wasseranteilen ein wichtiger Qualitätsparameter. Hierbei sind Sensoren für die mobile miniaturisierte Überwachung der Labormessung vorzuziehen. Miniaturisierte Ultraschallspektroskopie auf Basis von kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlern (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers, CMUT) schafft hier neue Möglichkeiten.

Die spektroskopische Untersuchung mittels Ultraschall ermöglicht sowohl Aussagen über die physikalischen Kenngrößen von Materialien als auch zur chemischen Analyse von Dispersionen. So können mittels der Analyse der frequenzabhängigen Dämpfung und Schallgeschwindigkeit Aussagen über die Qualität und Zusammensetzung von Ölen, Alkohol-Wasser-Gemischen oder sonstiger Flüssigkeiten getroffen werden – eine ideale Ergänzung der optischen Spektroskopie.

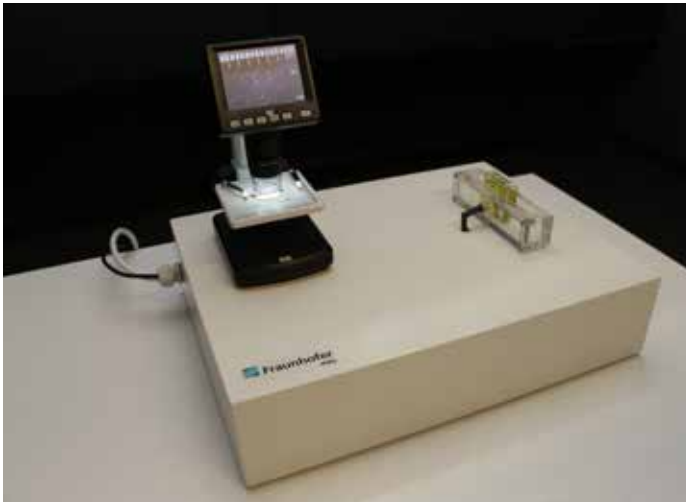
Die Verwendung von kapazitiven mikromechanischen Ultraschallwandlern kann in diesem Anwendungsbereich zu neuen hochkompakten Umweltmesssystemen führen. Im Gegensatz zu

gängigen piezoelektrischen Ultraschallelementen werden CMUTs mittels mikromechanischer Herstellungsverfahren realisiert, was eine höchst kompakte Aufbauform ermöglicht.

CMUTs sind vom Grundaufbau her MEMS-Strukturen, die aus zwei gegenüberliegenden Elektroden bestehen. Eine der Elektroden ist starr, die andere beweglich. Zwischen den beiden Elektroden befinden sich eine Isolierschicht und ein unter Vakuum verschlossener Zwischenraum. CMUTs können sowohl senden als auch empfangen, indem sie durch Verschiebung der beweglichen Elektrode elektrische in akustische Energie umwandeln oder umgekehrt. Beim CMUT als Schallsender wird zwischen ihnen ein elektrisches Potenzial aufgebaut, sodass die elektrostatische Kraft die bewegliche Elektrode zur starren hin ablenkt. Durch diese Bewegung wird eine Schallwelle erzeugt. Auf umgekehrte Weise können CMUTs auch als Empfänger fungieren.

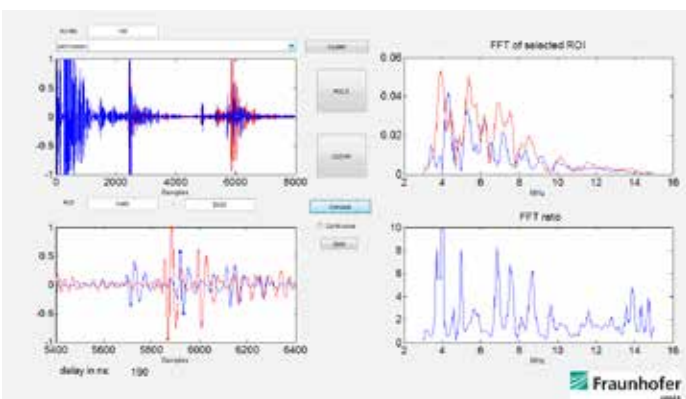
Für die akustische Spektroskopie sind CMUTs ideal geeignet, da sie in flüssige Medien extrem effizient den Schall einstrahlen können, die Detektion hochsensitiv ist und eine große Frequenzbandbreite verwendet werden kann. So bieten CMUTs bei Flüssigkeiten eine Frequenzbandbreite von >100% der Mittelfrequenz, was insbesondere für eine breitbandige Aufnahme der frequenzabhängigen Dämpfung von Vorteil ist.

Bei den am Fraunhofer IPMS hergestellten CMUTs wird hierbei ein einmaliges Herstellungsverfahren verwendet. Dieses ermöglicht es, CMUTs als sogenanntes Back-End-of-Line (BeoL) Prozessmodul herzustellen, was die Integration in einen CMOS-Prozess erleichtert. Durch diese Integration lassen sich hochkompakte Analysensysteme realisieren – eine Voraussetzung für die mobile Nutzung als kontinuierlicher Sensor.



Neuer Demonstrator für CMUTs.

Ein Demonstrationsmessplatz mit CMUTs für die akustische Spektroskopie von Flüssigkeiten wurde vom Fraunhofer IPMS erstellt. In diesem Messplatz werden Flüssigkeiten in Küvetten mittels eines CMUTs durchstrahlt und die frequenzabhängige Dämpfung mittels einer Fourier-Analyse ermittelt. Die ermittelten Daten können in der Nachfolge dann ausgewertet werden. Bei diesem Messplatz handelt es sich um eine Demonstration, er soll das Konzept der akustischen Spektroskopie qualitativ darstellen. Die Ergebnisse zeigen ein gutes Potential für CMUTs, neue miniaturisierte mobile Analysensysteme für die Qualitätsüberwachung von Flüssigkeitsgemischen zu ermöglichen. Die weitere Entwicklung solcher Systeme für die Praxis möchte das Fraunhofer IPMS zusammen mit Partnern vorantreiben.



Programmoberfläche.

## TERMINVORSCHAU

### Sensor+Test

Nürnberg, Deutschland 10. - 12. Mai 2016  
Messe Nürnberg, Halle 5, Stand 248

### Optatec

Frankfurt/Main, Deutschland 7. - 9. Juni 2016  
Messe Frankfurt, Halle 3, Stand D50

### Sensors Expo & Conference

San Jose, CA, USA 22. - 23. Juni 2016  
McEnery Convention Center, Stand 535

### SEMICON West

San Francisco, CA, USA 12. - 14. Juli 2016  
Moscone Center

### ECOC

Düsseldorf, Deutschland 19. - 21. September 2016  
CCD Congress Center Düsseldorf, Stand 327

[www.ipms.fraunhofer.de/events.html](http://www.ipms.fraunhofer.de/events.html)

### Folgen Sie uns auch auf:



[facebook.com/FraunhoferIPMS](https://facebook.com/FraunhoferIPMS)



[twitter.com/FraunhoferIPMS](https://twitter.com/FraunhoferIPMS)



[xing.com/companies/fraunhoferipms](https://xing.com/companies/fraunhoferipms)



[linkedin.com/company/fraunhofer-ipms](https://linkedin.com/company/fraunhofer-ipms)



[youtube.com/user/fraunhoferipms](https://youtube.com/user/fraunhoferipms)

### Weitere Informationen:

Dr. Michael Scholles, Leiter Business Development & Strategy  
Tel.: +49 351 88 23 201  
E-Mail: [info@ipms.fraunhofer.de](mailto:info@ipms.fraunhofer.de)

