

MEMS REPORT

2 / 2013



INHALT

Akustik mit MEMS: Kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler (CMUT) von der Forschung zur Marktfähigkeit
MEMS-Scanner für hochenergetische Laseranwendungen erfolgreich getestet
Fraunhofer IPMS feiert zehnjähriges Institutsjubiläum zur Dresdner Langen Nacht der Wissenschaften
Sachsen soll in den USA als dynamischer Wirtschaftsstandort bekannter werden



Prof. Dr. Hubert Lakner
Institutsleiter

Liebe Kunden, Partner und Freunde
des Fraunhofer IPMS,

in unserer täglichen Arbeit am Institut sind wir ständig auf der Suche nach neuen Anwendungsfeldern für unsere technologischen Möglichkeiten. Ein Erfolgsbeispiel für diesen internen Innovationsprozess stellen wir Ihnen in dieser Ausgabe des MEMS Reports vor. Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns mit der Entwicklung und Fertigung von Flächenlichtmodulatoren. Die damit verbundenen Herstellungsmethoden der Oberflächenmikromechanik konnten nun erfolgreich auf eine völlig andere Bauelementefamilie, sogenannte kapazitive Ultraschallwandler (CMUTs), übertragen werden. Über deren technologische Grundlagen, Anwendungen und Vorteile gegenüber herkömmlichen Piezowandlern informiert Sie diese Ausgabe ausführlich.

Die zurückliegenden Wochen boten auch Anlass zum Feiern: Das Fraunhofer IPMS besteht erfolgreich seit nunmehr zehn Jahren. Im Jahr 2012 konnten wir ein Rekordergebnis bezüglich der Industrieerträge erzielen, der Ausblick für dieses Jahr verspricht eine nochmalige Steigerung. Das Jubiläum des Instituts wurde im Zusammenhang mit der 11. Dresdner Langen Nacht der Wissenschaften gefeiert. Ich danke allen Kunden für die Zusammenarbeit und Treue in den letzten zehn Jahren und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die exzellente geleistete Arbeit.

Prof. Dr. Hubert Lakner

KURZ NOTIERT

Ausgezeichnete Forschung: 2. Platz für das Fraunhofer IPMS beim »Science2Business-Award 2013«

Das Fraunhofer IPMS wurde für seine Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft im Rahmen des österreichischen »Science2Business-Award« mit dem 2. Platz ausgezeichnet. Geehrt wurde die langjährige Zusammenarbeit des Fraunhofer IPMS mit der Carinthian Tech Research AG (CTR) und der HiperScan GmbH am Forschungsprojekt »Mikrosysteme für schnelle Qualitätsanalysen«. Im Zuge dessen wird bereits seit 2002 erforscht, wie durch Mikrosystemtechnik die präzise Analyse von Substanzen mittels Molekülschwingungsspektroskopie im infraroten und nahinfraroten Bereich auch für einen breiten Anwenderkreis erschwinglich und einfach gestaltet werden kann.



BEI DER PREISVERLEIHUNG IN WIEN

Dr. Andreas Kenda von CTR, Prof. Dr. Harald Schenk, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IPMS und Dr. Alexander Wolter von HiperScan (v.l.n.r.) nahmen den Preis in Wien entgegen.

Messerückblick

Im ersten Halbjahr hat das Fraunhofer IPMS seine Leistungen auf einer Vielzahl von Messen präsentiert. National waren wir in München auf der »LASER – World of Photonics« und in Nürnberg auf der »Sensor+Test« vertreten. Im Ausland informierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts über neueste Entwicklungen während der »SID DisplayWeek« in Vancouver, anlässlich der »Sensors Expo« in Rosemont (USA) sowie im Rahmen der »Nano Micro Biz« in Tokio. Bei allen Veranstaltungen herrschte großes Interesse von Fachbesuchern an den Forschungsergebnissen des Fraunhofer IPMS.

AKUSTIK MIT MEMS: KAPAZITIVE MIKROMECHANISCHE ULTRASCHALLWANDLER (CMUT) VON DER FORSCHUNG ZUR MARKTFÄHIGKEIT



Kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers, CMUT) sind MEMS-basierte Strukturen, die zur Erzeugung und Erfassung akustischer Signale im Ultraschallbereich eingesetzt werden können. Das Interesse an CMUTs nimmt dank der Qualität der erzeugbaren akustischen Signale und der Möglichkeit zur Integration mit CMOS stetig zu. Außerdem ermöglichen die geometrischen Eigenschaften von CMUTs eine Erweiterung der Ultraschall-Anwendungspalette. Das Fraunhofer IPMS arbeitet daran, CMUTs vom Laborstatus zur Marktfähigkeit zu führen.

Heutzutage sind Ultraschallwandler aus dem Alltag nicht mehr hinwegzudenken: Sie begegnen uns beispielsweise in Form von Füllstands- und Geschwindigkeitssensoren oder bei bildgebenden Verfahren im medizinischen Bereich. Die heutigen Ultraschallwandler werden typischerweise aus piezoelektrischen Materialien hergestellt und haben sich in der Praxis bewährt. Die CMUT-Technologie hat das Potenzial, die Anwendungsfelder für Ultraschall zu erweitern, da sie ohne unerwünschte Materialien (Pb) auskommt und einfach mit CMOS-Schaltungen zu integrieren ist.

CMUTs sind vom Grundaufbau her MEMS-Strukturen, die aus zwei gegenüberliegenden Elektroden bestehen. Eine der Elektroden ist starr, die andere beweglich. Die Elektroden sind durch Isola-

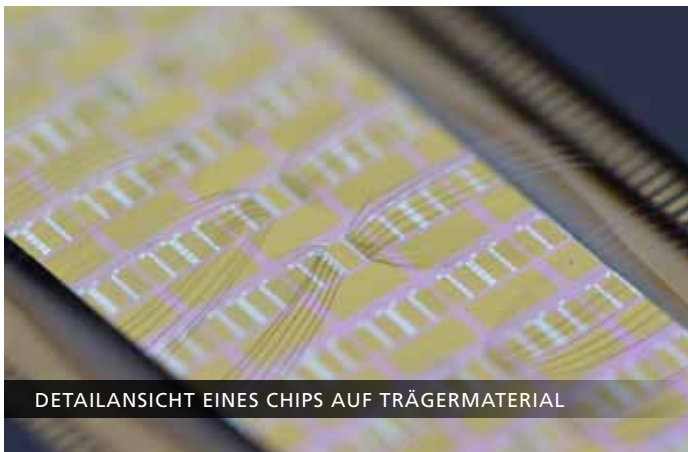
torschichten und einen Luftspalt voneinander elektrisch getrennt. CMUTs können sowohl senden als auch empfangen, indem sie durch Verschiebung der beweglichen Elektrode elektrische in akustische Energie umwandeln oder umgekehrt.

Die Gruppe um Prof. Khuri-Yakub von der Universität Stanford sowie verschiedene andere Forschergruppen haben in den letzten zwei Jahrzehnten die Möglichkeiten der CMUTs beleuchtet und an allen Komponenten geforscht, die für ihren Betrieb erforderlich sind (MEMS, Strahlformung, Treiber, Erfassung, etc.). Trotz aller Versuche, CMUTs kommerziell nutzbar zu machen, gibt es bislang auf dem europäischen und US-amerikanischen Markt kein einziges Produkt, das diese Technologie verwendet. Eine mögliche Erklärung für diesen Umstand sind die strengen Anforderungen für neue Ultraschallanwendungen, etwa bezüglich der Homogenität der Wandlerelemente bei großen Arrays und der Zuverlässigkeit von MEMS. Diese Anforderungen sind in reinen FuE-Reinräumen nur schwer zu erfüllen.

Durch seinen unter Fertigungsbedingungen betriebenen Reinraum hat das Fraunhofer IPMS die Möglichkeit, dieses Problem zu lösen. Hier werden schon Lichtmodulatoren (Spatial Light Modulators, SLM) mit vergleichbaren Homogenitätsanforderungen hergestellt. Zudem verfügt das Fraunhofer IPMS über umfangreiche Erfahrung in der Integration von MEMS auf CMOS-Wafern. Dies ist zum Erfolg der CMUT-Entwicklung sehr wichtig.

AKUSTIK MIT MEMS: KAPAZITIVE MIKROMECHANISCHE ULTRASCHALLWANDLER (CMUT) VON DER FORSCHUNG ZUR MARKTFÄHIGKEIT

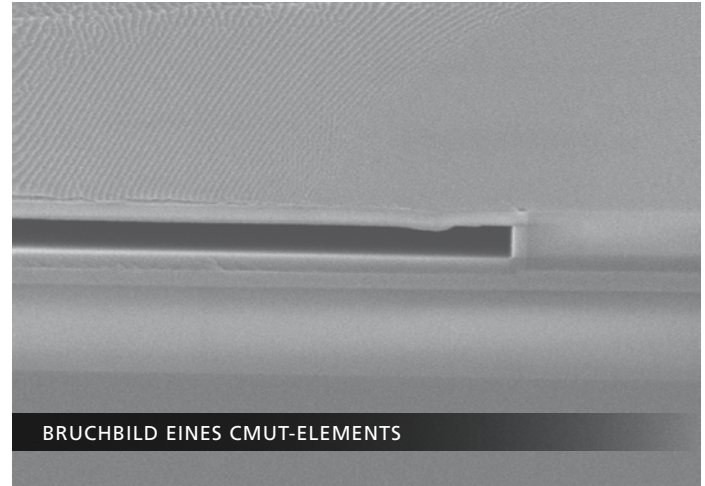
Im vierten Quartal 2012 begann das Fraunhofer IPMS mit der Entwicklung von CMUT-Bauelementen. Seitdem konnten die Ingenieure mehrere Fragestellungen erfolgreich klären. Zunächst fiel die Wahl für die Herstellung der CMUTs auf ein Verfahren zur Ätzung von Opferschichten. Diese Methode wurde dem alternativen Waferbondverfahren vorgezogen, da viele Technologieschritte in den letzten Jahren bereits in SLM-Projekten entwickelt wurden. Parallel dazu wurde ein vollständiger Prozessablauf festgelegt, einschließlich der Materialauswahl und möglichen Schichtdicken.



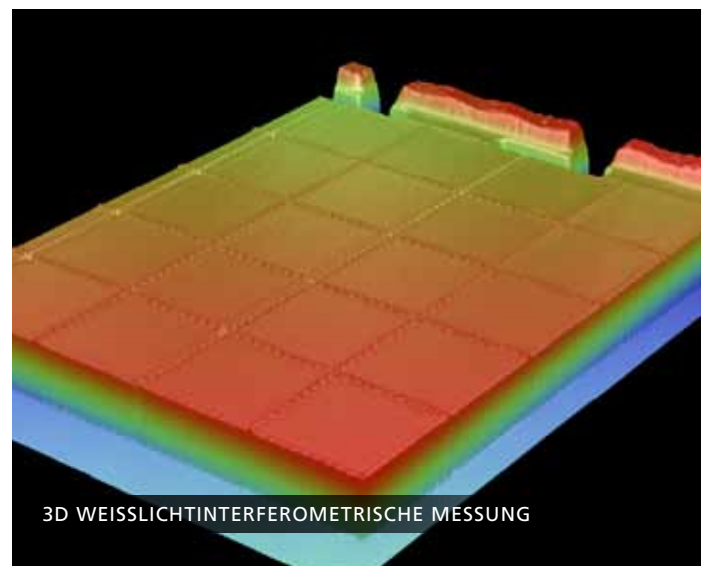
Erste FEM-Modelle der CMUT-Elemente wurden erstellt, um den Flächenbedarf zu ermitteln. Zudem wurden verschiedene CMUT-Entwürfe für Resonanzfrequenzen im Bereich von 1 bis 50 MHz ausgewählt. Die Maße der CMUT-Elemente liegen zwischen 10 und 100 μm . Die Elemente sind in Gruppen aus jeweils mehreren hundert Elementen angeordnet, sodass mehrere hundert CMUTs wie eine einzige Struktur zusammenwirken. Obwohl viele der Fertigungsschritte zuvor schon für SLMs charakterisiert wurden, mussten wichtige Parameter neu ausgelotet werden, z. B. die Ätzzeiten und die Bedingungen bei der Abscheidung. Zusätzlich wurden bei diesem experimentellen Waferdurchlauf die Hohlräume versiegelt und elektrische Kontaktflächen hinzugefügt. Das Ergebnis waren die ersten prüffähigen CMUTs, die im Fraunhofer IPMS gefertigt wurden.

Die erste Generation von CMUT-Arrays des Fraunhofer IPMS wird derzeit analysiert. Neben der optischen Inspektion und der Auswertung von Bruchbildern wurden weißlichtinterferometrische Messungen durchgeführt, um die Homogenität der CMUTs in Abhängigkeit von der Position der CMUT-Gruppe auf dem Wafer zu prüfen. Außerdem werden die CMUTs der ersten Generation derzeit elektrischen Tests unterzogen. Erste Impedanzmessungen ergaben dabei eine Resonanzfrequenz im Bereich 9,1 MHz, wie von der Bauelementesimulation prognostiziert. Bislang sind die Ergebnisse sehr vielversprechend. Die Charakterisierung schreitet

mittlerweile soweit voran, dass bald die ersten akustischen Messungen mithilfe eines Hydrophonsystems durchgeführt werden können.



Neben den Wissenschaftlern des Fraunhofer IPMS wurden CMUT-Experten aus aller Welt herangezogen, die ihre Bereitschaft bekundeten, die Arbeiten am Institut mit ihrem Fachwissen zu unterstützen. Diesen Experten gebührt großer Dank für ihre Unterstützung, die die Projektarbeit bereits ein gutes Stück vorangebracht hat. Aktuell werden die Anforderungen für verschiedene Anwendungsbereiche von der Medizintechnik bis zu zerstörungsfreien Prüfverfahren untersucht. Das Interesse liegt besonders in neuen Anwendungen, bei denen der Einsatz von CMUTs eindeutige Vorteile gegenüber heutigen Ultraschallwandlern bringt.



Das primäre Ziel besteht darin, das Potenzial von CMUTs weiter zu untersuchen und Anwendungen für Kunden zu entwickeln, die aus dieser neuen Technologie Nutzen ziehen könnten.

ANARTZ UNAMUNO IM INTERVIEW

Fraunhofer IPMS: »Das Fraunhofer IPMS erforscht seit 2012 CMUTs. Wie kam es dazu?«

Anartz Unamuno: »CMUTs werden nun schon seit über 20 Jahren erforscht, aber wie bei vielen anderen Produkten müssen noch viele Hürden genommen werden, bis die Lücke zwischen dem aktuellen Forschungsstand und den ersten kommerziellen Anwendungen geschlossen ist. Das Fraunhofer IPMS verfügt über die Fertigungsanlagen und das erforderliche Know-how zur Herstellung von CMUTs. Außerdem ist das Geschäftsmodell des Fraunhofer IPMS darauf ausgerichtet, Forschungsergebnisse gemeinsam mit unseren Kunden in deren Produkten umzusetzen und genau das ist bei CMUTs in den nächsten zwei bis drei Jahren geboten. Ich glaube, dass wir uns zur richtigen Zeit der CMUT-Problematik angenommen hat.«

Fraunhofer IPMS: »Welche Vorteile bietet die CMOS-Integration von CMUTs?«

Anartz Unamuno: »In vielen Ultraschallanwendungen wird mit sogenannten Phased-Arrays gearbeitet, um Funktionen wie Ausrichtung oder Fokussierung der Ultraschallwellen zu erreichen. Dies kann durch die gezielte Steuerung der von den jeweiligen Zellen generierten Schallpulse erreicht werden. Bei prinzipbedingt passiven Arrays gelingt dies im Falle von Sensorzeilen noch mit aufwändiger und kostenintensiver externer Verdrahtung, zweidimensionale Arrays sind im Falle von Piezos nicht möglich. Diese Grenzen können von CMUTs, die auf einem CMOS-Wafer realisiert werden, ohne größere Probleme überwunden werden. Neue Anwendungen z. B. in der zerstörungsfreien Prüftechnik werden so möglich.«

Fraunhofer IPMS: »In welchen Alltagsanwendungen könnten CMUTs zukünftig zum Einsatz kommen?«

Anartz Unamuno: »CMUTs könnten prinzipiell alle anderen Ultraschallwandler ersetzen, etwa in Anwendungen wie Füllstands- oder Geschwindigkeitssensoren, medizinischen bildgebenden Verfahren, zerstörungsfreien Prüfungen, etc. Doch wie schon erwähnt, ist es nicht das primäre Ziel, piezoelektrische Wandler durch CMUTs zu ersetzen. Vielmehr sollen neue Anwendungsbereiche erschlossen werden. Die Anwendungen, mit denen sich CMUT-Forscher befassen, reichen von medizinischen Ultraschallsystemen in Herzkathetern über Gasflusssensoren in rauen Umgebungen bis hin zu Luftultraschallanwendungen zur Gestenerkennung, die Maus und Tastatur ersetzen könnten.«

Anartz Unamuno promovierte an der Universität von Strathclyde (Großbritannien) und arbeitete von 2006 bis 2012 an RF-MEMS für Cavendish Kinetics (NL). Seit September 2012 leitet er die Gruppe »Ultraschall-CMUT« am Fraunhofer IPMS.

Fraunhofer IPMS: »Welche wesentlichen Vorteile haben CMUTs gegenüber piezoelektrischen Wandlern?«

Anartz Unamuno: »Piezoelektrische Wandler haben im Ultraschallbereich bisher hervorragend ihren Zweck erfüllt und werden ständig weiterentwickelt. CMUTs sollen diese daher auch gar nicht ablösen, sondern eher eine Ergänzung darstellen und neue Anwendungsbereiche für die Ultraschalltechnologie erschließen. Die Hauptvorteile von CMUTs liegen darin, dass sie sich sehr einfach mit CMOS integrieren lassen und mittels mikroelektronischer Fertigungsverfahren mit reproduzierbaren Ergebnissen hergestellt werden können, sowie in höherer Dynamik und erweitertem Frequenzbereich gegenüber Piezos.«

Fraunhofer IPMS: »Was ist die größte Herausforderung bei der Arbeit mit CMUTs?«

Anartz Unamuno: »Ich glaube, dass die größte Herausforderung darin besteht, potenzielle Kunden davon zu überzeugen, für ihre Zwecke eine neue Technologie, in diesem Fall CMUTs, einzusetzen. Deshalb muss das CMUT-Team des Fraunhofer IPMS ausreichend Leistungs- und Zuverlässigkeitsdaten sammeln, die die Stärke der CMUTs belegen. Letztenendes müssen wir für jeden Kunden eine individuelle Lösung bereitstellen. Ein Produkt am Markt einzuführen, ist immer eine schwierige, aber zugleich auch sehr herausfordernde Aufgabe.«

Fraunhofer IPMS: »Was sind die nächsten Schritte?«

Anartz Unamuno: »Bis jetzt haben wir die ersten CMUTs im Reinraum des Fraunhofer IPMS gefertigt und eine optische und elektrische Charakterisierung dieser CMUTs vorgenommen. Momentan arbeiten wir an den Vorbereitungen für die akustische Charakterisierung und an den ersten akustischen Leitungsmessungen. In den kommenden Monaten werden wir dann an den integrierten Treiber- und Ausleseschaltungen sowie an der Implementierung der Strahlformungsalgorithmen arbeiten. Wie Sie sehen, hat die Arbeit gerade erst richtig angefangen. Es gibt noch viel zu tun!«

MEMS-SCANNER FÜR HOCHENERGETISCHE LASERANWENDUNGEN ERFOLGREICH GETESTET

Wissenschaftler des Fraunhofer IPMS haben zwei neuartige für Hochleistungslaseranwendungen ausgelegte Mikroscoannerspiegel-Bauelemente erfolgreich getestet. Das MEMS-Scannerpaar hält einer Bestrahlung durch hochenergetische Pikosekundenlaser (15 ps, 10 kHz) bis zu einer Leistung von 20 W cw bei 532 nm Wellenlänge stand. Um erstmals Mikroscoannerspiegel bei diesen hohen Laserleistungen und Pulsleistungsdichten $> 100 \text{ MW/cm}^2$ einsetzen zu können, haben die Wissenschaftler neben den aktorischen Eigenschaften große Spiegelaperturen $> 5 \text{ mm}$, hohe Reflektivitäten $> 99\%$ und eine hohe Zerstörschwelle bei gleichzeitiger optischer Spiegelplanarität $< \lambda/10$ realisiert. Die Mikrospiegel sind dazu mit spannungs- und thermisch kompensierten hochreflektiven dielektrischen Verspiegelungen beschichtet.

Der erste der beiden Spiegel mit einer Spiegelapertur von $5 \text{ mm} \times 7,1 \text{ mm}$ basiert auf der am Fraunhofer IPMS entwickelten elektrostatischen, resonant / linearen LinScan-Technologie und ermöglicht einen effizienten Laser-Schneidprozess mit schneller dynamischer Strahlführung. Der zweite magnetisch angetriebene Spiegel mit einer $6 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ großen Spiegelplatte ist zweidimensional statisch auslenkbar bis $\pm 3^\circ$ (mechanisch) und erlaubt so eine Strahlagekorrektur des Bearbeitungslasers bei Fehlpositionierungen.



MIKROSCANNERSPIEGEL MIT DIELEKTRISCHER VERSPIEGELUNG

In Kombination sind die Spiegel für Hochleistungslaseranwendungen prädestiniert, bei denen kompakte, handliche Geräte mit schneller dynamischer Strahlführung benötigt werden. So evaluieren Forscher des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnologie ILT die Technologie des Fraunhofer IPMS für die Entwicklung eines von Hand geführten medizinischen Laserinstruments, das zum Abtragen von Knochen- und Hartgewebe eingesetzt wird. Auch für industrielle Laseranwendungen, wie zum Beispiel zur Lasermarkierung, haben die neuartigen hochleistungsfähigen Mikrospiegel ein großes Potenzial.

FRAUNHOFER IPMS FEIERT ZEHNJÄHRIGES INSTITUTSJUBILÄUM ZUR DRESDNER LANGEN NACHT DER WISSENSCHAFTEN

Unter dem Motto »Sternstunden des Wissens« fand die bereits 11. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften am 5. Juli erneut statt und zog auch in diesem Jahr wieder zahlreiche interessierte Besucher an. Dazu öffneten Dresdner Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und wissenschaftsnahe Unterneh-



PROF. LAKNER BEIM ANSCHNITT DER JUBILÄUMSTORTE

men wieder von 18 bis 1 Uhr ihre Türen und gewährten vor Ort Einblicke in ihre Arbeit. Über 560 Experimentalschows, Führungen, Ausstellungen, Vorträge und Filme lockten die Wissenschaftsinteressierten in dieser Nacht an 125 verschiedene Orte in Dresden.

Nach dem regen Interesse im Vorjahr führte auch wieder eine Wissensroute in den Dresdner Norden. Gemeinsam mit den anderen Fraunhofer-Instituten vor Ort sowie den Firmen GLOBAL-FOUNDRIES, Infineon, VON ARDENNE Anlagentechnik und X-FAB präsentierte sich das Fraunhofer IPMS an der Station »Micro Nano Nord« mit Ausstellungen auf mehreren Etagen, Vorträgen und sogar geführten Reinraum-Touren.

Doch nicht nur die wissenschaftliche Arbeit des Instituts sollte an diesem Abend gebührend in Szene gesetzt werden. Institutsleiter Prof. Hubert Lakner nutzte den feierlichen Rahmen der Wissenschaftsnacht außerdem, um mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Besuchern das zehnjährige erfolgreiche Bestehen des Fraunhofer IPMS mit Jubiläumstorte, Sekt und Band zu feiern.

SACHSEN SOLL IN DEN USA ALS DYNAMISCHER WIRTSCHAFTS-STANDORT BEKANNTER WERDEN

Zusammen mit einer Wirtschaftsdelegation aus insgesamt 14 Vertretern des Mikroelektronik-Clusters »Silicon Saxony« begleitete Prof. Hubert Lakner, Institutsleiter des Fraunhofer IPMS, den Sächsischen Ministerpräsidenten Stanislaw Tillich vom 16. bis 20. April diesen Jahres anlässlich seiner USA-Reise mit Stationen in Washington D.C., Albany und New York. Bei dessen Besuch in den USA ging es vor allem um Wirtschaft, Forschung und Kultur.

Ein wichtiges Ziel der Reise war es, Sachsen als Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort sowie als Handelspartner stärker ins Bewusstsein zu rücken. In Albany, der zweiten Station der Reise, besuchte Tillich (Bildmitte) daher das College of Nanoscale Science and Engineering (CNSE). Hier wurde mit den mitgereisten Vertretern des Netzwerks Silicon Saxony ein Workshop veranstaltet, der den sächsischen Unternehmen und Institutionen die Gelegenheit bot, ihre Expertise als Zulieferer und Dienstleister in der Halbleiterindustrie vor amerikanischen Vertretern der Branche zu präsentieren und gemeinsam über deren Zukunft zu diskutieren. Das CNSE und Silicon Saxony wollen ihre Kooperation zukünftig ausbauen und unterzeichneten dafür im Beisein Tillichs eine Absichtserklärung zur Zusammenarbeit.



Die Kooperation mit dem CNSE ermöglicht sächsischen Unternehmen neue und vielversprechende Forschungsk Kooperationen. »Gerade im Hinblick auf die strategische Neuausrichtung des Fraunhofer-Center für Nanoelektronische Technologien CNT, das seit Anfang diesen Jahres als Abteilung dem Fraunhofer IPMS angehört, sind Gespräche über eine mögliche Zusammenarbeit, auch jenseits des Atlantiks, sehr wichtig.«, sagt Prof. Lakner (2 v. r. im Bild). Er nutze die Reise vor allem um entsprechende Kooperations- und Investitionsmöglichkeiten in diesem Bereich auszuloten und positive Impulse für die Mikro- und Nanoelektronik zu setzen.

TERMINVORSCHAU

Mikrosystemtechnik-Kongress

Aachen, Deutschland 14. - 16. Oktober 2013

Fraunhofer-Talent-School

Dresden, Deutschland 15. - 17. November 2013

MEDICA

Düsseldorf, Deutschland
Halle 3, Stand E74 20. - 23. November 2013



www.ipms.fraunhofer.de/de/events.html

Folgen Sie uns auch auf:



facebook.com/FraunhoferIPMS



twitter.com/FraunhoferIPMS



xing.com/companies/fraunhoferipms



linkedin.com/company/fraunhofer-ipms

Weitere Informationen:

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

