

# MEMS REPORT

1 / 2013



## INHALT

OFET-Substrate: End-of-line Standardsubstrate zur Charakterisierung von organischen Halbleitermaterialien  
Vakuum-Verkapselung von Mikrospiegeln auf Wafer-Ebene  
In situ Topographiemessung an Mikrospiegelmatrizen  
Smart-Tank ermöglicht die Überwachung und Optimierung von Biogas-Prozessen



Prof. Dr. Hubert Lakner  
Institutleiter

Liebe Kunden, Partner und Freunde  
des Fraunhofer IPMS,

unser MEMS Report geht in das zweite Jahr. Den Schwerpunkt dieser ersten Ausgabe 2013 bildet ein auf den ersten Blick etwas überraschendes Thema: Testsubstrate für organische Feldeffekttransistoren (OFETs). Mit den Möglichkeiten unseres Mikrosystemtechnik-Reinraums ist es uns jedoch seit Jahren möglich, einer Vielzahl von Kunden standardisierte Einzeltransistor-Strukturen anzubieten, die Chemiker, Prozessentwickler und Schaltungsdesigner für einfache und zuverlässige elektronische Tests zur Charakterisierung der aktiven organischen Halbleitermaterialien nutzen können. Die starke Zunahme der Nachfrage nach unseren OFET/LOFET-Leistungen im vorigen Jahr zeigt eindrucksvoll, dass wir mit unseren Technologien für Kunden interessant und für die Zukunft gut gerüstet sind.

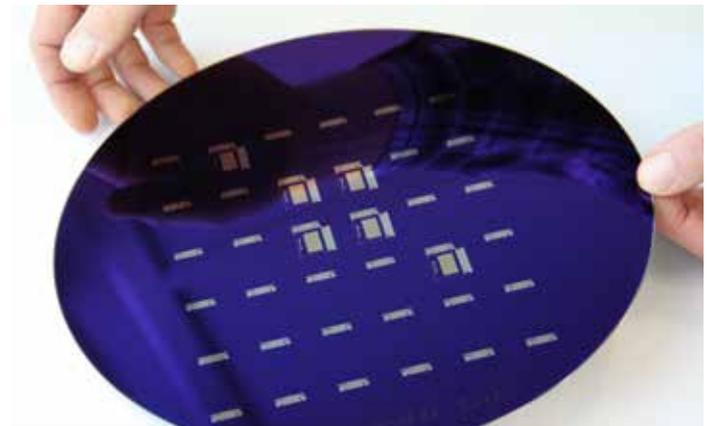
Ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Ihnen ist für uns sehr wichtig, um weitere attraktive Forschungsfelder zu identifizieren. Ich würde mich freuen, wenn dieser MEMS Report dazu beiträgt, mit Ihnen in Kontakt zu kommen. Ein persönliches Gespräch mit unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ergibt sich sicherlich auch bei den zahlreichen Messen in den kommenden Wochen, zu denen wir Sie herzlich willkommen heißen.

Prof. Dr. Hubert Lakner

## KURZ NOTIERT

### Fraunhofer CNT wird Abteilung des Fraunhofer IPMS

Der Senat der Fraunhofer-Gesellschaft hat entschieden, das Fraunhofer-Center für Nanoelektronische Technologien CNT ab dem 1. Januar 2013 nicht mehr als eigenständige Einrichtung fortzuführen. Prof. Hubert Lakner, Institutsleiter des Fraunhofer IPMS und Vorsitzender des Fraunhofer-Verbands Mikroelektronik, wurde mit der Neuausrichtung des Fraunhofer CNT betraut. Gleichzeitig hat er dessen Leitung übernommen. Das Fraunhofer CNT behält seinen Standort in unmittelbarer Nachbarschaft zu Infineon bei, wird jedoch organisatorisch als Abteilung des Fraunhofer IPMS aufgestellt und strategisch neu ausgerichtet.

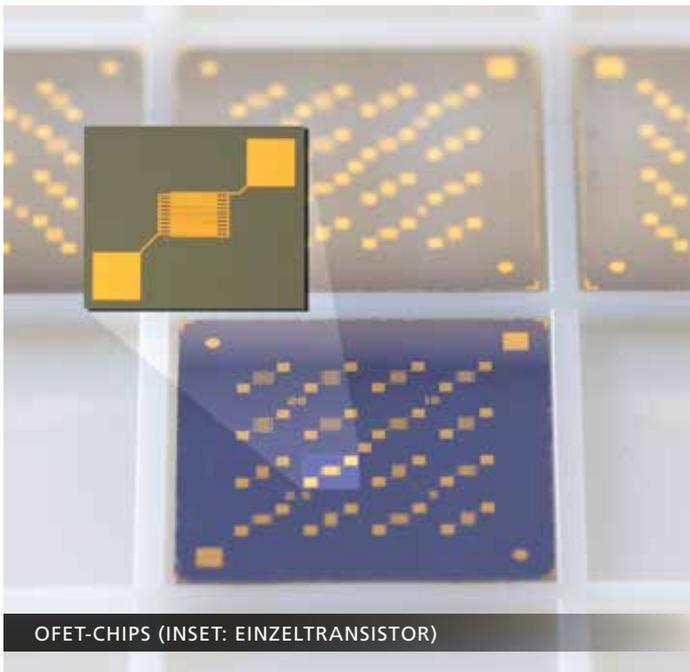


DIE NEUE ABTEILUNG ARBEITET MIT 300 MM WAFERN

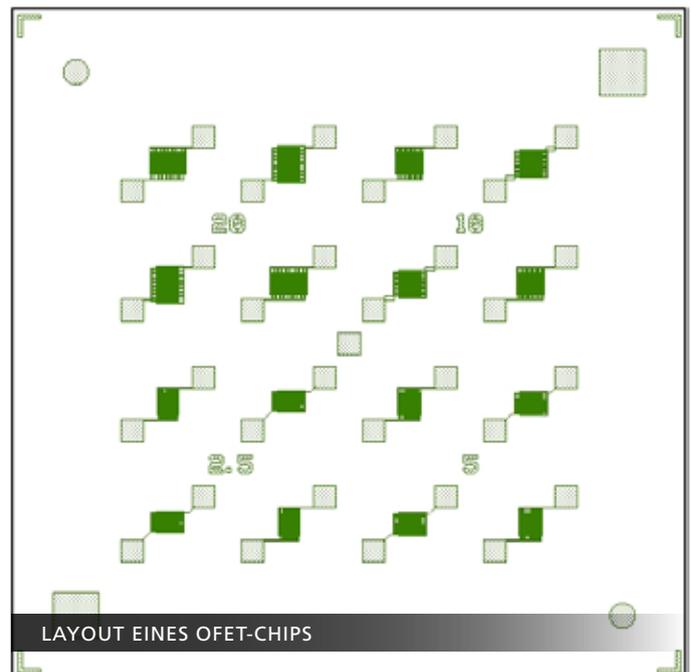
### Fraunhofer IPMS lädt ein zur Weiterbildung »MEMS-Scannerspiegel«

Am 17. Juni 2013 bietet das Fraunhofer IPMS eine Schulung zu Technologien und Anwendungen für MEMS-Scannerspiegel an. Das Seminar führt in die Grundlagen der MEMS-Scannertechnologie am Beispiel der Fraunhofer IPMS-Scanner ein und zeigt insbesondere die Potentiale der Technologie auf. Neben der Vermittlung der Grundlagen stehen spezielle Scanner für Beispielanwendungen im Vordergrund. Die Teilnehmer sind nach dem Seminar in der Lage, MEMS-Scanner für ihre eigene Anwendung zu spezifizieren sowie die Machbarkeit von MEMS-Scanner basierten Lösungen und Produkten einzuschätzen. Das Seminar richtet sich besonders an Ingenieure, Entwickler und Produktentwickler. Weitere Informationen sowie die Anmeldeunterlagen stehen als Download auf der Website des Fraunhofer IPMS zur Verfügung. Anmeldungen sind noch bis zum 20. Mai 2013 möglich.

## OFET-SUBSTRATE: END-OF-LINE STANDARDSUBSTRATE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON ORGANISCHEN HALBLEITERMATERIALIEN



OFET-CHIPS (INSET: EINZELTRANSISTOR)



LAYOUT EINES OFET-CHIPS

Organische Elektronik gilt seit einigen Jahren als Schlüsselbegriff für einen neuen Typ von Anwendungen, die auf der Basis von organischen Halbleitern und weiteren einfach zu verarbeitenden Materialien realisiert werden. Typisch für diese neue Materialklasse sind Niedrigtemperaturprozesse und die großflächige Abscheidung und Strukturierung mittels verschiedenster Coating- und Druckverfahren. Die aktiven Halbleitermaterialien bestimmen dabei wesentlich die Performance des Gesamtsystems. Deshalb ist eine einfache und zuverlässige elektronische Charakterisierung dieser Halbleiter eine unabdingbare Voraussetzung nicht nur für die Materialentwicklung in den Laboren der organischen Chemiker, sondern auch für Prozessentwickler und Schaltungsdesigner.

Für die Materialanalyse im Bereich organischer Halbleiter stellt das Fraunhofer IPMS standardisierte Einzeltransistor-Strukturen in bottom-gate Architektur zur Verfügung. Diese Substrate für organische Feldeffekttransistoren (OFETs) werden auf Silizium-Wafern mit thermischem Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) als ganzflächiges Dielektrikum und Goldelektroden in Lift-off-Technologie im Reinraum des Fraunhofer IPMS hergestellt (Abb. oben links).

Scheidet man eine (organische) Halbleiterschicht auf ein solches Substrat ab, übernimmt der Si-Bulk die Gate-Funktion und kontrolliert den Stromfluss zwischen den Goldelektroden. Ein passend dotiertes Si- $\text{SiO}_2$ -Interface in CMOS-Qualität garantiert einen reproduzierbaren Gatekontakt. Die Goldelektroden mit patentierter

Haftschicht unterdrücken auch für p-leitende Halbleiter die Ausbildung von Injektionsbarrieren zwischen den Goldelektroden und der Organik im Transistorkanal, so dass sich zuverlässige ohmsche Source/Drain-Kontakte im OFET ausbilden.

Im Standardlayout werden auf 150 mm-Wafern je 60 Chips der Größe  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  mit insgesamt 960 einzelnen Transistorstrukturen realisiert. Auf jedem Chip befinden sich vier Gruppen mit je vier identischen Transistoren der Kanallängen 2.5, 5, 10 und 20  $\mu\text{m}$  (Abbildungen oben). Identische Layouts mit abgestufter Kanalweite sowie die flexible Wahl der Oxiddicke erlauben die Anpassung an einen weiten Spannungs- und Leitfähigkeitsbereich der untersuchten Materialien. Kundenspezifische Layouts mit veränderter Elektrodengeometrie sind jederzeit möglich.

Aufgrund der Zuverlässigkeit und der reproduzierbaren Präparation sind diese Substrate weltweit bei allen großen Entwicklern von organischen Halbleitermaterialien im Rahmen des standardisierten Materialscreening im Einsatz.

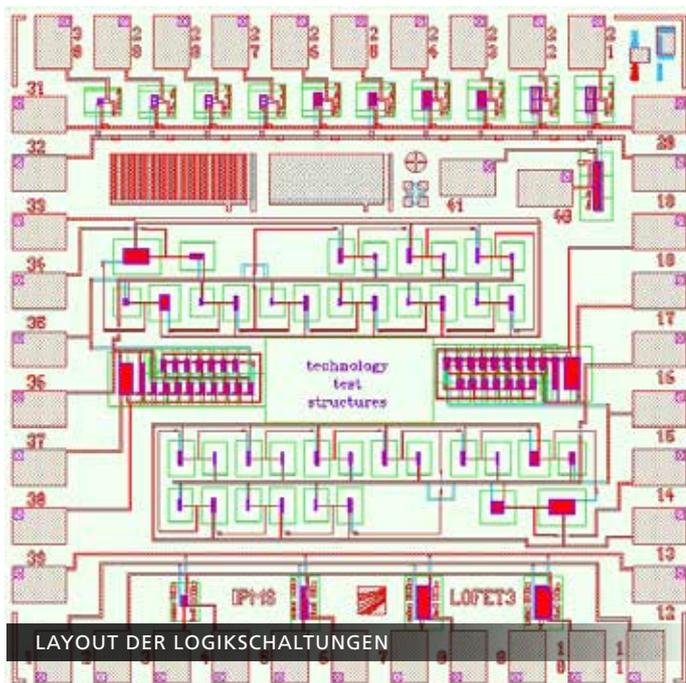
### Logische Basisschaltungen mit OFET (LOFET)

Ein weiterer Schritt zur Vereinfachung der Materialcharakterisierung ist die Analyse von logischen Basisschaltungen. Dazu werden bis zu 36 Einzeltransistoren zu Inverter- und Ring-Oszillatoren verschaltet. Das Monitoring der aktiven Materialien erfordert dann lediglich eine Frequenzmessung der Ring-Oszillatoren, die mit wenig Aufwand automatisiert werden kann. Die deutlich aufwen-

# OFET-SUBSTRATE: END-OF-LINE STANDARDSUBSTRATE ZUR CHARAKTERISIERUNG VON ORGANISCHEN HALBLEITERMATERIALIEN

digere Messung und Auswertung der einzelnen Transistorkennlinien kann dabei entfallen. Darüber hinaus erhält man nicht nur zuverlässige Informationen zur Logikfähigkeit, sondern bestimmt gleichzeitig die dynamischen Eigenschaften der Inverter.

Im zur Verfügung stehenden Layout (Abb. unten) ist ein erster Block mit elf Einzeltransistoren enthalten, der eine vollständige Parameterextraktion für die Schaltungssimulation ermöglicht. Ein zweiter Block enthält vier Inverter, die sich identisch in den Oszillatorstufen wiederfinden. Diese separat zugänglichen Inverterstufen ermöglichen eine detaillierte Analyse des transienten Verhaltens für den Fall, dass die Verstärkung der einzelnen Inverterstufen für ein Anschwingen der Ring-Oszillatoren nicht ausreicht. Der dritte Block enthält Ring-Oszillatoren mit sieben bzw. 15 Stufen. Jede Ringschaltung besitzt einen dreistufigen Ausgangsverstärker, der die Oszillation im Ring vom Ausgang entkoppelt sowie eine direkte Frequenzmessung ohne externe Verstärkung gestattet. Obwohl lediglich zwei geometrische Varianten für das Treiber-Last-Verhältnis der Inverterstufen vorhanden sind, ermöglicht eine externe Laststeuerung an den Gate-Terminals der Lasttransistoren die Anpassung in einem weiten Leitfähigkeitsbereich der Halbleiter.



Die LOFET-Substrate werden ebenfalls in bottom-gate Architektur realisiert, so dass nach Abscheidung der Halbleiterschicht auf dem Chip funktionsfähige Schaltungen vorliegen. Zur Realisierung der Transistorverschaltungen ist ein 3-Ebenen-Prozess erforderlich, der aus dem Ti/TiN-Gate-Metall, einem 200 nm dicken SiO<sub>2</sub>-Dielektrikum mit Kontaktlöchern und der von den OFET-Substraten übernommenen Gold/ITO-Source-Drain-Metallisierung besteht.

Bei allen Einzeltransistoren sowie ausgewählten Invertern und Ring-Oszillatoren kann durch eine vierte Ebene eine Strukturierung der Halbleiterschicht erfolgen. Damit ist eine Separation der Transistoren in den Schaltstufen, d. h. das Unterdrücken von parasitären Querströmen, möglich.



## Der OFET-MINIPROBER

Um OFET-Bauelemente mit fester Substratgröße, festem Pad-Raster und fester Pad-Anordnung auf Substratebene in großen Stückzahlen einfach und schnell, d. h. ohne Prober, Manipulatornadeln und Mikroskop, zu messen, hat das Fraunhofer IPMS einen Miniprober entwickelt. Dieser weist zwei elektrische Vorderseitenanschlüsse (Source und Drain) und einen Rückseitenanschluss (Gate) auf.



Auf den lediglich 0,5 mm × 0,5 mm großen Kontaktpads kann so eine sehr sichere Kontaktierung erfolgen. Weitere Varianten des Miniprobers bezüglich der Anschlüsse, sowohl der Lage als auch der Anzahl, sind möglich. Insofern ist der Miniprober nicht nur auf den Einsatz für OFETs beschränkt. Die Weiterleitung der Messsignale erfolgt mit BNC- bzw. Triaxkabeln bis zum Messgerät.

## 5 FRAGEN AN CARSTEN HOHLBEIN

**Fraunhofer IPMS:** »Die Entwicklung von OFET-Substraten hat bereits eine lange Tradition am Fraunhofer IPMS. Wie kam es dazu?«

**Carsten Hohlbein:** »Die Anfänge der Arbeit im organischen Halbleiterbereich zu OFET-Substraten begannen im Rahmen eines BMBF-geförderten Projekts im Jahr 2004. In Zusammenarbeit mit der jetzt eigenständigen Fraunhofer-Einrichtung COMEDD, die damals noch dem Fraunhofer IPMS angehörte, arbeiteten wir an der Entwicklung von End-of-line Standardsubstraten zur Charakterisierung von organischen Halbleitermaterialien, die später auch patentiert wurden. Anfangs nur zum Eigengebrauch für das Fraunhofer COMEDD genutzt, sahen wir großes Potenzial in diesen Substraten und begannen, sie ab 2007 im Zuge eines EU-Projekts weiter zu etablieren und die Fertigungstechnologie auf professionelle Beine zu stellen. Es gelang uns, Partnerschaften aufzubauen und erste Kunden zu gewinnen. Schnell bekamen wir positives Feedback. Daher entwickelten wir Demonstratoren, versendeten Customer Samples und nahmen diverse Anpassungen vor, variierten beispielsweise die Schichtdicken. Über die Zeit sind wir sehr variabel geworden und konnten uns dadurch Folgeaufträge aus Industrie und Forschung sichern. Dies liegt sicher nicht zuletzt daran, dass wir die Pilotfertigung noch heute als Gemeinschaftsprojekt mit dem Fraunhofer IZM und dem Fraunhofer COMEDD realisieren und daher die Kunden mengen- und termingerecht beliefern können.«

**Fraunhofer IPMS:** »Was ist das besondere an der entwickelten Technologie?«

**Carsten Hohlbein:** »Unser Alleinstellungsmerkmal ist, dass wir eine patentierte Haftschiicht aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) in den Substratstrukturen verwenden und das Post-processing mit Gold im Lift-off-Verfahren durchführen. Diese Materialkombination hat nicht nur hervorragende elektrische Eigenschaften, sondern ist zudem mechanisch und chemisch sehr stabil. Außerdem verwenden wir Siliziumdioxid in CMOS-Qualität als Dielektrikum. Das ist ein unschätzbare Vorteil hinsichtlich Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit, der uns den Zugang zum Einsatz in der Qualitätssicherung bei großen Chemiefirmen eröffnet hat.«

**Fraunhofer IPMS:** »Welche Kunden sollen konkret angesprochen werden?«

**Carsten Hohlbein:** »Die Bandbreite der möglichen Kunden ist sehr groß und reicht von Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen bis hin zu Industriekunden. Unsere gefertigten OFET-Substrate werden beispielsweise zu Forschungszwecken



Carsten Hohlbein ist seit Mai 2004 als Gruppenleiter der Fertigungsplanung und -steuerung am Fraunhofer IPMS tätig. In dieser Funktion ist er für alle Pilotfertigungsprojekte verantwortlich und betreut die gesamte OFET/LOFET-Herstellung am Institut.

im Bereich der Materialprüfung oder zur Qualitätsüberwachung genutzt. Gerade für die organische Materialentwicklung sind sie unerlässlich. Doch auch im Industriebereich finden sie ihre Anwendung und so können wir zwei aktiennotierte Firmen aus dem In- und Ausland zu unseren Kunden zählen. Bis dato ist unser Kundenstamm auf 80 Kunden weltweit angewachsen, 15 davon spielen eine Schlüsselrolle. Unser Ertrag vom Beginn hat sich mehr als verdoppelt, somit sehen wir auch noch weiteres Potential für die Zukunft. Das nächste Ziel wird es sein, eine noch breitere Kundenbasis anzusprechen. Für Interessierte bieten wir daher beispielsweise auch Sample-Chips an. Dieser Service ist innerhalb Europas kostenfrei, außerhalb fallen die Transportgebühren an.«

**Fraunhofer IPMS:** »Wie groß ist das Leistungsspektrum?«

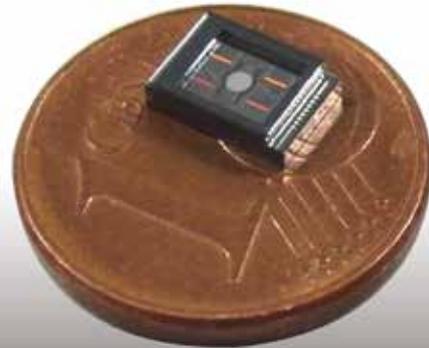
**Carsten Hohlbein:** »Wir bieten derzeit fünf verschiedene Standardlösungen an, angefangen haben wir mit einer einzigen. Auf Basis dieser Standardbauelemente haben wir kundenspezifisch bisher über 25 verschiedene Modifikationen hergestellt. Wir sind in der Lage, unsere Proben in Bezug auf die Chipgröße, das Design und die Schichtdicke des thermischen Oxids anzupassen. Besonders hinweisen möchte ich auf unsere jüngste Entwicklung: Substrate für logische Basisschaltungen für die OFET-Technologie. Damit kann die Materialprüfung und -überwachung deutlich vereinfacht und kostengünstiger automatisiert werden.«

**Fraunhofer IPMS:** »Welche Vorteile bietet der vom Fraunhofer IPMS entwickelte OFET-Miniprober?«

**Carsten Hohlbein:** »OFET-Testsubstrate werden bisher sehr umständlich per Hand durch das Anlegen von Manipulatornadeln an die Kontaktpads gemessen. Dies birgt natürlich das Risiko von unsachgemäß ausgeführten Messungen, die wiederum zu fehlerhaften Ergebnissen führen können. Um diese Messungen zu vereinfachen, hat das Fraunhofer IPMS einen Handprober entwickelt. Er erlaubt, dass der Messvorgang schneller und vor allem leichter durchgeführt werden kann, da eine sichere Kontaktierung der Pads gewährleistet ist. Weitere Vorteile des OFET-Miniprobers liegen im mobilen Einsatz und in der kompakten Größe.«

## VAKUUM-VERKAPSELUNG VON MIKROSPIEGELN AUF WAFER-EBENE

Im Rahmen eines im April 2009 am Fraunhofer IPMS gestarteten Forschungsprojekts zur Entwicklung energiesparender Displays auf Basis von Silizium-Mikrospiegeln arbeitete das Forscherteam um Dr. Christian Drabe an der Entwicklung einer Bondtechnologie auf Wafer-Level-Basis, die es ermöglicht, die am Institut entwickelten Mikrospiegel energieeffizienter zu gestalten. Dafür wurden die Bauelemente in Vakuum verkapselt, was wiederum verlangte, vier Wafer mit vakuumkompatiblen Bondmethoden zu einem Stapel zu verbinden. Da dadurch beim Bonden keine typischen Klebstoffe, wie z. B. Polymere, verwendet werden konnten, wurden das so genannte »anodische« und das »Glass-Frit« Bonden genutzt. Um die elektrische Zuverlässigkeit der Aluminium-Metallbahnen nicht zu gefährden, muss die Bondtemperatur zusätzlich unter 450 °C gehalten werden. Nachdem die Vakuumverkapselung auf Wafer-Ebene abgeschlossen war, wurde der gebondete Waferstapel vereinzelt und die Chips elektrisch charakterisiert. Die resultierenden vereinzelt Chips sind ~6 mm lang, ~4 mm breit und ~1,6 mm dick. Die Charakterisierung auf Chip-Ebene belegt, dass ein Vakuum unter 5 mbar erreicht wurde (ohne Getter-Materialien). Das erzielte Vakuumniveau erlaubte die Ansteuerspannung der Mikrospiegel von 170 V auf 50 V zu verringern. Diese Reduzierung der Antriebsspannung bildet den direkten Nachweis dafür, dass Vakuumverkapselung auf Wafer-Ebene eine effektive Möglichkeit



IN VAKUUM VERKAPSELTER MIKROSPIEGEL-CHIP

zur Reduzierung der Leistungsaufnahme von Aktuatoren ist, die auf dem elektrostatischen Prinzip basieren.

Das Forschungsverbundprojekt wurde im Rahmen des Dresdner Innovationszentrums Energieeffizienz (DIZE<sup>EFF</sup>), durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), die Sächsische Aufbaubank (SAB), sowie die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert und in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Optoelektronische Bauelemente und Systeme (OES) und dem Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik (IAVT) der TU Dresden realisiert.

## IN SITU TOPOGRAPHIEMESSUNG AN MIKROSPIEGELMATRIZEN

Die Entwicklung und Optimierung komplexer Mikro-Opto-Elektro-Mechanischer Systeme (MOEMS) erfordert detailliertes Wissen über das Bauteilverhalten unter realen, anwendungsspezifischen Arbeitsbedingungen. Im Falle von Mikrospiegelmatrizen, welche als räumliche Lichtmodulatoren (Spatial Light Modulators, kurz SLM) in einem abbildenden System genutzt werden, beeinflusst



FALSCHFARBENDARSTELLUNG DER TOPOGRAPHIE EINES MIKROSPIEGELARRAYS

die Ebenheit eines jeden Einzelspiegels den Kontrast und die Detailauflösung der projizierten Muster. Daher stellt die Topographie eine der charakteristischen Eigenschaften des Lichtmodulators dar. In diesem Kontext wurde der Bedarf für eine hochauflösende Messung der Oberflächentopographie bei gleichzeitiger Laserbestrahlung (in situ) identifiziert. Das Verfahren ergänzt nun ex situ Charakterisierungen, in deren Rahmen Laserbestrahlung und Topographiebestimmung der Mikrospiegel sequentiell durchgeführt werden. Zu diesem Zweck ist ein interferometrischer Aufbau, basierend auf dem Prinzip der Phasenschiebung, entwickelt worden. Der Aufbau kombiniert eine hochpräzise interferometrische Vermessung mit einer Höhenauflösung im einstelligen Nanometerbereich und die zeitgleiche Laserbestrahlung des SLMs. Grundsätzlich ist das System weder auf eine bestimmte Bestrahlungswellenlänge noch auf Mikrospiegel als Testobjekte beschränkt. Der Einfluss verschiedener Bestrahlungsparameter (wie z. B. Pulsenergie, Laserwiederholrate oder umgebende Atmosphäre etc.) auf die Topographie der Einzelspiegel kann damit detailliert untersucht werden. Bisherige Resultate offenbaren wertvolle Informationen, welche nun für kommende technologische Optimierungen der Spiegelmatrizen genutzt werden können.

## SMART-TANK ERMÖGLICHT DIE ÜBERWACHUNG UND OPTIMIERUNG VON BIOGAS-PROZESSEN

Die Erzeugung von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen und Reststoffen der Tierhaltung hat sich im Verlauf der letzten Jahre als ein Eckpfeiler im Energiemix der erneuerbaren Energien in Deutschland etabliert. Gefördert durch die Bundesregierung bietet diese Art der Energiegewinnung der Landwirtschaft die Chance eine neue Veredelungsstrategie zu verfolgen und das wirtschaftliche Potential von Ernten, Bio-Abfällen und Mist aus der Viehwirtschaft optimal zu nutzen.

Eine zunehmende Dezentralisierung der Energieerzeugung ist die Folge: An die Stelle von großen, zentralen Kraftwerken treten über 7200 privat betriebene, kleinere Anlagen zur Strom- und Wärme-gewinnung. Es besteht daher ein hoher Bedarf, die mikrobiologischen Prozesse während der Biomasse-Fermentierung kostengünstig zu überwachen und optimiert steuern zu können. Bislang erfolgte dies nahezu ausschließlich durch die Messung des erzeugten Gasvolumens. Der Abfall der Gasproduktion geht jedoch meistens mit einem bereits länger bestehenden Problem innerhalb des Tanks einher. Rechtzeitige Gegenmaßnahmen sind nicht mehr möglich, wirtschaftliche Einbußen unvermeidlich.



Zur Onlineüberwachung bereits während der Fermentierung hat das Fraunhofer IPMS im Rahmen des EU-geförderten Projekts »Smart-Tank« (Förderkennzeichen: FP7-SME-2010-1-262241) und in enger Kooperation mit europäischen Partnern ein Sensorsystem entwickelt, das mittels einer Sonde die relevanten Indikatoren für den Zustand und die Produktivität der fermentierenden Bakterien misst. Dieses System versetzt die Anlagenbetreiber in die Lage mit Hilfe chemischer Sensoren sowie spektralanalytischer Verfahren die Anlage optimiert und zuverlässig stabil zu betreiben. Die Gasproduktion wird auf einem konstant hohen Niveau gehalten und der Ertrag maximiert.

## TERMINVORSCHAU

### Sensor+Test

Nürnberg, Deutschland  
Halle 12, Stand 12-537 14. - 16. Mai 2013

### LASER World of PHOTONICS

München, Deutschland  
Halle B2, Stand 421 13. - 16. Mai 2013

### SID Display Week 2013

Vancouver, Kanada  
Stand 1209 21. - 23. Mai 2013

### Sensors Expo

Rosemont, IL, USA  
Stand 726 4. - 6. Juni 2013

### SmartSysTech

Erlangen, Deutschland 11. - 12. Juni 2013

### nanomicro biz

Tokio, Japan 3. - 5. Juli 2013



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



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



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

