

## Mikrobrennstoffzellen – eine Energieversorgung für elektronische Geräte?

Prof. Angelika Heinzel  
Peter Helm  
Dr. Stefan Peil  
Jens Wartmann

Drahtlose, netzferne Kommunikation ist unentbehrlich geworden, und die Anforderungen an die Energieversorgung steigen. Kann dieser Energiehunger im Kleinen durch Batterien gedeckt werden, oder werden sich Mikrobrennstoffzellen einen Markt erobern? Die Entwicklung der Mikrobrennstoffzelle macht weltweit zumindest gute Fortschritte.

Batterien und ihre Vor- und Nachteile sind gut bekannt – Brennstoffzellen hingegen werden noch nicht von Konsumenten genutzt. Bisher hat nur die Firma Smart Fuel Cell einen für Endkunden erwerblichen Methanol-Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid für den Freizeitbereich in den Markt eingeführt. Firmen wie Toshiba, Sharp und myFC entwickeln derzeit Mikrobrennstoffzellensysteme für Handys und MP3-Player. Der MP3-Player von Toshiba erreicht mit zwei Millilitern Methanol eine Betriebsdauer von 20 Stunden bei einem Gesamtgewicht von 8,5 Gramm. Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM hat im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojektes ProZell nicht nur ein Mikrobrennstoffzellensystem, sondern ein komplettes Produktionssystem in Kooperation mit Varta Microbattery und weiteren Partnern entwickelt und getestet. Das Mikrobrennstoffzellensystem hat die Abmaße einer konventionellen Batterie und kann somit in jedes passende Elektrogerät eingelegt werden.

### Batterie versus Brennstoffzelle

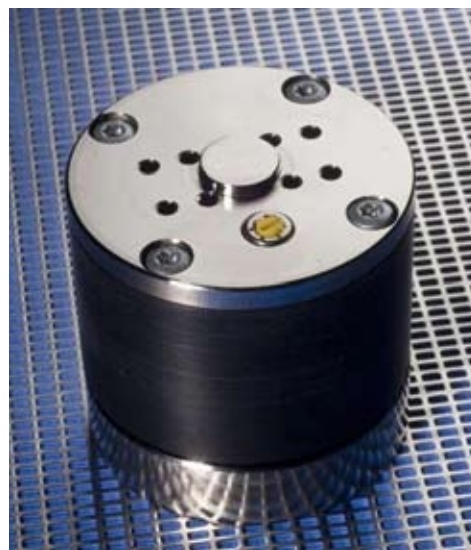
Der wichtigste Unterschied zwischen den beiden direkt Strom liefernden Energiesystemen Batterie und Brennstoffzelle ist der Ladeprozess: Während Batterien über ein Ladegerät Strom aus dem Netz erhalten, werden der Brennstoffzelle kontinuierlich ein Brennstoff und Luft(sauerstoff) zugeführt. Die Brennstoffzelle kann solange Strom liefern, bis der Brennstoffvorrat verbraucht ist. Der beste Brennstoff ist Wasserstoff; mit geringerer Leistung lassen sich aber auch Methanol und bedingt Ethanol verstromen.

Anwendungen in elektronischen Geräten erfordern miniaturisierte Brennstoffzellensysteme. Jedoch müssen die bislang entwickelten Brennstoffzellen kleinerer Leistung noch wei-

ter an die Anforderungen von Mikrosystemen angepasst werden. Insbesondere Japan, Korea, die USA, aber auch zunehmend Deutschland forschen in diesem Bereich. Mikrostrukturierungstechniken aus der Elektronikindustrie werden derzeit erfolgreich auf die Brennstoffzellentechnologie übertragen.

Damit allerdings ist es nicht getan: Der Energiespeicher und die Luftversorgung müssen mit dem eigentlichen Energiewandler gekoppelt werden, ein An- und Abschalten der Zelle nach Bedarf muss möglich sein, und im Stillstand sollten keine Energieverluste auftreten. Zudem muss das System unter schwer vorhersehbaren Betriebsbedingungen (Luftdruck, Temperatur, Feuchte, Lage des Systems, Erschütterungen usw.) zuverlässig funktionieren.

Der wichtigste Vorteil von Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterien liegt in den voneinander unabhängig dimensionierbaren Einheiten und der Möglichkeit eines schnellen Speicheraus-



Mikrobrennstoffzellensystem. Quelle: Fraunhofer IZM.

### | Schwerpunkt: Energie |

#### Inhalt

Mikrobrennstoffzellen – eine Energieversorgung für elektronische Geräte?	1
Editorial / Impressum	2
Heißprägen von Mikrostrukturen für Mikroenergiesysteme	3
Energieoptimierung zur Bewältigung des Klimawandels	4
Oberflächen messen in der Solartechnik	6
Organische Solarzellen – von der Forschung zum Produkt	7
Neuartige Lasersysteme beschleunigen die Solarzellenproduktion	9
„Die Photovoltaikpreise werden wieder fallen“ – Interview mit Dr. Thomas Schlegl von der Fraunhofer-Allianz Energie	10
Europäische Forschungsförderung für den Mittelstand	11
Firmen und Produkte	12
IVAM-Messen und -Veranstaltungen	13

tausches, sodass eine langfristige Energieversorgung kein Problem darstellt. Je nach Anwendung müssen Energieversorgungsdauern von wenigen Stunden bis hin zu mehreren Monaten erreicht werden.

### Beitrag der Mikrostrukturtechnologie

Was kann die Mikrostrukturtechnologie zur weiteren Entwicklung der Mikrobrennstoffzelle beitragen? Wo ein Brennstoff oder auch einfach nur Luft über eine Elektrodenfläche verteilt werden, der entstehende Strom an dieser Fläche abgegriffen und das Reaktionsprodukt Wasser abgeleitet werden sollen, sind feine Strukturen gefragt. Bislang werden eher gröbere Kanal-Steg-Strukturen (so genannte flow fields) realisiert und mit einem elektrisch leitenden Vlies oder Gewebe aus Kohlenstoff abgedeckt. Die Methoden der Mikrostrukturtechnik eröffnen hier neue Möglichkeiten. So können zum Beispiel lithografische Prozesse feine Strukturen mit speziellen Eigenschaften schaffen. Im klassischen LIGA-Prozess dient die lithografische Strukturierung von Fotolacken nur als formgebendes Mittel für die galvanotechnische Erzeugung metallischer Strukturen. Der Fotolack selbst wird anschließend wieder entfernt. ➔

**Editorial**



**Schwerpunkt:  
Energie**

Ein Ölpreisrekord jagt den nächsten, während sich erste Folgen unseres hausgemachten Klimawandels abzeichnen. Gleichzeitig kündigen Experten an, dass der Energiebedarf der Weltbevölkerung in den nächsten Jahrzehnten rasant ansteigen wird. Das „heiße Eisen“ Energie hinterlässt viele Brandherde: Um eine nachhaltige Versorgung sicherzustellen, müssen Infrastrukturen besser gemanagt, erneuerbare Ressourcen erschlossen und der Verbrauch gedrosselt werden.

Damit wir im Jahr 2030 nicht im Dunkeln stehen, greift die Politik der Industrie beherzt unter die Arme. Ob mit Starthilfe oder ohne – viele kleine und mittlere Mikro- und Nanotechnik-Unternehmen und -Forschungseinrichtungen hoffen nun darauf, am Energiemarkt zu bestehen. Ihre neuen Energie- und Effizienztechnologien sind das Thema dieser Ausgabe.

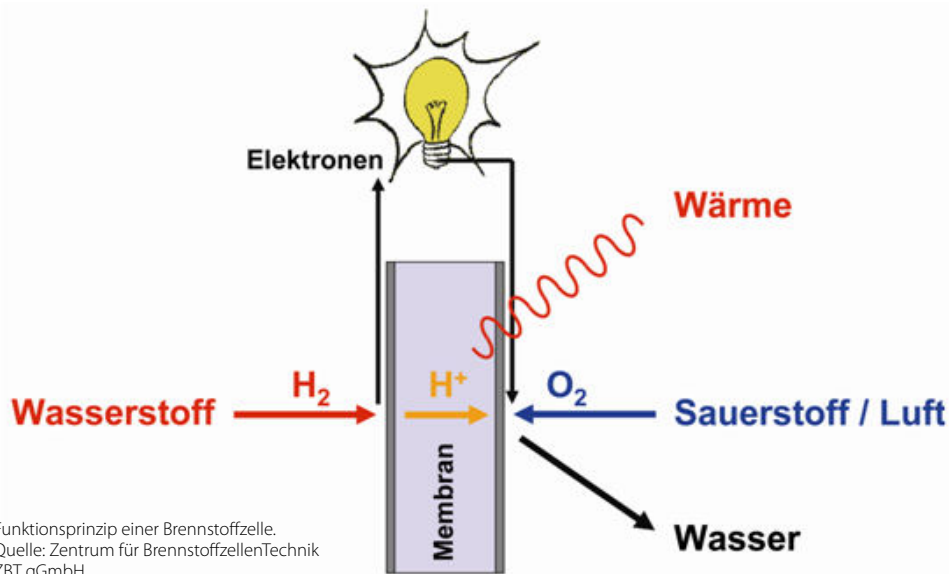
Wie Mikrobrennstoffzellen künftig den Energiehunger unserer Handys und MP3-Player stillen könnten, erörtert der Leitartikel des ZBT. Ob sich das Heißprägen bei der Fertigung von Komponenten für Mikrobrennstoffzellen lohnt, untersucht das Kunststoff-Zentrum in Leipzig. Um Energie effizienter zu nutzen, setzt das OFFIS Institut für Informatik auf „Smart Homes“ und dezentrales Energiemanagement.

Die kursierenden Zahlen schwanken zwar zwischen acht Minuten und einer Stunde, als sicher gilt jedoch, dass die Sonne in nur kurzer Zeit so viel Energie liefert, wie die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Doch wie lässt sich diese Energie gewinnen? Vor allem Wirtschaftlichkeit der Produktion und Wirkungsgrad heutiger Solarzellen lassen zu wünschen übrig – viel Arbeit also für die Entwickler von FRT, LIMO und Fraunhofer IPMS, die sich der Optimierung von Solarzellen und deren Fertigung widmen. Welchen Beitrag Mikro- und Nanotechnologie zur Energieerzeugung und -effizienz leisten, zeigt das Interview mit Dr. Thomas Schlegl von der Fraunhofer-Allianz Vision.

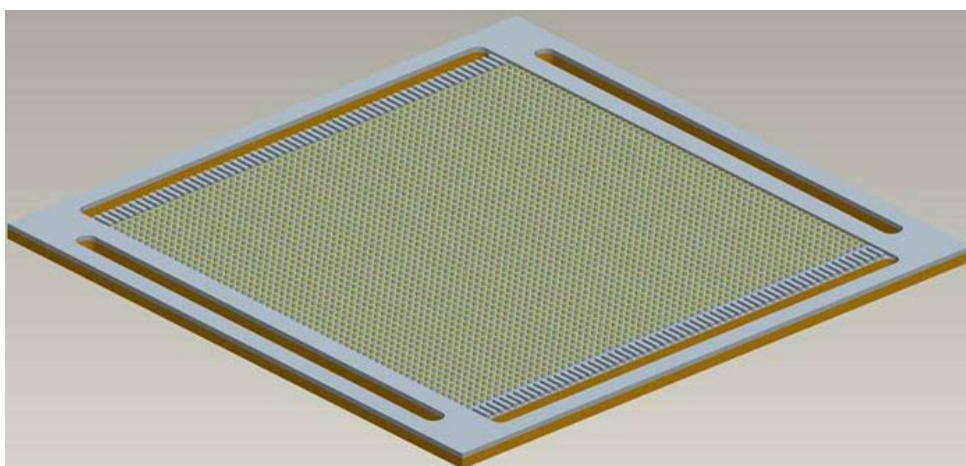
Machen Sie sich selbst ein Bild von diesen und weiteren spannenden Themen – viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

*Josefine Zucker*

Ihre Josefine Zucker



Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle.  
Quelle: Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH.

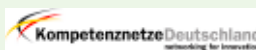


Modell einer mikrostrukturierten Bipolarplatte für Mikrobrennstoffzellen. Quelle: Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH.

**Impressum**

»inno«  
Innovative Technik – Neue Anwendungen

**Herausgeber:**  
IVAM e.V.  
Emil-Figge-Str. 76  
44227 Dortmund



**Redaktion:**  
Josefine Zucker  
Dr. Christine Neuy  
Dr. Uwe Kleinkes

**Kontakt:**  
Josefine Zucker  
Tel.: +49 231 9742 7089  
E-Mail: jz@ivam.de

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion und Quellenangabe gestattet.

Für die Brennstoffzellenentwicklung bietet sich hier die Möglichkeit, den Fotolack als dauerhafte Komponente zu verwenden und mit dieser eine Flow-Field-Struktur zur Medienversorgung aufzubauen. Die Galvanotechnik ergänzt den Fotolack um die benötigte elektrisch leitfähige Komponente.

Von der Fertigung einer Brennstoffzelle hin zu einem Energiesystem müssen jedoch noch weitere Komponenten wie Pumpen, Ventile und Mikroelektronik zu einem anspruchsvollen MEMS zusammengefügt werden.

Mikrobrennstoffzellensysteme bieten sich als Plattform für fast alle Bereiche der Technologieentwicklung im Umfeld der Mikrosystemtechnik an. Dabei bleibt das Rennen zwischen Batterie und Brennstoffzelle spannend – oft sind Hybridsysteme eine elegante Lösung.

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH,  
Duisburg  
www.zbt-duisburg.de



## Heißprägen von Mikrostrukturen für Mikroenergiesysteme

Dr. Thomas Wagenknecht

Im Rahmen eines Verbundprojektes wurde eine geschlossene Fertigungskette für Mikrobrennstoffzellen entwickelt. Das Teilziel des Kunststoff-Zentrums in Leipzig (KuZ) bestand darin, das Heißprägeverfahren als mögliche Variante für die Strukturierung der Anodenseite von Mikrobrennstoffzellen einzusetzen und zu bewerten.

### Mikrobrennstoffzellen

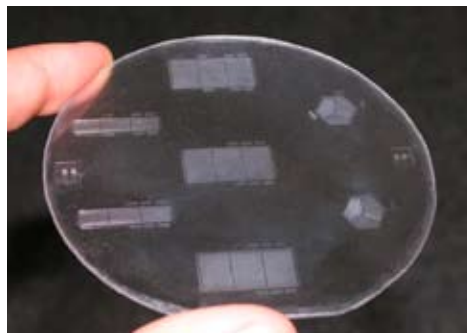
Brennstoffzellen erzielen gegenüber Gerätebatterien deutlich höhere Energiedichten und zeichnen sich durch eine wesentlich bessere Umweltbilanz aus. Es würde sich ein Markt für portable Elektronikprodukte mit Milliarden Stückzahlen auftun, wenn ein mit Primär- und Sekundärbatterien vergleichbarer Herstellungspreis erzielt werden könnte. Das Fehlen einer kostengünstigen Produktionstechnologie ist jedoch ein entscheidendes Hindernis für die Markteinführung. Ein Prozessschritt bei der Herstellung von wasserstoffbetriebenen Mikrobrennstoffzellen ist die Fertigung der Anodenseite, über deren Flow-Field-Strukturen der Wasserstoff zu der Ionenaustauschmembran geleitet wird. Neben anderen Verfahren, wie der Laserbearbeitung durch einen Projektpartner, wurde die Eignung des Heißprägeverfahrens zur Strukturierung der Anodenseite untersucht.

### Vorteile des Heißprägeprozesses

Das Heißprägen wird als spezielles Pressverfahren vorwiegend zur Herstellung von Kunststoffbauteilen mit fein- und mikrostrukturierten Oberflächen eingesetzt. Es ist im Vergleich zu bestehenden Replikationstechnologien ein einfaches Verfahren mit wenigen Verarbeitungsparametern und Prozessschritten. Zu den Vorteilen des Heißprägens gehören die gute Formfüllung, die Verarbeitbarkeit dünner Substrate sowie sehr kurze Fließwege und geringe Formgebungsgeschwindigkeiten, die aus der variothermen Prozessführung resultieren. Es lassen sich Strukturen mit hohen Aspektverhältnissen, homogener Füllung und mit geringen inneren Spannungen erstellen. Das unter Vakuum durchführbare Heißprägen eignet sich aufgrund der vergleichsweise geringen Werkzeugkosten besonders für die Fertigung von Prototypen und Kleinserien.

Zur Durchführung der Heißprägeversuche wurde ein Prägewerkzeug durch galvanische Abformung erzeugt. Als Master diente ein strukturierter Silizium-Wafer (Durchmesser: 4 Zoll), der in eine spezielle Halterung eingespannt wurde. Nach dem Auftrag einer metallischen Startschicht auf den Wafer erfolgte das Aufgalvanisieren einer Nickellegierung in mehreren Schritten, jeweils mit

mechanischer Zwischenbearbeitung. Nach Abschluss der Galvanisierung wurde der Wafer abgeätzt. Auf der Oberfläche des hierfür eingesetzten Werkzeugs befinden sich verschiedene Layouts von Flowfieldstrukturen, die jeweils aus vielen stegartigen Konturen bestehen. Diese verfügen über eine Länge von 400, eine Breite von 50 und eine Höhe von 70  $\mu\text{m}$ .



Geprägtes Kunststoffsubstrat mit verschiedenen mikrofluidischen Layouts. Quelle: KuZ.

Als Anodenmaterial in Mikrobrennstoffzellen sollten Kunststoffe verwendet werden, die für die Weiterverarbeitung und während des Einsatzes bestimmte Anforderungen erfüllen müssen. Dazu zählen Temperaturbeständigkeit (Dauergebrauchstemperatur  $> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), hohes thermisches und elektrisches Isolationsvermögen, gute Verkleb- und Metallisierbarkeit, hohe Beständigkeit gegenüber chemischen Substanzen und UV-Strahlung sowie eine geringe Wasserstoffdurchlässigkeit. Es wurde eine Auswahl an Kunststoffen getroffen, deren Eigenschaftsprofile diesen Kriterien entsprechen. Neben Polycarbonat (PC, Makrolon<sup>®</sup> 2805, Bayer Material Science AG) wurde ein flüssigkristalliner Hochleistungskunststoff eingesetzt (LCP, Vectra<sup>®</sup> E820i Pd, Ticona GmbH), der über eine erhöhte chemische und thermische Beständigkeit verfügt.

### Resultate

Aus den jeweiligen Eigenschaften der eingesetzten Kunststoffe ergeben sich unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen. Diese erfordern die Einstellung verschiedener Prozessfenster, die im Wesentlichen durch die Prägekraft und -temperatur eingegrenzt werden. Für jedes Material wurden die technologischen Verarbeitungsparameter be-

stimmt, mit denen Formteile mit sehr hohen Abformgenauigkeiten gefertigt werden konnten. Die Dicke der Kunststoffsubstrate betrug 1 mm. Die Abbildung zeigt eine geprägte Kunststoffplatte mit den verschiedenen mikrofluidischen Layouts.

Schwierig gestaltete sich jedoch die Entformung. Aufgrund der Vielzahl von Konturen und der fehlenden Entformungsschragen musste eine hohe Kraft aufgewendet werden, um die geprägten Kunststoffteile vom Prägewerkzeug zu entformen. Die Untersuchung der geprägten Strukturen mittels lichtoptischer Verfahren zeigte zudem, dass mit der Erhöhung des erforderlichen Kraftaufwandes für die Entformung die Form der geprägten Stege wesentlich beeinflusst wird.

Für die Funktionalität der Brennstoffzelle ist eine Metallisierung der strukturierten Anodenfläche erforderlich. Bei der Beschichtung von palladiumdotiertem LCP konnte eine wesentlich höhere Haftfestigkeit des Schichtsystems mit einer abschließenden Goldschicht ermittelt werden als bei den mit Silber beschichteten PC-Proben. Als Ursache für die verbesserte Haftung werden die Palladiumpartikel, die Aufrauung der Oberfläche vor der Beschichtung sowie der Auftrag von haftvermittelnden Schichten angesehen.

Nach den gewonnenen Erkenntnissen wird das Heißprägen aufgrund der sehr guten Strukturausbildung für die Fertigung von Komponenten für Mikrobrennstoffzellen als geeignet angesehen. Die Fertigung von Formteilen (Wafern) mit mehreren einzelnen Brennstoffzellenelementen pro Prägevorgang sowie die langen Zykluszeiten erschweren jedoch die Einbindung dieser Technologie in Prozessketten mit hoher Wirtschaftlichkeit („Rolle-zu-Rolle-Verfahren“).

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „ProZell“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), betreut.

Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH, Leipzig  
www.kuz-leipzig.de



Matthias Brucke  
Milan Schulte  
Dr. Christoph Mayer

## Energieoptimierung zur Bewältigung des Klimawandels

Der Klimawandel ist ins Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit gerückt. Allein der durch Informations- und Kommunikationsanwendungen verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß hat im Jahr 2006 mit 28 Millionen Tonnen das Niveau der Luftfahrt erreicht. Um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken, ist es also nötig, auf allen Ebenen zu optimieren.

Die Steigerung der Energieeffizienz von Geräten und Systemen ist ebenso wichtig wie die Erhöhung des Anteils an regenerativer Energieerzeugung und das ressourcenoptimale Management von Energieerzeugung und -verbrauch auf Netzebene.

### Low Power Design

Der Fortschritt durch die CMOS-Technologie (CMOS, dt.: komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter) bringt neue Anwendungen und Dienste hervor, insbesondere in den Bereichen Consumer-Produkte, Automotive und Kommunikation. Das Wachstum dieser Märkte wird von Anwendungen getrieben, die immer mehr Bandbreite und Rechenleistung erfordern. Die Kehrseite ist ein stetig steigender Stromverbrauch. Energie ist deswegen zum limitierenden Faktor beim Entwurf der immer komplexer werdenden, in die Produkte eingebetteten Systeme, der so genannten Systems on Chip (SoC), geworden. Dies lässt sich besonders gut an der Entwicklung der Leistungsdichte auf Halbleitern veranschaulichen (Abbildung 1). Bereits heute übersteigt die Leistungsdichte integrierter Schaltungen die von glühenden Herdplatten. Ohne signifikante Verbesserung der Entwurfsverfahren würde die Leistungsdichte sehr bald die eines Kernreaktors oder gar einer Raketendüse erreichen.

### Wärmeentwicklung am Beispiel der Intel-Prozessoren

Die in elektronischen Systemen eingesetzten CMOS-Transistoren hatten im vergangenen Jahrzehnt stets eine Strukturgröße oberhalb

von 0,1 µm. Der Stromverbrauch in solchen Systemen wurde durch die Berechnungen (Schalten der Transistoren/Komponenten), die Kommunikation (Übertragung von Informationen über Busse und Leitungen) sowie die Speicher (Lese- und Schreibzugriffe) dominiert. Ein wesentlich geringerer Anteil (10 bis 20 Prozent) der Verlustleistung entfiel auf Kurzschlussströme im Transistor und Leckströme. Mit dem Aufkommen der Nanometerstrukturen, das heißt CMOS-Transistoren mit Kanallängen unterhalb 100 nm, wuchs die Bedeutung der Leckströme (engl.: leakage power) ungemein. Da Isolationsschichten im Transistor heute nur noch wenige Atomlagen umfassen und zudem die Chipfertigung aufgrund der kleinen Strukturen immer größere Schwankungen in der Genauigkeit hinnehmen muss, treten Ströme auf, die für die Funktion nicht vorgesehen sind und im Gegenteil unerwünschte, zusätzliche Verlustleistung verursachen. Bereits in der heute in vielen Produkten eingesetzten 65 nm-Technologie dominiert die statische Verlustleistung (Leakage) den dynamischen Anteil. Einige wenige Ursachen der Leakage Power lassen sich durch zukünftige Verbesserungen im Fertigungsprozess technologisch zumindest vorübergehend lösen, zum Beispiel durch den Einsatz von High-k-Dielektrika. Werden jedoch keine weiteren Gegenmaßnahmen ergriffen, so entwickeln sich die Leckströme zum „Showstopper“ für die nächsten Generationen von elektronischen Produkten.

Die Lösung liegt neben der technologischen Verbesserung im automatisierten Chip-Entwurf

mit Hilfe von CAD-Werkzeugen im Bereich der Electronic Design Automation (EDA). Die Notwendigkeit der Computerunterstützung beim Entwurf heutiger komplexer Systeme wird besonders bei Vergegenwärtigung der bereits am Markt verfügbaren ersten Prozessoren mit einer Milliarde Transistoren und mehr deutlich. Ein solches „Power-Aware Design“ muss die Modellierung, Analyse und Optimierung des dynamischen und statischen Stromverbrauchs bereits in allen Phasen des Entwurfs integrieren, anstatt erst mit nachträglichen Maßnahmen zu reagieren. Verschiedene Alternativen von Hardware-Implementierungen können binnen Minuten abgeschätzt werden, um Optimierungen vorzunehmen, die eine Einsparung von bis zu 90 Prozent des Verbrauchs erlauben und so ein kostenträchtiges Redesign verhindern.

### Smart Homes und dezentrales Energiemanagement

Neben der Verbesserung der Energieeffizienz beim Entwurf von Halbleitern, und damit der Reduktion des Energieverbrauchs einzelner Geräte, eröffnet eine Verbrauchsoptimierung auf Gesamtsystemebene, also auf ein einzelnes Haus oder aber auch auf das gesamte Stromnetz bezogen, weitere Chancen. Trotz vieler Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz steigt der Stromverbrauch von Privathaushalten, deren Anteil in Deutschland bei circa 28 Prozent liegt (Quelle: VDEW – Endenergieverbrauch in Deutschland 2005), kontinuierlich an. Verschiedene Studien zeigen, dass verbesserte Dämmung und energieeffiziente Bauweise das Einsparpotenzial deutlich erhöhen, dass aber durch den Einsatz intelligenter Steuerungs- und Regelalgorithmen sowie durch Fernwartungsfunktionen ein weiteres Einsparpotenzial – je nach Studie von bis zu 35 Prozent – möglich ist. Diese unter dem Schlagwort „Smart Home“-Technologie zusammenfassbaren Ansätze bestehen aus dezentraler Sensorik und Aktorik, aber eben auch aus eingebetteten, intelligenten Systemen.

Vernetzt man die Smart Homes über Kommunikationsinfrastrukturen mit der Infrastruktur der Energieversorger, so ergeben sich weitere Möglichkeiten durch tageszeitabhängige Tarifperioden, an die beispielsweise der Start von Geräten geknüpft werden kann. ☺

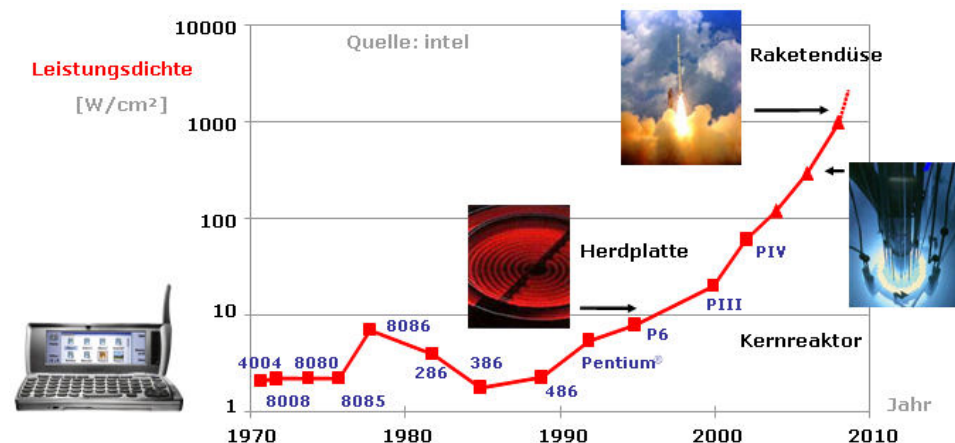


Abbildung 1: Zunahme der Leistungsdichte integrierter Schaltungen und damit einhergehende Wärmeentwicklung am Beispiel der Intel-Prozessoren. Quelle: intel.

Denkt man dieses Modell weiter, so könnte man das Management bestimmter Geräte dem Energieversorger gegen entsprechende Tarifvergünstigungen überlassen. Dieser könnte so den Verbrauch auf Netzebene besser managen und Kraftwerkskapazität einsparen. Berücksichtigt man dann auch noch das Aufkommen dezentraler Energieversorger, benötigt man ein völlig neues dezentrales Energiemanagement, das alle Erzeuger und Verbraucher einbezieht.

**Fazit**

Die Antworten auf die Herausforderungen des Klimawandels sind vielfältig; ein viel versprechender Versuch, die Probleme anzugehen, ist die Betrachtung und Realisierung von effizienter Erzeugung und ebensolchem Verbrauch von Energie auf allen Ebenen: vom einzelnen Halbleiter über das Gerät und das Smart Home bis hin zum gesamten Stromnetz. Informations- und Kommunikationstechnologie leistet einen wichtigen Beitrag für die Optimierung auf allen Ebenen.

OFFIS Institut für Informatik, Oldenburg  
www.offis.de

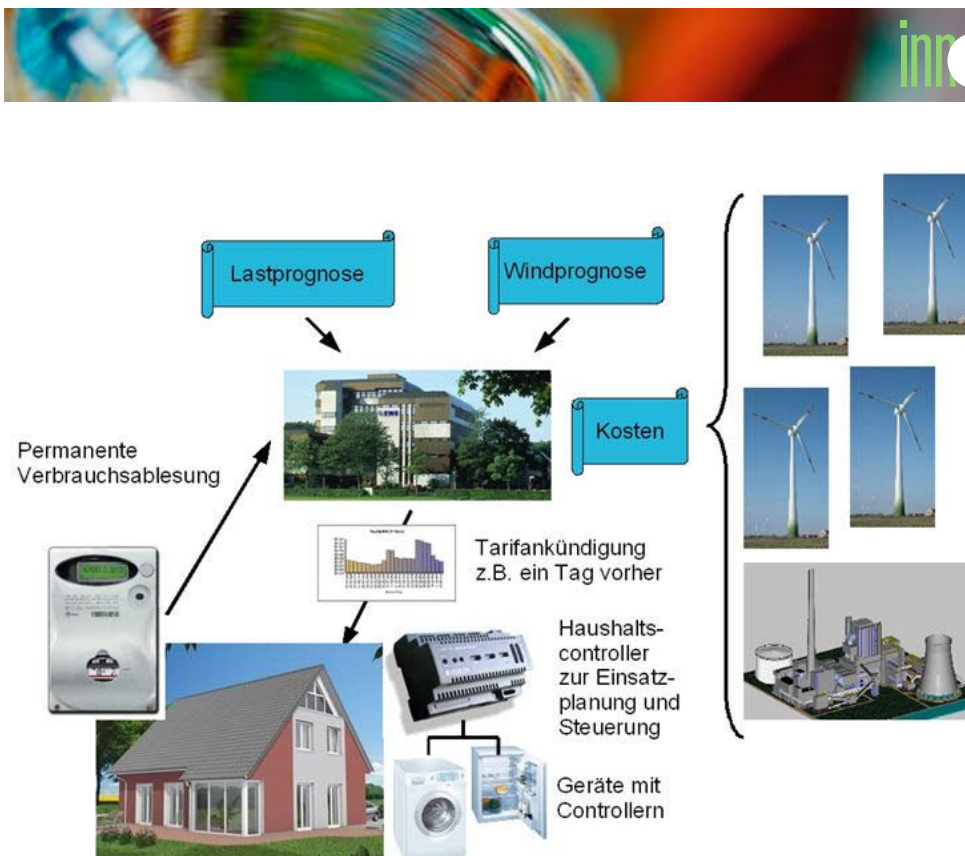


Abbildung 2: Energieoptimierung auf Netzebene durch Einbeziehung der einzelnen Verbraucher in ein dezentrales Energiemanagement. Quelle: OFFIS.

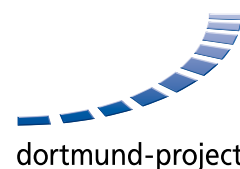
Anzeige

**\* Wir wachsen in micro.**

www.hightech-guide-dortmund.de  
www.mikrotechnik-dortmund.de

Und das mit großem Erfolg. Inzwischen sind über 40 Unternehmen und 2.200 Beschäftigte der Mikro- und Nanotechnologie bei uns zu Hause. Tendenz steigend, denn der zweite Bauabschnitt unseres Kompetenzzentrums MST.factory dortmund bietet weiteren Raum für neue Ansiedlungen. Durch unser MST-Cluster, einem effektiven Netzwerk aus Wissenschaft und Wirtschaft, bieten wir Unternehmen ein erstklassiges Umfeld.

big in micro. Das neue Dortmund.





## Oberflächen messen in der Solartechnik

Dr. Thomas Fries

Trotz eines eigentlich unbegrenzt verfügbaren Grundstoffs hat die Solarbranche bei der Herstellung von Polysilizium, der Grundlage für mono- und polykristalline Siliziumwafer, mit Engpässen zu kämpfen. Aufgrund des hohen Wettbewerbs- und Kostendrucks ist die Branche im Kampf um Marktanteile gezwungen, ihre Fertigungsprozesse zu optimieren und neue Generationen von Solarzellen zu entwickeln.

Im Fokus der Entwicklung und Herstellung von Solarzellen stehen wirtschaftliche Produktion, Minimierung des Ausschusses, Einsparung von Material und die Erhöhung des Wirkungsgrads. Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben sind vor allem Dünnschicht- und polymere Solarzellen viel versprechende Technologien. Wegen der hohen Lichtabsorption von Dünnschichtmaterialien und durch Lichtfallenstrukturen sowie Rückseitenreflektorschichten sind Schichtdicken von wenigen Mikrometern für die Umwandlung des Sonnenlichts ausreichend. Die verschiedenen Technologien dieser Zelltypen – zum Beispiel die Kombination von mikrokristallinem und amorphem Silizium in hocheffizienten Tandemzellen oder von organischem Farbstoff und Nanopartikeln in Siebdrucktechnik bei Farbstoff-Zellen – verfügen über ein hohes Innovations- und Optimierungspotenzial.

### Strukturierte Oberflächen für mehr Effizienz

Bei mono- und multikristallinen Zelltypen kann eine Oberflächenstrukturierung die Reflexionsverluste mindern. Bei einer Pyramidenform der Zelloberfläche beispielsweise trifft das einfallende Licht mehrfach auf die Oberfläche und erhöht so den Wirkungsgrad. In Tandem- und Stapelzellen können unterschiedliche Halbleitermaterialien für verschiedene Spektralbereiche verwendet werden, um so ein breites Strahlungsspektrum zu nutzen. Für polymere Solarzellen werden aktuell neue Material- und Technologiekombinationen erforscht. So sollen die Langzeitstabilität und Effizienz der

biegsamen Solarfolien mit halbleitenden, organischen Polymeren in der Aktivschicht verbessert werden.

### Vorteile exakter Oberflächenmesstechnik

All diese Techniken von der Forschung und Entwicklung bis zur Fertigungskontrolle erfordern eine exakte Charakterisierung der Oberflächen. Moderne optische Messverfahren liefern Informationen über die Beschaffenheit eines Solarwafers auf der Vorder- und Rückseite sowie am Rand und ermöglichen Aussagen über Dicke, Topographie, Welligkeit und Randbearbeitung. Die Messungen lassen Rückschlüsse auf Oberflächenqualität, Brüchigkeit, aber auch auf den Wirkungsgrad zu – drei Parameter, die nicht nur für immer dünner werdende Wafer wie Dünnschichtzellen mit amorphem Silizium von Bedeutung sind.

Für die Waferproduzenten ergeben sich damit Möglichkeiten, Material einzusparen und die Effizienz zu steigern, was bei dem teuren Werkstoff ein wichtiger Marktvorteil ist. Die Materialeinsparung zahlt sich auch bei der Fertigung aus, da die Module aufgrund ihres kleineren Gesamtgewichtes leichter zu montieren sind und zugleich einen geringeren statischen Einfluss auf Unterkonstruktionen ausüben.

Eine weitere Anwendung für optische Oberflächenmesstechnik ist die Qualitätskontrolle der elektrischen Leiterbahnen und Kontakte (so genannte Finger), die mit Siebdruck auf die Wafer aufgebracht werden. Hier kommt es auf eine gleichmäßige Höhe und Breite an. Automatisierte Messabläufe liefern die relevanten Daten

in kurzer Zeit und können so zur produktionsnahen Qualitätssicherung eingesetzt werden.

### Zerstörungsfreie Messung der optisch aktiven Schichten

Die Aufgabe, optisch aktive Schichten, die möglichst viel Licht absorbieren sollen, zerstörungsfrei mit optischen Sensoren zu vermessen, ist technisch sehr anspruchsvoll. Besonders trickreich ist die optische Vermessung von Antireflexionsschichten, die ja gerade alles auftreffende Licht absorbieren sollen. Die führenden Hersteller von Oberflächenmessgeräten haben diese technische Hürde mittlerweile genommen und bieten mit Multisensor-Anordnungen außerdem die Möglichkeit, mehrere Messaufgaben mit nur einem Gerät und einer Software durchzuführen, zum Beispiel durch die Kombination von Punkt- und Flächensensoren oder den Einsatz der Rasterkraftmikroskopie.

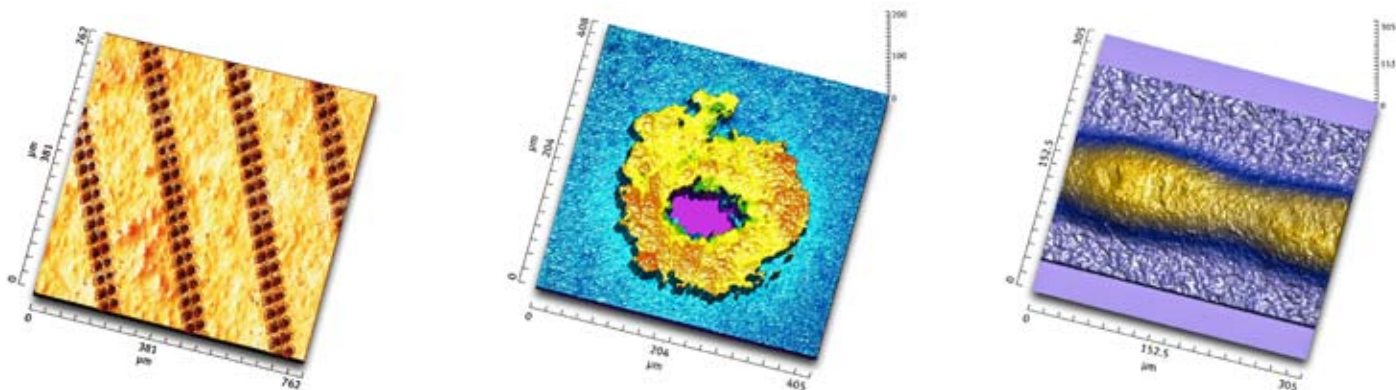
Fries Research & Technology GmbH (FRT),  
Bergisch Gladbach  
[www.frt-gmbh.com](http://www.frt-gmbh.com)

Abbildungen, von links nach rechts (Quelle: FRT):

Laserstrukturierte Oberfläche einer Dünnschichtzelle zur Reduzierung des Reflexionsvermögens und Steigerung der Effizienz.

Lasergebohrtes Kontaktierungsloch in einer PERC-Zelle (passiv emitter and rear cell), bei der aus Effizienzgründen alle Kontaktierungen von der Vorderseite auf die Rückseite verlegt werden.

Messung von Höhe, Breite und Gleichförmigkeit eines metallischen Kontakts (Finger) auf der Oberfläche einer Solarzelle.





## Organische Solarzellen – von der Forschung zum Produkt

Dr. Olaf R. Hild

Solarzellen gelten mittlerweile, selbst im nicht gerade als sonnenverwöhnt geltenden Deutschland, nicht mehr als exotisch. Nach Statistiken des Bundesministeriums für Forschung und Umwelt lieferte die Photovoltaik im Jahr 2007 0,6 Prozent des Gesamtstromverbrauchs in Deutschland – mit stark steigender Tendenz.

Zur Anwendung kommen dabei hauptsächlich anorganische, meist siliziumbasierte Solarzellen. Es gibt aber auch, ebenso wie bei den lichtemittierenden Dioden (LED), die organischen Verwandten. Sowohl die organischen LEDs (OLED) als auch die organischen Solarzellen gehen auf Entdeckungen in den 80er Jahren von C. W. Tang bei Kodak<sup>1,2</sup> zurück. Während die OLEDs bereits erfolgreich in zahlreichen Produkten wie Displays und ersten Fernsehern eingesetzt werden, sind organische Solarzellen bisher wenig in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Hauptursachen sind die bisher vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrade und die wenig untersuchte Lebensdauer. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die Industrie wollen die organische Photovoltaik in Deutschland durch gezielte finanzielle Forschungsförderung in den nächsten fünf Jahren zur Marktreife entwickeln, denn aufgrund ihrer Eigenschaften werden organische Solarzellen völlig neue Anwendungen ermöglichen.

Organische Solarzellen lassen sich dünn und flexibel zum Beispiel auf Folien herstellen. Die aktiven Schichten sind häufig dünner als 1 µm und ermöglichen so sehr leichte Zellen und Module, was ideal für mobile Anwendungen ist. Als Lichtabsorber kommen organische Farbstoffe und Pigmente zum Einsatz, wodurch Solarzellen mit einer breiten Farbpalette zur Verfügung stehen. Dies wird zwar durch einen Effizienzverlust erkauft, ermöglicht allerdings interessante Gestaltungsmöglichkeiten. Ein zusätzlicher Anwendungsbereich kann die Optimierung auf besondere Lichtverhältnisse sein, indem die verwendeten Lichtabsorber dem Umgebungslicht angepasst werden.

Die erforderlichen Herstellungsprozesse wie Drucken oder Vakuumbeschichtung benötigen vergleichsweise wenig Energie und lassen sich leicht auf große Flächen skalieren. Gleichzeitig ist der Materialbedarf mit circa 1 g/m<sup>2</sup> aktivem organischem Material sehr gering. Die Zeit, die von der Zelle benötigt wird, um ihre Herstellungenergie zu erzeugen („energy payback time“), wird mit weniger als einem Jahr angenommen – also deutlich kürzer als bei anorganischen Zellen. Ein Problem der organischen Solarzellen ist jedoch ihre Lebensdauer. Da sie ebenso wie OLEDs wasser- und luftempfindlich

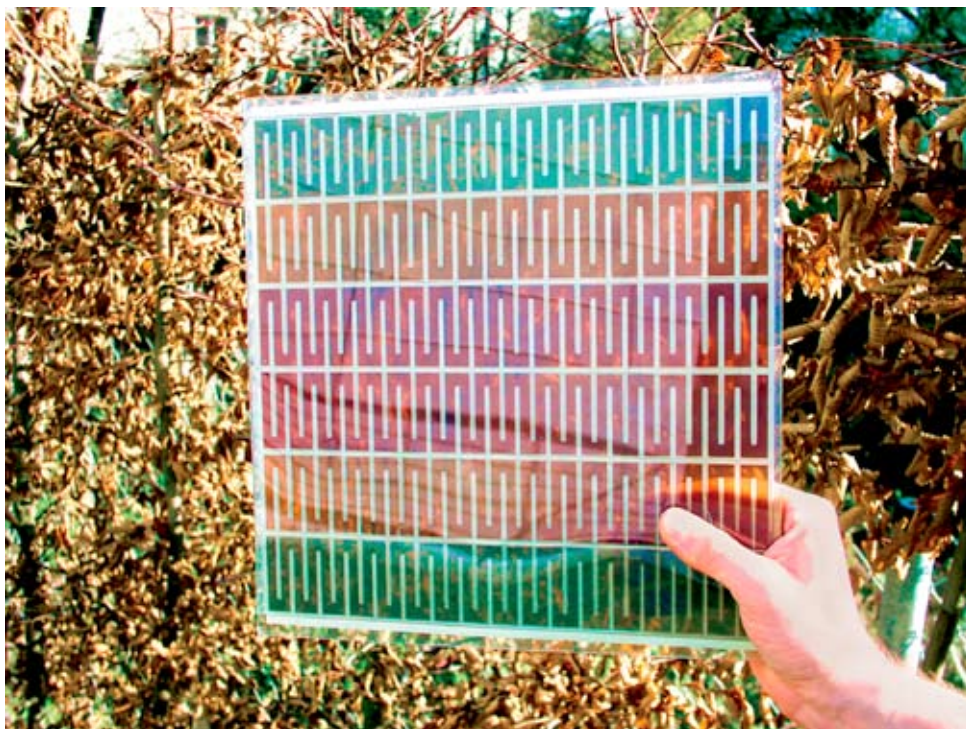


Abbildung 1: Am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gefertigtes Modul aus farbstoffsensibilisierten Solarzellen. Die Farbigkeit wird durch photoaktive, das Licht selektiv absorbierende metallorganische Komplexe erzielt. Das Modul ist mit einer am Fraunhofer ISE entwickelten Glaslottechnik langzeitstabil versiegelt. Quelle: Fraunhofer ISE.

sind, müssen sie entsprechend gut verkapselt werden. Kürzlich wurde von der Lebensdauer von über einem Jahr für flexible organische Solarzellen berichtet<sup>3</sup>. Umweltgefährdende Stoffe wie Schwermetalle werden nicht verwendet, wodurch Entsorgung und Recycling vereinfacht werden.

### Funktionsweise einiger organischer Solarzelltypen

Bei organischen Solarzellen unterscheidet man einige Untergruppen. Der bekannteste und bisher effizienteste Zelltyp ist die Farbstoff- oder auch Grätzel-Zelle, die nach ihrem Erfinder Prof. Dr. Michael Grätzel benannt ist. Hier besteht lediglich der Lichtabsorber aus organischen Farbstoffen. Daher wird dieser Zelltyp häufig auch nicht zu den organischen Solarzellen gezählt. Die Zellen bestehen aus Farbstoffen, welche auf Titandioxidpartikeln immobilisiert wurden. Diese Partikel werden in einen Elektrolyten gegeben, der sich zwischen zwei Elektroden befindet. Durch die Sonnenstrahlung angeregt, überträgt der Farbstoff ein Elektron auf das Titandioxid und bleibt als po-

sitiv geladenes Kation zurück. Vom Titandioxid wird das Elektron weiter zur Anode, zumeist Indiumzinnoxid (indium-tin-oxide, ITO, ein transparentes, leitfähiges Oxid), geleitet und steht für einen elektrischen Verbraucher zur Verfügung. An der Kathode wird der Elektrolyt reduziert, das heißt, er wird mit einem Elektron beladen, das wiederum an das Farbstoffkation übertragen wird. Der Anfangszustand des Systems ist wieder hergestellt.

Der Wirkungsgrad dieses Zelltyps hat mittlerweile 11 Prozent überschritten<sup>4</sup>. Aufgrund der Wirkungsweise spricht man auch von einer farbstoffsensibilisierten Solarzelle (dye-sensitized solar cell, s. Abbildung 1). Ihr größter Nachteil ist die Verwendung eines flüssigen Elektrolyten. Zwar sind auch Festkörperelektrolyte in der Entwicklung, bisher jedoch zu lasten des Wirkungsgrades. Durch zusätzliche Verbesserungen strebt man Wirkungsgrade von 30 Prozent an<sup>5</sup>. G24 Innovations in Wales, Großbritannien, fertigt die Zellen bereits kommerziell. In einem Rolle-zu-Rolle-Prozess werden dort leichte und flexible Solarstromversorgungen für Mobiltelefone hergestellt. ☺

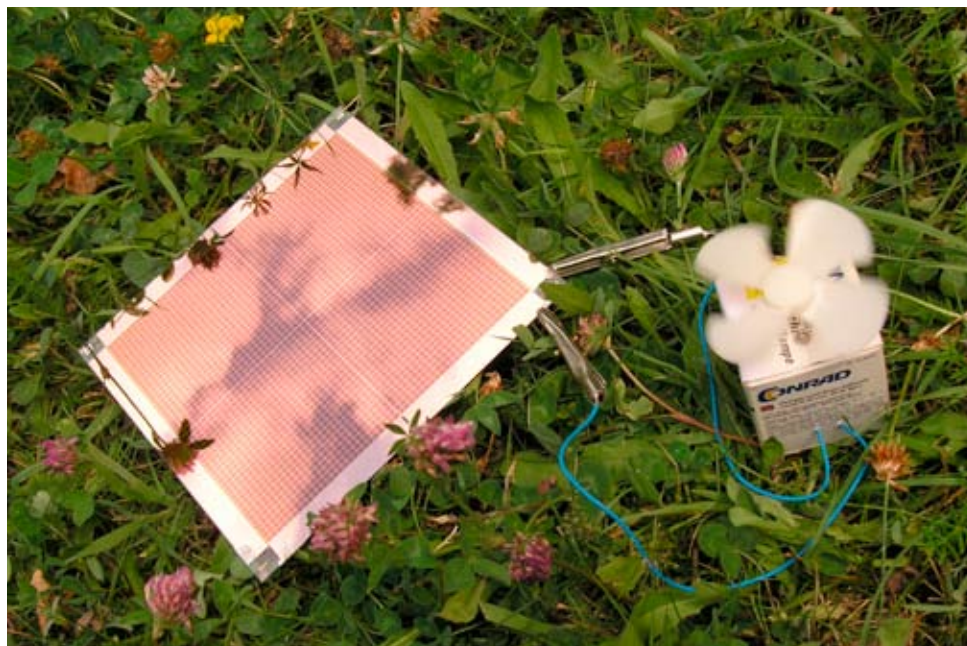


Abbildung 3: Solarzellenmodul auf Basis verdampfbarer organischer Moleküle. Quelle: Heliatek GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Photophysik der TU Dresden und dem Fraunhofer IPMS.

Eine weitere wichtige Zellfamilie ist die der so genannten Heterojunction-Zellen. Dabei werden organische Elektronendonoren (p-leitende Materialien) und Elektronenakzeptoren (n-leitende Materialien) zur Ladungstrennung eingesetzt. Man unterscheidet zwischen polymerbasierten Zelltypen (s. Abbildung 2), beispielsweise mit P3HT (Poly-3-hexylthiophen, p-Leiter) und PCBM (Phenyl-C<sub>61</sub>-buttersäuremethylester, n-Leiter), und Zellen mit so genannten „kleinen Molekülen“ (Abbildung 3), zum Beispiel Zink-Phthalocyanin (p-Leiter) und Buckminster-Fulleren (C<sub>60</sub>, n-Leiter). Die Wirkungsweise beider Varianten ist sehr ähnlich, lediglich die Herstellung unterscheidet sich. Während die Polymerzellen durch Nassprozesse wie Spincoating und Drucken hergestellt werden, werden die kleinen Moleküle im Vakuum aufgedampft. Die Nassprozesse sind in der Regel mit geringerem Aufwand zu realisieren, dafür lassen sich durch Aufdampfschichten komplexere Schichtsysteme erzeugen. Die publizierten Wirkungsgrade der Polymerzellen liegen zwischen 5 und 6 Prozent<sup>6,7</sup>, die der Aufdampfzellen bei 5 Prozent<sup>8</sup>. Leider gibt es bisher keinen Standard zur Ermittlung der Wirkungsgrade von organischen Solarzellen, was eine Vergleichbarkeit erschwert.

Die Funktionsweise der beiden Zelltypen ist ähnlich. Zunächst wird Licht absorbiert; die dabei aufgenommene Energie kann angeregte Zustände, so genannte Excitonen, erzeugen. Diese sind nicht ortsfest, sondern können diffundieren, bis sie entweder relaxieren oder dissoziieren. Bei der Relaxation geht die Ener-

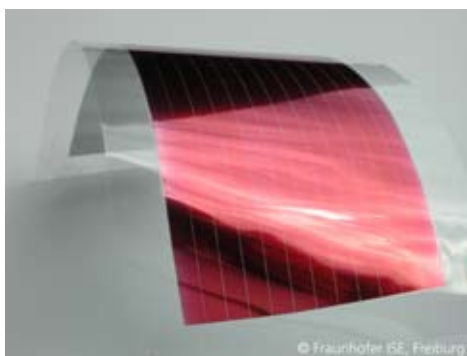


Abbildung 2: Flexibles Solarzellenmodul auf Basis einer polymeren organischen Solarzelle. Quelle: Fraunhofer ISE.

gie verloren; hat jedoch die Ladungstrennung, die Dissoziation, stattgefunden, können die Ladungsträger zu den jeweiligen Elektroden transportiert werden und stehen für einen Verbraucher zur Verfügung.

Für die Kommerzialisierung sowohl der Polymerzellen als auch der vakuumprozessierten organischen Solarzellen sind bereits Firmen gegründet worden. Während sich die amerikanische Firma Konarka Technologies, Inc. mit den Polymerzellen beschäftigt, aber auch an der G24 Innovations beteiligt ist, wird die Kommerzialisierung der Aufdampfzellen durch die Dresdner Heliatek GmbH verfolgt. Zur weiteren Entwicklung und Aufskalierung kooperiert Konarka unter anderem mit der Merck KGaA, der Siemens AG und der Leonhard Kurz GmbH & Co. KG. Die Robert Bosch GmbH und die BASF Venture Capital GmbH haben sich dagegen an der Heliatek GmbH beteiligt.

### Anwendungsbereiche organischer Solarzellen

Wenn die beschriebenen Probleme der Wirkungsgrade und Lebensdauer gelöst sind, wo für es vielversprechende Ansätze gibt, steht dem Einsatz von kostengünstigen, großflächigen Solarmodulen auf Basis organischer Materialien nichts mehr im Weg. Ästhetisch gestaltete, farblich abgestimmte, stromerzeugende Hausfassaden und Dächer sind dann ebenso möglich wie getönte Fenster, die zwar lichtdurchlässig sind, gleichzeitig aber Strom erzeugen. Die leichte Integration in Notebooks und ähnliche Geräte oder einfach nur eine rollbare Solarzellenfolie machen Solarstrom mobil und überall verfügbar. Auch an einer Integration in Kleidungsstücke wird bereits im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts TexSolar geforscht. Die organischen Solarzellen können somit künftig einen wichtigen Beitrag zur umweltschonenden Stromversorgung leisten.

Fraunhofer Institut für Photonische Mikrosysteme (IPMS), Dresden  
[www.ipms.fraunhofer.de](http://www.ipms.fraunhofer.de)

### Literaturhinweise

1. Tang, C. W.; Appl. Phys. Lett. 48 (2) (1986); 183–185.
2. Tang, C. W.; Van Slyke, S.A.; Appl. Phys. Lett. 51 (1987); 913.
3. Hauch, J. A. et al.; Solar Energy Materials & Solar Cells 92 (2008); 727–731.
4. Chiba, Y., Islam, A.; Watanabe, Y; Komiya, R.; Koide, N.; Han, L.; Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1 %, Japanese Journal of Applied Physics, Part 2: Letters & Express Letters (2006); 24–28; 45.
5. Grätzel, M.; Dye sensitized solar cells, Organic PV Symposium, Linz (Februar 2008).
6. NREL Certificate Plextronics; 5.4 % (device area 0.096 cm<sup>2</sup>) under AM1.5 spectrum (2007).
7. Kim J. Y.; Lee, K.; Coates, N. E.; Moses, D.; Nguyen, T.-Q.; Heeger, A.J.; Science 317 (2007).
8. Xue, J.; Rand, B. P.; Uchida, S.; Forrest, S. R.; A hybrid planar-mixed molecular heterojunction photovoltaic cell; Adv. Mat. (2005); 17(1); 66–70.



## Neuartige Lasersysteme beschleunigen die Solarzellenproduktion

Dr. Paul Harten

Die Solarindustrie steht vor großen Herausforderungen bei den Stromerzeugungskosten: Möglichst schnell soll eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu traditionellen Energieträgern erreicht werden, um bei sinkender staatlicher Förderung weiterhin wachsen zu können.

Der Schlüssel dazu besteht in der Erschließung neuer Fertigungstechnologien für die Solarzellenproduktion. Neue Technologien stellen den einzigen Weg dar, die Stückkosten zu senken und dabei gleichzeitig die Prozesssicherheit, -geschwindigkeit und die Ausbeute zu erhöhen. Einige dieser technologischen Potenziale stecken in der Weiterentwicklung der Laserbearbeitung von Solarzellen.

### Maskenlose Mikrobearbeitung mit Top-Hat-Konvertern

Stand der Technik in der Mikrobearbeitung mit Lasern ist heute die maskenlose Bearbeitung mit gaußschen Laserstrahlen, das heißt, der Laser arbeitet im transversalen Grundmodus TEM<sub>00</sub> mit einer gaußförmigen Intensitätsverteilung. Der Strahl wird dabei auf die zu strukturierende Fläche fokussiert. Der entstehende intensive Spot dient als präzises Werkzeug, welches sich – unterstützt durch Galvo-Scanner und schnelle Verschiebtische – mit bis zu 10 m/s über das Werkstück hinweg bewegt.

Betrachtet man die strukturierten Flächen genauer, stellt man jedoch fest, dass ein rechteckiges Strahlprofil häufig bessere Ergebnisse am Werkstück abliefern als der „unbehandelte“ Gaußstrahl. Strahlformungsoptiken, so genannte Konverter oder Beam Shaper, können aus beliebigen Lasern, inklusive Gaußstrahlen, rechteckige Strahlen herstellen. Das gilt sowohl für die Feldabmessung als auch für die Intensitätsverteilung über das beleuchtete Feld hinweg.

Als Beispiel sehen wir in der Abbildung einen Vergleich von Bearbeitungsergebnissen – einmal mit und einmal ohne Gauß-zu-Rechteck-Konverter. Solche Konverter sind mittlerweile als Standardprodukte von mehreren Herstellern am Markt verfügbar. Die besten Bearbeitungsergebnisse erzielt man durch eine sorgfältige Analyse der Aufgabenstellung und eine Erstin- stallation durch den Konverter-Lieferanten vor Ort in der Anlage. So stellt man sicher, dass wichtige Parameter wie Prozessschärfentiefe und Arbeitsabstand passen.

Die Vorteile beim Einsatz eines Konverters sind zum einen eine höhere Kantensteilheit und -geradheit der Struktur im Werkstück und andererseits eine bis zu 20 Prozent höhere Be-

arbeitungsgeschwindigkeit. Wie auf der linken Seite des Bildes zu erkennen, hinterlässt die Bearbeitung ohne Konverter störende Zacken am Rand und eine Tiefenvariation der Struktur. Unter Einsatz eines Konverters kommen diese Ungenauigkeiten nicht mehr vor. Zusätzlich lassen sich mit dem Ultrakurzpuls-Laser im Vergleich zu Lasern längerer Pulsdauer Wärmeeffekte minimieren sowie Mikrorisse, Spritzer und Auswurf am Rand der Strukturen vermeiden (siehe Abbildung, rechts). Eine nasschemische Nachbehandlung zur Entfernung unerwünschter Nebenwirkungen ist in einigen Fällen somit nicht mehr nötig.

### Kristallisation dünner Silizium-Schichten

Innovative Laserunternehmen haben die Kristallisation von dünnen Silizium-Schichten in Pionierarbeit entwickelt. Die Neuerung war zunächst für den industriellen Einsatz in der Displayfertigung gedacht und wurde dort auch eingeführt – denn mit diesem Verfahren lassen sich Transistoren mit sehr hoher Elektronenbeweglichkeit direkt in Displays integrieren.

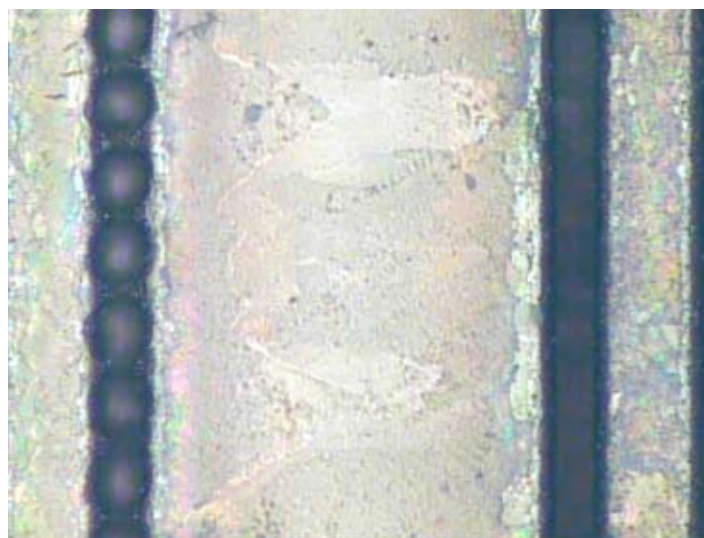
Versuche zeigen indes, dass die Laserkristallisation ebenfalls signifikante Vorteile für die Produktion von Dünnschicht-Solarzellen bringen könnte. Erste Laserbearbeitungstests durch LIMO in Zusammenarbeit mit dem Laser Zentrum Hannover e.V., der LUMERA LASER GmbH und dem Institut für Photonische Technologien (IPHT) brachten ermutigende Resultate.

Die sorgfältige Optimierung der Prozessparameter und der Kristallstruktur ist der nächste Schritt zur Anwendung in der Solarzellen-Fertigung. Um das Verfahren großindustriell nutzen zu können, muss die Industrietauglichkeit zum Beispiel durch attraktive Stückkosten nachgewiesen werden.

Neuartige Laser, die hochintensive Linien mit sehr schmalen und gleichzeitig langen Abmessungen erzeugen können, bieten die Möglichkeit, Inline-Produktionsanlagen mit solchen Prozessen kostengünstig auszustatten. Inline-Durchsätze von 1.000 cm<sup>2</sup> kristallisierter Fläche pro Sekunde sind schon heute mit Strahlabmessungen von weit unterhalb 100 µm in der schmalen Achse und mehreren Metern in der langen Achse bei sehr gleichförmiger Intensitätsverteilung realisierbar.

Aufgrund von innovativen Strahlformungs-lösungen sind signifikante Weiterentwicklungen in diesem Bereich zu erwarten. Erste Bearbeitungsergebnisse mit heute verfügbaren Technologien geben einen positiven Ausblick für die Zukunft: Eine deutliche Steigerung von Durchsatz und Ausbeute bei gleichzeitig sinkenden Stückkosten ist abzusehen.

LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, Dortmund  
[www.limo.de](http://www.limo.de)



Vergleich von Ablationsergebnissen in SnO<sub>2</sub> mit einem infraroten ps-Laser bei 1.064 nm Wellenlänge, 200 µJ Pulsenergie und 10 ps Pulsdauer: links mit einem „unbehandelten“ Gaußstrahl, rechts mit einem 50x50 µm<sup>2</sup>-Top-Hat-Konverter und demselben Laserstrahl. Quelle: LIMO.

## Interview

### „Die Photovoltaik-Preise werden wieder fallen“

Steigende Energiekosten schaffen Märkte für neue Energie- und Effizienztechnologien. Einer der größten Hoffnungsträger ist dabei die Photovoltaik (PV). »inno«-Redakteurin Josefine Zucker sprach mit Dr. Thomas Schlegl, Geschäftsführer der Fraunhofer-Allianz Energie und Strategieplaner am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, über aktuelle Entwicklungen, die Rolle der Nanotechnologie und das Energiemanagement der Zukunft.



Dr. Thomas Schlegl

**Klimawandel, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Ressourcenknappheit und steigende Rohstoffpreise sind heiß diskutierte Themen. Wie reagiert die Fraunhofer-Allianz Energie auf diese Herausforderungen?**

Der Übergang zu einer nachhaltigen, kostengünstigen und sicheren Energieversorgung ist eine zentrale Zukunftsaufgabe, die zwar nicht ganz einfach zu bewerkstelligen ist, aber auch große Chancen bietet. So schaffen beispielsweise steigende Energiekosten Märkte für neue Energie- und Effizienztechnologien, und innovative, intelligente Energiekonzepte können lukrative Geschäftsfelder eröffnen. Die Fraunhofer-Allianz Energie bietet mit ihren fünf Schwerpunkten Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Gebäude und Komponenten, Intelligente Energienetze und Speicher- und Mikroenergie-Technik Lösungen für diese Zukunftsaufgabe. Wir unterstützen unsere Kunden, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, aber auch Energiewirtschaft und Politik, die Chancen zu nutzen, die sich aus den neuen Herausforderungen ergeben.

**Die Sonne gilt als einzige Energiequelle mit unbegrenztem Potenzial und könnte der Schlüssel zur Lösung vieler Energiefragen sein. Welche aktuellen Entwicklungen gibt es im Bereich Photovoltaik?**

In der Vergangenheit wurden bereits beeindruckende Preisdegressionen in der Photovoltaik erreicht. So sind die Stromgestehungskosten der Silizium-Photovoltaik zwischen 1990 und 2003 um über 60 Prozent gesunken. Ziel ist es, die Kosten auch weiterhin deutlich zu reduzieren. Die Forschung hilft, diese Entwicklung zu beschleunigen – durch höhere Wirkungsgrade, geringeren Materialverbrauch, den Einsatz billigerer Materialien und verbesserte Produktionsprozesse. Ein weiteres Kostensenkungspotenzial bietet die industrielle Massenproduktion.

In den vergangenen Jahren ist jedoch dank des Marktanreizes durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz die Nachfrage nach Photovoltaikmodulen so sehr in die Höhe geschossen, dass die Angebotsseite, insbesondere die Produktion von hochreinem Silizium, nicht mithalten

konnte. Deshalb ist der Endverbraucherpreis gestiegen. Dieser Engpass soll nun durch eine weitere Ausweitung der Produktionskapazitäten und durch neue Konzepte und Technologien beseitigt werden.

Dazu gehören die konzentrierende Photovoltaik, die Dünnschichtphotovoltaik und organische Solarzellen ebenso wie die Verwendung von metallurgischem Silizium, welches aufgrund seiner vergleichsweise hohen Verunreinigungen bisher noch sehr zurückhaltend bei der Photovoltaikproduktion eingesetzt wird. Verglichen mit hochreinem Silizium bietet es jedoch auch große Vorteile: Es lässt sich sehr viel billiger und mit viel geringerem Energieaufwand produzieren, und die Produktionskapazitäten können schneller hochgefahren werden. Aufgrund der Vielzahl von Stellschrauben, an denen wir drehen können, werden die Preise für Photovoltaik-Module in Zukunft wieder so stark fallen wie in der Vergangenheit.



Demonstrationsanlage eines solarthermischen Kraftwerks in Almería, Spanien. Quelle: Fraunhofer ISE.

**Welche Rolle spielt die Nanotechnologie, wenn es um Energieerzeugung und -effizienz geht?**

Nanotechnologie wird eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung eines nachhaltigen Energieversorgungssystems spielen, da sie an allen Stellen entlang der Wertschöpfungskette im Energiesektor wesentliche Verbesserungen ermöglicht. So können Elektroden, deren Oberfläche nanoporös und dadurch maximiert ist, die Energie- und Leistungsdichte elektrischer Speicher oder Brennstoffzellen deutlich erhöhen; organische Solarzellen können durch

selbstorganisierende Absorber größere Wirkungsgrade erzielen und Absorptionskältemaschinen noch effizienter Wärme in Kälte umwandeln.

Die hohe mechanische Festigkeit von Carbon Nanotubes bietet die Möglichkeit, bestehende Produkte wie Windkraftanlagen belastbarer, zuverlässiger und leistungsfähiger zu gestalten. Ein weiteres Beispiel ist die nanoskalige Behandlung von Oberflächen, die diese widerstandsfähiger gegenüber mechanischen Belastungen und hohen Temperaturen macht, was zu höheren Wirkungsgraden und längeren Betriebszeiten bei Turbinen, Motoren und thermischen Absorbern führen kann. Auch optische Eigenschaften von Bauteilen lassen sich durch Nanotechnologie gezielt einstellen, wodurch beispielsweise Solarzellen oder Leuchtdioden verbessert werden können. Deren Wirkungsgrad kann durch so genannte Quantendots im wahrsten Sinne des Wortes mit Quantensprüngen nochmals deutlich gesteigert werden.

**Ein Blick in die Zukunft: Wie wird die Energieversorgung im Jahr 2030 gemanagt?**

Unser Energieversorgungssystem wird auch im Jahr 2030 und danach auf einem Energiemix basieren. Schon heute haben wir den Trend zu immer mehr, kleineren und dezentralen Stromerzeugern. Dieser Trend wird sich weiter fortsetzen. Die dezentralen Kraftwerke müssen intelligent und wirtschaftlich in das Stromnetz eingebunden werden. Hier geht es beispielsweise um die ökonomische und ökologische Optimierung des gesamten Energiemanagements, um systemübergreifende Lösungen, die ganzheitliche Betrachtung von Strom-, Gas-, Wärme- und Kältenetzen und um die Sicherheit des Energieversorgungssystems. Dazu werden wir zunehmend Informations- und Kommunikationstechnologien integrieren. Ein wirklich effizientes, umfassendes Energiemanagement wird durch ein gutes Energiedatenmanagement überhaupt erst möglich.

Fraunhofer-Allianz Energie, Freiburg  
www.energie.fraunhofer.de

## Förderung

### Europäische Forschungsförderung für den Mittelstand

Für Unternehmen aus den Bereichen Mikro- und Nanotechnologie eröffnen sich mit dem aktuellen 7. Rahmenprogramm der Europäischen Union (EU) gute Chancen, gemeinsam mit Partnern die eigenen Ziele sehr viel schneller zu erreichen. Viele Mitglieder des IVAM Fachverbandes für Mikrotechnik haben – wie auch die Firma microTEC – bereits im 5. und 6. Rahmenprogramm gute Erfahrungen gemacht, die sie gerne weitergeben.

Andrea Reinhardt  
Reiner Götzen  
Dr. Christine Neuzy

Europäische Forschungsförderung bietet für mittelständische Unternehmen attraktive Fördersätze – je nach Arbeitspaket 50 Prozent für Demonstratoren, 75 Prozent für Forschung und Entwicklung bei kleinen und mittleren Unternehmen (50 Prozent bei Großunternehmen) und 100 Prozent für Managementaufgaben. Darüber hinaus ist durch die Zusammenarbeit im europäisch-gemischtem Team aus mindestens drei Ländern von Anfang an die spätere internationale Vermarktung der Ergebnisse ein Thema. Ein positiver Nebeneffekt besteht im Erfahrungsaustausch mit Wissenschaftlern und Industrievertretern aus ganz Europa, verbunden mit interkulturellem Training.

#### Vertragliche Absicherung des eigenen Know-hows

Kooperative Forschung bietet Vorteile, jedoch gilt es auch, Risiken zu bedenken und diese durch Kooperationsverträge möglichst zu vermeiden. Besonders problematisch ist hier der ungewollte Know-how-Abfluss. Um sich zu schützen, sollte das Unternehmen vor dem eigentlichen Start sein eigenes Basis-Know-how gut kennen und davon am besten einiges bereits über Patente geschützt haben. So werden Unklarheiten im Rahmen der Projektarbeit vermieden. Generell sollte aber auch nicht geschütztes Know-how im Consortium Agreement vertraglich abgesichert werden (Background und Foreground). Geeignete Modellverträge sind über die Internetseiten der EU zugänglich. Im Projekt CORONA beispielsweise, bei dem IVAM für Dissemination und Management zuständig ist, wird derzeit ein Consortium Agreement nach dem so genannten DESCA-Modell ([www.desca-fp7.eu](http://www.desca-fp7.eu)) erstellt.

#### Mikro- und Nanotechnologie im 7. Rahmenprogramm stark vertreten

Für Unternehmen aus den Bereichen Mikro- und Nanotechnologie, Materialien und Produktionstechnologie bieten sich zwei Ausschreibungsthemen an:

- Nanosciences, nanotechnologies, materials & new production technologies (NMP) sowie
- Information & communication technologies (ICT) – hier ist vor allem Challenge 3 relevant, insbesondere 3.6. Micro and nanosystems.

Während bei ICT ein vollständiger Antrag mit 50 bis 100 Seiten eingereicht werden muss, sind bei NMP in einem zweistufigen Verfahren zu Beginn nur zehn Seiten (plus zwei Seiten Tabellen) erforderlich. Die einzelnen Stufen der Antragsstellung selbst, die für einen positiven Bescheid zu beachtenden Punkte und die wichtigsten Termine sind detailliert in der Ausschreibung und den „guidelines“ dargestellt. Neben einer kostenlosen Unterstützung seitens der Europäischen Union begleiten auch Netzwerke wie der IVAM Fachverband für Mikrotechnik bei der Antragstellung. Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit IVAM ist außerdem ein Austausch mit den EU-erfahrenen Mitgliedern des Netzwerkes möglich. Die nächste Ausschreibung im Bereich NMP wird für November 2008 erwartet.

Alle Unternehmen, die eine klare Forschungsfragestellung haben, zu dieser auch die spätere Verwertung gut beschreiben können und bereits ein oder zwei Partner gefunden haben, können online nach weiteren Partnern suchen. Die persönliche Ansprache ist über so genannte „Match making“-Treffen möglich, wie sie zum Beispiel vom europaweit aktiven Enterprise Europe Network (EEN), ehemals Innovation Relay Centre (IRC)/Euro Info Centre (EIC), angeboten werden.

Wichtig ist, dass die Forschungsfragestellung inhaltlich zur Ausschreibung (Call) passt. Um dies sicher zu stellen, sollten sich die Antragsteller vorab intensiv mit den Ausschreibungstexten befassen. Die nationalen Kontaktstellen stehen für die Interpretation der Ausschreibungen zur Verfügung. Aus eigener Erfahrung empfiehlt IVAM, diese Angebote unbedingt wahrzunehmen und eine Projektskizze mit der nationalen Kontaktstelle zu diskutieren, bevor sehr viel Aufwand in den Antrag fließt.

In den Arbeitsprogrammen, den fachspezifischen Webseiten der EU wie <http://cordis.europa.eu/nanotechnology> und <http://cordis.europa.eu/fp7/ict> sowie den Veranstaltungen finden sich in der Regel schon frühzeitig Informationen über noch nicht veröffentlichte Calls, sodass eine Abwägung, ob und in welchem Call ein Antrag gestellt werden soll, leichter fällt.

#### Ergänzende Programme

Zu den beiden Ausschreibungsbereichen gibt es ergänzende Programme wie „MNT-Eranet“ ([www.mnt-eranet.org](http://www.mnt-eranet.org)), „Eurostars“ ([www.eurostars-eureka.eu](http://www.eurostars-eureka.eu)) und „Forschung für KMU“, aber auch die Förderung von Forscher/-innen in den „Marie Curie Actions“ (<http://cordis.europa.eu/mariecurie-actions>), welche den Wissensaufbau in KMU fördern.

#### Good Practice

Beispiele für EU-geförderte Projekte mit IVAM-Partnern sind Healthy Aims ([www.healthyaims.org](http://www.healthyaims.org)) und NaPa ([www.microresist.de/projekte/napa\\_de.htm](http://www.microresist.de/projekte/napa_de.htm)). Das Projekt CORONA startet am 1. Juli 2008.

#### Wo finde ich die Ausschreibungen?

Aktuelle EU-Ausschreibungen stehen unter <http://cordis.europa.eu/en> unter „find a call“ zur Verfügung. IVAM-Mitglieder finden Ausschreibungen auch in der IVAM-Lounge, dem geschützten Bereich für Mitglieder im Internet, sowie in der Mitgliederzeitschrift IVAM InSide.

#### Partnersuche

Interessierte Unternehmen können bei Cordis selbst suchen oder kostenlos ein Unternehmensprofil hinterlegen (<http://cordis.europa.eu/partners-service>). Darüber hinaus gibt es unter den Mitgliedern von IVAM eine breite Auswahl potenzieller Partner für EU-Projekte. Im IVAM directory online unter [www.ivam.eu](http://www.ivam.eu) kann nach Technologien und Anwendungsfeldern sortiert werden. Auch Technologieplattformen wie MINAM und Manufuture bieten Online-Datenbanken, zum Beispiel über das MINAM-Portal [www.minamwebportal.eu](http://www.minamwebportal.eu) und über die Seiten des neuen, dem IRC nachfolgenden Enterprise Europe Network [www.enterprise-europe-network.ec.europa.eu](http://www.enterprise-europe-network.ec.europa.eu).

Unterstützung bei der Antragstellung gibt es bei IVAM unter [www.ivam.eu](http://www.ivam.eu) und bei den nationalen Kontaktstellen unter [http://cordis.europa.eu/fp7/ncp\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ncp_en.html).

microTEC Gesellschaft für Mikrotechnik mbH,  
Duisburg  
[www.microtec-d.com](http://www.microtec-d.com)

IVAM Fachverband für Mikrotechnik, Dortmund  
[www.ivam.eu](http://www.ivam.eu)

## Firmen und Produkte

### Stromsparendes Ansteuerungsverfahren für Mehrmotorenanwendungen

Ein neues Ansteuerungsverfahren reduziert den Stromverbrauch von Systemen, die den piezoelektrischen Elliptec Motor der Elliptec Resonant Actuator AG verwenden. Indem mehrere Motoren parallel eingesetzt werden, lässt sich die zur Verfügung stehende Kraft erhöhen. Im Gegensatz zur gleichzeitigen Ansteuerung aller Motoren eines Systems werden die Motoren einzeln, jeweils nacheinander angesteuert, während die restlichen Motoren stehen. Hierdurch spannt sich der einzelne Motor in seiner Aufhängung vor und erzeugt eine Bewegung, die durch die Haltekraft der restlichen Motoren kleiner ist als beim nicht-sequenziellen Einsatz. Die Schrittweite bestimmt sich durch die Gesamtzahl der Motoren im sequenziellen System. Das sukzessive Betätigen aller Motoren erzeugt eine kontinuierliche Bewegung. Der Stromverbrauch des Gesamtsystems wird reduziert, da zu jeder Zeit mindestens ein Motor stillsteht und sich die Stromaufnahme um die der stillstehenden Motoren verringert.

Elliptec Resonant Actuator AG, Sigrun Selke, Tel.: + 49 231 292 702 93, E-Mail: selke@elliptec.com, www.elliptec.com

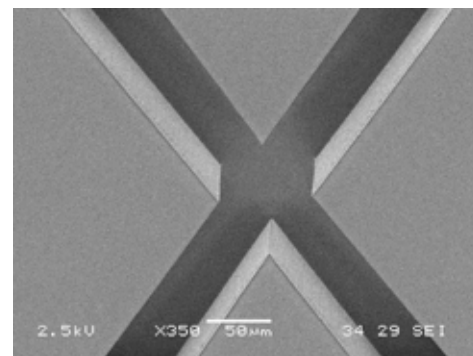


Quelle: Elliptec AG.

### Effizienter Einsatz von Mikroreaktoren in der chemischen und pharmazeutischen Industrie

Mikroreaktoren werden genutzt, um Prozesse in der chemischen und pharmazeutischen Industrie effektiv und sicher durchzuführen. Mikroreaktoren bestehen aus Kanälen mit Durchmessern von 50 bis 3.000 µm, wobei das Ausgangsmaterial Glas, Silizium, Keramik, Metall oder ein Polymer sein kann. Mit dem Zusammentreffen zweier Grundstoffe in den Mikrokanälen beginnt dort die chemische Reaktion. Die Grundstoffe werden hierbei kontinuierlich zugeführt. Durch den geringen Inhalt von Mikroreaktoren sinken die Produktion von giftigen oder explosiven Stoffen, das Risiko unkontrolliert ablaufender Reaktionen und damit das Nutzungsrisiko. Ein Beispiel einer Reaktion, die in großen Mengen gefährlich und explosiv wird, aber in einem Mikroreaktor unkritisch verläuft, ist die Produktion von Nitroglycerin. Die Kombination von mehreren Prozessschritten in einem Reaktor führt außerdem zu kürzeren Durchlaufzeiten; die totale Selektivität im Mikroreaktor kann sich verdoppeln. Hierdurch wird die Hälfte der Energie, aber auch die Hälfte der Grundstoffe gespart. Somit lassen sich Mikroreaktoren effizienter und sicherer einsetzen. Die Firma iX-factory fertigt nach Kundenwünschen Mikroreaktoren, die Reaktionen bei Drücken bis zu 700 bar und Temperaturen bis zu 1.000 Grad Celsius realisieren.

iX-factory GmbH, Dominique Bouwes, Tel.: +49 231 4773 058 0, E-Mail: d.m.bouwes@ix-factory.de, www.ix-factory.de

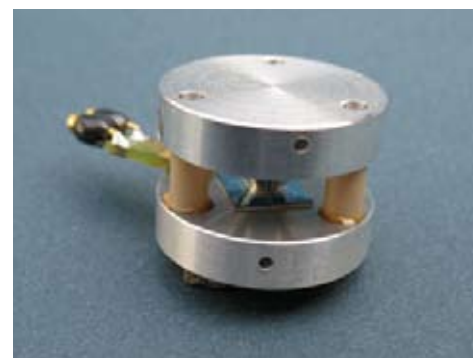


Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer DRIE-geätzten Struktur in Silizium. Quelle: iX-factory GmbH.

### Energie aus Wärme: thermoelektrische Generatoren als „Erntehelfer“

„Energie steckt überall – man muss sie nur ernten“, weiß Bernd Folkmer, der die Gruppe „Mikroenergie-technik“ am Institut für Mikro- und Informationstechnik HSG-IMIT leitet. Er entwickelt energieautonome, mobile Anwendungen wie drahtlose Sensorknoten zur Maschinenzustandsüberwachung. Diese gewinnen ihre Energie praktischerweise aus der Bewegung der Maschinen, an denen sie angebracht sind. Als „Erntehelfer“ dienen thermoelektrische Generatoren (TEG), die Temperaturdifferenzen in elektrische Spannung umwandeln. Einen ersten TEG aus dotiertem Silizium und Aluminium entwickelte das HSG-IMIT 1998 – die erzielte Leistung war allerdings gering. 2006 starteten die Entwickler einen zweiten Versuch: Ein neues Design, basierend auf der SOI-Technologie (Silicon On Insulator), musste her. Bis zu 1.000 Silizium-Schenkel sind nun konzentrisch auf einer Membran angeordnet. Sie werden durch einen Trockenätzprozess separiert; die Gruben zwischen den Schenkeln müssen jedoch aufgefüllt werden, damit die Kontaktierung mit dem zweiten Material Aluminium möglich wird. Im Gegensatz zu den alten Modulen trägt die gesamte Querschnittsfläche der Siliziumschenkel zur elektrischen Leitung bei, was den Innenwiderstand verringert und damit die erzielbare Nutzleistung erhöht.

HSG-IMIT, Institut für Mikro- und Informationstechnik, Matthias Ashauer, Tel.: +49 7721 943-229, E-Mail: matthias.ashauer@hsg-imit.de, www.hsg-imit.de



Thermoelektrischer Generator. Quelle: HSG-IMIT.

### Portable Brennstoffzellen auf dem Weg zum Prüfsiegel

Der VDE und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE haben ein Memorandum of Understanding für die Prüfung und Zertifizierung von Brennstoffzellensystemen für portable und netzferne Anwendungen unterzeichnet. Diese sind seit gut zehn Jahren Gegenstand von Forschung und Entwicklung am Fraunhofer ISE. Die Freiburger Forscher setzen auf Membranbrennstoffzellen als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbereich von wenigen Milli watt bis mehreren hundert Watt. Der rasant wachsende Markt für immer leistungsfähigere elektronische Geräte lässt erwarten, dass Brennstoffzellen sich schon bald als Versorgungseinheiten für Konsumergeräte wie Laptops oder Mobiltelefone, aber auch für Sensornetze oder in der Warenlogistik etablieren werden. Weitere mögliche Einsatzbereiche sind elektrische Fahrräder, Behindertenfahrzeuge oder mobile Roboter. Für größere Energieversorgungssysteme ist die Brennstoffzelle zur unterbrechungsfreien Stromversorgung ebenfalls eine Option: Lärmende Generatoren können durch flüsterleise Geräte ohne Schadstoffausstoß ersetzt werden. Das Potenzial der Brennstoffzelle ist enorm: Allein in Deutschland werden jedes Jahr nahezu eine Milliarde Batterien und rund 90 Millionen Akkus verkauft. Schon ein Marktanteil von nur wenigen Prozent könnte zu Stückzahlen führen, wie sie Brennstoffzellen in den kommenden Jahrzehnten wohl in keinem anderen Marktsegment erreichen werden.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Ulf Groos, Tel.: +49 7 61 45 88-52 02, E-Mail: info@ise.fraunhofer.de, www.ise.fraunhofer.de



Test-Stack aus einem Brennstoffzellen-Teststand des Fraunhofer ISE. Quelle: Fraunhofer ISE.

## IVAM-Messen und Veranstaltungen



Mit großem Erfolg präsentierten vom 21. bis 25. April 2008 73 Unternehmen und Institute auf dem 1.000 Quadratmeter großen Produktmarkt „Mikro, Nano, Materialien“ Hightech im Kleinformat. Der von IVAM organisierte Gemeinschaftsstand innerhalb der Fachmesse MicroTechnology auf der HANNOVER MESSE glänzte mit innovativen Ideen von energieeffizienten Produktionsmethoden über Lasertechnologie bis hin zu neuen Materialien. Für die HANNOVER MESSE 2009 sind ab sofort Reservierungen möglich.

### Exhibition Micromachine/MEMS

30. Juli - 1. August 2008, Tokio, JP  
IVAM organisiert am 30. Juli das Japanese-German Micro/Nano Business Forum  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

### MICRO-OPTICS – Benefits for Industry

12. August 2008, Dortmund, D  
Workshop, initiiert vom Network of Excellence in Micro-Optics NEMO in Kooperation mit IVAM  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

### Dortmunder Summer School Mikrotechnik

18.-22. August 2008, Dortmund, D  
Recruiting Event für Unternehmen der Mikro- und Nanotechnikbranche  
www.mikrotechnik-summer-school.de

### NANO KOREA

27.-29. August 2008, Seoul, KR  
IVAM organisiert am 28. August den Mikro/Nano-Business Workshop  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

### HANNOVER MESSE Laser-Herbstforum

23. September 2008, Hannover, D  
Kongress zum Thema „Laser in der Produktion – neue Möglichkeiten der Mikro- und Nanopräzisionsbearbeitung“  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

### COMPAMED/MEDICA

19.-21. November 2008, Düsseldorf, D  
Internationale Fachmesse für Medizintechnik-zulieferer. IVAM organisiert den Produktmarkt „Hightech for Medical Devices“ und das Forum  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

### MicroTechnology/HANNOVER MESSE

20.-24. April 2009, Hannover, D  
Internationale Mikrotechnik-Fachmesse. IVAM organisiert den Produktmarkt „Mikro, Nano, Materialien“ und das Forum „Innovations for Industry“  
www.ivam.de / www.neuematerialien.de

**Mehr Infos zu den Messen und Veranstaltungen von IVAM erhalten Sie von Jana Gliesche (Tel.: +49 231 9742 7081, E-Mail: [jg@ivam.de](mailto:jg@ivam.de)) und unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) / [www.neuematerialien.de](http://www.neuematerialien.de).**

## Sie möchten »inno« kostenlos abonnieren?

»inno« erscheint dreimal jährlich als PDF-Dokument.

Unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien können Sie das Magazin abonnieren oder abbestellen. Oder schreiben Sie einfach eine kurze E-Mail an [jz@ivam.de](mailto:jz@ivam.de).

Unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien finden Sie auch den Newsletter MikroMedia – und unter [www.neuematerialien.de](http://www.neuematerialien.de) › Medien die NeMa-News.

Lesen Sie auch die vergangenen »inno«-Ausgaben unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien › inno:



»inno« 39  
Lasertechnik



»inno« 38  
Beschichtungen



»inno« 37  
Systemintegration



»inno« 36  
Qualitätssicherung



»inno« 35  
Medizintechnik



»inno« 34  
Konsumgüter



»inno« 33  
Produktion



»inno« 32  
Automobiltechnik



»inno« 31  
Biomedizintechnik



»inno« 30  
Nanotechnologie



»inno« 29  
Wertschöpfung



»inno« 28  
Medizintechnik

Klicken Sie auf ein Bild, um zur jeweiligen Ausgabe zu gelangen.

Quellenangaben: »inno« 28: MCB Microsystems Center Bremen / »inno« 29: IVAM / »inno« 30: BASF AG / »inno« 31: Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik IBMT / »inno« 32: Siemens VDO / »inno« 33: Milasys technologies GmbH / »inno« 34: Bartels Mikrotechnik GmbH / »inno« 35: Campus Micro Technologies GmbH / »inno« 36: Boehringer Ingelheim microParts GmbH / »inno« 37: EZconn Europe GmbH / »inno« 38: Kunststoff-Institut Lüdenscheid / »inno« 39: SYNOVA S.A.

# 279 gute Gründe für eine Mitgliedschaft bei IVAM...

2small2see (a Grupo Protefil Company) • 3D-Micromac AG • 4M2C Patric Salomon GmbH • ACEOS GmbH • atlantis Dortmund GmbH • advico microelectronics GmbH • AGEF e.V. • ageniun systems GmbH • Aitxtooling GmbH • alpha-board GmbH • Alphasem AG • AMA Fachverband für Sensorik e.V. • AMIC Angewandte Micro-Messtechnik GmbH • AMO GmbH • Applied Microengineering LTD. • APVV Coating Technologies • Arias GmbH • artoes GmbH • ASMEC GmbH • attocube systems AG • Austral Limited • AVT-Förderverein • Axyntec Dünnschichttechnik GmbH • Bartels Mikrotechnik GmbH • BATT GmbH • Bat-tenfeld Kunststoffmaschinen Ges.m.b.H. • Bergische Universität Wuppertal • BESSY • BFI OPTILAS GmbH • BIAS • Boehringer Ingelheim microParts GmbH • Bosch Rexroth Electric Drives & Controls B.V. • AG • Bronkhorst Mättig GmbH • BRUDERER GmbH • BYTEC Medizintechnik GmbH • CADFEM GmbH • Campus Micro Technologies GmbH • CAN - Centrum für Angewandte Nanotechnologie GmbH • Capilix B.V. • Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH • centrotherm thermal solutions GmbH & Co. KG • Cetoni GmbH • Automatisierung und Mikrosysteme • Charcoal Cloth International • Cimatron GmbH • CIS Institut für Zirkonsensorik GmbH • Colandis GmbH • cplus GmbH • CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA • CSM Analytical • CytoCentrics • Dastec Reinraumzubehör GmbH & Co. KG • Datacon Technology GmbH • Delft University of Technology • Diener electronic GmbH + Co. KG • eagleyard Photonics GmbH • ECMTEC GmbH • Ehrfeld Mikrotechnik BTS GmbH • Elliptec Resonant Actuator AG • ELAMOS Semiconductor AG • Embedded Microsystems Bremen GmbH • Etchform Precision Etching & Electroforming BV • ETR Elektronik Technologie Rump GmbH • ETR-Produktion und Service GmbH • EV Group • Evatec ThinFilm Technology • EXFO • EZconn Europe GmbH • Fachhochschule Aachen • Fachhochschule Gelsenkirchen • Fachhochschule Kaiserslautern • FernUniversität Gesamthochschule Hagen • Forschungsverbund Mikro- und Nanostrukturen • Forschungszentrum Jülich GmbH • Forschungszentrum Karlsruhe GmbH • Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM • Fraunhofer-Allianz Mikroelektronik • Fraunhofer-Allianz Vision • Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT • Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP • Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik Angewandte Materialforschung IFAM • Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT • Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS • Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS • Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT • Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE • Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UM • Institut für Werkstoff-IWS • Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegrität IZM • FRT, Fries GmbH • Galvano-Technik GmbH • get-Greiner Bio-One GmbH • Happy Pla • Helmut-Schmidt-Engineering Europe Planartechnik GmbH ring • HMF GmbH • HSG-IMIT • Qualitätssicherung densanalyse GmbH • Imego AB • IMH • nization Solutions Teillungen AG • IMTEK temtechnik • iNano, Nano- und Optische schule Niederrhein • Research Institute • Institut für Mikro-Intelligent Microsysteme für Analytische nity GmbH • ISUPPLI factory GmbH • JEN- • Jenoptik Laser, Jüke Systemtechnik Weiss GmbH • KLA-Technologies GmbH Kompetenznetzwerk Wasserstoff NRW • Fab Center • Kuglertum in Leipzig gg-rtum Hannover e.V. • Göttingen e.V. • La-Dr. Kieburg GmbH • Centre • LEE Hydraulanten GmbH • Leica cess Technologies • krooptik GmbH • Lio-GmbH • Lumberg KG • mechOnics AG • MESA+ Institute for Harzbecher Medizin-technik GmbH • Mirecon GmbH • Micro Center Central-Switzerland AG • Micro Engineering Solutions • Micro Mechatronics Technologies AG • micro resist technology GmbH • Micro Systems UK LTD • Microdrop Technologies GmbH • microFAB Bremen GmbH • microfluidic ChipShop GmbH • Micromachine Center • MicroMetal GmbH • Micromotion GmbH • MicroMountains Application AG • micronit microfluidics bv • Microsystems Center Bremen (MCB) • microTEC Gesellschaft für Mikrotechnologie mbH • MicroWebFab • Mikell Oy • mikroglass chemtech GmbH • mikrotechnik Freudenreich GmbH & Co KG • MILASys technologies GmbH • MinacNed • Mitsui & Co. Deutschland GmbH • ML&C Masken Lithographie & Consulting GmbH • MMS Micro Machining Service GmbH • M-O-T GmbH • MS Schramberg Micro GmbH & Co. KG • MST Academy Müller & Müller GBR • MSTfactory dortmund GmbH • mymotors & actuators GmbH • nanoAnalytics GmbH • NanoCompound GmbH • nanoFlex GmbH • NanoFocus AG • NANOGATE AG • NANOS-Instruments GmbH • Nanoventure • NanoWorld Services GmbH • National Institute of Research and Development in Microtechnologies • NEXUS Office • NTT • OFFIS • Okmetic Oyj • Ökoplast GmbH • OPM Instruments GmbH • PARtec GmbH • pentri\* b.v. • PGE-ADENCO B.V. • Phoenix X-Ray • PiezoMotor Uppsala AB • PKT GmbH • Plan Optik AG • Poltec GmbH • primeTEC GmbH & Co KG • Prior Scientific Instruments GmbH • Process Relations GmbH • profi-con GmbH • Protron Mikrotechnik GmbH • PVA Löt- und Werkstofftechnik GmbH • RAG BILDUNG GmbH • Raih GmbH • RENA Sondermaschinen GmbH • Rheinisch-Bergisches Technologiezentrum GmbH • RKT Rodinger Kunststoff-Technik GmbH • RSM Ries System Maschinenbau GmbH • Rudolf Hillebrand GmbH & Co. KG • Ruhr-Universität Bochum • RWTH Aachen • Sensirion AG • SENTECH GmbH • Servometer/PMG, LLC • SES-Entwicklung GmbH • SFB 499 Mikrouniformen, Universität Karlsruhe • Forschungszentrum Karlsruhe GmbH • Silix Microsystems AB • Singulus Mastering B.V. • SLV Duisburg Niederlassung der GSI mbH • SmarAct GmbH • Sonosys Ultraschallsysteme GmbH • Specialty Coating Systems • SPECTRIS • SPS-Europe B.V. • SPT Roth AG • SRI International • SSE Sister Semiconductor Equipment GmbH • Standard MEMS GmbH • STEEC • Steinbeis-Transferzentrum Sensorik & Neue Technologien • SUFRAMA - Superintendency of Manaus Free Trade Zone • SÜSS MicroTec Lithography GmbH • Syntens • Syntics GmbH • Taisei Kogyo Co., Ltd. • TECAN Ltd. • TU Braunschweig • TU Chemnitz • TU Dortmund • TU München • TU Wien • TU Delft • Technologiezentrum Dortmund GmbH • technotrans AG • temicon GmbH • thinXIS Microtechnology AG • TNO Science and Industry • Trägergesellschaft Kunststoff-Institut Lüdenscheid • Trägerverein ZENIT e.V. • Tritem Microsystems GmbH • Universität Karlsruhe • Universität Köln • Universität Siegen • Universität Witten/Herdecke • Universität de Neuchâtel • UST - Umweltsensortechnik GmbH • Virtus Advanced Sensors • VTT Technical Research Centre of Finland • Weidmann Plastics Technology AG • Wilhelm Werner GmbH • Reinstwassertechnik • ZAVT GmbH • Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) • Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH ZBT • Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN) • z-werkzeugbau-gmbh



## ... und noch viel mehr:

- **Technologiemarketing:** IVAM schafft Businessplattformen, z.B. auf der Microtechnology/Hannover Messe oder der Compamed/Medica in Düsseldorf
- **Kommunikation:** IVAM unterstützt Sie mit einer umfassenden Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
- **Internationalisierung:** IVAM begleitet seine Mitglieder ins Ausland und ist in Japan und Korea aktiv
- **Recruiting:** IVAM organisiert die Dortmunder Summer School Mikroelektronik
- **Networking:** IVAM organisiert Workshops, Business-Stammtische und weitere Netzwerkveranstaltungen

Bei Fragen rufen Sie einfach an oder schreiben Sie uns!

### Ihr Kontakt:

IVAM Fachverband für Mikroelektronik  
Dr. Christine Neuy  
Telefon: +49 231 9742 167  
E-Mail: [membership@ivam.de](mailto:membership@ivam.de)  
Internet: [www.ivam.de](http://www.ivam.de) > Mitglieder > Mitglied werden