

# MEMS REPORT

1 / 2014



## INHALT

Schneller 1D-Modulator für die Laserdirektbelichtung und andere Anwendungen im ultravioletten Spektralbereich  
Neue Augen für Roboter: Fraunhofer IPMS präsentiert 3D-Kamerasystem auf der Photonics West 2014  
Optische drahtlose Datenübertragung via Infrarot



Prof. Dr. Hubert Lakner  
Institutleiter

Liebe Kunden, Partner und Freunde  
des Fraunhofer IPMS,

gemeinsam mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern blicke ich auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2013 zurück. Sowohl der ursprüngliche Teil des Fraunhofer IPMS als auch das neue Geschäftsfeld CNT konnten die selbst gesteckten Ziele in wirtschaftlicher wie technisch-wissenschaftlicher Hinsicht erreichen. Der hohe Anteil von direkten Industrieerlösen an der Deckung des Institutsbudgets hat uns bestätigt, dass wir mit unseren Forschungs- und Entwicklungsthemen den Bedarf unserer Kunden richtig einschätzen und für sie ein attraktiver Partner sind. Das Ergebnis einer langjährigen strategischen Partnerschaft im Geschäftsfeld »Flächenlichtmodulatoren« stellen wir Ihnen in dieser Ausgabe des MEMS-Reports detailliert vor.

Ein wichtiges Mittel zur Pflege existierender Kundenbeziehungen als auch zur Knüpfung neuer Kontakte sind unsere Messeauftritte. Die »Photonics West« in San Francisco ist seit vielen Jahren für uns eine gute Möglichkeit, Neuheiten im Bereich der MOEMS der Öffentlichkeit zu präsentieren. Vergleichsweise neu im Messeprogramm des Fraunhofer IPMS ist die ebenfalls in den USA stattfindende »OFC«, bei der wir Neuerungen in der optischen Kommunikationstechnik zeigen. Einige Messehighlights werden Ihnen vorab in diesem MEMS-Report vorgestellt, bei dessen Lektüre ich Ihnen viele neue Erkenntnisse wünsche.

Prof. Dr. Hubert Lakner

## KURZ NOTIERT

### Wissenschaft zum Anfassen: 3 Tage Fraunhofer-Talent-School in Dresden

Im Rahmen der 5. Dresdner Fraunhofer-Talent-School konnten 28 Schülerinnen und Schüler der 9. bis 13. Jahrgangsstufe wieder einmal Wissenschaft hautnah erleben. Vom 15. bis 17. November 2013 hatten sie die Möglichkeit, den Forscherinnen und Forschern vor Ort über die Schulter zu schauen und an spannenden Projekten mitzuarbeiten. Bei der dreitägigen Veranstaltung konnten sich die Jugendlichen in verschiedenen Workshops mit Problemstellungen angewandter Forschung und Entwicklung auseinandersetzen und ihr Wissen in den Bereichen Medizintechnik, Mikroelektronik und Nanotechnologie unter Beweis stellen. Organisator der Dresdner Talent-School war das Fraunhofer IPMS. In diesem Jahr hat auch erstmalig das Fraunhofer IPMS-CNT, Center Nanoelektronische Technologien, teilgenommen und einen Workshop ausgerichtet.



DIE TEILNEHMER DER DRESDNER FRAUNHOFER-TALENT-SCHOOL

### Julia Schröder erhält Fraunhofer-Förderung »TALENTA speed up«

»Fraunhofer TALENTA« ist ein gezieltes und ganzheitliches Förder- und Entwicklungsprogramm der Fraunhofer-Gesellschaft, das speziell darauf ausgelegt ist, Wissenschaftlerinnen für die angewandte Forschung zu gewinnen und diese entsprechend in ihrer Karriereentwicklung zu fördern. Wir beglückwünschen Julia Schröder, Diplom-Physikerin mit dem Schwerpunkt angewandte Optik und Doktorandin am Fraunhofer IPMS, die sich einen der 30 Plätze des Förderprogramms »TALENTA speed up« sichern konnte. Im Rahmen ihrer Promotion wird sie federführend an der Entwicklung eines portablen multispektralen optischen Sensorsystems mitwirken.

# SCHNELLER 1D-MODULATOR FÜR DIE LASERDIREKTBELICHTUNG UND ANDERE ANWENDUNGEN IM ULTRAVIOLETTEN SPEKTRALBEREICH

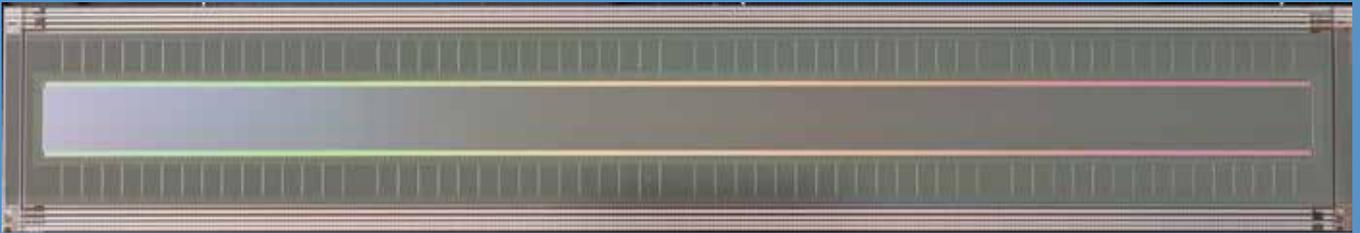


Abbildung 1: Foto des neuen Fraunhofer IPMS Lichtmodulators mit den Chipmaßen 14,9 mm x 87,5 mm



Abbildung 2: Micronic Mydatas LDI 5sp System

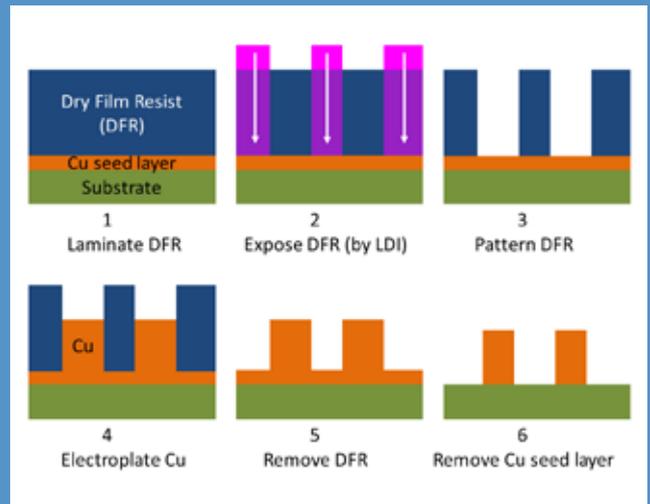


Abbildung 3: Prozessablauf »Semi Additive Metalization«

In Kooperation mit Micronic Mydata hat das Fraunhofer IPMS einen schnellen eindimensionalen Lichtmodulator (SLM) entwickelt. Der Modulator (Abbildung 1) bildet das Herzstück der neuen LDI 5sp Laserdirektbelichter des schwedischen Unternehmens (Abbildung 2). Die Systeme sollen vor allem bei der Herstellung spezieller mehrlagiger Leiterplatten mit einer hohen Dichte der Leitbahnen eingesetzt werden, die z. B. beim Packaging von Smartphone-Prozessoren verwendet werden. Erste LDI 5sp Systeme werden bereits erfolgreich bei Endkunden eingesetzt.

## Beschreibung des gegenwärtigen Anwendungsfelds

Beim Packaging hochintegrierter elektronischer Komponenten werden zunehmend spezielle high-end Leiterplatten mit besonders feinen und sehr dicht angeordneten Leitbahnen eingesetzt. Als sog. »Substrates« bilden sie eine mechanische Unterlage und die elektrische Schnittstelle zwischen integrierten Schaltkreisen und der Außenwelt oder dienen als »Interposer« dem Routing der Elektroden sowie der Bereitstellung von Massepotential und Betriebsspannung. Einige Formen der Ummantelungen (»Packages«)

für Mikrochips wie z. B. das »System-In-Package« (SIP) das u. a. für Smartphone-Prozessoren eingesetzt wird, erfordern Substrates mit einer besonders hohen Leitbahndichte und Strukturbreiten von 10 µm (etwa ¼ der Dicke eines menschlichen Haares), perspektivisch sogar darunter. Derartige Substrates werden als große Platte (»Panel«) von z. B. 510 mm x 515 mm prozessiert. Zur Erzeugung der Leitbahnebenen unter Verwendung des sog. »Semi Additive Metalization«-Prozesses (Abbildung 3) muss das Panel mehrfach mit ultraviolettem (UV) Licht bestrahlt werden, um auflaminierte Fotolacke (»Dry-Film-Resists«, DFR) zu strukturieren. Die Zwischenräume zwischen den erzeugten Lackstegen dienen während einer elektrolytischen Kupfer-Abscheidung als Schablone für die späteren Leiterbahnen. Die passgenaue Positionierung der Leitbahnebenen und ihrer Vertikalverbindungen (»Vias«) wird für schmalere Leitbahnen zunehmend schwieriger. Die Laserdirektbelichter bieten hier Vorteile gegenüber den bisher genutzten Stepper-Techniken. Durch Nutzung eines mikromechanischen Lichtmodulators (»Spatial Light Modulator«, SLM) können mit hoher Auflösung, hoher Positioniergenauigkeit und hohem Durchsatz Grauwert-Dosis-Muster flexibel in den Fotolack geschrieben werden. Dabei können u. a. mechanische Verzerrungen der Platten vermessen und berücksichtigt werden, um eine optimale Positionierung der Leitbahnebenen zu erreichen.

# SCHNELLER 1D-MODULATOR FÜR DIE LASERDIREKTBELICHTUNG UND ANDERE ANWENDUNGEN IM ULTRAVIOLETTEN SPEKTRALBEREICH

## Funktion und Eigenschaften des SLM

Der SLM wurde als Matrix elektrostatisch adressierter Kippspiegel mit graduell einstellbarer Auslenkung ausgelegt. Ein mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgenommenes Bild zeigt einzelne Aktoren im Pixelgebiet (Abbildung 4). Die nachträglich eingefügten Farben deuten an, dass Spiegel innerhalb einer Zeile mit derselben Datenspannung adressiert werden und sich synchron bewegen. Jede der 8192 Zeilen arbeitet so als »optisches Pixel« des SLM. Der in Kombination mit einer kohärenten schmalbandigen Lichtquelle (z. B. Laser) eingesetzte SLM wirkt dabei wie ein optisches Gitter mit variablem Blaze-Winkel. Einfallswinkel und Abstand der Spiegel definieren die Lage der Beugungsordnungen im Raum. Nicht ausgelenkte ebene Spiegel (idealisiert: ohne Zwischenräume) reflektieren einfallendes Licht wie ein gewöhnlicher Spiegel, d. h. in die 0. Beugungsordnung. Bereits eine winzige Verkippung der Spiegel ändert die Phase des reflektierten Lichts so, dass Anteile der Intensität in höhere Beugungsordnungen umverteilt werden. Wird die Spiegelkante um etwa  $\frac{1}{4}$  der Wellenlänge ausgelenkt, sinkt die Intensität der 0. Ordnung auf Null. Im LDI-System wird ein Laserstrahl mit rechteckigem Querschnitt am SLM reflektiert und in eine relativ zum Substrat bewegte Linie abgebildet. Aufgrund einer in der Fourier-Ebene des optischen Systems angeordneten Blende trägt nur die Intensität in der 0. Beugungsordnung zur Helligkeit der Linie bei. Die graduell einstellbaren Kippwinkel der 8192 optischen Pixel des SLM bestimmen so die graduell einstellbare Helligkeit entlang der abgebildeten Linie. Durch Ausnutzung der Grauwert-Fähigkeit lassen sich Hell-Dunkel-Übergänge extrem genau platzieren. Der SLM enthält keine integrierte CMOS-Ansterelektronik. Die 8192 Datenkanäle und Versorgungsspannungen werden direkt von einer externen

Elektronik angesteuert. Die Pixel können parallel im MHz-Bereich moduliert werden. Der so ermöglichte kontinuierliche Schreibprozess führt zu einem hohen Durchsatz und in Kombination mit einem hohen optischen Füllgrad des SLM zu einer hocheffizienten Ausnutzung der Lichtquelle.

SLM Parameter	Wert
Anzahl der Pixel (Auflösung)	8192
Maße des Chips	14,9 mm × 87,5 mm
Maße des Pixelgebiets	3,9 mm × 81,9 mm
Zielwellenlänge	355 nm
Auslenkung (Spiegelkante)	> 110 nm
Füllgrad des Pixelgebiets	> 90 %
Spiegel-Reflektivität	> 85 %
Spiegel RMS Rauigkeit	< 7 nm

Tabelle 1: Zusammenfassung der SLM Parameter

## Der SLM im Praxistest

Während der Entwicklung der LDI 5sp Systeme hat der neue Modulator verschiedenste Funktionstests und Prüfungen erfolgreich bestanden. Inzwischen sind LDI 5sp Systeme kommerziell verfügbar und erfolgreich bei Endkunden im Einsatz. Zum Beleg zeigt Abbildung 5 ein REM-Bild eines Substrat-Panels mit einem strukturierten 25 µm dicken Lack über einer Kupfer-Schicht. Die Lackstege in Bildmitte sind 10 µm breit. Weitere Details zum SLM und dessen Anwendungen werden auf der Konferenz »Photonics West« in San Francisco, USA, vorgestellt (Beitrag 8977-21).

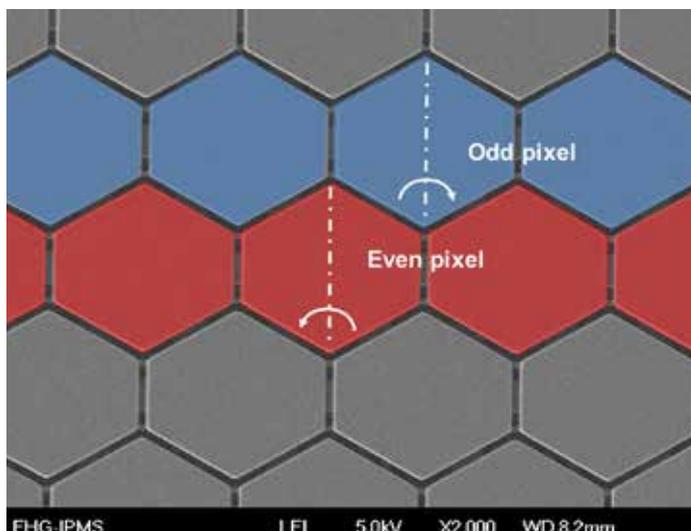


Abbildung 4: Spiegel im Aktivgebiet des SLM (nachträglich eingefügte Färbung)

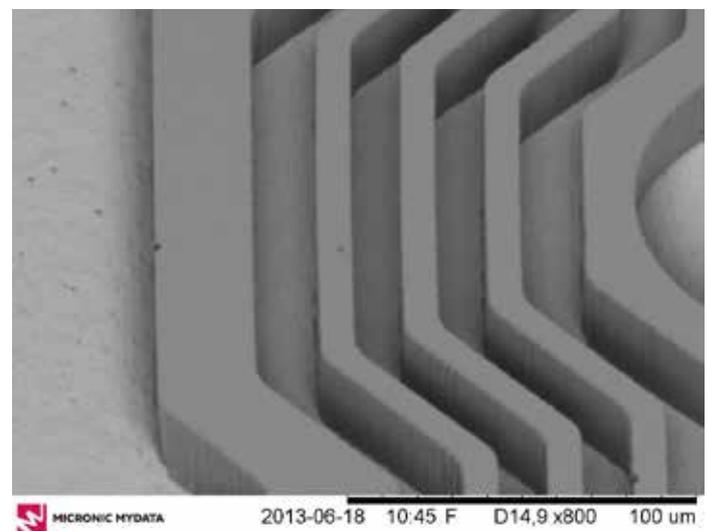


Abbildung 5: 25 µm dicker Lack (DFR) über Cu Schicht. Die Lackstege in Bildmitte sind 10 µm breit.

## DR. JAN-UWE SCHMIDT IM INTERVIEW

Was war der Auslöser, die Entwicklung eines eindimensionalen (1D) Lichtmodulators (SLM) zu beginnen? Waren die bisher hergestellten zweidimensionalen (2D) Modulatoren hier nicht anwendbar?

**Jan-Uwe Schmidt:** »1D- und 2D-SLM werden in verschiedenen Anwendungsfällen eingesetzt. 2D-SLM eignen sich gut für gepulste Laserquellen mit Repetitionsraten im kHz-Bereich. Die relativ lange Zeit zwischen den Laserpulsen kann dann zur Aktualisierung der Bildinformation genutzt werden. 1D-SLM können wesentlich schneller moduliert werden und sind so perfekt für die Anwendung mit quasi-kontinuierlichen (hoch-frequent gepulsten) Laserquellen und höhere Intensitäten geeignet: Da eine höhere Repetitionsrate des Lasers bei gleicher mittlerer Intensität zu geringeren Pulsenergien führt, wird eine Degradation der Spiegel vermieden und eine hohe SLM-Lebensdauer erreicht.«

Wie würden Sie die Zusammenarbeit mit Micronic Mydata während der Entwicklungsphase des Projekts beschreiben?

**Jan-Uwe Schmidt:** »Durch den Abschluss eines Rahmenvertrags wurde sehr rasch ein vertrauensvoller Austausch von Wissen ermöglicht. Experten verschiedener Bereiche bei Micronic Mydata und am Fraunhofer IPMS konnten dadurch Hand in Hand arbeiten um die optimale Strategie und die besten Lösungsansätze für Herausforderungen zu finden. Diese enge und intensive Art der Zusammenarbeit hat sicher viel zum Erfolg des Projekts beigetragen. Es war großartig mitzuerleben, wie eine Idee gemeinsam zu einem Systemkonzept weiterentwickelt und zu einem kommerziellen Produkt umgesetzt wurde.«

Was waren die größten Herausforderungen bei der Entwicklung des SLM?

**Jan-Uwe Schmidt:** »Das Fraunhofer IPMS besitzt ein umfangreiches Know-how bei der Entwicklung und Fertigung von monolithisch auf CMOS-Wafern integrierten SLM. Davon profitieren neue Projekte. Für den neuen 1D-SLM ohne integrierte CMOS Elektronik waren die Aufbau- und Verbindungstechnik, sowie wichtige Charakterisierungs- und Testverfahren komplett neu zu entwickeln. Für die permanent ausgelenkten Aktoren wurde ein besonders stabiles Auslenkverhalten benötigt – und durch den Einsatz geeigneter Federmaterialien erreicht.«



*Dr. Jan-Uwe Schmidt ist Project Manager des LDI-SLM Entwicklungsprojekts am Fraunhofer IPMS. Nach seiner Promotion im Fach Physik im Jahr 2004 arbeitete er am Fraunhofer IPMS an neuen Technologien für optische Mikrosysteme.*

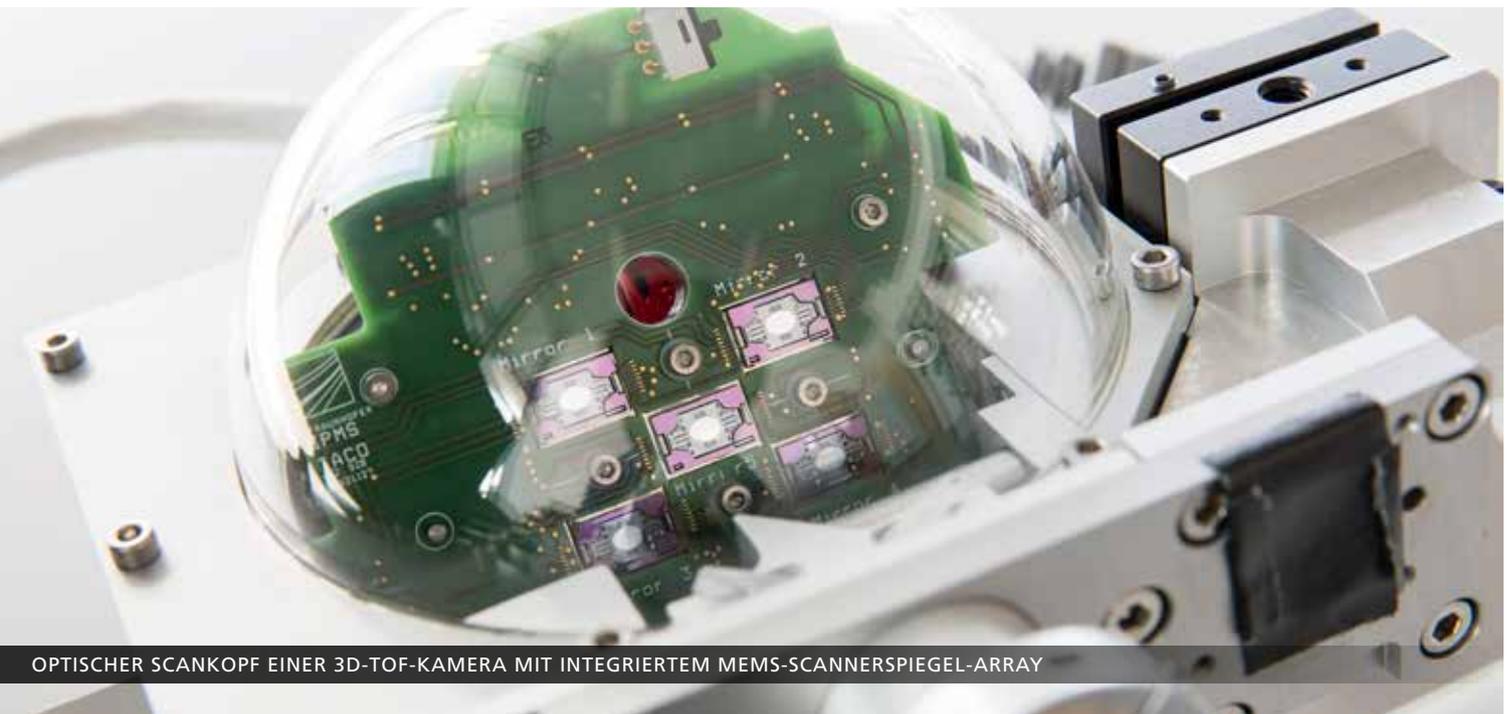
Was sind die vorteilhaftesten Eigenschaften des neuen SLM?

**Jan-Uwe Schmidt:** »Die kontinuierliche Spiegelauslenkung ermöglicht eine Intensitätsmodulation über ein diffraktives Prinzip, das die Auslenkung der Kippspiegel instantan in Grauwerte umsetzt und es gestattet, hell-dunkel Übergänge mit besonders hoher Positioniergenauigkeit auf den Substraten zu belichten. Der hohe optische Füllgrad des Spiegelarrays (Anteil der optisch nutzbaren Fläche) von etwa 90 Prozent und der kontinuierliche Schreibprozess ermöglichen hocheffiziente Belichtungsprozesse bei optimaler Ausnutzung der verfügbaren Laserleistung. Die mechanische Resonanzfrequenz der Aktoren liegt im MHz-Bereich. Die externe Elektronik, die die 8192 Pixel des SLM direkt ansteuert, schöpft dies aus und ermöglicht so eine sehr hohe Geschwindigkeit bei der Übertragung von Grauwert-Mustern auf ein Substrat.«

Gibt es weitere am Fraunhofer IPMS entwickelte SLM, die für neue Anwendungen in Betracht kämen?

**Jan-Uwe Schmidt:** »Ja. Um potentiellen Neukunden den Einstieg in neue Entwicklungsprojekte zu erleichtern, wurde am Fraunhofer IPMS ein Evaluationsbausatz entwickelt. Darin eingeschlossen ist gegenwärtig ein 2D-SLM mit monolithisch integrierter CMOS Elektronik und einer Auflösung von 256 x 256 Pixeln. Mit einer Platine und einer Software zur Ansteuerung enthält der Bausatz alles Nötige zum Betrieb des SLM in einem optischen Aufbau. Durch hohe Kippwinkel der Spiegel kann der SLM für Wellenlängen vom Ultraviolett bis zum nahen Infrarot eingesetzt werden. Gegenwärtig werden mit dem SLM u. a. flexible Erweiterungen für optische Mikroskope angestrebt.«

## NEUE AUGEN FÜR ROBOTER: FRAUNHOFER IPMS PRÄSENTIERT 3D-KAMERASYSTEM AUF DER PHOTONICS WEST 2014



OPTISCHER SCANKOPF EINER 3D-TOF-KAMERA MIT INTEGRIERTEM MEMS-SCANNERSPIEGEL-ARRAY

Farben und Helligkeiten zu unterscheiden, Entfernungen einzuschätzen, Gegenstände und Bewegungen in unserer Umgebung sekundenschnell dreidimensional zu erkennen: Was Dank Augen und Gehirn für uns Menschen ein Leichtes ist, bedeutet für Maschinen eine große Herausforderung. Weil es Robotern beim dreidimensionalen Sehen entweder an in Echtzeit aufgelösten räumlichen Informationen oder der notwendigen Schärfe mangelt oder die Fülle der erfassten Bildinformationen zu groß ist, um schnell verarbeitet werden zu können, ist es bislang nur in Ansätzen möglich, Serviceaufgaben wie Reinigung, Bau, Wartung, Sicherheit oder persönliche Betreuung von Robotern durchführen zu lassen. Das muss jedoch nicht so bleiben, finden Forscher des Fraunhofer IPMS. Die Wissenschaftler haben eine kompakte MEMS-Scantechnologie («LinScan») für ToF (Time of Flight)-Entfernungsmesssysteme entwickelt, die eine dreidimensionale Bildaufnahme mit flexibler Abtastgeschwindigkeit und somit ein Scannen mit angepasster Auflösung ermöglicht. Mit LinScan ausgestattete 3D-Kamerasysteme könnten Roboter dazu befähigen, ihr Umfeld nach im Sichtfeld auftauchenden Objekten grob abzusuchen und lediglich die gesuchten Objekte mit größerer Genauigkeit aufzulösen. Der Roboter hätte es so mit vergleichsweise geringen Datenmengen zu tun.

Voraussetzung für eine Umsetzung dieses Prinzips der Foveation ist allerdings, dass der Roboter weiß, wonach er suchen soll, und dass er in der Lage ist, die gesuchten Objekte sekundenschnell zu erkennen und zu interpretieren. Neben der Hardware (Auge) benötigt er dazu entsprechende Bildanalyse-Software-Algorithmen (Ge-

hirn). Außerdem sollte der Roboter mit Bildsensoren und -software für dreidimensionales Sehen ausgestattet sein, um ein räumliches Verständnis seiner Umwelt zu gewinnen. Um all diesen Anforderungen gerecht zu werden, arbeitete das Fraunhofer IPMS im Rahmen des Europäischen Verbundforschungsprojektes »TACO« (Three-dimensional Adaptive Camera with Object Detection and Foveation) mit vier weiteren Forschungseinrichtungen und zwei



Industrieunternehmen an der Entwicklung eines adaptiven 3D-Kamerasystems. Herzstück des Systems ist ein optischer Scankopf mit fünf synchron betriebenen LinScan-Spiegeln. Das TACO-Projekt wurde kürzlich mit der Entwicklung eines Komplettsystems abgeschlossen. Der Prototyp wird am Messestand (Stand-Nr. 4407) des Fraunhofer IPMS auf der »Photonics West« in San Francisco vom 4. bis 6. Februar 2014 erstmals dem Fachpublikum vorgestellt.

## OPTISCHE DRAHTLOSE DATEN- ÜBERTRAGUNG VIA INFRAROT

Durch die immer besser werdende technische Ausstattung von portablen Geräten wird auch das anfallende Datenvolumen immer größer und bewegt sich nicht selten im Gigabyte-Bereich. Große Bilddateien oder Full-HD-Filmsequenzen vom einen zum anderen Endgerät zu übertragen, kostet nicht nur Zeit, sondern auch viel Geduld. So kann der kabelgebundene Datentransfer manchmal mehrere Minuten in Anspruch nehmen.

Den Transfer großer Datenmengen zu beschleunigen, hat sich Dr. Frank Deicke vom Fraunhofer IPMS zum Ziel gesetzt und bedient sich dabei der optischen drahtlosen Datenübertragung via Infrarot. Als Alternative zum gängigen USB 3.0 Standard entwickelte er ein Kommunikationsmodul, das eine Datenübertragungsrate von bis zu 5 Gigabit pro Sekunde (Gbit/s) ermöglicht. »Die Nutzung von infrarotem Licht als kabelloses Übertragungsmedium ermöglicht eine hundertmal schnellere Signalverarbeitung als derzeit verfügbare Lösungen, weil die Informationen nicht erst für die Funkübertragung speziell kodiert werden müssen. Außerdem sind durch den optischen Link die Bitfehlerraten äußerst niedrig, so dass Nettodatenraten von bis zu 95 Prozent des theoretisch Möglichen erreicht werden, bei WLAN sind diese prozentual sehr viel geringer«, erklärt Deicke und zeigt noch einen weiteren Vorteil der Infrarot-Technik auf: »Der Weg über das Licht benötigt nur 15 Prozent der Energie pro Byte – davon profitieren besonders mobile, batteriebetriebene Geräte, wie Handys oder Digitalkameras«.



Einzigste Bedingung: Ähnlich wie bei der Fernbedienung, die auch mit Infrarot arbeitet, muss eine so genannte »Line-of-Sight« Verbindung bestehen, das heißt es wird eine freie Sicht zwischen Sender und Empfänger vorausgesetzt. Das Fraunhofer IPMS bietet ein Evaluation Kit an, mit dem Interessenten die Möglichkeit haben, eine optisch drahtlose Datenübertragung mit Datenraten im Multi-Gigabit-Bereich in ihrem Zielsystem zu evaluieren.

## TERMINVORSCHAU

### Photonics West

San Francisco, U.S.A. 4. - 6. Februar 2014  
Moscone Center, Halle D, Stand 4407

### OFC

San Francisco, U.S.A. 11. - 13. März 2014  
Moscone Center, Stand 4377

### Smart Systems Integration

Wien, Österreich 26. - 27. März 2014  
Austria Trend Hotel Savoyen, Stand A-02

### Photonics Europe

Brüssel, Belgien 14. - 17. April 2014  
SQUARE Brussels Meeting Centre

### Photonix

Tokio, Japan 16. - 18. April 2014  
Tokyo Big Sight, Stand 19-37

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

### Folgen Sie uns auch auf:



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



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



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



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

### 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)

