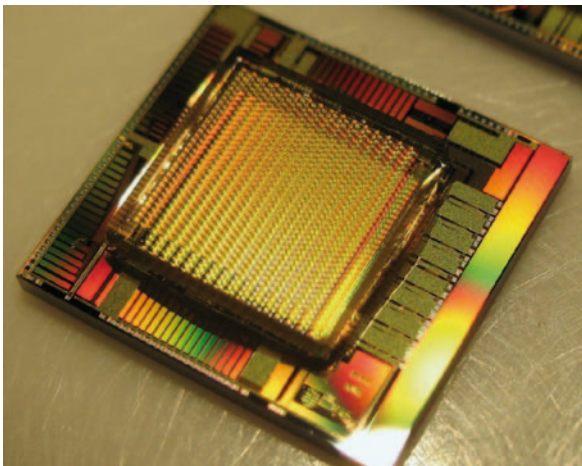


■ Sehr lichtempfindlich

Ein neuer Bildsensor erreicht einen drastisch niedrigeren Dunkelstrom bei hoher Empfindlichkeit.

Die Kollisionserkennung mit Assistenzsystemen ist für die Automobilindustrie ein wichtiges Thema. Die bildgebende Komponente eines solchen Systems muss auch bei schlechten Lichtverhältnissen und größeren Entfernungen schnell



Fraunhofer IMS

tronische Schaltungen und Systeme (IMS) in Duisburg entwickelt. Die Sensoren werden in einem standardisierten CMOS-Prozess gefertigt. Der Demonstrator besteht aus einem Array mit 64×32 Pixeln. Jedes Pixel ist $150 \times 150 \mu\text{m}^2$ groß und hat eine lichtempfindliche Fläche von $30 \mu\text{m}$ Durchmesser. Den Rest der Fläche beanspruchen die Begrenzungsschaltung, damit die Diode nicht geschädigt wird, und die Ausleseelektronik. Dank einer modifizierten Passivierungsschicht ist der Sensor bis Wellenlängen von 200 nm empfindlich; sein Dunkelstrom ist um den Faktor 1000 niedriger als bei bisherigen CMOS-basierten SPAD-Sensoren.

■ Blick unter die Haut

Mit einer verbesserten optischen Kohärenztomografie lassen sich hochaufgelöste Bilder von Hautkarzinomen *in vivo* aufnehmen.

Bildgebende Verfahren in der medizinischen Diagnose können dazu beitragen, dass die Zahl der chirurgischen Eingriffe sinkt. So findet die optische Kohärenztomografie (OCT) in der Augenheilkunde und Dermatologie Anwendung. Bei der OCT dient ein Laserstrahl zur Entfernungsmessung streuender Materialien mithilfe eines Interferometers. Das Untersuchungsobjekt wird punktweise abgetastet. Dermatologen wissen, dass verschiedene pathologische Veränderungen im Gewebe sich bereits in einem sehr frühen Stadium in der Struktur und Durchblutung der Gefäße bemerkbar machen. Für tomografische Verfahren erfordert das eine Auflösung kleinster Strukturen (etwa $10 \mu\text{m}$) über einen Tiefenbereich



MedUni Wien/A. Kawka

Die optische Kohärenztomografie ermöglicht die nichtinvasive Untersuchung von Hautkarzinomen.

im Gewebe von bis zu 2 mm . Um Bewegungsartefakte möglichst zu vermeiden, muss die Bildaufnahme schnell erfolgen. Das begrenzt bislang die Möglichkeiten der OCT. Wissenschaftlern der Medizinischen Universität Wien und der LMU München ist es nun gelungen, die OCT näher an den Klinikalltag heranzuführen.¹⁾

Sie haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich erstmals die Gefäßversorgung eines Hautkarzinoms bei Menschen auf mikroskopischer Ebene abbilden lässt – nichtinvasiv, am Ursprungsort, im lebenden Organismus. Zwei Dinge waren hierfür ausschlaggebend: Erstens erzeugt das Gerät zur Beleuchtung des Gewebes ein Bessel-Strahlprofil (1310 nm Wellenlänge), was eine größere Schärfentiefe ermöglicht als ein Gauß-Strahlprofil. Zweitens erreicht das Gerät eine hohe Scanrate von $440\,000$ Tiefenprofilen pro Sekunde, was wichtig ist für einen hohen Kontrast bei kleinsten Gefäßen in der Haut. Üblich sind bei der OCT $20\,000$ bis $60\,000$ Tiefenprofile pro Sekunde. Das Wiener Verfahren wird nun in einer klinischen Studie evaluiert.

■ Effizienter beschichten

Ionenenergie und -fluss lassen sich bei der Plasmabeschichtung unabhängig voneinander einstellen.

Die Plasmabeschichtung ist in vielen Bereichen von der Solarzellen- bis zur Halbleiterfertigung unersetzlich. Industrielle Plasmareaktoren bestehen aus zwei plattenförmigen, mehreren Quadratmeter großen Elektroden, die nur wenige Zentimeter voneinander entfernt sind. Zwischen ihnen wird mittels einer hochfrequenten Wechselspannung das Plasma erzeugt. Mit den Radikalen im Plasma lassen sich auf einer Elektrode befindliche Substrate beschichten. Gleichzeitig treffen aber auch Ionen auf, deren Energie die Eigenschaften der abgeschiedenen Schichten maßgeblich beeinflusst. Die Geschwindigkeit der Beschichtung skaliert mit der Plasmadichte und

Die Kollisionserkennung in Fahrzeugen erfordert schnelle, lichtempfindliche Bildsensoren, wie diesen SPAD-Sensor.

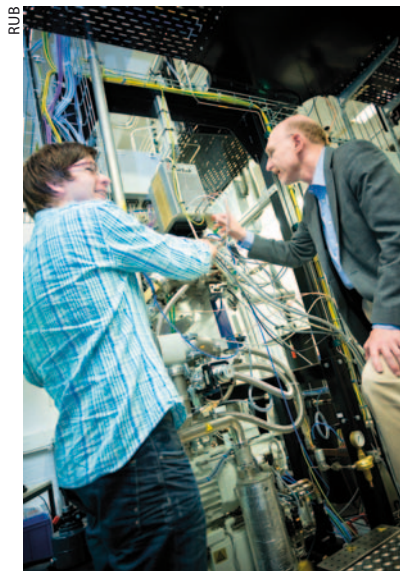
Informationen liefern. Für die Entfernungsmessung bieten sich Time-of-Flight-Kameras an, die ähnlich wie ein Laserscanner funktionieren, aber eine ganze Szene auf einmal aufnehmen können. Der Bildsensor muss also sehr lichtschwache Signale mit hoher zeitlicher Auflösung detektieren. Bei der Positronen-Emissions-Tomografie, wo ähnliche Anforderungen bestehen, kommen dafür Single Photon Avalanche Dioden (SPADs) zum Einsatz. Sie beruhen auf einem umgekehrten p-n-Übergang, der oberhalb der Durchbruchspannung betrieben wird. Dies ermöglicht sehr hohe Verstärkungen, sodass bereits ein einzelnes Photon eine leicht messbare Ladungslawine auslöst. Die Detektorelektronik stellt sicher, dass die Diode nicht zerstört wird und schnell wieder einsatzbereit ist. SPADs sprechen innerhalb eines zweistelligen Pikosekundenbereichs wieder an.

SPAD-Sensoren mit solchen Eigenschaften hat nun ein europäisches Konsortium aus Industrie und Forschungseinrichtungen unter der Projektleitung des Fraunhofer-Instituts für Mikroelek-

1) C. Blatter et al., *Bio-med. Opt. Express* **3**, 2636 (2012)

2) E. Schlügel et al., *J. Appl. Phys.* **112**, 053302 (2012), S. Iwashita et al., *Plasma Sources Sci. Technol.* **21**, 032001 (2012)

3) A. Krause et al., *Nature Photonics*, DOI: 10.1038/nphoton.2012.245, 14. Oktober 2012



Forscher an der Ruhr-Uni Bochum haben den elektrischen Asymmetrieeffekt für die Plasmabeschichtung entdeckt.

damit mit dem Ionenfluss. Beide Größen, Ionenenergie und -fluss, hängen wiederum mit der Amplitude der angelegten Spannung zusammen und sind daher stark korreliert. Einer Arbeitsgruppe von der Ruhr-Universität Bochum ist es erstmals gelungen, Ionenenergie und -fluss unabhängig voneinander einzustellen.²⁾

Sie überlagern dazu zwei Schwingungen bei einer Grundfrequenz (13,56 MHz) und der doppelten Frequenz, was zu einer Schwebung führt. Das Verhältnis von maximaler zu minimaler Spannung ist damit eine Funktion der Phase zwischen den beiden Schwingungen. Die Erhaltung der positiven Raumladung in den Randschichten erfordert gleiche Absolutwerte der Extrema. Daher bildet sich eine Gleichspannung aus, deren Wert über die Phase einstellbar ist. Entsprechend dieses Wertes nimmt die Ionenenergie an einer Elektrode zu und an der anderen ab. Dabei bleiben Plasmadichte und Ionenfluss nahezu unverändert. Dank dieses elektrischen Asymmetrieeffekts lässt sich die Ionenenergie über die Phase unabhängig vom Fluss einstellen.

Das Prinzip ist an einem industriellen Plasmareaktor erfolgreich erprobt und weltweit patentiert worden. Die RUB-Physiker wirken nun an einem Forschungsprojekt für Dünnschichtsolarzellen mit.

■ Sensorprinzip in Miniatur

Dank optomechanischer Kristalle passen optische Beschleunigungssensoren in einen Mikrochip.

Beschleunigungssensoren finden sich in Smartphones, Autos oder Industriemaschinen. Maßgeblich dafür ist, dass sie wenig Platz brauchen und sich sehr kostengünstig herstellen lassen. Die Beschleunigung wird dabei unterschiedlich detektiert; optische Verfahren haben jedoch das Problem, dass sie sich nur schlecht auf Mikrochips integrieren lassen oder ihre relativ großen Testmassen nur geringe Bandbreiten erlauben. Wissenschaftler des Caltech in Pasadena haben das optomechanische Prinzip eines Beschleunigungssensors präsentiert, das diese Nachteile nicht hat.³⁾

Die Forscher haben Kristalle hergestellt, in denen optische und mechanische Schwingungen stark miteinander wechselwirken: Die mechanische Deformation einer schwingenden linienförmigen Struktur aus Siliziumnitrid führt dazu, dass sich deren optische Eigenschaften verändern. Umgekehrt beeinflusst eine Lichtwelle im Kristall dessen mechanisches Schwingungsverhalten.

Im Sensor liegen zwei Kristalle dicht nebeneinander und bilden einen optischen Resonator. Ein Kristall ist am Substrat befestigt, der zweite mit einer Testmasse verbunden. Erfährt der Sensor eine Beschleunigung, beginnt die Testmasse zu schwingen. Das wirkt sich wiederum auf die Eigenschaften des optischen Resonators aus.

Die Bandbreite des Demonstrators beträgt 20 kHz – nach unten wird sie durch Störungen in den angeschlossenen Glasfasern begrenzt, nach oben durch das thermische Rauschen des mechanischen Resonators. Der Aufbau ist in puncto Auflösung bereits mit den besten kommerziellen Beschleunigungsmessern vergleichbar. Ihn zusammen mit einer Laserdiode auf einen Chip zu integrieren, wäre problemlos möglich.

Michael Vogel