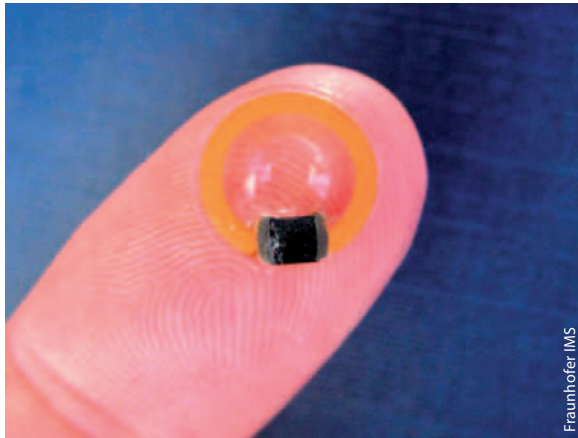


## ■ Knopf im Auge

**Ein Implantat befreit Patienten, die an Grünem Star erkrankt sind, von häufigen Arztbesuchen.**

Rund 500 000 Deutsche leiden an erhöhtem Augeninnendruck, der zum Grünen Star und damit zum Absterben von Nervenfasern



Fraunhofer IMS

Am Rand der künstlichen Linse sitzt ein Sensor, der den Augeninnendruck misst.

führen kann. Gesichtsfeldbeschränkungen oder gar Erblindung sind die Folge, wenn der Druck nicht mit Medikamenten gesenkt wird. Im Alter erkranken diese Patienten oft am Grauen Star, einer Trübung der Augenlinse. Rund 600 000 Operationen, bei denen sie die Augenlinse durch ein Implantat ersetzen, führen Ärzte hierzulande jährlich durch. Aber auch nach der Operation ist es wichtig, den Augeninnendruck regelmäßig zu kontrollieren, da er häufig schwankt.

Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) in Duisburg haben einen integrierten Sensor entwickelt, der den Augeninnendruck ständig überwacht. Das System besteht aus einer künstlichen Linse, in der ein passiver Transponderchip mit einem monolithisch integrierten kapazitiven Drucksensor sowie einer Antennenspule verkapselt sind. Die Spule dient der drahtlosen Datenübertragung sowie der Energieversorgung.

Die Wissenschaftler haben den Chip in einer 1,2- $\mu\text{m}$ -CMOS-Technologie gefertigt. Eine Schicht Polysilizium dient als Membran, den Hohlraum zwischen den beiden Elektroden des kapazitiven Sensors haben die Forscher über Ätzkanäle ausgehöhlt und diese anschließend

unter Vakuumbedingungen wieder verschlossen. Eine solche Sensordose hat eine Kapazität von 30 Femtofarad und kommt mit weniger als 250 Mikroampere Strom aus. Die Elektroden sind weniger als 1  $\mu\text{m}$  voneinander entfernt.

Mit dem Sensor ist der Augeninnendruck im Bereich von 0,8 bis 1,15 bar auf 3,5 mbar genau messbar. Die Daten lassen sich per induktiver Kopplung bei 13,56 MHz auslesen. Die Empfangsspule ist in ein Brillengestell integriert und leitet die Daten per Kabel zu einer Basiseinheit weiter, die der Patient am Körper trägt. Da sie über eine Bluetooth-Schnittstelle verfügt, kann der Arzt die Werte bequem in sein Patientensystem einlesen. Das Augenimplantat durchläuft derzeit klinische Studien, in zwei bis drei Jahren könnte es regulär zum Einsatz kommen.

## ■ Strom aus Papier

**Aus einem elastischen Nanokomposit lassen sich Batterien und Kondensatoren aufbauen.**

Leicht, klein und flexibel soll die Stromversorgung künftiger elektronischer Geräte sein, die auch selbst immer kleiner werden. Ein interdisziplinäres Wissenschaftlerteam des US-amerikanischen Rensselaer Polytechnic Institute in Troy (New York) hat auf der Suche nach dieser idealen Stromquelle einen interessanten Ansatz gefunden.<sup>1)</sup>

Die Forscher nutzen als Ausgangsmaterialien Zellulose und Kohlenstoff-Nanoröhrchen, wobei letztere als Elektroden dienen. Sie ließen die Nanoröhrchen mithilfe einer thermisch-chemischen Gasphasenabscheidung auf einem Siliziumsubstrat aufwachsen. Die Zellulose lösten sie in einer hydrolysestabilen ionischen Flüssigkeit und ließen sie dann in die Kohlenstoffröhrchen einsickern. So erhielten sie eine gleichmäßige Schicht aus ionischer Flüssigkeit, Nanoröhrchen und Zellulose. Nach der Verfestigung, Waschung und Vakuumtrocknung konnten sie das Nanokompositpapier vom Substrat ablösen.

Das Papier besitzt hervorragende mechanische Eigenschaften – es lässt sich zusammenrollen, verdrehen und verbiegen – und ist nur einige Zehntel Mikrometer dick. Um die Ausgangsleistung zu steigern, lassen sich mehrere Streifen stapeln. Aus dem Nanokomposit haben die Forscher funktionierende Batterien, Doppelschicht-Kondensatoren und Hybridsysteme aufgebaut. Sie maßen bei Zimmertemperatur für den Doppelschicht-Kondensator Leistungsdichten von 1,5 W/kg, was mit kommerziell erhältlichen Bauteilen vergleichbar ist. Nach 100 Lade-Entlade-Zyklen lieferte er immer noch gute Werte. Auch von wechselnden Umgebungstemperaturen zwischen 195 und 423 K zeigte sich der Kondensator unbeeindruckt. Für eine Lithium-Ionen-Batterie verwendeten die Forscher das Nanokomposit ohne ionische Flüssigkeit als Kathode und eine dünne Lithiummetallschicht als Anode. Als Elektrolyt diente eine Lithiumverbindung. Die Lade-Entlade-Zyklen maßen die Forscher zwischen 3,6 und 0,1 V, bei einem konstanten Strom von 10 mA/g.

## ■ Wächter im Rohr

**Ein Sensor erfasst Strömungsmuster elektrisch neutraler Fluide.**

In vielen industriellen Anwendungen, wie z. B. Leitungen in Chemieanlagen und Leichtwasserreaktoren, spielen Mehrphasenströmungen eine wichtige Rolle. Sog. Gittersensoren können Strömungen in Rohren zeitlich und räumlich aufgelöst erfassen. Solche Sensoren bestehen aus einem Gitter rechtwinklig zueinander stehender Drähte, die als Elektro-



FZD

Der Kapazitäts-Gittersensor vermisst komplexe Strömungsmuster.

1) V. L. Pushparaj et al., Proc. Nat. Acad. Sc. 104, 13574 (2007)

2) M. J. da Silva et al., Measurement Science and Technology 18, 2245 (2007)

den dienen und sich über den gesamten Querschnitt eines Rohres erstrecken. Sie stehen senkrecht zur Strömung. Das Gitter hat eine typische Maschengröße von 2 mm. Mit elektronischer Hilfe lässt sich so die Leitfähigkeit an jedem Gitterpunkt messen, indem man einen bipolaren Spannungspuls an eine der Senderelektroden anlegt, während alle anderen parallelen Senderelektroden geerdet bleiben. Über die Empfängerelektroden in der zweiten Drahtebene lässt sich dann der Stromfluss messen.

Solche Sensoren können jedoch nur Mehrphasenströmungen erfassen, bei denen eine Phase elektrisch leitend ist. Diese Beschränkung hat eine Arbeitsgruppe um Uwe Hampel am Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) nun überwunden.<sup>2)</sup> Anstelle eines Sensors für Leitfähigkeitsmessungen entwickelten sie einen für Kapazitätsmessungen. Er ist in der Lage, auch Strömungen in Gasen und organischen Fluiden zu erfassen. Die hierfür eingesetzte Auslese-Elektronik kann noch winzige Kapazitäten im Bereich von nur wenigen Femtofarad sehr schnell erfassen. Das Labormuster kann komplette Bilder einer Fluidverteilung in einem Strömungsquerschnitt mit einer Bildrate von 625 Hz darstellen. Mit einer verbesserten Elektronik zur Signalverarbeitung sollen künftig jedoch Frequenzen von mehr als 10 kHz erreichbar sein.

## ■ Geschüttelt und geleert

**Dank neuer Beschichtungen bleibt weniger Inhalt in Verpackungen zurück.**

So viel man auch klopft und schüttelt, der Rest Ketchup will einfach nicht aus der Flasche fließen. Auch bei Körperpflegemitteln stecken teilweise noch bis zu 20 Prozent des Inhalts in der Verpackung, wenn diese in den Müll wandert. Beim Recycling kommen die verunreinigten Verpackungen jedoch teuer zu stehen, weil die ausgespülten Reste mancher Chemikalien oder Medikamente fachmännisch zu entsorgen sind.



In beschichteten Flaschen (rechts) bleibt weniger Inhalt haften.

So wird fleißig nach Verpackungsbeschichtungen gesucht, die dieses Problem lindern sollen. Neben den Fraunhofer-Instituten für Verfahrenstechnik und Verpackung (Freising) und Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (Stuttgart) sowie der TU München arbeiten u. a. Nestlé und mehrere Verpackungsmaterialhersteller an dem Projekt mit. In Stuttgart bedampfen die beteiligten Wissenschaftler entsprechende Materialien mit dünnen Schichten, die die Adhäsionskräfte der Füllgüter senken sollen. Dazu nutzen sie Niederdruck-Plasmaverfahren, bei denen dünne Schichten durch chemische Reaktionen aus der Gasphase abgeschieden werden. Die Projektbeteiligten experimentieren dabei sowohl mit hydrophoben Materialien (Silane, Siloxane, Fluorsilane und Fluorkohlenstoffe) als auch mit hydrophilen (Stoffe mit Hydroxyl- oder Carboxylgruppen). Denn verschiedene Füllgüter zeigen sehr unterschiedliche Wechselwirkungen mit der Oberfläche.

Die Dicke der Schichten lässt sich über Druck, Behandlungsdauer und eingespeiste Leistung steuern. Bei hydrophoben Beschichtungen genügen bereits 5 bis 10 nm. Das Ziel sind möglichst dünne Lagen, da sie wirtschaftlicher sind, nicht bei der Versiegelung der Verpackungsmaterialien stören und gesundheitlich unbedenklich bleiben. In zwei bis drei Jahren könnten die Ergebnisse auf industriellen Maßstab übertragen sein. Behandelte Flächen sollen dann die in der Verpackung verbleibenden Restmengen künftig halbieren.

**Michael Vogel**