

Manuel Pietsch, KIT

Das bioabbaubare Display lässt sich guten Gewissens wegwerfen.

## Bioabbaubare Elektronik

Ein gedrucktes Display besteht nur aus nachhaltigen oder inerten Materialien.

Wearable Electronics können nicht nur die Funktionalität von Produkten erhöhen, sondern auch mehr Elektronikabfälle verursachen. Beispiele für solche Systeme sind Sensoren zur Überwachung von Vitalwerten oder von Kühlketten. Die meist kurzlebigen Anwendungen haben nach Stunden oder Tagen ihren Zweck erfüllt. Gerade in der medizinischen Diagnostik oder in der Verpackungsindustrie sind solche Systeme nur aufwändig für die Wiederverwendung aufzubereiten. Ein Team des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) hat ein Display entwickelt, das nicht zum Elektronikabfall wird, weil es bioabbaubar ist.<sup>1)</sup>

Der Demonstrator beruht auf dem elektrochromen Effekt und verändert bei angelegter Spannung seine Transparenz. Als aktives Material dient das elektrisch leitfähige Polymer PEDOT:PSS. Die Elektroden bestehen aus Gold, der Elektrolyt aus einem Gelatine-Hydrogel mit eingelagerten Salzionen. Als Substrat für das per Tintenstrahldruck hergestellte Display kommt Cellulose-Diacetat zum Einsatz. Sämtliche Herstellungsschritte sind im Rahmen einer industriellen Fertigung skalierbar.

Das Display erreicht einen Kontrast von  $(32 \pm 4)$  Prozent und eine

Schaltzeit von  $(3,0 \pm 1,4)$  Sekunden. Dies ist vergleichbar mit einem rotationsbeschichteten Referenzdisplay auf einem Glassubstrat. Durch einen unabhängigen Test wurde das System gemäß ISO 14855 als bioabbaubar zertifiziert. Dank Gelatine-Elektrolyt ist das Display adhäsiv und passt sich gut an Oberflächenkonturen an: Es lässt sich direkt auf der Haut tragen, ohne sich bei Bewegungen abzulösen. Dermatologische Tests stehen noch aus. In mechanischen Tests erwies sich das Display als robust gegenüber Dehnungen und starken Verformungen.

## Mikrooptik nach Maß

Mit 3D-Laserlithografie lassen sich photonische Strukturen mit räumlich veränderlichem Brechungsindex erzeugen.

Das direkte Laserschreiben (DLW) erlaubt es, dreidimensionale photonische Strukturen herzustellen. Die Strukturen entstehen dabei in einem Fotolack durch Femtosekundenlaserpulse, die eine Mehr-Photonen-Polymerisation auslösen – mit Voxelgrößen im Submikrometerbereich. Linsen, Wellenleiter, photonische Kristalle und weitere optische Elemente lassen sich so fertigen. Das verwendete Fotopolymer legt den resultierenden Brechungsindex fest. Technisch wäre noch mehr möglich, wenn bei der Herstellung einer Optik der Brechungsindex variabel einstellbar wäre. Ein Team der University of



University of St. Andrews

Unter Wasser behält die OLED ihre Eigenschaften weitgehend unverändert bei.

Illinois in Urbana-Champaign, USA, hat ein solches Verfahren entwickelt.<sup>2)</sup>

Die Forscher nutzen Silizium oder Siliziumdioxid als Gerüst, in dessen Poren sie Fotolack einlagern. Fokussieren sie den Laserstrahl auf die Poren, bestimmt die Dauer der Einstrahlung lokal den Grad der Polymerisation des Fotolacks. So resultiert durch die Menge des polymerisierten Lacks ein räumlich veränderlicher Brechungsindex, der in einem Bereich von mehr als 0,3 variiert. Die Poren verursachen wenig Streulicht, weil ihre typischen Durchmesser von 60 nm deutlich kleiner sind als die Wellenlängen im Sichtbaren und Infrarot.

Mit diesem Verfahren fertigte und charakterisierte das Team Linsen, ein zweilinsiges Objektiv mit Luftspalt, eine Lüneburg-Linse (mit 15  $\mu\text{m}$  Durchmesser die kleinste per DLW erzeugte Linse für sichtbares Licht) sowie einen Wellenleiter mit gekoppeltem Mikroringresonator.

## Ultradünne OLED

Eine neuartige Verkapselung macht organische Leuchtdioden mechanisch flexibel und schützt sie.

Die ersten kommerziell erhältlichen flexiblen Displays sind hunderte Mikrometer dick und bestehen aus vorgefertigten flexiblen Substraten, einer Hülle und meistens zusätzlichen Barrierschichten zum Schutz vor der Umgebung. Diese Einzelkomponenten sind im Display miteinander verklebt, sodass es zwar stabil, aber auch schwer und mechanisch wenig flexibel ist. Nachteilig ist dies für aufrollbare oder faltbare Displays, für Displays, die in Arbeitsflächen, Kleidung oder Verpackungen integriert werden, oder für Anwendungen in der biologischen Grundlagenforschung.

Ultradünne organische LEDs (OLEDs) gelten als ideales Basiselement für wirklich flexible Displays. Allerdings waren sie bislang nicht ausreichend verkapselt, um die empfindlichen organischen Halbleiter dauerhaft vor Feuchtigkeit und Sauerstoff zu schützen. Das ist nun einem Team der schottischen University of St. Andrews gelungen.<sup>3)</sup>

1) M. Pietsch et al., *J. Mater. Chem. C* **8**, 16716 (2020)

2) C. R. Ocier et al., *Light-Sci. Appl.* **9**, 196 (2020)

3) C. Keum et al., *Nat. Commun.* **11**, 6250 (2020)

4) C. Liu et al., *Opt. Express* **29**, 145 (2020)

Die Projektbeteiligten platzierten dazu eine OLED zwischen zwei identischen transparenten Dünnschichtbarrieren. Jede Barriere besteht aus Nanolaminatschichten auf Basis von  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$  und Schichten aus Parylen C, einem etablierten polymeren Beschichtungsmaterial. Die substratlose, verkapselte OLED ist nur etwa 12  $\mu\text{m}$  dünn – wie eine Frischhaltefolie.

Verschiedene Tests zeigten, dass diese OLED wochenlang an der Luft, in Wasser oder in Nährlösungen verbleiben kann, ohne dass sich ihre elektro-optischen Eigenschaften nennenswert verändern. Auch mechanische Belastungen – 5000 Zyklen mit Krümmungen bis 1,5 mm Radius – beeinflussten die Eigenschaften der OLED kaum und auch nicht dauerhaft.

Zudem demonstrierte das Team, dass durch Aufrauen der Barrierschichten mittels reaktivem Ionenätzen der optische Wirkungsgrad der OLED um 13 Prozent steigt. Auch das Ionenätzen wirkte sich nicht negativ auf die Lebensdauer der OLED aus.

## Multispektrale Bildgebung

Ein Endoskop liefert gleichzeitig 3D-Aufnahmen im sichtbaren und nahinfraroten Licht.

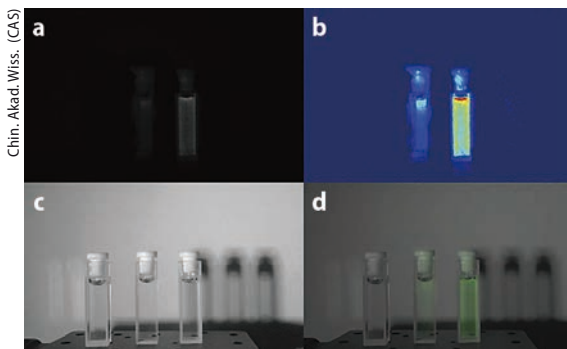
Endoskope spielen in der Chirurgie eine wichtige Rolle, weil sie den Patienten wenig belasten. Fluoreszenzsignale im Nahinfrarot (NIR) erleichtern es den Chirurgen bei endoskopischen Eingriffen beispielsweise, die Ränder von Tumorgewebe verlässlicher zu erkennen. Allerdings erfordert das Nahinfrarotbild eine Unterbrechung des Eingriffs, um das En-

doskop vom sichtbaren Licht auf das Nahinfrarot umzustellen. Ein Team unter Führung der Chinesischen Akademie der Wissenschaften an den Standorten Changchun und Peking hat nun ein Endoskop entwickelt, das dreidimensionale Bilder im sichtbaren und infraroten Licht überlagert.<sup>4)</sup>

Der Demonstrator beinhaltet zwei identische Strahlengänge, welche die zu detektierende Strahlung einem Bildsensor zuführen. Er ist nicht nur wie typische Bildsensoren mit RGB-Filtern bestückt, sondern auch mit NIR-Filtern. So lassen sich zeitgleich für jeden der beiden Strahlengänge vier Bilder aufnehmen: Rot, Grün und Blau (für ein Farbbild) und NIR. Farb- und NIR-Bild des jeweiligen Strahlengangs werden überlagert und zu einem stereoskopischen Endbild zusammengefügt. Ein Chirurg kann es mit einer 3D-Brille betrachten.

Die Beleuchtung des Objekts erfolgt breitbandig mit weißem Licht, die Anregung der Fluoreszenz mit einem Laser bei 785 nm. Der Bildsensor besteht aus  $3296 \times 2472$  Pixeln, die Wiederholrate liegt bei 21 Bildern pro Sekunde. Das multispektrale 3D-Bild hat natürlich eine deutlich geringere Auflösung, erreicht aber auf Testtafeln sieben Linien pro Millimeter im sichtbaren Licht und vier Linien pro Millimeter im NIR. Das ist konkurrenzfähig. Auch Eigenschaften wie Kontrast, Farbtreue oder Tiefenschärfe überzeugen. Nun will das Team einen Demonstrator mit größerem Sensor für höher aufgelöste Bilder verwenden und die Polarisation als weiteren Informationskanal hinzufügen. Die Einkopplung der weißen Lichtquelle und des Anregungslasers ist wohl auch noch nicht optimal gelöst.

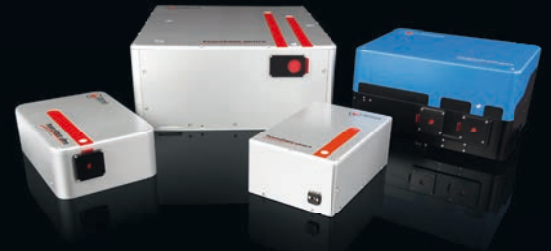
Michael Vogel



Die unterschiedliche Fluoreszenzfarbstoffkonzentration der drei Lösungen zeigt sich bei angeregter NIR-Fluoreszenz (a), in der NIR-Intensitätsverteilung (b), im Farbbild (c) und der Kombination aus Farb- und NIR-Informationen (d).

# customized.

Innovative laser systems tailored by our experts to advance your research!



## FemtoFiber Systems

Cutting-edge | Reliable | Simple & Turn-key

### Your benefits:

- Advanced laser systems that unlock the full potential of your application
- Advise and support from our technology and application experts
- Simple, reliable, and turn-key fiberlaser technology

Contact our experts and discuss your next laser system



[www.toptica.com/customized](http://www.toptica.com/customized)