

## ■ Großes, fein aufgelöst

**Erstmals erfasst die Optische Kohärenztomographie ein kubikmetergroßes Volumen mit Mikrometerauflösung.**

Die Optische Kohärenztomographie (OCT) hat in der Augenheilkunde ihren festen Platz. Zur Untersuchung des Augenhintergrunds dringt beispielsweise die Strahlung einer Superlumineszenzdiode bis zu einer gewissen Tiefe in die Netzhaut ein. Der in unterschiedlichen Tiefen gestreute

Zwar liefert die OCT dreidimensionale Bilder mit einer Auflösung im Mikrometerbereich, allerdings beschränkt sich ihre Abbildungstiefe auf wenige Millimeter bis Zentimeter. Diese Dimensionen reichen nicht aus, um OCT-Messungen beispielsweise in der zerstörungsfreien Materialprüfung einzusetzen. Wissenschaftler des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge haben nun einen Demonstrator entwickelt, der 3D-Bilder von kubikmetergroßen Volumina erstellt.<sup>1)</sup> Neben dem MIT waren an dem Projekt die US-Unternehmen Thorlabs, Acacia Communications und Praevium Research beteiligt.

Entscheidend für den Erfolg war ein so genannter Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (VCSEL), der eine deutliche größere Kohärenzlänge hat als andere Laser, die sich für die eingesetzte OCT-Methode eignen. Dabei nimmt man die einzelnen spektralen Komponenten zeitlich nacheinander auf, indem die Wellenlänge der Strahlungsquelle durchgestimmt wird. Eine weitere Hürde bei der OCT ist der optische Detektor – hier schaffte ein neuer integrierter optischer Empfänger auf Siliziumbasis Abhilfe.

Das Forscherteam erreichte eine Tiefenauflösung von 15  $\mu\text{m}$  für tomographische Bilder bei einer axialen Scanrate von 100 kHz über einen Bereich von anderthalb Metern. Der Schwachpunkt war die Datenaufnahme und -verarbeitung, die bei großen Volumen letztlich Stunden dauerte. Allerdings waren aus Kostengründen weder die verwendete Hardware noch der Algorithmus optimiert.

## ■ Authentizität gut versteckt

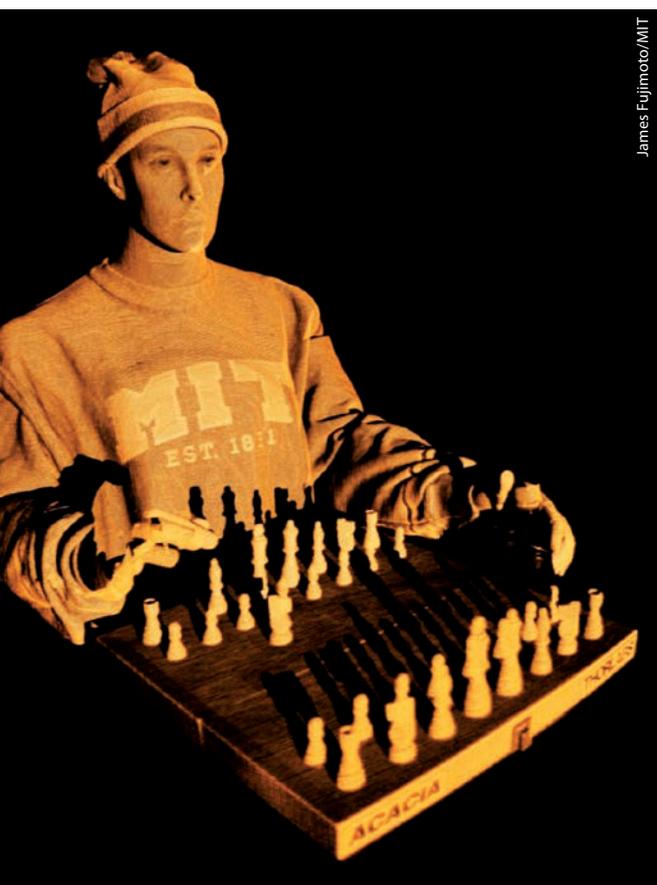
**Mittels Mikrostrukturen lassen sich Sicherheitsmerkmale in Bildern unterbringen.**

Egal ob auf dem Geldschein oder der Verpackung eines teuren Smartphones – ohne Sicherheitsmerkmale, die Authentizität garantieren oder einen Diebstahl

erschweren sollen, geht es nicht mehr. Dazu werden viele verschiedene Techniken eingesetzt, was Wissenschaftler der University of Utah in Salt Lake City nicht davon abhielt, ein weiteres Verfahren zu entwickeln: Bilder, die nur mit polarisierter Terahertz-Strahlung sichtbar werden.<sup>2)</sup> Die Forscher stellten dazu resonante Strukturen her, die optisch identisch sind, aber unterschiedlich elektrisch leitfähig.

Diese Strukturen drucken sie mittels eines billigen Tintenstrahldruckers, dessen Tinten sie gegen käuflich zu erwerbende Silber- und Kohlenstofftinten ausgetauscht haben. Die Sicherheitsmerkmale werden dabei in einer kleinen Fläche versteckt. Auf sie lässt sich dann mit konventionellen Tinten ein Bild drucken, oder man übersprüht sie mit gewöhnlicher Farbe. Als Demonstration ihrer Sicherheitsmerkmale druckten die Wissenschaftler QR-Codes, die erst mittels Terahertz-Strahlung sichtbar werden. Auf diesen Frequenzbereich legten sich die Forscher fest, weil die maximale Auflösung des Druckers bei ungefähr 25  $\mu\text{m}$  lag. Prinzipiell sei das Verfahren aber auch auf den optischen Bereich übertragbar – dann ist für die Herstellung dieser Nanostrukturen jedoch die Lithografie gefragt.

Unterschiedliche Leitfähigkeiten waren möglich durch einen wechselnden Anteil von Silber in den Strukturen; er variierte zwischen 50 und 90 Prozent. Die Forscher setzten ihre Sicherheitsmerkmale aus Einheitszellen zusammen. Jede Zelle enthielt eine Dipolstruktur. Im einfachsten Fall war es ein einzelner gedruckter Dipol, die beiden komplexeren Fälle waren zwei kreuzförmig angeordnete Dipole und eine H-ähnliche Struktur aus drei Dipolen unterschiedlicher Länge. So konnten die Forscher als Sicherheitsmerkmal verschiedene Einzelbilder erzeugen. Im ersten Fall ein Bild aus neun Graustufen, im zweiten Fall waren es zwei durch orthogonale Polarisation unterscheidbare Bilder mit jeweils sechs Graustufen und im dritten Fall ein Bild mit 64 unterschiedlichen Farben.



James Fujimoto/MIT

Dieser 3D-Scan einer Puppe mit Schachbrett umfasst ein Volumen von knapp einem Kubikmeter.

Lichtanteil interferiert im OCT-Gerät jeweils mit einem Referenzstrahl. So lässt sich die gemessene Rückstreuamplitude der zugehörigen Tiefenposition in der Netzhaut zuordnen. Um ein definiertes Volumen zu erfassen, bewegt ein 2D-Scanner den Lichtstrahl über die relevante Querschnittsfläche. Neben der Verwendung der OCT in der Augenheilkunde erproben Ärzte sie auch in der Gastroenterologie und Kardiologie.

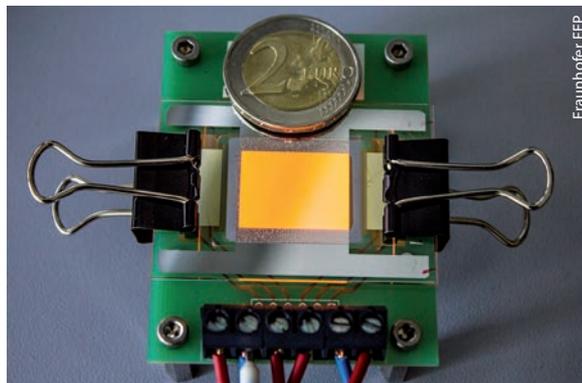
1) Z. Wang et al., *Optica* 3, 1496 (2016)

2) A. Chanana et al., *Optica* 3, 1466 (2016)

## ■ Leuchtendes Etappenziel

Flächige OLED-Elektroden aus Graphen sind funktionstüchtig, weitgehend defektfrei und homogen.

Graphen gilt bekanntlich als eines der neuen Wundermaterialien. Hohe Leitfähigkeit, Zugfestigkeit, Flexibilität und Transparenz sind sehr interessante Eigenschaften, die hier in einem Material vereint sind. Doch bevor sich die im Labor gemessenen positiven Eigenschaften zuverlässig in industriell gefertigten Produkten niederschlagen, ist noch einiges an Entwicklungsarbeit zu leisten. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden haben nun gemeinsam mit der spanischen Graphenea S.A. und der britischen Aixtron Ltd. den Prototyp einer gekapselten OLED mit Graphen-Elektroden vorgestellt. Die Elektroden haben eine aktive Fläche von  $2 \times 1 \text{ cm}^2$  und könnten künftig die etablierten ITO-Elektroden



Die orange leuchtende OLED ist mit Elektroden aus Graphen kontaktiert.

(Indium-Zinnoxid) verdrängen, die sich nicht für flexible Elektronik eignen.

Die Monolage Graphen für die Elektroden wurde mittels chemischer Gasphasenabscheidung aus einem Methan-Wasserstoff-Gemisch auf einem Träger aus hochreinem Kupfer erzeugt. Hat sich die Graphenlage ausgebildet, wird sie mit einem Trägerpolymer bedeckt, um das Kupfer wegzuzühen. Die Kunst bei diesem Transfer besteht darin, Defekte und Verun-

reinigungen sehr gering zu halten, weil sonst die Leitfähigkeit des Graphens deutlich sinkt. Anschließend wurden die Graphen-Elektroden strukturiert und mit einer OLED in ein Gehäuse gepackt, um ihre Langzeitstabilität zu gewährleisten.

Das Projekt nähert sich dem Ende. Nun sollen als weitere Demonstratoren eine deutlich größere OLED und eine flexible, volltransparente OLED entstehen – jeweils mit Graphen-Elektroden.

Michael Vogel