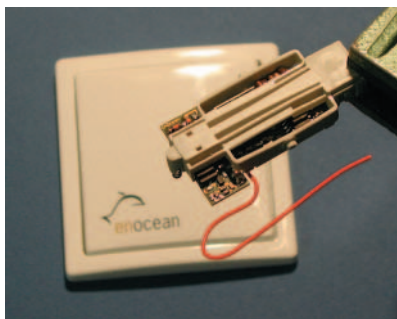


Energie auf Tastendruck

Ende des Jahres sollen drahtlose Lampenschalter auf den Markt kommen. Das klingt zwar im Zeitalter von Handy und Fernbedienung nicht gerade revolutionär, doch drahtlos heißt in diesem Fall nicht nur, dass sich Lampen oder andere elektrische Geräte per Funk ansteuern lassen, sondern auch, dass der Schalter ohne externe Stromversorgung oder Batterien auskommt: Die Funkmodule der Firma EnOcean, einem Spin-Off von Siemens, bekommen die zum Funken notwendige elektrische Energie per Fingerdruck.¹⁾

Zu diesem Zweck befindet sich im Schalter eine piezoelektrische Keramik, die auf Druck ihre Form verändert, sodass sich die Ladungen der Kristallgitter gegeneinander verschieben und an der Grenzfläche des piezoelektrischen Kristalls Oberflächenladungen entstehen. Diese elektrische Spannung reicht bei weitem aus, um den ange-



Dieser drahtlose Lichtschalter bezieht seine für das Funksignal notwendige Energie aus dem Fingerdruck beim Anschalten. Eine piezoelektrische Keramik wandelt die mechanische Energie in elektrische um. (Quelle: EnOcean)

schlossenen Mikroprozessor und den eigens entwickelten Hochfrequenzsender (869 MHz) für den Bruchteil einer Millisekunde mit rund 50 μJ Energie zu versorgen. Die Reichweite ist vergleichbar mit einem schnurlosen Telefon. Bei freier Ausbreitung beträgt sie bis zu 300 m und in Gebäuden bis zu 30 m. Ihr Vorteil: Dank der drahtlosen Übertragung müssen keine Wände mehr aufgestemmt werden, um Leitungen zu verlegen.

Der Sender verschickt nicht nur Steuerbefehle – z. B. Licht an oder aus – sondern gleichzeitig auch eine eindeutige 32-Bit-Adresse. Mehr als vier Milliarden Sender lassen sich daher unterscheiden. Und da die Funksignale innerhalb weniger Millisekunden mehrmals und gegeneinander zeitversetzt ausgesendet wer-

den, kann ein Empfänger auch dann noch das für ihn bestimmte Signal erkennen, wenn in seinem Empfangsradius bis zu hundert Funkmodule gleichzeitig arbeiten.

Holographische Speicher für die Medizin

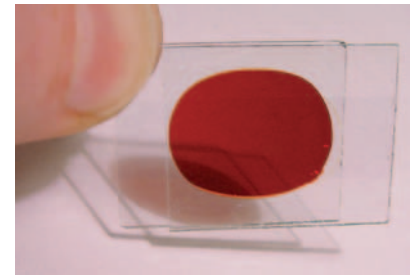
Hologramme finden sich nicht nur als Sicherheitsmerkmale auf Geldkarten und Banknoten wieder, sondern wegen ihrer hohen Speicherdichte könnten sie in Zukunft auch Massenspeicher wie CD, DVD oder Festplatte ablösen.²⁾ Neben diesen offensichtlichen Anwendungen gibt es aber auch noch weitere: In der Medizin erlaubt das zeitlich getaktete holographische Abbilden (TGHI, *time gated holographic imaging*) eine zerstörungsfreie dreidimensionale Darstellung von streuenden Medien wie z. B. der Haut. Forscher aus München, Jena und Groningen (Niederlande) haben dafür jetzt ein neues holographisches Speichermedium entdeckt, das besonders empfindlich ist und dadurch Aufzeichnungszeiten im Millisekunden-Bereich ermöglicht.³⁾

Das Ergebnis einer TGHI-Aufnahme ist vergleichbar mit der Computertomographie (CT). Während jedoch der Patient für eine CT-Aufnahme Röntgenstrahlung ausgesetzt wird, verwendet das TGHI-Verfahren infrarotes Licht mit Wellenlängen von 700 bis 900 nm. In diesem Bereich liegt das Absorptionsminimum der Körperoberfläche, sodass sich z. B. Haut damit bis zu einer Tiefe von einigen Millimetern dreidimensional mit einer Auflösung von wenigen Mikrometern abbilden lässt.

Das TGHI-Verfahren ist eng verwandt mit der bereits kommerziell erhältlichen optischen Kohärenztomographie (OCT). Beide Verfahren arbeiten mit kurz-kohärentem Laserlicht, bei dem das rückgestreute Licht aus der Körperoberfläche über eine Optik gesammelt und als so genannter Objektstrahl mit einer ungestörten Referenzwelle überlagert wird – bei der OCT in einem Interferometer, bei der TGHI in einem holographischen Speichermedium. Aufgrund der starken Streuung von biologischen Medien besteht der Objektstrahl jedoch hauptsächlich aus unbrauchbarem Streulicht und nur zu einem sehr geringem Teil aus den ungestreuten im Medium reflektierten so genann-

ten ballistischen Photonen, die eine orts aufgelöste Bildinformation erhalten. Durch die Kohärenzbedingung lässt sich der störende Streulichtanteil allerdings leicht herausfiltern.

Im Gegensatz zur OCT wird bei der TGHI-Aufnahme die ganze xy-Ebene abgebildet. Um diesen Vor-



Dieses 100 μm dicke photorefraktive Polymerkomposit ist ein holographisches Speichermedium. Über zwei transparente Indiumzinnoxid/Glas-Elektroden wird ein elektrisches Feld in der Größenordnung von 50 V/ μm angelegt, um durch Trennen der beim Einschreiben erzeugten Ladungsträger ein Brechungsindexmuster zu erzeugen. (Quelle: E. Mecher)

teil ausspielen zu können, werden hochempfindliche holographische Speichermedien benötigt. Vielversprechend waren bislang organische photorefraktive Schichten, bei denen in den hellen Interferenzmusterbereichen Ladungsträgerpaare erzeugt werden, die unter Einfluss eines externen Feldes getrennt werden und über den elektrooptischen Effekt ein Brechungsindexmuster erzeugen – ein Hologramm, an dem Licht gebeugt werden kann, um eine Schreibwelle zu erzeugen. Die Aufzeichnungsgeschwindigkeiten pro Schicht lagen bisher bei einigen Sekunden, was eine Gesamtaufnahmedauer von einigen Minuten ergab – für die medizinische Anwendung viel zu lang.

Die deutsch-niederländische Gruppe hat nun ein organisches photorefraktives Polymer (TPD-PPV) vorgestellt, bei dem sich durch eine gezielte Vorbeleuchtung bereits vor dem Einschreiben des Hologramms Ladungsträger erzeugen lassen. Dadurch wird das Material um rund eine Größenordnung empfindlicher. Beim eigentlichen Schreibprozess müssen die Ladungsträger dann nur noch durch ein angelegtes elektrisches Feld entsprechend des Interferenzmusters umverteilt werden – und das geht deutlich schneller. Erste TGHI-Aufnahmen eines Objektes mit Videorate (30 Bilder pro Sekunde) konnten dank des neuen Materials schon gemacht werden.

1) www.enocean.com

2) Physik Journal, Juni 2002, S. 16

3) E. Mecher et al., Nature 418, 959 (2002)

4) D. Bimberg et al., Electronics Letters 38, 885 (2002)

5) A. Rode, J. of Appl. Phys. 92, 2153

Quantenpunktlaser mit 10 W

Der Siegeszug des Lasers begann durch die Entwicklung kleiner preiswerter Halbleiterlaser. Ohne diesen Lasertyp gäbe es keine CD-Player, keine Scannerkassen, keine CD-ROMs und keine schnellen Datennetze. Ein relativ neuer, vielversprechender Halbleiterlasertyp ist der so genannte Quantenpunktlaser (QP-Laser). Sein Vorteil ist, dass sich seine Emissionswellenlänge für unterschiedliche Anwendungen – z. B. Laserfernsehen oder Anwendungen in der Datenkommunikation – sehr genau und in weitem Rahmen temperaturunabhängig festlegen lässt. Probleme bereiten bislang noch die geringe Leistung und Haltbarkeit solcher Laser. Forscher der Technischen Universität Berlin haben nun jedoch einen QP-Laser hergestellt, der erstmals eine quasi-kontinuierliche Leistung von über 10 W emittiert.⁴⁾

Ein QP ist ein winziger Halbleiterkristall, der für die hier gewünschten Eigenschaften aus ein paar hundert Atomen besteht. Eingebettet in einen Halbleiter wie Gallium-Arsenid (GaAs) kann er Licht emittieren. Das jetzt in Berlin entwickelte Bauteil besteht aus sechs übereinander liegenden QP-Laser-Schichten. Hergestellt werden diese Schichten, indem eine verspannte Indium-GaAs-Schicht mithilfe der *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) auf GaAs aufgebracht wird. Beim Relaxieren bilden sich dann die gewünschten winzigen pyramidenförmigen Quantenpunkte aus.

Die maximal erreichbare quasi-kontinuierliche Emissionsleistung dieses QP-Lasers wird mit einem Betriebsstrom von 21,5 A erreicht und liegt bei 11,7 W (50 μ s Pulse mit einer Wiederholfrequenz von 50 Hz). Im echten kontinuierlichen Betrieb sind mit 12 A immerhin noch 4,7 W möglich. Leistungslimitierend ist die optische Leistungsdichte; bei über 19,5 MW/cm² wird das Bauteil zerstört. Betreibt man den Laser jedoch mit einem kleinen Betriebsstrom, hat er eine Lebensdauer von über 3000 Stunden bei einer Lichtleistung von 1,5 W. Die Emissionswellenlänge dieses QP-Lasers liegt bei 1135 nm und hängt dabei nur von der Größe der Quantenpunkte und nicht vom verwendeten Material ab.

In der Anwendung sind QP-Laser besonders für die Projektion

von Fernsehbildern interessant: Mit exakt abgestimmten QP-Lasern als Lichtquellen werden sich praktisch alle natürlichen Farben auf die Leinwand projizieren lassen.

Ti: Saphir-Laser gegen Karies

Ultrakurze Laserpulse könnten der Schlüssel zu einer schmerzfreien Zahnbehandlung sein. Dies sagen zumindest australische Forscher, die mit rund 100 fs langen Pulsen eines Ti:Saphir-Lasers gute Ergebnisse erzielt haben.⁵⁾

In der Chirurgie sind Laser schon seit langem ein ganz alltägliches Schneidewerkzeug. Auch als schmerzfreie Alternative zum Zahnarztbohrer werden sie seit vielen Jahren angekündigt. Doch wieso findet man sie noch in keiner Zahnarztpraxis? Bisherige Laser trugen das relativ harte Zahnmaterial entweder zu langsam ab oder verursachten durch lange Pulse Druckwellen, Vibrationen oder Hitze und damit Schmerzen.

Um diese ungewünschten Nebenwirkungen zu minimieren bzw. ganz zu eliminieren, experimentierte die australische Forschungsgruppe mit extrem kurzen Laserpulsen von zwei verschiedenen Ti-Saphir-Lasern: mit 150-fs-Pulsen bei einer Wellenlänge von 780 nm (Clark-MXR CPA-2001) und mit 95-fs-Pulsen bei 805 nm (Spectra Physics Tsunami). Mit diesen lässt sich kariöser Zahnschmelz bei Leistungsdichten von 2,2 J/cm² abtragen. Frequenzverdoppelt man die Pulse, sodass man Wellenlängen von rund 400 nm erhält, reicht schon die halbe Leistungsdichte: Nach drei Minuten Behandlung erwärmte sich der Zahn nur noch um 10 °C, bei zusätzlicher Luftkühlung sogar nur um 5,5 °C.

Um die Abtragsrate eines mechanischen Bohrers zu erreichen, müsste die Wiederholungsrate des Pulses rund 200–500 kHz betragen – heutige Laser schaffen nur 2 kHz. Da der Zahn im Inneren aber weicher ist, rechnen die Forscher, dass eine Rate von 20 kHz ausreichen könnte, um Behandlungszeiten wie mit mechanischen Bohrern zu erreichen. Auf dem Weg zur schmerzfreien Zahnbehandlung scheint also ein großen Schritt gemacht worden zu sein. Doch das Bohrergeräusch in Zahnarztpraxen wird man wohl weiterhin noch hören müssen.

HOLGER KOCK