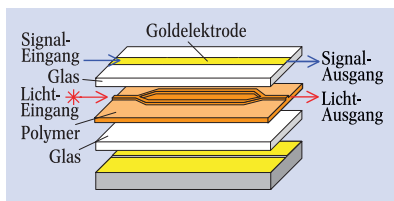


Polymer-Signalgeber

Jeden Monat schicken die deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen 800 Terabyte Daten durch die Leitungen. Der Großteil rauscht durch die Glasfasern des Deutschen Forschungsnetzes DFN, das Ende Oktober die Inbetriebnahme seines 10 Gbit/s-Netzes feierte. Doch auf dem Weg zu noch höheren Bandbreiten gibt es einige Hürden. Erstens verschmiert die Dispersion in den Glasfasern die Lichtsignale. Zweitens verschlechtert sich die Qualität der Signale bei höheren Datenraten. Denn die elektro-optischen Modulatoren, mit denen die Signale derzeit geformt werden, lassen sich nicht mehr beliebig verbessern. Wissenschaftler von den Bell-Labs in New Jersey haben jetzt einen Signalgeber auf Polymerbasis entwickelt, der eine Bandbreite von 200 Gbit/s erreicht.¹⁾ Er könnte ei-

Mit einem solchen Polymer-Interferometer lassen sich bereits mit einer geringen Spannung Signale im 200-GHz-Takt modulieren.



nes Tages die derzeit verwendeten elektro-optischen Modulatoren (EOM) ablösen.

Ein EOM besteht im Wesentlichen aus einem transparenten Kristall und zwei elektrischen Anschlüssen. Legt man eine Spannung an, verändert sich der Brechungsindex des Kristalls. Ein Laserstrahl, der den Kristall durchquert, wird durch eine hochfrequente Spannung in der Amplitude moduliert. Auf diese Weise prägt man dem Lichtstrahl ein Signal auf. Bis zu einer Datenrate von 40 Gbit/s funktioniert diese Technik einwandfrei. In der Grundlagenforschung wird jedoch bereits an Bandbreiten bis zu 160 GHz geforscht. In diesem Bereich haben es die EOMs schwer, weil der Widerstand in den Elektroden das hochfrequente 5-V-Signal abschwächt und zu einem schlechten Signal-zu-Rausch-Verhältnis der Lichtsignale führt.

Die amerikanischen Forscher haben nun einen Signalgeber gebaut, dessen Herzstück ein Interferometer aus dem Polymer PMMA ist. Das Laserlicht wird in den Polymer-Wellenleiter eingeschleust, spaltet in zwei Pfade auf und wird

nach zwei Zentimetern wieder zusammengeführt. In die beiden Arme sind unterschiedlich gepolte Farbstoffmoleküle (DR1) eingebaut. Darüber befindet sich eine Gold-elektrode. Durch Anlegen einer Spannung verändert sich die optische Weglänge in beiden Armen entgegengesetzt. Das Licht erfährt eine unterschiedliche Phasenverschiebung und ist am Ausgang des Interferometers amplitudenmoduliert. Der große Vorteil dieser Konfiguration ist die niedrige Modulationsspannung. Schon eine Spannung von 0,8 Volt reicht für den Wechsel von hell auf dunkel aus. Mit ihrem Polymer-Interferometer haben die Bell-Forscher eine Bandbreite von 150–205 GHz nachgewiesen. Zum Vergleich: die besten Lithium-Niobat-EOMs erreichen 70–105 GHz.

Die Taktgeber aus Polymeren sind nicht nur schneller als herkömmliche EOMs, sie wären in der Massenfertigung auch billiger. Bevor über eine Serienfertigung diskutiert wird, stehen aber noch einige Langzeittests bevor.

Mini-Sensoren für die Chemie

Nicht nur in der Halbleitertechnik ist „Nano“ der Schlüsselbegriff der Zukunft. Auch die Chemieindustrie verkleinert ihre Anlagen. Mikroreaktoren sollen die Produktion geringer Mengen billiger und flexibler machen. Die Firma Merck in Darmstadt bietet beispielsweise 10000 verschiedene Chemikalien an. Von zwei Dritteln davon werden jedes

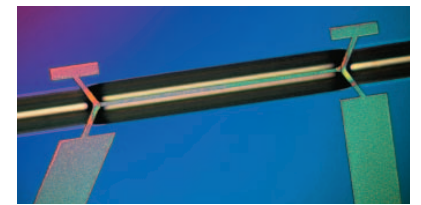


Herzstück des neuen Drucksensors für Mikroreaktoren ist eine ein Millimeter große Silizium-Membran. (Foto: Siemens)

Jahr aber nur weniger als zehn Kilogramm hergestellt. Gefördert vom Bundesforschungsministerium entwickeln Merck, Siemens und das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologien (ICT) in Pfnitztal einen Mikroreaktor für die industriell-

le Praxis. Die Siemens-Forscher bauten dafür jetzt einen Wärmeleitfähigkeitssensor, der 200-mal dünner als ein Haar ist, sowie einen miniaturisierten Drucksensor.

Der Drucksensor besteht aus einer ein Millimeter großen Silizium-Membran, die den Druck des Gemisches über einen Stempel an eine leitfähige Struktur weitergibt. Deren Widerstand verändert sich und liefert ein proportionales Signal für die Druckdifferenz. Die Silizium-Teile des Sensors werden durch „Bonden“ – Aneinanderpressen und Erhitzen – gleichsam aneinandergeklebt. Weil dabei keine störenden Klebstoffe zum Einsatz kommen, lässt sich das Bauteil direkt in den Reaktor integrieren. Außerdem ist der Sensor frei von Ritzen, in denen sich Chemikalien festsetzen könnten.



Dieser Sensor für die Wärmeleitfähigkeit besteht aus einem 0,3 µm dünnen Golddraht (Foto: Siemens)

Der von Siemens entwickelte Wärmeleitfähigkeitssensor besteht aus einem 0,3 µm dünnen Golddraht, der durch eine ein Millimeter lange Kapillare geführt wird. Der Sensor wird erhitzt, sodass der Draht etwa 100 Grad heißer ist als die ihn umströmenden Gase. Je nach Zusammensetzung der Gase wird unterschiedlich viel Wärme vom Golddraht abgeführt. Aus dem veränderten Widerstand berechnet man die Leitfähigkeit der Gase. Neu sind die Techniken nicht, neu ist allerdings die extreme Miniaturisierung. In diesem Jahr wollen Merck, Siemens und das ICT einen Mikroreaktor bauen, der alle Komponenten integriert.²⁾

Quantenkryptographie in Japan

Die Quantenkryptographie gehört zu den ersten Verfahren der Quanteninformatik, die den Sprung in die Anwendung geschafft haben. Während Quantencomputer erst mit Mühe im Labor die Zahl 15 faktorisieren, gibt es das erste plug&play-System der Quanten-

1) Science 298, 1403 (2002)

2) http://w4.siemens.de/de2/html/press/newsdesk_archive/2002/c_0245_d.html

3) www.idquantique.com

4) New Journal of Physics 4, 41 (Juli 2002)

5) Nature Materials 1, 225 (2002)

kryptographie bereits zu kaufen. Es wird von Nicolas Gisin von der Universität Genf vertrieben, der mit seinen ehemaligen Doktoranden die Firma „id Quantique“ gegründet hat³⁾, und kostet zwischen 100 000 und 150 000 Euro. Vor einigen Monaten hatte Gisis Gruppe einen neuen Rekord für die Übertragung eines so genannten Quantenschlüssels aufgestellt. Die Physiker hatten einzelne Photonen durch eine 67 Kilometer lange Glasfaser geschickt.⁴⁾ Ende November gab nun das Unternehmen Mitsubishi Electric bekannt, es habe den Rekord um 20 Kilometer übertroffen.

Das Prinzip der Quantenkryptographie beruht darauf, digitale Bits im Polarisationszustand einzelner Photonen zu kodieren. Ein Lauschangriff würde die fragile Quantennatur der Photonen stören und ließe sich durch eine Analyse der Übertragungsstatistik enttarnen. Anders als die herkömmlichen Verfahren ist die Quantenkryptographie aus physikalischen Gründen sicher.

Die Mitsubishi-Forscher haben einzelne Photonen mit einer Wellenlänge von 1550 nm übertragen, der Standardwellenlänge für die Telekommunikation. Die Bitrate ist mit 7 Bits pro Sekunde allerdings zu gering für die praktische Anwendung. Die Fehlerrate lag bei 7,6 Prozent, was für eine sichere Datenübertragung genügt. Wegen Restabsorption in der Glasfaser wird man die Quantenkryptographie mit einzelnen Photonen nicht auf beliebige Strecken ausdehnen können. Denn anders als in der Telekommunikation können die einzelnen Photonen nicht unterwegs verstärkt werden, ohne das Verfahren unsicher zu machen.

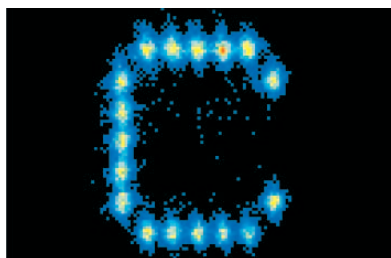
Zwei-Komponenten-Kleber als Datenspeicher

Manchmal bedienen sich Forscher für ihre Experimente in der Fundgrube des Alltags. Arthur Shallow und Theodor Hänsch versuchten Anfang der 70er Jahre, mit Wackelpudding als aktivem Medium einen „essbaren Laser“ zu bauen. Das funktionierte allerdings nicht, der Wackelpudding endete im Forschermagen. Chemiker vom Boston College und vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) haben jetzt einen Zwei-Komponenten-Kleber aus der Schublade geholt und

als dreidimensionalen Datenspeicher eingesetzt.⁵⁾ Mit der erzielten Speicherdichte übertrafen sie kommerzielle DVDs um das Zehnfache.

Für die 3D-Speicherung fokussierten John Fourkas und seine Mitarbeiter einen Laserstrahl in die ausgehärtete Klebemasse. Dabei absorbieren einzelne Moleküle im Fokus mehrere Photonen. Die angeregten Moleküle verbinden sich mit Nachbarmolekülen zu einer neuen Spezies, die sich wiederum durch Multiphotonenanregung zum Leuchten anregen lässt. Wie die fluoreszierenden Moleküle gebildet werden, weiß man nicht. Das hielt die MIT-Forscher jedoch nicht davon ab, das Verfahren an dem Kleber und an zwei glasartigen Materialien schon mal zu testen.

Schritt für Schritt fokussierten sie einen Lichtstrahl alle $0,6 \mu\text{m}$ auf das Speichermaterial, um einzelne Bits zu schreiben oder – für eine „Null“ – dunkel zu lassen. Dieses Vorgehen wiederholten sie auf 25 Ebenen mit einem Abstand von



Mit einem fokussierten Laserstrahl lassen sich einzelne „Bits“ in glasähnliche Festkörper schreiben. Der Abstand zwischen den Punkten beträgt $0,6 \mu\text{m}$. (Abb.: John Fourkas)

$2,5 \mu\text{m}$. Nach acht Sekunden hatten sie eine 3D-Struktur mit einigen hundert „Nullen“ und „Einsen“ geschrieben. Zum Auslesen beleuchteten sie die fotochemisch veränderte Substanz mit einem Laser und detektierten die fluoreszierenden Bits schrittweise mit einem hochauflösenden Objektiv. Die auf diese Weise erzielte Speicherdichte lag bei $870 \text{ MB}/\text{cm}^2$, zehnmal höher als bei einer herkömmlichen DVD und dreimal besser als bei den DVDs der nächsten Generation. Auch nach einer Million Lesevorgängen hatten die Bits kaum an Leuchtkraft eingebüßt. Bevor die neuen Materialien sich als Massenspeicher durchsetzen, stehen noch einige Experimente mit Diodenlasern aus. Denn der am MIT verwendete Titan-Saphir-Laser ist für kompakte Datenspeicher noch etwas klobig.

MAX RAUNER