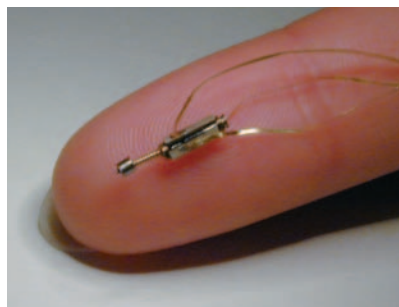


Motoren für die Medizin

Eine Forschergruppe der Pennsylvania State University hat kürzlich einen winzigen piezoelektrischen Motor vorgestellt. Mit einem Durchmesser von 1,8 mm und einer Länge von 4 mm ist er kleiner als ein Reiskorn. Ein solcher Motor lässt sich zwar allein durch den Druck zwischen zwei Fingerkuppen stoppen, doch schon ein nur unwesentlich größeres Modell hätte genug Kraft, die Haut zu verletzen.

Die Motoren nutzen piezoelektrische Materialien, die sich in ihrer Länge ändern, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird. Die ersten Motoren dieser Art wurden



Dieser piezoelektrische Mini-Motor ist kleiner als ein Reiskorn, relativ preiswert und hat einen Wirkungsgrad von rund 28 %. Er bietet sich für endoskopische Anwendungen in der Mikro-Medizin an. (Foto: K. Uchino, Penn State)

aus piezoelektrischen Röhren hergestellt, was ziemlich teuer war. Um jedoch Motoren in großen Stückzahlen bauen zu können, reduzierten die amerikanischen Wissenschaftler

bei ihrem Prototyp den Anteil des piezoelektrischen Materials auf das Notwendigste und setzten zum Großteil auf preiswerte Materialien wie Aluminium, Stahl, Messing und Kunststoff. Der Stator des Motors besteht aus einer an zwei Seiten abgeplatteten Metallröhre, an deren Abplattungen zwei Streifen einer piezoelektrischen Keramik (Blei-Zirkonat-Titanat) befestigt sind. Innerhalb der Röhre befindet sich der Rotor – ein kleiner Metallstab, montiert mit einer Feder. Deformieren sich nun die piezoelektrischen Streifen an der Außenseite des Stators, verbiegt sich die Metallröhre und der Rotor beginnt sich zu drehen.

Motoren dieser Art könnten für die Mikromedizin von Interesse sein. Katheter z. B., mit denen sich Nierensteine zerstören lassen, haben heutzutage noch einen Durchmesser von etwa 3 mm. Mit dem neuen Motor-Prototyp könnte der Katheter deutlich dünner ausfallen. Auch in der Endoskopie ließe sich ein solcher Motor sinnvoll einsetzen, z. B. um einen kleinen Spiegel zu justieren, mit dem sich eine größere Fläche variabel ausleuchten ließe. Nicht zuletzt sind diese Motoren aber auch in der Chirurgie einsetzbar, wenn eine Operation in Echtzeit mit Magnetresonanzver-

fahren überwacht werden soll, weil sie elektromechanisch arbeiten und kein starkes Magnetfeld erzeugen.

Internet mit 1,2 Tbit/s

Zum ersten Mal hat unlängst ein Forschungskonsortium auf einer Strecke von Stuttgart nach Berlin eine Datenrate von 1,2 Tbit/s auf Standard-Glasfasern erreicht – auf Glasfasern, wie sie seit den achtziger Jahren in Deutschland verlegt wurden.²⁾ Bei dem Versuch des KomNet-Projektes wurden verschiedene Glasfasernetze mit neu entwickelter Übertragungstechnik verbunden. In etwa fünf bis sieben Jahren soll diese Übertragungsleistung für Privathaushalte zur Verfügung stehen: eine etwa 15 millionenmal größer Datenrate als eine ISDN-Leitung theoretisch schafft!

Heute werden erst 2 % der 60–70 THz Bandbreite einer Glasfaser zur Informationsübertragung genutzt. Im KomNet-Projekt arbeiten Firmen wie Alcatel SEL, Lucent (Nürnberg), Siemens und T-Nova sowie viele Fraunhofer- und Uni-Institute gemeinsam daran, das brachliegende Potenzial von Glasfasernetzen besser auszunutzen. Allgemein gesprochen lässt sich die Übertragungskapazität durch höhere Taktraten (TDM, *Time-Division-Multiplexing*) und die gleichzeitige Übertragung auf mehreren Wellenlängenkanälen (WDM, *Wavelength-Division-Multiplexing*) steigern.

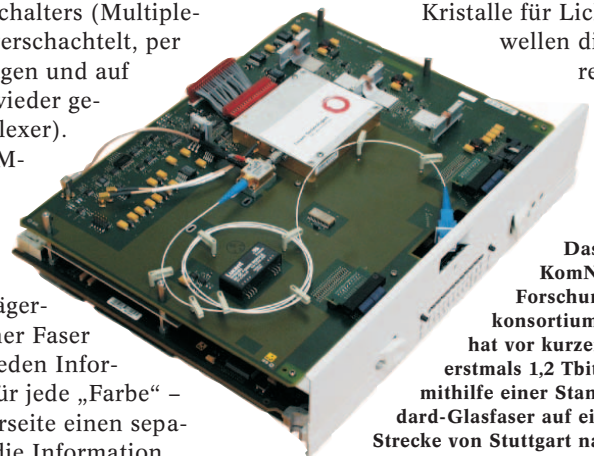
Für den geglückten Testlauf hat das KomNet-Konsortium TDM und WDM miteinander kombiniert: Beim TDM wurden Bitraten von 40 Gbit/s eingesetzt. Die einzelnen Kanäle wurden dazu auf Senderseite mittels eines Schalters (Multiplexer) ineinander verschachtelt, per Glasfaser übertragen und auf Empfängerseite wieder getrennt (Demultiplexer). Mithilfe der WDM-Technik lassen sich Informationen parallel über verschiedene optische Trägerfrequenzen in einer Faser übertragen. Für jeden Informationskanal – für jede „Farbe“ – gibt es auf Senderseite einen separaten Laser, der die Information mithilfe eines frequenzabhängigen Multiplexers durch die Glasfaser sendet. Auf Empfängerseite werden diese Kanäle dann wieder getrennt

ausgelesen. Auf diese Weise lassen sich 1,2 Tbit/s auf einer Standard-Glasfaser parallel übertragen – auf 32 Kanälen mit jeweils 40 Gbit/s.³⁾

Mit zunehmender Ausnutzung der Glasfaser müssen Effekte, die die Signalqualität beeinflussen, immer besser kompensiert bzw. minimiert werden. Doch trotz des notwendigen technischen Mehraufwands, senkt die höhere Faserkapazität die Übertragungskosten, behaupten die Partner von KomNet. Übrigens: Die erste Information, die mit 1,2 Tbit/s von Stuttgart nach Berlin übertragen wurde, war der erste per Telefon übertragene Satz von Philipp Reis, dem Erfinder des Telefons: Das Pferd frisst keinen Gurkensalat. In der Zeit, die man zum Sprechen des Satzes benötigt, hätte sich allerdings auch der Inhalt von 5000 Lexikonbänden übertragen lassen.

Photonische Kristalle auf dem Chip

Photonische Kristalle, die Licht im Wellenlängenbereich von 1,3–1,55 μm reflektieren, wie es für die optische Datenübertragung verwendet wird, sind für optische Bauteile in der Telekommunikation und Computertechnik interessant. Bisher war die Herstellung recht schwierig, weil die Strukturen in der Größenordnung der Wellenlänge liegen müssen. Photonische Kristalle für Licht lassen sich daher nicht durch mechanisches Löcherbohren herstellen, wie z. B. für Mikrowellen.⁴⁾ Jetzt haben Forscher der Princeton University und des NEC Research Institutes mithilfe der *self-assembly*-Technik photonische Kristalle für Lichtwellen direkt



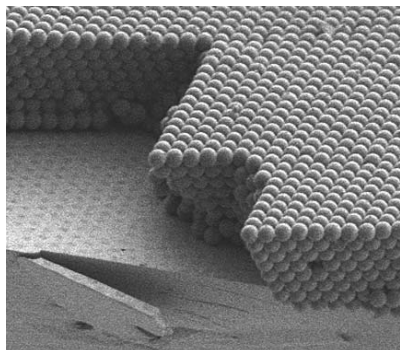
Das KomNet-Forschungskonsortium hat vor kurzem erstmals 1,2 Tbit/s mithilfe einer Standard-Glasfaser auf einer Strecke von Stuttgart nach Berlin übertragen. In diesem Projekt wurden Übertragungssysteme entwickelt wie dieser Prototyp einer 40-Gb/s-Empfängerbaugruppe. (Foto: Lucent, Nürnberg)

1) www.psu.edu/ur/2001/tinymotor.html

2) www.hhi.de/komnet

3) siehe auch Phys. Bl., Januar 2001, S. 20

4) siehe z. B. Phys. Bl., April 1999, S. 27



Forscher haben ein neues Verfahren entwickelt, um photonische Kristalle mit sehr geringer Defektdichte auf einem Silizium-Chip herzustellen: Das Bild zeigt aus einer Suspension abgelagerte Quarz-Kügelchen. Die Lücken zwischen den Kügelchen werden mit Silizium ausgefüllt. Nach dem Entfernen der Kügelchen bleibt ein photonischer Kristall zurück mit bis zu mehreren Millimetern Kantenlänge. (Foto: NEC Research Institute)

auf einem Silizium-Chip hergestellt.⁵⁾ Die Technik ist besonders preiswert und wurde erstmals von einer spanischen Forschergruppe publiziert.⁶⁾ Allerdings erhielten die Forscher damals unregelmäßige, polykristalline, photonische Kristalle, die sich nur sehr schwer in photonische Bauteile einbauen ließen, da sie nicht auf einem Chip hergestellt wurden.

Die amerikanischen Forscher benutzen jetzt ein verbessertes Verfahren. Sie deponierten Quarz-Kügelchen aus einer kolloidalen Lösung auf eine Si-Substrat-Oberfläche in einer kubisch-flächenzentrierten Struktur, indem sie in der Lösung einen Temperaturgradienten erzeugten. Der Temperaturgradient sorgte für Konvektion und behinderte die normalerweise einsetzende sedimentartige Abscheidung, die zu vielen Defekten führte. Das Ergebnis sind Strukturen, wie sie in der Abbildung zu sehen sind. Sie dienen als Form für Silizium, das mithilfe von kommerziellen Aufdampfungsanlagen (*Low Pressure Chemical Vapor Deposition*, LPCVD) in die Zwischenräume gefüllt wird. Bei relativ niedrigen Temperaturen von 550 °C lassen sich auf diese Weise bis zu 40 Lagen dicke Strukturen homogen mit Silizium füllen. Anschließend werden die Kügelchen nass-chemisch entfernt, und eine poröse Siliziumstruktur bleibt zurück – ein planarer, einkristalliner photonischer Silizium-Kristall mit einer sehr kleinen Defektdichte.

Die Gruppe zeigte auch, dass sich die Kugelstrukturen mit verschieden großen Kügelchen dotie-

ren lassen, um die Eigenschaften gezielt zu verändern. Interessant für die Zukunft wäre es sicherlich auch, ähnliche Strukturen aus III-V-Halbleitern herzustellen, die – im Gegensatz zu Silizium – schon von sich aus Licht gut emittieren.

LCDs filtern Mikrowellen

Flüssigkristalle (LCDs) werden seit langem als Displays vor allem in Taschenrechnern, Uhren und Laptops eingesetzt: Je nach Spannung lassen LCDs nur horizontal polarisiertes Licht durch und sperren vertikal polarisiertes, oder umgekehrt. Physiker der University of Exeter, Großbritannien, haben jetzt dieses schon seit langem auch für Mikrowellen bekannte Phänomen für ein Mikrowellenfilter genutzt.⁷⁾

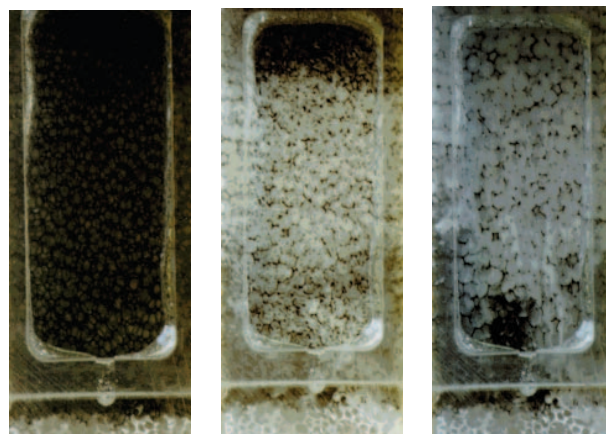
Das Filter besteht aus 55 Aluminiumstreifen ($60 \times 30 \times 1 \text{ mm}^3$), die mithilfe von 75 μm dünnen Kunststoff-Abstandshaltern zu einer Art Rost übereinandergestapelt werden. Die Lücken zwischen den Streifen werden mit Flüssigkristallen gefüllt. Um die Ausrichtung der Kristalle zu erleichtern, werden die Aluminiumoberflächen vorher mit einem Polyamidfilm beschichtet. Gleichzeitig dient diese Beschichtung als Ionenbarriere, die verhindern soll, dass Ionen in den Flüssigkristall eindringen. Kontaktiert sind die Streifen abwechselnd links und rechts mit den Polen einer 1-kHz-Spannungsquelle, sodass zwischen den Streifen jeweils die gleiche Spannung anliegt. Fällt nun eine senkrecht zur Streifenstruktur polarisierte Mikrowelle ein, lässt sich die Transmission bestimmter Wellenlängen von 26–40 GHz mit der Spannung (0–7 V) variieren: Je nach Spannung erzeugen Wellen bestimmter Länge auf den Aluminiumstreifen so genannte resonante Oberflächen-Plasmon-Polaritonen, die nur in die Flüssigkristall-Rillen abstrahlen. Auf diese Weise können bestimmte Wellenlängen die Rillenstruktur beugungsfrei transmittieren, obwohl sie weit größer sind als die Rillenbreite.

Ein solches Filter könnte für die Satellitenkommunikation interessant sein, da dort typischerweise Mikrowellen wegen ihrer großen Informationsdichte verwendet werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Kontrast noch weiter verbessert wird, z. B. durch optimierte Flüssigkristalle.

Partikelfilter mit Schall

Bei einem Filter entscheidet üblicherweise der Porendurchmesser darüber, ob Teilchen bestimmter Größe aus einer Flüssigkeit herausgefiltert werden oder nicht. Ein nennenswerter Anteil von Partikeln ließ sich bislang nur zurückhalten, indem die Porengröße verkleinert wurde. Dadurch erhöht sich aber auch der Fließwiderstand. Um das zu verhindern haben Forscher der Case Western Reserve University (Cleveland, Ohio) vor kurzem eine interessante Lösung präsentiert: Schallwellen können die effektive Porengröße mechanischer Filter beträchtlich verkleinern, ohne die Flüssigkeitsströmung zu behindern.⁸⁾

Die Wissenschaftler legten ein schwaches akustisches Signal mit 500–1000 kHz an ein Polymernetzfilter und konnten auf diese Weise Partikel einfangen, die etwa hundertmal kleiner waren als die



Mithilfe von Schallwellen lassen sich 30 μm kleine Partikel aus einer Suspension durch ein eigentlich viel zu grobes Filter (Porengröße 2200 μm) zurückhalten. Links: Ohne Schallwelle werden die Partikel nicht herausgefiltert. Mitte: Mit Schallwelle ist nach 8 Minuten zu sehen, dass Partikel zurückgehalten werden. Rechts: Schaltet man die Schallwelle wieder ab, werden die Partikel aus dem Filter ausgeschwemmt. (Fließrichtung von unten nach oben) (Foto: D. L. Foke, CWRU)

durchschnittliche Porengröße des Filters. Das Prinzip ist einfach: Die Schallwellen, die sich im porösen Filtermaterial ausbreiten, erzeugen stehende Wellen in den Poren. Haben nun die herauszufilternden Partikel akustische Eigenschaften, die sich von denen der Flüssigkeit und des Filtermaterials unterscheiden, sammeln sich die Partikel an bestimmten Stellen im Filter an und werden so herausgefiltert. Zum Säubern wird die Schallquelle einfach wieder abgeschaltet und die Partikel lassen sich ausspülen.

HOLGER KOCK

5) Y. A. Vlasov et al., Nature 414, 289 (2001)

6) A. Blanco et al., Nature 405, 437 (2000)

7) F. Yang und J. R. Sambles, Appl. Phys. Lett. 79, 3717 (2001)

8) www.rheology.org/sor01a/abstract.asp?PaperID=157