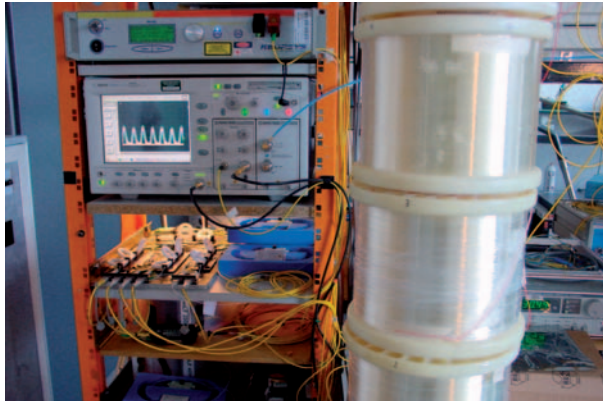


Rekord bei Datenübertragung

Jedes Jahr verdoppelt sich die übertragene Datenmenge im Internet. Das Rückgrat des globalen Informationsnetzes bilden Glasfaserkabel mit Übertragungsraten von maximal 40 Gigabit pro Sekunde pro Faserkabel und Wellenlänge. Die Arbeits-



Forscher vom Berliner Heinrich-Hertz-Institut haben einen Rekord bei der Datenübertragung über 160 Kilometer Glasfaserkabel, aufgerollt auf Trommeln, aufgestellt. (Foto: HHI)

gruppe um Hans-Georg Weber am Heinrich-Hertz-Institut (HHI) in Berlin hat nun gezeigt, wie sich die Datenrate mit Kurzzeit-Laserpulsen und Phasenmodulation weiter steigern lässt. Mit 2560 Gigabit pro Sekunde – das entspricht dem Inhalt von 60 DVDs – stellten sie einen neuen Weltrekord für den Datentransport in Glasfaserkabeln auf einer Wellenlänge auf. Diese Datenrate konnten sie durch 160 Kilometer Glasfaserkabel senden, die auf Trommeln im HHI-Labor aufgerollt sind (Abb.).

Die Berliner Nachrichtentechniker kodierte die Binärwerte „0“ und „1“ nicht durch das An- und Ausschalten eines Halbleiter-Lasers, sondern mit Hilfe einer Phasenmodulation ihrer infraroten Laserpulse (Pulsdauer 500 Femtosekunden, Wellenlänge 1550 nm). Bevor ein Laserpuls über das Glasfaserkabel geschickt wird, durchläuft er einen Lithiumniobat-Kristall. Dieser dient als Phasenmodulator und kann mit einer Schaltrate von 40 Gigahertz betrieben werden. So oft führt eine Spannungsänderung von einigen Volt zu einer Variation des Dispersionsverhaltens des Kristalls, wodurch sich die Phase des etwa 500 Femtosekunden kurzen Laserpulses um einen bestimmten Wert verschiebt. Diese Phasenmodulationen lassen sich für die Codierung der Nullen und Einsen nutzen.

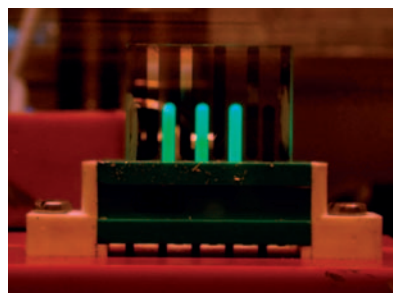
Mit dieser Methode allein lässt sich eine Datenrate von ca. 40 Gigabit pro Sekunde erreichen. Ein zweiter Schritt nutzt anschließend die Kürze der Laserpulse aus. Denn

zwischen zwei Pulsen bleibt es in der Glasfaser für fast 25 Picosekunden dunkel. Mit dem sog. Zeitmultiplexing können diese Freiräume mit weiteren Laserpulsen aus parallel sendenden Phasenmodulatoren gefüllt werden. So ließ sich die Übertragungsrate um etwa das 60-fache steigern. Reif für den globalen, digitalen Datenaustausch halten die Berliner Forscher ihre Technik allerdings frühestens im kommenden Jahrzehnt.

Große Lichtausbeute

Organischen Leuchtdioden (OLED) liegen eine Vielzahl von Materialien und Herstellungskonzepten zugrunde. Im Prinzip unterscheidet man zwischen Modulen aus kleinen Molekülen, die aus der Gasphase aufgebracht werden, und Bauteilen aus Polymeren, die sich aus Lösung deutlich einfacher mit Hilfe von Spincoating oder Druckverfahren herstellen lassen.

Leuchtdioden für Displays und Beleuchtungseinrichtungen müssen eine besonders hohe Quantenausbeute haben. Hier hatten lange Zeit OLEDs aus kleinen Molekülen die Nase vorn. Zwei Forschergruppen um Dieter Neher und Klaus Meerholz von den Universitäten Potsdam und Köln gelang es nun gemeinsam, grün und rot emittierende OLED mit Rekordwerten für die Quantenausbeute komplett aus der Lösung herzustellen.¹⁾ Dieses bildet die Grundlage für günstig



Komplett aus Lösung hergestellte grüne organische Leuchtdioden erreichen Rekordwerte bei der Lichtausbeute (Quelle: D. Neher, Uni Potsdam)

herstellbare, großflächige und sogar flexible Leuchtflächen auf beliebig geformten Unterlagen.

Mit 65 Lumen pro Watt und einer Quanteneffizienz von 18,8 % erreicht das grün leuchtende Modul (510 Nanometer Wellenlänge) den höchsten Wert. Die externe Quantenausbeute liegt damit nahe der

theoretischen Grenze von 20 Prozent für planare Module, d. h., dass intern nahezu alle Ladungsträger in Licht umgewandelt werden. Der Grund für diese hohe Ausbeute liegt im gezielten Aufbau einer Mehrschichtstruktur. Auf einer transparenten, leitfähigen Unterlage aus Indiumzinnoxid (ITO) schichteten die Forscher eine jeweils 20 Nanometer dünne Doppellage aus einem vernetzbaren Triphenylaminderivat, die als Lochtransport/Elektronenblockier-Schicht wirkt. Über dieser Doppelschicht schließt sich eine 70 Nanometer dünne Emitter-Lage mit dem emittierenden Iridiumkomplex an. Als Kathode deponierten die Forscher darüber eine leitfähige Elektrode aus Cäsiumfluorid und Aluminium. Durch diese Kombination der Materialien rekombiniert jedes der in das Modul bei Spannungen zwischen vier und sieben Volt injizierten Löcher mit an der Blockierschicht akkumulierten Elektronen und sendet dabei das gewünschte Licht aus.

Nach demselben Konzept aufgebauete rote OLEDs (625 nm) zeigten ebenfalls hohe externe Quantenausbeuten von 11 Prozent. Die Effizienz blauer Dioden lag bei 6 Prozent. Durch die Realisierung von grün, rot und blau leuchtenden Modulen lässt sich im Prinzip eine günstige Weißlicht-OLED herstellen, die alle drei aktiv strahlenden Elemente vereint. Je nach Wahl der verwendeten Iridiumkomplexe für die Leuchtschichten ließe sich die „Farbe“ des Weißlicht-Spektrums an die Wünsche der Kunden anpassen.

Schaltkreis aus Nanoröhrchen

Wenige Nanometer dicke, einwandige Nanoröhrchen aus Kohlenstoff gelten als Werkstoff der Zukunft für Nanochips. Je nach ihrer Struktur sind sie hervorragende Leiter oder Halbleiter. Theoretisch haben Transistoren aus diesen filigranen Hohlkörpern das Potenzial, heutige Module aus Silizium zu überflügeln. Während es bisher in den Laboren nur gelungen war, einzelne Transistoren herzustellen, haben amerikanische Wissenschaftler vom IBM-Watson-Forschungszentrum nun auf der Basis eines Röhrchens einen ersten Integrierten Schaltkreis mit insgesamt zwölf Feldeffekttransistoren (FET) gebaut.²⁾

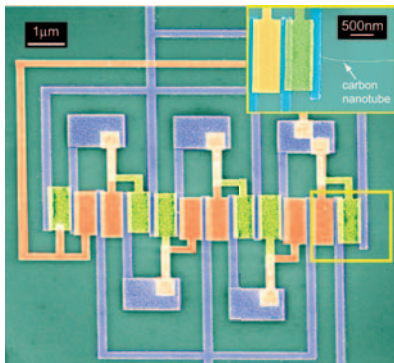
Die Arbeitsgruppe um Phaedon Avouris positionierte für ihr Modul

1) Xiaohui Yang et al., *Advanced Materials* **18**, 948 (2006)

2) Zhihong Chen et al., *Science* **311**, 1735 (2006)

3) S. Kang et al., *Science* **311**, 1911 (2006)

ein wenige Nanometer dünnes und 18 Mikrometer langes Nanoröhrchen auf einer hochreinen, isolierenden Unterlage. Entlang der Röhre setzten sie winzige Metallpunkte aus Palladium und Aluminium mit Methoden, die bereits für die Herstellung von heute weit verbreiteten Metalloxid-Halbleiter-Modulen (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS) Anwendung finden. In dem CMOS-Modul fungieren die Metallpunkte entlang des Nanoröhrchen als Gatterelektroden für eine Reihe abwechselnd angeordneter p-FET und n-FET-Module. Insgesamt bilden sie einen Ringoszillator, der sich als Bauteil ideal dafür eignet, um das Schaltverhal-



Ringoszillator auf Basis eines Kohlenstoff-Nanoröhrchens. Der vergrößerte Ausschnitt oben rechts zeigt das Nanoröhrchen, dass vom Kontakt und der Gate-Elektrode bedeckt ist. (Quelle: IBM)

ten bei hohen Frequenzen im Megahertzbereich zu testen.

Zwar erlauben Nanoröhrchen aus Kohlenstoff wegen der herausragenden elektronischen Eigenschaften (ballistische Elektronenleitung) prinzipiell schnellere Schaltzeiten als kristallines Silizium, doch konnte dieses Ziel mit diesem ersten Prototyp noch nicht erreicht werden. Mit ausgefeilteren Produktionsmethoden wollen Avouris und Kollegen diese Hürde nehmen. Zudem weist dieser Integrierte Schaltkreis einen Weg auf, um viele Schaltmodule mit Nanoröhrchen auf engstem Raum zu konzentrieren.

Magnetresistenter Supraleiter

Wärme und Magnetfelder sind die größten Feinde der Supraleitung. Während an einer Kühlung auf Werte unterhalb der Sprungtemperatur eines Supraleiters kein Weg vorbei geht, lässt sich die für Anwendungen besonders wichtige Widerstandskraft gegen Magnet-

felder stärken. Sukill Kang und seinen Kollegen vom Oak Ridge National Laboratory³⁾ ist es nun gelungen, einen Hochtemperatur-Supraleiter auf der Basis von Yttriumbariumkupferoxid ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) zu entwickeln, der die diesbezüglichen Anforderungen der Industrie erfüllt. Für Anwendungen in leistungsstarken Elektromotoren und Generatoren wird beispielsweise eine kritische Stromdichte von 20 bis 30 Kiloampere pro Quadratcentimeter bei einem Magnetfeld von 3 bis 5 Tesla und einer Temperatur von 55 bis 65 Kelvin verlangt.

Zunächst verdampften die Forscher mit einem Laserpuls YBCO-Pulver, das anschließend zu etwa drei Mikrometer dünnen Filmen auf einer hochreinen Metalloberfläche kondensiert. Um eine größere Magnetfeldresistenz zu erhalten, mischten sie dem Supraleiter Pulver der Keramik Bariumzirkonat (BZO) bei. Bei der gepulsten Laser-Ablagerung (pulsed laser deposition, PLD) gelangen so isolierende BZO-Partikel in die supraleitende Schicht. Sie bilden im Supraleiter winzige, wenige Nanometer kleine Säulen. Wegen der unterschiedlichen Gitterkonstanten von YBCO und BZO treten an den Grenzflächen Spannungen auf, die zu einer regelmäßigen Anordnung der Säulen führen. Wenn nun das Magnetfeld in Form von Flussschläuchen in den Supraleiter eindringt, werden diese an den Säulen verankert („gepinnt“). Damit wird das „Wandern“ der Flussschläuche verhindert, das mit einem elektrischen Widerstand und dem Zusammenbruch der Supraleitung einhergeht. Trotz Stromdichten von über 40000 Ampere pro Quadratcentimeter blieb das Material im Experiment supraleitend.

Da YBCO eine Sprungtemperatur von 70 Kelvin aufweist, kann es günstig mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. In Hochstromdurchführungen beispielsweise für Fusionsexperimente wird es bereits eingesetzt. Bis die magnetfeldresistentere Materialkombination aus YBCO und BZO jedoch zur Verfügung steht, muss das Verfahren weiter verbessert werden, insbesondere, um die bisher erreichte Drahtlänge von lediglich 1,5 Zentimeter zu steigern. Doch das Team um Kang ist optimistisch, bald längere Keramik-Drähte bauen zu können.

JAN OLIVER LÖFKEN