

## Morsen im Pikosekundentakt

Wer mit hoher Geschwindigkeit Daten durchs Internet schicken will, braucht eine zuverlässige Lichtquelle für die optischen Pulse. Physiker vom Heinrich-Hertz-Institut (HHI) in Berlin haben auf der Hannover-Messe einen Pikosekunden-Laser auf einem integrierten Chip vorgestellt, der sich als Sender für das 40-Gbit/s-Netz von morgen und das 80- bis 160-Gbit/s-Netz von übermorgen eignet.



Nur 2 ps kurze Pulse liefert dieser integrierte Halbleiterlaser. (Quelle: HHI)

Das Herz des neuen Pikosekunden-Lasers ist eine Schichtstruktur aus dem Halbleiter GaInAsP auf einem InP-Kristall. Diese Verbindung ist in der Telekommunikation weit verbreitet, weil sie infrarotes Licht bei  $1,5 \mu\text{m}$  emittiert und damit für die Glasfaserübertragung optimal geeignet ist.

Die Berliner Forscher teilten die ca. einen Millimeter langen, in Eigenregie hergestellten Heterostrukturen in zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt findet die eigentliche Lichtverstärkung statt: Elektronen und Löcher werden durch eine angelegte Spannung in die Schicht injiziert. Sie rekombinieren unter Aussendung jeweils eines Photons. Im zweiten Abschnitt kann der Kristall aufgeheizt werden, um die Resonatorlänge und dadurch die Wellenlänge des Lichts einzustellen.

Damit der Laser nicht kontinuierlich, sondern in Pulsen emittiert, befindet sich am Ende des Resonators ein Licht-Absorber, der erst bei hohen Intensitäten ausbleicht und den Weg zum Endspiegel freigibt. Auf diese Weise sendet der Laser periodisch 2 ps kurze Pulse aus. Helmut Heidrich und seine Kollegen sind vor allem auf das präzise Timing stolz. Mit Schwankungen unter 300 fs sind die Pulse im Frequenzraum wie festgenagelt – eine wichtige Voraussetzung für die Datenübertragung.

Für das Senden einzelner Bits lassen sich die Pulse durch einen Modulator an- oder ausschalten. Erste Prototypen des Lasers werden

derzeit getestet. Auf die „sichtbaren“ Komponenten haben die Forscher ein Patent angemeldet, nicht jedoch auf die Chemie. Dass diese geklaut wird, fürchten sie nicht: „Wenn man weiß, wie ein Cocktail schmeckt, weiß man noch lange nicht, was drin ist,“ sagt Projektleiter Wolfgang Schlaak.

## Magnesium im Akku

Lithium-Ionen-Akkus sind der Stolz aller Batteriehersteller. Sie haben keinen Memory-Effekt, lassen sich also auch im halb entladenen Zustand wieder aufladen, sind relativ leicht und speichern viel Energie pro Gewicht. Allerdings sind die verwendeten Materialien oft giftig und treiben dadurch die Kosten in die Höhe. Israelische Chemiker haben jetzt einen umweltfreundlicheren Festkörper-Akku auf der Basis von Magnesium-Ionen hergestellt.

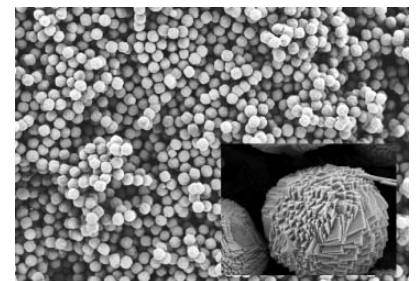
Die hohe Kunst der Akku-Entwicklung ist die Auswahl von Elektroden und Elektrolyt. In Lithium-Ionen-Akkus verwendet man für die Kathode häufig eine Verbindung mit dem als krebserregend geltenden Kobalt sowie einen flüssigen, leicht entzündlichen Elektrolyt, der in hermetisch abgedichtete Edelstahl- oder Alugehäuse eingekapselt wird.

In einem Akku wandern die Ionen beim Laden von der Kathode zur Anode, wo sie im Festkörpergitter der Elektrode eingelagert werden. Im Batteriebetrieb driften sie durch den Elektrolyten zurück zur Kathode. Die israelischen Forscher von der Bar-Ilan Universität verwendeten für ihren neuen Akku als Anode eine Magnesium-Legierung – reines Magnesium wäre zu spröde – mit einigen Prozent Zink und Aluminium.<sup>1)</sup> Als Elektrolyt diente ihnen ein schwammartiges Polymer-Gel, in dessen Matrix sie ein Magnesiumsalz einlagerten. Die größte Herausforderung war die Entwicklung einer Kathode mit hoher Einlagerungsfähigkeit (Interkalation). Daron Aurbach und seine Mitarbeiter nutzten Molybdänsulfid, in das sich die Magnesium-Ionen reversibel einlagern ließen. Auf diese Weise konstruierten sie einen Magnesium-Ionen-Akku mit einer Spannung von etwa 1 Volt, der sich mindestens einige Dutzend Mal entladen und wiederaufladen lässt. Mit 10 Wh/kg liegt die spezifische Energie-

dichte noch etwa einen Faktor zehn unter den Werten für kommerziell erhältliche Li-Ionen-Akkus und ist damit zu gering für tragbare Systeme. Für stationäre Systeme und Autos könnte sich der Magnesium-Akku dagegen eines Tages als die preiswertere Alternative erweisen. Aurbach betont, dass man Magnesium-Ionen-Akkus einige 1000-mal aufladen könne, Lithiumionen-Akkus dagegen nur rund 500-mal.

## Leuchtende Mikropillen

Zu den neuesten Werkzeugen der Mikrobiologie gehören die fluoreszierenden Quantenpunkte: winzige Halbleiterkristalle, die an DNA-Stränge oder Proteine andocken und unter dem Mikroskop leuchten. Die anorganischen Fluoreszenzmarker sind beständiger als Farbstoffmoleküle und fluoreszieren je nach Größe in fast allen Farben des sichtbaren und nahinfraroten Spektrums. Sie eignen sich unter anderem zur Gensequenzierung: Je nach Beschichtung binden sie gezielt an ausgewählte Molekülgruppen. Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche DNA-Basen zum Beispiel mit verschiedenen Farben markieren



Aus diesen kugelförmigen  $\text{MnCO}_3$ -Teilchen mit einem Durchmesser von  $4 \mu\text{m}$  entstehen biokompatible Hohlkugeln. (aus [2])

und automatisch auslesen. Eine deutsch-russisch-weißrussische Forschergruppe hat das Prinzip der Quantenpunkt-Marker jetzt auf Mikropillen erweitert. Die Forscher stellten biokompatible Hohlkugeln her, in denen sich zum Beispiel Medikamente durch den Körper transportieren lassen. Die Hülle der Mikropillen kennzeichneten sie mit Quantendots, die im infraroten Spektralbereich fluoreszieren.

Für die Herstellung der Hohlkugeln verwendeten die Forscher (aus Hamburg, Göttingen, Moskau und Minsk) kugelförmige Karbonatteilchen ( $\text{MnCO}_3$ , siehe Abb.) mit einem Durchmesser von knapp  $4 \mu\text{m}$ ,

1) O. Chusid et al., Adv. Mater. 15, 627 (2003)

2) N. Gaponik et al., Nanoletters 3, 369 (2003)

die sie mit mehreren Schalen aus Biopolymeren ummantelten. Anschließend ätzten sie die innere Kugel weg. Übrig blieb eine Hohlkugel, die eines Tages als „Fähre“ für Medikamente dienen soll.

Zur Kennzeichnung synthetisierter Andrey Rogach und seine Kollegen wenige Nanometer große Kristalle aus Quecksilber-Tellurid (HgTe) und CdHgTe, die im nahen Infrarot fluoreszieren. Die Größe der Quantenpunkte, und damit das charakteristische Fluoreszenzlicht, lässt sich bei der nasschemischen Herstellung bis auf einige Zehntel Nanometer kontrollieren. Anschließend wurden die Kristalle mit Thiol-Molekülen beschichtet. Diese stabilisieren die Fluoreszenz und dienen gleichzeitig als Bindeglied zu den Mikropillen. In einer wässrigen Lösung mit den Mikropillen dockten die Quantendots durch elektrostatische Kräfte an die Hohlkugeln an. Bestrahlt man die Lösung mit Licht, verraten die fluoreszierenden Marker die Position der Mikropillen. Erstmals ist es damit gelungen, biokompatible Mikrosphären mit Infrarot-Markern zu versehen.<sup>2)</sup> Mediziner können mit diesem Werkzeug die Bahn der Medikament-Fähren verfolgen, weil Wasser und Blut im nahinfraroten Wellenlängenbereich transparent sind. Die Forscher glauben, dass man auf diese Weise den Weg der Medikamente im Körper sogar durch die Haut verfolgen kann.

## Blaues Leuchten im Chiplabor

Zu den Modethemen, die in diesen Tagen neben der Nanotechnologie und dem Quantencomputer in Forschungsanträgen auftauchen, gehört das Lab-on-a-Chip. Dazu zählen Chips mit Vertiefungen und Kanälen, in denen sich Flüssigkeiten im Nanoliter-Bereich analysieren und mischen lassen, etwa zur Proteinanalyse oder zur Steuerung chemischer Reaktionen. Die Dresdner Firma nanoparc, hervorgegangen aus dem Forschungszentrum Rossendorf, will mit derartigen Mikrolabors nicht nur Forschungsgelder einwerben, sondern auch Geld verdienen. Ihr Vorzeigeprodukt: Ein tellergroßer Siliziumwafer, auf dem sich blau leuchtende Lichtemitter aneinander reihen. Vor einigen Jahren war es den Dresdner Forschern erstmals gelungen, blaues

Licht aus einer Silizium-Struktur hervorzulocken, ohne andere Halbleiter zu verwenden. Das spart teure Prozessschritte. Jetzt ist ein integriertes Chiplabor mit Lichtquelle und Detektor in Vorbereitung.

Für die Leuchten wird der Siliziumwafer zunächst mit einer Oxidschicht versehen. Anschließend beschießt man die Oberfläche an jenen Stellen, die später Licht emittieren sollen, beispielsweise mit Kohlenstoff- oder Germaniumionen. Durch diese Ionenimplantation entstehen molekulartige Defekte im SiO<sub>2</sub> und lokale Si-O-Si-Strukturen. Legt man eine Spannung an den Wafer an, können Ladungsträger diese Lumineszenzcentren anregen. Beim Übergang in den Grundzustand senden sie blauviolett Licht aus. Mit diesem Verfahren stellt nanoparc Siliziumwafer mit mehreren Dutzend blau leuchtenden Lichtemittern her, die sich einzeln ansteuern lassen.

Für die Bioanalytik beschichtet man die Leuchtflächen (Durchmesser etwa 300 µm) mit einem Enzym.



Ein lithografisch strukturierter Lichtemitter auf Silizium-Basis. Die Linienbreite beträgt 100 µm. (Quelle: nanoparc)

Die zu untersuchende Probenflüssigkeit wird hinzugegeben und bleibt an den Enzymen haften. Das blaue Licht regt Fluoreszenzmarker, mit denen die Probenflüssigkeit zuvor markiert wurde, zum Leuchten an. Auf diese Weise werden zum Beispiel Proteinsequenzen erkannt. Um den Prozess zu automatisieren, müssen auf dem Chip nicht nur Lichtemitter, sondern auch Photodetektoren integriert werden. Thoralf Gebel und seine Kollegen von nanoparc haben auf der Hannovermesse auch den Prototyp eines solchen Optokopplers vorgestellt, der ebenfalls auf Silizium basiert. Als nächstes sollen Leuchtzentren und Lichtsensoren auf einem Chip integriert werden. Dazwischen ein Kanal für die Flüssigkeit – und fertig ist das Chiplabor.

MAX RAUNER