

Kühles Licht für die Zahnfüllung

Wenn beim Zahnarzt das Schlimmste vorbei ist, kommt ein pistolenartiges Ungetüm zum Einsatz. Die Assistentin hält es auf die Füllung und drückt ab. Ein Ventilator röhrt, der Rachen schimmert bläulich. Im Licht der Pistole verbinden sich die Monomere im Füllungskunststoff zu Polymeren. Nach ein paar Minuten piepst das Gerät, die Füllung ist ausgehärtet. Während man in Amalgam-Zeiten eine Stunde nach dem Zahnarztbesuch nichts essen durfte, ist der moderne Kunststoff sofort belastbar. Das Verfahren wird als Fortschritt gepriesen, die Pistole für das blaue Licht ist allerdings Technik von gestern. Sie soll jetzt durch effizientere und leichtere Lichtquellen ersetzt werden.

In den herkömmlichen Lichtpistolen dient eine Halogenlampe mit einer Wolfram-Wendel als Lichtquelle. Doch der Großteil des erzeugten weißen Lichts ist für die Polymerisation unbrauchbar. Nur das blaue Licht wird von einem Farbfilter herausgefiltert. Für die Anwendungen beim Zahnarzt sind die Halogenlampen daher klobige Energieverschwender. Die Firma Lumileds aus dem Silicon Valley bietet seit einigen Monaten blaue Leuchtdioden mit der nach Firmenangaben höchsten Leuchtstärke pro Diode an. Die LEDs aus InGaN strahlen Licht bei 460 nm und einer Leistung von 600 mW aus. Ein Aluminium-Plättchen unter dem LED-Chip dient als Wärmesenke. Inzwischen sind die ersten dieser LEDs in kommerzielle Geräte eingebaut worden. Ein italienischer Hersteller hat das Gewicht solch einer blauen Lichtquelle auf 105 Gramm reduziert, ein Ventilator ist nicht mehr notwendig. Damit dürfte es beim Zahnarzt nun noch gemütlicher werden.



Blaue Hochleistungs-LEDs können die Wolfram-Halogenlampen beim Zahnarzt ersetzen. (Quelle: Lumileds)

Bildhauer der Mikrowelt

Physiker am Laserzentrum Hannover haben ein neues Verfahren entwickelt, 3D-Strukturen mit einer Präzision von 100 nm herzustellen. Eine derartige Auflösung ist derzeit schon bei der Herstellung von Mikrochips üblich, allerdings nur in zwei Dimensionen. Das neue Verfahren hat mit der herkömmlichen Lithographie, die in der Mikroelektronik verwendet wird, nicht mehr

viel gemein. Als Ausgangsmaterial nutzen Boris Chichkov und seine Mitarbeiter ein zähflüssiges Harz, das vom Institut für Silicatforschung in Würzburg entwickelt wurde. Das Harz besteht aus einem Gemisch von lichtempfindlichen organischen und anorganischen Polymeren. In intensivem Laserlicht absorbieren die zunächst weichen Polymere jeweils zwei Photonen gleichzeitig und verbinden sich zu einem harten Material.

Die Physiker fokussierten einen gepulsten Infrarot-Laserstrahl in das Harz und bewegten den Fokus die berechnete Oberfläche entlang. Auf diese Weise erzeugten sie eine



Die Miniatur-Kopie der Venus ist 0,5 cm hoch und soll nur der Anschauung dienen. Mit dem neuen Laser-Verfahren wollen die Physiker 10 Mikrometer kleine Strukturen fertigen. (Quelle: LZH)

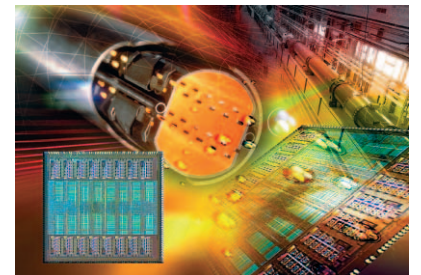
harte Schale im flüssigen Harz. Anschließend spülten sie das außen liegende Harz mit Alkohol ab. Um das Verfahren zu beschleunigen, wird das Innere der Figur zunächst nicht beleuchtet. Erst nach der Reinigung wird die Struktur vollständig gehärtet, indem man sie kurz unter ultraviolettes Licht hält. Die hohe Auflösung von 100 nm wird dadurch erreicht, dass die Zwei-Photonen-Absorption ein nichtlinearer Prozess ist. Nur in einem Kernbereich des Fokus ist die Lichtintensität hoch genug, die Polymere in hartes Material umzuwandeln.

Nachdem sich die Forscher als Bildhauer der Mikrowelt versuchten (Abb.), wollen sie künftig kleine Strukturen für Medizin und Technik herstellen. Das Hybrid-Polymer sei biokompatibel und für winzige Implantate geeignet, sagt Chichkov. Außerdem sind Anwendungen in der Telekommunikation denkbar. Eine dreidimensionale Käfigstruktur mit „photonischer Bandlücke“ könnte dazu dienen, bestimmte Lichtwellen auf einem Mikrochip herauszufiltern oder umherzulenken.

Mikrochip der Superlative

Wenn in einigen Jahren der Large Hadron Collider (LHC) in Genf in Betrieb geht, soll nicht nur die Physik zu neuen Ufern aufbrechen. Auch die Datenverarbeitung steht vor einer gewaltigen Herausforderung. Am Detektor „ALICE“ werden mehrere Terabyte pro Sekunde anfallen, wenn die Atomkerne aufeinander prallen und ihre Bruchstücke in die Driftkammern schleudern. Um nicht in der Datenflut zu ertrinken, haben die ALICE-Forscher gemeinsam mit der Firma STMicroelectronics einen Chip gebaut, der die Signale grob vorsortiert und die Datenrate reduziert. Der so genannte Altro-Chip (Alice Time Projection Chamber Readout Chip) gilt als der anspruchsvollste Mikrochip, der jemals für ein wissenschaftliches Experiment gebaut wurde. Später sollen 35 000 parallel geschaltete Altros gleichzeitig die rund 600 000 ALICE-Sensoren auslesen.

Auf einer Fläche von knapp einem Quadratcentimeter integriert der Altro-Chip 16 „AD-Wandler“, die das analoge Signal der Driftkammern in ein digitales Signal umwandeln. Sechs Millionen Transistoren pro Chip dienen der digitalen Weiterverarbeitung. Stolz sind die Ingenieure weniger auf die Zahl der Transistoren – auf einem Pentium-4-Chip haben etwa 55 Millio-



35000 Exemplare des Altro-Chips sollen die Datenflut des ALICE-Experiments am Large Hadron Collider vorsortieren und reduzieren. (Quelle: ST)

nen Transistoren Platz – als vielmehr auf den niedrigen Energieverbrauch und die schnelle und parallele Datenauslese ihres Chips. Ein Chip verbraucht 320 mW. Bei 35 000 Chips können 100 mW mehr oder weniger schon eine Menge ausmachen. Die gefilterten Daten werden mit einer Rate von 300 Mb/s ausgelesen. Kritisch war bei der Entwicklung vor allem das Nebeneinander von AD-Wählern und digitaler Signalverarbeitung auf einem Chip. Denn das Rauschen

der elektrischen Spannung bei der digitalen Signalverarbeitung kann die AD-Umwandlung empfindlich stören. Dieses Problem wurde durch eine Trigger-Schaltung gelöst, die das analog-zu-digital-Wandeln von der nachfolgenden Signalverarbeitung trennt.

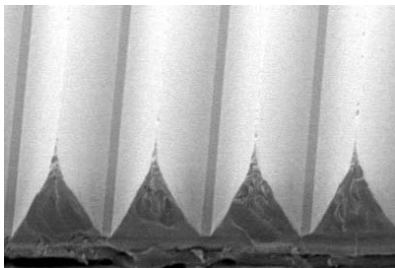
Besser hören mit Haifisch-Haut

Der Schwimmsport blieb lange Zeit von High-Tech verschont. Vor dem Wettkampf rasierten sich Schwimmer allenfalls die Haare von Kopf und Körper, um noch ein paar Hundertstel schneller zu sein. Doch seit einigen Jahren tragen Schwimmer wie der australische Olympiasieger Ian Thorpe alias „Thorpedo“ einen Ganzkörperanzug mit aufgerauter Oberfläche. Die Struktur ist der Haifischhaut nachempfunden. Kleine Riffel erzeugen winzige Wirbel, wenn der Hai durchs Wasser gleitet. Dadurch vermindert sich die Reibung und der Hai wird schneller. Die Physik dieses Phänomens ist bislang jedoch nur ansatzweise verstanden. In einer neuen Arbeit haben Dresdener Fluid-Forscher jetzt verschiedene Muster im Experiment getestet, darunter eine „V“-förmige Struktur mit optimaler Anordnung der Riffel (englisch: „riblets“).¹⁾

Konrad Költzsch und Roger Grundmann vom Institut für Luft- und Raumfahrtforschung der Universität Dresden sowie Albrecht Dinkelacker vom MPI für Strömungsforschung in Göttingen klebten für ihre Experimente eine aufgeraute Folie in ein Rohr, durch das sie Luft strömen ließen. Mit einem Hitzedrahtsensor bestimmten sie die Geschwindigkeit der Strömung an der inneren Rohrwand. Am schnellsten strömte die Luft, wenn die Ausdehnung der entstehenden Wirbel dem Abstand der Riffel entsprach. In diesem Fall berühren die „Haarnadelwirbel“ nur die Spitzen der Riffel und nicht die gesamte Fläche des Rohrs. Die Kontaktfläche verringert sich, die Luft strömt schneller. Ähnliches gilt für Wasser.

Bei den meisten Haifischen verlaufen die feinen Riffel in geraden Linien vom Kopf in Richtung Schwanz. Bei einigen schnellen Hai-Arten wie dem Blauhai weist die Haut dagegen ein kompliziertes Muster auf. So stoßen die Riffel an vielen Stellen in einem Winkel aufeinander. Die Forscher simulier-

ten diese Struktur mit einer „V“-förmig aufgerauten Folie. Je nach Orientierung beobachteten sie ein stark unterschiedliches Strömungsverhalten. Am stärksten vergrößerte sich die Strömungsgeschwindigkeit, wenn das „V“ mit der Spitze in Richtung Windquelle zeigte. In diesem Fall strömte die Luft um 15



Ein „V-förmig“ aufgerautes Profil kann die Strömungsgeschwindigkeit von Luft um 15 Prozent gegenüber einer glatten Wand erhöhen. Die Riffel sind 150 μm breit. (Quelle: Ohio State University)

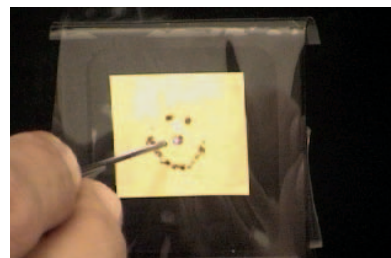
Prozent schneller als in einem Rohr ohne Riffel. Gleichzeitig verringerten sich die Turbulenzen an der Rohrwand. Das V-Muster hat daher noch eine andere Funktion. An einer seitlichen Vertiefung im Haikörper, dem „Ohr“, sorgt es vermutlich dafür, dass schwimmende Haie besser hören können. Als nächstes wollen die Forscher untersuchen, wie kleine Härchen auf der Haut die Reibung beeinflussen. Auch dafür gibt es Vorbilder in der Natur: Pinguine und Robben sind fein behaart. Vielleicht werden ja bald auch die Schwimmer mit künstlichem Pelz ins Wasser steigen.

Lichtleitender Sandwich

Die Geschichte der Glasfaser ist eine Erfolgsstory. Allein die Telekom hat inzwischen mehr als 150 000 Kilometer Glasfaserkabel in Deutschland verbuddelt. 90 Prozent des Datenverkehrs werden über Glasfaserverbindungen abgewickelt. Doch die weite Verbreitung in der Telekommunikation täuscht darüber hinweg, dass die herkömmlichen Fasern nicht für alle Zwecke gleichermaßen geeignet sind. Jenseits der typischen Wellenlängen für die Telekommunikation (um 1,5 μm) absorbieren sie zu viel Licht. Hohe Leistungen, wie man sie in der Medizin oder beim Schweißen benötigt, zerstören die Fasern. Daher experimentieren Wissenschaftler und Ingenieure mit neuen Materialien und Designs. Materialwissenschaftler vom Massachusetts Institute of Technology

haben jetzt eine hohle Glasfaser entwickelt, die infrarotes Licht bei Wellenlängen zwischen 1 und 10 μm mit vergleichsweise geringen Verlusten leitet.²⁾

Herkömmliche Fasern bestehen aus einem transparenten Glaskern, der mit einem Kunststoff oder Glas geringerer Brechzahl ummantelt ist. Das Licht wird in den Kern eingekoppelt. Durch Totalreflexion an der Grenze zum Kunststoff wird es immer wieder in den Kern zurückreflektiert und wie in einer Röhre geführt. Um die Verluste im Glas für langwelliges Licht zu verringern, gibt es schon länger eine naheliegende Idee: Man verwendet eine hohle Faser, deren Innenseite verspiegelt ist. Zu diesem Zweck wurden metallische Fasern entwickelt. Diese sind allerdings nicht sehr flexibel und im Infraroten noch zu verlustreich. Die neue Faser der MIT-Forscher ist noch raffinierter aufgebaut. Statt aus einem Metall ist die Innenseite aus dielektrischen Schichten mit unterschiedlichem Brechungsindex aufgebaut, ganz ähnlich wie bei einem dielektrischen Spiegel. Durch Interferenzeffekte



wird das Licht an der Sandwichstruktur reflektiert und bleibt auf das Innere des Hohlleiters begrenzt. Auf diese Weise führten die Forscher das Licht eines 25 Watt starken CO_2 -Lasers (Wellenlänge 10,6 μm) über mehrere Meter und brannten am Faserausgang Löcher in einen Film. Die Verluste betragen knapp 1 dB pro Meter. Das entspricht zwar einer Halbierung der Leistung nach drei Metern, liegt aber bei der Rekordmarke anderer Hohl-Fasern für 10,6 μm Wellenlänge. Der große Vorteil der neuen Faser ist ihre Flexibilität, denn sie lässt sich wesentlich besser biegen als metallische Fasern. Um das zu demonstrieren, lenkten die MIT-Forscher das Licht um die Ecke (Krümmungsradius 4 cm). Außerdem dehnen sich die Schichten beim Faser-Ziehen sehr gleichmäßig aus. Auf diese Weise lassen sich hundert Meter lange Fasern herstellen.

MAX RAUNER

1) Exp. Fluids 33, 346 (2002)

2) Nature 420, 650 (2002)

Eine hohle Glasfaser mit einer mehrschichtigen Sandwichstruktur an der Innenseite kann im Gegensatz zu gängigen Glasfasern auch das Licht eines 25 Watt starken CO_2 -Lasers übertragen, mit dem sich Löcher in eine Folie brennen lassen. (Quelle: MIT)