

## ■ Licht statt Funke

**Integrierte Laser könnten Zündkerzen ersetzen.**

Zündkerzen gehören zum Ottomotor wie Räder zum Auto. Sie erzeugen einen Funken und entzünden damit das Benzin-Luft-Gemisch des Motors. Als Beiprodukte dieser Verbrennung entstehen unerwünschte Stickoxide, deren Anteil sich dadurch verringern lässt, dass mehr Luft beigemischt wird. Aller-



Gleiche Bauform, unterschiedliche Energieerzeugung: „Laserkerze“ und Zündkerze.

dings müssen die Zündkerzen dann Funken höherer Energie erzeugen, was zu einer stärkeren Erosion der Elektroden führt. Geeignete Laser hätten dieses Problem nicht, waren bislang aber zu groß als Ersatz für Zündkerzen. Nun ist es Wissenschaftlern der japanischen National Institutes of Natural Sciences und eines gemeinsamen Tochterunternehmens von Toyota und Denso gelungen, einen Laser so weit zu miniaturisieren, dass er sich in das konventionelle Gehäuse einer Zündkerze integrieren lässt.<sup>1)</sup>

Um die Verbrennung des Benzin-Luft-Gemisches zu starten, muss ein Laser eine Intensität von etwa  $100 \text{ GW/cm}^2$  erreichen. Die Forscher verwenden einen Laser aus zwei YAG-Teilen (Yttrium-Aluminium-Gallium): Eines ist mit Neodym dotiert, das andere mit Chrom. Der komplette gutgeschaltete Laser ist nur 11 mm lang und hat einen Durchmesser von 9 mm. Jeder 800 ps lange Puls trägt 2,5 mJ Energie. Die Forscher haben bislang Pulswiederholraten bis 100 Hz erreicht, fürs Auto genügen bereits 60 Hz. Der Laser ist nicht stark genug, um die magersten Benzin-Luft-Gemische mit einem einzigen Puls zu zünden, aber mehrere Pulse nacheinander reichen dafür aus.

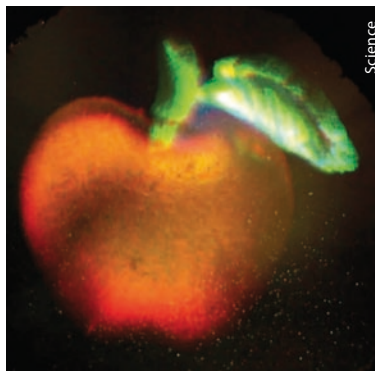
Der Nd:YAG/Cr<sup>4+</sup>:YAG-Laser erzeugt zwei Strahlen, die sich in die Mitte des Benzin-Luft-Gemisches fokussieren lassen. Dadurch steigt die Effizienz der Verbrennung verglichen mit einem einzelnen Zündfunken, der am Ende des Kolbens entsteht. Eine noch gleichmäßigere Verbrennung verspricht ein dreistrahliger Laser, dessen Entwicklung bereits weit fortgeschritten ist.

## ■ Holografie reloaded

**Plasmonische Strukturen können echte 3D-Bilder darstellen.**

Bei aktuellen 3D-Displays für die Unterhaltungselektronik entsteht der räumliche Bildeindruck durch zwei 2D-Bilder, die beim Blick durch eine Brille mit Polarisationsgläsern oder mithilfe eines Linsenrasters direkt auf dem Display überlagert werden. Die Holografie liefert dagegen echte 3D-Ansichten, ist allerdings meistens auf eine Farbe oder einen engen Betrachtungswinkel begrenzt. Japanische Wissenschaftler von den Universitäten Tokio Denki und Usaka haben nun ein holografisches Verfahren entwickelt, mit dem sich echte 3D-Farbbilder erzeugen lassen. Sie nutzen dazu Oberflächenplasmonen.<sup>2)</sup>

Die Japaner haben in einem Fotolack ein Hologramm als Interferenzmuster zwischen dem gestreuten Licht des Objekts – einem Apfel – und dem ungestreuten Referenzstrahl aufgenommen. Sie machten sich dabei zunutze, dass das Hologramm die Farbinformation enthält, wenn das Interferenz-



Farbige Rekonstruktion eines Apfels mithilfe eines Oberflächenplasmonen-Hologramms.

muster mit verschiedenen Farben aufgenommen wird. Den Fotolack haben sie anschließend mit einer Silberschicht überzogen.

Wenn die Forscher nun die Struktur von hinten mit blauem, rotem und grünem Laserlicht unter den richtigen Winkeln beleuchten, breiten sich Oberflächenplasmonen bei diesen Wellenlängen in der Metallschicht aus. Treffen sie dabei auf das Interferenzmuster des Hologramms, sind z. B. die Rotanteile für den Betrachter aus den Richtungen zu sehen, aus denen Rot in der Originalstruktur gestreut worden ist. Entsprechendes gilt für Blau und Grün. Die richtige Farbbalance, sozusagen der Weißabgleich, unter verschiedenen Betrachtungswinkeln ist nicht ganz einfach zu erreichen.

Bislang eignet sich die Methode natürlich noch nicht für Displays, weil die Forscher das Interferenzbild in der Metallschicht nur einmalig schreiben, aber nicht löschen und erneut schreiben können. Andere holografische Ansätze kämpfen mit ähnlichen Problemen, schaffen inzwischen aber zumindest langsame Bildwiederholraten.

## ■ In der dritten Dimension

**Die erste Massenfertigung von Prozessoren mit 3D-Strukturen steht bevor.**

Gemäß dem Mooreschen Gesetz verdoppelt sich die Zahl der Transistoren – und damit die Rechenleistung – auf einer bestimmten Chipfläche alle zwei Jahre. Um diese rein empirische Regel fortsetzen zu können, erforschen Halbleiterhersteller und Wissenschaftler bereits seit einiger Zeit dreidimensionale Transistorstrukturen, mit denen sich die Raumnot ähnlich wie in einer Großstadt durch das Ausweichen in die Höhe mindern ließe. Intel hat die Technologie nun so weit entwickelt, dass noch in diesem Jahr die Massenfertigung von Prozessoren mit 3D-Strukturen anlaufen soll.

Die Transistoren moderner Prozessoren werden in CMOS-Technologie (komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter) gefertigt,

1) N. Pavel et al., Optics Express 19, 9378 (2011)

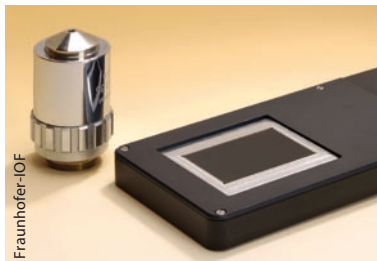
2) M. Ozaki et al., Science 332, 218 (2011)

bei der sowohl p- als auch n-Kanal-Feldeffekttransistoren (MOSFETs) auf einem gemeinsamen Substrat sitzen. Über den elektrisch isolierten Gate-Anschluss lässt sich der Stromfluss vom Drain- zum Source-Anschluss steuern, weil das Gate gezielt die leitenden und nichtleitenden Bereiche des Halbleitermaterials vergrößert oder verkleinert. In seiner nächsten Prozessgeneration wird Intel die Gates nicht mehr planar, sondern als dreidimensionale Blöcke ausführen. Eine Rippe, durch die der Strom von Drain zu Source fließt, umschließt dabei das Gate von drei Seiten. Das hat gleich mehrere Vorteile: Die Transistordichte des 22-nm-Prozesses, in dem das Design erstmals zum Einsatz kommt, ist doppelt so hoch wie beim aktuellen 32-nm-Prozess. Zudem ermöglichen die 3D-Strukturen höhere Ströme im aktiven Zustand des Transistors, und im inaktiven Zustand fallen die Verlustströme geringer aus, weil es in der Schicht unter dem Isolator zu einer vollständigen Verarmung von Ladungsträgern kommt. Laut Intel steigt dadurch die Prozessorleistung um 37 Prozent oder – bei gleicher Taktfrequenz – sinkt die Energieaufnahme um die Hälfte.

## ■ Optischer Flachmann

**Dank Mikrooptik kann ein Mikroskop schnell ein großes Feld mit hoher Auflösung erfassen.**

In den vergangenen zehn Jahren hat die Herstellung von Mikrooptiken große Fortschritte gemacht. Dabei handelt es sich nicht mehr um diskrete Linsen, sondern um Linsen-Arrays, die auf einem Substrat mithilfe von Lithografie- und Ätzverfahren erzeugt werden. Ihre Abmessungen liegen nur wenige Größenordnungen über der Wellenlänge des verwendeten Lichts. Während solche Mikrooptiken in der Faseroptik bereits verbreitet sind, ist ihr Potenzial für Anwendungen, die bislang der Makrooptik vorbehalten waren, noch bei Weitem nicht ausgeschöpft. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts



Flachbauend: ein konventionelles Mikroskopobjektiv (links) im Vergleich zum Fraunhofer-Mikroskop mit Mikrooptik.

für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena haben nun ein Mikroskop entwickelt, das eine solche Mikrooptik nutzt und deshalb kostengünstig und flach ausfällt.

Der Demonstrator hat eine optische Baulänge von nur 5,3 mm. Er besteht aus einem Array mit 80 mal 120 Kanälen. Jeder optische Kanal enthält acht Linsen, von denen jeweils vier auf der Vorder- und Rückseite eines Glaträgers angebracht sind. Die Glaträger fungieren auch als Halter der Blenden, die dafür sorgen, dass das Bildfeld eines jeden Kanals  $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m}$  in der Objektebene entspricht. So lässt sich ein Übersprechen der Kanäle vermeiden. Jede Einzellinse hat einen Durchmesser von  $300\ \mu\text{m}$ ; in jedem Kanal befinden sich neben zwei sphärischen Einzellinsen zwei Achromate und zwei asphärische Linsen. Der Strahlengang in jedem Kanal ist symmetrisch aufgebaut: Die objektseitigen Linsen erzeugen ein verkleinertes Zwischenbild, das die anderen vergrößern und auf einen elektronischen Bildsensor projizieren. Objekt- und Bildebene sind jeweils 1,3 mm von der ersten beziehungsweise letzten Linse entfernt.

Der Sensor nimmt das Bild gleichzeitig durch alle Kanäle auf, was die Bilderstellung im Vergleich zu einem Rastermikroskop drastisch beschleunigt. Trotzdem kann das IOF-Mikroskop ein Feld in der Größe von  $24\ \text{mm} \times 36\ \text{mm}$  erfassen. Die Numerische Apertur beträgt etwa 0,1, was ungefähr  $5\ \mu\text{m}$  Auflösung entspricht.

Die Wissenschaftler sehen Anwendungen für das Prinzip in der Medizintechnik, in der pharmazeutischen Industrie und in der industriellen Bildverarbeitung.

**Michael Vogel**