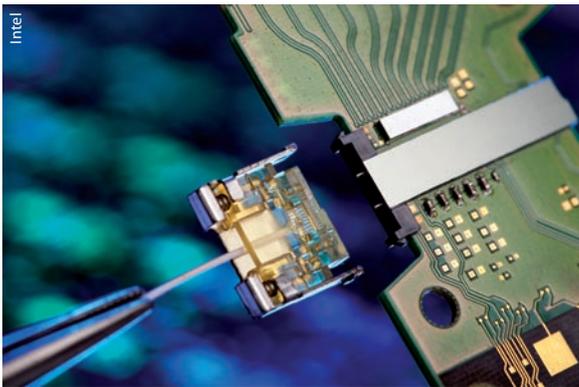


## ■ Optisch schnell verbunden

**Mit integrierten Hybridlasern erreichen photonische Siliziumchips 50 Gigabit pro Sekunde.**

Optische Computer sollen eines Tages konventionelle Mikrochips mit ihren Kupferleitungen ersetzen, denn mit photonischen Bauelementen lassen sich die Nachteile eines metallischen Leiters bei Taktfrequenz, Bandbreite und Übertragungsentfernung überwinden. Für eine Fertigung im industriellen Maßstab ist Silizium als Ausgangs-



Bei der optischen Verbindung leitet das Sendemodul (links) das Laserlicht vom Siliziumchip in der Mitte der Platine durch einen Lichtleiter zum Empfängermodul (rechts). Dieses detektiert die Signale und wandelt sie in elektrische Impulse um.

material für das optische Rechnen wünschenswert, da es billig ist und die Industrie damit eine jahrzehntelange Erfahrung hat. Doch um wirtschaftlich zu sein, müssen die Unternehmen und Forschungseinrichtungen einen Weg finden, die Siliziumphotonik als integrierte Technologie aufzubauen. Intel hat nun ein Labormuster vorgestellt, das diesem Ziel sehr nahekommt.

Es handelt sich um eine durchgehend optische Verbindung, in welche die Laser integriert sind. Das Bauelement besteht aus einem Sende- und Empfängerchip, die optische (De-)Multiplexer und Laserstrahlquellen beziehungsweise Photodetektoren enthalten. Der Sendechip besteht aus vier DFB-Lasern (Distributed-FeedBack-Lasern), deren Signale über einen optischen Multiplexer in einen Lichtleiter eingespeist werden. DFB-Laser sind Laserdioden, deren aktives Material periodisch strukturiert ist. Dadurch kommt es in ihm zur Interferenz und wellenlängenselektiven Reflexion – die Grundlage für die optische Rückkopplung des Lasers. Bei den Lasern greift das Konzept

der Siliziumphotonik allerdings noch nicht vollständig, da sich Silizium bislang nicht zur Emission von nutzbarer Laserstrahlung stimulieren lässt. Deshalb verbinden die Intel-Forscher eine Indiumphosphidschicht als aktives Material mit dem Silizium-Wafer („bonden“). Die Laser emittieren Wellenlängen um 1310 nm.

Im Empfänger trennt ein optischer Demultiplexer die vier Laserstrahlen wieder, und Photodetektoren wandeln die Photonen in elektrische Impulse um. Das Labormuster erreicht 50 Gigabit pro Sekunde – hundert Stunden digitale Musik wären also innerhalb einer Sekunde übertragbar. Laut Intel lässt sich das Prinzip bis in den Bereich von Terabit pro Sekunde skalieren, indem man die Laser schneller moduliert und weitere parallel betreibt.

## ■ Sanfter Übergang

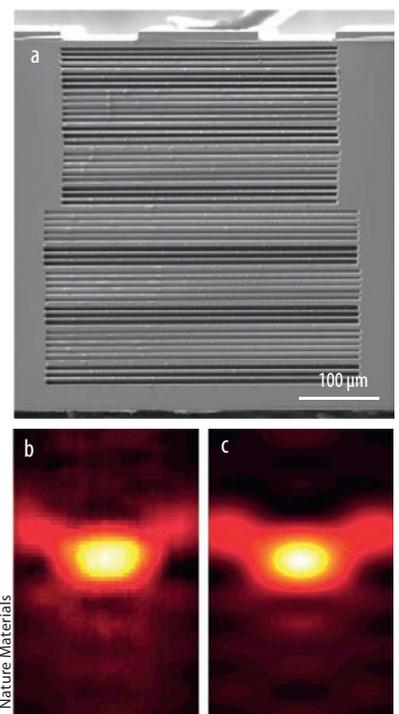
**Ein THz-Quantenkaskadenlaser erreicht eine bessere Strahlqualität.**

Terahertzwellen durchdringen elektrisch isolierende Stoffe, ohne sie zu beschädigen. Diese Eigenschaft macht sie für viele Anwendungen interessant. Weltweit arbeiten Forscher daher an entsprechenden Applikationen, die sich für Medizin, Personen- und Sprengstoffkontrolle oder zerstörungsfreie Materialprüfung einsetzen lassen. Für kompakte und mobile Systeme sind Halbleiterlaser als Strahlquelle wichtig, da sie eine hohe Integrationsdichte ermöglichen. Bei Quantenkaskadenlasern (QCL) besteht der aktive Bereich aus vielen identischen Stufen nanometerdicker Quantentöpfe. Die Elektronen werden immer wieder in die verschiedenen Stufen injiziert und emittieren Photonen, wenn sie auf tiefere Energieniveaus fallen. Bei den THz-QCL mit den bislang höchsten Betriebstemperaturen und den niedrigsten Schwellenströmen steckt der laseraktive Bereich zwischen zwei Metallschichten. Bei der Auskopplung der Strahlung über Öffnungen, die kleiner als die Wellenlänge sind, kommt es allerdings

zu Leistungsverlusten und einer starken Strahldivergenz.

Bislang versuchten Forscher diesem Problem vor allem durch Korrekturlemente im Strahlengang beizukommen oder durch Gitter höherer Ordnung oder photonische Kristalle, durch die sich die Austrittsfläche der Laserstrahlquelle optisch vergrößern lässt. Allerdings macht das den Aufbau sehr filigran und justageanfällig, oder die Schwellenstromdichte für die Laseraktivität steigt.

Wissenschaftler der amerikanischen Harvard University und der britischen University of Leeds haben nun einen Weg gefunden, mit dem sich diese Nachteile vermeiden lassen.<sup>1)</sup> Sie haben die Oberfläche eines QCL mit Furchen strukturiert, deren Abstände viel kleiner als die Wellenlänge der Strahlquelle (100  $\mu\text{m}$ ) sind. Der Laser emittiert bei einer unbehandelten Grenzfläche sowohl direkt ins Fernfeld als auch in Oberflächenplasmonen. Der Wellenvektor der Laserstrahlung im Wellenleiter des QCL unterscheidet sich dabei stark von den Wellenvektoren des Fernfelds und der Oberflächenwel-



Die strukturierte Austrittsfläche des Quantenkaskadenlasers (a: raster-elektronenmikroskopische Aufnahme) verbessert das zweidimensionale Intensitätsprofil im Fernfeld (b: gemessen; c: gerechnet).

1) Nanfang Yu et al., Nature Materials (AOP), DOI:10.1038/nmat2822

len. Durch die Strukturierung fällt der Übergang jedoch nicht mehr so drastisch aus, sodass die Struktur dank der veränderten Dispersion wie ein Kollimator wirkt: Die abgegebene Leistung des QCL steigt (ums Sechsfache) und die Strahldivergenz sinkt von  $180^\circ$  auf  $10^\circ$ .

## ■ Funkendes Holz

**Ein billiger und prozesskompatibler RFID-Tag erleichtert die Klassifizierung von Baumstämmen.**

GPS und Funketiketten sind für die Forstwirtschaft wichtige Hilfsmittel, um gefällte Stämme im Wald wieder aufzufinden. Bei teuren Hölzern werden inzwischen sogar einzelne Stämme mit RFID-Tags (Radio Frequency Identification) versehen. Solche Tags müssen sehr robust sein. Daher sind sie deutlich teurer sind als ihre Pendants in der Warenlogistik. Für Industrieholz, das als Rohstoff für die Papierverarbeitung dient, sind teure Funk-

etiketten ebenfalls indiskutabel. Daher haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) in Berlin nun einen RFID-Tag entwickelt, der sich günstig fertigen lässt und aufgrund seiner geringen Metallanteile auch nicht vor der Verarbeitung des Industrieholzes entfernt werden muss.

RFID-Tags bestehen aus einer Antenne, einem IC, der die erforderliche Kommunikation mit dem Lesegerät ermöglicht, sowie aus einem Träger und einem Gehäuse. Das passive Funketikett des IZM arbeitet im Ultrahochfrequenz-Band bei 868 MHz, das einen größeren Ausleseabstand ermöglicht: In der Praxis fährt ein Lastwagen mit geladenem Holz durch ein Portal, das die Tags ausliest. Als Träger- und Verkapselungsmaterialien werden Papier und Lignin, das bei der Gewinnung von Zellulose aus Holz anfällt, auf ihre Praxistauglichkeit untersucht. Die Antenne drucken die Forscher aus einer Polymerpaste, die Silberpartikel enthält.

Da das Holz der Stämme und das Gehäuse als verlustbehaftete Dielektrika wirken, reduzieren sie die Leistung, welche die RFID-Antenne empfangen kann, und „verstimmen“ aufgrund ihrer Kapazität die Antenne. Die Forscher mussten daher die Impedanzen von IC und Antenne aneinander anpassen. Dies verwirklichten sie durch eine induktive Anpassungsschleife, die Dipolantenne und IC verbindet. Indem die IZM-Wissenschaftler Schleifenfläche und Antennenlänge variieren, können sie die Impedanz sehr genau einstellen. Und da im Nahfeld eines Dipols mit induktiver Anpassungsschleife das Magnetfeld dominiert, stören auch die dielektrischen Effekte von Stamm und Gehäuse die Antenne nur wenig.

Der Prototyp des RFID-Tags ist Teil eines Projekts, das verbesserte Logistikprozesse in der Holzindustrie zum Ziel hat und an dem weitere Forschungseinrichtungen sowie mehrere Partner aus der Forstwirtschaft beteiligt sind.

**Michael Vogel**