

■ Rekordverdächtige Scheibe

Ein optisch gepumpter Halbleiterlaser erreicht eine Ausgangsleistung von mehr als 100 Watt.

Scheibenlaser, auch VECSELs (Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers) genannt, sind eine relativ neue Klasse von Lasern, die künftig einen breiten Einsatz erfahren könnten, z. B. in der Spektroskopie, Medizintechnik oder zur Erzeugung von Terahertzwellen. Sie liefern hohe Leistungen bei sehr gutem Strahlprofil. Gleichzeitig lässt sich ihre Wellenlänge in einem Bereich zwischen 600 nm und mehr als 2 μm einstellen; mit

turen. Ein 2 mm dicker Streifen aus Diamant, der optimal mit der Halbleiterstruktur verbunden ist, leitet die Wärme gut ab.

Die thermoelektrisch stabilisierte Temperatur des Kühlkörpers liegt bei 3 °C, wenn der VECSEL 106 W Ausgangsleistung liefert. Vernachlässigt man die Verluste des Pumpstrahls durch Reflexionen, erreicht der Wirkungsgrad (optisch zu optisch) maximal 45 % bei knapp 100 W Ausgangsleistung. Die Forscher gehen davon aus, dass sie die Ausgangsleistung bis auf 120 W steigern können, wenn sie die Kühltemperatur auf –10 °C reduzieren.

■ Terahertzvideos in Echtzeit

Eine kompakte CMOS-Kamera schafft Aufnahmen im THz-Bereich mit 25 Bildern pro Sekunde.

Mit der THz-Strahlung erschließen Wissenschaft und Industrie seit einigen Jahren einen technisch bislang ungenutzten Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Diese Strahlung ermöglicht es, auch empfindliche Proben ohne Schädigung zu untersuchen. Sicherheitstechnik, bildgebende Verfahren in der Medizin, industrielle Qualitätskontrolle oder Wasser- und Lebensmittelüberwachung sind interessante Anwendungsfelder. Viele Geräte, die mit THz-Strahlung arbeiten, sind bislang aber sehr sperrig.

Nun haben Wissenschaftler der Universität Wuppertal gemeinsam mit Kollegen der Universität Lille und technischer Unterstützung der Firma STMicroelectronics eine kompakte Videokamera auf CMOS-Basis entwickelt, die für THz-Strahlung empfindlich ist.²⁾ Sie misst 5 cm \times 5 cm \times 3 cm und lässt

sich per USB an einen Computer anschließen.

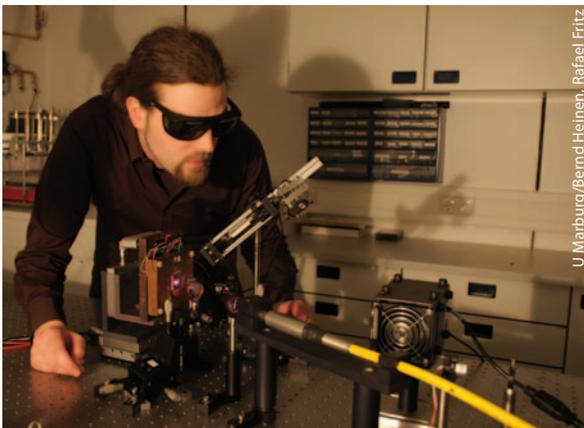
Die CMOS-Technologie ist für Kameras interessant, weil sie die günstige Fertigung von Geräten erlaubt. Allerdings bestanden bisherige CMOS-Kameras für den THz-Bereich aus nur einem Pixel, sodass sie echte Bilder nur durch minutenlanges Scannen aufnehmen konnten. Die neue Kamera schafft 25 Bilder pro Sekunde dank einer Matrix mit 1024 Pixeln. Die Detektorfläche misst 2,9 mm \times 2,9 mm, die Pixel sind 80 μm \times 80 μm groß.

Die Kamera deckt einen Frequenzbereich von 600 GHz bis 1 THz ab. Jedes Pixel besteht aus einer Ringantenne und einem Mischer, der einen Transistor in NMOS-Technologie (N-type Metal-Oxide Semiconductor) enthält. Das empfangene THz-Signal wird durch den Transistor direkt in einen Gleichstrom gewandelt, und dann – ähnlich wie bei einer optischen Kamera – ausgelesen. Die Wissenschaftler konnten das Problem lösen, dass gängige rauscharme Verstärker immer noch zu viel Rauschen bei der Signalverarbeitung erzeugen würden. Die Quantenausbeute eines CMOS-Sensors im THz-Bereich fällt um eine Größenordnung 100 000 schlechter aus als im Optischen.

■ Projektionsflunder

Chipbasierte Linsenfelder erlauben einen weiteren Miniaturisierungsschritt und neue Anwendungen.

Mikrolinsen-Arrays ermöglichen Optiken mit sehr geringen Bautiefen. Solche Arrays, die auf einem Substrat mithilfe von Lithografie- und Schmelzverfahren aus Polymeren erzeugt werden, haben charakteristische Abmessungen, die nur wenige Größenordnungen über der Wellenlänge des verwendeten Lichts liegen. Sie lassen sich kostengünstig und in großen Stückzahlen auf Wafern fertigen. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena haben eine Mikroprojektionsoptik entwi-



U Marburg/Bernd Heinen, Rafael Fritz

Der von einem deutsch-amerikanischen Team entwickelte Halbleiterscheibenlaser erreicht einen Spitzenwert bei der Ausgangsleistung.

Frequenzkonversion sind sogar Wellenlängen im sichtbaren und UV-Licht möglich. Durch diese Flexibilität können VECSELs z. B. sperrige Strahlquellen wie Argon-Ionen-Laser ersetzen.

Wissenschaftler der Philipps-Universität Marburg, der Marburger NAsP_{III/IV} GmbH und der University of Arizona in Tucson haben einen Halbleiterscheibenlaser mit einer Ausgangsleistung von 106 W bei 1028 nm entwickelt.¹⁾ Der bisherige Rekord lag bei 70 W (bei –25 °C) bzw. 40 W (bei 15 °C).

Das größte Problem der VECSELs bei steigender Ausgangsleistung ist die entstehende Wärme, die zu einer Überhitzung führen kann, wenn sie nicht schnell genug aus der Halbleiterstruktur abgeführt wird. Die Forscher erreichten dies durch viele theoretische und experimentelle Optimierungsschritte. Sie verbesserten das Design des Lasers und steuerten das quantitative epitaktische Wachstum der Struk-

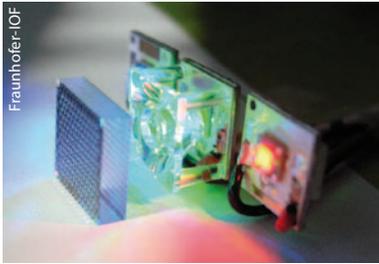


U Wuppertal

Die CMOS-basierte Terahertzkamera ist kleiner als eine halbe Packung Butter.

1) B. Heinen et al., *Elect. Lett.* **48**, 516 (2012)

2) H. Sherry et al., *ISSCC 2012 Digest of Technical Papers*, 252



Mikroprojektionsoptik-Arrays (links) lassen sich sehr flach ausführen, der IOF-Prototyp ist nur 3 mm dick, und von hinten beleuchten.

ckelt, die eine hohe Schärfentiefe aufweist – von wenigen Zentimetern bis unendlich. Sie bietet sich für Beleuchtungsaufgaben an, bei denen es darum geht, zusätzliche Informationen darzustellen.

Vorstellbar sind z. B. Anwendungen im Automobilbereich oder bei der Projektion von Tastaturen für Mobilgeräte wie Smartphones. Denn auf ihnen ist das Tippen relativ mühselig. Eine projizierte Tastatur in Laptop-üblicher Größe würde das Schreiben an einem Smartphone dagegen deutlich erleichtern.

Die IOF-Forscher haben für einen Prototyp einer entsprechenden Optik 200 Mikrooptiken auf einen Chip integriert. Jede dieser Optiken projiziert ein komplettes Bild. Damit die Überlagerung der 200 Bilder zu einem einzigen hellen und scharfen Bild führt, rechnet ein Algorithmus aus, wie stark jedes Bild aufgrund der Position der Linse im Array und der daraus resultierenden Neigung ihrer optischen Achse zur Projektionsfläche verzerrt sein muss.

Der IOF-Prototyp zeigt noch keine dynamischen Bilder, sondern vorgefertigte Motive, die wie Dias mit einer LED-Optik von hinten beleuchtet werden. Für eine Anwendung als Digitalprojektor müsste an die Stelle der „Dias“ ein schaltbarer Bildgeber, etwa eine Flüssigkristallmatrix, treten. Im Labor funktioniert das bereits, allerdings noch nicht in der gewünschten Auflösung von 400×300 Pixeln, die die „Dia“-Lösung derzeit bei einem Lichtstrom von 65 Lumen erreicht. Dieser Lichtstrom ist ungefähr sechsmal größer als der von heutigen Picoprojektoren.

■ Mischungsverhältnis durch die Hintertür

Ein Sensor misst die Zusammensetzung einer Flüssigkeit mittels Wärmekapazität und -leitfähigkeit.

Bei vielen Anwendungen – von Brennstoffzellen, über die Messung des Frostschutzmittelanteils bei Kraftfahrzeugen bis zur Abgasnachbehandlung – ist es wichtig, das Mischungsverhältnis von Flüssigkeiten zu kennen. Daher haben Wissenschaftler der Universität des Saarlandes einen Sensor entwickelt, der die Zusammensetzung von Flüssigkeiten über ihre Wärmekapazität und -leitfähigkeit bestimmt.

Die Forscher haben für den Sensor Metall auf eine thermisch isolierende Polyimidfolie gesputtert und fotolithografisch strukturiert: In der Mitte befindet sich ein Heizer, dessen Widerstand und Temperatur sich genau bestimmen lassen. Ringsum sind vier Widerstände angeordnet. Von ihnen bzw. vom Heizer führen die erforderlichen elektrischen Kontakte weg, um in einer Messung bei konstanter Stromstärke oder Leistung aus der Änderung des Widerstands auf die Temperaturänderung rückzuschließen. Über dem Sensor liegt eine flache Messzelle, in der sich das Flüssigkeitsgemisch befindet.

Bei bekannter spezifischer Wärmeleitfähigkeit und -kapazität zweier Flüssigkeitskomponenten leitet sich das Mischungsverhältnis ab. Dazu heizen die Forscher den Sensor zunächst für zwei Sekunden um 40 °C auf. Die Messgenauigkeit ist für industrielle Anwendungen noch zu gering: Für die Abgasnachbehandlung mit SCR-Katalysatoren (selektive katalytische Reduktion) ist eine Genauigkeit von etwa einem Prozent nötig. Bei diesem Verfahren befindet sich in einem Zusatztank eine Harnstofflösung, deren Mischungsverhältnis bislang nicht kontrolliert wird. Sie wird dem Abgasstrom gezielt beigegeben, um die Stickoxide zu reduzieren. Für Brennstoffzellen sollte das Mischungsverhältnis von Methanol und Wasser auf ein Zehntel Prozent genau bekannt sein.

Michael Vogel