

■ Schneller Kraftprotz

Ein 300-Terawatt-Laser erreicht hohe Energiedichten und Puls-wiederholraten.

Um den strahlungsdominierten Bereich der Elektron-Licht-Wechselwirkung zu erforschen, sind Laser mit Leistungsdichten in der Größenordnung von 10^{23} W/cm² nötig; die Erforschung von Phänomenen wie relativistische Ionenplasmen oder die Vakuumpolarisation erfor-

und wieder komprimiert. Die Vorverstärker des neuen Lasersystems heben die Strahlenergie des Ausgangsoszillators zunächst in den Mikrojoule-Bereich. Durch eine weitere Verstärkerstufe erreicht die Strahlenergie 1 J, bevor sie in der dritten und letzten Titan:Saphir-Verstärkereinheit auf 17 J steigt. Ein frequenzverdoppelter Neodym:Glas-Laser, den die Forscher entwickelt haben, pumpt die letzten beiden Verstärker. Das 300-TW-Lasersystem emittiert bei 800 nm Wellenlänge.

Nachdem der Strahl wieder auf 30 fs komprimiert worden ist, fokussieren ihn die Wissenschaftler mit einem Parabolspiegel auf einen Fleck mit 1,3 µm Durchmesser. Ein adaptiver Spiegel, den die Signale eines hinter dem Parabolspiegel gelegenen Wellenfrontsensors steuern, kompensiert die Bildfehler der Hauptoptik. Käme als Hauptoptik ein Parabolspiegel mit noch kürzerer Brennweite zum Einsatz, würde dies die Leistungsdichte weiter steigern.

■ Blutzuckercheck in vivo

Das Labormuster eines Sensors misst Glukosekonzentrationen.

Diabetiker müssen regelmäßig ihren Blutzuckerspiegel kontrollieren. Dazu nehmen sie sich Blut ab und ermitteln chemisch den Glukoseanteil. Könnte ein Sensor im Körper diese Aufgabe übernehmen, entfielen nicht nur der Stich mit der Nadel, vielmehr böte sich dadurch die Chance, Patienten kontinuierlich zu überwachen, ohne ihre Mobilität einzuschränken.

Diese Vision erklärt das Interesse an Glukosesensoren. Wissenschaftler um den Physiker Pritiraj Mohanty von der Boston University haben nun das Labormuster eines solchen Sensors produziert, das sich mit heutigen Fertigungstechniken der Siliziumelektronik herstellen lässt.²⁾ Damit unterscheidet sich ihr Ansatz von bisherigen Entwicklungen, so die Forscher: Aus den anderen Sensorentwürfen ließen sich nur in begrenztem Umfang komplexe in-

tegrierte Schaltkreise aufbauen, und die genutzten Fertigungsverfahren seien nicht skalierbar.

Die Forscher verbinden für ihren Sensor Source- und Drain-Elektroden eines Feldeffekttransistors mit Nanokanälen, die durch mehrere Siliziumnanodrähte gebildet werden. Die Drähte sind 50 bis 100 nm dick, 100 nm hoch und 6 µm lang. Dann funktionalisieren Mohanty und seine Kollegen die Oberflächen der Drähte mit dem Enzym Glukose-Oxidase, das die Oxidation von gelöster Glukose katalysiert.

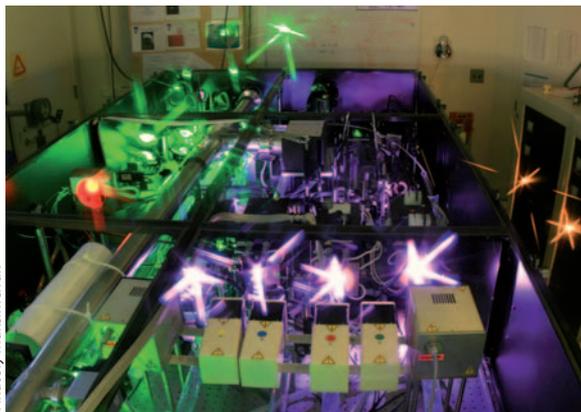
Verändert sich die Konzentration der Glukose in der Testumgebung des Sensors, ändert sich die Oberflächenladung der Nanodrähte. Dieser lineare Zusammenhang gilt für Glukosekonzentrationen zwischen 0,5 und 8 Millimol pro Liter – vor dem Essen haben Menschen Blutzuckerkonzentrationen von 3,9 bis 5,5 mM/l. Die durch die Diffusion bestimmte kürzeste Reaktionszeit des Sensors liegt bei drei bis fünf Minuten. Allerdings altert das Bauteil nach einigen Tagen, was die Wissenschaftler auf eine unerwünschte Nebenreaktion zurückführen: Wasserstoffperoxid, das bei der eigentlichen Reaktion freigesetzt wird, oxidiert und deaktiviert damit das Enzym auf der Oberfläche der Drähte. Eine zweite Elektrode in der Nähe der Nanodrähte könnte dies möglicherweise verhindern.

Der Sensor ist winzig, daher spräche nichts dagegen, tausende Exemplare auf einen Chip zu integrieren, der sich für eine kontinuierliche Nutzung programmieren ließe.

■ Terahertz mit Glasfaser

Ein Terahertzwellen-System besteht die industrielle Reifepfung.

Messverfahren mit THz-Wellen erreichen mittlerweile einen Reifegrad, der sie für industrielle Anwendungen interessant macht. Entscheidend dafür ist, dass die Systeme kleiner und unempfindlicher gegen Störungen werden. THz-Wellen eignen sich prinzipiell sowohl für die zerstörungsfreie Ma-



Anatoly Maksimchuk

Der 300-TW-Laser der University of Michigan erreicht eine Leistungsdichte, die ihre Entwickler für rekordverdächtig halten.

dert sogar 10^{24} bis 10^{26} W/cm². Auch bei der Entwicklung besserer Teilchenstrahlen für die Krebstherapie kommt hohen Laserintensitäten eine wichtige Rolle zu. Jenseits von 10^{22} W/cm² lassen sich die Leistungsdichten jedoch nur durch höhere Laserenergien erreichen, da die Pulsdauern kaum unter 10 fs zu drücken sind.

Eine Arbeitsgruppe um Karl Krushelnick von der University of Michigan in Ann Arbor hat nun einen 300-TW-Laser vorgestellt, der eine Leistungsdichte von rund $2 \cdot 10^{22}$ W/cm² und eine Wiederholfrequenz von 0,1 Hz erreicht.¹⁾ Zwar seien in der Literatur bereits funktionierende Petawatt-Laser beschrieben worden, allerdings hätten sie nur Einzelpulse abgeben können, so die Wissenschaftler.

Krushelnick und seine Kollegen rüsteten ihren 50-TW-Laser auf, der mit einer „gechirpten“ Pulsverstärkung arbeitet. Damit lassen sich Laserpulse hoch verstärken, ohne nennenswerte Nichtlinearitäten oder Schäden an optischen Elementen. Die Laserpulse werden dabei zeitlich gedehnt, verstärkt

1) V. Yanovsky et al., Optics Express 16, 2109 (2008)

2) X. Wang et al., Appl. Phys. Lett. 92, 013903 (2008)

3) F. Ellrich et al., Technisches Messen 75, 14 (2008)

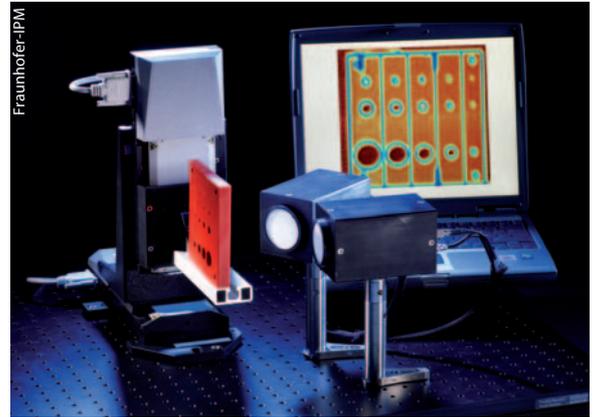
terialprüfung als auch für die Personenkontrolle am Flughafen. Viele Stoffe sind für diese Wellen, die im elektromagnetischen Spektrum zwischen Infrarot und Mikrowellen liegen, transparent – eine Ausnahme bilden elektrische Leiter.

Joachim Jonuscheit und seine Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) am Standort Kaiserslautern haben nun ein THz-System entwickelt, mit dem sich z. B. dünne Schichten in Transmission oder Reflexion messen lassen. Das System ist unempfindlich gegen Erschütterungen und lässt sich schnell umkonfigurieren.³⁾ Bisherige THz-Spektroskope standen dagegen auf metergroßen optischen Tischen, erforderten viel Justagearbeit und ließen sich daher nicht in Fabrikhallen einsetzen.

Die Forscher erzeugen die THz-Wellen mit einem fs-Laser, der eine Wellenlänge um 800 nm hat. Bei bisherigen Aufbauten lief der gepulste Laserstrahl über diskrete Optiken frei durch den Raum, bevor er

auf einen Halbleiter wie Galliumarsenid traf. Dort, im Sender, regt das Laserlicht Elektronen an, die dann – beschleunigt durch ein elektrisches Feld – die THz-Wellen ausstrahlen. Ein nach demselben Prinzip arbeitender Empfänger erfasst die Signale. Sender und Empfänger sind so groß wie Getränkedosen.

Die Fraunhofer-Wissenschaftler haben die diskrete Optik durch Glasfasern ersetzt, die leider meist für Anwendungen in der Telekommunikation spezifiziert sind, also für Laserlicht mit 1,5 μm Wellenlänge sowie breitere Pulse und geringere Spitzenleistungen. Um die Dispersion der Glasfaser auszugleichen, wählten die Forscher ein Produkt aus, das möglichst wenige Nichtlinearitäten zeigt. Die linearen Dispersionsanteile der Faser kompensierten sie mit einem vorge-schalteten Pulsstreckler. Dabei handelt es sich im Kern um zwei Gitter, die dem Laserstrahl ein Dispersionsprofil aufprägen, das dem der Glasfaser genau entgegengesetzt ist. Das Laserlicht wird anschließend in



die Glasfaser eingekoppelt und in zwei Teilstrahlen zerlegt, sodass ein Strahl zum Sender läuft und der andere zum Empfänger. Eine Verzögerungsstrecke im Empfängerarm sorgt dafür, dass der Detektor den im ps-Bereich liegenden THz-Puls zeitlich abtasten kann. Der erreichbare Abstand zwischen Laser und Sender beziehungsweise Empfänger ist durch die Kombination aus Glasfaser und Pulsstreckler bestimmt, prinzipiell kann sie sogar im dreistelligen Meterbereich liegen.

Michael Vogel

Dank Glasfasern lässt sich das THz-System des IPM, hier in Reflexionsanordnung zu sehen, flexibel aufbauen.