

■ Spürhund für Keime

Ein Raman-Spektrometer kann unerwünschte Bakterien und Pilze schnell nachweisen.

Künstlich gezüchtetes Gewebe spielt in der Medizin bei verschiedenen Verletzungen und Beschwerden eine wichtige Rolle, Knorpel ist ein Beispiel dafür. Bei der Herstellung von künstlichem Knorpel muss die Sterilität gewährleistet sein, die deshalb erforder-

Flusszelle besteht. In der Brennebene des Mikroskops befindet sich die Flusszelle, die einen Filterchip aus Siliziumnitrid enthält. In seinem Mikrolochträger bleiben nur die Partikel einer wässrigen Lösung hängen, die eine verdächtige Größe aufweisen. Die Forscher identifizieren sie mithilfe des Mikroskops und eines Erkennungsalgorithmus. Dann bestrahlen sie die Partikel durch die Mikroskopoptik mit dem Licht eines 120-mW-Lasers bei 785 nm Wellenlänge und messen die Raman-Strahlung in Rückstreu-geometrie. Da der Effekt klein ist und die biologischen Proben stark verdünnt sind, ist hierfür eine hohe Numerische Apertur erforderlich, um eine ausreichende Auflösung zu erreichen und Raman-Strahlung aus einem genügend großen Raumwinkel einzufangen. Alle optisch relevanten Teile der Flusszelle bestehen aus Quarzglas, um möglichst wenig Raman-Licht zu absorbieren.

Die so gewonnenen Spektren der Keime vergleicht das System automatisch mit denen bekannter Bakterien und Pilze. Mit dem vorhandenen Demonstrator wollen die Projektbeteiligten noch dieses Jahr erste Blindtests durchführen, die von Gesundheitsbehörden kontrolliert werden.

■ Flotter Verstärker

Graphentransistoren erreichen höhere Grenzfrequenzen als konventionelle Silizium-basierte Transistoren.

Graphen besitzt eine sehr hohe Ladungsträgermobilität und könnte daher den Weg zu elektronischen Schaltkreisen weisen, die sich mit sehr hohen Frequenzen betreiben lassen. Die nur eine Atomlage dicke Schicht aus hexagonalen Kohlenstoffkristallen wird im Labor häufig aus Flocken erzeugt, was zwar für die Materialforschung ausreicht, aber sich nicht für die Halbleiterfertigung im industriellen Maßstab eignet. Wissenschaftler von IBM haben dieses Problem nun gelöst und Graphentransistoren mit einer Grenzfrequenz von 100 GHz herge-

stellt.¹⁾ Oberhalb der Grenzfrequenz verliert ein Transistor langsam seine Eigenschaften als Verstärker.

Bei den Graphentransistoren handelt es sich um Feldeffekttransistoren (FET), die die Forscher auf Zwei-Zoll-Wafern gefertigt haben. Sie erhitzen dazu einen Siliziumkarbid-Wafer auf 1450 °C und erzeugen dadurch auf ihm eine Schicht aus ein bis zwei Graphenlagen. Auf ihr scheiden sie Source- und Drain-Elektroden so ab, dass zwischen ihnen Kanäle aus Graphen stehen bleiben. Die freien Graphenoberflächen überziehen sie per Rotationsbeschichtung mit einer 10 nm dünnen Schicht eines Polymers, das auch in der kommerziellen Halbleiterfertigung zum Einsatz kommt. Sie sorgt dafür, dass die hohe Ladungsträgermobilität des Graphen erhalten bleibt. Über ihr bringen die Wissenschaftler dann eine konventionelle Oxidschicht und die metallische Gate-Elektrode auf. Die Gate-Länge beträgt 240 nm – künftig soll sie noch kürzer werden und die Kenngrößen der Graphen-FET dadurch weiter verbessern. Doch schon die jetzigen Labormuster erreichen Grenzfrequenzen von 100 GHz (gemessen bei einer Drain-Spannung von 2,5 V). Dieser Wert ist höher als bei bisherigen Graphentransistoren und übertrifft selbst aktuelle Silizium-basierte Metalloxidhalbleiter-FET (MOSFET), die eine vergleichbare Gate-Länge haben. Deren Grenzfrequenzen liegen nur bei 40 GHz.

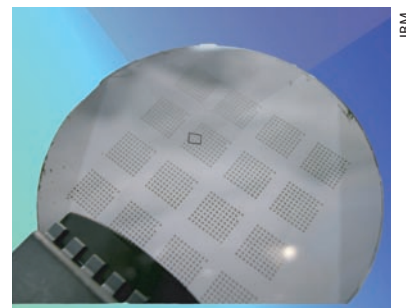
Graphentransistoren könnten künftig zum Beispiel analoge Mikrowellensignale verstärken, wie sie in der Telekommunikation und bei bildgebenden Verfahren vorkom-



Mit einem Raman-Spektrometer lassen sich Keime aufspüren.

lichen Testverfahren sind jedoch zeitaufwändig: Zunächst müssen Proben genommen und anschließend mithilfe von Nährlösungen kultiviert und vermehrt werden, da sich Bakterien und Pilze nur zuverlässig erkennen lassen, wenn sie in größeren Mengen vorliegen. Das dauert typischerweise eine Woche oder länger. Soll die Art des Keimes erkannt werden, sind genetische Analysen erforderlich. Eine Forschergruppe der Fraunhofer-Gesellschaft hat nun ein weitgehend automatisiertes Testverfahren entwickelt, das Bakterien und Pilze innerhalb von wenigen Stunden nachweisen kann, selbst wenn es sich nur um einen einzelnen Keim handelt. Beteiligt waren Wissenschaftler der Fraunhofer-Institute für Physikalische Messtechnik (IPM), für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik (IGB) und für Biomedizinische Technik (IBMT).

Sie haben ein Raman-System aufgebaut, das aus einem kommerziell erhältlichen Mikroskop, einem Spektrometer und einer



IBM-Forscher haben die verbesserten Graphentransistoren auf Zwei-Zoll-Wafern gefertigt.

1) Yu-Ming Lin et al., *Science* 327, 662 (2010)

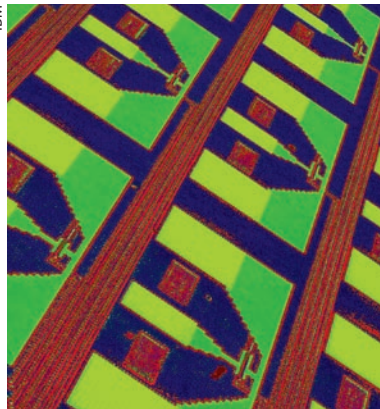
2) Solomon Assefa et al., *Nature* 464, 80 (2010)

men. Sie sind nicht schaltbar, weil Graphen keine Bandlücke besitzt. Die IBM-Forscher schließen jedoch nicht aus, dass Graphen sich so dotieren lässt, dass sich eine ausreichend große Bandlücke bildet – dann würden mit dieser Technologie auch digitale Schaltkreise für Computer in den Bereich des Möglichen rücken.

■ Optisches Rechnen

Rauscharme Lawinenphotodetektoren lassen sich monolithisch in die Siliziumtechnologie integrieren.

Bei heutigen Computerchips haben die Entwickler wegen der steigenden Taktfrequenzen immer stärker mit unerwünschten Leckströmen zu kämpfen. Als ein Ausweg aus diesem Dilemma gilt die rein optische Datenverarbeitung auf Mikrochip-Ebene. Bis zum optischen Computer ist es allerdings noch ein Stück, bislang konzentrieren sich Forschungsarbeiten auf die Entwicklung von einzelnen Komponenten. Dabei ist Wissenschaftlern von IBM nun ein weiterer Schritt gelungen: Sie haben einen Lawinenphotodetektor entwickelt, der sich monolithisch in die aktuelle Siliziumtechnologie integrieren lässt.²⁾ Lawinenphotodetektoren aus Germanium können schwache optische Signale verstärken, haben jedoch den Nachteil, dass sie ein starkes Eigenrauschen besitzen. In der Vergangenheit ist es gelungen, dieses Problem zu umgehen, indem entsprechende Labormuster die Germaniumschicht nur zur Detektion der Lichtsignale nutzten, während die Lawinenverstärkung in einer separaten Siliziumschicht stattfand. Allerdings begrenzen die relativ dicken Halbleiterschichten, die in solchen Strukturen erforderlich sind, die Lawinendetektoren auf relativ geringe Geschwindigkeiten von etwa 10 GHz. Auch wegen der hohen Vorspannungen in der Größenordnung von 25 V ließen sich solche Detektoren nicht in die Siliziumtechnologie integrieren.



Ein Array aus Lawinenphotodektoren lässt sich in bestehende Fertigungstechnologien integrieren.

Den IBM-Wissenschaftlern ist es nun dagegen gelungen, einen Germaniumlawinendetektor zu integrieren, seine Vorspannung auf 1,5 V zu senken und sein Eigenrauschen um 50 bis 70 Prozent zu verringern. Er ist in einen On-Chip-Wellenleiter integriert: Die Germaniumschicht befindet sich auf einer isolierenden Oxidschicht, die wiederum den Siliziumwellenleiter bedeckt. Der Lawinendetektor ist durch Wolframkontakte auf seiner Oberfläche vorgespannt, von denen Kupferleiterbahnen abgehen. Die Dicken der Germanium- und Siliziumschichten haben die Forscher so gewählt, dass sie die höchste Ansprechempfindlichkeit bei kleinstmöglicher Anschlussfläche erreichen. Sie sind nur 140 nm (Ge) beziehungsweise 100 nm (Si) dünn und 750 beziehungsweise 550 nm breit.

Da die Wolframzapfen direkten Kontakt zur Germaniumschicht haben, bilden sie eine Reihe von Metall-Halbleiter-Metall-Schottky-Dioden über die gesamte Länge der Photodiode. Es bildet sich ein stark inhomogenes elektrisches Feld aus, das für den Lawineneffekt verantwortlich ist. Da die Höhe der entstehenden Impact-Ionisationszone in der Germaniumschicht nur 30 nm beträgt, sinkt das Eigenrauschen des Detektors stark. Das Labormuster kann optische Signale mit einer Rate von 40 Gigabit pro Sekunde empfangen und sie gleichzeitig ums Zehnfache verstärken.

Michael Vogel