

## ■ Drahtlos und rasch

**Eine Richtfunkstrecke stößt mit ihrer Datenrate in die Dimensionen von Glasfasern vor.**

Im Festnetz hat der Siegeszug der Glasfaserverbindungen Richtfunkstrecken schon lange verdrängt, in Mobilfunknetzen erleben sie aber ein Comeback: Dort lassen sich Basisstationen durch Richtfunk vergleichsweise günstig an ihre übergeordnete Netzeinheit anbinden. Durch die immer kleiner werdenden Funkzellen der Mobilfunknetze gewinnt dieses Verfahren ebenso an Bedeutung wie für die Anbindung des ländlichen Raumes an die Breitbandnetze. Kommerziell

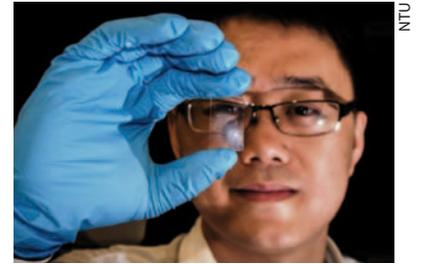
Phosphid hergestellt haben. HEMTs sind eine etablierte Technologie, neu entwickelt sind dagegen sämtliche Schaltungen, die Aufbau- und Verbindungstechnik sowie die Integration in einen Demonstrator. In einem Nachfolgeprojekt wollen die Forscher nun unter anderem Sendeleistung und Bandbreite erhöhen sowie durch Multiplexing die Datenrate weiter steigern.

## ■ Bilddetektor 2.0

**Ein lichtempfindlicher Detektor auf der Basis von Graphen erreicht erstaunliche Empfindlichkeiten über einen weiten Spektralbereich.**

Graphen beflügelt die Fantasie vieler Wissenschaftler. Ursache dafür sind die intrinsischen Eigenschaften der nur eine Atomlage dicken Wabenstruktur aus Kohlenstoffatomen: hohe Leitfähigkeit, hohes Elastizitätsmodul, hohe Zugfestigkeit. Seine Eigenschaft, Licht über einen weiten Spektralbereich zu absorbieren, macht Graphen auch für Anwendungen in der Photonik interessant. Bisherige Versuche, Photodetektoren auf der Basis von Graphen zu entwickeln, verliefen jedoch nicht sehr vielversprechend: Die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichten Werte der gemessenen Ausgangsstromstärke in Relation zur optischen Pumpleistung liegen unterhalb von 10 mA/W. Forscher der Nanyang Technological University in Singapur haben nun das Labormuster eines Detektors auf der Basis von Graphen entwickelt, der im sichtbaren 1,25 A/W, im Nahinfrarot 0,2 A/W und im mittleren Infrarot 0,4 A/W aufweist.<sup>1)</sup> Diese Breitbandigkeit verbunden mit einer hohen internen Quantenausbeute ist wohl erstmalig erreicht worden.

Die Wissenschaftler brachten auf ein stark p-dotiertes Siliziumsubstrat mit SiO<sub>2</sub>-Deckschicht eine Monolage Graphen auf. Darauf platzierten sie zwei Elektroden aus Titan/Gold, um einen Feldeffekttransistor aufzubauen. Auf das Graphen dampften sie noch eine dünne Opferschicht aus Titan auf, aus der sie dann Materialinseln ätzten, um



Dieser Feldeffekttransistor auf der Basis von Graphen eignet sich als besonders lichtempfindlicher Detektor.

Quantenpunkte zu erzeugen. Je dicker die Titanschicht, desto kleiner ist die erreichbare mittlere Größe der Quantenpunkte.

Die angewandten Herstellungsverfahren sind mit gängigen Methoden der Halbleiterfertigung vereinbar. Mit ihrem Ansatz konnten die Forscher eine Bandlücke im Graphen erzeugen und die Lebensdauer der durch Photonen erzeugten Elektronen im Transistor verlängern – und die deutlich höheren elektrischen Ströme verwirklichen.

## ■ Zuckertest mit Kohlenstoff

**Mit Nanoröhren lässt sich ein empfindlicher Glukosedetektor aufbauen.**

Für Diabetiker gehört es zum Alltag wie das Zähneputzen: Sie müssen regelmäßig ihren Blutzuckerspiegel kontrollieren. Dies geschieht für gewöhnlich mit einem Piekser in den Finger, an den sich ein einfacher Bluttest anschließt. Für die gängigen Tests sind Glukosekonzentrationen von mindestens 100 Mikromol pro Liter erforderlich. Das ist im Blut gewährleistet, prinzipiell lässt sich die Konzentration aber auch in anderen Körperflüssigkeiten nachweisen. Sehr bequem wäre zum Beispiel der Speichel, allerdings bewegen sich die dort auftretenden Konzentrationen eher bei 40 bis 80 Mikromol pro Liter und liegen damit für die weit verbreiteten Testverfahren unterhalb der Nachweisgrenze. Wissenschaftler der University of Pennsylvania in Philadelphia haben nun das Labormuster eines Glukosesensors entwickelt, der Stoffmengen zwischen 1 Mikro- und 100 Millimol pro Liter nachweisen kann.<sup>2)</sup> So



Im Karlsruher Praxistest überbrückte der Richtfunkdemonstrator die Distanz zwischen zwei Hochhäusern.

erhältliche Richtfunkssysteme für die Anbindung von Mobilfunkbasisstationen erreichen derzeit Datenraten bis zu einem Gigabit pro Sekunde. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ist es nun gelungen, bis zu 40 Gbit/s bei einer Frequenz von 240 GHz über eine Entfernung von bis zu einem Kilometer per Richtfunk zu übertragen.

Bei der Halbleitertechnologie für den Sender- und Empfängerchip handelt es sich um Feldeffekttransistoren mit besonders hoher Ladungsträgerbeweglichkeit, so genannten High-Electron-Mobility Transistors (HEMTs), die IAF-Forscher auf der Basis von Indium-Gallium-Arsenid/Indium-Gallium-

1) Y. Zhang et al., Nature Commun. 4 (2013), doi:10.1038/ncomms2830

2) M.B. Lerner et al., Appl. Phys. Lett. 102, 183113 (2013)

wäre also auch der Speichel für eine relativ einfache Analyse zugänglich.

Die Forscher nutzen für ihr Verfahren Feldeffekttransistoren auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhren. Diese haben den Vorteil, dass jedes ihrer Atome an der Oberfläche liegt, sodass sie schon auf geringe Veränderungen in der Umgebung ansprechen. Auf ein Siliziumsubstrat mit dünner Oxidschicht bringen die Forscher zunächst die Monolage eines Silans auf, damit die Nanoröhren besser haften. Die Nanoröhren werden aus der Lösung aufgetropft und nach dem Trocknen mit Pyren-Borsäure funktionalisiert. Als Material für Source- und Drain-Elektrode dient Titan. Wenn die zu untersuchende Flüssigkeit auf den Detektor kommt, bildet die Borsäure mit der vorhandenen Glukose einen anionischen Komplex, durch den sich die elektrostatischen Kräfte im Umfeld der Nanoröhren ändern. Diese Veränderung lässt sich über den Feldeffekttransistor als elektrisches Signal erfassen.

Derzeit testen die Forscher den Detektor anhand von Lösungen mit bekannter Zuckerkonzentration. Der nächste Schritt sollen dann Tests mit Speichelproben von Gesunden und Diabetikern sein.

## ■ Rekord durch Stapeln

**Vierfachsolarzellen erreichen über 43 Prozent Wirkungsgrad unter konzentriertem Licht.**

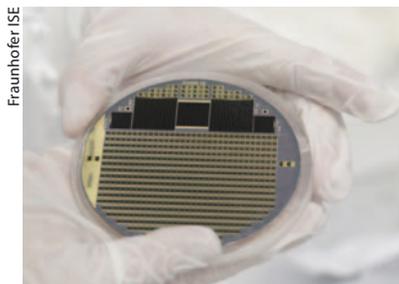
Bereits seit den 1990er-Jahren kommen bei Satelliten Mehrfachso-larzellen zum Einsatz, um den Wirkungsgrad der Energieversorgung

zu erhöhen. Durch das Stapeln verschiedener Halbleitermaterialien lässt sich das Sonnenspektrum besser ausnutzen, da die zugehörigen Bandlücken jeweils in einem anderen Energiebereich liegen. Eine heutige Mehrfachsolarzelle auf Germanium nutzt so das Sonnenspektrum bei Wellenlängen von 300 bis 1800 nm. Bei solchen Solarzellen sind mehrere pn-Übergänge über Tunnelioden miteinander verschaltet. Zusammen mit den erforderlichen Vermittlungs- und Barrierschichten bringen es zum Beispiel Dreifachsolarzellen dadurch auf insgesamt 20 bis 25 epitaktisch hergestellte Einzelschichten.

Mehrfachsolarzellen eignen sich aber nicht nur für den Weltraum, sondern auch zur Stromerzeugung in Konzentrator-Kraftwerken. Kommerzielle Dreifachsolarzellen erreichen hierbei inzwischen Wirkungsgrade von 40 Prozent, was schon recht nahe am technisch möglichen Maximum liegt. Vierfachsolarzellen sind daher der nächste logische Schritt. Allerdings ist ihr epitaktisches Wachstum extrem schwierig, weil sehr viele Gitteranpassungen nötig wären. Zu den alternativ verfolgten Ansätzen, um Vierfachsolarzellen mit hohem Wirkungsgrad herzustellen, zählt das „Bonden“. Damit ist es nun dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg gemeinsam mit den französischen Industriepartnern gelungen, Vierfachsolarzellen herzustellen, die einen Wirkungsgrad von 43,6 Prozent unter 319-fach konzentriertem Sonnenlicht erreichen – ein Rekord für vier in Serie geschaltete pn-Übergänge.

Die Projektpartner haben dazu zwei Tandemsolarzellen aus unterschiedlichen III-V-Halbleitern gefertigt und anschließend so miteinander gebondet – also verpresst –, dass sich kovalente Bindungen zwischen den Halbleitern ausbilden konnten. Dadurch erreicht die Verbindung hohe Transparenz und hohe elektrische Leitfähigkeit. Einen Wirkungsgrad in der Größenordnung von 50 Prozent halten die Projektpartner für möglich.

**Michael Vogel**



Die Freiburger Vierfach-Konzentratorzellen haben jeweils eine Fläche von gut fünf Quadratmillimeter (unten), lassen sich aber auch als größere Arrays aufbauen (oben).