

■ Günstige Fitnesskontrolle

Mit einem winzigen Potentiostaten lassen sich Blutwerte bestimmen.

Der Laktatwert im Blut besagt, ob sich durch körperliche Belastung zusätzliche Milchsäure angesammelt hat, und gibt daher Aufschluss über die Fitness eines Menschen. Im Profisport ist er wichtig, um die individuelle körperliche Leistungsfähigkeit zu bestimmen: Während die Sportler auf einem Ergometer unter steigender Belastung strampeln, nimmt ihnen ein Arzt immer wieder einen Tropfen Blut am Ohr-



Dank Mikroelektronik könnten Sportler ihre Laktatwerte komfortabler messen.

läppchen ab. Um den Laktatwert zu ermitteln, bedarf es eines Analysegeräts, das in seiner Laborversion einen fünfstelligen Betrag kostet und als Handgerät immerhin noch einen dreistelligen Betrag.

Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) in Duisburg ist es nun gelungen, ein solches Analysegerät als Mikrochip zu fertigen. Die üblichen Handgeräte sind dagegen aus diskreten Komponenten aufgebaut. Messen lässt sich der Laktatwert über eine elektrolytische Reaktion. Hierzu dienen sog. Potentiostaten, mit denen man den Strom zwischen einer Arbeits- und einer Gegenelektrode so einstellen kann, dass die Spannung zwischen der Arbeits- und einer Referenzelektrode nahezu konstant bleibt, wenn sich der Widerstand des Elektrolyten ändert.

Die Regelelektronik des IMS-Potentiostaten passt auf einen zweimal drei Millimeter kleinen Chip,

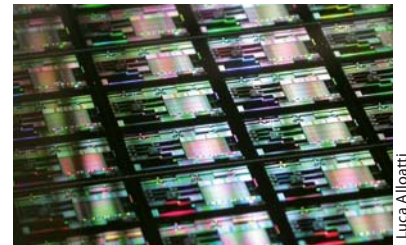
den die Forscher für weniger als einen Euro in gängiger CMOS-Technik (Complementary Metal Oxide Semiconductor) gefertigt haben. Auf einem zweiten Chip, der sich mit dem ersten koppeln lässt, befinden sich die Mikroelektroden. Die Anode besteht aus Platin und lässt sich mit einer dünnen Gelschicht überziehen, die ein Enzym enthält. Dieses wandelt das Laktat in die passenden chemischen Produkte um, u. a. Wasserstoffperoxid, damit sich die Konzentration des Stoffes indirekt elektrochemisch bestimmen lässt. Das Wasserstoffperoxid wird an der Platin-Anode oxidiert; als Kathodenmaterial dient Silber.

Der Demonstrator des IMS ließe sich z. B. in Verbindung mit einer Mikronadel und einer Membranschicht, die den Blutstropfen für die Laktatmessung filtert, in einem Gehäuse unterbringen, das nicht größer als ein Ohrclip wäre. Die Messwerte könnte der Chip an eine Armbanduhr oder ein Handy funken. Und mit dem passenden Enzym ließen sich auch Glukose oder Tumormarker im Blut nachweisen.

■ Flinker Signalverarbeiter

Ein optischer Mikrochip stellt einen neuen Rekord auf.

Seit Jahren ist bekannt, dass sich Signale optisch deutlich effizienter und mit höheren Geschwindigkeiten als auf elektronischem Wege verarbeiten lassen. Besonders interessant ist das für die Telekommunikation, wo sich die Datenströme alle eineinhalb Jahre verdoppeln. Die optische Verarbeitung der Signale ist recht komplex, darf aber gleichzeitig nicht viel kosten. Daher besteht ein Interesse an möglichst günstigen Ausgangsmaterialien für die erforderlichen Komponenten. Die Frage, ob dafür auch bei Datenraten jenseits der 100 Gigabit pro Sekunde noch billiges Silizium genügt, war bislang experimentell unbeantwortet. In Siliziumwellenleitern sind Werte von 10 Gigabit pro Sekunde experimentell belegt, 40 Gigabit pro Sekunde hat eine Forschergruppe geschafft, die stö-



Luca Allioati

Der optische Chip des KIT erreicht eine Geschwindigkeit von 170 Gigabit pro Sekunde.

rende Ladungsträger mithilfe einer Diodenschaltung abgeführt hat.

Wissenschaftlern des Karlsruhe Institute of Technology (KIT) um Jürg Leuthold und Wolfgang Freude ist nun die Vervierfachung dieses Wertes gelungen.¹⁾ Zusammen mit Kollegen aus Belgien, den USA und der Schweiz haben sie mit einem modifizierten Siliziumchip unter Laborbedingungen eine Geschwindigkeit von 170 Gigabit pro Sekunde erreicht. Das entwickelte Verfahren ließe sich in eine CMOS-Fertigungslinie integrieren.

Reines Silizium für Wellenleiter hat den Nachteil, dass gewisse nichtlineare optische Eigenschaften nicht ausreichend vorhanden sind. Solche Nichtlinearitäten erleichtern nämlich eine rein optische Verarbeitung. So treten zwar erwünschte Nichtlinearitäten dritter Ordnung in Silizium auf, aber sie lassen sich aufgrund von Zwei-Photonen-Absorptionen nicht gut ausnutzen.

Die Karlsruher Wissenschaftler haben daher mit ihren Kollegen die Wellenleiter aus Silizium mit einem 100 nm breiten Schlitz versehen, den sie mit einem organischen Molekül auffüllten. Dieses Molekül (DDMEBT) zeichnet sich durch eine Polarisierbarkeit aus, die verglichen mit seiner Ausdehnung sehr hoch ist. Die Forscher schieden das Molekül aus der Gasphase auf dem Silizium ab, damit es sich möglichst homogen in der Spalte verteilte. Dies verringerte die Streuverluste der nichtlinearen Wechselwirkung dritter Ordnung. Mit dem Chip konnten die Wissenschaftler ein optisches Signal bei 1,55 μm Wellenlänge, das 170,8 Gigabit pro Sekunde transportierte, rein optisch durch ein Multiplexverfahren in vier Signale mit jeweils 42,7 Gigabit pro Sekunde aufteilen.

1) C. Koos et al., Nature Photonics 3, 216 (2009)

■ Verstärkte Spinnenfäden

Mit einem neuen Verfahren lassen sich Fasern reißfester und dehnbarer machen.

In der Natur sind Biomaterialien bekannt, die ungewöhnliche mechanische Eigenschaften besitzen, z. B. die Panzer verschiedener Insekten. Schuld daran sind anorganische Stoffe, die in die Proteinstrukturen eingelagert sind. Eine Arbeitsgruppe um Mato Knez vom Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle hat ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die mechanischen Eigenschaften von natürlichen oder künstlichen Fasern gezielt verändern lassen.²⁾ Die Forscher bedienen sich dabei ebenfalls anorganischer Spurenstoffe.

Hierfür haben sie die Atomic Layer Deposition (ALD) weiterentwickelt, ein Verfahren zur Abscheidung dünner Schichten aus der Gasphase auf einer Oberfläche. Bei der ALD ist ein Material im schnellen Wechsel Wasserdampf und einer flüchtigen Verbindung

aus einem Metall mit organischen Gruppen ausgesetzt. Einige hundert Gaspulse strömen auf die Oberfläche des zu beschichtenden Materials und bilden dort eine Oxidschicht. Wegen der Kürze der Pulse dringt das Metall nicht in das Material ein. Knez und seine Kollegen haben daher das Verfahren – die Multiple Pulsed Vapor Phase Infiltration (MPI) – so modifiziert, dass die Pulse bis zu 40 Sekunden dauern können.

Für ihre Experimente haben die Forscher Spinnenseide als Material ausgewählt, die sie mit Metall-Ionen infiltrieren. Bezogen auf ihr Gewicht sind Spinnenfäden bereits in ihrer natürlichen Form sehr reißfest und elastisch. Die behandelten Fäden können jedoch noch zehnmal mehr Energie aufnehmen, bevor sie reißen. Warum dies funktioniert, können die Forscher noch nicht im Detail erklären. Die bisherigen Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass die Metall-Ionen die Proteinmoleküle miteinander verbinden. Diese Bindungen wären



MPIf. Mikrostrukturphysik

stärker als die sich üblicherweise ausbildenden Wasserstoffbrücken, was den Effekt zumindest teilweise erklären könnte. Eine weitere Rolle dürfte die durch den Prozess verursachte Veränderung der Proteinordnung spielen.

Neben Spinnenseide lässt sich das von den Wissenschaftlern entwickelte Verfahren auch für andere natürliche oder synthetische Fasern anwenden. Die Forscher hoffen, dass sie dadurch gezielt die mechanischen Eigenschaften von Materialien verbessern können, damit diese für Anwendungen im Flugzeug- und Fahrzeugbau sowie in der Weltraumtechnik interessant werden.

Michael Vogel

Ein doppelt genommener behandelter Spinnenfaden hält ein dreimal schwereres Gewicht als ein natürlicher Faden.

²⁾ S.-M. Lee et al., Science 324, 488 (2009)