Anorganische Doppelhelix

Flexibles Halbleitermaterial für Elektronik, Solartechnologie und Photokatalyse

Die Doppelhelix hat als stabile und flexible Struktur des Erbguts das Leben auf der Erde erst möglich gemacht. Nun hat ein Team der Technischen Universität München (TUM) eine Doppelhelix-Struktur auch in einem anorganischen Material entdeckt.

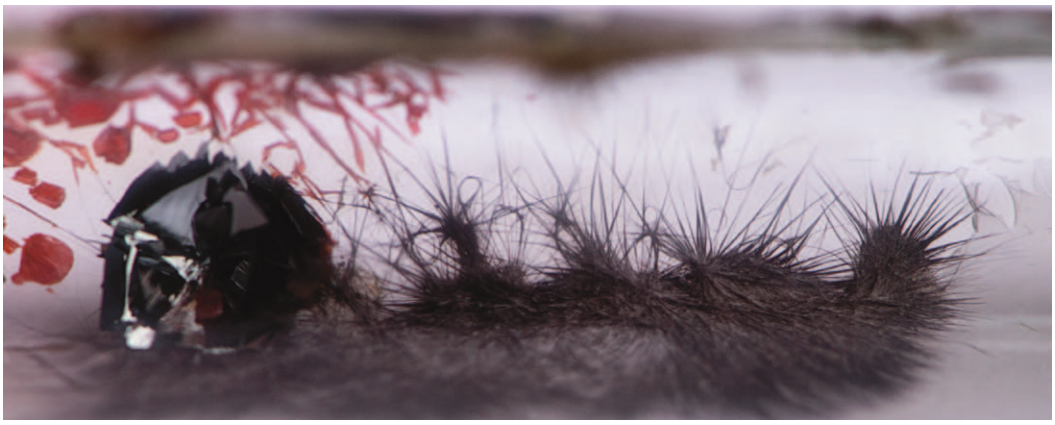

Bild 1: Flexible Halbleiter mit Doppelhelix-Struktur aus Zinn, Iod und Phosphor (SnIP)

Das Material aus Zinn, Iod und Phosphor ist ein Halbleiter, besitzt außergewöhnliche optische und elektronische Eigenschaften und ist mechanisch hoch flexibel.

Flexibel und stabil gleichzeitig – das ist einer der Gründe, warum die Natur die Erbsubstanz in Form einer Doppelhelix anlegt. Wissenschaftler der TU München haben nun auch eine anorganische Substanz entdeckt, deren Elemente die Form einer Doppelhelix bilden.

Das aus den Elementen Zinn (Sn), Iod (I) und Phosphor (P) bestehende Material mit der einfachen Zusammensetzung SnIP ist ein Halbleiter. Anders als alle bisherigen anorganischen Halbleiter-Materialien ist es jedoch hoch flexibel. Die teilweise zentimeterlangen Fasern lassen sich beliebig biegen, ohne zu brechen.

„Diese Eigenschaft von SnIP ist eindeutig der Doppelhelix zuzuschreiben“, sagt Daniela Pfister, Entdeckerin des Materials und Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe von Tom Nilges, Professor für Synthese und Charakterisierung innovativer Materialien an der TU München. „SnIP lässt sich einfach im Gramm-Maßstab herstellen und ist anders als Galliumarsenid, das ähnliche elektronische Eigenschaften hat, weitaus weniger giftig.“

Unzählige Anwendungsmöglichkeiten

Die Halbleiter-Eigenschaften von SnIP versprechen viele Einsatzmöglichkeiten, von der Energiewandlung in Solarzellen oder thermoelektrischen Elementen über Photokatalysatoren und Sensoren, bis hin zu optoelektronischen Bauelementen. Durch Dotierung mit anderen Elementen sollten sich die elektronischen Eigenschaften des neuen Materials in weiten Bereichen einstellen lassen. Aufgrund der Anordnung der Atome in der Form einer Doppelhelix, können die bis zu einem Zentimeter langen Fasern leicht in dünnere Stränge aufgeteilt werden. Die bisher dünnsten Fasern bestehen aus nur noch fünf Doppelhelix-Strängen und sind nur wenige Nanometer dick. Das macht auch Anwendungen in der Nanoelektronik denkbar.

„Vor allem die Kombination aus interessanten Halbleiter-Eigenschaften und mechanischer Flexibilität macht uns Hoffnung auf viele Einsatzmöglichkeiten“, sagt Tom Nilges. „Im Vergleich mit organischen Solarzellen erhoffen wir uns von anorganischen Materialien auch eine deutlich bessere Stabilität. So ist SnIP beispielsweise bis etwa 500 °C stabil.“

Am Anfang der Entwicklung

„Ähnlich wie beim Kohlenstoff, wo es das dreidimensional (3D) aufgebaute Material Diamant, das 2D-Material Graphen und die Nanotubes als 1D-Material gibt“, erläutert Professor Nilges, „haben wir hier neben

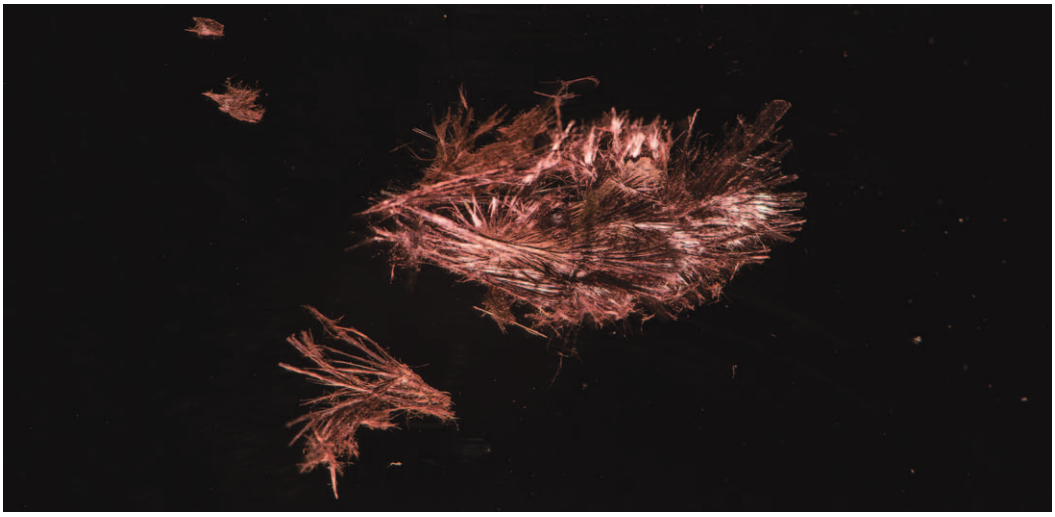

Bild 2: Flexibler Halbleiter aus Zinn, Jod und Phosphor (SnIP) mit Doppelhelix-Struktur

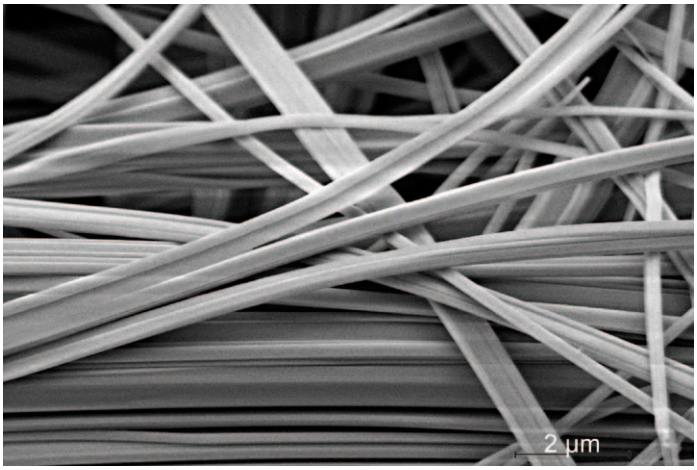

Bild 3: Halbleitermaterial mit Doppelhelix-Struktur – Elektronenmikroskopische Aufnahme

Bild 5: Daniela Pfister bei Messungen am Röntgendiffraktometer

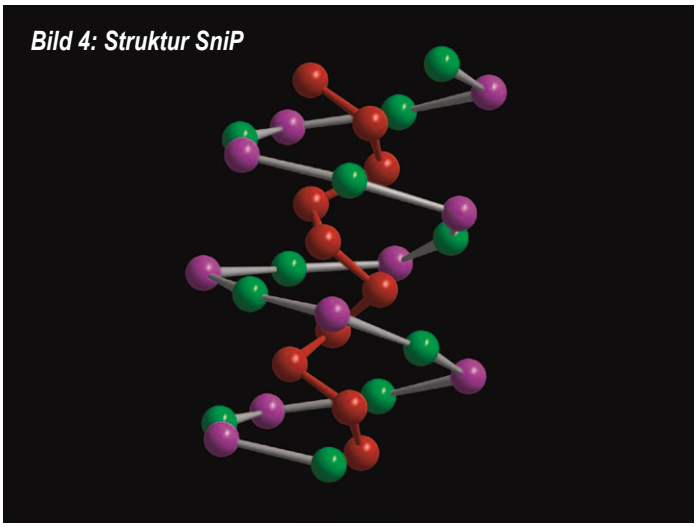

Bild 4: Struktur SniP

dem 3D-Halbleitermaterial Silizium und dem Phosphoren als 2D-Material nun erstmals ein eindimensionales Material – mit mindestens ebenso spannenden Perspektiven wie sie Kohlenstoff-Nanoröhrchen besitzen."

Wie Kohlenstoff-Nanoröhrchen und polymerbasierte Druckfarben können die SnIP-Doppelhelices in Lösungsmitteln wie Toluol suspendiert werden. Damit ließen sich einfach und kostengünstig dünne Schichten produzieren. „Wir stehen hier aber erst ganz am Anfang der Materialentwicklung," sagt Daniela Pfister. „Jeder einzelne Verarbeitungsschritt muss erst noch entwickelt werden."

Da die Doppelhelix-Stränge von SnIP rechts- und linksdrehend vorliegen können, müssten Materialien, in denen nur die eine oder die andere Form enthalten ist, ganz besondere optische Eigenschaften haben. Dies macht sie für die Optoelektronik hoch interessant. Noch ist es allerdings nicht gelungen eine Technik zur Trennung der beiden Formen zu finden.

Theoretische Berechnungen der Wissenschaftler zeigten, dass auch eine ganze Reihe weiterer Elemente solche anorganischen Doppelhelices bilden müssten. Ein umfassender Patentschutz wurde bereits beantragt. Mit Hochdruck arbeiten die Wissenschaftler nun daran, geeignete Herstellungsverfahren für weitere Materialien zu finden.

Interdisziplinäre Kooperation

An der Charakterisierung des neuen Materials arbeitet eine groß angelegte interdisziplinäre Kooperation: Photolumineszenz- und Leitfähigkeitsmessungen wurden am Walter Schottky Institut der TU München durchgeführt.

An den theoretischen Berechnungen beteiligten sich Theoretische Chemiker der Universität Augsburg. Transmissions-Elektronenmikroskopische Aufnahmen führten Forscher der Universität Kiel und des Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart durch. Mößbauer-Spektren und magnetische Eigenschaften wurden an der Universität Münster gemessen. Kernmagnetresonanz-Messungen wurden an der Universität Augsburg durchgeführt, und thermoanalytische Messungen steuerten Wissenschaftler der TU Cottbus bei.

Die Arbeiten wurden unterstützt mit Mitteln der DFG (SPP 1415), der International Graduate School ATUMS (TU München und University of Alberta, Kanada) und der TUM Graduate School. ◄

Publikation:

Daniela Pfister, Konrad Schäfer, Claudia Ott, Birgit Gerke, Rainer Pöttgen, Oliver Janka, Maximilian Baumgartner, Anastasia Efimova, Andrea Hohmann, Peer Schmidt, Sabarinathan Venkatachalam, Leo van Wuellen, Ulrich Schürmann, Lorenz Kienle, Viola Duppel, Eric Parzinger, Bastian Miller, Jonathan Becker, Alexander Holleitner, Richard Weihrich und Tom Nilges:

"Inorganic Double Helices in Semiconducting SnIP "

Advanced Materials, Early view, 12.9.2016 – DOI: 10.1002/adma.201603135

Kontakt:

Prof. Dr. Tom Nilges
Technische Universität München
Professur für Synthese und Charakterisierung innovativer Materialien
tom.nilges@lrz.tum.de http://www.acinnomat.ch.tum.de

Animation der SnIP-Doppelhelix-Struktur:
https://youtu.be/Zn7wxd5KSsQ

Biegen eines SnIP-Strangs (Mikroskop-Video:)
https://mediatum.ub.tum.de/1324631?show_id=1325742