

Medienmitteilung

Dübendorf, St. Gallen, Thun, 8. Oktober 2009

Untersuchung von Nanosäulen

Von wegen spröde! Überraschendes Silizium

Silizium, das wichtigste Halbleitermaterial überhaupt, gilt als spröde und brüchig wie Fensterglas. Im Nanometermassstab allerdings ändert der Werkstoff seine Eigenschaften. Empa-Forscher erbrachten den Beweis, indem sie winzige Siliziumsäulen herstellten. Ist deren Durchmesser klein genug, brechen belastete Säulen nicht mehr wie grössere Siliziumstücke, sondern geben dem Druck nach und verformen sich plastisch, ähnlich wie metallische Werkstoffe. Diese Erkenntnis eröffnet dem Design von mechanischen Mikrosystemen und der Uhrenindustrie vollkommen neue Materialperspektiven.

Bereits Empa-Gründer Ludwig von Tetmajer hat sich mit der mechanischen Belastung von Säulen befasst. Er konnte nach dem Einsturz der Eisenbahnbrücke in Münchenstein durch Druckversuche im Labor zeigen, dass die Eulersche Knickformel für schlanke Stäbe nicht immer zutrifft und korrigiert werden musste. «Wir machten das Gleiche 127 Jahre später, allerdings auf der Nanoskala, und erfuhren dabei Überraschendes: Anstatt knickenden, brüchigen Nano-Siliziumsäulen erlebten wir solche, die sich unter Druck «wie Butter» plastisch verformen», erklärt Johann Michler, Leiter der Abteilung «Mechanics of Materials and Nanostructures» in Thun.

Silizium – der wichtigste Werkstoff der Halbleiterindustrie

Silizium ist das am häufigsten verwendete Grundmaterial in der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie. Es dient als Ausgangsmaterial für elektronische Bauelemente wie Computerprozessoren und für viele Sensoren und mikromechanische Systeme, zum Beispiel für den Hebelarm in einem Rasterkraftmikroskop. Ausserdem sind über 90 Prozent der heutigen Solarzellen aus Silizium gefertigt.

Doch das Material hat seine Limiten, denn Silizium gilt als spröde: Ein Siliziumwafer – eine dünne Scheibe aus Silizium und Ausgangsmaterial für die vorgenannten Anwendungen – zerbricht wie eine Glasscheibe bei geringsten Belastungen in tausend Einzelteile. Das Team um Michler hat nun gezeigt, dass sich diese Eigenschaften im Nanometerbereich ändern; der Physiker Fredrik Oestlund präparierte zu diesem Zweck eine Siliziumplatte mit einer Ionenfeinstrahlanlage (FIB für Focused Ion Beam), ein Gerät zur Oberflächenanalyse und -bearbeitung. Mit Hilfe von Gallium-Ionenstrahlen trug er ringförmig Schicht für Schicht der Platte ab, so dass winzige Säulen entstanden, deren Durchmesser zwischen 230 und 940 Nanometer betragen.

Belastungsversuche mit einem Nanoindenter

«Unsere Säulen-Knick-Versuche gleichen im Prinzip den Versuchen Tetmejers. Nur sind unsere Säulen rund 100'000-mal kleiner», sagt Michler. Um sie zu belasten, kam ein Mikro- und Nanopräzisionswerkzeug, ein so genannter Nanoindenter, zum Einsatz. Eingespannt in ein Rasterelektronenmikroskop drückte die abgeflachte Spitze einer Diamantpyramide von oben in Längsrichtung auf die Säulen, die Kraft wurde dabei kontinuierlich gemessen. «Grössere» Säulen entwickelten unter Belastung Risse und zerbrachen in kleine Stücke, zeigten also das typisch spröde Verhalten.

Waren die Säulen jedoch schmaler als 400 Nanometer, blieb die Rissbildung aus; die Säulen begannen sich wie Metall plastisch zu verformen. Der Grund liegt in der inneren Struktur der Materie. Die Materialeigenschaften werden nicht durch die perfekte Anordnung der Atome bestimmt, sondern durch Fehler in dieser Anordnung. Sind die Säulen kleiner als der mittlere Abstand bestimmter Defekte in der regelmässigen Anordnung, können diese Säulen plötzlich leicht umgeformt werden. Die Ergebnisse publizierten Oestlund und Michler mit ihren Forschungspartnern von den Universitäten Uppsala und Minnesota vor kurzem in der renommierten Zeitschrift «Advanced Functional Materials».

Silizium mit metallischen Eigenschaften

«Die Erkenntnis ermöglicht es uns vielleicht, Silizium – wenn es nur klein genug ist – wie ein Metall in mechanischen Anwendungen zu verwenden», so Michler. Metallische Werkstoffe sind fehlertolerant und können beispielsweise Stösse durch Verformung absorbieren, ohne zu zerbrechen. Auch ist die Auslegung von Bauteilen mit spröden Materialien schwierig, da diese versagen, wenn die Spannungsintensität an einer Stelle mit einem Defekt zu gross wird. Da der genaue Ort und die Größe des kritischen Defekts nahezu immer unbekannt sind, kann die kritische Belastung fast nie genau ermittelt werden – dies ist wesentlich einfacher bei einem metallischen Werkstoff, der sich bei einer definierten Belastung verformt. Diese «gutmütigen» Eigenschaften der plastischen Verformung von Silizium öffnet der Uhren- und Halbleiterindustrie für das Design von mechanischen Mikro- und Nanosystemen ganz neue Perspektiven.

Weitere Informationen:

Dr. Johann Michler, Mechanics of Materials and Nanostructures, Tel. +41 33 228 46 05,
johann.michler@empa.ch

Redaktion/Medienkontakte:

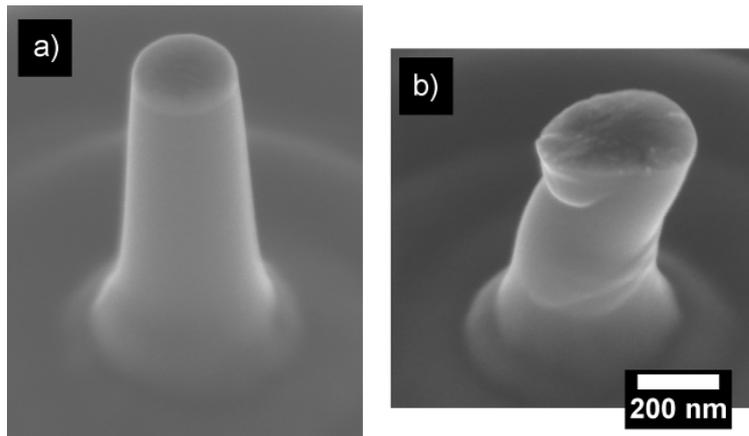
Martina Peter, Kommunikation, Tel. +41 44 823 49 87, redaktion@empa.ch

Literaturhinweis

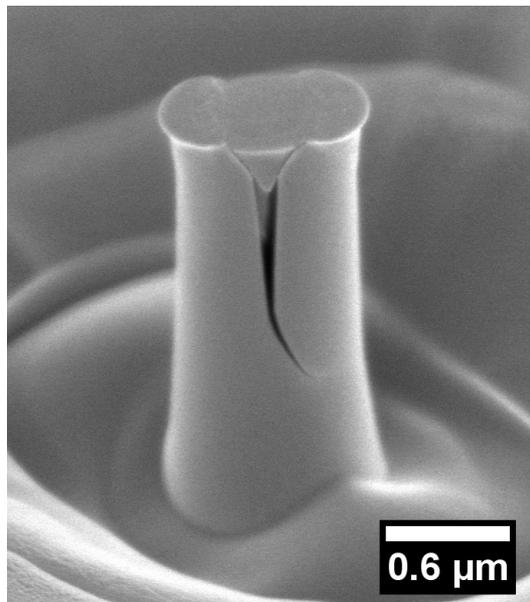
Oestlund, F., Rzepiejewska-Malyska, K., Michler, J. et al.: Brittle-to-Ductile Transition in Uniaxial Compression of Silicon Pillars at Room Temperature, *Adv. Funct. Mater.* 2009, 19, 2439-2444

DOI: 10.1002/adfm.200900418

Das vorgestellte Paper kann auf Wunsch bei redaktion@empa.ch bezogen werden.



Eine Siliziumsäule mit 310 Nanometer Durchmesser vor der Belastung a) und nach der Deformation b). Die Säule hat dem Druck nachgegeben und sich plastisch verformt.



Eine Siliziumsäule mit 940 Nanometer Durchmesser nach dem Kompressionstest. Grössere Säulen mit mehr als 400 Nanometer Durchmesser entwickeln Risse unter Belastung.

Die Bilder in druckgeeigneter Auflösung und der elektronische Text können bezogen werden bei redaktion@empa.ch