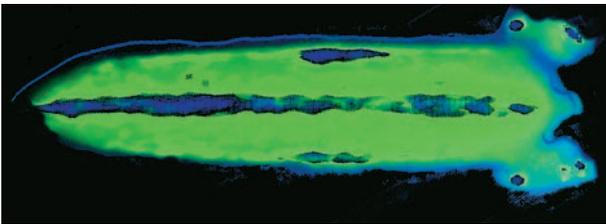
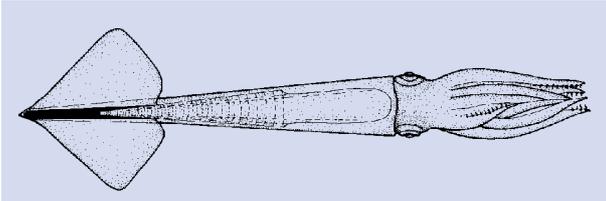


## Magnet-Resonanz im Donnerkeil

Evolutionsbiologen wollen Versteinerungen nicht nur klassifizieren, sondern auch strukturell untersuchen. Zu diesem Zweck mussten sie Fossilien bislang zersägen und damit zerstören. Eine Lösung dieses Dilemmas könnte das in der Medizin seit langem verwendete Verfahren der MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) sein, das die Kernspinnresonanz von zumeist Wasserstoffkernen zur Bildgebung ausnutzt und zerstörungsfrei arbeitet. Bisher



Die Verteilung von Kristallwasser in einem versteinerten Ur-Tintenfisch, lässt sich mithilfe der Kernspintomographie dreidimensional wiedergeben. Der spiralig gewundene Kanal im Inneren des versteinerten Skeletts ist für Paläontologen ein neues strukturelles Detail (blau = hohe Protonendichte, grün = niedrige Protonendichte). (Quelle: Fraunhofer IBMT)

hatte es jedoch einen großen Nachteil: Die Grenze der räumlichen Auflösung der MRI- oder auch NMR-Geräte (*Nucleon Magnetic Resonance*) lag bei nur rund 1 mm. Jetzt haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT) gezeigt, dass sich mit speziell angepassten Apparaturen deutlich feinere Strukturen in versteinerten Lebewesen abbilden lassen.<sup>1)</sup>

Ein Kernspintomograph besteht im Wesentlichen aus einem starken Dauermagnet, einer Hochfrequenzspule und einer Antenne: Mithilfe eines hochfrequenten Magnetfeldes lässt sich die Kernresonanz der durch das statische Magnetfeld ausgerichteten Spins anregen. Eine Antennenspule detektiert wiederum dieses Signal, das sich mithilfe einer Fourier-Analyse zur Bildgebung verwenden lässt.<sup>2)</sup> Grob gesagt gilt: Je homogener das Magnetfeld des Permanentmagneten ist und je schärfer die Ebene durch ein Gradi-

entenfeld definiert ist, in der die Anregung stattfinden soll, desto höher ist die Auflösung.

Die Fraunhofer-Forscher untersuchten mit einem speziell konstruierten MRI-Gerät einen so genannten Donnerkeil. Bei diesem Fossil handelt es sich um einen Belemniten, eine Art Ur-Tintenfisch. Wegen des relativ kleinen Untersuchungsvolumen von  $25 \times 25 \times 50 \text{ mm}^3$  und dem sehr starken Gradientenfeld von 0,95 T/m erreichten die Wissenschaftler eine Auflösung von 0,4 mm. Die Magnet-Resonanz der abzubildenden Versteinerung wurde dabei Punkt für Punkt gemessen. Eine einzige Aufnahme eines solchen Fossils dauert daher schon 58 Stunden. Doch das Ergebnis überzeugt: Die Forscher fanden heraus, dass winzige wasserhaltige Kalkkristalle im Donnerkeil eine bestimmte räumliche Orientierung aufweisen. Dadurch werden Rückschlüsse möglich, wie das Skelett eines Belemniten vor Jahrmillionen einmal gewachsen sein muss. Neben dem Fraunhofer IBMT waren an den Untersuchungen auch die Firma Medilan, das Hessische Landesmuseum und die Uni Frankfurt beteiligt.

## Die 90-nm-Technologie kommt

Die Strukturen von integrierten Schaltkreisen werden von Jahr zu Jahr immer kleiner – und das auch heute noch in einem rasanten Tempo. Wurde erst Anfang dieses Jahres der 0,13- $\mu\text{m}$ -Prozess in die Produktion eingeführt,<sup>3)</sup> so vermelden jetzt die führenden Chiphersteller, dass der 0,09- $\mu\text{m}$ -Prozess schon Anfang 2003 den Schritt aus den Forschungslabors in marktreife Produkte machen wird.

Das erste Halbleiterprodukt, das die 90-nm-Prozesstechnologie bereits verwendet, hat kürzlich Intel vorgestellt: die bisher kleinste SRAM-Speicherzelle (*Static Random Access Memory*) mit einer Fläche von nur einem Quadratmikrometer.<sup>4)</sup> Diese Speicherzelle wurde als Teil eines voll funktionsfähigen 52-Mbit-SRAM-Speicherchips hergestellt: Er enthält 330 Millionen Transistoren auf einer Fläche von lediglich  $109 \text{ mm}^2$  – das ist die bisher höchste Speicherdichte von SRAM-Zellen. SRAMs werden üblicherweise als Arbeitsspeicher in Rechnern eingesetzt.

Grundlage für die Herstellung solcher feiner Strukturen sind moderne kombinierte Lithographie-Verfahren, die mit Wellenlänge von 193 nm und 248 nm arbeiten. Da Intel die ersten marktreifen Produkte mit 90-nm-Strukturen auf den kostengünstigeren 300-mm-Wafern produzieren will, wurden die SRAM-Prototypen in der Entwicklungsfabrik in Hillsboro, Oregon, bereits auf solchen Silizium-Scheiben hergestellt.

Auch die Konkurrenz schläft nicht: Ein seit 1992 zusammenarbeitendes Prozess-Entwicklungsteam von Philips, der französischen Firma STMicroelectronics und dem taiwanesischen Konzern TSMC hat unabhängig von Intel einen 90-nm-Prozess entwickelt. Erste Tests verliefen erfolgreich und funktionierende 1- und 4-Mbit-SRAMs wurden schon präsentiert. Prototypen sollen in der zweiten Jahreshälfte folgen. Mit der Marktreife rechnet das Konsortium bereits Ende 2002. Wichtig für die zügige Markteinführung sei jetzt vor allem, so Philips, dass Chipdesigner frühzeitig Zugriff auf die neue Fertigungstechnik erhalten.

## Folie als Drucksensor

Bestimmte Quarzkristalle oder Keramiken wie Bleizirkonat-Titanat reagieren auf Druck von außen mit einer elektrischen Oberflächenspannung. Dieser Effekt ist schon seit rund 120 Jahren als Piezoelektrizität bekannt. Die dafür geeigneten Materialien sind allerdings relativ teuer in der Herstellung und lassen sich nicht als große Fläche produzieren. Physikern der Uni Linz ist es jetzt gelungen, Plastikschäume, die sich großflächig aufbringen lassen, so aufzuladen, dass sie auf mechanischem Druck mit einem elektrischen Signal reagieren.<sup>5)</sup> Dünne Folien aus solchen Kunststoffschäumen eignen sich für zahlreiche neue Drucksensor-Anwendungen, für die bisherigen Piezomaterialien nicht geeignet bzw. zu teuer waren.

Damit ein Material piezoelektrische Eigenschaften besitzt, muss es notwendigerweise eine zentrosymmetrische Struktur aufweisen. In Kunststoffschäumen, die unter dem Mikroskop wie Blätterteig aussehen, wird dies mithilfe einer permanenten nichtsymmetrischen Ladungsverteilung garantiert. Die

1) [www.nmr.fhg.de/fossile.htm](http://www.nmr.fhg.de/fossile.htm)

2) Näheres siehe z. B. Phys. Bl., November 2001, S. 80

3) siehe z. B. Phys. Bl., Januar 2001, S. 20

4) [www.intel.de/deutsch/pressroom/archive/2002/051202dea.htm](http://www.intel.de/deutsch/pressroom/archive/2002/051202dea.htm)

5) [www2.uni-linz.ac.at/fak/TNF/exphys/angphys/SB/poly\\_web.HTM#foams](http://www2.uni-linz.ac.at/fak/TNF/exphys/angphys/SB/poly_web.HTM#foams)

6) [www.ist.fraunhofer.de/](http://www.ist.fraunhofer.de/)

Wissenschaftler erzeugen diese in der hauchdünnen Folie aus Kunststoffschäum durch Anlegen einer hohen elektrischen Spannung. Wird nun nach einer solchen Behandlung ein mechanischer Druck auf die Folie ausgeübt, lässt sich ein elektrisches Signal messen.

Piezoelektrische Schäume besitzen einen ausgesprochen großen quasi-statischen piezoelektrischen Koeffizienten von bis zu 600 pC/N. Ferroelektrische Polymere bzw. piezoelektrische Keramiken weisen dagegen nur vergleichsweise niedrige Koeffizienten auf (30 pC/N bzw. 220 pC/N).

Druckempfindliche Kunststofffolien sind viel preiswerter zu fertigen als bisherige Piezomaterialien. Aus ihnen könnten zum Beispiel Fußböden für Pflegeheime hergestellt werden, die das Personal alarmieren, wenn ein Patient stürzt. Weiterhin denkbar wäre auch eine Verwendung als hauchdünner Lautsprecher für Flachbildschirme oder als Sensor für Sicherheitssysteme bzw. im aktiven Lärmschutz zur Erzeugung von „Antischall“. Im Rahmen des EU-Projekts „Dura Smart“ will das Linzer Institut jetzt zusammen mit deutschen und finnischen Forschungsinstituten und einigen Industriefirmen das Produkt zur Marktreife bringen.

## Smarte Unterlegscheibe

Schraubenschlüssel haben auf den ersten Blick mehr mit Handwerk zu tun als mit High-Tech. Die Festigkeit einer Schraubenverbindung wurde bislang über den altbekannten Drehmomentschlüssel bestimmt. Dieser misst jedoch nicht den tatsächlichen Anpressdruck ei-



**Innovative Werkzeuge wissen, worauf es ankommt: Mithilfe einer dünnen drucksensitiven Schicht, die auf einer Unterlegscheibe aufgebracht ist, lässt sich der Anpressdruck einer Schraubenverbindung durch eine einfache Widerstandsmessung exakt bestimmen. (Quelle: Fraunhofer IST)**

ner Verbindung, sondern nur das Drehmoment. Ein Rückschluss auf den Anpressdruck, z. B. bei verrosteten Schrauben, ist daher nur bedingt möglich. Zudem lässt sich eine einmal angezogene Schraube nur durch nochmaliges Ansetzen des Werkzeugs kontrollieren. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Schicht und Oberflächentechnik (IST) haben kürzlich auf der Hannover Messe eine Unterlegscheibe vorgestellt, mit der sich der tatsächliche Anpressdruck ermitteln lässt.<sup>6)</sup> Sie ist mit einer drucksensitiven Schicht überzogen, die auf diamantartigem Kohlenstoff basiert, in der kleinste Nanopartikel eingelagert sind.

Seit ungefähr 50 Jahren ist bekannt, dass graphitische Kohlenstofffilme einen druckabhängigen elektrischen Widerstand besitzen. Doch reine Graphitfilme sind zu weich, um sie als Drucksensor einsetzen zu können. Die Forscher am IST waren daher auf der Suche nach einer Schicht, die die gleichen Widerstandseigenschaften wie ein Graphitfilm aufweist, dabei jedoch gleichzeitig wesentlich härter ist. Mithilfe des Plasma-CVD-Verfahrens (*Chemical Vapour Deposition*) gelang es ihnen, geeignete diamantartige Schichten mit amorpher bzw. nanokristalliner Struktur aufzudampfen. Je nach Verwendung werden diese etwa 2  $\mu\text{m}$  dicken Schichten noch mit Titan- oder Wolfram-Atomen dotiert.

Das Ergebnis sind preiswerte, nicht korrodierende und sehr harte Drucksensor-Schichten, die sich direkt auf Edelstahl aufbringen lassen und z. B. als Unterlegscheibe eine sicherheitsrelevante Schraubenverbindung ständig überwachen können. Der Widerstand und damit der Anpressdruck wird relativ einfach zwischen einem Kontakt im Inneren der Scheibe und einem Kontakt an der Schraube gemessen.

Neben der Anwendung als intelligente Unterlegscheibe sind solche extrem harten drucksensitiven Schichten auch in Gleit- und Wälzlagern vorstellbar. Selbst Greifarme von Robotern könnten einmal mit solchen Schichten ausgerüstet werden.

HOLGER KOCK