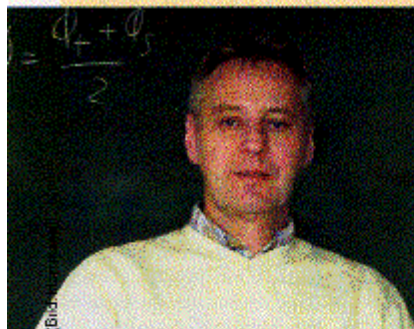


Nanotechnologie: Selbstreproduzierende Maschinen werden möglich

Werkstoff-Designer arrangieren Atome und Moleküle wie Domino-Steine

Die Nanotechnologie versetzt Menschen in die Lage, Atome und Moleküle nach Wunsch zu arrangieren. Sie beginnt, die Welt der Technik zu verändern ebenso wie das Leben der Menschen: Schon heute verdanken wir ihr kratzfeste Autolacke und transparente Korrosionsschutzschichten. Morgen könnten Computer-Chips real werden, die sich selbst vervielfältigen und Defekte von alleine ausheilen.



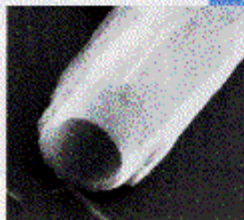
Prof. Uwe Hartmann, Institut für Experimentalphysik der Universität des Saarlandes.

„Wir arbeiten an Methoden, um Biopolymere als technische Bausteine einzusetzen“

Die unscheinbare Zahnbürste hat den Zustand der menschlichen Zähne nachhaltig verbessert. Probleme bereiten aber immer noch offene Zahnhäse. Mikrometerfeine Poren im Zahnbein sorgen für Schmerzempfindlichkeit. Dies konnte sich durch das Nanokomposit Nanit ändern, an dem Wissenschaftler der Sustech GmbH & Co. KG Darmstadt arbeiten. Ähnlich wie das natürliche Zahnmateriale besteht es aus Calciumphosphat (Apatit) und Proteinen. Wird es auf die Zähne aufgebracht, wandern winzige Partikel zu den schadhaften Stellen und bilden Kristallisationskeime. Allmählich wachsen die Löcher zu. Dabei entsteht eine Schicht, die vom natürlichen Zahn kaum zu unterscheiden ist – nicht einmal unter dem Elektronenmikroskop. „Die Partikel triggern einen Prozess, der aus dem Speichel ausgefallenes Calciumphosphat auf der Zahnoberfläche anlagert“, erklärt Dr. Gallus Schechner. Bei Tests an Rinderzähnen hat sich die Methode schon bewährt.

Aus zwei Gründen ist die derartig revolutionierte Zahnpflege ein Paradebeispiel für Anwendungen aus der Nanotechnologie: Erstens haben die Apatit-Nanopartikel sehr geringe Abmessungen von etwa 20 nm x 5 nm. Nur in dieser winzigen Größe sind sie reaktiv genug, um den Wachstumsprozess in Gang zu setzen (zum Vergleich: Der Durchmesser eines einzelnen Atoms liegt in der Größenordnung von 0,1 nm). Zweitens haben die Wissenschaftler ihr Komposit dem nano-strukturierten Zahn-

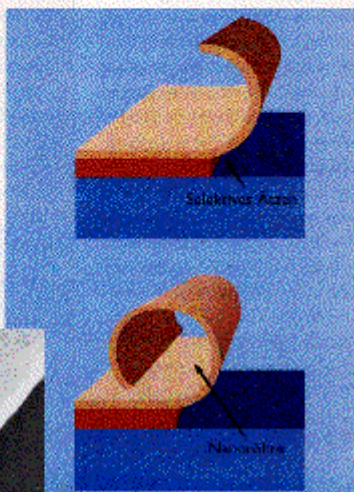
Zwei Schichten aus wenigen Atomen übereinander (beispielsweise aus Halbleiternmaterial) beginnen sich zu rollen, sobald ihre Unterlage weggezitt wird. So entstand am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart die Röhre, die einen Innendurchmesser von der zweihundertstel Dicke eines Haares hat (Bilder: MPI FKE Stuttgart, Philip Morris Seifung).



material so gut nachempfunden, dass die natürlichen Selbstorganisationskräfte wirksam werden und der Prozess „von selbst“ abläuft.

Das Beispiel zeigt: Mit dem Eingreifen in kleinste Dimensionen erweitert der Mensch seine technologischen Möglichkeiten dramatisch. Die Nanotechnologie lebt davon, dass sich Materie im Nano-Maßstab anders verhält als in der makroskopischen Welt. Zurecht gilt sie als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Auch für die Fertigungstechnik hält Sustech Darmstadt eine potenzielle Anwendung parat: Die Wissenschaftler entwickeln Klebstoffe, die in der Klebefuge „auf Kommando“ abbinden, sobald sie mit Mikrowellen bestrahlt werden – und zwar 8- bis 10-fach schneller als gewöhnlich. Der Trick: Dem Klebstoff sind 10 nm kleine superparamagnetische Ferrite beigemischt. Unter elektromagnetischer Strahlung bildet jedes dieser Nanopartikel einen Magnetpol aus und beginnt zu schwingen wie eine Magnetnadel. Die dabei entstehende Verlustwärme induziert das Aushärten.

Wer auf der Nano-Ebene manipulieren kann, erschließt sich neue Freiheitsgrade im Material-Design. Einen Schub für diese



TECHNOLOGIETRANSFER

Titelthema



partikel machen es möglich. Die Inkjet-Tinte ist sichtbar, es sei denn, sie wird mit UV-Licht bestrahlt. 255 nm bestrahlte Schutzschichten lässt sie sich nicht nur auf Kunststoffen sondern auch auf technischen Teilen an. Dazu wird ein handelsüblicher Druckerfertigung integriert (Bilder: Nanosolutions)

weise brachte 1981 die Erfindung des Rastertunnelmikroskops durch Binnig und Rohrer, die dafür den Nobelpreis erhielt. Erstmals konnten Atome einzeln beobachtet werden. Neun Jahre später ließen Digner und Schweizer mit 35 Nanometern das Wort „IBM“ auf ein Silikonatom. Die Vision erschien nun immer realistischer. Materie mit gewünschten Werkstoff-Eigenschaften durch Anordnung von Atomen und Molekülen zu kontrollieren – letztlich die gemeinsame Erfindung der Nanotechnologen aus Physik, Chemie und Biologie.

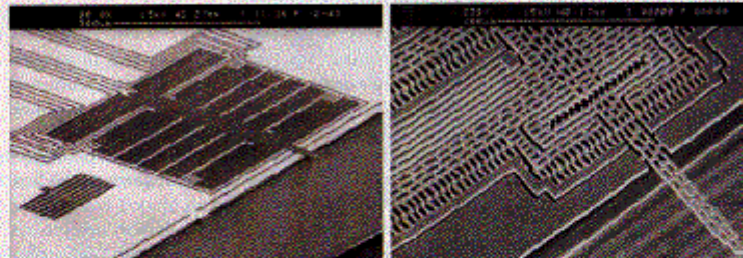
Eine Definition des Bundesforschungsministeriums zeichnen sich Nanotechniken dadurch aus, dass sie neue Funktionen hervorbringen. Dabei spielt es keine Rolle, mit welchen Methoden sie in die Nanoskala unter 100 nm vorstoßen; mit neuartigen, konventionellen Verfahren oder neuartigen Ansätzen wie den Nanoköpfen. Zur Nanotechnologie zählt auch das physikalische Auftragen von dünnen Schichten, die so dünn sind, dass das extrem kurzwellige Röntgenlicht durchdringen können. Mit den auf diese Weise hergestellten Optiken könnten sich Röntgenstrahlen eines Tages als Lichtquelle in der Chip-Herstellung einsetzen lassen, da die Wellenlänge des Fluor-Lasers mit 57 nm zu groß wird.

In der Halbleiter-Fertigung geht es auch um die Halbleiter-Physiker Dr. Oliver

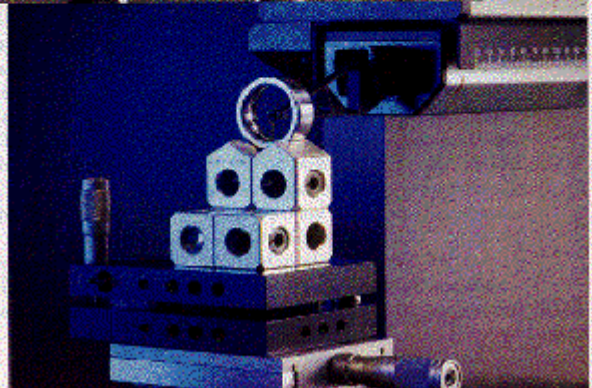
Schmidt, der 2002 mit dem Philip-Morris-Preis ausgezeichnet wurde. Mit Ätztechniken ist es ihm gelungen, nanometerkeine Röhren herzustellen. Gezielt auf Chips erzeugt, könnten sie die Funktion von Spulen übernehmen und so Platz sparen.

Der Tag wird kommen, an dem die Physiker die konventionellen Wege verlassen müssen. Dann nämlich, wenn die Leiterbahnen einmal so eng beieinander liegen, dass Quanteneffekte auftreten und zum Beispiel Elektronen überhupfen. Doch auch dafür sind schon Lösungen angedacht. Eine Idee ist der Einzelelektronentransistor, der sich gerade diese Quanteneffekte zur Hilfe machen soll.

Schneller als die Physiker kommen die Chemiker in der Nanotechnologie voran. Durch ihre produktionsnahen Verfahren haben sie bereits eine Fülle von verwertbaren Innovationen vorzuweisen. Wesentlichen Anteil daran hat Professor Helmut Schmidt, Leiter des Instituts für Neue Materialien (INM) in Saarbrücken. Er meldete 1991 das erste Patent an, heute verbucht das INM bereits 90. „Die chemische Nanotechnologie eröffnet bei der Werkstoffentwicklung fünf neue Freiheitsgrade“ erläutert der Pionier für Nanopartikel. „Wir pflücken auf die Nanopartikel zusätzliche chemische und physikalische Funktionen auf.“ Von Anfang an sorgte Schmidt dafür,



Das neu vorgestellte taktile Messgerät Marsurf LD 120 könnte eines Tages auch mit Atomkraft-Sensoren (AFM) ausgerüstet werden, den Mohr mit der TU Chemnitz entwickelt. Dieser ahmt zwar dem Rastertunnelmikroskop, wird aber wesentlich preiswerter sein, weil er komplett in Silizium-Chip-Technologie gefertigt wird. Die Auflösungen reichen bis 0,1 nm (Bilder: Mohr, TU Chemnitz)



dass Innovationen direkt in die industrielle Verwertung einfließen. So stellt die Nanogate GmbH, ein Spin-off des INM in Saarbrücken, seit 1995 kratz feste Beschichtungen für Kunststoff-Brillergläser her. Ihre Kratzfestigkeit erhalten sie durch keramische Aluminiumoxid-Nanopartikel, die in eine hartelastische Matrix eingebettet sind. Und heute, sieben Jahre später, betreibt Daimler-Chrysler eine Testflotte mit kratzfesten Autolacken, die ähnlich aufgebaut sind. „Ich habe so ein Fahrzeug mit eigenen Augen gesehen“, schwärmt eine Konzern-Sprecherin. „Nach einem Jahr auf der Straße und in Waschanlagen sieht es immer noch wie fabrikmäßig aus.“

Ein entscheidend wichtiges Element fehlt aber bisher im Baukasten der Nanotechnologie: Das Wissen, wie sich Systeme selbstorganisiert aufbauen lassen. Mit solchem Know-how ließe sich ein Durchbruch in der Herstellung nano-strukturierter Systeme erzielen. Perfekte Vorbilder liefert die Biologie. Das Interesse

DNA lässt sich als Hardware adressieren

richtet sich daher auf das Erforschen der Mechanismen, mit denen die Natur Informationen codiert und reproduziert. Es gibt sogar schon Ansätze im Labormaßstab, die zeigen, dass sich die DNA in Strängen adressieren und (außerhalb der Zelle) als informationstechnischer Baustein verwenden lässt. Dazu Professor Uwe Hartmann vom Institut für Experimentalphysik der Universität des Saarlandes: „Es ist klar, die DNA hat zwei sehr gute Eigenschaften: Sie kann Informationen speichern und zwischert als jeder Halbleiter-Speicher. Und sie kann sich selbst reproduzieren.“ 1 g menschlicher DNA könnte den gesamten Inhalt der weltweit größten Bibliotheken speichern.

Hartmann arbeitet mit seinem Team an Biopolymeren, die künftig als elektronische Bausteine dienen könnten. Er bejaht, dass Ansätze wie mit der DNA auch gesellschaftliche Erörterungen anstoßen müssen. Ist es ethisch vertretbar, dass die DNA als Trägerin von Erbinformationen gebraucht wird, um technische Geräte zu produzieren? Kann der Mensch diese Technik auch beherrschen? Hartmann:

NACHGEFRAGT

„In der Nanotechnik sehen wir große Marktchancen“

Wie die Göttinger Mahr GmbH den Nanokosmos mit neuartigen Messtechnologien erschließt, beschreibt Entwicklungsleiter Rainer Ziegenbein.

Herr Ziegenbein, warum kümmert sich Mahr als traditioneller Messtechnik-Spezialist um die Nanotechnologie?

Der Trend zu kleineren Strukturen hält unvermindert an. Zum Beispiel werden in der Einspritztechnologie zunehmend kleinere, annähernd zylindrische Mikrobohrungen bis zu 20 Mikrometer gefertigt. Um solche Teile prüfen zu können, sind Sensoren in entsprechend niedriger Dimension erforderlich. Wir sehen dafür einen großen Markt und bereiten uns in Entwicklungsprojekten darauf vor.

Welche Geräte entwickeln Sie und mit welchen Auflösungen?

Wir arbeiten an optischen und taktilen Sensoren, die extrem kleine Abmessungen haben. Die taktilen Systeme erzielen

Rainer Ziegenbein, Entwicklungsleiter bei Mahr.

„Wir arbeiten an einem Atomkraft-Sensor, geeignet zur Prüfung von Nano-Geometrien“

– immer abhängig von der Anwendung – Auflösungen von bis zu 1 nm. Optische Sensoren erreichen eine Auflösung bis zu 0,1 nm. Außerdem arbeiten wir in einer Kooperation mit Professor Marthey von der TU Chemnitz an einem Atomkraft-Sensor mit Antriebskräften von 10^{-6} N. Dieser in Silizium hergestellte Sensor wird eine preiswerte Alternative zu anderen Rastersonden sein bei größerer Flexibilität in der Auflösung.

In welchen Märkten sehen Sie dafür Absatzchancen?

Zunächst denke ich an die Auto- und Zulieferindustrie, aber auch an die Medizin und die Halbleiterindustrie. Für den Maschinenbau könnte das nano-feine Vermessen von Oberflächenstrukturen ebenfalls Bedeutung erlangen. os



„Wenn Sie daran denken, dass in einigen Jahrzehnten vielleicht selbstreproduzierende Maschinen existieren, muss über Gefahren schon gesprochen werden.“

Bis es soweit ist, stehen „gewöhnliche“ nanotechnologische Errungenschaften zur Verfügung, die es auch in sich haben. Wie sehr der Maschinenbau davon profitieren kann, zeigt das Programm der Nanosolutions GmbH in Hamburg. Ihr Know-how ist das Herstellen von Nanopartikeln. „Wir können mit dem gesamten Periodensystem der Elemente spielen“, sagt Vertriebsleiter Dr. Fernando Ibarra. Zum Angebot gehören transparente Korrosionsschutzlacke sowie Inkjet-Tinten, die entweder fluoreszieren oder unsichtbar sind und nur mit UV-Licht bestimmter Wellenlänge sichtbar gemacht werden können. In einem Entwicklungsprojekt soll außerdem ein Rapid-Prototyping-Drucker entstehen, der Schnittteile mit Gradienten-

Eigenschaften produziert. Das Funktionsprinzip: Der Printer druckt die lokal benötigten Legierungselemente als nano-feine Schichten zwischen den Metallschichten auf. Bevor es zum Sintern geht, werden sie vor diesen komplett aufgesogen.

Von unserem Redaktionsmitglied Olaf Stuß
olaf.stuss@korrair.de

► siehe Kommentar S.8

Die Info-Broschüre „Nanobiotechnologie“ von Prof. Hartmann ist erhältlich über stefanie.neumann@mx.uni-saarland.de oder Fax (0681) 302-3790

Web-Tipps
www.vditz.de
www.inm-gmbh.de