

Margit Zacharias

Zacharias



Als Kind spielte sie mit Metallbaukästen, heute träumt sie von einem Nanolego der Zukunft.

MARGIT ZACHARIAS lässt am **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR MIKROSTRUKTURPHYSIK** in Halle Landschaften der besonderen Art erblühen: Auf Substraten wachsen Nanostrukturen aus Halbleitern wie seltsame Pflanzen auf mikroskopischen Plantagen. Noch ist das reine Grundlagenforschung, doch eines Tages könnten solche Nanobausteine die Halbleiterindustrie revolutionieren.

Manche Forschungsobjekte von Margit Zacharias erinnern an jene genoppten Steckbausteine der siebziger Jahre, die sich unter Kinderhänden zu Fantasiegebilden zusammenschließen. Doch hier sind es winzige Nanonoppen und andere kleine Körper aus Halbleitermaterialien, die die Physikerin entstehen lässt. Der Durchmesser dieser nahezu perfekten Einkristalle aus Germanium, Silizium oder Zinkoxid liegt zwischen wenigen und einigen hundert Nanometern (milliardstel Meter). Mit bis zu mehreren Mikrometern (millionstel Meter) Länge können die schlanken Kristallobjekte vergleichsweise hoch aufragen. In dieser Dimension wachsen sie dann schon in die nächstgrößere Skala der Mikrowelt hinein.

Margit Zacharias zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme, auf der die Nanodrähte dicht wie Haare auf einer Substratoberfläche stehen. Begeistert blättert die Forscherin am Computer von Bild zu Bild und lässt den Gast in die Wunderwelt der nanokristallinen Stäbe, Röhren, Kugeln, Nägel oder Sägen eintauchen: „Diese Nanorosen finde ich besonders schön“, schwärmt Zacharias mit einem Augenzwinkern. Später verrät sie, dass ihr Traum „eine Art Nanolego“ sei: kontrolliert gewachsene, sehr gleichmäßige Nanobausteine, die sich zu Objekten oder Materialien mit verschiedensten Funktionen zusammenbauen lassen.

Als Max-Planck-Wissenschaftlerin betreibt Margit Zacharias vor allem Grundlagenforschung. Nanostrukturen aus Halbleitermaterialien könnten jedoch eines Tages auch der Elektronikindustrie aus der Sackgasse helfen, in die sie mit fortschreitender Miniaturisierung hineinläuft. Die heute etablierte Halbleitertechnologie arbeitet ungefähr wie ein

Bildhauer, der seine Skulptur aus einem Marmorblock schlägt: Statt Hammer und Meißel benutzt sie aufwändige Ätztechniken. Diese Top-down-Methoden stoßen aber bei kleinsten Abmessungen an das Limit; die Werkzeuge werden zu grob und die schrumpfenden Strukturen entwickeln ein quantenartiges Eigenleben, dessen spukhafte Erscheinungen die elektronischen Verarbeitungsprozesse stören. „Die Halbleiterindustrie stößt immer mehr an technische und physikalische Grenzen“, sagt Zacharias.

STATT WILDWUCHS KONTROLLIERTES WACHSTUM

Halbleiter-Nanokristalle, wie sie in den Labors am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle entstehen, könnten diese Probleme lösen helfen. Sie wachsen nämlich ganz von selbst. Dabei entwickeln sie auch noch attraktive elektronische und optische Eigenschaften. „Selbstorganisation“ nennen Forscher dieses Wachstumsverhalten. Aus dem Alltag kennen wir Ähnliches von Salzwasser, das in einem Glas verdunstet: Die Natrium- und Chloratome finden zusammen und bilden auf dem Boden Salzkristalle. Auch kristalline Nanofasern gibt es in der Natur, zum Beispiel Asbest. Was dort allerdings als unkontrollierter Wildwuchs geschieht, das wollen Nanowissenschaftler wie Margit Zacharias gezielt steuern können. Dafür brauchen sie jedoch ein tiefes Verständnis der komplexen Abläufe in der Nanowelt – und das bedeutet intensive Arbeit.

„Ich denke, die Zukunft des Fachgebiets liegt darin, dass man verschiedene Nanostrukturen kontrolliert wachsen lässt und dann miteinander kombiniert“, sagt Zacharias. „Im Moment ätzen wir und strukturieren“, fasst sie die gängigen Ver-

fahren der Halbleiterproduktion zusammen – und beschreibt das Wesen eines radikal neuen Ansatzes: „Warum machen wir es denn nicht einfach wie in der Natur?“ Die Wissenschaftlerin kann sich gut vorstellen, dass die Nanostrukturen wie winzige Bäume wachsen und jeder Zweig aus einem anderen Material besteht. So könnten elektronische Bauteile gezüchtet werden, die dann zum Beispiel wie Transistoren funktionieren. Aber auch völlig neue Eigenschaften erwartet Zacharias, die wiederum die Entwicklung neuer Technologien anstoßen könnten.

Diese Vision hat einen gewaltigen Boom ausgelöst. Rund um den Globus stürzen sich Physiker, Chemiker und Materialwissenschaftler auf Bottom-up-Verfahren, die mit verschiedensten Mitteln „von unten“ kleinste Strukturen wachsen lassen. Das Magazin NATURE bezeichnete das Forschungsgebiet der Halbleiter-Nanodrähte im Jahr 2002 sogar als „heißeste Errungenschaft der Nanotechnologie“. In diesem Wettrennen ist Margit Zacharias mit ihrer Gruppe ganz vorne dabei. Gemeinsam mit einem Chemiker koordiniert sie das große Schwerpunktprogramm „Nanodrähte und Nanoröhren“, das die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) mit 3,4 Millionen Euro fördert.

Für die Physikerin ist das auch ein enormer persönlicher Erfolg, denn vor 15 Jahren stand sie vor dem Aus. Ihre wissenschaftliche Karriere schien beendet, bevor sie richtig angefangen hatte. Die diplomierte Physikerin und promovierte Elektroingenieurin hatte in den achtziger Jahren an der Technischen Hochschule in Magdeburg auf dem Gebiet der Elektrofotografie geforscht. Mit diesem Prinzip arbeiten Kopierer und Laserdrucker, für die die DDR eine eigene Industrie aufbauen wollte. Als Margit Zacharias 1990 – im Jahr der

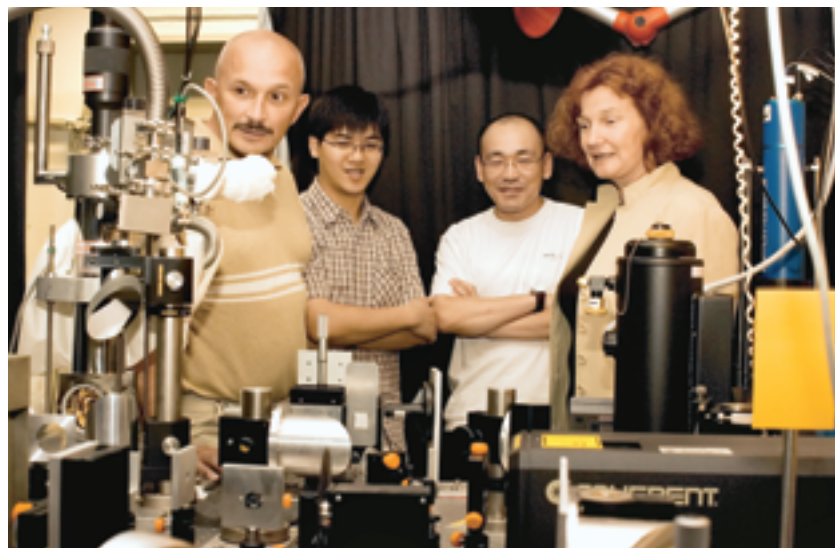


Foto: Hans-Joachim Kraußhar

International besetzt ist die Gruppe von Margit Zacharias. So kommt Vadim Talalaev aus Russland, Se-Young Seo aus Korea und Tiezheng Lu aus China (von links).

Wiedervereinigung – aus der Baby-pause in die Wissenschaft zurückkehren wollte, war Schluss damit: „Mein Arbeitsgebiet war tot!“

„Damals habe ich zum zweiten Mal bei null angefangen“, erzählt sie. Sie bekam an der Uni Magdeburg einen zeitlich befristeten Vertrag, sattelte auf Halbleiterphysik um und stieg in die Nanoforschung ein. Neue Schwierigkeiten stellten sich ihr in den Weg: Inzwischen war sie allein erziehende Mutter. Sie musste ihre beiden Kinder und die anspruchsvolle Arbeit der Wissenschaftlerin unter einen Hut bringen. „Dazu gehören Konzentration auf das Wesentliche und ein gutes Zeitmanagement“, meint sie, „trotzdem habe ich immer versucht, den Kindern viel Zeit zu widmen.“ So gehörte der Abend bis acht Uhr den Kindern. Danach, wenn andere sich vor dem Fernseher räkelten, saß sie wieder an ihrem Computer und arbeitete.

Im Jahr 1996 konnte sich Margit Zacharias einen großen Traum erfüllen: „Ich wollte schon immer mal in die USA gehen“, sagt sie. Mit der Habilitationsförderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft klappte es nun – ein Jahr durfte sie an der University of Rochester im Bundesstaat New York als Gastprofessorin arbei-

ten. Dort hatte sich die Physikerin eine international renommierte Arbeitsgruppe ausgesucht, um wichtige Experimentiertechniken zu lernen, die ihr noch fehlten.

„NANOGEBÄCK“ AUS DER REINRAUM-KÜCHE

„Da saß ich nun mit zwei Kindern, sechs Koffern und einer Masse Handgepäck auf einem dieser amerikanischen Einreise Flughäfen, das war schon verrückt!“, erinnert sie sich. Aber es klappte. Die Kinder kamen in die Schule, ein Babysitter sprang am Nachmittag ein. Am Abend musste die Mutter ihrem sechsjährigen Sohn dann allerdings auch das Schreiben in Deutsch beibringen. Doch für die vielseitige Forscherin lohnte sich der Einsatz, konnte sie in den USA doch

Am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik zaubern die Forscher eine große Vielfalt an Nanostrukturen (links) – zum Beispiel Nanodrähte aus Zinkoxid, die wie Pilze wachsen (Mitte); das verdampfte Halbleitermaterial löst sich in einer geschmolzenen Metallpille (Hut des Pilzes) und scheidet sich nach unten als nahezu perfekter Halbleiterkristall ab. Das Bild rechts zeigt unterschiedliche Halbleiter-Nanodrähte (nm = Nanometer, milliardstel Meter).

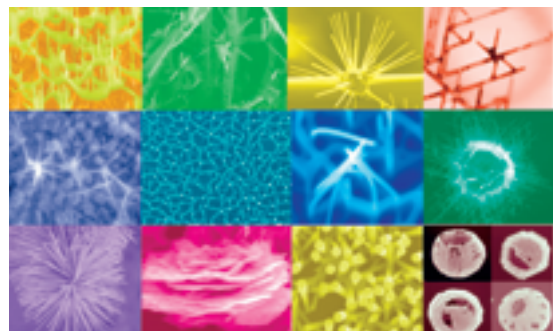


Foto: MPI für Mikrostrukturphysik

einen zweiten großen Traum verwirklichen. „Als Halbleiterphysikerin hatte ich mir immer gewünscht, in einem Reinraum zu arbeiten.“

Ein Reinraum ist gewissermaßen die Hightech-Küche der Halbleitertechnologie. Dort werden den blanken Siliziumscheiben (Wafern) in Beschichtungs- und Belichtungsanlagen, Ätzbädern und Quarzöfen Schritt für Schritt die elektronischen Strukturen eines Chips „aufgebacken“. Zu Zacharias' Glück kooperierte ihre amerikanische Arbeitsgruppe mit dem Rochester Institute of Technology, das einen großen Reinraum besitzt. „Da war ich ein halbes Jahr lang zehn Stunden am Tag“, sagt sie. „Das vermittelte mir ein ganz anderes Gefühl für das, was die Industrie wirklich braucht.“ Dieses Wissen hilft ihr heute, wenn sie Verfahren zur Erzeugung von Nanostrukturen entwickelt, die sich für technische Anwendungen eignen sollen.

Zurück in Magdeburg habilitierte sich Margit Zacharias 1999 mit einer Arbeit über Nanostrukturen aus Silizium und Germanium. Doch nun war das Ende ihrer befristeten C1-Stelle in Sicht. Sie bewarb sich an verschiedenen Universitäten und wurde auch von Ulrich Gösele, Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, zu einem Vortrag nach Halle eingeladen. Er bot ihr eine Stelle für ein Jahr an. Darüber hinaus versprach er ihr, sich für eine befristete C3-Stelle im Rahmen eines Programms zur Frauenförderung einzusetzen. Margit Zacharias sagte sofort zu, denn: „Mich haben die Möglichkeiten fasziniert, die ein

Max-Planck-Institut bietet.“ Da das internationale Gutachtergremium schnell zu einem positiven Ergebnis kam, konnte sie noch im Jahr 2000 die C3-Stelle in Halle antreten.

ES GEHT AUCH OHNE FRAUENBONUS

„Ich habe auch gleich Forschungsprojekte mitgebracht“, sagt sie in einem Ton, der klar macht, dass sie keinen Frauenbonus braucht. Sie will allein durch wissenschaftliche Leistung überzeugen. „Bei manchen Einladungen zu Berufungen hat man den Eindruck, man ist die Quotenfrau“, erzählt sie, „und so etwas stört mich sehr.“ Frauen müssen nach ihrer Erfahrung allerdings für die gleiche Anerkennung häufig mehr leisten als ihre männlichen Kollegen. Das ficht sie jedoch nicht an. „Wenn ich Widerstand spüre, mache ich erst recht weiter. Ich bin sehr hartnäckig!“

Und geladen mit Energie. Während sie die Treppen hinauf zu einem ihrer Labore in den oberen Stockwerken des Instituts joggt, erklärt sie ohne außer Atem zu kommen, was der Gast dort gleich sehen wird. In den Labors offenbart sich ein anderer Charakterzug der Nanotechnologie: Die Apparaturen zum Wachsen der Strukturen sind sehr „handlich“ im Vergleich zur Ausrüstung der großen Halbleiterfabriken. Die Grundtechniken sind jedoch eng verwandt. Das beweist das sanft glühende Glasrohr eines Quarzrohrofens, den auch die Industrie einsetzt. Diese Öfen können die Wafer auf weit über 1000 Grad Celsius erhitzen. Dabei fahren sie sehr präzise das Temperaturpro-

gramm durch, das zum erfolgreichen „Chipbacken“ nötig ist.

Um die üppige Vielfalt der Nanostrukturen zu züchten, kommen unterschiedlichste Methoden aus Physik, Chemie und Materialwissenschaften zum Zug. „Der Nanobereich ist keine Fachwissenschaft mehr“, betont Zacharias. Deshalb ist für sie eine enge Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen der entscheidende Schlüssel zum Erfolg. Für sie war es ganz wichtig, dass sie den großen DFG-Forschungsschwerpunkt gemeinsam mit einem Chemiker koordiniert. Diesen Part übernahm Andreas Greiner, Professor an der Universität Marburg.

Das Bemühen von Margit Zacharias gilt vor allem dem kontrollierten Wachstum möglichst gleichmäßiger Nanokristalle. Erst dann hat das Material auch definierte Eigenschaften. Warum das so wichtig ist, erklärt sie anhand der Geschichte des porösen Siliziums. Wie ein Schwamm besteht diese künstlich hergestellte Variante des Halbleiters bis zu 95 Prozent aus Luft. Das neue Material sorgte in den 1990er-Jahren für Furore. Der Grund: Es kann im sichtbaren Spektralbereich bei Raumtemperatur leuchten, wenn ultraviolettes Licht es dazu anregt. Das war eine Sensation, denn bislang konnte noch kein Trick Silizium dazu bringen, effizient sichtbares Licht auszustrahlen.

Inzwischen gelang es den Forschern außerdem, das poröse Silizium mit elektrischem Strom zum Leuchten zu bringen. Genau diese Eigenschaft sucht die Halbleiterindustrie schon seit Jahrzehnten. Bislang muss sie auf andere Materialien aus-



Aus den Nanostrukturen stellen die Wissenschaftler auch photonische Kristalle her, die einen Laserstrahl zu einem regelmäßigen Muster aufblühen lassen.

weichen, wenn diese Strom in Licht verwandeln sollen. Leuchtdioden oder Diodenlaser enthalten deshalb den Halbleiter Galliumarsenid. Weil das räumliche Atomgitter von Galliumarsenidkristallen nicht zu dem von Siliziumkristallen passt, sind beide Halbleiter nicht ohne weiteres auf einem Chip kombinierbar. Auf der anderen Seite sperrt sich das Galliumarsenid gegen komplexe Chipstrukturen: Es kann deshalb in der Optoelektronik auch nicht einfach das Silizium ersetzen.

UND SILIZIUM LEUCHTET DOCH...

Der elegante Schnitt durch diesen gordischen Knoten wäre also ein Silizium, das im sichtbaren Licht kräftig leuchtet. Dann könnte die Halbleiterindustrie optoelektronische Funktionen direkt in die Siliziumchips integrieren. Dadurch würden nicht nur der technologische Aufwand sinken und die Chipgrößen weiter schrumpfen – sondern die Chips könnten dann auch einen Teil der Datenverarbeitung mit schnellen Lichtquanten statt der langsameren Elektronen bewältigen.

Das poröse Silizium schien diesen Technikraum zunächst zu erfüllen. Doch der Siliziumschwamm mit seiner bizarren Struktur wurde letztlich doch kein technisch brauchbares Material mit zuverlässig vorhersagbaren Eigenschaften. Zudem zeigte sich, dass er auch noch altert und

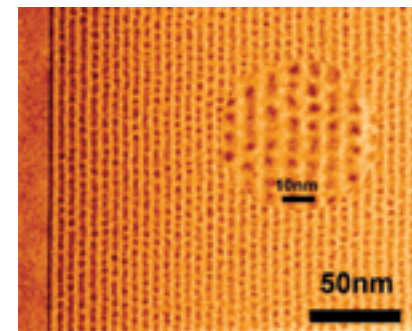
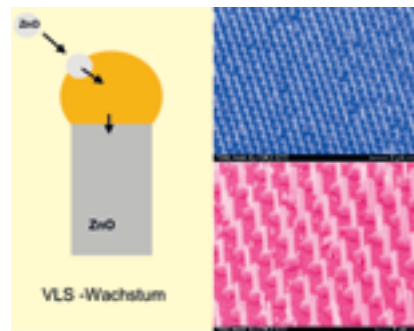




Foto: HANS-JOACHIM KREIMNOW

Büroarbeit gehört zum Alltag von Margit Zacharias. Allerdings hält sie sich viel lieber in den Labors des Hallenser Max-Planck-Instituts auf.

seine „Strahlkraft“ mit der Zeit nachlässt. Das enttäuschte viele Forscher und sie wandten sich anderen Materialien zu.

Margit Zacharias ließ sich davon nicht abschrecken. Immerhin hatte die Forschung ja bis dahin herausgefunden, dass in den dünnen Stegen des Schwammes Nanokristalle aus Silizium stecken: Sie sind es, die mit besonderen Quanteneffekten für das Leuchten im sichtbaren Licht sorgen. „Auf einer Tagung der Materials Research Society in Boston kam mir die Idee, wie man solche Nanokristalle ganz kontrolliert wachsen lassen könnte“, sagt Zacharias.

Der Idee erwuchs das Nanomaterial, das sie patentieren ließ. Es enthält sehr gleichmäßig gewachsene Silizium-Nanokristalle, schön sauber angeordnet und eingebettet in das elektrisch isolierende Siliziumdioxid. „Das ist ein Ensemble nahezu gleicher Teilchen“, schwärmt die Physikerin. Die Kristalle sind mit einem Durchmesser von zwei Nanometern nach Zacharias' Maßstäben eher klein, denn meistens interessiert sie sich für etwas größere Strukturen – jedoch: Sie können leuchten! Und sie sind als Material viel zuverlässiger als das poröse Silizium.

„Sie sehen, das ist mein Hobby“, schmunzelt die Physikerin, als sie merkt, dass sie im Gespräch immer wieder auf dieses Leuchten zu sprechen kommt. Sie benutzt dafür natürlich das Fachwort Lumineszenz.

Erklärt sie auch ihren Kindern, was sie erforscht? „Ja, meine Kinder wollen das schon wissen. Vor allem meine Tochter, die auch lange überlegt hat, ob sie Physik, Elektrotechnik oder Informatik studiert. Und mein Sohn weiß sicher mehr über den Aufbau von Atomen und über Nanostrukturen als andere in seinem Alter.“ Amüsiert erzählt sie, dass sie kürzlich mit ihren Mathematikkenntnissen einen Freund ihres Sohnes stark beeindruckt habe. In dessen Weltbild passte es einfach nicht hinein, dass Mütter in Mathematik helfen können...

Sie selbst bastelte in ihrer Kindheit gerne mit dem Metallbaukasten und dem Elektrobaukasten oder spielte mit der Eisenbahn ihres Vaters. In der Schule interessierte sich die gebürtige Torgauerin dann vor allem für Mathematik und Physik. „In der neunten Klasse habe ich schon angefangen, Bücher über Kernphysik, Teilchenphysik und Astronomie zu lesen“, erzählt sie. In der elften Klasse kam sie nach Leipzig „in eine Spezialklasse, in der man das Abi in einem Jahr machen konnte“. Der gute Unterricht in Physik und Mathematik förderte noch ihre Begeisterung und so entschloss sie sich, an der Leipziger Universität Physik zu studieren. Und dort machte sie auch ihr Diplom.

VOM METALLBAUKASTEN ZUM NANOLEGO

Das Zusammenfügen von Bausteinen zu Objekten mit neuen Eigenschaften ist also eine Leidenschaft von Margit Zacharias. Im Rückblick scheint ihr Weg vom Metallbaukasten zum Nanolego fast vorgezeichnet zu sein. Kleine Kristalle bilden auch das Fundament ihrer zweiten Leidenschaft: Eiskristalle. Vom Bildschirm ihres PCs erstrahlt eine wunderschöne Schneelandschaft. „Das ist Sölden am Neujahrsmorgen, als die Pisten herrlich frei waren“, schwärmt die fanatische Skifahrerin: „Ich liebe den Rausch der Geschwindigkeit auf der Piste!“ Schnell muss Margit Zacharias auch in ihrem Be-

ruf sein. „Der wissenschaftliche Konkurrenzkampf gerade auf so einem Gebiet wie Nanostrukturen ist hart“, erzählt sie: „Es gibt eine Flut von Veröffentlichungen, und aus der müssen Sie sich herausheben, um zitiert zu werden.“ Sie sieht jedoch vor allem die faszinierenden Chancen auf ihrem Forschungsgebiet. Im Lauf unseres Gesprächs sagt die unerschütterliche Optimistin immer wieder: „Man kann eigentlich nur gewinnen.“

DIE WENDE WAR ZUM GUTEN

So ist sie im Nachhinein auch nicht böse, dass sie nach der Wiedervereinigung noch mal von vorne anfangen musste. Außerdem: „In der DDR hätte ich mich auch habilitiert, aber die berufliche Perspektive wären wegen des politischen Kadernsystems sehr begrenzt gewesen.“ Ihr persönliches Fazit lautet daher: „Die Wende hätte ruhig früher kommen können.“

In Halle hat Margit Zacharias heute beste Bedingungen für ein schnelles Reagieren auf aktuelle Entwicklungen. „Wirklich positiv an einem Max-Planck-Institut ist die hohe Flexibilität. Man kann eine Idee auch mal kurzfristig ausprobieren.“ Das sei kein Vergleich mit den derzeitigen Möglichkeiten an den Universitäten: „Da müssen sie zunächst eine Publikation eingereicht haben, dann das Projekt schreiben und hoffen, letztendlich die Fördermittel zu bekommen.“ Wichtig sei für sie auch die Effizienz, mit der die Verwaltungen am Institut in Halle und in der Max-Planck-Gesellschaft arbeiten. Das böte eine große Unterstützung von der Reisekostenabrechnung bis zur Patentanmeldung.

„Dadurch hat man den Kopf frei für die Verwirklichung von Ideen“, schwärmt Margit Zacharias. Für die Zukunft wünscht sie sich, dass die Forschungslandschaft in Deutschland und Europa insgesamt attraktiver wird. „Das würde dann auch international führende Wissenschaftler hierher locken.“

ROLAND WENGENMAYR