



HU WISSEN

HUMBOLDTS FORSCHUNGSMAGAZIN



Ingredienzen für kleinste Bauelemente

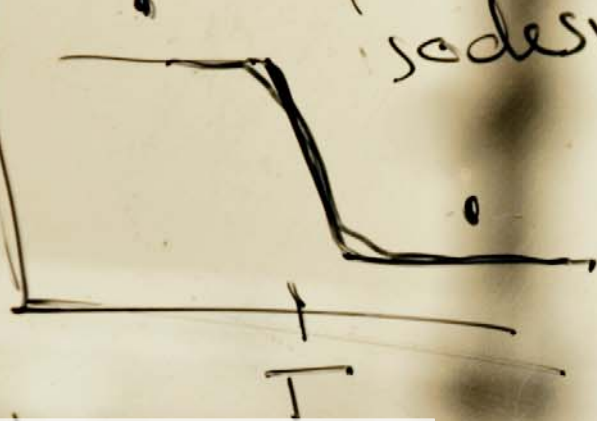
Ingredients for miniscule components

**Wie aus kleinen und großen
Molekülen Drähte und Schalter
kreiert werden**

*How to make wires and switches
out of small and large molecules*

Text: Ljiljana Nikolic

A.4.



isodesmic

Cooper

-OH

OH₂



1g

isodesm

Stefan Hecht

vergleicht seine Arbeit mit der eines Kochs. »In unserer Forschung geht es darum, das richtige Rezept zu finden, passende Ingredienzien zusammen zu bringen, den Geschmack bei Bedarf zu verändern, bis Versuch und Irrtum das gewünschte Ergebnis bringen.« Der Professor für Organische Chemie und funktionale Materialien am Institut für Chemie der Humboldt-Universität bewegt sich nicht in der Haute Cuisine, sondern in der faszinierenden Welt der molekularen Elektronik. Er blättert nicht in Kochbüchern, sondern überlegt sich, welche Moleküle bestimmte Eigenschaften aufweisen und gewünschte Funktionen erfüllen. Diese Moleküle werden dann durch die Kombination molekularer »Zutaten« synthetisiert und anschließend untersucht. Zusammen mit seiner etwa 20-köpfigen Arbeitsgruppe erforscht er, wie auf der Basis einzelner Moleküle elektronische Bauelemente, wie etwa Sensoren oder elektronische Schaltkreise, gebaut werden können. Sollte ihm das gelingen, so würde das für unsere heute auf Silizium oder verwandten anorganischen Materialien beruhende moderne Elektronik eine kleine Revolution bedeuten.

Denn ob es um Computer oder Sensoren für die Bioanalytik geht, die Anforderungen an Technik werden immer höher und komplexer – und werden mit klassischen Materialien ab einem bestimmten Punkt nicht mehr zu leisten sein. Auch wenn bei jeder neuen Computergeneration die Dichte der Transistoren im Computerchip noch zunimmt, irgendwann wird sich diese nicht mehr steigern lassen. Der wichtigste Vorteil der molekularen, auf organischen Materialien beruhenden Elektronik ist, dass durch die geringen Abmessungen ein viel schnellerer Informationstransfer und eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit erreicht werden könnten und das bei geringerem Energie- und Stromverbrauch.

Um welche Größenordnungen es sich in der Nanotechnologie handelt, ist schwer vorstellbar: Die Versuche bewegen sich auf einer Skala zwischen einem und hundert Nanometern, ein Nanometer entspricht einem Millionstel Millimeter! Wer Elektronik in diesem Bereich realisieren möchte, der braucht wie in makroskopischen Größenordnungen vor allem Funktionseinheiten, die als Drähte und Schalter fungieren. Allerdings reicht es nicht, bekannte Bauelemente nur extrem zu verkleinern, denn die Materie auf der Nanometerskala verhält sich anders und gehorcht nicht den klassischen physikalischen Gesetzen. »Es ist noch nicht abzusehen, was auf dem Gebiet der Nanotechnologie realisierbar ist und was nicht«, betont der Chemiker. Aber, auch wenn das, was in Stefan Hechts Labor auf dem Campus Adlershof kreiert wird, noch Grundlagenforschung ist, so sind hier in der jüngsten Vergangenheit aufregende und vielversprechende Forschungsergebnisse entstanden.

Dem Forscher ist es – in Zusammenarbeit mit dem Physiker Leonhard Grill vom Fritz-Haber-Institut – gelungen, einzelne Polymerstränge als molekulare Nanodrähte zu nutzen und





Stefan Hecht, Ph.D., ist seit Oktober 2006 Professor für Organische Chemie und funktionale Materialien am Institut für Chemie der Humboldt-Universität. Nach seinem Studium an der HU promovierte er an der University of California in Berkeley, USA, auf dem Gebiet der makromolekularen Chemie. Als Sofja Kovalevskaja-Preisträger der Alexander von Humboldt-Stiftung baute er zunächst seine Nachwuchsgruppe an der Freien Universität auf und war im Anschluss als Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr tätig.

Seine Forschungsschwerpunkte liegen an der Schnittstelle zwischen Chemie und Physik. Innerhalb seiner Arbeitsgruppe werden verschiedenste organische Moleküle maßgeschneidert, mit deren Hilfe funktionale Nanostrukturen erzeugt werden. In den hier vorgestellten Forschungsprojekten arbeitet er mit zwei Partnern zusammen: Dr. Leonhard Grill vom Fritz-Haber-Institut in Berlin (molekulare Drähte) und mit Prof. Paolo Samori von der Universität Louis Pasteur in Strasbourg (molekulare Schalterfunktionen).

Hecht ist Gründungsmitglied des »Integrative Research Institute for the Sciences«, IRIS Adlershof.

sh@chemie.hu-berlin.de
Telefon 030 · 2093-7365

Stefan Hecht, Ph.D., has been Professor of Organic Chemistry and Functional Materials at Humboldt-Universität's Institute of Chemistry since October 2006. After studying at HU, he obtained his Ph.D. in macromolecular chemistry at the University of California, Berkeley. As recipient of the Alexander von Humboldt Foundation's Sofja Kovalevskaja Award, he initially built up his young group at the Free University Berlin and subsequently worked as a group leader at the Max-Planck-Institute for Coal Research in Mülheim an der Ruhr.

His research interests lie at the interface between chemistry and physics. His research group tailor-makes many different organic molecules and uses them to create functional nanostructures. In the research projects presented here he works with two partners: Dr. Leonhard Grill of the Fritz Haber Institute in Berlin (molecular wires) and Prof. Paolo Samori from the Université Louis Pasteur in Strasbourg (molecular switching functions).

Hecht is a founding member of the »Integrative Research Institute for the Sciences«, IRIS Adlershof.

durch diese elektrischen Strom zu leiten. »Wir haben einen neuartigen molekularen Baustein hergestellt und konnten im Experiment mit dem Rastertunnelmikroskop zeigen, dass sich aus diesen kleinen Molekülen stabile Polymerketten mit eindrucksvollen Längen von mehr als 100 Nanometern ausbilden«, erklärt der 36-Jährige. Wichtig dabei ist, dass die Kettenglieder in »Konjugation« zueinander stehen, das heißt miteinander kommunizieren können und somit die Polymerkette Ladung transportieren kann. Tatsächlich konnten die Forscher mit der Spitze des Rastertunnelmikroskops die Polymerkette von der Unterlage hochziehen, eine Spannung anlegen und somit Strom durch den molekularen Draht schicken. »Es ist uns gelungen, den Ladungstransfer für verschiedene Längen bis zu 20 Nanometer zu messen«, erklärt der Wissenschaftler. Nicht sonderlich lang, möchte man als Laie meinen. Allerdings waren bis zu diesem Zeitpunkt in vergleichbaren Experimenten Ströme über eine Distanz von maximal einem Nanometer realisierbar.

Um solche stabile leitende Polymerketten bauen zu können, sind bestimmte Voraussetzungen nötig. Die Forscher haben es

geschafft, starke, sogenannte kovalente Bindungen, herzustellen. Erst sie ermöglichen es, den Draht hochzuziehen und so zwischen den Kontakten einzuspannen, dass ein Stromfluss durch das Molekül möglich wird. Bedeutend ist dabei, dass die Polymere nicht wie sonst üblich in einer Lösung hergestellt werden, sondern deren Bausteine, die sogenannten Monomere, aus der Gasphase auf eine Goldfläche abgeschieden werden, auf der sie miteinander reagieren und stabile Polymerketten ausbilden.

Aber nicht nur Drähte, sondern auch Schalter werden in Hechts Labor bereits erforscht. Dabei spielt Licht als Impuls eine wichtige Rolle. Bringt man Elektronik und Licht zusammen, so kann zum einen in Solarzellen Sonnenlicht in elektrischen Strom umgewandelt werden und zum anderen in Leuchtdioden aus Elektrizität Licht erzeugt werden. Neben diesen klassischen Anwendungen versucht der Chemiker Transistoren, die als universelle Regler in praktisch allen elektronischen Bauteilen vorkommen, mit Hilfe von Licht zu steuern. In Kooperation mit einem Physikerteam in Strasbourg ist es Stefan Hecht



erst kürzlich gelungen, einen solchen lichtsteuerbaren Transistor auf Basis von organischen Molekülen zu realisieren. Dabei treffen abwechselnd zwei unterschiedliche Lichtstrahlen auf den Transistor: Eine Lichtquelle bewirkt, dass der Stromfluss reduziert wird, die andere setzt ihn wieder in Gang. Moleküle mit Licht zu stimulieren und letztlich in ihrer Wirkungsweise zu regulieren, spielt nicht nur für die Kontrolle der Leitfähigkeit eine Rolle. In anderen Versuchen des Forscherteams werden Katalysatoren ähnlich einem Schalter ein- und ausgeschaltet. Katalysatoren werden häufig in der Industrie eingesetzt und dienen dazu, Moleküle in chemischen Reaktionen schneller und unter milderer Bedingungen reagieren zu lassen. Hecht sucht nach »Rezepten«, die es ermöglichen, ausgewählte Katalysatoren zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem definierten Ort mit Hilfe einer Lichtquelle zu aktivieren beziehungsweise wieder auszuschalten. Diese örtliche und zeitliche Kontrolle ist für verschiedenste Anwendungen in der High-Tech-Industrie von großem Interesse.

Eine Lichtquelle bewirkt, dass der Stromfluss reduziert wird, die andere setzt ihn wieder in Gang

One light source causes the flow of current to be reduced, the other starts the current flowing again

Stefan Hecht

compares his work to that of a cook. »The aim of our research is to find the right recipe, mix the right ingredients together and change the taste where necessary until trial and error lead us to the result we want.« The Professor of Organic Chemistry and Functional Materials at Humboldt-Universität's Institute of Chemistry doesn't work in the field of haute cuisine, but in the fascinating world of molecular electronics. And he doesn't spend his time leafing through cookery books; he thinks about which molecules have certain properties and can perform desired functions. These molecules are then synthesized by combining molecular »ingredients« and then analysed. Together with his approx. 20-member working group, Hecht is researching into how to build electronic components such as sensors or electronic circuits on the basis of individual molecules. Should he succeed in this, it would mean a small revolution for our modern electronics, which today is based on silicon or related inorganic materials.

Whether it's computers or sensors for bioanalysis you are working on, the demands made on technology are becoming increasingly sophisticated and complex. Sooner or later traditional materials will no longer be able to meet these demands. Although the density of transistors on computer chips is still increasing with every new generation of computers, at some stage it will become impossible to raise it any further. The most important advantage of molecular electronics based on organic materials is that the small dimensions involved make it possible to achieve a much faster transfer of information and working speed, while reducing energy and power consumption.

***It's difficult to imagine** the dimensions involved in nanotechnology. The experiments are conducted on a scale between one and one hundred nanometres – and a nanometre is a millionth of a millimetre! As at the macroscopic scale, implementing electronics in this range requires above all functional units that act as wires and switches. However, it's not enough to drastically scale down known components, because matter behaves differently at*



the nanometre scale and doesn't obey the classical laws of physics. »It's still too early to say what is feasible in nanotechnology and what isn't,« Stefan Hecht stresses. But although what is being created in his laboratory on the Adlershof Campus is still basic research, the research has recently been producing some exciting and promising results.

In collaboration with physicist Leonhard Grill from the Fritz Haber Institute, Hecht has succeeded in using individual polymer strands as molecular nanowires and conducting an electrical current through them. »We've produced a novel molecular building block and – in an experiment with the scanning tunnelling microscope – have shown that these small molecules form stable polymer chains of the impressive length of over 100 nanometres,« the 36-year-old researcher explains. It's important in this context that the links in the chain stand »in conjugation« to each other, i.e. that they are able to communicate with each other so that the polymer chain can transport a charge. Indeed, the researchers succeeded in pulling the polymer chain up away from the substrate with the tip of the scanning tunnelling microscope, applying a voltage and thus sending a current through the molecular wire. »We managed to measure the charge transfer for different distances of up to 20



IRIS Adlershof *IRIS Adlershof*

Viele Forschungsergebnisse wären ohne die disziplinenübergreifende Zusammenarbeit von Wissenschaftlern nicht möglich. Um Chemiker, Physiker, aber auch Mathematiker und Informatiker auf dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Campus Adlershof der Humboldt-Universität zusammenzubringen, wurde das »Integrative Research Institute for the Sciences«, IRIS Adlershof, an der Humboldt-Universität eingerichtet. Es ist eine Mischung aus Forschungslabor und interdisziplinärem Institute for Advanced Studies. Dabei verzahnt IRIS Adlershof nicht nur die Wissenschaftler der Humboldt-Universität untereinander, sondern

auch mit ortsansässigen Partnern an den einschlägigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen und innovativen Unternehmen.

Im IRIS Adlershof arbeiten Wissenschaftler in aktuellen Themenbereichen wie Moderne Optik, Molekulare Systeme, Mathematische Physik und Computation zusammen. Im Focus der Forschung in den ersten beiden Feldern steht beispielsweise die Suche nach Materialien und Funktionssystemen mit neuartigen optischen und elektronischen Eigenschaften und somit Funktionen an der Grenze des heute theoretisch Denkbaren.

Many research findings would be impossible without interdisciplinary collaboration between scientists. The »Integrative Research Institute for the Sciences«, IRIS Adlershof, was founded at Humboldt-Universität to bring chemists, physicists, mathematicians and computer scientists together at Humboldt-Universität's Mathematics and Natural Sciences Cam-

pus in Adlershof. It is a mixture of research laboratory and interdisciplinary Institute for Advanced Studies. IRIS Adlershof helps the scientists of Humboldt-Universität to interact not only with each other, but also with local partners in the relevant non-university research institutions and innovative companies.

At IRIS Adlershof, scientists collaborate on such topical issues as modern optics, molecular systems, mathematical physics and computation. Research in the first two fields focuses, for example, on the search for materials and functional systems with novel optical and electronic properties, i.e. functions that are at the frontier of what is theoretically conceivable today.



Nanotechnologie: Ein bedeutender Zwerg

*Nanotechnology:
A prominent dwarf*

Das Wort Nano kommt aus dem Griechischen und bedeutet Zwerg. Nanotechnologie ist ein Oberbegriff für unterschiedlichste Arten der Analyse und des Bearbeitens von Materialien, deren Größendimension bis zu einhundert Nanometer beträgt. Somit basiert die Nanotechnologie auf kleinsten Strukturen, denn ein Nanometer (nm) entspricht einem Millionstel Millimeter. Ein einzelnes Atom ist noch zehnmal kleiner als ein Nanometer. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser extrem kleinen Strukturen hängen nicht allein von der Art des Ausgangsmaterials ab, sondern in besonderer Weise von ihrer Größe und Gestalt. Das heißt, dass Nanomaterialien mit gleicher Zusammensetzung, aber unterschiedlicher Bauweise sich teilweise völlig anders verhalten können. Heutzutage stellt die Nanotechnologie einen der Hauptinnovationsmotoren für wirtschaftliche Entwicklungen weltweit dar.

lit

The word nano comes from the Greek and means dwarf. Nanotechnology is a generic term for many different ways of analysing and processing materials up to one hundred nanometres in size. Nanotechnology is therefore based on extremely small structures: a nanometre (nm) equals one millionth of a millimetre. A single atom is another ten times smaller than a nanometre. The physical and chemical properties of these extremely small structures depend not only on the nature of the base material, but also in a special way on their size and shape. In other words, nanomaterials with the same composition but a different structure can sometimes behave completely differently. Today, nanotechnology represents the one of the main engines of innovation for economic development worldwide.



nanometres,« the scientist explains. Not very far, you might think. But prior to this point in time, currents had only be generated over a distance of up to one nanometre in comparable experiments.

Certain conditions have to be met before such stable, conductive polymer chains can be built. The researchers have managed to produce strong, so-called covalent bonds. They are what makes it possible to pull up the wire and connect it between the contacts in such a way that a current can flow through the molecule. It's important in this context that the polymers are not produced in a solution, which is usual procedure, but that their building blocks, called monomers, are deposited from the gas phase onto a gold surface where they react with each other to form stable polymer chains.

But not only wires are already being studied in Hecht's laboratory, but also switches. Light plays an important role here as an impulse. When electronics and light are brought together, sunlight can be converted into electrical power in a solar cell, and light can be generated from electricity in light diodes. In addition to these classic applications, Hecht is trying to use light to control

transistors, which are used as universal regulators in virtually all electronic components. In cooperation with a team of physicists in Strasbourg, Stefan Hecht recently succeeded in creating such a light-controlled transistor based on organic molecules. Two different light rays hit the transistor alternately: one light source causes the flow of current to be reduced, the other starts the current flowing again. Stimulating molecules with light and ultimately regulating their effect is not only relevant for controlling conductivity. In other experiments conducted by the research team catalysts are switched on and off, as though a switch were being used. Catalysts are widely used in industry to make molecules react faster and under milder conditions in chemical reactions. Hecht is looking for »recipes« that make it possible to activate (and then turn off) selected catalysts at a given time and location using a light source. Such control in space and time is of great interest for the most diverse of applications in the high-tech industry.

