

Ein Nanoteppich als Gassensor

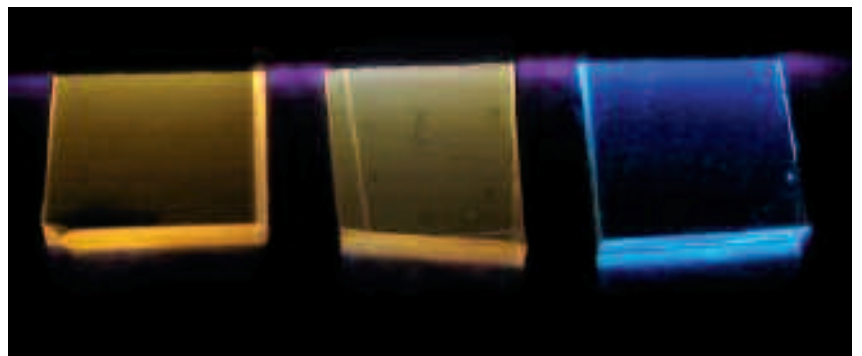
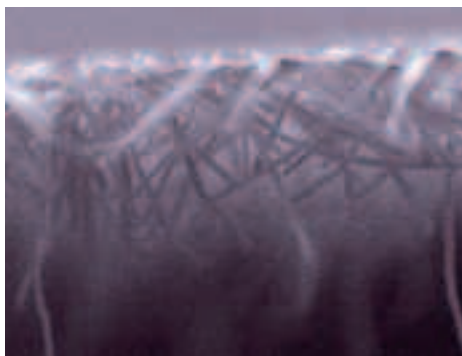
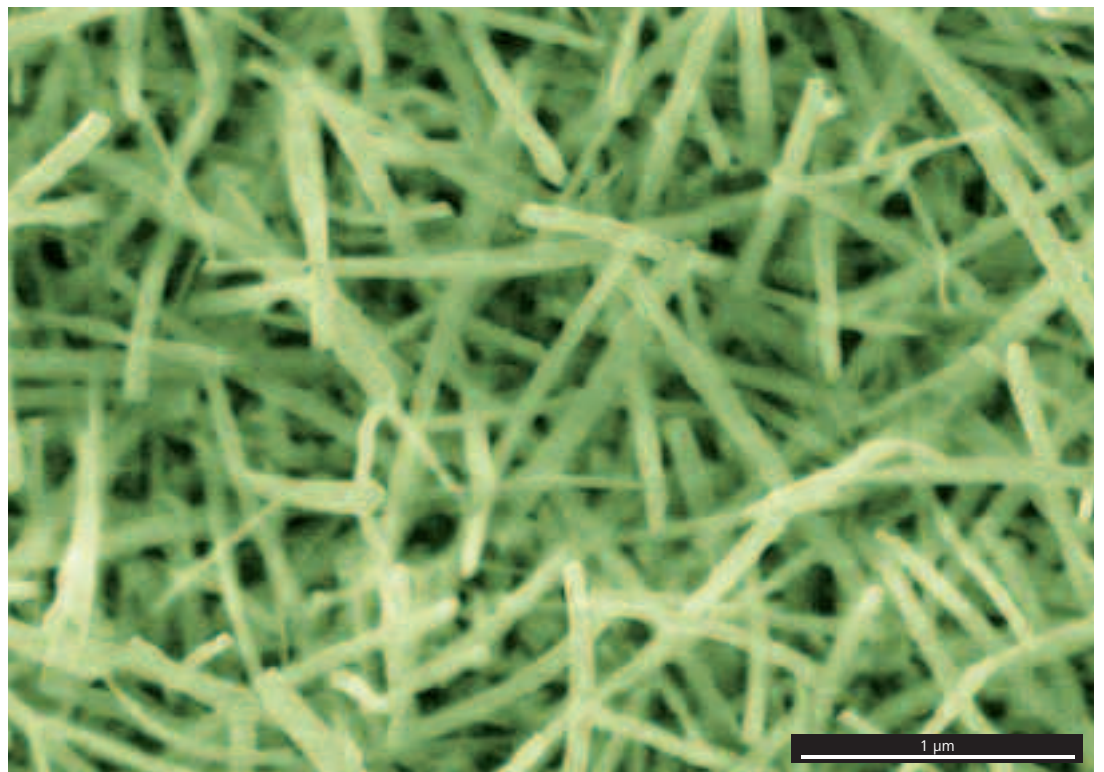
Am Anfang stand ein internes Empa-Projekt zur Herstellung farbiger, transparenter Dünnschichten. Daraus bildete sich ein EU-Projekt zur Entwicklung neuartiger Gassensoren. Und gelandet ist Pierangelo Gröning mit seinem Team schliesslich bei Nanodrähten mit idealen Voraussetzungen für den Einsatz in der zukünftigen Nanoelektronik.

TEXT: Martina Peter / FOTOS: Empa

1
Nanodrähte bilden einen «Teppichflor». Je dichter er ist, desto deutlicher ändert die Dünnschicht ihre Farbe, wenn sich Gasmoleküle anlagern.

2
Unter strikter Kontrolle von Substrattemperatur, Molekülfluss und Substratvorbehandlung wachsen die Nanodrähte zum «Teppich» heran.

3
Drei unterschiedlich hergestellte Perylen-Dünnschichten besitzen je eine andere Fluoreszenz. Zum Leuchten gebracht werden sie mit UV-Licht (365 Nanometer).



2

3

Uns schwebte zunächst eine Art elektronischer Schlüssel für Sicherheitsanwendungen vor, der nur auf bestimmte optische Bedingungen reagiert», erzählt Empa-Physiker Pierangelo Gröning. Gefragt waren deshalb transparente, stark fluoreszierende Dünnschichten, die aufgrund ihrer photonischen Strukturen unter ganz bestimmten Lichtbedingungen zu leuchten beginnen, denn nur Licht mit einer ganz bestimmten Wellenlänge kann sich in diesen Strukturen fortbewegen. Daher machten sich die Empa-Forscher an die Entwicklung eines Plasmaverfahrens, um Farbstoffmoleküle unversehrt und in hohen Konzentrationen in Dünnschichten einzulagern.

Schnell zeigte sich: Bei geeigneter Wahl der Plasmaparameter weisen die Dünnschichten nicht nur «perfekte» optische Eigenschaften auf, sind farbig und fluoreszieren, sie besitzen auch die chemische Sensitivität der eingelagerten Moleküle. Lagern sich nämlich bestimmte Gasmoleküle an ein Farbstoffmolekül an, ändern diese seine Fluoreszenz, die Dünnschicht zeigt einen Farbumschlag. Mit Hilfe verschiedener Farbstoffe lassen sich so unterschiedliche Gasmoleküle «erkennen». Eine Eigenschaft, die die Dünnschichten für den Einsatz als Gassensor prädestiniert.

Gassensoren überwachen und warnen

Hier begann nun das zweite Kapitel. Der spanische Physiker Angel Barranco kehrte nach seinem dreijährigen Forschungsaufenthalt an der Empa zurück nach Valencia und rief dort das EU-Projekt «PHODYE» ins Leben. Das Ziel der Empa und ihrer Projektpartner: Mit Hilfe der neu entwickelten Fluoreszenzschichten preiswerte optische Gassensoren zu entwickeln.

Dank der relativ einfachen Produktionsweise und dem billigen Ausgangsstoff – den Farbstoffmolekülen – eignen sich die Gasetektoren der Zukunft für den Masseneinsatz, beispielsweise für das Überwachen von Strassenverkehrsemissionen. In Valencia werden derzeit im Rahmen eines Pilotprojekts Ampeln an viel befahrenen Strassen damit ausgestattet. Überschreiten Schadstoffe eine bestimmte Grenze, so löst der Sensor ein Warnsignal aus, welches an eine Zentrale weitergeleitet wird.

Neue Dünnschichten aus Nanodrähten

Die neue Generation von Gassensoren soll künftig aber auch Labor- und Spitalpersonal sowie Bergwerkerarbeitern mehr Schutz bieten: Ändert der Chip, den sie an der Kleidung tragen, seine Farbe, droht Gefahr.

Für viele dieser Anwendungen ist ein möglichst schnelles Ansprechverhalten des Sensors wichtig – eine Eigenschaft, die sich mit den kompakten Plasmarfarbschichten allerdings nur schwer erfüllen lässt. «Wir suchten deshalb nach einer Lösung, die kompakte Plasmaschicht durch eine möglichst offenporige Schicht zu ersetzen. Dadurch erhöht sich die Adsorptionsfläche, und die Diffusionswege für die Gasmoleküle verkürzen sich, wodurch der Sensor deutlich schneller reagiert», so Gröning. Das Plasmaverfahren zum Abscheiden kompakter Dünnschichten wandelten die Empa-ForscherInnen daher «kurzerhand» um in ein neues Verfahren zur Synthese kristalliner organischer Nanodrähte.

Diese aus den Farbmolekülen Phthalocyanin oder Porphyrin hergestellten Nanodrähte sind unfassbar dünne «Fäden» mit lediglich 10 bis 50 Nanometer Durchmesser und einer Länge von bis zu 100 Mikrometer, die durch Aufdampfen der Ausgangsmaterialien auf eine Unterlage entstehen. Das Spezielle und Unerwartete an dem neuen Verfahren: Bei genauester Kontrolle von Substrattemperatur, Molekülfluss und Substratvorbehandlung «wachsen» die Nanodrähte durch Kristallisation; sie zeigen also über ihre gesamte Länge einen perfekten monokristallinen Aufbau. Bilden sich die Drähte dicht an dicht, entsteht eine Art «Teppich». Gröning und seinem Team war es so erstmals gelungen, organische Nanodrähte in einer noch nicht gekannten kristallinen Qualität herzustellen.

Eine analytische Herausforderung

Allerdings mussten die ForscherInnen unbeirrt daran arbeiten, den kristallinen Aufbau eines Nanodrahts mit Hilfe eines Elektronenmikroskops überhaupt nachzuweisen. Denn ohne die nötige Vorsicht zerstört der Strahl des Elektronenmikroskops die Kristallstruktur der Nanodrähte. «Unter dem Einfluss des Elektronenstrahls führen die Nanodrähte – die äusserst flexibel sind – einen regelrechten Tanz auf, bewegen sich hin und her und winden sich um ihre eigene Achse», erklärt Grönings Mitarbeiterin Ana Borrás. Mit viel Fingerspitzengefühl, Beharrlichkeit und technischem Know-how gelang es Borrás und ihrer Kollegin Miriam Aguirra, erstmals die Kristallstruktur der Nanodrähte mit einem Transmissions-Elektronenmikroskop sichtbar zu machen.

Nanodrähte als elektronische und optoelektronische Bauteile

Nach den ersten Aufnahmen der organischen Nanodrähte wurde Grönings Team rasch klar, dass sich mit dem von ihnen entwickelten Verfahren nicht nur Nanodrähte für Sensoranwendungen herstellen lassen, sondern auch Nanodraht-Strukturen für elektronische und optoelektronische Anwendungen.

Und hier beginnt das vorerst letzte Kapitel. Borrás und Gröning ist es inzwischen gelungen, ungeheuer komplexe Nanodrähte zu synthetisieren, etwa Nanodrähte, die abschnittsweise aus unterschiedlichen Ausgangsmolekülen bestehen. Verwendet man dabei Moleküle, die entweder nur positive oder nur negative Ladungen transportieren können, entsteht eine Diode, die den Strom nur in eine Richtung «durchlässt».

Selbst koaxialartige Nanodrähte konnten die Empa-ForscherInnen synthetisieren. Diese besitzen eine Hülle aus Kupfer-Phthalocyanin-Molekülen und einen Kern aus Platin-Octaethyl-Porphyrin-Platin. Die «core@shell-Nanowires» genannten Nanodrähte ähneln winzigen Kabeln: Je nach Materialwahl kann ihre äussere Schicht isolierend wirken, der innere Teil elektrisch leitend sein. Gut möglich, dass daraus Bauteile für die Nanoelektronik von morgen entstehen. //

«PHODYE»

Ana Borrás und Pierangelo Gröning entwickeln im Rahmen des EU-Projekts «PHODYE» neue Herstellungsprozesse für Dünnschichten, die beim Kontakt mit bestimmten Gasmolekülen Farbe und Fluoreszenz ändern. Am Projekt beteiligt sind neben der Empa das Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, die Universität Valencia, die Königlich Technische Hochschule Stockholm, das Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuenburg und verschiedene Industriepartner.