

Die Kamera kommt kaum hinterher. Die rasenden Kringel auf dem Bildschirm flitzen immer wieder aus dem Bild, erscheinen meist nur als verzerrte Schemen – und schwupp, sind sie wieder weg. Man müsste schon sehr scharfe Augen haben, um zu erkennen, dass die Kringel selbst nur eine Art Abgasspur sind. Was da wirklich rast, bleibt nahezu unsichtbar. Fest steht nur: Es ist winzig, denn der Film wurde

wendungsmöglichkeiten. Also beginnt er mit der augenscheinlichsten. Auf seinem Bildschirm erscheint ein Gebilde, das entfernte Ähnlichkeit mit einem Schlauchboot hat. An den Seiten sitzen 2 dicke Wülste – das sind die Nanodüsen. In der Mitte befindet sich ein Computerchip, vorne sitzt ein chemischer Sensor. Ausgestattet ist das kleine Schiffchen zudem mit einer Antenne, über die der Chip kommunizieren kann, und über die sich auch Steuersignale übermitteln lassen. In den Düsen sind Kondensatoren eingebaut, es hat also neben dem Rückstoß-Antrieb auch eine Stromversorgung. Die liefert Energie für den Chip und für 2 Heizelemente, mit denen man die Leistung der Düsen regulieren und somit das Ganze steuern kann.

Es ist eine Zeichnung, natürlich. Gebaut haben die Dresdener ein solches Winz-Schiffchen noch nicht. Doch das wäre kein Problem mehr: Der Computerchip ließe sich mit heutigen Mitteln genau so herstellen. Auch chemische Sensoren müssen nicht mehr größer sein. Man muss es nur machen. Kollegen aus den USA haben in einem Artikel für die Zeitschrift „Angewandte Chemie“ bereits vorgeschlagen, solche autonomen Sonden im menschlichen Blutkreislauf auf die Jagd nach jenen zirkulierenden Tumorzellen zu schicken, die als „Keimzellen“ von Krebs-Metastasen gelten – eine „aufregende“ Perspektive, wie Schmidt findet.

Vorerst schieben die Mini-Düsen nur kleine Metallplättchen oder Kunststoff-Kügelchen durch die Flüssigkeit unter dem Mikroskop, womit die Forscher grundsätzlich zeigen wollten, dass so etwas geht. Es geht sogar erstaunlich gut, die Kügelchen scheinen regelrecht an der Vorderseite der Düse zu kleben. Warum das so ist, erklärt Schmidt mit den physikalischen Bedingungen in der Nano-Welt, wo bestimmte Effekte, die wir Menschen in unserem Alltag kaum wahrnehmen, eine viel bedeutendere Rolle spielen. In diesem Fall ist das die Adhäsion, also die Haftkraft zwischen Oberflächen.

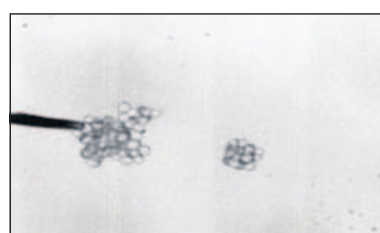
Wie so oft waren die Forscher eigentlich mit etwas ganz anderem beschäftigt, als die Idee zu den Nano-Düsen entstand. „Es ging ursprünglich darum zu studieren, wie sich Bläschen auf sehr kleinen Oberflächen bilden“, erzählt Schmidt. Wozu das gut sein sollte? Konkret erst mal zu gar nichts. Es war die berühmte, vermeintlich zweckfreie Grundlagenforschung, die zu der Erfindung führte. „Dann war uns plötzlich klar: So kann man Antriebe herstellen“, ergänzt der Forscher.

Der Clou an den Dresdener Nano-Düsen ist, dass Schmidt und Kollegen die Verfahren zur Massenfertigung der Röhren gleich mitentwickelt ha-

# Mikro-Flitzer

Mikroskopisch kleine Maschinen, die im menschlichen Organismus helfen, sind eine der Verheißungen der Nanowissenschaften. Aber wie setzt man einen Tauchroboter in Bewegung, der kleiner ist als ein Staubkorn? Mit Nano-Düsen. Dresdner Wissenschaftler haben einen Weg gefunden, so etwas herzustellen. Ihre Methoden stammen aus der Mikrochip-Fertigung.

Von Thomas Huber



## BLÄSCHENSCHIEBER

Düsen in Aktion. Die kleinen Bilder oben links zeigen ein frühes Exemplar aus dem Jahr 2008. Oben rechts haben die Forscher sie durch Schaumbblasen schwimmen lassen. Hier unten schiebt eine Düse ein Klümpchen Plastikkuugeln. Das große Bild zeigt eine Vision der Forscher: Nano-U-Boote – düsengetrieben. (fotos: ifw)

ben – und wie man ihre Eigenschaften kontrolliert. In anderen Bereichen der Nano-Forschung steht man da noch vor ungleich größeren Hindernissen, weiß Schmidt: Die begehrten Kohlenstoff-Nanoröhren, denen die Wissenschaft hochinteressante Eigenschaften zuschreibt, sind bisher weit schwerer kontrolliert herzustellen.

Beim IFW schauten sie sich für ihre Röhren so manche schlaue Idee aus der Herstellung von Computerchips ab. Schmidt nimmt 2 Blätter Papier und erklärt das Prinzip: Die Schichten, aus denen seine Röhren bestehen, werden auf ein Trägermaterial zunächst einmal flach aufgetragen. Das ist ein Routineprozess, den man mittlerweile so gut unter Kontrolle hat, dass sich sogar Schichten von der Dicke eines einzelnen Atoms herstellen lassen. Kontrollieren kann man aber auch die Umrisse dieser Schichten, erläutert Schmidt und legt ein Notizzettelchen auf das DIN-A4-Blatt. Die dazu verwendeten lithographischen Verfahren sorgen in der Chipherstellung dafür, dass Leiterbahnen und Transistoren auf den Chip gelangen: Sie werden draufbelichtet und das überschüssige Material weggeätzt.

Das Ergebnis ist bei den Dresdnern ein hauchdünnes „Sandwich“ aus verschiedenen Materialschichten mit genau definierten Abmessungen. Dieses Sandwich besteht beispielsweise – von unten nach oben – aus Titan als stabiler Hüllschicht, Eisen als magnetischem Material, das später bei der Steuerung eine Rolle spielen wird, Gold für die mechanische Stabilität und Platin, das die innere Reaktionsschicht der Düse sein wird.

Dabei nutzen die Wissenschaftler einen Effekt, um aus dem Mini-Sandwich ein Röhren zu machen. Das passiert mehr oder weniger von ganz allein, sobald das Materieflockchen von der Trägerschicht gelöst ist. Dieses Phänomen erklärt Schmidt mit den Wellen und Einrollungen, die man manchmal bei abblätternder alter Farbe sieht. Der rührt her von Verspannungen auf der Oberfläche der Farbe. Eben solche Verspannungen gibt es auch auf dem Nano-Materialsandwich – nur dass sie hier sogar nützlich sind und genau gesteuert werden können. Schält man das Sandwich vom Träger ab, rollt es sich zu einem Röhrenchen von vorberechnetem Durchmesser zusammen. Fertig ist die Laube. Oder in diesem Fall: die Düse.

Mit der Chip-Lithografie lassen sich Tausende rechteckiger Sandwiches auf einen Träger belichten, die sich nach dem Ablösen ganz von allein zu Nano-Düsen montieren. Dass in ein derart dünnes Röhren keine Turbine und keine Brennkammer mehr passt, ist klar. Die Nano-Düsen funktionieren deshalb nach einem

anderen Prinzip. Sie schwimmen in ihrem eigenen Treibstoff.

In Schmidts Fall ist dieser Treibstoff eine sehr dünne, 0,3-prozentige Wasserstoffperoxid-Lösung in Wasser. Den Rest erledigt die Chemie: Die innere Wand der Düse, die atomdicke Platin-Lage, wirkt als Katalysator auf das Wasserstoffperoxid. Die Substanz spaltet sich daran in Wasserstoff und Sauerstoff auf, wodurch winzige Gasbläschen entstehen, die nach einer Richtung aus dem Röh-

Auch die Bewegungsrichtung der Düse kann mithilfe eines Magnetfelds gesteuert werden.

chen strömen und damit den Rückstoß liefern. Ergebnis: Die Mini-Düse schießt los, sobald sie in die Lösung gelegt wurde.

Wohin sie sich bewegt, das steuern die Forscher mithilfe eines Magnetfelds. Dafür ist die Eisenschicht in die Düse eingebaut. Die Bewegung geht immer in die Richtung, in die die magnetischen Feldlinien zeigen. Auf diese Weise kann man die Düsen sogar sehr fein lenken. Lässt man ihnen freien Lauf, entstehen Muster, wie sie auf Schmidts Video zu sehen sind: Die Bläschen schießen meist nicht senkrecht aus der Öffnung, sondern in einem Winkel, was der Düse einen Drall gibt. Gebremst werden die Platin-Wasserstoffperoxid-Düsen mit Licht, das die Reaktion in ihrem Inneren stoppt. Dazu muss es natürlich möglich sein, die Düsen mit Licht zu bestrahlen.

Allerdings: Das ist nicht der einzige denkbare Antrieb. Schon wieder tun sich weite Felder auf. Denn im Prinzip könnten alle chemischen Reaktionen

Was soll's für ein Antrieb sein? Wasserstoffperoxid-Spaltung? Fotosynthese? Denkbar ist vieles.

genutzt werden, die im Inneren der Röhren einen Druckunterschied auslösen. „Man könnte sich zum Beispiel Fotosynthese vorstellen“, meint Schmidt – in diesem Fall müsste die reaktive Schicht in den Röhren zu einer solchen fähig sein. Oder wie wäre es mit Enzymen, die Glucose in Treibstoffe umwandeln? Da ist dann allerdings wieder Teamwork gefragt. An dieser Stelle gibt Physiker Schmidt an den Kollegen Sanchez ab. Denn: „Was dann genau passiert, wissen nur die Biochemiker.“

Sie sind 50-mal so dünn wie ein Haar und legen das 200-Fache der eigenen Länge pro Sekunde zurück.

durch ein Mikroskop aufgenommen. Aber was ist es? Ein Wasserfloh? Ein wildgewordenes Bakterium? Ein Nano-Torpedo?

Letzteres – fast. Oliver G. Schmidt, der das Video in seinem Büro im Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) in Dresden vorführt, beobachtet den kurzen, wackligen Film mit größtem Vergnügen. Denn das rasende Etwas auf dem Bildschirm ist unter anderem ein Baby. Geschaffen hat es Institutsleiter Schmidt zusammen mit seinen Kollegen Alex Solovev, Samuel Sanchez und Yongfeng Mei – es ist die kleinste Düse der Welt. Das Ding hat nur ein 50-stel des Durchmessers eines menschlichen Haars und legt, wenn es durchs Wasser flitzt, das 200-Fache seiner eigenen Länge pro Sekunde zurück. Damit ist es relativ zu seiner Größe das schnellste schwimmende Objekt, das Menschen jemals gebaut haben.

Zum Vergleich: Das US-Aufklärungsflugzeug Lockheed SR-71

Das Konzept für ein Nano-U-Boot steht – alle Teile sind mit heutigen Mitteln herstellbar.

„Blackbird“ überwindet 30,5 Eigenlängen pro Sekunde, das sind rund 3530 Kilometer pro Stunde. Die Geschwindigkeit der Nano-Düse macht freilich nicht so viel her, denn Schmidts Schöpfung ist nur 50 Mikrometer – also 50 Tausendstel Millimeter – lang.

Aber wozu das Ganze, Professor Schmidt? Der Physiker ist bei einer solchen Frage in jener Verlegenheit, die sich jeder Wissenschaftler wünscht: Er weiß gar nicht so recht, wo er anfangen soll vor lauter An-