

# Mikro-Nano-Integration auf dem Vormarsch

Die Querschnittstechnologien »Mikrosystemtechnik« und »Nanotechnologie« haben in den letzten Jahren umfangreiche neue Erkenntnisse und Ideen aus der Forschung geliefert, von denen einige in erfolgreiche Produkte mündeten. Das Zusammenspiel von Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie sowie deren Integration lässt neue oder verbesserte Produkte und Fertigungsprozesse erwarten ([www.mikro-nano-integration.de](http://www.mikro-nano-integration.de)). Darüber haben rund 80 Forscher und potentielle Anwender auf dem »1. GMM Workshop Mikro-Nano-Integration« in Seeheim im März 2009 miteinander diskutiert.

Dabei ist eine schöne Übersicht zu diesem neuen Gebiet von Professor Schlaak (TU Darmstadt) gegeben worden. Hier sind Möglichkeiten von Nanopartikeln in Mikrosystemen aufgezeigt worden, die in Form von »Null«-dimensionalen kleinen Partikeln, von 1-dimensionalen Nanodrähten und Carbon Nanotubes, von 2-dimensionalen Nanoschichten und von 3-dimensionalen Nanogittern genutzt werden können, wie in der Tabelle (s. nächste Seite) gezeigt wird. Der Einsatz geht insbesondere in Richtung Sensorik, Elektronik und deren Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Optik. Dazu kommt noch Energiegewinnung und Chemie durch Reaktoren, Brennstoffzellen und Thermogeneratoren, sowie die Aktorik.

An einigen Beispielen wird nun gezeigt, welche neuen Funktionalitäten in Mikrosystemen durch Nanostrukturen erreicht werden können.

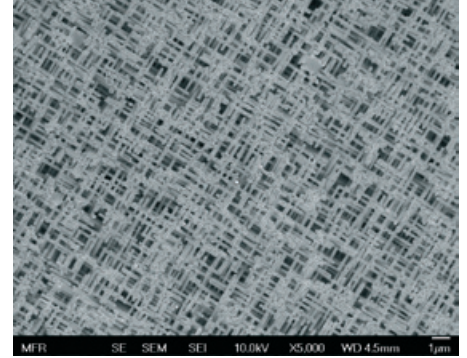
Eindimensionale Nanostrukturen weisen ein extrem großes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen auf. Solche Strukturen werden an der GSI und der TU Darmstadt von M. Rauber et al. untersucht. Für die Herstellung werden Polymermembranen mit energiereichen Schwerionen bestrahlt, die zylindrischen Kernspurzonon aufgetätzt und elektrochemisch mit Metallen gefüllt. Bei Mehrfachbestrahlung unter verschiedenen Winkeln können auch dreidimensionale Nanodraht-Netzwerke hergestellt werden. Die Polymermatrix kann anschließend

mit einem organischen Lösungsmittel vollständig entfernt werden. Nutzungsmöglichkeiten werden etwa in der Elektrokatalyse gesehen.

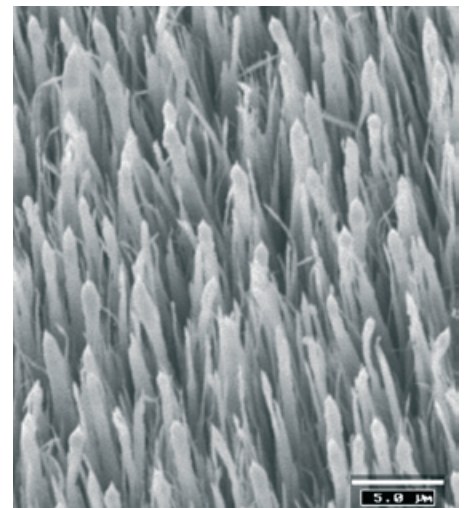
Ein Nano-Klettverschluss kann in nanostrukturierte Siliziumoberflächen eingearbeitet werden. Dabei werden auf der Siliziumoberfläche bis zu 20 Millionen Nanonadeln pro  $\text{cm}^2$  mittels eines Trockenätzprozesses erzeugt (M. Stubenrauch, M. Hoffmann et al. von der TU Ilmenau), die auch sehr raue Seitenflächen aufweisen. Einfaches Zusammenfügen solcher Strukturen reicht für die Fixierung von Silizium-Bauteilen aus. Auch Polymere können direkt auf diese Oberflächen unter Temperatureffekt (Schmelzpunkt der Polymere) fixiert werden. Auch »grüne« LTCC-Keramik kann auf diese Oberflächen laminiert und anschließend druckgesintert werden.

Reaktives Mikrofügen unter Ausnutzung von nanoskaligen Effekten wurde in Chemnitz untersucht (J. Bräuer et al., Fraunhofer-Einrichtung ENAS).

Dies basiert auf einer Vielzahl von nanometerdünnen Schichten, etwa aus dünnen Nickel und Aluminium-Schichten auf einem Lotmaterial. Dabei sind bis zu mehrere tausend nur wenige nanometerdicke Schichten alternativ aus den beiden reaktiven Materialien aufgebaut. Nach einem einmaligen Impuls werden die benachbarten Atome (Aluminium und Nickel) zur Bildung intermetallischer Phasen ange-regt, was Wärme einer chemisch exothermen Reaktion freisetzt. Wenn die



▲ REM-Aufnahme eines 3D-Nanodrahtnetzwerks mit 50 nm dicken Platindrähten (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung mbH, M. Rauber et al.)



▲ Bei Keramik-Fügen kommen tatsächlich RIE-Nadeln entsprechend Black-Si zum Einsatz (TU-Ilmenau)

erzeugte Wärme kurzzeitig größer ist als die der Wärmeverluste, dann breitet sich diese Reaktion kontrolliert aus. Die nanoskaligen Multilagensysteme agieren dabei als interne Energiequelle, wodurch das gleichzeitig vorhandene Lot aufgeschmolzen und somit eine feste Verbindung erzeugt wird. Die umliegenden Materialien werden damit nur ganz wenig erhitzt, sodass man von einem nahezu Raumtemperatur-Lötverfahren spricht. Damit können nun auch Materialien mit



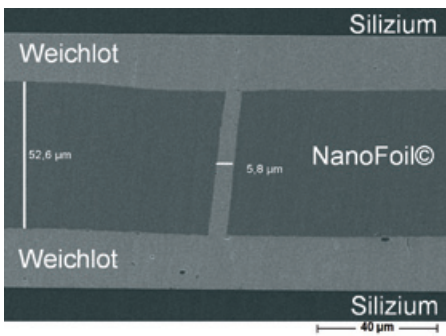
NMI-Anwendungen					
Anwendungsbereich	Sensorik	Elektronik	Optik	Chemie/Energie	Aktorik
0 - D	IR-Emitter mit nano-amorphem Kohlenstoff	Funktionale Komposite	Quantenpunkt-Laser		Effektive Dielektrizitätskonstanten
	Nanoporöses Silizium für Drucksensoren	Niedrigschmelzende Lote			
1 - D	Thermoelektrika	Trockenes Bonden, Nano-Klettverschluss		MNI-Reaktoren, CNT-Mikroreaktoren	CNT-Elektroden
	Nanodraht-Anemometer	SET-Transistoren		CNT-Brennstoffzellen	CNT-Aktoren
	CNT-Gas-Sensoren	CNT-Tinten/Lote		Thermoelektrische Generatoren	
2 - D	GMR-Sensoren	Ultrapräzisionsmontage	Diffraktive optische Elemente		
	Thermoelektrika	Feuchte-Barrieren	VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)		
	3D-Bildsensoren	Reaktives Mikروفügen, Bonden	Filter		
	Biosensoren	Hydrophobhydrophile Schichten für Mikromontage	Lichtwellenleiter mit Nanokompositen		
3 - D	APSM (Advanced Porous Silicon)-Technologie Nanoporöse Metalloxid-Gassensoren	Airgap-Prozesse	Photonische Kristalle	Mikro-Brennstoffzellen	

▲ Beispiele zur Nutzung der Mikro-Nano-Integration geordnet nach Dimensionen der Nanoobjekte und den Anwendungsbereichen (Nach Prof. Schlaak, TU Darmstadt et al.)

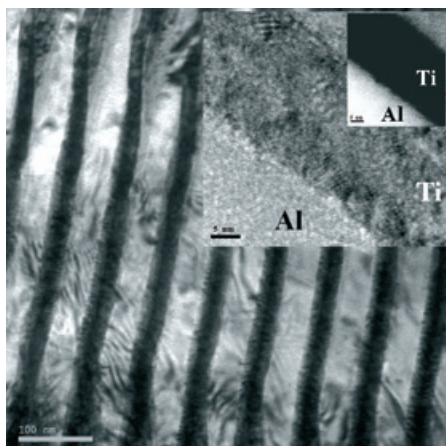
unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten gut und stabil verbunden werden. Flüssigkeitsbasierte Mikromontage kann bei der Handhabung, Positionierung und Montage von kleinsten Chips helfen, insbesondere bei Kantenlängen unter 500 µm, wie Untersuchungen von N. Boufercha et al. von der Universität Stuttgart zeigten. Gezielt werden hier hydrophobe und hydrophile Bereiche auf der Substratober-

fläche einerseits und auf dem zu positionierenden Mikrochip andererseits aufgebracht. Ein Fangtropfen von wenigen Nanolitern Volumen aus einer elektrisch isolierenden Flüssigkeit wird dann in einem hydrophoben Ring innerhalb hydrophiler Bereiche abgelegt. Analog werden Kontaktierungstropfen aus elektrisch leitfähiger Flüssigkeit aufgebracht. Dann wird der Mikrochip auf den Fangtropfen gelegt und durch die Oberflächenspannung

des hydrophoben Rings selbsttätig ausgerichtet. Durch die abschließende Aushärtung der Flüssigkeit wird der Mikrochip fixiert. Biosensoren sind von Frau C. Thielemann, Hochschule Aschaffenburg und Heraeus Sensor Technology gemeinsam untersucht worden. Dafür wurden wenige Nanometer dünne Platinschichten mit Gold beschichtet. In Flüssigkeiten zeigen sich Änderungen der Leitfähigkeit durch Belegung der



▲ Querschnitt einer Silizium-Silizium-Verbindung erzeugt mittels reaktiven Mikrofügens



▲ TEM-Aufnahmen einer reaktiven Aluminium/Titan-Multilagenstruktur (J. Bräuer et al., Fraunhofer-Einrichtung ENAS)

Oberflächen mit schwefelhaltigen Aminosäuren wie Cystein. Dies erlaubt es, spezifische Targetmoleküle wie Straptavidin mit Biotin-Rezeptoren nachzuweisen.

Über chemische Mikroreaktoren mit Kohlenstoff-Nanoröhren als aktives Element berichten A. Popp und J. Schneider vom Eduard-Zintl-Institut der TU Darmstadt. Poröse, stabile CNT-Schichten bilden das Herzstück von Nano-Reaktoren.

Auch die Belegung mit katalytisch aktiven Nanopartikeln wurde am Beispiel von Palladium-Nanopartikeln gezeigt, mit dem die metallkatalysierte Hydrierung von p-Chlornitrophenol zu p-Chloranilin im Nanoreaktor demonstriert wurde. Damit sind neue Rekorde im Oberflächen-Volumen-Verhältnis bis zu einigen  $107 \text{ m}^2/\text{m}^3$  erreicht worden, was zwei Größenordnungen über dem aktuellen Stand der Technik liegt. Über einen Prozess zur Herstellung hochwertiger Self-Assembled-Monolayers mit Polymerschichten auf geruckten Schaltungen für Dünnschichtkondensatoren wurde von D. Taraota und G. Schmid von Siemens-Erlangen berichtet. Kondensatoren mit 30 bis  $150 \text{ pF}/\text{mm}^2$  sind mit strukturierten Substraten realisiert worden, was einer Erhöhung gegenüber dem Stand der Technik um einen Faktor 15 entspricht.

Der vollständige Tagungsband kann über den Organisator VDE/VDI – GMM, Dr. Ronald Schnabel in 60596 Frankfurt (E-Mail: [gmm@vde.com](mailto:gmm@vde.com)) erhalten werden.

-gt-

**Neue Broschüre: Mikro-Nano-Integration – Einsatz von Nanotechnologie in der Mikrosystemtechnik**

»Wer möchte heute auf automatisch auslösende Airbags oder elektronische Stabilitätsprogramme im Automobil verzichten?«, so der Hessische Wirtschaftsminister Dieter Posch. Diese Produkte seien ohne eine ausgefeilte Mikrosystemtechnik nicht möglich. Doch die »klassische« Mikrosystemtechnik gelangt zunehmend an ihre Grenzen. Einen Ausweg bietet die Nanotechnologie. Mit ihr könnten Materialien bereitgestellt und Verfahren entwickelt werden, um Bauteile technisch leistungsfähiger und gleichzeitig kleiner produzieren zu können. Dank der Nanotechnologie könnten zukünftig etwa Sensibilität und Lebensdauer von Sensoren erhöht werden bei gleichzeitiger Senkung des Energie- und Materialverbrauchs.

Kostenlos downloaden unter [www.hessen-nanotech.de/veroeffentlichungen](http://www.hessen-nanotech.de/veroeffentlichungen).

**kompetent, übersichtlich, aktuell**

Aktuell, sauber recherchiert, übersichtlich strukturiert, immer sach- und themenorientiert.

Mit dem SENSOR MAGAZIN haben Sie die ideale Plattform für Ihre Werbebotschaft.