

## ■ Sichere Kühlkette

**Passive Magnetsensoren ermöglichen die berührungslose Temperaturkontrolle.**

Die lückenlose Überwachung von Kühlketten gehört inzwischen in vielen Bereichen zur Qualitätssicherung. Beispiele sind der Transport und die Lagerung von Lebensmitteln, Blutkonserven oder medizinischen Präparaten. Zwar gibt es heute Mikrochips, die die Umgebungstemperatur automatisch messen und aufzeichnen, allerdings benötigen sie eine Batterie,

der magnetostruktive Resonator.<sup>1)</sup> Hat die Temperatur den festgelegten Wert überschritten, verändert der Schalter die Resonanzfrequenz, was sich durch das berührungslose Auslesen des Sensors mit einem einzigen magnetischen Puls feststellen lässt.

Über die Zusammensetzung der Legierung lässt sich der Sensor an unterschiedliche Temperaturbereiche anpassen. Neben der Überwachung von Kühlketten sind also weitere Anwendungen denkbar, bei denen es darauf ankommt, mit wartungsfreien, kostengünstigen Sensoren nachweisen zu können, dass die Umgebungstemperatur bestimmte Werte nicht über- oder unterschreitet.

## ■ Tastsinn als Folie

**Aus piezoelektrischen Nano-Sensoren lassen sich druckempfindliche Arrays aufbauen.**

In der Robotik und medizinischen Prothetik ist aufgrund der gewaltigen Fortschritte bei der Entwicklung mikromechanischer Systeme in den vergangenen Jahren das Fernziel einer elektronischen Haut ins Blickfeld gekommen. Wissenschaftler des Georgia Institute of Technology in Atlanta ist es nun gelungen, piezoelektrische Sensoren in einer Matrix so dicht zu integrieren, dass ihre Auflösung bei Druckkräften in derselben Größenordnung liegt wie bei der menschlichen Haut.<sup>2)</sup>

Dazu lassen die Forscher Zinkoxid-Nanodrähte aus der Dampfphase auf einem Substrat senkrecht wachsen und fassen jeweils 1500 von ihnen zu filigranen Bündeln zusammen. Diese Nanodrahtbündel versehen sie dann an beiden Enden mit Schichten aus Indium-

zinnoxid, die als Elektroden dienen. Zwischen den Enden der Drahtbündel und den Elektroden befinden sich dünne Lagen aus Gold, sodass Schottky-Kontakte entstehen. Wirkt nun in lateraler Richtung eine Druckkraft auf die Nanodrahtbündel, kommt es durch den Piezoeffekt zu einem elektrischen Puls, der sich als messbares Signal abgreifen lässt. Bei Drücken zwischen 10 und 40 Kilopascal, typische Werte für das Tasten, fließt ein ausreichend großer Strom für ein Messsignal. Da die Forscher ihre Sensoren in einer Matrix angeordnet haben, sprechen sie in Anlehnung an Bildsensoren von Taxeln statt Pixeln. Inzwischen haben die Wissenschaftler einige hundert dieser Labormuster hergestellt. Eine 92 × 92-Matrix besitzt eine Dichte von 93 Taxeln pro Quadratzentimeter und erreicht eine Auflösung von rund 100 Mikrometer.

Das Taxel-Array ist transparent und biegsam, sodass sich prinzipiell beliebige Oberflächenformen damit ausrüsten ließen. Als Schutz vor Umwelteinflüssen dient eine Barrierefolie aus Kunststoff. So konnte das piezotronische System 1000 Biegevorgänge sowie 24 Stunden in destilliertem Wasser oder in einer Salzwasserlösung unbeschadet überstehen. Neben der Nachbildung der menschlichen Haut eignet sich der Ansatz auch für weniger komplexe Anwendungen, etwa die Unterschriftenkontrolle.

## ■ Hoch empfindlich

**Ein lithografisch gefertigter Sensor-Aktor misst Kraft und Weg im Nanobereich.**

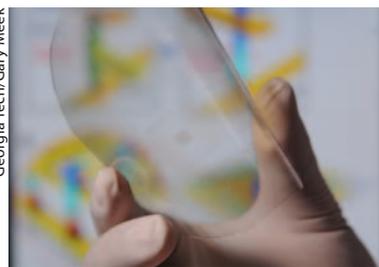
In der Nanotechnologie gilt es, Oberflächen taktile mit kleinsten Kräften zu charakterisieren – die Spanne reicht dabei von biologisch-medizinischen und pharmazeutischen Fragen bis zu den Materialwissenschaften. Rasterkraftmikroskope sind hierfür oft das Mittel der Wahl. Um mit ihnen winzige Kräfte hochgenau und reproduzierbar zu messen, muss zunächst die Biegesteifigkeit ihrer Messspitzen, der Cantilever, bekannt sein.



Der Wiener Magnetsensor ist so groß wie ein Radiergummi, braucht keine Energieversorgung und lässt sich berührungslos auslesen.

rie, und ihre Kosten liegen im zweistelligen Eurobereich. Beides sind keine guten Voraussetzungen für die extrem preissensitive Logistik. Materialwissenschaftler der TU Wien haben nun einen passiven Sensor entwickelt und patentiert, der ein deutlich besseres Preis-Leistungs-Verhältnis hat.

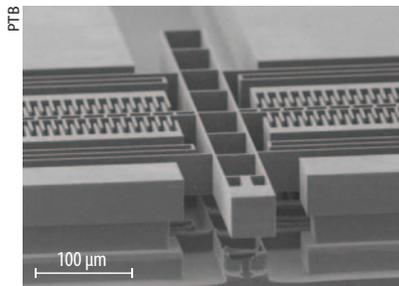
Der Sensor nutzt die Magnetostruktions aus: Ein äußeres Magnetfeld kann bestimmte ferromagnetische Materialien minimal verformen und sie dadurch bei der Resonanzfrequenz mechanisch zum Schwingen anregen. Ein solches Material kombinieren die Wiener Forscher mit einem magnetischen Schalter aus einer Legierung, die zwischen dem paramagnetischen und dem ferromagnetischen Zustand einen irreversiblen Phasenübergang aufweist, wenn die Temperatur über einen definierten Wert steigt. Der Sensor besteht aus drei aufeinander gestapelten Komponenten: Über einem Permanentmagnet liegt der Schalter und darüber



Die Taxel-Folie des Georgia Institute of Technology ist transparent und flexibel.

1) B. Bergmaier et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 042412 (2012)

2) W. Wu et al., Science Express, 25. April 2013, DOI:10.1126/science.1234855



Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des PTB-Sensors zeigt den kapazitiven Teil (die Kämmen) und die vier mäanderförmigen Federn, die den Messbalken tragen.

Das Maß der Dinge für diese Kalibrierung sind heute Kompensationswaagen, die auf einem Gleichgewicht zwischen Gewichtskraft, bedingt durch den Andruck der Cantilever, und einer elektromagnetischen Gegenkraft beruhen. Auflösungen bis fünf Nanonewton sind hiermit erreichbar. Allerdings sind solche Kompensationswaagen vergleichsweise sperrig und die auftretenden Antastkräfte für gewöhnlich so groß, dass die feinen Cantilever-Spitzen beschädigt werden – eine Kalibrierung also immer erst nachträglich möglich ist. Wissenschaftler der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig arbeiten daher an einem besseren, integrierten System. Das nun vorliegende Funktionsmuster ist ein mikroelektromechanisches System (MEMS), das gleichzeitig Aktor und Sensor ist.

Das an der TU Chemnitz lithografisch hergestellte MEMS besteht aus einem Balken, der an vier mäanderförmigen Federn mit sehr kleinen Federkonstanten aufgehängt ist. Die über den Balken zu messende Kraft wird an ein kapazitives Messsystem übertragen, wie es auch kommerzielle Beschleunigungssensoren verwenden. Außerdem lässt sich der Balken, sozusagen von hinten, mit einem integrierten Faserinterferometer kalibrieren – denn das kapazitive Verfahren liefert keine Absolutmessung. Dank seiner Bauform lässt sich mit dem MEMS gleichzeitig Kraft und Weg bestimmen. Die erreichbare Auflösung liegt im niedrigen Nanonewton- bzw. Nanometerbereich.

## ■ Widerstandsfähige Kontrolle

**AlGaN-Halbleitersensoren erlauben die permanente Überwachung industrieller UV-Härtprozesse.**

Das Aushärten von Klebstoffen oder Lacken mit Hilfe von UV-Licht gehört zu den Standardprozessen der industriellen Fertigung. Für gewöhnlich überwachen die Unternehmen die Parameter der dabei eingesetzten Quecksilberdampf Lampen nur in Stichproben, denn für eine ständige Kontrolle eignen sich heute verfügbare Sensoren nur eingeschränkt. Meistens handelt es sich dabei um Detektoren aus Silizium oder Siliziumkarbid. Silizium hat den Nachteil, dass es im sichtbaren Licht viel empfindlicher ist als im UV – erst mit Filtern lassen sich daher aussagekräftige Messungen durchführen. Diese Filter sind jedoch relativ teuer, altern rasch durch die energiereiche UV-Strahlung und benötigen zusätzlichen Platz. Siliziumkarbid wiederum hat zwar diese Probleme nicht, deckt allerdings nur einen kleinen Spektralbereich im UV ab und gerade nicht den langwelligen UV-Bereich, auf den es beim industriellen Härten vor allem ankommt.

Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft verwenden daher Aluminiumgalliumnitrid (AlGaN), um geeignete Sensoren zu entwickeln. Beteiligt sind fünf Institute unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg. Während die Bandkante von Galliumnitrid bei 365 nm und die von Aluminiumnitrid bei 210 nm liegt, lässt sie sich in AlGaN kontinuierlich einstellen. Die Gasphasenepitaxie erlaubt es, solche Halbleiter herzustellen. Die Kunst, einen optimalen Halbleitersensor für die Überwachung des UV-Härtens zu entwickeln, besteht nun darin, das richtige Mischungsverhältnis zwischen Aluminium und Gallium zu finden und gleichzeitig die Zahl der Defekte klein zu halten. Die nun entwickelten Demonstratoren haben Tests mit UV-Licht hoher Leistung 1000 Stunden lang unbeschadet überstanden.

**Michael Vogel**