

# Mikrogreifer für die Mikro- und Nanoforschung

Innovationen und gute Produktideen entstehen im Austausch kreativer Köpfe und erfindungsorientierter Visionäre. Aus diesem Grund veranstaltete das Fachgebiet Mikro- und nanoelektronische Systeme unter Leitung von Prof. Ivo W. Rangelow im Jahr 2009 an der TU Ilmenau einen Arbeitsworkshop zum Thema »Nanowerkzeuge – Mikrogreifer«. Die rund 50 Teilnehmer nutzten die Gelegenheit, sich über aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich Nanowerkzeuge – Mikrogreifer zu informieren und ihr Experten-Netzwerk auszubauen.

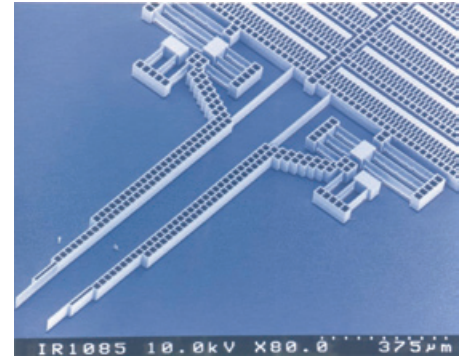
Mikrogreifer werden benötigt zur Mikromontage und Mikromanipulation. Anwendungen sind die Positionierung von optischen Fasern oder die Montage von Silizium-Bauteilen mit Abmessungen im Mikrometerbereich in Systeme, etwa Resonatoren. Insbesondere für Manipulationsaufgaben von Bauteilen mit Abmessungen im Mikrometerbereich können Pinzetten oder Greifer, die auf feinmechanische Weise etwa aus Metallen hergestellt werden, nicht mehr sinnvoll eingesetzt werden. Mikrogreifer aus Silizium bieten hier eine Alternative.

Neue Anwendungen eröffnen sich im Bereich der biologischen oder medizinischen Forschung. Hier werden Mikrogreifer zur Manipulation einzelner Zellen oder zur Entnahme von Gewebeproben eingesetzt.

In der Forschung und Entwicklung können Mikrogreifer zur gezielten Manipulation und Montage von Carbon-Nanoröhrchen eingesetzt werden. Der Durchmesser von Carbon-Nanoröhrchen bewegt sich, je nach Typ, zwischen weniger als einem Nanometer und einigen 10 Nanometern. Zur Manipulation derartig kleiner Proben werden Manipulatoren benötigt, die nanometergenau positioniert werden können. Weiterhin müssen sich Mikrogreifer für derartige Anwendungen nanometergenau öffnen und schließen lassen. Um die Proben mechanisch nicht zu beschädigen, muss die Greifkraft fein dosierbar sein.

Mikrogreifer werden im Allgemeinen durch integrierte Mikroaktuatoren angetrieben. Es gibt verschiedene An-

triebsprinzipien, u. a. elektrostatisch, elektrothermisch, optothermisch, Gedächtnislegierungen oder piezoelektrisch. Hierbei werden einfache Schub- oder Zugbewegungen erzeugt, die eine Auslenkung über von wenigen Mikrometern bis hin zu einigen 10 Mikrometern erzeugen. Über mikro-mechanische Hebel- und Festkörpergelenksysteme wird die Linearbewegung in eine »Greifbewegung« umge-

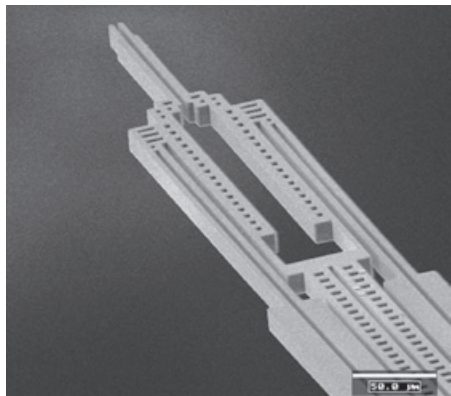


▲ Abb. 1: Elektrostatischer Mikrogreifer

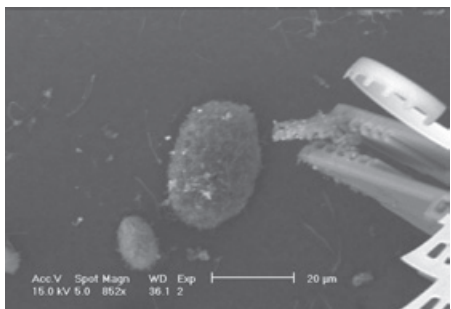
wandelt, wobei meist Kraft gegen Auslenkung getauscht wird.

Aufgabe der Mikroaktuatoren ist es, die für den Antrieb nötige Vortriebskraft zu erzeugen. Hierbei kann zwischen Volumen- und Oberflächenkräf-

ANZEIGE



▲ Abb. 2: Elektrothermischer Mikrogreifer



▲ Abb. 3: Mikrogreifer beim Hantieren mit Proben

ten unterschieden werden, je nachdem, ob für die Erzeugung der Kraft eine Oberfläche oder ein Volumen entscheidend ist. Beispielsweise ist die Gewichtskraft eine Volumenkraft, wohingegen Reibung eine Oberflächenkraft ist. Bei der Verkleinerung von Strukturen oder Bauteilen verringert sich die Oberfläche quadratisch, das Volumen hingegen kubisch, sodass in der Mikro- oder Nanowelt Oberflächenkräfte gegenüber Volumenkräften die Oberhand gewinnen. Unsere Arbeitsgruppe hat sich mit elektrostatischen und elektrothermischen Antrieben beschäftigt. Während elektrostatische Aktuatoren zum Bereich der Oberflächenkräfte gehören sind elektrothermische Antriebe bei den Volumenkräften einzuordnen. Ausgangsmaterial unserer Aktuatoren und Mikrogreifer ist Silizium in Form von handelsüblichen Wafern. Silizium ist mittels der Verfahren der Mikrosystemtechnik wie Lithographie, Nass- oder Trockenätzverfahren sowie Dünnschichttechnik gut zu bearbeiten. Weiterhin weist Silizium geeignete mechanische Eigenschaften auf und ist biokompatibel.

Elektrostatische Antriebe beruhen auf der elektrostatischen Anziehung zwischen entgegengesetzt geladenen Elektroden, wobei die eine Elektrode fest mit der Grundplatte des Bauteils verankert ist, während die andere Elektrode mit den beweglichen Teilen des Aktuators verbunden ist. Um mit möglichst geringer Spannung große Kräfte zu erzeugen, sind die Elektroden als Kammfinger-Strukturen ausgelegt. Dadurch wird die für die Erzeugung der elektrostatischen Anziehung wirksame Oberfläche auf der Grundfläche des Bauteils erhöht. Weiterhin erhöht sich die Antriebskraft durch Verringerung des Elektrodenabstands. Limitiert wird diese Optimierung durch den realisierbaren Abstand der Elektrodenfinger voneinander sowie von der notwendigen Breite der Finger. Sollen die Mikroaktuatoren oder -greifer kostengünstig in einem Batchverfahren hergestellt

werden, so werden die Strukturgrößen (Breiten der Elektrodenfinger, Abstand zwischen den Elektrodenfingern) durch die Lithographie, die in diesem Fall eine Kontaktlithographie ist, auf etwa 2-3 µm begrenzt.

Jedes Elektrodenfingerpaar (Elektroden und Gegenelektrode) erzeugt einen kleinen Beitrag der Gesamtkraft. Diese wird in einen beweglichen Querträger eingeleitet, dadurch zu den Kraftbeiträgen aller anderen Elektrodenfingerpaare aufsummiert und schließlich in die Hauptantriebsachse eingeleitet. Diese Struktureinheiten müssen die notwendige Steifigkeit aufweisen, weswegen sie in Form eines Fachwerks ausgeführt sind. Durch Kaskadierung kann die Vortriebskraft und damit die Auslenkung erhöht werden. Ein Bild eines derartigen Mikrogreifers findet sich in Abb. 1. Man erkennt die Mikropinzetten, welche über ein Hebelwerk mit dem Kammfinger-Aktuator, der aus mehreren kaskadierten Aktuatoren besteht, verbunden ist. Die Größenordnung der Antriebsspannung liegt im Bereich einiger 10 Volt bis um 100 Volt.

Im Gegensatz dazu wird die Antriebskraft in elektrothermischen Aktuatoren durch die thermische Ausdehnung beheizter Dehnglieder erzeugt. Für sinnvolle Bauteilabmessungen sowie Temperaturen ist die Weite der thermischen Ausdehnung zu gering. Um trotzdem noch die gewünschten Bewegungsweiten zu erreichen, werden die Aktuatoren um ein festes unbeheiztes, sich nicht ausdehnendes Gegenglied ergänzt. Beide Glieder bestehen aus längeren Biegebalken, die an einem Ende fest eingespannt sind, über ihre ganze Länge hin frei schwebend angeordnet und an ihren Enden miteinander verbunden sind. Diese Anordnung ist als »heißer Arm/kalter Arm« bekannt. Beheizt wird der »heiße« Arm über elektrischen Strom, der durch das Dehnglied selber oder durch eine darauf aufgebraachte Metallisierung geleitet wird. Die Größenordnung des Stromes beträgt einige 10 mA bei etwa 5 Volt. Der elektrother-

ANZEIGE

mische Aktuator in dieser Anordnung vereinigt die Erzeugung der Antriebskraft sowie Hebel- und Festkörpergelenksysteme in einem. Durch die Ausdehnung des Dehngliedes bei gleichzeitiger fester Länge des Gegenglieds wird ein Drehmoment erzeugt, welches am Ende des Aktuators, dort, wo beide Arme miteinander verbunden sind, zu einer Auslenkung senkrecht zur Längsachse der Aktuatoren führt. Die dort wirksame Auslenkung ist um ein vielfaches größer als die thermische Ausdehnung des Dehngliedes.

Diese Auslenkung senkrecht zur Längsachse des Aktuators hat schon die richtige Richtung für eine Greifbewegung. Um den Mikrogreifer zu komplettieren, werden am Ende der Aktuatoren die Mikropinzetten angebracht und zwei dieser Systeme spiegelbildlich zueinander angeordnet.

Auf diese Weise ergibt sich die einfachste Realisierung eines elektrothermischen Mikrogreifers. Nachteilig ist, dass das Gerät ständig elektrische Energie benötigt, um eine einmal gegriffene Probe zu fixieren, da durch ständiges Heizen der Dehnungszustand aufrechterhalten werden muss. Man bezeichnet diese Form eines Mikrogreifers als »normal geöffnet«.

Abhilfe schafft ein Mikrogreifer in der »normal geschlossenen« Anordnung. Die Mikropinzetten sind im stromlosen Zustand, bis auf ein unvermeidliches fabrikationsbedingtes Spiel, geschlossen. Bei Stromzufuhr öffnen sich die Pinzetten, um Proben zu ergreifen. Durch Abschalten des Stromes schließen sich die Pinzetten und fixieren so die Probe dauerhaft (»intelligentes oder aktives Stativ«). Eine Kombination beider Typen ist der Zweibege-Mikrogreifer (»Duo-action micro gripper«), der die Vorteile beider Anordnungen kombiniert. Abb. 2 zeigt einen elektrothermischen Mikrogreifer. In Abb. 3 sieht man einen Mikrogreifer »bei der Arbeit« im Elektronenmikroskop.

Aufgrund des auf thermischer Ausdehnung und elektrischer Beheizung basierenden Systems könnte man denken, der Mikrogreifer sei langsam. Dem ist nicht so. Aufgrund der geringen Abmessungen ist die Wärmekapazität klein und die Oberfläche im Verhältnis groß, sodass die Wärme bei Abschalten des Stromes innerhalb von Millisekunden abgeführt wird.

#### ► INFO

##### Autoren:

B. Volland, T. Ivanov, M. Steffanson,  
J. False und I. W. Rangelow

##### Kontakt:

Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo W. Rangelow  
Technische Universität Ilmenau  
Institut für Mikro- und Nanoelektronik  
98684 Ilmenau  
Tel.: 03677 69 3718  
Fax: 03677 69 3132  
E-Mail: ivo.rangelow@tu-ilmenau.de  
www.tu-ilmenau.de