

Mikrotechnik in Bewegung – Neue Produktionsverfahren für Mikroantriebe

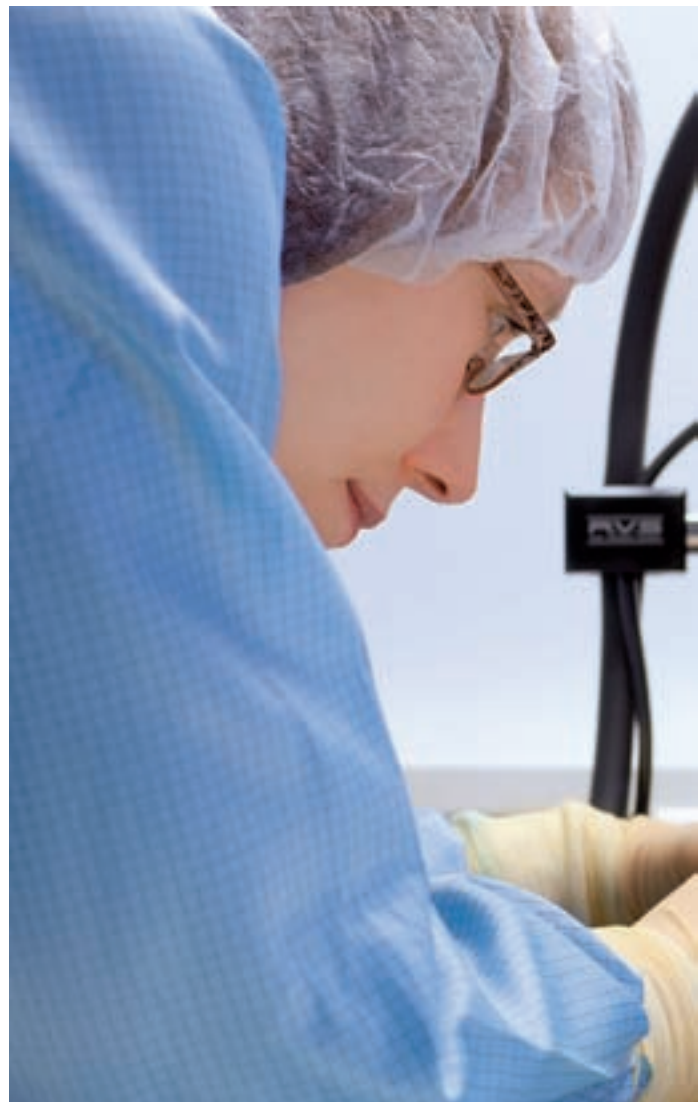
Mikrotechnische Produkte begegnen uns jeden Tag. In beinahe jedem Mobiltelefon erkennt ein Beschleunigungssensor die Lage, im Auto überwachen Drehratensensoren die Fahrstabilität. Dabei können Mikrosysteme mehr als nur Sensoren sein. Wir arbeiten an der Herstellung winziger Antriebssysteme, die kostengünstig in eine Vielzahl von Anwendungen integriert werden können. Das Spektrum reicht von Mikropositioniersystemen über winzige Mikrorelais bis hin zu Mikrowellenfiltern in der Signalverarbeitung.

► MEMS in Action – New Production Techniques for Micro Actuators

We encounter Micro-Electromechanical Systems (MEMS) every day. In almost every cell phone an acceleration sensor measures the inclination, in cars the vehicle's stability is monitored by yaw rate sensors. But MEMS are more than just sensors. We develop production techniques for very small actuators, which can be cost-efficiently integrated in a wide range of applications. For example they can be used in micro positioning systems, in tiny micro relays and microwave filters for signal processing.

Helmut F. Schlaak, Michael Schlosser, Dirk Eicher, Matthias Staab, Anika Kohlstedt • Die Mikrosystemtechnik (MST) hat sich mittlerweile in vielen Produkten aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik, der modernen Automobilindustrie, der Medizintechnik, Biotechnologie, Konsumgüterindustrie und Optik als wichtige Schlüsseltechnologie etabliert. Ursprünglich bestand die Mikrosystemtechnik als Anwendung beziehungsweise Modifikation der Fertigungstechnologien der Silizium-Halbleitertechnik, um über die rein elektronischen Schaltkreise hinaus eine Funktionsintegration mit Mechanik, Optik und Fluidik zu ermöglichen. Für derartige Mikrosysteme gelten die Anforderungen der Feingerätetechnik: die Miniaturisierung, hohe Präzision mit Herstellungstoleranzen bis in den Mikrometerbereich bei gleichzeitiger Anbindung an die raue Umgebung der Makrowelt. Es liegt also ein typisches Multi-skalenproblem vor.

Bereits in den 1980er Jahren wurde die kristallachsenabhängige Nassätztechnik in Silizium unter der Bezeichnung Bulk-Mikromechanik vor allem in der Messtechnik (Druck, Beschleunigung) industrialisiert. Zur Erhöhung der Integrationsdichte folgte seit Beginn der 1990er Jahre die



Oberflächen-Mikromechanik auf Siliziumbasis, mit der horizontal frei bewegliche Strukturen hergestellt werden. Diese Technologie wird in-

Fachgebiet Mikrotechnik und
Elektromechanische Systeme (M+EMS)
Institut für Elektromechanische Konstruktionen (EMK)
Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak
Tel. 06151/16-4696
E-mail: schlaak@emk.tu-darmstadt.de
www.emk.tu-darmstadt.de

Charakterisierung
eines Mikrosystems
unter dem
Digitalmikroskop.



Das Inchwormprinzip

Ein Inchworm-Aktor ist ein linearer Antrieb, der aus mehreren einzelnen Aktoren besteht. Durch abwechselndes Klemmen und Vorschieben wird eine Vorwärtsbewegung des Schlittens erzeugt. Der Name des Antriebs basiert auf der Ähnlichkeit seines Fortbewegungsprinzips mit dem einer Raupe. Durch das Inchwormprinzip lassen sich viele kleine Einzelhübe zu einem großen Stellweg addieren. Zur genauen Positionierung wird keine Positionssensorik benötigt.



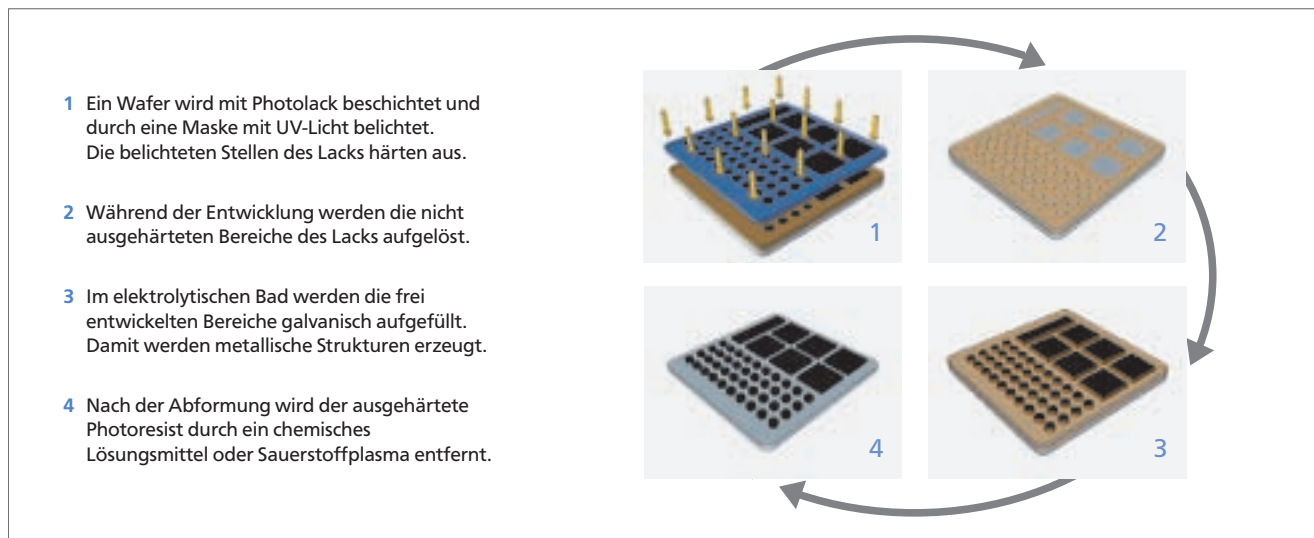
Abbildung 1
Mit UV-Lithographie und Galvanoformung gefertigte Zahnräder in einem Micro Harmonic Drive® Getriebe (Micromotion GmbH, Mainz).

zwischen voll kompatibel mit den Halbleiterprozessen der CMOS-Technologie für Sensoren mit monolithisch integrierter Signalverarbeitung eingesetzt. Aufgrund der kleinen Chipabmessungen von wenigen Millimetern Kantenlänge ist diese Technologie für die Sensorik kostengünstig einsetzbar.

Funktionsbedingt weisen Mikrosysteme in der Antriebstechnik bzw. Mikroaktorik, der Mikrooptik sowie der Fluidik zum Beispiel in der Analytik und Diagnostik, Baugrößen im Zentimeterbereich auf. Andererseits erfordern die funktionsbestimmenden Abmessungen und Toleranzen eine Herstellung mit Hilfe der Mikrostrukturierung. Wegen ihrer Baugrößen sind die Silizium-basierten Technologien nicht finanzierbar. Daher werden dreidimensionale Strukturierungsverfahren mit hohem Aspektverhältnis auf kostengünstigen Substratmaterialien benötigt, die sich auf große Formate hochskalieren lassen, wie es in der Leiterplattenindustrie üblich ist.

Am Institut für Elektromechanische Konstruktionen schlagen wir die Brücke zwischen der klassischen Feinwerktechnik und der Mikrosystemtechnik. Mit den hier verwendeten mikrotechnischen Fertigungsverfahren können sowohl extrem kleine Zahnräder, zum Beispiel für die Uhrenindustrie, als auch integrierte Aktorsysteme hergestellt werden.

Mit der Kombination aus Lithographie und Galvanoformung (LiG) sowie der UV-Tiefenlithographie sind moderne Urformverfahren entstanden, mit denen Mikrobauerteile und -systeme aus den unterschiedlichsten Materialien wie Polymeren, Keramiken, Gläsern und Metallen hergestellt werden. Eines haben die mikrotechnischen Fertigungsverfahren jedoch alle gemein: Mit ihnen lassen sich eine Vielzahl von Systemen auf nur einem Substrat fertigen (Batchfertigung). Das reduziert die Bear-



beitungszeit pro System und damit auch die Kosten drastisch.

UV-LiG: Spanlose Herstellung kleinster Bauteile

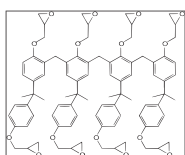
Die UV-Lithographie mit Galvanoformung (UV-LiG) ist eine Weiterentwicklung der Photolithographie, die zur Herstellung kleinster mechanischer Bauteile geeignet ist. Ein Beispiel dafür ist die Herstellung von winzigen Zahnrädern (Abbildung 1 und 2). Die mit UV-LiG erzeugten Bauteile stehen ihren feinwerktechnisch erzeugten Vorgängern in nichts nach: Als Antriebs-element in der Kamera eines Weltraumfahrzeugs werden sie zur Erkundung des Mars eingesetzt. Dabei kommt UV-LiG ganz ohne spanende Bearbeitung aus. Zunächst wird ein geeignetes Substrat mit einem Photolack beschichtet. Anschließend wird der Lack durch eine Maske hindurch belichtet. Die Maske gibt die Struktur

SU-8 Photolack

SU-8 ist ein Photolack der Firma MicroChem.

Es handelt sich hierbei um einen Negativ-Resist.

Das heißt, der Lack polymerisiert unter Lichteinwirkung. Nach der Entwicklung bleiben die belichteten Bereiche stehen. SU-8



besteht aus drei Grundbestandteilen: einem Epoxidharz, einem Lösungsmittel und der photoempfindlichen Komponente.

Durch die Belichtung bewirkt die photoempfindliche Komponente eine Kettenreaktion und in Folge eine Quervernetzung der Lackmoleküle. Im ausgehärteten Zustand zeichnet sich SU-8 durch eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit und hohe Elastizität aus. Deshalb ist er sowohl als Form- als auch als Konstruktionswerkstoff in der Mikrotechnik gut geeignet.

Abbildung 2
Prozessablauf bei der UV-LiG.

der zu erzeugenden Bauteile vor. Belichtete Bereiche des Photolacks vernetzen und härten aus. Bereiche, in denen die Maske das Licht zurückhält, werden im Entwicklungsschritt herausgelöst. Dadurch entstehen Mikroformen, die durch galvanische Abscheidung mit Metall gefüllt werden. Dabei sind auch äußerst komplexe Formen möglich. Abschließend wird der ausgehärtete Photolack



Helmut F. Schlaak ist seit 1999 Professor an der TU Darmstadt am Fachbereich Elektro- und Informationstechnik. Er leitet das Fachgebiet Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme (M+EMS) am Institut für Elektromechanische Konstruktionen.



Michael Schlosser arbeitet seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet M+EMS. Er beschäftigt sich mit der Galvanoformung von Nickel und der Entwicklung galvanisch abgeformter elektrostatischer Wanderkeilantriebe.



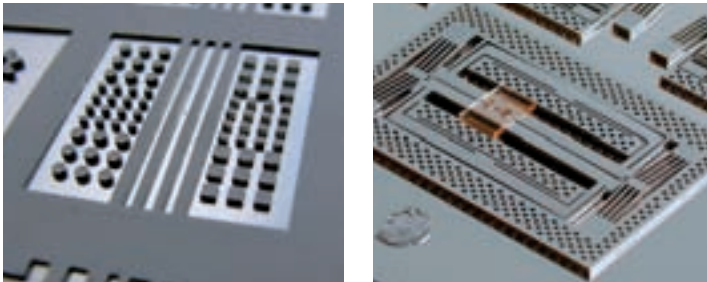
Dirk Eicher arbeitete von 2003 bis 2008 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet M+EMS. Er beschäftigte sich mit der Entwicklung von mikro-mechanischen Schrittantrieben aus SU-8.



Matthias Staab ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet M+EMS. Er beschäftigt sich mit der Entwicklung mikrotechnisch gefertigter Relais für Telekommunikationsanwendungen.



Anika Kohlstedt arbeitet seit 2008 als Stipendiatin am Fachgebiet M+EMS. Sie beschäftigt sich mit der Entwicklung von mikromechanisch abstimmbaren Filtern für Mikrowellenhohlleiter.



mit Hilfe eines Lösungsmittels oder im Sauerstoffplasma entfernt. Die erreichbaren Toleranzen liegen im Bereich einiger Mikrometer. Der ganze Prozess dauert selbst für eine große Anzahl einzelner Bauteile nur wenige Stunden.

UV-Tiefenlithographie:

Polymere Werkstoffe für Mikroantriebe

Ein neues Feld der Mikrosystemtechnik ist die Herstellung von Mikroaktoren. Die Bewegung dieser kleinen Aktoren kann zum Beispiel für Positionierungsaufgaben, zum Schalten von winzigen Relais oder zum Einstellen integrierter Mikrowellenfilter in der Signalverarbeitung genutzt werden. Dabei sind Kräfte von bis zu 100 mN erforderlich. Skalierungsbedingt sind für solche Kräfte Mindestgrößen von 500 μm bis einige mm notwendig. Die etablierten Technologien zur Her-

Abbildung 3

Mit UV-LiG hergestellte Nickel-Formteile auf einem Edelstahlsubstrat.

Abbildung 4

Mikromechanisch hergestellter Mikropositionierantrieb (Inchwormantrieb) aus SU-8.

Literatur

[1] Schlosser, M.; Staab, M.; Schlaak, H. F.; Nasschemisches Entfernen dicker SU-8 Schichten aus galvanisch abgeschiedenen Strukturen, Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik – 2. GMM-Workshop Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik, Darmstadt, Germany, 2010

[2] Eicher, D.; Schlaak, H.F.; Elektrothermische Aktoren aus SU-8 für den Einsatz in miniaturisierten Schrittantrieben, Mikrosystemtechnik-Kongress, Dresden, Germany, 2007, S. 195–198

[3] Eicher, D.; Hamel, S.; Schlaak, H. F.; Bistable Clamping Mechanism for Use in a Microstructured ELECTROTHERMAL Inchworm Platform, 53. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK 2008), Ilmenau, Germany, 2008

[4] Kohlstedt A; Schlaak, H. F.; Tiefenlithographieprozess für SU-8-Dickschicht-Funktionsstrukturen auf FR4-Leiterplattenmaterial, 2. GMM-Workshop Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik, Darmstadt, Germany, 2010

[5] Kohlstedt A; Schlaak, H. F.; Design for Micromechanically Tuneable Microwave Hollow Waveguide Devices; Actuator 2010, Bremen, 2010



Es gibt Geräusche,
die am **Image** kratzen.



Selbst winzige Ursachen entfalten oft große Wirkung. Eine kleine Unwucht entpuppt sich auf diese Weise schnell als Geräuschbelästigung im Alltagsbetrieb und zum Makel eines ansonsten tadellosen Produkts. Ob groß oder klein – bei einer Vielzahl von Komponenten lassen sich durch Auswuchten störende Vibrationen von Anfang an vermeiden. Dank der Auswuchtlösungen von Schenck RoTec. www.schenck-rotec.de

SCHENCK
THE ART OF ROTATION

The **DÜRRE** Group

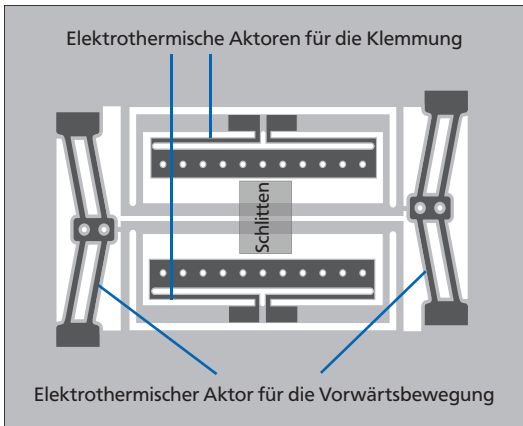


Abbildung 5
Prinzipskizze des mikrotechnischen Mikropositionierantriebs.

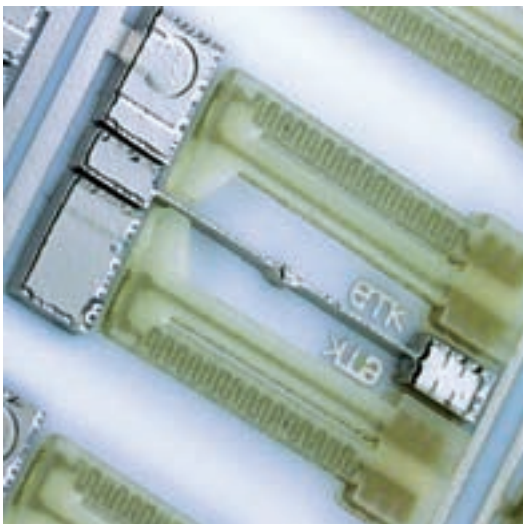


Abbildung 6
Mittels UV-Tiefenlithographie hergestelltes Mikrorelais.

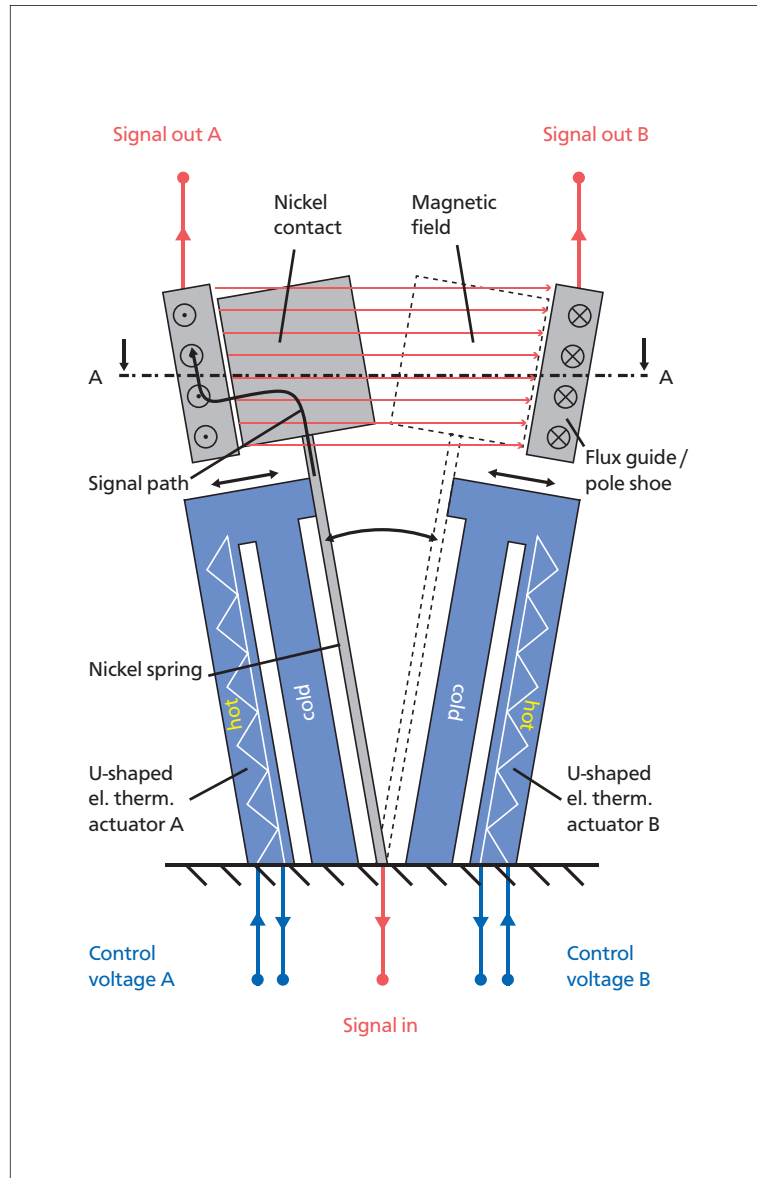


Abbildung 7
Funktionsprinzip des Mikrorelais.

entstehen Auslenkungen von bis zu $100\ \mu\text{m}$, die eine Kraft von bis zu $100\ \text{mN}$ erzeugen können. Diese Antriebe nennt man Elektrothermische Aktoren (ETA).

Mikroschrittmotor

Kombiniert man mehrere ETA miteinander, so lässt sich ein Mikroschrittantrieb herstellen (Abbildung 5). Abwechselnd werden die Aktoren so angesteuert, dass sich ein Schlitten schrittweise fortbewegt (Inchwormprinzip). Aufgrund der Bauweise können mehrere Schritte in einer Sekunde durchgeführt und Kräfte von mehreren hundert mN erzeugt werden. Die Positioniergenauigkeit des Schlittens beträgt dabei nur wenige μm . Auch dieser Antrieb lässt sich mittels UV-Tiefenlithographie in wenigen Prozessschritten herstellen. Anwenden lässt sich ein solcher Antrieb zum Beispiel in der

stellung von Mikrosystemen aus Silizium sind für die Herstellung von preiswerten Mikroaktoren daher nicht mehr geeignet. Am Institut EMK werden Mikroantriebe entwickelt, die aus dem Epoxid-basierten Photolack SU-8 bestehen. Das Verfahren ist dabei ähnlich wie die UV-LiG, der Photolack dient jedoch nicht nur als verlorene Form sondern als Funktionsmaterial. Auf Grund seines hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und seiner ausgezeichneten mechanischen Stabilität eignet sich SU-8 zur Herstellung von nachgiebigen Mikrofeder-Strukturen. Ein Mikroheizer erwärmt diese Strukturen um ca. $100\ \text{K}$. Dadurch

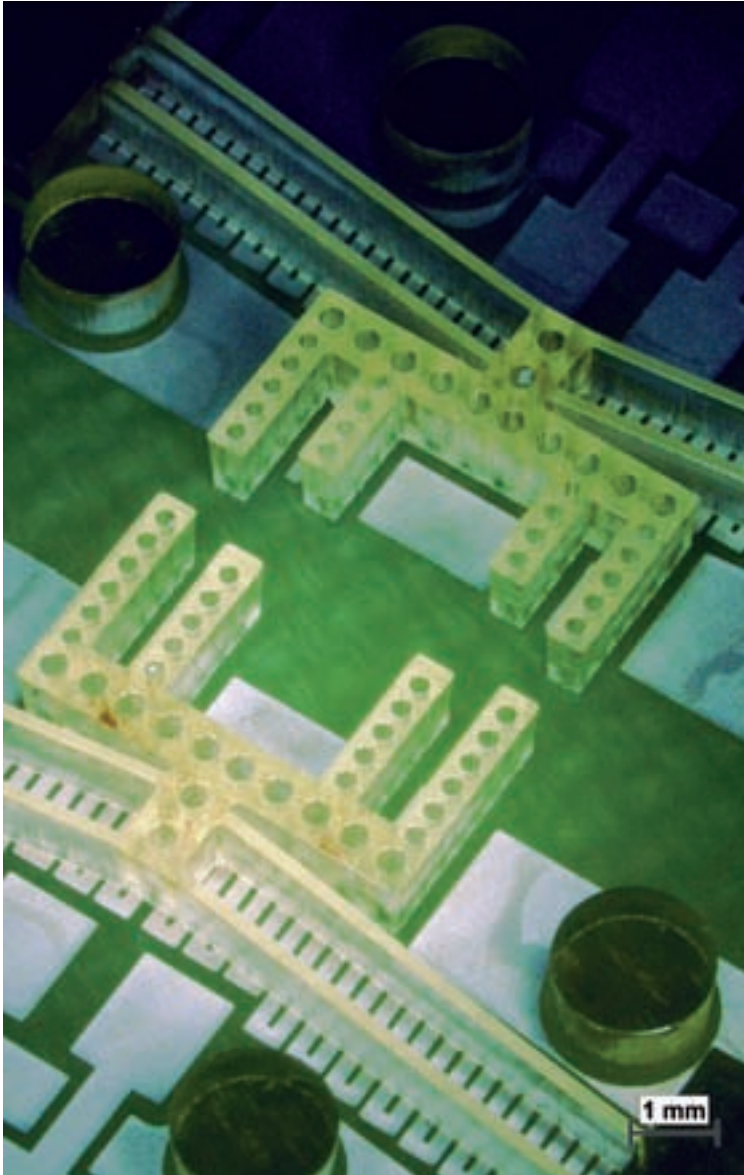


Abbildung 8
Mikromechanisch
abstimmbares
Mikrowellenfilter
aus SU-8.

Biotechnologie und in der Medizintechnik zur Dosierung von Medikamenten.

Mikrorelais

Ein weiteres Einsatzgebiet für ETA ist die Ansteuerung eines bistabilen mikrotechnischen Relais (Abbildung 6 und 7). Dabei drückt ein erwärmter elektrothermischer Biegeaktor einen beweglichen Kontakt gegen einen festen. Nach dem Abkühlen nimmt der Aktor wieder seine Ausgangsposition ein. Die Kraft, die nötig ist den Kontakt geschlossen zu halten, wird durch einen Permanentmagneten aufgebracht. Das Mikrorelais hat eine Fläche von ca. 21 mm² und kann Ströme von deutlich mehr als 1 A schalten. Im Gegensatz zu ihren feinwerktechnisch gefertigten Pendanten benötigt dieses Mikrorelais keine Spulen und kann in Batchfertigung preiswert hergestellt werden.

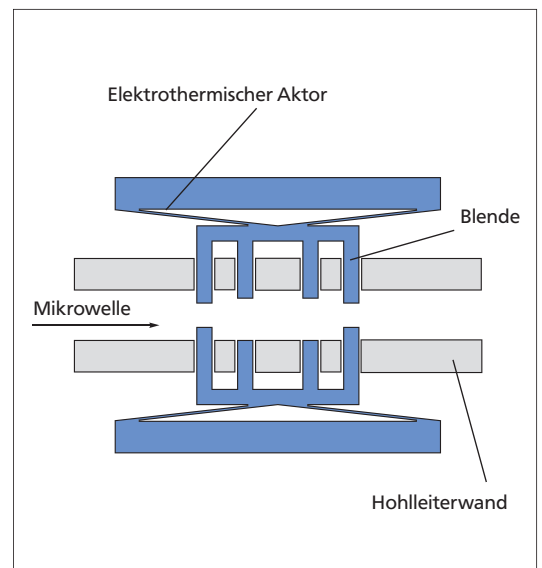


Abbildung 9
Funktionsprinzip des
Mikrowellenfilters.

Integriertes Mikrowellenfilter

Mit Hilfe der UV-Tiefenlithographie lassen sich Hohlwellenleiter für Mikrowellen realisieren. Werden zwei bewegliche Blenden in den Hohlwellenleiter integriert, lässt sich damit ein einstellbares Mikrowellenfilter realisieren (Abbildung 8 und 9). Zum Antrieb der Blenden kommen wieder ETA zum Einsatz. Die Antriebe und der Hohlwellenleiter können in einem Schritt mit derselben Technologie (UV-Tiefenlithographie in SU-8) hergestellt werden.

Ausblick

UV-LiG und die UV-Tiefenlithographie stellen Werkzeuge zur Verfügung, mit denen sich eine Vielzahl mechanischer Elemente auf einem Substrat herstellen lassen. Dabei ist man nicht auf teure Silizium-Substrate angewiesen, sondern kann auf preiswerte Kunststoffe oder Keramiken zurückgreifen. Ein am Institut vielfach erprobtes Substratmaterial ist PCB (Leiterplattenmaterial). Damit ergibt sich eine klare Zukunftsvision: Die Integration mikromechanischer Systeme direkt in eine elektronische Schaltung auf einer Leiterplatte, den Systems-on-PCB.