

Produktion in der Mikrotechnik
Mit effizienten
Fertigungsverfahren zu
neuen Anwendungen

4 Leitartikel

Mikroproduktion als
Schlüssel für Innovationen

6 Mikrokomponenten

Metall-MEMS machen
Silizium Konkurrenz

8 MEMS-Montage

Was kostet der Mikrometer
im Backend?

10 Marktstudie

Hürden für Mikro- und
Nanotechnik-Start-ups

12 Desktop-Factory

Kompakte Arbeitsplätze auf
dem Vormarsch

22 Interview

Wertschöpfung durch
Wertschätzung

inno
Innovative Technik -
Neue Anwendungen



Herausgeber
IVAM Fachverband für Mikrotechnik
Emil-Figge-Str. 76
D-44227 Dortmund
info@ivam.de
www.ivam.de

Redaktion
Dr. Christine Neuy
Dr. Uwe Kleinkes
Josefine Zucker

Abonnement und Anzeigenannahme
Josefine Zucker
Tel.: +49 (0) 2 31/97 42-7089
E-Mail: jz@ivam.de

Es gilt die Anzeigenpreisliste
vom 1. Januar 2006.

Konzept und Entwurf
Buttgereit und Heidenreich GmbH
Strategie. Kommunikation. Design.
45721 Haltern am See
mail@b-und-h.de
www.b-und-h.de

Druck
Wirtz Druck, Gebr. Schmidt OHG
D-45711 Datteln

Titelbild
CVD-Plasmaprozess zur Herstellung
von Diamantfräsern.
Quelle: GFD – Gesellschaft für
Diamantprodukte.

Verbreitete Auflage: 5.000 Exemplare.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten
Beiträge sind urheberrechtlich geschützt.
Nachdruck ist nur mit Genehmigung der
Redaktion und Quellenangabe gestattet.



Anzeige

HANNOVER MESSE
24.-28. APRIL 2006

india
PARTNER COUNTRY
HANNOVER MESSE '06

**BEHAUPTEN SIE IHREN
VORSPRUNG DURCH
NEUESTE MINIATURISIERUNG**

GET NEW TECHNOLOGY FIRST

INTERKAMA⁺
FACTORY AUTOMATION
INDUSTRIAL BUILDING AUTOMATION
ENERGY
PIPELINE TECHNOLOGY
SUBCONTRACTING
DIGITAL FACTORY
INDUSTRIAL FACILITY MANAGEMENT & SERVICES
MICROTECHNOLOGY
RESEARCH & TECHNOLOGY

www.hannovermesse.de

ANGEWANDTE MIKROSYSTEMTECHNIKEN UND NANOTECHNOLOGIEN

Mit effizienten Fertigungsverfahren zu neuen Anwendungen



Zahlreiche Veröffentlichungen zeigen, dass das Packaging und Testen von mikrotechnischen Produkten etwa 80 Prozent ihrer Kosten ausmachen. Das bedeutet, dass diese Prozessschritte wichtige Hebel zur Kostensenkung von Mikroprodukten sind.

Neue Ansätze zur (kosten-)effizienten Fertigung von Mikrosystemen stehen daher im Mittelpunkt der aktuellen »inno«. Abformungsverfahren mit metallischen Formeinsätzen werden von Tecan beschrieben. Alphasem stellt eine Analyse der Kosten im Backend bei der Mikromontage vor. Neue Ansätze zur Vereinfachung von Fertigungsschritten werden von microFAB geschildert. Als Alternative wird die so genannte Desktop-Factory dargestellt.

Weitere Artikel zeigen, dass zu einem guten Produkt noch mehr gehört: Im „Gründungsmonitor Mikro-/Nanotechnologie“ wird der Finanzbedarf von Mikro- und Nanotechnik-Startups analysiert. Erste Ergebnisse dieser aktuellen Marktstudie präsentieren IVAM Research und das dortmund-project. Hinter Produkten stehen aber auch in erster Linie Menschen. Der „Wettbewerbsfaktor“ Mensch ist ebenfalls Thema dieser Ausgabe. Im Interview schildern der Vorstandsvorsitzende der NanoFocus AG Dr. Hans-Herrmann Schreier sowie der Produktmanager Rainer Liebe ihr Erfolgsrezept zur Motivation von Mitarbeitern.

Die Mischung macht's: Alle Stellschrauben in einem Unternehmen müssen optimal aufeinander eingestellt werden, dann steht dem Unternehmenserfolg nicht viel im Wege.

Eine Mischung unterschiedlicher Unternehmen findet sich auch auf der diesjährigen Hannover Messe. Der IVAM Fachverband für Mikrotechnik konnte einen Ausstellerrekord auf seinem Gemeinschaftsstand in der MicroTechnology-Halle vermelden. Mehr als 50 Aussteller aus sieben Nationen werden vom 24. bis 28. April 2006 in Hannover ihre Innovationen auf dem IVAM-Stand vorstellen. Flankiert wird die Ausstellung durch das Vortragsforum „Innovations for Industry“, welches IVAM im Auftrag der Deutschen Messe AG organisiert. Firmen wie Bosch, Degussa und NASA berichten dort aus der Praxis. Auch das Thema Kostenoptimierung in der Mikrofertigung wird in mehreren Beiträgen angesprochen. Die Hannover Messe bietet eine einmalige Gelegenheit, sich einen Überblick über das internationale Geschehen der Mikro- und Nanotechnik zu verschaffen. Der unübersehbare Gemeinschaftsstand von IVAM wird in diesem Jahr um den zusätzlichen Themenschwerpunkt „Neue Materialien“ erweitert.

Wir laden Sie herzlich ein, die Mitglieder von IVAM auf der Hannover Messe zu treffen – und sich im Vorfeld einen Überblick über die Trends bei der effizienten Fertigung von Mikroprodukten in dieser »inno« zu verschaffen.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Christine Neuy

Ihre Christine Neuy

4 Leitartikel

Mikroproduktion als Schlüssel für Innovationen

6 Mikrokomponenten

Metall-MEMS machen Silizium in neuen Anwendungsbereichen Konkurrenz

8 MEMS-Montage

Was kostet der Mikrometer im Backend?

10 Marktstudie

Großer Finanzbedarf bleibt für Mikro- und Nanotechnik-Start-ups eine Hürde

12 Firmen und Produkte

14 Chip to Environment

Mikrosystemtechnik – Neue Dimensionen für neue Ideen

16 Ultraschallsysteme

Megasonic-Reinigung in der Mikrosystemtechnik und Halbleiterfertigung

18 Desktop-Factory

All-in-One: Kompakte Arbeitsplätze auf dem Vormarsch

20 Mikrosensorik

Vorsprung in keramischer Sensorik durch Mikrosysteme

22 Interview

Wertschöpfung durch Wertschätzung – Dr. Hans-Herrmann Schreier, Rainer Liebe, NanoFocus AG

23 Messen, Fachausstellungen, Veranstaltungen, Abo-Service

Mikroproduktion als Schlüssel für Innovationen

Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg

Innovationen sind heute ein zentraler Begriff im technischen, ökonomischen und politischen Handeln des Menschen. Die wohl überwiegende Anzahl von Innovationen beruht auf der Zusammenführung und Integration vorhandener Technologien in ein verbessertes und somit innovatives Produkt. Ein weiterer und im Zusammenhang mit der Mikroproduktion relevanter Weg ist die Entwicklung neuer Fertigungsprozesse und Prozessketten zur Herstellung der Produkte. Durch die Skalierung von Produktionsverfahren können verkleinerte Produkte hergestellt werden, die neue Funktionen erfüllen oder geringere Fertigungskosten verursachen. Abschätzungen des VDI, VDE, VDMA, Nexus und des IVAM Fachverbandes für Mikrotechnik gehen von überdurchschnittlichen Umsatzsteigerungen in den kommenden Jahren aus.

Beispiele für derartige Produkte sind miniaturisierte Sensoren, Mess- und Analysensysteme wie Gaschromatographen oder medizintechnische Geräte für Endoskopie und minimal-invasive Chirurgie sowie Implantate. Einen noch größeren technischen und wirtschaftlichen Hebel bilden mikrotechnische Produkte jedoch durch ihren Einsatz in Produkten des klassischen Maschinen- oder Fahrzeugbaus. Die Mikroproduktionstechnik kann heute als die Schlüsseltechnologie zur Weiterentwick-

lung anderer Spitzentechnologien betrachtet werden.

Interdisziplinarität der Mikroproduktion

Die Gesamtheit der Mikroproduktionsverfahren setzt sich aus drei Entwicklungsrichtungen zusammen, die sich durch ihre Basistechnologien, Prinzipien sowie initiierten Branchen und Forschungsstellen unterscheiden (s. Abbildung 1). Die Feinwerktechnik, aber auch andere Industrien wie der Maschinenbau skalieren die Fertigungsverfahren nach DIN 8580 (Spanen, Umformen etc.) herunter. Beim Skalieren der Prozesse und Verfahren sind physikalische Größeneffekte zu berücksichtigen, zu kompensieren oder auch zu nutzen. Aus der Verfahrenswelt der Mikroelektronik, die mit der klassischen Fertigungstechnik bislang nicht inhaltlich verknüpft war, sind dagegen die Prozesse der Mikrosystemtechnik entstanden. Beispielhaft seien hier lithografische Verfahren und die LIGA-Prozesskette genannt, welche mit höherer Auflösung Systeme der Siliziummechanik oder Formen für skalierte Mikroumförmverfahren herstellen.

Als jüngste Entwicklungsrichtung ist die Nanotechnologie mit Strukturgrößen von unter 100 Nanometern in den Bereich der Mikroproduktion eingedrungen. Die Entwicklung von nanoskaligen Werkstoffen, Pulvern, Sub-

strukturen und Schichten durch physikalische und molekulardynamische Mechanismen hat einen ansteigenden Einfluss auf die Verfahrenswelt der Mikroproduktion. Zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte in Unternehmen und Instituten sowie durch Forschungsförderung initiierte Programme und Sonderforschungsbereiche (DFG) berücksichtigen heute das Zusammenspiel der genannten Entwicklungsrichtungen. Durch planmäßige Nutzung von Synergieeffekten zwischen den drei Technologiefeldern sind weitere Innovations sprünge in der Mikroproduktion zu erwarten.

Standen bisher die geometrieeerzeugenden Verfahren der Mikroproduktion im Vordergrund, sind jetzt bereits zahlreiche Aktivitäten zur Handhabung und Montage kleiner Bauteile gestartet und in die Praxis umgesetzt worden. Weitere Aktionsfelder sind Entwicklung und Konstruktion von Mikrobauteilen, Qualitätssicherung und an die Mikroproduktion angepasste Logistik. Zudem ist es notwendig, nicht nur die Werkstücke, Baugruppen, Produkte und Fertigungsprozesse zu skalieren, sondern auch die dafür benötigten Fertigungseinrichtungen, wie zum Beispiel die Werkzeugmaschinen. Erfolgreich wird dies bereits auf dem Gebiet der Handhabungstechnik und Montage durchgeführt.

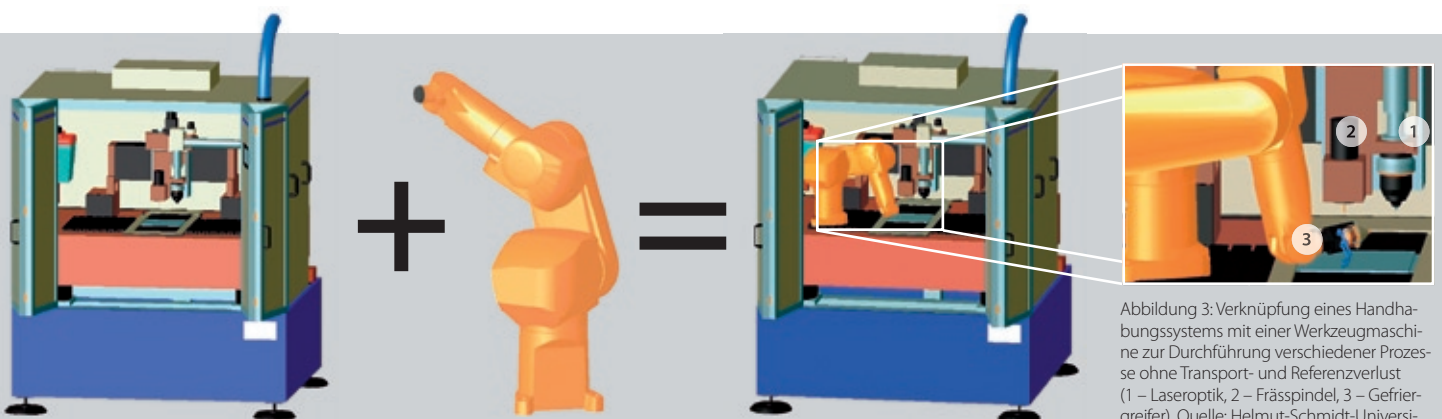


Abbildung 3: Verknüpfung eines Handhabungssystems mit einer Werkzeugmaschine zur Durchführung verschiedener Prozesse ohne Transport- und Referenzverlust (1 – Laseroptik, 2 – Frässpindel, 3 – Greifgreifer). Quelle: Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg.

Drei Beispiele aus der Forschung

Neue Ansätze der Werkzeugentwicklung zur Mikrozerspanung bieten heute neben den abtragenden Verfahren, bei deren Einsatz Mikrofräser durch Schleifen aus Hartmetallrohlingen hergestellt werden, auch generierende Verfahren. Beispielhaft sei hier die Herstellung von Mikroscheibenfräsern durch das plasmaunterstützte CVD-Verfahren (chemical vapour deposition) genannt. Hierdurch lassen sich mit extrem hoher Auflösung im Nanobereich komplexe Schneidengeometrien mit sehr kleinen Eckenradien erzeugen (s. Abbildung 2). Das Beispiel zeigt eindrücklich die sinnvolle Verknüpfung von Nanotechnologie, Feinwerk- und Mikrosystemtechnik. Die durch diese Fräser mit einer Dicke im unteren zweistelligen Mikrometerbereich und bei hoher Schnittgeschwindigkeit von circa 1.000 Metern pro Minute herstellbaren Strukturen, die in der Mikrooptik oder Mikrofluidik Anwendung finden, sind mit dem erzielbaren Aspektverhältnis durch andere Verfahren nur schwer zu erzeugen.

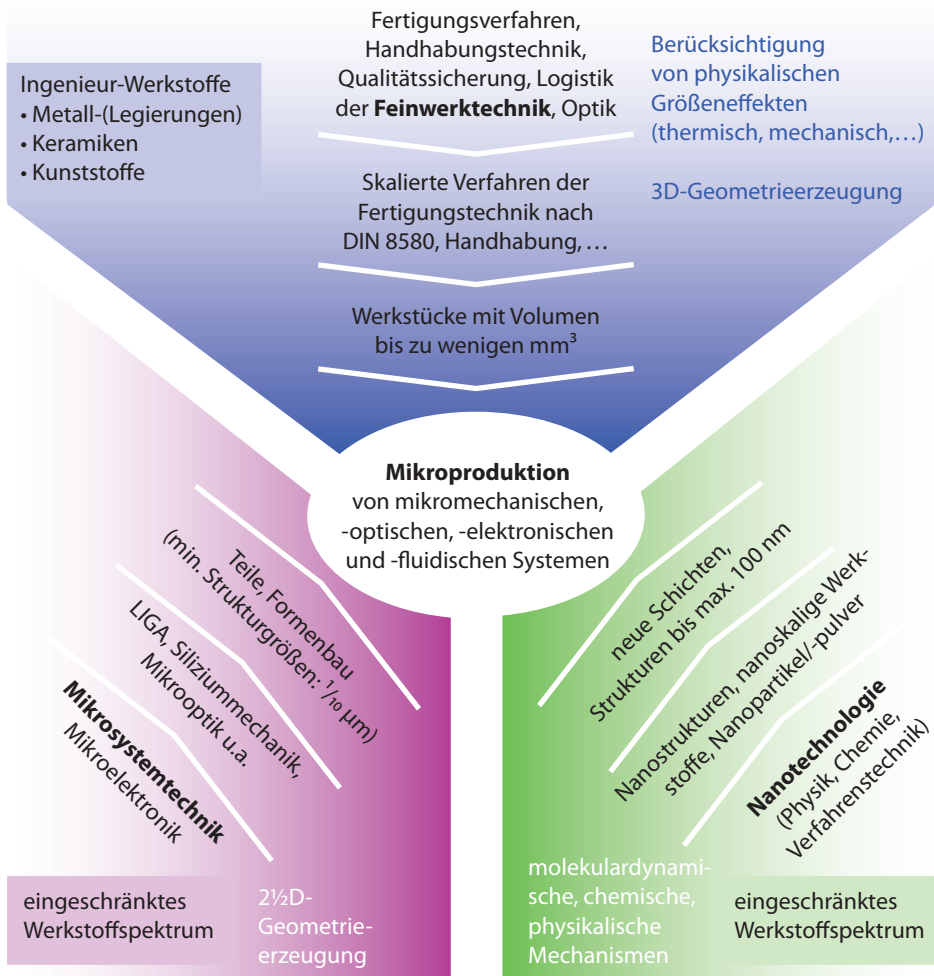
Kleinere Werkstücke bringen die Problematik thermischer Größeneffekte mit sich: Bei schrumpfender Größe steigt die Abkühlgeschwindigkeit nach dem Vorwärmen. Um dem entgegen zu wirken, wird das Bauteil während des Umformens mittels eines Laserstrahls zusätzlich erwärmt. Dieser neuartige

hybride Prozess verbindet die mechanische Umformenergie mit der thermischen Energie des Lasers. Derartige Applikationen existieren für das Biegen, Tiefziehen und das Mikromassivumformen.

In der Handhabungstechnik geht es neben der Miniaturisierung der Greifer und Handhabungseinrichtungen auch darum, die geometrieerzeugenden Fertigungs- und zugehörigen Handhabungseinrichtungen so zu Prozessketten zu verknüpfen, dass die Referenz zum Mikrowerkstück nicht verloren geht. Eine Lösungsmöglichkeit besteht darin, die Handhabungseinrichtung mit ihrem Koordinatensystem direkt in das Koordinatensystem der Werkzeugmaschine einzusetzen und beide Systeme sensorisch und steuerungstechnisch zu verbinden (s. Abbildung 3).

Die genannten Beispiele bieten zahlreiche Ansätze für weitere Innovationsschübe auf dem Gebiet der Mikroproduktion, wenn die beteiligten Disziplinen in Forschung und Umsetzung eng zusammenrücken, was insbesondere durch Organisationen wie den IVAM Fachverband für Mikrotechnik wirkungsvoll unterstützt wird.

Abbildung 1: Gesamtheit der Mikroproduktionsverfahren.
Quelle: Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg.



Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg
ist Professor für Fertigungstechnik
an der Helmut-Schmidt-Universität,
Universität der Bundeswehr Hamburg.

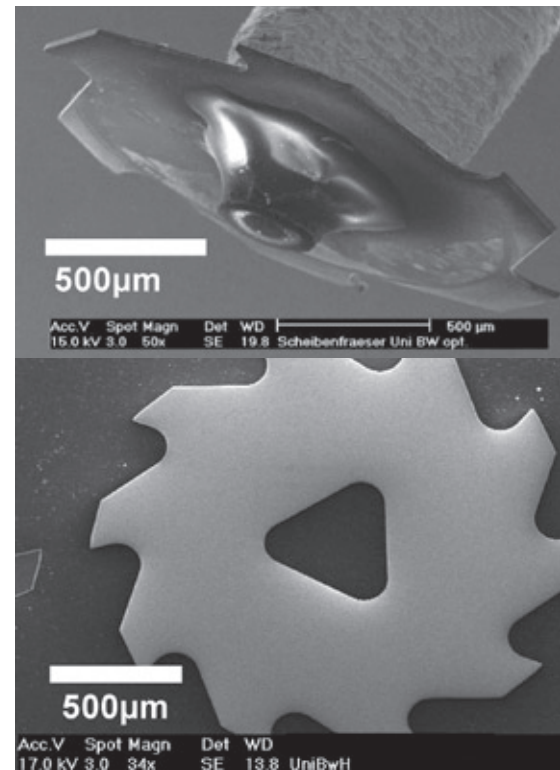


Abbildung 2: Mikrodiamantfräser auf Siliziumsubstrat und nach der Montage. Quelle: Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg.

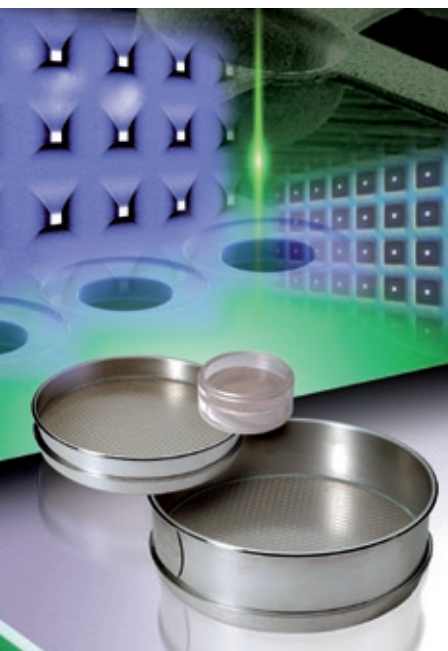
Laboratorium Fertigungstechnik
der Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
<http://laf.hsu-hh.de>

Metall-MEMS machen Silizium in neuen Anwendungsbereichen Konkurrenz

Shaun Mason



Metallische Mikrostrukturen.
Quelle: Tecan Ltd.



Siebe und Gitterstrukturen für medizinische und pharmazeutische Applikationen.
Quelle: Tecan Ltd.

Galvanisch hergestellte Teile aus Metall für den Einsatz im Bereich Mikrotechnik fordern die Denkansätze etablierter Verfahren heraus. Hersteller aus unterschiedlichen Branchen nutzen die neue Technologie für unterschiedliche Prozessreplikationszwecke.

Die Herstellung der ultrafeinen, langlebigen Prozesswerkzeuge beruht auf dem Prinzip der galvanischen Abformung. Hierbei entsteht auf Basis eines 3D-Siliziumwafer-Originals ein perfektes Spiegelbild aus Nickel. Der originale Siliziumwafer, der aufgrund von Erhöhungen und Vertiefungen seines Profils entweder als „männlich“ oder „weiblich“ bezeichnet wird, bedingt das gegensätzliche „Geschlecht“ der Nickelreplika. Im Falle eines weiblichen Siliziumoriginals wird das resultierende Nickelteil als „männlich“ (auch als „Vater“) bezeichnet und umgekehrt.

Das Nickelduplikat ist vom Silizium leicht zu trennen. Es kann zur weiteren Verarbeitung oder als „Elternteil“, von dem spiegelbildlicher „Nachwuchs“ reproduziert werden kann, verwendet werden. Die „Söhne“ und „Töchter“ haben dann genau dieselbe Form und dasselbe Geschlecht wie das Original. Dieses Verfahren gestattet die Aufbewahrung der teuren Siliziumoriginals als perfekte Master, von denen eine beliebige Zahl Kopien beider „Geschlechter“ jederzeit und zu vergleichsweise geringen Kosten hergestellt werden kann.

Das obige Beispiel der Mikroreplikation beschreibt einen der am schnellsten wachsenden Bereiche des Photo-Electro Forming (PEF). Für die Herstellung neuer industrieller Produkte in sehr unterschiedlichen Branchen wie Medizin, Pharmazie und Elektronik, aber auch in der Luft- und Raumfahrt weist diese Technologie große Potenziale auf. Insbesondere Wafer-Foundries und Wafer-Hersteller sind an der Idee interessiert, die anhand von Silizium-Mastern produzierten, langlebigen Nickelreplika-Werkzeuge für eine Reihe von Produktionsprozessen neuen Designs einzusetzen.

Mikrokomponenten für Anwendungen der nächsten Generation

Die Mikrokomponenten eignen sich für eine Vielzahl von Anwendungen der nächsten Generation. Die signifikant kleineren Produkte können zu geringeren Kosten und mit weniger Produktionsschritten hergestellt werden. Zudem können die Teile nicht nur aus Nickel, sondern auch aus anderen Metallen wie Kupfer oder Gold gefertigt werden. Im Gegensatz zu Silizium zeigen die Mikrokomponenten hervorragende Leistungseigenschaften insbesondere unter härtesten Umgebungsbedingungen wie Korrosion und physikalischen Stößen. Eine Reihe von Lösungen für anwendungsspezifische MEMS, Unterbaugruppen und Komponenten – sowohl Ganzmetallprodukte als auch Metall/Polymer-Hybride – konnte bereits durch die Firma Tecan aus Großbritannien realisiert werden. Zuletzt wurden Düsen für Tintenstrahldrucker mit langer Lebensdauer entwickelt.

Die kürzlich erschienene Studie „NEXUS Market Analysis for MEMS and Microsystems III, 2005-2009“ sagt voraus, dass die Märkte für Mikrosysteme sich noch vor dem Ende dieses Jahrzehnts von 12 Milliarden US-Dollar im Jahr 2004 auf 25 Milliarden im Jahr 2009 verdoppeln werden.

Typische mikrotechnische Anwendungen sind Sensoren, Stallelemente, Hörgeräte, medizinische Geräte, optische Instrumente, Mikrolinsen, Siebe mit 100 Prozent Durchgang, Masken, Displays und Mikroflüssigkeitsgeräte. Auch hier liegen potenzielle Einsatzgebiete der Mikrostrukturen aus Metall. Von Vorteil ist dabei, dass diese über Öffnungen, Flüssigkeitskanäle oder erhobene Gebiete von ein bis zwei Mikrometern mit Toleranzen im Submikrometer-Bereich verfügen können. Sie werden ebenfalls in Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) und Micro Optical Electro-Mechanical Structures (MOEMS) eingesetzt. Ähnliche Herstellungsverfahren werden auch für größere Teile mit Abmessungen von bis zu 300 mal 300 Millimetern verwendet.

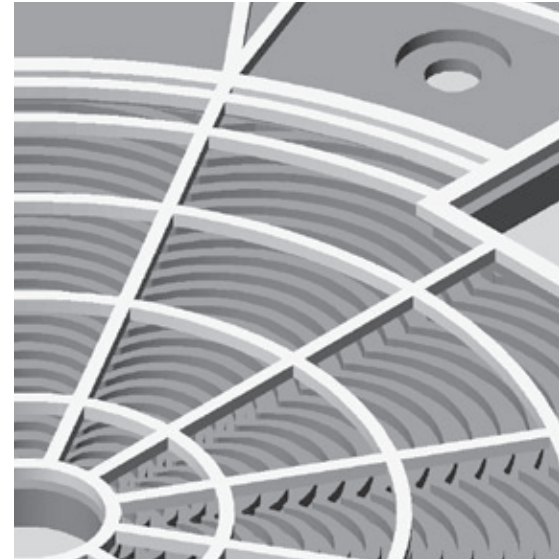


Produktion kleinster Metall- und Metall-Polymer-Hybrid-Teile. Quelle: Tecan Ltd.

Mikrostrukturen aus Metall/Polymer-Hybriden

Hybridmikrostrukturen können jetzt auch unter Verwendung unterschiedlicher Materialelemente, einschließlich Metallen und Polymeren, zur Produktion integrierter Geräte für Anwendungen der Mikroindustrie eingesetzt werden. Der Prozess wird bereits zur Herstellung von Strukturen und Komponenten auf Mikroebene wie beispielsweise Getrieberädern, Spulen, Co-dierdisks, Linsen und Mikrofiltern verwendet. Diese finden Einsatz als allein stehende Geräte oder Komponenten anderer Mikrosysteme, wobei vielfältige Kombinationen denkbar sind. Ein Beispiel ist eine Mikrokomponente mit speziell integrierten Materialschichten, die Metalle oder Polymere enthalten, und mit elektronischen Verbindungselementen oder Mikroflüssigkeitsschaltern ausgestattet sein könnte. Alternativ können Teile aus einem einzigen Material wie ausschließlich aus Plastik hergestellt werden. Vorteile des Prozesses sind ultrafeine Toleranzen sowie eine hohe Präzision und gute Wiederholbarkeit bei der Vermeidung von Spannungen oder Grat. Es entstehen „abgestufte“ Profile auf mehreren Ebenen bei niedrigen Werkzeugbestückungs- und Produktionskosten.

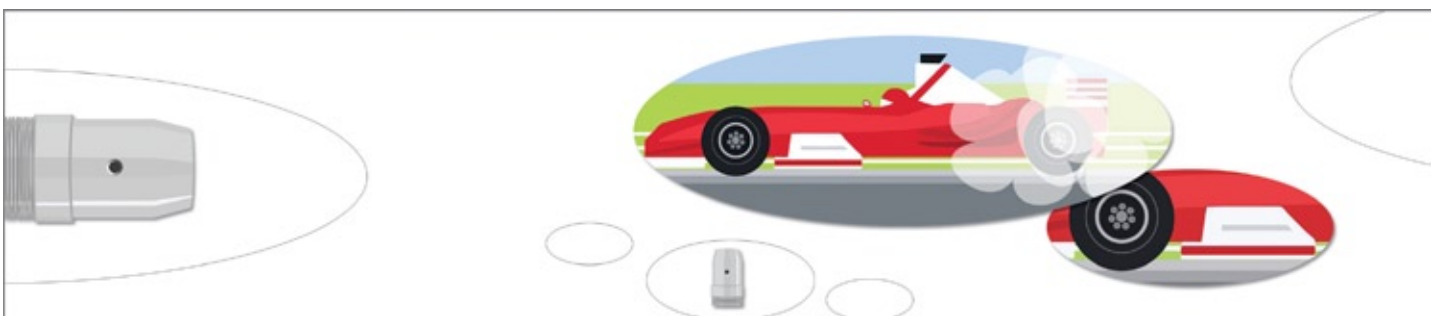
Neue Fertigungsprozesse für Polymermaterialien, wie zum Beispiel SU8, werden 2006 weiterentwickelt. Die Firma Tecan wird während dieser Zeit eng mit Designern und Entwicklern von Nischenprodukten zusammenarbeiten. Die Verwendung von Polymeren zur Herstellung von Mikroteilen gestattet nicht nur die Fertigung allein stehender Plastikkomponenten, sondern auch die Integration neuer Funktionen und die Möglichkeit des Einbaus in optoelektronische und Mikroflüssigkeitsgeräte. Der Herstellungsprozess gewährleistet minimale Toleranzen bei einer bestmöglichen Reproduzierbarkeit, was bei der Realisation von Mikrosystemen unabdingbar ist. Dabei gehen beim Einsatz des neuen Prozesses keine Vorteile der vorhandenen Verfahren verloren.



Mikroreplikation. Quelle: Tecan Ltd.

Tecan Ltd., Weymouth (Großbritannien)
www.tecan.co.uk

Anzeige



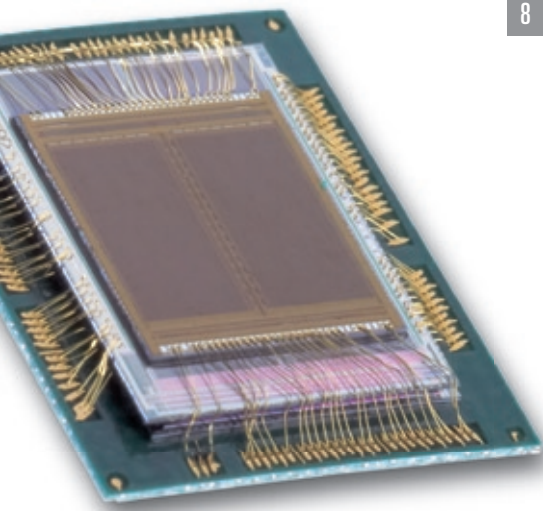
Metallbearbeitung & Frästechnik

Kompetenz, Qualität, Zuverlässigkeit.

HMF GmbH, Dieselstr. 2
 87452 Altusried-Krugzell
 Tel. +49 (0) 83 74 - 233 26
 Fax +49 (0) 83 74 - 233 27
 E-Mail: info@hmf-team.de
www.hmf-team.de

Pole Position mit Präzisionsteilen von HMF
 z.B. Gehäuse für einen Luftdrucksensor

HERUTH **HMF**
 METALLBEARBEITUNG FRÄSTECHNIK



Stacked Die. Quelle: Alphasem AG.

Was kostet der Mikrometer im Backend?

Für einen nachhaltigen Erfolg im Markt sind die Packaging-Kosten MEMS-basierter Bauteile einer der Schlüssel zum Erfolg – etwa 70 bis 80 Prozent der Bauteilkosten entstehen durch Packaging und Test. Eine Umfrage der MEMS Industry Group hat jedoch ergeben, dass Unternehmen und Institute nur etwa 30 Prozent für Forschung und Entwicklung der Gehäuse und Verpackungstechnik ausgeben.

Christian Ossmann

Häufig wird von Spezialmaschinenherstellern erwartet, dass sie hohe Packagingkosten im Backendbereich durch geringere Investitionen in ihre Anlagen ausgleichen. Forderungen nach höherer Produktivität überlagern sich mit dem Wunsch nach Flexibilität bei geringen Investitionskosten. Zusätzlich werden in diese Überlegungen sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit eingebunden. Maschinenbauliche Sonderlösungen, die nur in geringen Stückzahlen hergestellt werden und derartige Forderungen erfüllen, generieren jedoch hohe Investitionskosten.

Im IC-Packaging für reine Elektronikanwendungen werden dagegen starke Anstrengungen unternommen, Kosten zu reduzieren. Aus diesen Gründen wird zum Beispiel noch heute der größte Anteil elektrischer Bauteile nicht in Flip-Chip-Technik, sondern mit Hilfe von Drahtbondern kontaktiert. Anhand einer Kostenanalyse der ersten Ebene dieses Prozessschrittes, dem so genannten Die Attach, wird nachfolgend der Einfluss von Fertigungsgenauigkeiten auf die Herstellungskosten dargestellt.

Bauteilspezifische Kostenbetrachtung

Am Beispiel des Verkaufspreises eines MEMS-Mikrofons wird der Einfluss der Kostenbetrachtung auf den kommerziellen Erfolg eines Produktes sehr deutlich: Die Produkte werden heute für etwa 65 US-Cent auf dem Telekommunikationsmarkt vertrieben, weshalb schon Kostenunterschiede von Prozessschritten in einstelliger Cent-Höhe über wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg entscheiden können. Ähnliche Verhältnisse gelten für Produkte der Automobilindustrie. Diese werden zwar zu deutlich höheren Preisen gehandelt, benötigen aber aufgrund der automotive-spezifischen Forderungen erheblich aufwendigere Verpackungstechniken. So werden mehrere hunderttausend Euro teure Linien aufgebaut, die vom ersten Klebstoffauftrag mit nachfolgendem Pick-and-Place des MEMS-Bauteils bis zum abschließenden Test alle Prozessschritte abdecken.

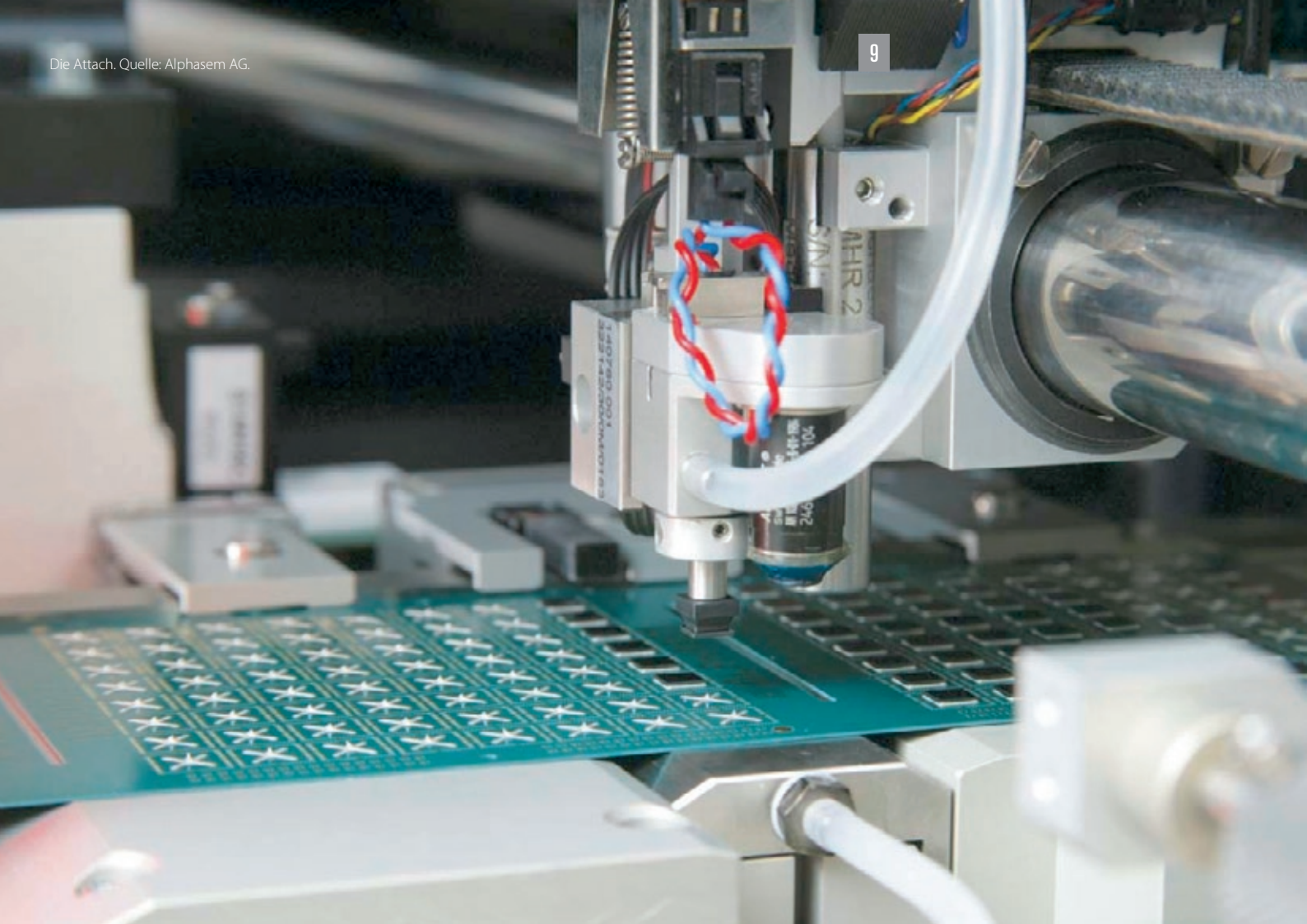
Neben der Fragestellung der Fertigungstechnologie und deren Kosten pro Bauteil ist die Auswahl der Fertigungsanlage entscheidend. Im Frontend eingesetzte Maschinen wie Maskaligner und Substrat Bonder ermöglichen Prozessresultate mit Präzisionen deutlich unter 10 Mikrometern (μm). Für die kommerziell im Backend eingesetzten Maschinen trifft das nicht automatisch zu. Hier werden typischerweise Genauigkeiten zwischen zehn und 75 Mikrometer erzielt. Mit den ersten Zeichnun-

gen des Bauteils werden bereits die Toleranzen und damit indirekt die Fertigungsmittel des Gehäuses sowie dadurch entstehende Kosten festgeschrieben.

Unterscheidung von vier Maschinenklassen

Vier Maschinenklassen im Bereich Die Bonder lassen sich anhand ihres Investitionsvolumens, der Produktivität und der Fertigungsgenauigkeit analysieren. Es werden hierbei bewusst Maschinen mit einem „klassischen“ Die Attach-Prozess verglichen. Somit setzt man voraus, dass von der Maschine in einem ersten Schritt ein Klebstoff auf das Substrat aufgebracht wird, danach in einem zweiten Schritt das Bauteil von dem Säugerahmen abgehoben und justiert auf den Klebstoff aufgelegt wird. Die Einteilung in die Kategorien 1 μm , 10 μm , 25 μm und 38 μm spiegelt typische Gruppen von Maschinen wieder, die heute auf dem Markt verfügbar sind. Diese Genauigkeitsangaben beziehen sich auf die horizontale Positioniergenauigkeit (X/Y) der Maschinen.

Abbildung 2 zeigt typische Werte des erzielbaren Durchsatzes ($\text{uph} = \text{units per hour}$) in Abhängigkeit zu den Investitionskosten sowie der Abschreibungskosten. Bereits auf den ersten Blick wird hierbei deutlich, dass der 1 μm -Prozess mit erheblichen Investitionen bei sehr geringen Durchsätzen verbunden ist. Die durch eine 25 μm -Maschine verursachten Kosten sind dagegen um mehr als den Faktor 100



geringer. Im Unterschied dazu steht das andere Extrem, ein nicht für die MEMS-Montage modifizierter Die Bonder. Diese Geräte werden zum Beispiel bei der Herstellung kostengünstiger IC-Bauteile eingesetzt. In der Kategorie 10 μm gegenüber 25 μm sind die weniger präzisen Maschinen – insbesondere bei sehr hochvolumigen Bauteilen wie Silizium-Mikrofonen – immerhin um etwa den Faktor 5 günstiger. Bei der reinen Kostenbetrachtung zeigt sich, dass bei etwa 25 μm ein Optimum hinsichtlich Präzision und Invest liegt.

Spezielle Anforderungen von MEMS

Typische MEMS-Baugruppen aus Silizium weisen bei der Fertigung gegenüber einem reinen elektronischen Bauteil erhebliche Unterschiede in der Geometrie auf. So sind Topografien bis zu einigen 100 μm keine Seltenheit. Zusätzlich erfordern freiliegende Messflächen wie Membranen oder biochemische Oberflächen spezifische Handhabungsstrategien. Hinzu kommen noch Anforderungen an die Lage der Bauteile, wie etwa bei einem Drehratensensor die Parallelität des Bauteils bezogen auf das Substrat nach dem Prozess. Zusätzlich vereint alle Baugruppen der Anspruch, mechanische Spannungen weitestgehend auszuschalten, damit die Funktionalität des Produktes nicht beeinträchtigt wird. Somit unterliegt der Einsatz von nicht an die MEMS-Erfordernisse angepassten Maschinen gewissen Einschränkungen.

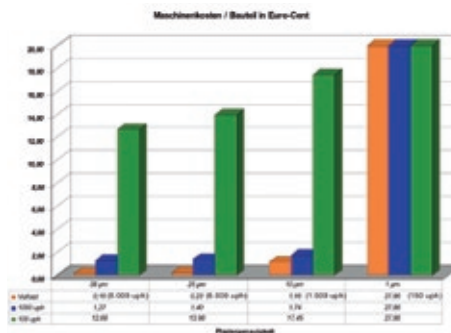


Abbildung 1: Von den Maschinen generierte Kosten pro Bauteil. Quelle: Alphasem AG.

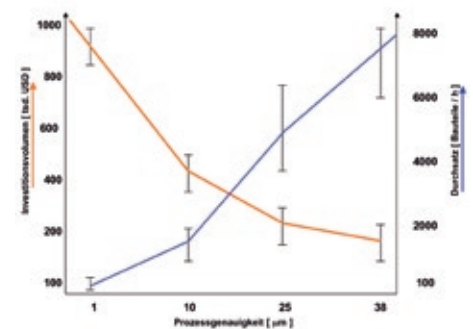
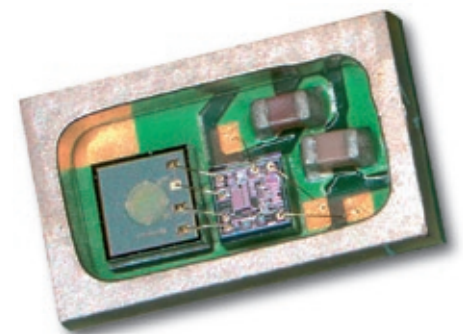


Abbildung 2: Vergleich typischer Durchsätze und Investitionskosten bezogen auf die Prozessgenauigkeiten. Quelle: Alphasem AG.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Forderung nach hoher Präzision direkte Folgen auf die Vertriebskosten der Baugruppe nach sich zieht. Bereits beim ersten Design einer Baugruppe können daher erhebliche Kosteneinsparungen realisiert werden. Forderungen nach Prozesskontrolle, zum Beispiel in Form einer aktiven Überwachung von Platzierkräften und Wiederholgenauigkeiten, decken sich mit denen der IC Fertigung. Diese sind somit als Optionen weitestgehend in entsprechende Maschinen integriert.



Silizium-Mikrofon. Quelle: Knowles Electronic.

Alphasem AG, Berg/TG (Schweiz)
www.alphasem.com

Großer Finanzbedarf bleibt für Mikro- und Nanotechnik-Start-ups eine Hürde

Iris Lehmann
Dr. Uwe Kleinkes

Start-ups in der Mikro- und Nanotechnologiebranche tragen ein besonders hohes Risiko: Hochkomplexe technische Innovationen erfordern lange Entwicklungszeiten und hohe Anfangsinvestitionen, sodass der Return-on-Invest oft erst nach Jahrzehnten erfolgt. Erschwerend kommt der Bedarf an technischer Infrastruktur und qualifizierten Fachkräften hinzu. Keine Studie hat sich bisher so intensiv

mit den Rahmenbedingungen für Mikro- und Nanotechnik-Unternehmen in Deutschland befasst wie der „Gründungsmonitor Mikro-/Nanotechnologie“ von IVAM Research und dem dortmund-project.

Die Studie analysiert die Stärken und Schwächen der Gründerlandschaft für die Mikro- und Nanobranche und benennt Defizite sowie Instanzen, die Maßnahmen ergreifen müssen, um die Risiken für Hightech-Gründer zu mindern und die Erfolgsaussichten zu steigern. Viele Ergebnisse, wie etwa die schwierige Seed-Finanzierung, spiegeln die allgemeine Situation von Start-ups wieder. Aber es gibt auch Positives zu vermelden: Die Bürokratie ist nicht so hemmend wie oft dargestellt, und Gründer sind mit der Unterstützung seitens wirtschaftsfördernder Einrichtungen zufrieden.

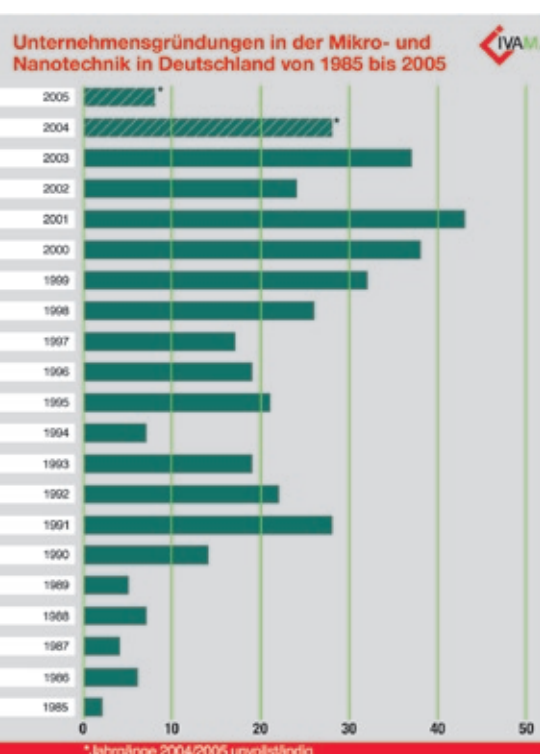
Gute Dienstleistungen – schlechte Ressourcen

Kein Defizit herrscht in Deutschland bei der Gründerberatung. So nennt kein einziger Gründer unzureichende Beratungsmöglichkeiten als Barriere (Grafik 2). Auch Steuerfragen, Businesspläne und Unternehmensrecht berei-

ten kaum Probleme. Hier zeigen die Gründerinitiativen und Businessplan-Wettbewerbe der vergangenen Jahre Erfolge. Nur ein Viertel der Befragten empfindet behördliche Vorschriften als Hürde. Ist die Bürokratie also nicht so hinderlich wie allgemein angenommen? Immerhin dauert die Existenzgründung in Deutschland aufgrund der nötigen Genehmigungen im Durchschnitt 45 Tage. Zum Vergleich: In den USA sind Gründungen in fünf Tagen, in Dänemark in vier Tagen erledigt (Quelle: Innovationsindikator Deutschland 2005).

So mühelos die Start-ups durch die Planungsphase kommen, so problematisch ist für sie die Realisierungsphase, in der Ressourcen wie Personal und Geld benötigt werden. Mehr als ein Viertel der befragten Gründer hat Probleme, geeignete Mitarbeiter zu finden. Gefragt sind nicht nur Ingenieure oder Facharbeiter, sondern auch Kaufleute und Vertriebsmitarbeiter, da die eigene Qualifikation der Gründer diese Kenntnisse oft nicht mit einschließt. Je ein Viertel klagt über unzureichende Marketing- oder BWL-Kenntnisse – ein Problem, das auf eine mangelnde Vorbereitung auf die Selbstständigkeit an Hochschulen hindeutet.

Das größte Defizit besteht jedoch in der Finanzierung. Fast 70 Prozent der Befragten haben Probleme, ihr Unternehmen zu finanzieren. Während Deutschland im internationalen Vergleich recht gute Förderbedingungen hat (vgl. Global Entrepreneurship Monitor 2004, Länderbericht Deutschland), ist privates Startkapital knapp. Seit der Kapitalmarktkrise im Jahr



Grafik 1: Zwischen 1985 und 2005 wurden in Deutschland mehr als 400 Mikro- und Nanotechnik-Unternehmen gegründet. *Erhebung für 2004/2005 unvollständig: Neugründungen, die noch nicht in Erscheinung getreten sind, wurden nicht erfasst; der Erhebungszeitraum endet Mitte 2005. © IVAM Research 2006.

Mikrotechnik Atlas Deutschland 2005



Grafik 3: In Deutschland wurden zwanzig Mikro-/Nanotechnik-Cluster mit fünf bis 40 Unternehmen ermittelt. Quelle: MST-Atlas Deutschland 2005. © IVAM Research 2005.

2001 sind die Wagniskapital-Investitionen in Hightech-Unternehmen rückläufig. Vor allem Firmen in der Startphase sind von der Investitionslücke betroffen. Experten berichten zwar von einer leichten Erholung der Kapitalmärkte im Jahr 2005. Dennoch bestehen in Deutschland grundsätzliche Nachteile bei der VC-Finanzierung gegenüber anderen Industriestaaten. Gründer in den USA oder Großbritannien kommen wesentlich leichter an Geld.

Fast ein Drittel der befragten Gründer hat sich ausschließlich durch privates Kapital finanziert. Da anders als beispielsweise im IT-Bereich bei Mikro- und Nanotechnologie-Gründungen Investitionen im sechs- bis siebenstelligen Euro-Bereich für Anlagen und Geräte erforderlich sind, generieren die privat finanzierten Unternehmen mittelfristig nur selten hohe Umsätze und viele Arbeitsplätze. Modelle wie das der MST.factory dortmund, die den Gründern eine spezifische Infrastruktur zur Verfügung stellt, sind nicht zuletzt deshalb sehr erfolgreich.

Standortpolitik trifft auf mangelnde Flexibilität

In den vergangenen Jahren haben Wirtschaftsförderer versucht, durch gezielte Standortpolitik und Cluster-Initiativen Gründer anzulocken. Räumliche Ballungen (Cluster) von Unternehmen und Institutionen gleicher wirtschaftlicher Ausrichtung steigern die Wettbewerbsfähigkeit der ansässigen Firmen – und damit wiederum den Standort. In Deutschland wurden zwanzig Mikro-/Nanotechnik-Cluster mit fünf bis vierzig MST-Unternehmen identifiziert (Grafik 3).

Befragt nach den Kriterien für die Standortentscheidung nannten die Gründer überwiegend „harte“ Faktoren wie der Nähe zu Forschungseinrichtungen und qualifiziertem Personal oder die Qualität der lokalen Infrastruktur. Mehr als die Hälfte der Gründer hat jedoch von vornherein nur einen Standort in Betracht gezogen. Nur 42 Prozent haben Standorte ver-

glichen und/oder analysiert. Sie sind potenziell flexibel – „potenziell“, weil sie auch nach der Analyse oft am alten Studien- oder Arbeitsort bleiben. Dies trifft vor allem auf Ausgründungen zu – so bleiben achtzig Prozent der Spin-offs am Standort der Einrichtung, aus der sie ausgegründet wurden.

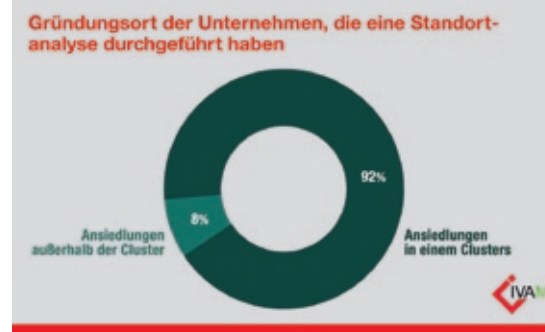
Standorte mit gründungsaktiven Forschungseinrichtungen haben also einen strategischen Vorteil, weil die Ausgründungen am Standort bleiben. Standorte, die keine oder wenige Ausgründungen generieren, müssen durch erfolgreiche Standortpolitik Impulse schaffen, um junge Unternehmer aus entfernten Regionen anzulocken. Dazu gehören neben der Stärkung von Unternehmen und der technischen Infrastruktur auch die Förderung von Human Resources, Lebensqualität und Standortimage. Hier zeigen Cluster-Initiativen, die Aktivitäten regional bündeln, durchaus Erfolge. Bei den potenziell flexiblen, analysierenden Gründern sind diese Standorte beliebt: Sie siedeln sich wesentlich häufiger als der Durchschnitt in bestehenden Clustern an (Grafik 4).

Gründerstandort Deutschland

Der „Gründungsmonitor Mikro-/Nanotechnologie“ soll die Situation von Mikro- und Nanotechnik-Start-ups transparent machen und Wege aufzeigen, um die Erfolgchancen zu erhöhen. Wegen ihres hohen Finanzbedarfs sind Gründer aus der Mikro- und Nanobranche von der schlechten Finanzierungssituation besonders betroffen. Modelle wie die MST.factory dortmund können helfen, dieses Problem in der Seed-Phase zu umschiffen. Das dortmund-project blickt mittlerweile auf fünf Jahre erfolgreichen Gründersupport, unter anderem mit dem Gründungswettbewerb start2grow, zurück. „Mit der vorliegenden Studie können wir jetzt noch besser die Motive, Bedürfnisse und Chancen der Gründer verstehen“, so Dr. Heiko Kopf, Leiter Branchenentwicklung beim dortmund-project und Geschäftsführer der MST.factory dortmund.



Grafik 2: Die Finanzierung ist mit Abstand die größte Barriere bei der Gründung von Mikro- und Nanotechnik-Unternehmen. © IVAM Research 2006.



Grafik 4: Unternehmen, die Standorte analysieren, siedeln sich bevorzugt in bestehenden Clustern an. © IVAM Research 2006.

Auf diesen Seiten stellen Firmen aus Nordrhein-Westfalen und Mitglieder des IVAM Fachverbandes für Mikrotechnik ihre neuesten Produkte und Dienstleistungen vor.

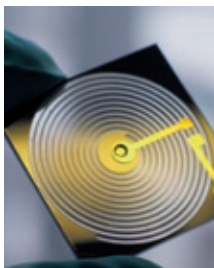


Mikrotechnik mit 200 mm-Wafern.
Quelle: Axetris Microsystems.

Mikrotechnische Fertigungsdienstleistungen im 100 bis 200 mm-Wafer-Format

Axetris Microsystems, der Mikrotechnikbereich von Leister Process Technologies, hat seine Reinräume erweitert und ist nun in der Lage, Mikrostrukturen neben den Formaten 100 und 150 mm auch auf 200 mm-Wafern zu fertigen. In den Reinräumen der Klasse 100 verfügt Axetris über eine F&E- und Pilotserienlinie sowie eine Produktionslinie mit vollautomatischer Lithografie inklusive Spin- und Sprühbelackung sowie Vorder- und Rückseitenalignment. Im Umgang mit dicken Fotolacken kann die Firma umfassende Erfahrungswerte aufweisen. Neben diversen Nassätzprozessen bietet Axetris im Bereich Dünnschichttechnik Trockenätzprozesse, Beschichtungen von Metallen und Dielektrika sowie einen auf Low-Stress optimierten PECVD-Prozess an. Mit einem Qualitätsmanagementsystem auf hohem Niveau – Axetris ist ISO 9001:2000-zertifiziert und entspricht den Anforderungen der TS 16949 – , einer breiten Erfahrung im Projekt- und Produktionsmanagement sowie einer Vielzahl von teil- und vollautomatisierten Mess- und Kontrollanlagen gewährleistet Axetris einen hohen Standard von Entwicklungs- und Produktqualität. Neben eigenen Produkten im Bereich der Mikrooptik, Sensorik und Mikrofluidik bietet Axetris auch Entwicklungs- und Fertigungsdienstleistungen für Dritte an und ist OEM-Partner von der Entwicklung über die Prozessindustrialisierung bis hin zur Serienproduktion von anspruchsvollen Prozessschritten und Komponenten.

Leister Process Technologies
Axetris Microsystems Division
Riedstraße
CH – 6060 Sarnen
Tel.: +41 (0) 41 662 74 74
Fax: +41 (0) 41 660 20 61
axetris@leister.com
www.axetris.com



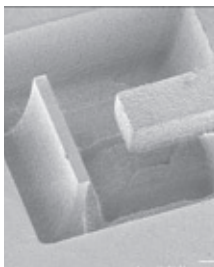
Gaschromatographiesäule zur Trennung von Gasgemischen.
Quelle: Microsystems Center Bremen.

Universitäres F&E-Zentrum für Mikrosystemtechnik

Das Microsystems Center Bremen (MCB) ist ein anwendungsorientiertes, universitäres F&E-Zentrum. Das Hauptaugenmerk gilt der Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik. Als Dienstleister entwickelt das MCB im Rahmen bilateraler Aufträge und öffentlicher Forschungsprojekte in Kooperation mit seinen Partnern und Kunden Mikrosysteme, deren Einzelkomponenten sowie intelligente RFID-Systeme mit telemetrischer Daten- und Energieübertragung. Das MCB entwickelt Lösungen für die Logistik, Medizin-, Automobil-, Industrie- und Umwelttechnik; jedoch sind die Sensoren, Aktoren und Systeme aufgrund ähnlicher Aufgaben auch auf etliche andere Anwendungsbereiche übertragbar. Die Entwicklung von auf die Anwendung angepasster analoger und digitaler Signalverarbeitungen in diskreter sowie integrierter Bauform (ASIC) schließt die Lücke zum System.

Das MCB betreut Produktideen von der Konzeption über Machbarkeitsstudien bis hin zur Entwicklung und Prototypenfertigung. Dabei greift es auf eine moderne Rechnerinfrastruktur mit allen gängigen Prozessen der Mikrosystemtechnik sowie umfangreicher Entwicklungs- und Simulationssoftware zurück. Für die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) stehen ebenso wie für die Charakterisierung und Qualitätssicherung mehrere Laboratorien mit entsprechender Technologie und Messtechnik zur Verfügung. Wesentliche Teilbereiche des MCB sind zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000. Als Beispiel aus dem Bereich fluidische Systeme zeigt nebenstehendes Bild eine aus Glas und Silizium bestehende, heizbare Gaschromatographiesäule zur Trennung von Gasgemischen in ihre Einzelgase. Weitere Beispiele für die Aktivitäten des MCB sind Sensorsysteme für Druck, Flow und Schall oder Aktoren wie optische Schalter.

Microsystems Center Bremen (MCB)
Universität Bremen
Otto-Hahn-Allee / NW1
28359 Bremen
Tel.: +49 (0) 421 218 7364
Fax: +49 (0) 421 218 2479
infomcb@mcb.uni-bremen.de
www.mcb.uni-bremen.de



3D-Struktur mit hohem Aspektverhältnis.
Quelle: mikrogas chemtec GmbH.

Spezialist für mikrotechnische Produkte aus Glas und Glaskeramik

Die mikrogas chemtec GmbH hat sich auf die Herstellung von mikrotechnischen Produkten aus Glas und Glaskeramik spezialisiert. Hauptmaterial ist das Glas Foturan, welches mithilfe von fotolithografischen Verfahren sehr einfach strukturiert werden kann. Seit 2004 gehört mikrogas zur Unternehmensgruppe Invenios. Durch diese Zusammenarbeit wurde das Leistungsspektrum um die direkte dreidimensionale Strukturierung von Foturan mithilfe eines Lasersystems erweitert. Hieraus ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie strukturierte Trägermaterialien, Abgassensoren und Tintenstrahldruckköpfe im Bereich Sensorik / Elektronik sowie Mikrotiterplatten, Lab-on-a-Chip-Komponenten und mikrofluidische Chips in der Biotechnologie. Neue Produkte im Bereich Mikroreaktionstechnik sind Mischer, Reaktoren und Wärmetauscher, aber auch komplette Laborsysteme. mikrogas fertigt sowohl Prototypen als auch große Stückzahlen. Die technische Ausrüstung umfasst unter anderem fotolithografische Geräte (zum Beispiel Belackungs-, Belichtungs- und Entwicklungsanlagen) sowie Öfen, Ätz- und Reinigungsanlagen, Siebdruckanlagen und Geräte zur Qualitätssicherung. Das Unternehmen verfügt außerdem über Anlagen zur mechanischen Glasbearbeitung wie zum Beispiel Schleif-, Läpp- und Poliermaschinen, Sägen und Randbearbeitungsanlagen. Unterschiedliche Verbindungstechniken wie Bonden und Kleben erlauben es, strukturiertes Glas mit anderen Materialien zu verbinden. Weiterhin können verschiedene Beschichtungen der Gläser durchgeführt werden, wie das Aufbringen von Leiterbahnen, das Erzeugen von dünnen Membranen oder das Galvanisieren von Metaldurchführungen. Bei der Entwicklung neuer Produkte arbeitet mikrogas sehr eng mit Forschungsinstituten und Hightech-Firmen, aber auch mit etablierten Großunternehmen zusammen. Das Unternehmen hat ein weltweites Vertriebsnetz mit Schwerpunkten in den USA, Europa und Asien aufgebaut.

mikrogas chemtec GmbH
Galileo-Galilei-Straße 28
55129 Mainz
Tel.: +49 (0) 6131 55550 0
Fax: +49 (0) 6131 55550 52
info@mikrogas.com
www.mikrogas.com



Beispiel für Reaktionsanlage aus dem modularen Mikro-Reaktionssystem. Quelle: Ehrfeld Mikrotechnik BTS GmbH.

Innovativ in der Mikroreaktionstechnik

Ehrfeld Mikrotechnik BTS (EMB), ein Tochterunternehmen der Bayer Technologie Services (BTS), ist eine der führenden international tätigen Firmen auf dem Gebiet der Mikroverfahrenstechnik für Anwendungen in Chemie, Pharma, Life Sciences und angrenzenden Bereichen. Mit dem modularen Mikro-Reaktionssystem, dem ersten Baukastensystem auf dem Gebiet der Mikroverfahrenstechnik, deckt EMB das komplette Einsatzspektrum von der Produktentwicklung bis zur Produktion ab. Die einfache totvolumenarme Verbindungstechnik der einzelnen Module wie Mischer, Wärmetauscher und Reaktoren ermöglicht einen schnellen Auf- und Abbau ganzer Anlagen. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die leichte und robuste Handhabung, zum Beispiel beim Reinigen der vollständig zerlegbaren Module, gelegt. Zusätzliche Module und Modulmaterialien wie beispielsweise Hastelloy erweitern das System kontinuierlich für neue Einsatzzwecke. Hier sind zum Beispiel die Schlitzplattenmischer zu nennen, die durch eine breite Palette austauschbarer Mischplatten an jeden Mischvorgang und Emulgierprozess angepasst werden können. Durch die Einführung des LH 2-Mischers kann jetzt der gesamte Durchflussbereich von wenigen ml/min bis zu einigen 1.000 l/h abgedeckt werden. Ein weiteres Produkt der EMB ist der Ventilmischer, der besonders für Fällungsreaktionen zur Herstellung feinsten Partikel, wie zum Beispiel Katalysatoren, geeignet ist. Das System ist mit einer umfassenden Prozessüberwachung einschließlich der Möglichkeit zur vollautomatischen Steuerung und Regelung erhältlich. Darüber hinaus unterstützt EMB Kunden sowohl durch Sonderentwicklungen von mikroreaktionstechnischen Apparaten als auch mit voll ausgestatteten Chemielaboren in der Prozessentwicklung. In Zusammenarbeit mit BTS bietet EMB somit ein Gesamtangebot in der Mikroverfahrenstechnik an, das von der Modul- über die Prozessentwicklung bis zum Engineering und dem Bau ganzer Anlagen reicht.

Ehrfeld Mikrotechnik
BTS GmbH
Mikroforum Ring 1
55234 Wendelsheim
Tel.: +49 (0) 6734 91 93 00
Fax: +49 (0) 6734 91 93 05
info@ehrfeld.com
www.ehrfeld.com



Durch Mikro-Metallpulver-spritzguss gefertigte Steigbügel mit kleinster Wandstärke von 280 Mikrometern (Kooperation mit Krämer Engineering). Quelle: Fraunhofer IFAM.

Serienfertigung komplexer mikrostrukturierter Bauteile

Die Abteilung Mikrofertigung am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM beschäftigt sich mit der Herstellung vorwiegend metallischer Mikro-funktionsbauteile sowie der Entwicklung von funktionalisierten, mikrostrukturierten Oberflächen. Im Mittelpunkt stehen dabei Abformverfahren wie Prägen und Mikrospritzgießen, durch die eine kostengünstige Serienfertigung von komplexen Bauteilen in einer Vielzahl von Materialien möglich wird. Einzelne Bauteile mit kleinsten Abmessungen von 300 Mikrometern und mikrostrukturierte Oberflächen mit Details von bis zu 20 Mikrometern sind bisher in Serie realisiert worden. Ein Schwerpunkt liegt auf dem Werkstoff Metall; aber auch Polymere und Komposite werden verarbeitet. Die Anwendungsgebiete liegen überall dort, wo ein hoher Miniaturisierungsgrad bei gleichzeitiger Funktionalisierung von Interesse ist, zum Beispiel bei magnetischen und elektrischen Effekten, Bioaktivität und reduziertem Verschleiß. Die Mikrofertigung kann dabei auf die langjährige Erfahrung des Fraunhofer IFAM im Standardspritzguss sowie in der Verarbeitung von Nanopulvern und Polymeren zurückgreifen. Diese Kenntnisse werden nun für Entwicklungen im Bereich der Mikrosystemtechnik umgesetzt. Zur Serienfertigung dient die Mikro-Spritzgießmaschine Microsystem 50 der Firma Battenfeld mit integrierter optischer Qualitätsüberwachung und Teileablage. Als Beispiel für die Fertigung und Anwendung von metallischen Kleinstbauteilen wurde am IFAM der kleinste menschliche Knochen, der Steigbügel, als Mikroteil aus Edelstahl gefertigt. Die in einer Serie von 2.000 Stück hergestellten Teile haben ein Gewicht von jeweils nur 9 Milligramm. Nach Optimierung der Sinterprozesse konnten die Implantate reproduzierbar in Serie gefertigt werden. Derzeit wird der Fertigungsprozess für eine in der Medizintechnik bevorzugte Titanlegierung weiterentwickelt.

Fraunhofer-Institut
für Fertigungstechnik
und Angewandte
Materialforschung IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen
Tel.: +49 (0) 421 2246 211
Fax: +49 (0) 421 2246 300
micro@ifam.fraunhofer.de
www.ifam.fraunhofer.de

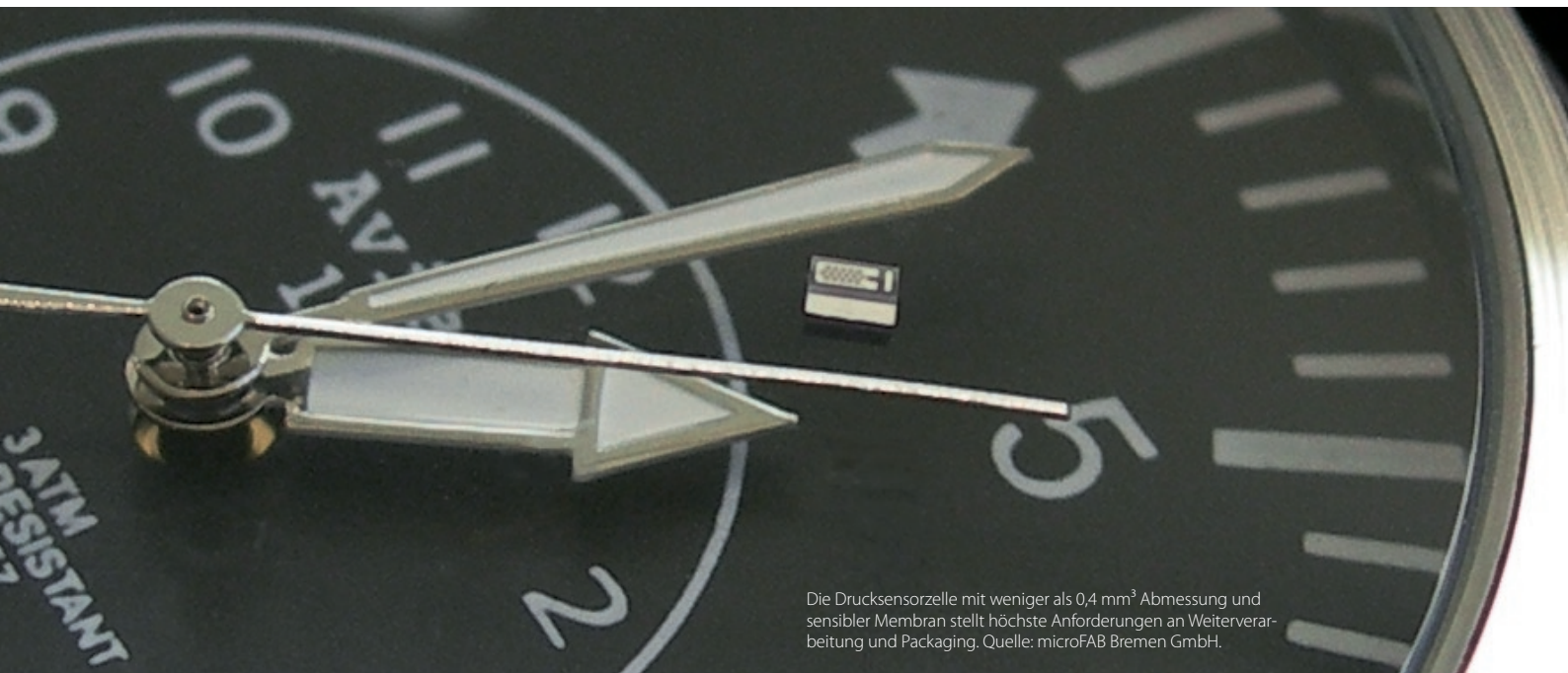


Quelle: Carl Hanser Verlag.

Kontaminationen in der Mikrostrukturierung

Verunreinigungen können die Funktionsfähigkeit von Mikrosystemen erheblich beeinträchtigen. Die Zusammenhänge zwischen Kontamination und Mikrostrukturierungstechniken stellt das kürzlich im Carl Hanser Verlag München Wien erschienene Buch „Kontaminationen in der Mikrostrukturierung“ von Jan Albers vor. Es richtet sich an Dozenten und Studierende des Bereichs Mikrosystemtechnik, aber auch an Ingenieure und Facharbeiter in der Produktion. Der Fokus liegt auf der Mikrostrukturierung in Silizium und damit im Bereich halbleiterbasierter Mikrosysteme. Weiterhin thematisch behandelt werden Mikrosysteme und ICs, Quellen, Eigenschaften und Defektmechanismen von Kontaminationen, Mess- und Analysetechniken sowie Anforderungen an den Reinraum und das Verhalten im Reinraum. Merksätze verschaffen einen schnellen Überblick; Kontrollfragen am Ende der Kapitel unterstreichen den Lehrbuchcharakter. Das Buch vermittelt umfassende Einblicke in die wichtigsten technischen Grundlagen sowie die „Gesetze“ des Reinraums. Sehr anschaulich werden die Fehlerquellen durch Verunreinigung sowie mögliche Mess- und Analysetechniken mit dazu gehörigen physikalischen Grundlagen beschrieben. Das Buch ist eine hilfreiche Vorbereitung für das Arbeiten im Reinraum. Die Erfahrung lehrt jedoch, dass sich Verhaltensänderungen nur durch praktische Übungen einstellen. Diese sind daher als Ergänzung zur Theorie für Reinraum-Einsteiger unabdingbar. Dr. Jan Albers ist Dozent an der Fachhochschule Dortmund im Fachbereich Informations- und Elektrotechnik des Instituts für Mikrosensorik. Den engen Bezug zur Praxis hält er durch seine Tätigkeit als Schulungsleiter und langjähriger Mitarbeiter bei der Elmos Semiconductor AG in Dortmund.

„Kontaminationen in der Mikrostrukturierung“ von Jan Albers ist 2005 im Carl Hanser Verlag erschienen (ISBN 3-446-40291-8).



Die Drucksensorzelle mit weniger als $0,4 \text{ mm}^3$ Abmessung und sensibler Membran stellt höchste Anforderungen an Weiterverarbeitung und Packaging. Quelle: microFAB Bremen GmbH.

Mikrosystemtechnik – Neue Dimensionen für neue Ideen

Bei der Entwicklung und Herstellung von Komponenten für innovative Produkte kommt der Mikrosystemtechnik nach wie vor eine Schlüsselrolle zu. Die rasante Miniaturisierung von Bauteilen hat auch für kleine und mittelständische Unternehmen neue Möglichkeiten geschaffen.

Thomas Stärz

Seit Jahren beflügelt die Mikrosystemtechnik die Phantasie von Entwicklern und Medien. So hilfreich jedoch die Visionen von Miniatur-Hubschraubern, Mikro-Maschinen und künstlichen Organen für den Start von Forschungsprogrammen waren, so missverständlich wirken jetzt oft die Bilder von Ameisen mit Zahnrädern oder winzigen U-Booten, wenn es um die Entwicklung marktfähiger Produkte geht. Denn diese Vorstellungen erwecken den Eindruck, es handle sich um putzige Spielzeuge oder eine Szene aus dem Film „Die Reise ins Ich“, in dem alle Gegenstände der Makrowelt verkleinert erscheinen.

Oft genug wurde die Frage gestellt: Wofür braucht man denn Mikroahnräder? Dabei sind einige Mikrosysteme bereits Bestandteile des täglichen Lebens: Die Revolution hin zur optischen Musik- und Datenspeicherung wäre ohne die winzigen Laserabstastköpfe nicht

möglich gewesen. Fast ebenso weit verbreitet sind Tintenstrahl-Druckköpfe. Auch die Fortschritte in der Automobilelektronik durch Airbag-Sensoren oder ESP- und ABS-Steuerung basieren darauf. Ebenso wird der „Multimediazweig“ Mobiltelefon immer weiter mit Mikrosystemen wie noch kleineren und leistungsstärkeren Siliziummikrofonen bestückt.

Multitalent Mikrosystem

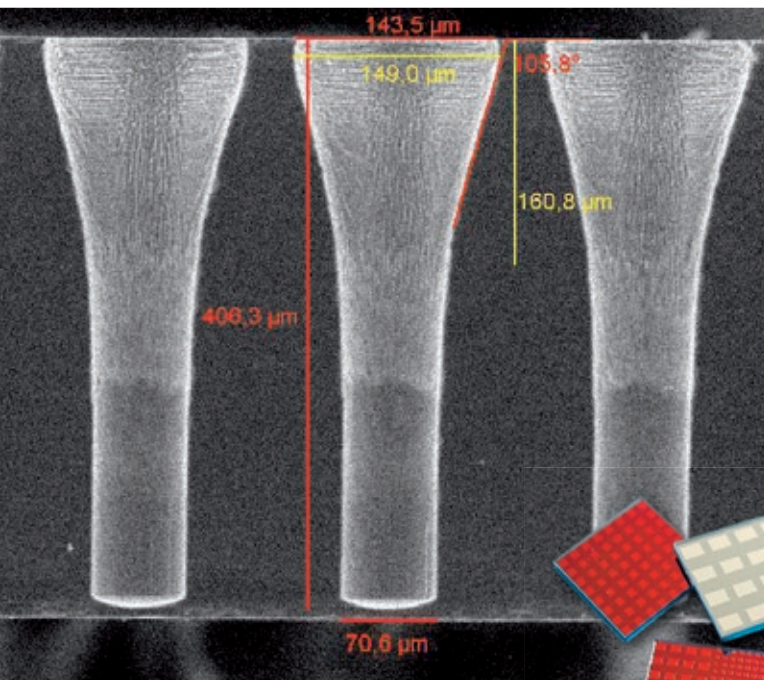
Doch nicht nur in hochvolumigen Hightech-Anwendungen schreitet die Verbreitung von Mikrosystemen voran. Ebenso werden zum Beispiel immer mehr hochminiaturisierte Sensoren für die Erfassung physikalischer Größen in der Mess- und Steuerungstechnik eingesetzt. Neue Wirkungsstätten für Mikrosysteme wie in der Mikrobiologie, Gen- und Mikroanalysetechnologie sind bereits identifiziert.

Kleiner, klüger und komplexer zu werden lau-

tet das Ziel jener Multitalente, die immer mehr Selbstständigkeit, Perfektion und „Intelligenz“ in Maschinen und Geräte bringen. Die Mikrosysteme bestimmen oftmals Funktionalität, Qualität und Herstellungskosten des gesamten Produkts. Deshalb zählt Mikrosystemtechnik zu den folgenreichsten Technologien des 21. Jahrhunderts. Als Querschnittstechnologie greift sie in fast alle Bereiche von Wissenschaft und Technik ein: von der Informations- und Kommunikationstechnik über den Automobilbau und die Verkehrstechnik bis hin zur Medizin- und Umwelttechnik.

Siliziumbasierte Herstellung

Die Entwicklung von Mikrosystemen ist nach wie vor stark von den auf Silizium basierenden Halbleitertechniken geprägt. Doch inzwischen setzt sich immer mehr eine Denkweise durch, die vom jeweiligen System ausgeht. Erst durch eine intelligente Systemintegration



Umverdrahtungen, Capping und Packaging auf Wafer Ebene gewinnen deutlich an Bedeutung. Quelle: microFAB Bremen GmbH.



Siliziumfertigung als Kerntechnologie der Mikrosystemtechnik. Quelle: microFAB Bremen GmbH.

lassen sich die Potenziale der Mikroelektronik für innovative Produkte nutzen. Schon längst sind es nicht mehr die Chips, von denen der Miniaturisierungsgrad der Produkte abhängt.

Eine leistungsfähige industrielle Produktion von Mikrosystemen ist die letzte und entscheidende Stufe bei der Umsetzung von Ideen in marktfähige Produkte. Dabei ist und bleibt die siliziumbasierte Herstellung von Sensoren und Aktoren Grundlage für die überwiegende Zahl der Mikrosysteme. Die Möglichkeiten der Unternehmen, komplette Mikrosysteme eigenständig zu fertigen, sind allerdings aufgrund der hohen erforderlichen Investitionen begrenzt.

Dienstleister auf dem Gebiet der siliziumbasierten Mikrosystemtechnik und somit Lieferanten der Bauteile aus Silizium bieten hier eine Alternative. Fertigungslinien für Mikrosysteme enthalten die notwendigen Technologien für die Herstellung der erforderlichen Einzelkomponenten. Standardtechnologien der MST-Fertigung wie Oberflächen-Mikromechanik, Volumen-Mikromechanik, das Tiefenätzen von Silizium (DRIE, Bosch-Prozess), Wafer-Bonding sowie Wafer Level Packaging können so zuverlässig aus einer Hand für kleinere oder größere Stückzahlen angeboten werden.

Intelligente Systemintegration

Weil erst das wirkungsvolle Ineinandergreifen vieler Disziplinen Querschnittstechniken entstehen lässt, ist es nach wie vor Ziel, die verschiedenen Mikroelektroniken von der Feinmechanik, Optik, Messtechnik, Mechanik,

Halbleitertechnologie, Strukturierungstechnik und Schaltungstechnik bis hin zur Gehäuse- und Systemintegration zusammenzuführen, um marktfähige Produkte und wirtschaftliche Fertigungsverfahren entwickeln zu können.

Die herkömmliche Siliziumtechnologie hat es jedoch schwer, all diese unterschiedlichen Anforderungen auf einem Chip zu realisieren. Neue Packaging-Technologien auf Wafer Ebene und Entwicklungen im First Level Packaging liefern die Lösung. Nur so können bei maximaler Funktionalität durch Elimination von Fertigungsebenen Kosten reduziert werden, was auch für die Produktion kleinerer Stückzahlen gilt.

Die C2E®solutions-Plattform (Chip to Environment) von microFAB Bremen bietet eine Möglichkeit, mikrosystemtechnische Bauelemente mit ihrer Umgebung und somit mit ihrem späteren Einsatzgebiet zu verbinden. Ziel ist es, alle Komponenten so zu verknüpfen, dass möglichst wenig unterschiedliche Materialien und elektrische Verbindungen nötig sind. Die vielfältigen Erscheinungsformen von MST-Bauteilen erfordern hierfür unterschiedliche Konzepte. Die Plattform schafft – unabhängig von Ausgangssituation und Einsatzgebiet – eine Lösung auf Waferlevel, die die typischen Aufgaben eines Packagings wie Ankontaktierung, Kapselung und Gehäuseung in einem Schritt abdeckt.

C2E®sub beinhaltet ein Ausgangssubstrat, auf dem die eigentliche Herstellung eines MST-

Bauelements durchgeführt werden kann. Das Substrat verfügt über die notwendigen Durch- und Ankontaktierungen sowie über die Möglichkeit, Kavitäten oder weitere Funktionselemente zu erzeugen. Ebenso kann es als Mittler zwischen einzelnen Bauelementen und auch mikroelektronischen Komponenten wie zum Beispiel ASICs dienen.

Überall dort, wo MST-Bauelemente einen speziellen Schutz oder eine bestimmte Atmosphäre benötigen, kommt die C2E®cap-Lösung zum Einsatz. Verkapselung und Ankontaktierung des sensitiven Bauelements sind in unterschiedlichen Ebenen auf Waferlevel möglich. Oftmals ist die direkte Anbindung an die Kontaktebene notwendig, ohne den Umweg über Drahtbondverbindungen zu gehen. Wo oberflächennahe Prozesse eine direkte Kopplung mit dem MST-Bauelement erforderlich machen, kommt die C2E®direct-Anbindung zum Einsatz.

Abbildung 5: Megasonic-Generator mit Single-Düse. Quelle: Sonosys Ultraschallsysteme GmbH.

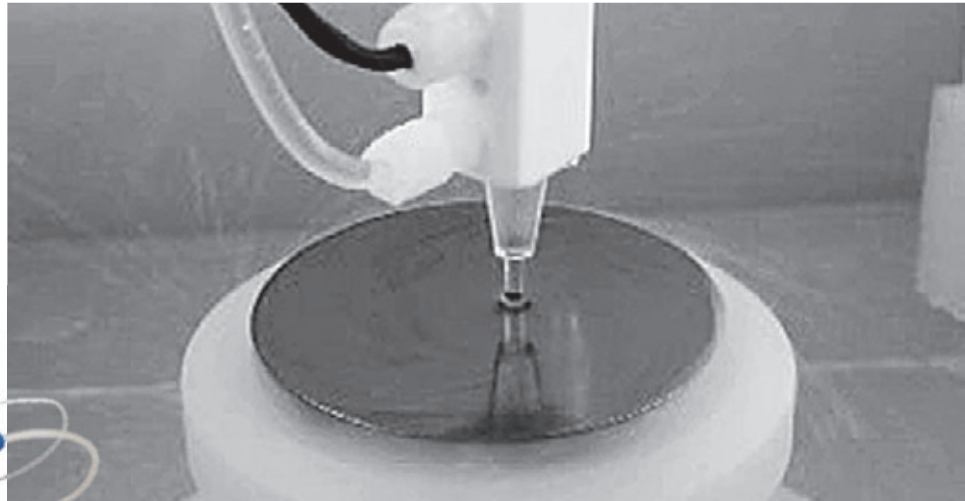


Abbildung 4: Megasonic-Düse, montiert auf einen beweglichen Arm, über rotierendem Wafer. Quelle: Sonosys Ultraschallsysteme GmbH.

Megasonic-Reinigung in der Mikrosystemtechnik und Halbleiterfertigung

Joachim Straka

Kleinste Strukturen nicht zu zerstören ist eine Herausforderung für Reinigungssysteme, die auf Mikroebene arbeiten. Ein Ultraschall-Reinigungssystem mit einer Arbeitsfrequenz von einem Megahertz (MHz), auch Megasonic-System genannt, ist dabei dem konventi-

Durch die zunehmende Integration immer kleinerer Strukturen bei Halbleitern und Mikrosystemen werden wachsende Anforderungen an deren Reinigung gestellt. Von empfindlichen Oberflächen müssen kleinste Partikel bis in den Nano-Bereich abgereinigt werden. Hochfrequente Ultraschall-Reinigungssysteme bieten eine wirkungsvolle Unterstützung bei Reinigungs-, Ätz- und Entwicklungsprozessen.

onellen, niederfrequenten Ultraschall mit zum Beispiel 40 Kilohertz (kHz) deutlich überlegen. Durch die wesentlich niedrigere Kavitationsenergie werden Mikrostrukturen nicht zerstört und der Reinigungsprozess dadurch optimiert. Megasonic-Systeme sind besonders für den Einsatz in Nassprozessen bei der Herstellung von Halbleiter-Wafern, Substraten und Mikrosystemen geeignet.

Funktionsweise eines Ultraschallsystems

Ein Ultraschallsystem besteht grundsätzlich aus drei Komponenten: dem Ultraschall-Generator, dem Ultraschall-Schwinger / Transducer und einer dem Reinigungsproblem angepassten Flüssigkeit. Der Ultraschall-generator wandelt die vom Netz gelieferte Wechselspannung von 50 beziehungsweise 60 Hertz (Hz) in eine Frequenz um, die der Betriebsfrequenz des Transducers entspricht. Üblich sind Frequenzen zwischen 20 kHz und drei MHz. Die so gewonnene elektrische Energie wird über eine abgeschirmte Leitung dem Transducer zugeführt.

Der Transducer wandelt diese elektrische Energie in mechanische Schallwellen um und bringt die ihn umgebende Flüssigkeit zum Schwingen. Jede Schwingung bewirkt in der Flüssigkeit abwechselnd eine Überdruck- und eine Unterdruckphase, je nachdem ob sich der Transducer ausdehnt oder zusammenzieht. Während der Phase des Zusammenziehens (Unterdruckphase) entstehen in der Flüssigkeit infolge ihrer begrenzten Zugfähigkeit kleine Hohlräume. Diese kleinen Hohlräume stürzen in der folgenden Ausdehnungsphase des Transducers (Überdruckphase) zusammen. Sie implodieren. Dieses Phänomen nennt man Kavitation.

Um die Kavitationsblasen herum entstehen durch das knallartige Implodieren hohe örtliche Drücke sowie starke Turbulenzen und Strömungen in der Flüssigkeit. Diese Erscheinungen sind die eigentlichen Kriterien, die zum Ablösen von Schmutzpartikeln führen. Kavitationsblasen entstehen vorwiegend an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und

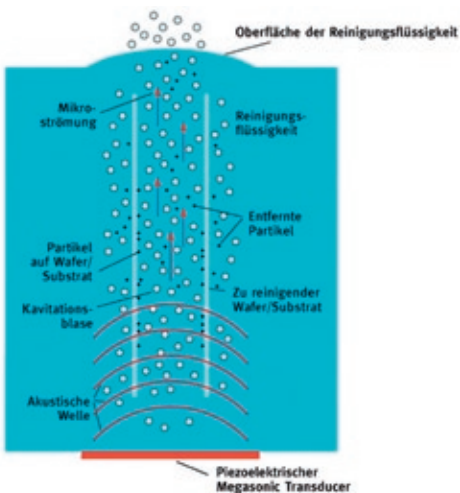


Abbildung 2: Prinzip der Megasonic-Reinigung. Quelle: Sonosys Ultraschallsysteme GmbH.

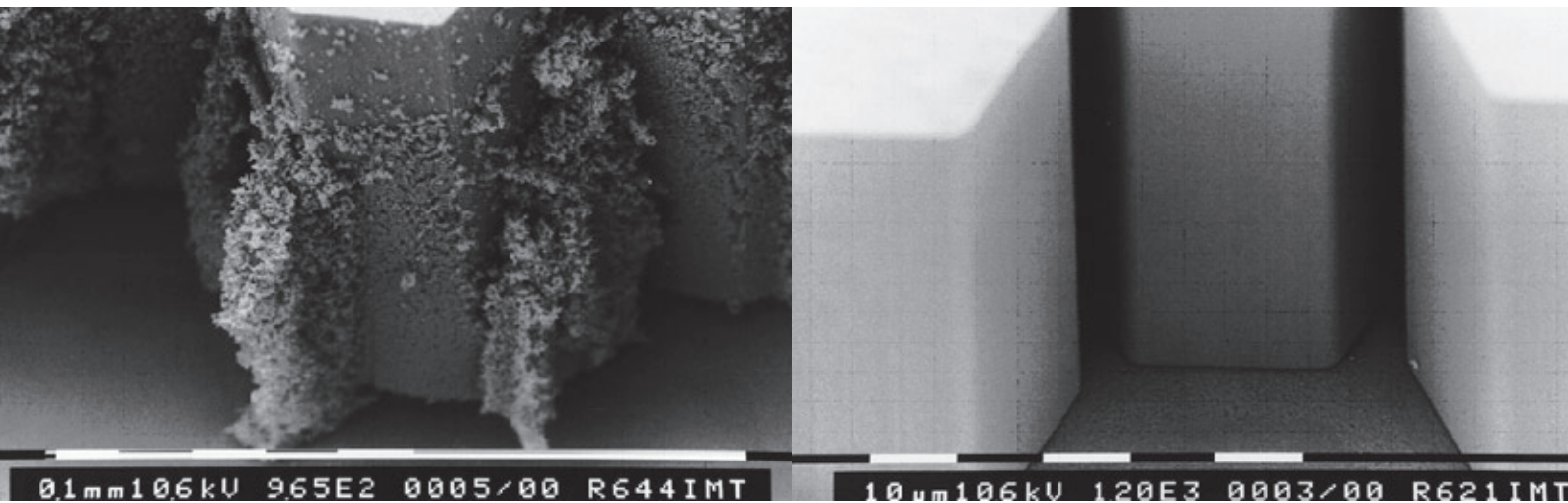


Abbildung 3: Entwickelte Mikrostruktur vor und nach der Megasonic-Reinigung. Quelle: Sonosys Ultraschallsysteme GmbH / Forschungszentrum Karlsruhe.

Reinigungsgut – also genau dort, wo sie erwünscht sind. Bei einer Ultraschallfrequenz von beispielsweise 25 kHz entstehen jedoch kurzzeitig Temperaturen von über 5000° C – Bedingungen wie auf der Sonnenoberfläche – und Drücke bis 500 bar. Diese hohen Temperaturen und Drücke können fragile Strukturen zerstören.

Megasonic-Systeme

Mit Megasonic werden Ultraschallsysteme bezeichnet, die im Frequenzbereich von circa 700 kHz bis drei MHz arbeiten. Die hierbei in Flüssigkeiten erzeugte Kavitation und Mikroströmung ermöglicht das Ablösen von anhaftenden Partikeln bis in den Nano-Bereich, zum Beispiel von empfindlichen Substratoberflächen und aus Gräben von Mikrostrukturen. Die Partikelgröße und die Empfindlichkeit der Substratoberfläche sind Kriterien für die Auswahl der geeigneten Ultraschall-Frequenz (s. Abbildung 1). Somit kann eine schonende Reinigung von äußerst empfindlichen Strukturen gewährleistet werden.

Hierzu gehört auch eine Prozessunterstützung bei der Entwicklung von Mikrostrukturen mit hohem Aspektverhältnis. Von besonderer Bedeutung bei der Herstellung von Mikrostrukturen durch Röntgenlithografie ist die rückstandsfreie Entwicklung enger und tiefer Strukturen. Beim Entwicklungsprozess dieser Mikrostrukturen (zum Beispiel durch LIGA-Technik) werden die Partikel durch die auftretende Mikroströmung vollständig herausgespült und die Entwicklungszeiten um den Faktor 7 verkürzt. Für fragile Strukturen kann die Tiefe der Strukturen um den Faktor 2 vergrößert werden (s. Abbildung 3).

Bestmögliche Reinigungsergebnisse

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) des Forschungszen-

trums Karlsruhe wurde die Megaschallreinigung von Silizium-Mikromechanikstrukturen untersucht. Die verwendeten Chips sind 500 Mikrometer dick, drei Millimeter lang und weisen an der Stirnseite einen freistehenden Siliziumbalken von fünf Mikrometer Dicke und 300 Mikrometer Länge auf. Senkrecht auf dem Siliziumbalken ist ein spitzer Tip integriert, der zum Beispiel für Anwendungen in der Rasterkraftmikroskopie genutzt wird. Ziel der Untersuchungen war es, die Oberfläche von Resistrückständen zu reinigen, ohne dabei den extrem fragilen Siliziumbalken oder den Tip zu beschädigen.

Auf einer Kaptonfolie ist eine etwa einen Mikrometer dicke Primärschicht aufgebracht, die mit einem Laser strukturiert wurde. Hier galt es Ablationsreste zu entfernen. Die Reinigung wurde bei Raumtemperatur in DI-Wasser mit Netzmittel und einer Intensität von 10 W / cm² durchgeführt. Die Ablationsreste konnten ohne Beschädigung der Strukturen oder der Primärschicht entfernt werden.

Single-Substrat-Reinigung mit Megasonic-Düse

Für die Reinigung einzelner Substrate eignet sich besonders eine Megasonic-Düse, die mit einem Abstand von fünf bis 20 Millimetern über das rotierende Substrat geführt wird. Der in der Düse integrierte Piezo-Transducer erzeugt eine Megasonic-Welle, die über ein fließendes Medium auf die Oberfläche des Substrats übertragen wird. Die Megasonic-Energie wird hierbei auf einen schmalen Punkt von vier Millimetern konzentriert. Mittels der Düse ist ein kontaktloser Reinigungsprozess mit stets partikelfreiem Reinigungsmedium möglich. In Abhängigkeit vom eingesetztem Reinigungsmedium und der Medientemperatur kann so zum Beispiel ein 200-Millimeter-Siliziumwafer innerhalb von nur einer Minute komplett von Partikeln wie Si₃N₄ und SiO₂ abgereinigt werden.

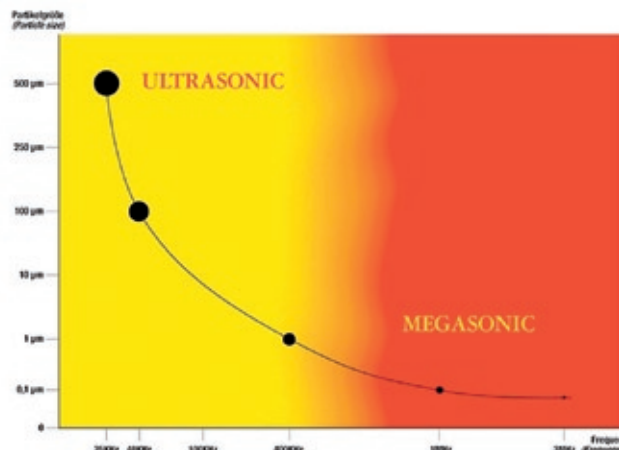


Abbildung 1: Partikelgröße im Verhältnis zur Ultraschallfrequenz. Quelle: Sonosys Ultraschallsysteme GmbH.

Sonosys Ultraschallsysteme GmbH, Neuenbürg
www.sonosys.de

All-in-One: Kompakte Arbeitsplätze auf dem Vormarsch

Anke Wagner-Menschig
Dr. Arnd Menschig

Diese Problematik bei der Fertigung ist zum Beispiel in der Medizin-, Laser- und Informationstechnik oder Sensorik aktuell. Bei einem Produktionsvolumen von 1.000 bis 100.000 Stück pro Jahr und dem Trend zu immer präziseren Herstellungsverfahren wird nach gleichzeitig kostengünstigen und individuellen Lösungen gefragt. Für viele Produkte ist eine Fertigung in Reinraumqualität gewünscht. Ein Lösungsansatz liegt darin, kompakte Kombinationsarbeitsplätze auf kleinstmöglicher Fläche zu schaffen. Nur ein Arbeitstisch reicht aus, um darauf eine Vielzahl von Bearbeitungsschritten zu kombinieren. Diese sogenannte „Desktop-Factory“ ermöglicht individuell konfigurierbare Arbeitsplätze. Ein Systembaukasten liefert die notwendigen Werkzeugkomponenten und Prozessmodule.

Die Fabrik in Miniaturgröße

Eines dieser Baukastensysteme heißt „Mini-MoS“ – der Name steht für „miniaturisiertes modulares System“. Dank einer standardisierten Schnittstelle der Komponenten untereinander wird eine große Variantenvielfalt in der Handhabung der Bauteile gewährleistet. Daraus

kleine und mittelständische Unternehmen, die als Anbieter von technologisch anspruchsvollen Produkten auftreten, haben es heute nicht leicht. Sie wollen konkurrenzfähig Kleinstteile produzieren, bearbeiten und montieren. Auch Produktionsvarianten sollten vielfältig verfügbar sein. Doch wie rechnet sich flexible Präzisionsfertigung bei einem nur kleinen Produktionsvolumen?

ergeben sich Kombinationsmöglichkeiten von Handhaben, Montieren, Konfektionieren, Kleben, Bonden, Schweißen etc., die speziell auf die Bedürfnisse des Anwenders zugeschnitten werden können. Auch mikroskopische Qualitätssicherung und Laserbearbeitung werden bei Bedarf integriert, wobei eine Koppelung mit Messsystemen von anderen Herstellern möglich ist.

Die Möglichkeiten des Ausbaus und der Automatisierung kommen einer flexiblen Produktgestaltung bei kleineren Stückzahlen entgegen. Sogar die Fertigung mit Reinraumstandard ist erstmals auch für Kleinserien attraktiv. Dadurch wird dieser Ansatz insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen interessant. So können beispielsweise im Sensorikbereich faseroptische Steckverbinder und Umschalter, Drehübertrager, Fasersensoren und fasergekoppelte Laserdioden mit rentablen Fertigungslösungen produziert und neue Produktvarianten eingeführt werden.

Klein- und Mittelserien können mit der Mini-Fabrik manuell bis teilautomatisch gefertigt werden. Dabei spart der Einsatz von kleinbauenden Fertigungseinheiten Produktionsfläche. Eine noch größere Montagegenauigkeit ist zukünftig in den Bereichen Mikrooptik und Faseroptik zu erwarten. Doch auch bei elektromechanischen und fluidischen Systemen ist der Trend zu Miniaturisierung und steigender Präzision zu erkennen. Dem tragen modulare Handhabungs- und Transportlösungen ebenso wie integrierte geregelte Justierprozesse Rechnung.

Kombinieren und Messen

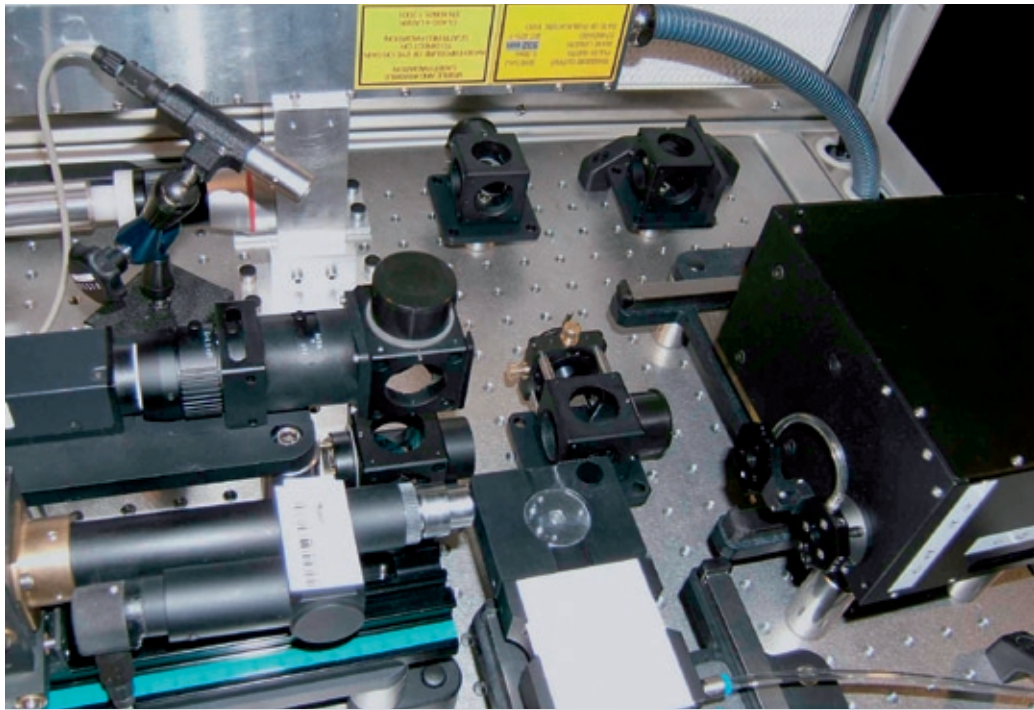
Hochpräzises Laserlöten von zwei Metalldrähten im Mikrobereich sieht mit der Desktop-Factory wie folgt aus. Die beiden Drähte – 400 und 140 Mikrometer dünn – sollen mit einer Überlappung von etwa einem Millimeter verlötet werden und dabei eine Maximaldicke von 600 Mikrometer nicht überschreiten. Nach der manuellen Grobpositionierung der Drähte wird durch einen Miniaturroboter die Feinstpositionierung vorgenommen. Ein Kleinstmengendosierer sondert die benötigte Menge an Lotpaste auf die Lötstelle ab. Der Lötprozess selbst wird automatisch mit einem Hochleistungs-Halbleiterlaser durchgeführt. Das Erwärmen, Löten und Abkühlen der Lötstelle erfolgt in einem Zeitraum von unter fünf Sekunden.

Ein Qualitätsmessplatz zur Bestimmung opto-elektronischer Parameter von Laserdioden kombiniert analog die folgenden Arbeitsschritte. Die Grobpositionierung des Laserhalters erfolgt durch ein Achssystem mit pneumatischem Hub. Feinstpositionierung und Faserkopplung wird mittels eines Miniaturroboters in drei Raumrichtungen durchgeführt. Eine spezielle Software misst die optischen Leistungsdaten und legt diese in einer Datenbank ab. Damit können auch verschiedene mechanische Aufbauten mit integrierten Konzepten qualifiziert werden.



Unter der Haube: Geschlossene Arbeitsplätze bis hin zum lokalen Reinraum haben transparente Scheiben. Die hochpräzisen Arbeitsschritte bei Fertigungsprozessen mit Lasern sind hinter dem Schutzfenster verborgen. Quelle: Milasys technologies GmbH.

Lasermikrobearbeitung:
Zusammenwirken der Prozessschritte Positionieren, Greifen, Bearbeiten, Messen und Laserbearbeiten (im Uhrzeigersinn von rechts außen). Quelle: Milasys technologies GmbH.



Laserbearbeitung im Reinraum

Die Laserstrukturierung von Piezo-Keramikschichten auf Silizium-Metall-Trägermaterialien im lokalen Reimraum verbindet eine Vielzahl unterschiedlicher Prozessschritte und ist noch um andere Schritte wie Handhaben, Dispensen oder Inspektionsvorgänge erweiterbar. Ein in den Laserkopf integriertes Zoom-Vision-System erlaubt vor und nach der Bearbeitung eine 10- bis 50-fache Vergrößerung der Probenoberflächen. Auch können damit defekte Oberflächen lokalisiert und der Roboter entsprechend anders für die Bearbeitung positioniert werden.

Die Probe wird durch einen Vakuumgreifer am Miniaturroboter in senkrechter Position fixiert, wodurch Verunreinigungen vermieden werden. Aufgrund der horizontalen Montage des Laserkopfes auf der Grundplatte sind eine Strukturierung in der Probenebene sowie eine Fokussierung der Laserstrahlen auf diese gewährleistet. Bei Bedarf ist mit dem Miniaturroboter eine Fokusänderung senkrecht zur Probenoberfläche möglich, sodass bei idealer Prozessführung dreidimensionale Strukturen erzeugt werden können. Durch ein zusätzliches Mikroskop ist eine hochaufgelöste Untersuchung der Probe nach der Laser-Mikrostrukturierung möglich. Eine Bilddokumentation mit Hilfe von Vision-Software gestattet eine quantitative Linienbreitenmessung mit beiden optischen Systemen. Ergänzend können Werkzeuge zum Dosieren von elektrisch leitfähigen Klebstoffen und zum Handhaben von Feindrähten angebracht werden. Dem weiteren Aus- oder Umbau des Kombinationsarbeitsplatzes sind quasi keine Grenzen gesetzt.



Auf einer Arbeitsfläche von 50 x 50 cm arbeiten vier Miniaturroboter mit verschiedenen Greifern und einem Dosierwerkzeug zusammen.

Ergänzende Prozessmodule sind Visionssysteme und Mikroskope zum Beobachten und Messen, Dispenser und Löt laser zum Fügen sowie Laserbearbeitungsköpfe, Handhabungsgeräte und -plattformen zum Bearbeiten und Fertigen. Quelle: Milasys technologies GmbH.

Der nächste Schritt ist die Verkettung mehrerer kompakter Arbeitsplätze. Die dadurch entstehende Mikroproduktionslinie ist Inhalt eines aktuellen Förderprojektes. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA), Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PFT), betreut. Eine erste öffentliche Premiere der Ergebnisse findet auf der Hannover Messe 2006 statt.

Vorsprung in keramischer Sensorik durch Mikrosysteme

Dr. Olaf Kieseewetter
Sven Kittelmann

Die Bestimmung der Temperatur ist die weltweit zweithäufigste Anwendung sensorischer Transducer. Bedingt durch den technischen Fortschritt, aber auch beschleunigt durch Vorgaben von Gesetzesgebern, ergeben sich immer mehr Wachstumsmärkte für diese Messaufgabe. Um den steigenden Anforderungen im technologischen Wettbewerb zu entsprechen, sind innovative sensorische Komponenten und kostengünstige Systeme gefragt. Auf technologischen Standardverfahren basierend platzieren diese durch den Einsatz von Mikrosystemtechnik neue Lösungswege im Markt.

Die sensorische Erfassung von Gasen gehört ebenfalls zu den meistverbreiteten Messaufgaben. Hierbei sind ortsgebundene und transportable Messsysteme zu unterscheiden, die zum einen singuläre Gaskomponenten hochselektiv bestimmen sowie zum anderen den steigenden Bedarf an der komponentenspezifischen Analyse von Gasgemischen erfüllen.

Einsatzgebiete keramischer Sensorik

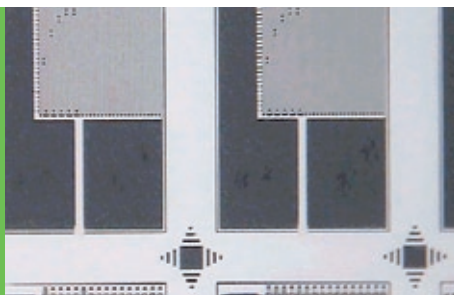
Keramische Sensorik bietet gegenüber anderen Technologien eine Vielzahl von an-

wendungsspezifischen Vorteilen. Speziell bei Hochtemperaturapplikationen werden diese in der Temperatursensorik deutlich. Durch die Kombination verschiedener Mikrostrukturierungen und -beschichtungen auf keramischen Standardsubstraten konnte ein Subsystem für die kontinuierliche Erfassung von Temperaturen von -40 °C bis $+950\text{ °C}$ entwickelt werden (Projekt 2004 FE 0032 der Thüringer Aufbaubank). Miniaturisierte, hochauflösende und vor allem systemkompatible Temperatursensoren ermöglichen verschiedenste großvolumige Anwendungen. So wird mittelfristig die Implementierung von kleinsten und höchstohmigen Platin-Temperatursensoren als Pt10.000 auf $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ gemäß DIN EN 60751 in RFID-Systeme angestrebt (Projekt 16 SV 2037 des BMBF).

In der Gasesmesstechnik sind die Anforderungen an ortsgebundene Messgeräte in der DIN EN 50194 beschrieben. Um ein selektives Messsystem für Methan zu entwickeln, war es unter anderem notwendig, die Mechanismen von katalytisch dotierten Metalloxid-Halbleiter-Gassensoren mittels Mikrostrukturierung

zu optimieren. Durch die neuartige Strukturierung wurden bei den Gassensoren minimale Stegbreiten im Bereich der sensitiven Schicht erreicht. Diese lagen bei fünf Mikrometern. Dadurch ließen sich sowohl die Selektivität als auch die Stabilität des Sensorelementes steigern. Somit wurde die Basis für ein DIN-konformes Messsystem für Haushaltsanwendungen geschaffen (Projekt 16 SV 1565 des BMBF).

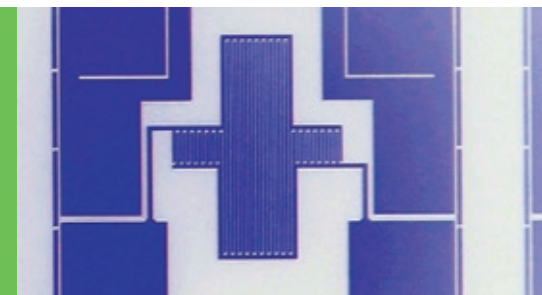
Die Bestimmung komplexer Gasgemische, wie sie beispielsweise in der Schwelbranddetektion als Sicherheitsanwendung notwendig ist, erfolgt derzeit über den Einsatz von mehreren, verschiedenartig sensitiven Sensorelementen. Da marktfähige Massenapplikationen eine komponentenspezifische Analyse von Gasgemischen fordern, werden preisgünstige Subsysteme benötigt. Durch die Verbindung ausgewählter Komponenten mit einer neuartigen Layoutgestaltung durch Mikrotechnik und einer patentierten elektronischen Beschaltung liegt ein hochkomplexes Mikrosystem von On-Chip-Array-Gassensoren mit definierbaren Schnittstellen vor. Aufgrund seiner



Waferausschnitt von mikrostrukturierten Temperatursensoren (Pt1.000 auf $1,25\text{ mm} \times 1,6\text{ mm}$).
Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH.



Mikrostrukturierter Temperatursensor (Pt1.000 auf $1,25\text{ mm} \times 1,6\text{ mm}$).
Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH.



Mikrostrukturierter Gassensor ($1,2\text{ mm} \times 1,2\text{ mm}$).
Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH.

Vielzahl von Freiheitsgraden ist davon auszugehen, dass kundenspezifische Applikationen bedient werden können.

Suche nach dem Leck

Die Applikationen für transportable Gasmessgeräte sind sowohl bei bestehenden Systemen als auch bei neuartigen Konzepten sehr vielfältig. Ein mögliches Einsatzgebiet ist die Lecksuche an gasführenden Leitungen. Bei der Kombination verschiedener Transducer lassen sich durch geeignete Signalauswertung die Vorteile der jeweiligen Sensorelemente optimieren. Weiterhin besteht die Möglichkeit von redundanten und diversitären Sicherheitssystemen. Kombiniert man die angesteuerte, hochauflösende Temperaturmesstechnik mit On-Chip-Array-Gassensoren, so entstehen Lecksuchgeräte, die als künstliche Nasen komplexe Gasgemische detektieren können.

Hieraus erschließt sich auch die Einsatzmöglichkeit von ortsbundenen Gasmessgeräten in allgemeinen Fertigungsprozessen, beispielsweise zur Dichtigkeitskontrolle von Produkten. Eine verbreitete Methodik in der

Kälte- und Klimatechnik ist die Detektion von Leckagen mittels Formiergas, welches aus Sicherheitsgründen aus fünf Prozent Wasserstoff und 95 Prozent Stickstoff zusammengesetzt ist. Werden die zu prüfenden Systeme hiermit beaufschlagt, so können aufgrund der niedrigen, dynamischen Viskosität von Wasserstoff bei geeigneten Messsystemen Leckageraten bis zu 10⁻⁷ mbar l/s festgestellt werden.

Die UST Umweltsensortechnik GmbH hat sich auf die Entwicklung und Fertigung von Sensorelementen auf keramischer Basis für die Temperatur- und Gasmesstechnik und deren Implementierung in neuartige Produkte spezialisiert. Die dazugehörige Strukturierungs- und Beschichtungstechnologie ist Basis der zu fertigenden Sensorelemente für Mikrosysteme. Mit unterschiedlichen Systemkomponenten ergeben sich diverse messtechnische Möglichkeiten.



Dichtigkeitsprüfung eines Klimagerätes mittels Wasserstoffdetektion. Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH.



Besuch im UST-Vertriebsbüro in Delhi (v.l.n.r.: Dr. O. Kiesewetter, S. Saggarr, H. S. Hanspal [Präsident des Punjab Pradesh Congress Committee], G. S. Randhawa, A. Shweta, D. Heyer). Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH.

Potenziale in Indien

Als ein strategischer Ansatz werden bei UST stetig die zukünftigen Wachstumsmärkte analysiert. Hierbei weist Indien als zweitbevölkerungsreichstes Land mit einem aktuellen Wirtschaftswachstum von über acht Prozent enorme Potenziale auf. Nach ersten Kontakten ist erkennbar, dass in Indien ein Verständnis für die Probleme der Zukunft existiert – man begreift dort zunehmend die Wichtigkeit eines ressourcenschonenden Wachstums. In einfachen und komplexen sensorischen Mikrosystemen – sowohl in der Temperatur- als auch in der Gasmesstechnik – könnte gerade für Indien eine Möglichkeit der Energieeinsparung von Morgen bestehen, weshalb hier ein überproportionales Wachstum für die angestrebten Märkte existiert.

Mehr zum Thema auf der Hannover Messe 2006

Organisiert vom IVAM Fachverband für Mikrotechnik, werden auf dem Forum „Innovations for Industry“ vom 24.-28. April 2006 im Rahmen der MicroTechnology innovative Produkte und Branchentrends präsentiert. Am 24. April 2006 hält Dr. Olaf Kiesewetter (UST) um 13.05 Uhr einen Vortrag zum Thema: „Mikrosystemtechnik: Ein Schlüssel für internationale Märkte am Beispiel Indien“. Das Forum befindet sich gegenüber dem IVAM-Gemeinschaftsstand Produktmarkt Mikrotechnik in Halle 15, Stand D 36.



Dr. Hans-Herrmann Schreier
Vorstandsvorsitzender der
NanoFocus AG



Rainer Liebe
Leiter Applikation der
NanoFocus AG

Wertschöpfung durch Wertschätzung

Die regelmäßige Wartung von technischen Anlagen ist für jedes Unternehmen selbstverständlich – gilt hier doch das Motto „Return on Invest“. Dass sich nicht nur Investitionen in Technik, sondern auch in Menschen im wahrsten Sinne des Wortes auszahlen, wird häufig unterschätzt. Die NanoFocus AG aus Oberhausen verankert das Prinzip der gegenseitigen Wertschätzung ausdrücklich in ihrer Unternehmenskultur – und sieht das „weiche“ Personal-Thema als kalkulierten Invest. Den Anstoß hierzu gab das BMBF-Projekt „Diversity als Innovationskultur (DIVINKU)“. »inno« sprach mit dem Vorstandsvorsitzenden Dr. Hans-Herrmann Schreier und dem Leiter Applikation Rainer Liebe darüber, wie sich gegenseitige Wertschätzung für ein Unternehmen auszahlt.

Warum investieren Sie Zeit und Geld in eine Unternehmenskultur, die von gegenseitiger Wertschätzung geprägt ist?

Schreier: Über den besonderen Stellenwert des Begriffs Wertschätzung habe ich mir kaum Gedanken gemacht, bis ich mit dem Divinku-Projekt konfrontiert wurde. Meine persönliche Einstellung war immer davon geprägt, anderen Mitmenschen mit wohlwollendem Respekt gegenüberzutreten. Diese Grundeinstellung ist Ausgangspunkt für eine konstruktive Kommunikation und ein erfolgreiches Miteinander in einem Unternehmen. Innovationen in Form neuer Produkte wie unserer Oberflächenanalysetools im Mikro- und Nanometerbereich, aber auch in Form neuer Verfahren und Organisationsformen sind entscheidende Erfolgsfaktoren bei der NanoFocus AG. Nachhaltige Innovationen sind aber nur durch das effektive und effiziente Zusammenarbeiten einer Vielzahl von internen und externen Mitwirkenden mit unterschiedlichen Erfahrungen, Ausbildungen und Kompetenzen möglich. Um mit dieser Vielfalt zu einem sinnvollen Ergebnis zu kommen, ist eine Zusammenarbeit auf der Grundlage von gegenseitiger Anerkennung und Respekt wichtig. Diese gegenseitige Wertschätzung ist für die Zusammenarbeit wie ein „Schmiermittel“ – und führt zu Wertschöpfung und nachhaltigem Wachstum für das Unternehmen. Die menschlichen Aspekte und die handfesten betriebswirtschaftlichen Auswirkungen haben uns veranlasst, die Wertschätzungskultur in unserem Unternehmen genauer zu betrachten, positive Ergebnisse transparent zu machen und Maßnahmen zur weiteren Verbesserung einzuleiten.

Welche Maßnahmen haben Sie konkret durchgeführt?

Liebe: Ein wesentlicher Faktor zur Steigerung der Wertschätzung im Unternehmen ist die Verbesserung der Kommunikation. Dies konnte bei NanoFocus durch verschiedenste Maßnahmen erzielt werden. Kommunikative „Barrieren“ zwischen den einzelnen Abteilungen wurden durch abteilungsübergreifende informelle Treffen überwunden. Eine Wissensdatenbank, die die Aufgaben der einzelnen Mitarbeiter vor-

stellt, brachte ebenfalls mehr Transparenz. Als sehr praktisch hat sich die Einführung von Internettelefonie erwiesen. Telefonkonferenzen können jetzt schneller einberufen werden, was zu einer besseren Integration von Mitarbeitern außerhalb des Stammwerks geführt hat. Nicht zuletzt haben wir auch die Führungskräfte der mittleren Ebene angesprochen. Hier wurde unter anderem das Vorgesetztenverhalten gegenüber Mitarbeitern geschult, um beispielsweise auf Konfliktsituationen richtig zu reagieren.

Wie verträgt sich Wertschätzung mit Konfliktsituationen?

Schreier: Wertschätzung bedeutet nicht, Konflikte aus dem Weg zu gehen. Im Gegenteil: Eine aktive und faire Kommunikation kann die Konfliktbewältigung unterstützen und ist gelebter Bestandteil der Wertschätzungskultur. Diese erstreckt sich auf verschiedene Ebenen: auf einen selbst, das Team, die anderen Abteilungen und auf das gesamte Unternehmen.

Was hat sich für Sie und Ihre Kollegen persönlich durch den Kulturwandel bei NanoFocus verändert?

Schreier: Veränderungen setzen voraus, dass man sich der eigenen Situation und der Herausforderung, bessere Ergebnisse zu erzielen, bewusst wird. Eine Unternehmensbefragung durch externe Fachexperten im Rahmen des Divinku-Projekts hat ergeben, dass sich unsere Mitarbeiter mit der NanoFocus AG und ihren Produkten identifizieren. Es besteht eine hohe Bereitschaft, Veränderungen mit zu gestalten und sich aktiv ins Unternehmen einzubringen. Diese Wertschätzung der Mitarbeiter gegenüber dem Unternehmen zeigt, dass es dem Management gelungen ist, eine wichtige Führungsaufgabe zu erfüllen. Weiterhin ist ins Bewusstsein gerückt, die Kommunikation zwischen den verschiedenen Ebenen des Unternehmens zu verbessern. Dazu wurden die vielen vorgeschlagenen Maßnahmen zur Veränderung gemeinsam mit den Mitarbeitern gesichtet und mit Prioritäten versehen. Die Vorstellung der Mitarbeiter, was sachlich wichtig und zeitlich dringend ist, wurde ernst genommen. Die Maßnahmen wurden bereits mit großer Einsatzbereitschaft aller

Beteiligten angepackt und zeigen erste positive Ergebnisse.

Was würden Sie anderen Firmen raten – von welchen Ihrer Erfahrungen können kleine und mittelständische Unternehmen profitieren?

Schreier: Man sollte es als Tatsache begreifen, dass Wertschöpfung durch Wertschätzung ein unsichtbarer, aber in seiner Auswirkung handfester betriebswirtschaftlicher Erfolgsfaktor ist. Komplexe Betriebsabläufe sind nur handhabbar, wenn die vielfältigen Kompetenzen aller Beteiligten zielgerichtet eingesetzt werden. Kommunikation und gegenseitige Wertschätzung sind dabei die „Schmiermittel“, um „Sand im Getriebe“ mit den bekannten Verschleißerscheinungen zu vermeiden. Eine unabhängige, von externen Fachexperten durchgeführte Bestandsaufnahme zum Thema Wertschätzung und Kommunikation sollte alle Aspekte der Unternehmensebenen umfassen, durchgeführt als Einzelbefragung oder Kleingruppendiskussion. Die Ergebnisse geben für das Management durchaus unerwartete positive aber auch kritische Resonanzen wider. Dies sind wertvolle Ausgangspunkte für eine zielgerichtete Veränderung der Wertschätzungskultur.

Projekt-Kurzinfo:

Die NanoFocus AG beteiligt sich gemeinsam mit dem Sensorhersteller HL-Planartechnik GmbH, der KSG Leiterplatten GmbH und der Bürkert GmbH & Co. KG am Verbundprojekt „Diversity als Innovationskultur (DIVINKU)“. Einer von drei Transferpartnern ist der IVAM Fachverband für Mikrotechnik. Das Projekt wird vom BMBF gefördert und läuft bis Februar 2007. Ziel ist es, die Erfolge der beteiligten Unternehmen dauerhaft zu sichern und die Projektergebnisse interessierten Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Hierzu findet im August 2006 der 1. DIVINKU-Stammtisch statt. Für weitere Informationen und Anmeldungen steht Anja Stenzel gerne zur Verfügung (Tel.: +49 (0) 231 9742-147 / ast@ivam.de).

www.diversity-innovation.de

NanoFocus AG, Oberhausen
www.nanofocus.de

Messen, Fachausstellungen, Veranstaltungen

Detaillierte Informationen und Anmeldeunterlagen zu den Gemeinschaftsmesseständen Produktmarkt Mikrotechnik, Neue Materialien und Hightech for Medical Devices von IVAM erhalten Sie von Katrin Manka, Telefon: +49 (0) 231 9742 7081, E-Mail: km@ivam.de oder im Internet: www.ivam.de > Messen/Termine.

IVAM-Veranstaltungen

Hannover Messe/MicroTechnology
24. – 28. April 2006, Hannover, D
Internationale Leitmesse für Mikrotechnik-Produkte. IVAM veranstaltet eine Sonder-schau mit Forum und Gemeinschaftsstand.
www.hannovermesse.de

Materialica
10. – 12. Oktober 2006, München, D
Internationale Fachmesse für Werkstoff-anwendungen, Oberflächen und Product Engineering. IVAM organisiert den Produktmarkt Mikrotechnik, den Produktmarkt Neue Materialien und ein Forum. Anmeldung möglich.
www.materialica.com

Medica/Compamed
15. – 17. November 2006, Düsseldorf, D
Internationale Medizintechnik-Messe. Produktmarkt Hightech for Medical Devices und Ausstellerforum. Anmeldung möglich.
www.medica.de

Weitere Veranstaltungen

MEMS China
18. – 25. April 2006, Chongqing, CN
Industriemesse.
www.mdc.com.cn

Analytica
25. – 28. April 2006, München, D
Messe für die Analytik-, Labortechnik- und Life Sciences-Branche.
www.analytica-world.com

Nanoparticles for European Industry
2. – 3. Mai 2006, London, GB
Konferenz.
www.nano.org.uk

**Aachener Kolloquium für Lasertechnik/
Technologie Business Tag**
3. – 5. Mai 2006, Aachen, D
Technologische Fachkonferenz.
www.ilt.fraunhofer.de/ger/100818.html

Nanotrends
8. – 11. Mai 2006, Berlin, D
Nanotechnologie-Kongress.
www.nanotrends.de

Microsys
9. – 12. Mai 2006, Sinsheim, D
Fachmesse für Mikrosystemtechnik und Ultrapräzisionsfertigung.
www.microsys-messe.de

iMEMS
9. – 12. Mai 2006, Singapur, SG
Internationale MEMS-Konferenz.
www.nanomicro.org/imems06

International Workshop on Spectral Imaging
13. Mai 2006, Graz, A
Internationaler Workshop.
www.ctr.at

Achema
15. – 19. Mai 2006, Frankfurt, D
Internationaler Ausstellungskongress für Chemische Technik, Umweltschutz und Biotechnologie.
www.chema.de

Minatec® Crossroads
29. Mai – 1. Juni 2006, Grenoble, F
Verschiedene Veranstaltungen der Nanotechnik-Branche und Eröffnung des europaweit größten Zentrums für Mikro- und Nanotechnologie.
www.minatec-crossroads.com

Sensor+Test
30. Mai – 1. Juni 2006, Nürnberg, D
Internationale Messe für Sensorik, Mess- und Prüftechnik.
www.sensor-test.com

Optatec
20. – 23. Juni 2006, Frankfurt, D
Internationale Fachmesse optischer Technologien.
www.messefrankfurt.com

Im Juli 2006 erscheint die nächste Ausgabe der »inno« mit dem Thema „Konsumgüterindustrie“. **Einsendeschluss ist der 30. April 2006.**

Bitte kopieren und ausgefüllt zurückfaxen!

Unternehmen

Ansprechpartner

Straße/Nr.

PLZ/Ort

Telefon

Telefax

E-Mail

- Ich möchte »inno« abonnieren. Bitte nehmen Sie mich in den Verteiler auf und senden Sie mir die Zeitschrift regelmäßig kostenfrei zu.
- Meine Anschrift hat sich geändert. Bitte senden Sie »inno« in Zukunft an die oben genannte Adresse.
- Ich möchte »inno« nicht mehr erhalten. Bitte streichen Sie mich aus Ihrem Verteiler.

Bitte senden Sie mir kostenfrei folgende Informationen zu:

- MikroMedia, den E-Mail-Newsletter von IVAM mit Produktinformationen und Nachrichten aus der Mikrosystemtechnik (erscheint alle 3 Monate).

Meine E-Mail-Adresse:

- Informationen über den Gemeinschaftsmessestand von IVAM auf internationalen Fachmessen (Service-Paket, Teilnahmebedingungen, Anmeldeunterlagen) und Messeübersicht.
- Informationen über die Cluster-Analyse „MST-Atlas Deutschland 2005“ und Bestellformular.
- Allgemeine Informationen über den IVAM Fachverband für Mikrotechnik.
- Bestellformular für das IVAM-Mitgliederverzeichnis „MEMS Directory“ (kostenpflichtige Neuauflage).
- Informationen über den „Gründungsmonitor Mikro-/Nanotechnik 2006“ und Bestellformular.



* Wir machen in micro.

www.mikrotechnik-dortmund.de

Und das mit großem Erfolg. Mit unserem MST-Cluster, einem effektiven Netzwerk aus Wissenschaft und Wirtschaft, bieten wir ein optimales Umfeld: Über 20 Unternehmen mit rund 1.700 Beschäftigten sind bereits heute bei uns zu Hause. Und mit dem neu eröffneten Kompetenzzentrum für Mikro- und Nanotechnologie, der MST.factory dortmund wachsen wir weiter.

big in micro. Das neue Dortmund.

