

Mikroabformung

Ein Bericht zu Marktlage und Entwicklungspotential

Lutz Weber, Zweibrücken,
und Wolfgang Ehrfeld, Mainz

Marktvorhersagen wie die von Nexus Task Force Market Analysis for Microsystems [1] prognostizieren für 2002 ein Marktvolumen von ca. 40 Mrd. US\$. Mit ca. 30 Mrd. US\$ entfällt der größte Marktanteil auf bereits heute existierende Produkte vorrangig aus den Bereichen Automobil- und Kommunikationstechnik. Schlüsselprodukte sind hier Beschleunigungs- und Drehratensensoren, Temperatur- und Drucksensoren, Tintenstrahl-

Vorhersagen versprechen für den Mikrotechnikmarkt Wachstumsraten von über 20% pro Jahr. Für das Jahr 2002 wird ein Marktvolumen von ca. 40 Mrd. US\$ prognostiziert. Dem Anwender eröffnen sich viele verschiedene Verfahrensmöglichkeiten für die Herstellung mikrostrukturierter Kunststoffteile. Der Beitrag gibt einen Überblick zum Stand und Entwicklungspotential dieser Technik.

um den Faktor fünf in den letzten fünf Jahren auf heute ca. 2 US\$ pro Stück [2].

Kunststoffe spielen bei diesen auf Silizium basierenden Produkten bisher nur eine untergeordnete Rolle. Sie dominieren in noch jungen Mikrostrukturprodukten hauptsächlich für die Medizintechnik, die Biotechnik oder bei passiven Kunststoffkomponenten für optische Netzwerke. Beispiele sind [1, 2]

- ▶ Zerstäubersysteme für die Verabreichung von Medikamenten,
- ▶ Mikropumpen und -ventile,
- ▶ Mikrospektrometer für die Farbmessung,
- ▶ optische Schalter und Wellenleiterbauteile,
- ▶ Glukose- und Blutdrucksensoren,
- ▶ Komponenten für die minimal invasive Chirurgie oder mikrostrukturierte Einwegartikel für die Diagnostik.

Diese Anwendungsfelder lassen einen Milliardenmarkt für mikrostrukturierte Kunststoffteile mit typischen Teilstrukturabmessungen von einigen Mikrometern bis einigen 100 µm erwarten. Der Schlüssel dafür ist die Massenproduktion qualitativ hochwertiger Kunststoffteile, deren Kombination mit elektrischen,

optischen oder mechanischen Funktionseinheiten und die Integration in vollständige Mikrosysteme. Der Aufbau einer entsprechenden Produktionstechnik bringt zwangsläufig eine Anpassung aller Teilbereiche wie Maschinen, Werkzeuge, Designtools oder Mikromontage mit sich, die sich allerdings im Vergleich zur konventionellen Kunststofftechnik weitaus intensiver verzahnen und voneinander abhängen (Bild 1).

Die Bandbreite der Verfahren wird größer

Dem Anwender eröffnen sich heute eine Vielzahl von verschiedenen Verfahrensmöglichkeiten für die Herstellung mikrostrukturierter Kunststoffteile. Als Standardverfahren haben sich das Spritzgießen, das Heißprägen und das Vakuum(reaktions)gießen etabliert, letzteres vorrangig für die Fertigung von Funktionsmustern und Prototypen [3-5]. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Sonderverfahren, die die Bandbreite der Mikroabformung erweitern und neue Anwendungen ermöglichen.

Das **Folienhinterspritzen** wird angewandt für die Herstellung von Nanotiterplatten für das High Throughput Screening (HTS) von neuen Medikamenten, bei dem Wells mit einem Volumen von ca. 1 mm³ direkt auf eine 175 µm dünne Folie aus Polycarbonat aufgespritzt werden und eine feste Verbindung bilden [6]. Die Folien dienen hierbei als optisches Fenster für die Detektion des Versuchsverlaufs.

Die **Insertertechnik** dient z.B. für die Herstellung von Welle-Zahnrad-Verbindungen. Bild 2 zeigt ein Array solcher Komponenten, verwendet zum Aufbau von Mikrogetrieben aus Kunststoff [7].

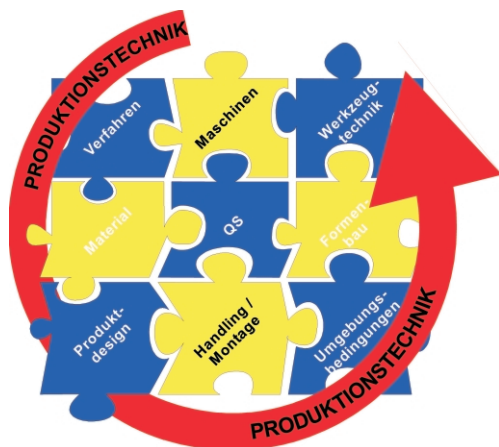


Bild 1. Bausteine der Produktionstechnik für Mikroteile aus Kunststoff

druckköpfe und Schreib-Lese-Köpfe für Festplatten sowie der Bereich der flachen Bildschirme und der Laserdisplaytechnik. Der Grund für die Vorreiterrolle dieser Produkte ist die sichere und verfügbare Produktionstechnik aufbauend auf dem Know-how und der Gerätetechnik der Halbleiterindustrie für die kosteneffiziente Massenproduktion von Mikrosystemen. Beispielhaft für diese Effizienz ist der Preisverfall bei Beschleunigungssensoren der Firma Analog Devices etwa

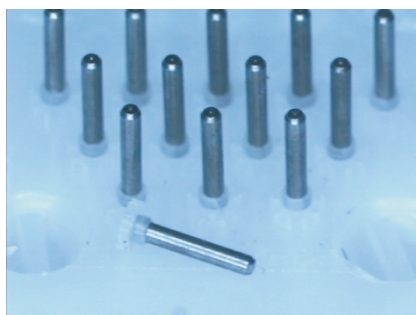


Bild 2. Zahnrad-Welle-Verbindungen, hergestellt durch Insertertechnik, Zahnraddurchmesser: 1 mm

Im LIGA-Verfahren werden metallische Beschleunigungssensoren mittels Opferschichttechnik gefertigt. Dabei finden auf einem Siliziumsubstrat heißgeprägte Kunststoffstrukturen als verlorene Form für einen Galvanoformungsprozeß Anwendung [8].

Im „kontaktlosen“ Heißprägeverfahren werden Mikrolinsen und Linsenarrays hergestellt. Dabei werden die meist zylindrischen Mikrokavitäten nur teilweise gefüllt, so daß sich unter definierten Prozeßbedingungen (Prägekraft und -geschwindigkeit, Formtemperatur) konvexe Strukturen mit optischen Oberflächen bilden (Bild 3) [9].

Glaswerkzeuge ermöglichen das Reaktionsgießen von Mikrostrukturen aus UV-härtenden Reaktionsharzen [10].

Das Mikro-Montagespritzgießen dient z. B. zur Herstellung beweglicher Mikrostrukturen. Dabei werden wie beim konventionellen Zweikomponenten-Spritzgießen beispielsweise Mikroscharniere aus POM und PMMA in miniaturisierten Werkzeugen entwickelt [11]. Dieser Ansatz ist besonders interessant, weil dadurch der bei Mikroteilen meist erhebliche Montageaufwand reduziert werden kann.

Außerdem wird eine Vielzahl von Verfahren wie Spritzgießen und Heißgießen, Schlicker- und Schleuderguß, Heißprägen und Mikrogießen für die Herstellung von Mikrostrukturen aus keramischen und metallischen Pulvern [12], Edelmetallegerungen [13] oder präkeramischen Polymeren [14] verwendet.

Noch am Anfang stehen Untersuchungen zur Extrusion von Mikroprofilen für die Herstellung von Filtern, Mikroprofilsträngen oder verlorenen Formen für metallische Hohlprofile. Bild 4 zeigt das Ausgangsprofil verschiedener Mikrodüsen, die durch Röntgenlithographie und anschließende Galvanoformung in Nickel hergestellt wurden. Die Hintereinanderschaltung mehrerer solcher Düsen-

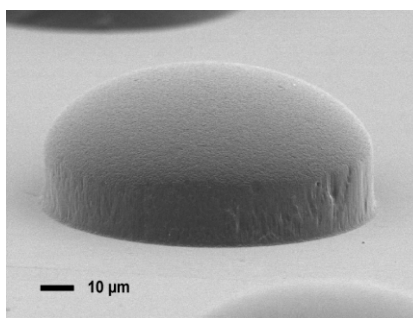


Bild 3. Die Mikrolinse (PMMA) wurde durch „kontaktloses“ Heißprägen hergestellt

plättchen in einem Stufenwerkzeug ermöglicht eine kontinuierliche Ausbildung des jeweiligen Profilstrangs. Die Ergebnisse erster Versuchsreihen (Bild 5) mit einem Meßextruder (Hersteller: Haake, Karlsruhe) zeigen, daß die Profile die Form der Düsen nahezu beibehalten. Der Durchmesser der Profile (schlagfestes PS) liegt abzugsbedingt bei etwa 70 µm. Deutlich wird aber auch, daß insbesondere die Oberflächenrauigkeit noch nicht befriedigend ist. Hier sind weitere Untersuchungen vor allem zum Abkühlverhalten des Extrusionsmaterials notwendig.

Vielfalt an Mikrospritzgießmaschinen

Am Markt ist mittlerweile eine Palette von Mikrospritzgießmaschinen verfügbar. Für den Anwender richtet sich die Wahl der Maschine vorrangig nach dem Schußgewicht der zu fertigenden Formteile und der Art des Anguß- und Verteilersystems. Kleinste Formteile mit Außenabmessungen im Bereich weniger Millimeter mit kleinem oder keinem Angußsystem weisen Schußgewichte im Milligrammbereich auf. Hierfür eignen sich heute am Markt verfügbare Spezialmaschinen, deren sehr kleine Plastifiziereinheiten meist aus einer Schneckenpla-

stifizierung mit Kolbeneinspritzung aufgebaut sind. Damit lassen sich Schußgewichte von ca. 0,001 bis 1 g reproduzierbar fertigen. Größere mikrostrukturierte Formteile mit Abmessungen von einigen cm² und vergleichsweise großen Stangenangüssen lassen sich auch auf kleinen konventionellen Maschinen fertigen. Erste Untersuchungen haben gezeigt, daß sich auch konventionelle Spritzgießmaschinen, die für die Produktion von CDs

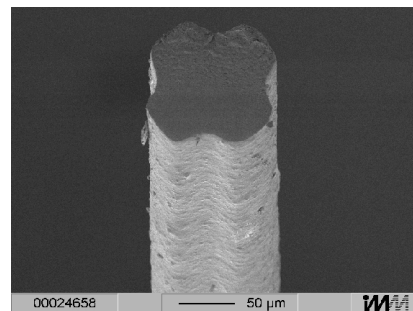


Bild 5. Extrudierte Mikroprofile aus PS Ø ca. 70 µm



Bild 6. Geöffnetes Werkzeug einer Heißpräganlage (Foto: Jenoptik Mikrotechnik GmbH, Jena)

eingesetzt werden, für die Mikroabformung eignen [15]. Deren standardisierte Werkzeugtechnik erlaubt die Abformung von Strukturhöhen von ca. 50 µm bei Aspektverhältnissen von etwa eins. In Tabelle 1 sind für die Mikroabformung verwendete Spritzgießmaschinen und deren wichtigsten Kenngrößen zusammenge-

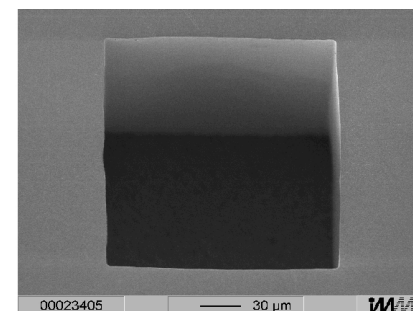
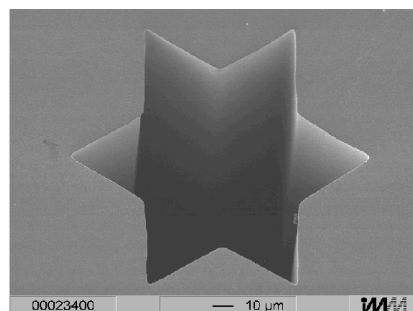
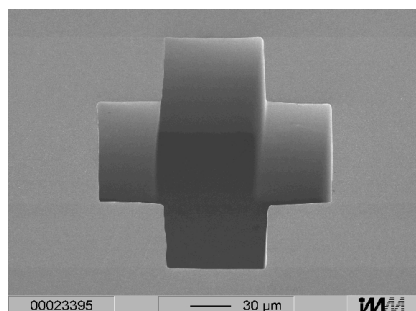


Bild 4. Profile von Düsenensätzen aus Nickel für die Mikroextrusion

Kenngroßen		Maschine	Hersteller
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: 15 mm L/D-Verhältnis: 20 min. Schußgewicht: ca. 1 g max. Schußgewicht: 14g Schließkraft: 500 kN		Allrounder 270C	Arburg GmbH & Co, Loßburg
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: 15 mm L/D-Verhältnis: 17,7 min. Schußgewicht: ca. 1 g max. Schußgewicht: 12g Schließkraft: 150 kN		Allrounder 220S 150-35	Arburg GmbH & Co, Loßburg
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: 14 mm L/D-Verhältnis: 17,5 min. Schußgewicht: 0,2 g max. Schußgewicht: 8,3 g Schließkraft: 250 kN		CDC 250 mit Micromelteinheit	Battenfeld Kunststoffmaschinen GmbH, Kottlingbrunn, Österreich
Kolbeneinspritzung Schneckendurchmesser: Ø 5 mm L/D-Verhältnis: - min. Schußgewicht: 0,001 g max. Schußgewicht: 1 g Schließkraft: 50 kN		Microsystem 50	Battenfeld Kunststoffmaschinen GmbH, Kottlingbrunn, Österreich
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: 14 mm L/D-Verhältnis: 18 min. Schußgewicht: < 1 g max. Schußgewicht: 5,5 g Schließkraft: 129 kN		12M	Dr.Boy GmbH, Neustadt
Kolbeneinspritzung Schneckendurchmesser: Ø 6 mm L/D-Verhältnis: 20 min. Schußgewicht: 0,1 g max. Schußgewicht: 4 g Schließkraft: 100 kN		D-I-M	Ettlinger Kunststoffmaschinen GmbH, Königsbrunn
Kolbeneinspritzung Schneckendurchmesser: Ø 7 mm L/D-Verhältnis: 15 min. Schußgewicht: 0,001 g max. Schußgewicht: 2,3 g Schließkraft: -		K-Maschine mit Mikrospritzeinheit	Ferromatik Milacron Maschinenbau GmbH, Malterdingen
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: 14 mm L/D-Verhältnis: 20 min. Schußgewicht: 0,1 g max. Schußgewicht: 12 g Schließkraft: 250 kN		ERGOTECH 25-35 System	Mannesmann Demag Kunststofftechnik, Wiehe
Schneckeneinspritzung Schneckendurchmesser: - L/D-Verhältnis: - min. Schußgewicht: 15 g max. Schußgewicht: 30 g Schließkraft: 650 kN		CD-Spritzgießmaschine MD 100	Toolex International, Veldhoven, Niederlande

Tabelle 1. Eine Auswahl von Spritzgießmaschinen für die Mikroabformung und deren Kenngroßen

faßt. Hervorzuheben ist bei der Mikrosystem 50 der Firma Battenfeld, daß neben der Spritzgießmaschine in einer Fertigungszelle auch die Entnahme mittels Va-

kuumabsaugung, die Magazinierung in Blisterverpackungen, die Überwachung einer vollständigen Entformung mit Hilfe einer Videokamera sowie die entspre-

chende Reinraumtechnik integriert werden können. Für das Heißprägen wird von der Jenoptik Mikrotechnik GmbH, Jena, ebenfalls eine Fertigungszelle angeboten. Neben der Presse sind Werkzeugfunktionen wie Temperierung, Evakuierung und Entformung sowie ein optoelek-

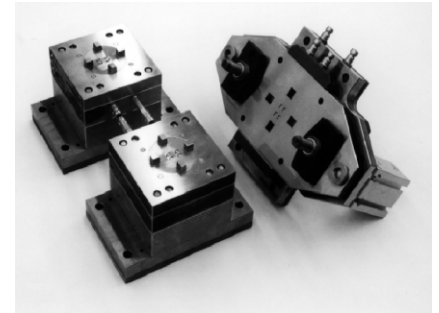


Bild 7. Werkzeug für das Mikrospritzgießen mit zwei Schließseiten zur Zykluszeitreduzierung (Foto: Zumtobel Staff GmbH, Dornbirn/Österreich)

tronisches Überdeckungssystem zum Prägen auf vorprozessierten Substraten integriert [16]. Die Handhabung der Kunststoffhalbzeuge und -formteile ist manuell. Bild 6 zeigt ein geöffnetes Prägewerkzeug der Heißpräganlage HEX03.

Werkzeuge mit schnellen Temperiersystemen

Das Spritzgießen oder Heißprägen von Formteilen mit Strukturdimensionen von einigen 10 bis einigen 100 µm verlangt bei Aspektverhältnissen ab drei bis fünf oder bei extremen Genauigkeitsanforderungen von 1 µm oder besser eine dynamische Temperierung der Werkzeuge und Formen. Temperaturen deutlich über dem Glaspunkt des Kunststoffes verhindern das vorzeitige Einfrieren der Schmelze und erlauben beispielsweise bei einem Kanal mit 50 µm Querschnitt ein Fließweg-Wanddicken-Verhältnis von 160 [17]. Klassisch werden dafür Öltemperierungen eingesetzt. Aufgrund der großen thermischen Masse liegen die damit erzielbaren Zykluszeiten im Bereich einiger Minuten, was die Wirtschaftlichkeit des Spritzgießens deutlich einschränkt. Neue Temperiersysteme zeigen, daß sich Mikroteile auch mit Zykluszeiten von 15s oder sogar darunter fertigen lassen [18]. Dabei werden nur noch die Mikrokavitäten elektrisch geheizt. Die Zykluszeiten können noch weiter verringert werden, wenn die Schließseite zweifach als Rundtisch ausgelegt wird (Bild 7). Das Füllen der Bau-

teile läuft dann in einer ersten Form parallel mit dem Kühlen und der Entnahme der Formteile in einer zweiten Form ab. Ähnlich kurze Zykluszeiten lassen sich auch für flächige mikrostrukturierte Formteile mit Abmessungen von mehreren cm² durch die Verwendung einer induktiven Temperierung erreichen [19]. Dabei wird eine an das Bauteildesign angepasste Induktionsspule vor dem Schließen des Werkzeugs unmittelbar vor der Form positioniert. Das durch Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung entstehende Magnetfeld der Spule verursacht Wirbelstromverluste im oberflä-

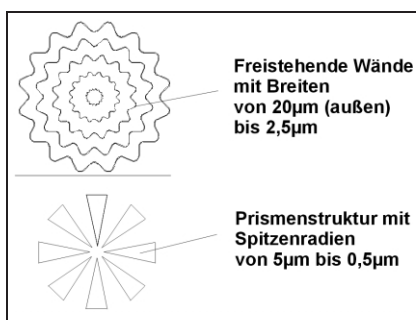


Bild 8. Design von Standardtestformen für die Qualifizierung von Kunststoffen bei der Mikroabformung

chennahen Bereich der Mikroform und damit Heizraten von ca. 20 K/s [20]. Bevor die eingebrachte Wärme in die hinteren Bereiche des Werkzeugs abfließen kann, werden die Induktionsspule entfernt, das Werkzeug geschlossen und variotherm eingespritzt. Bisher konnten mit diesem Verfahren Mikrostrukturen mit Dimensionen zwischen 2,5 und 20 µm mit einem Aspektverhältnis von ca. 20 abgeformt werden.

Materialqualifizierung muß standardisiert werden

In der Mikroabformung werden heute vorrangig niedrigviskose Einstellungen von Standardkunststoffen verwendet. Neue, an die Anforderungen der Mikrostrukturen adaptierte Materialien wird es erst geben, wenn Produkte, die diese neuen Materialeigenschaften fordern, auch in großen Stückzahlen hergestellt werden müssen. Für den Entwickler von Mikrosystemen sind in der Designphase daher Aussagen zu Abformtreue und -genauigkeit sowie zu den Grenzen der Abformbarkeit mit Standardkunststoffen von besonderer Bedeutung. Konventionelle Untersuchungen, beispielsweise



Bild 9. REM-Aufnahme einer vollständig gefüllten Kreiswand aus POM (Dicke: 2,5 µm, Höhe: 50 µm)

mit Fließspiralen, können nicht auf Dimensionen von 100 µm oder darunter übertragen werden, da sich solche Strukturen zwar füllen lassen, aber zu instabil sind für eine sichere Entformung und damit meßtechnisch nicht zugänglich sind. Außerdem werden kritische Qualitätsanforderungen wie die Abbildung von Teilstrukturen von wenigen Mikrometern oder Kantenverrundungen <1 µm mit diesen konventionellen Teststrukturen nicht erfaßt. Für den Aufbau einer Materialdatenbank zur Qualifizierung von Kunststoffen für die Mikroabformung wurden daher Mikrostrukturen

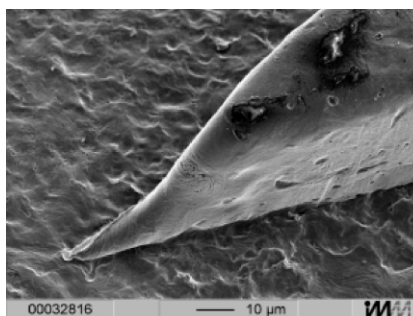


Bild 10. REM-Aufnahme einer unvollständig gefüllten Prismenstruktur aus POM (Spitzenradius: 0,5 µm, Höhe 50 µm)

entworfen, die diesen Ansprüchen gerecht werden. Bild 8 zeigt das Layout der Formen, die aufgrund der notwendigen hohen Präzision durch Röntgenlithographie und Galvanoformung hergestellt werden. Die Prismenstruktur weist Spitzenradien von 5 bis 0,5 µm auf und dient zur Evaluierung des Füllverhaltens an Kanten und Spitzen. Die kreisförmig angeordneten Wände haben Wanddicken von 20 bis 2,5 µm. Das Füllen der Strukturen erfolgt über eine ca. 1 mm dicke Grundplatte. Dieser Aufbau erlaubt nicht nur eine sichere Entform-

ung der Bauteile, sondern auch eine Quantifizierung der Abformungsergebnisse. Bild 9 zeigt einen Teilbereich einer vollständig gefüllten 2,5 µm dicken Kreiswand mit einer Höhe von 50 µm. Bild 10 zeigt die Grenzen der Formfüllung an einer Prismenstruktur mit einem Spitzenradius von 0,5 µm. In beiden Fällen wurde POM als Spritzgießmaterial verwendet [21].

Produkte kurz vor der Markteinführung

Grundsätzlich sind mikrostrukturierte Produkte aus Kunststoff in zwei Marktsegmenten zu finden. Zum einen sind dies miniaturisierte Bauteile, die Produkte aus angestammten Märkten verdrängen. Dabei handelt es sich meist um Mikrobauteile mit äußeren Abmessungen von wenigen Millimetern. Hierzu zählen kleine Stifte (Bild 11), Halter und Klipse für die Montagetechnik unterschiedlichster Anwendungsgebiete [22], dreidimensionale Formteile aus dem Modellbau [23], Zahnräder für die Uhrenindustrie, miniaturisierte Schalterkomponenten beispielsweise für den Automobilbereich [24] oder mechanische Komponenten für die Medizintechnik [18]. Zum anderen eröffnet die Mikroabformung neue Märkte für Kunststoffe, die bisher eine Domäne von Glas, Silizium oder Metall waren. Beispiele sind Mikrospektrometer für die Farbmeßtechnik [25], thermopneumatisch [25] und piezoelektrisch angetriebene Mikropumpen [26], Steckverbinder für die Glasfasertechnik [27], mikrooptische Schalter [28] (Bild 12), in-



Bild 11. Ein spritzgegossener Schaltstift (Foto: HB-Plastic GmbH, Korneuburg/Österreich)

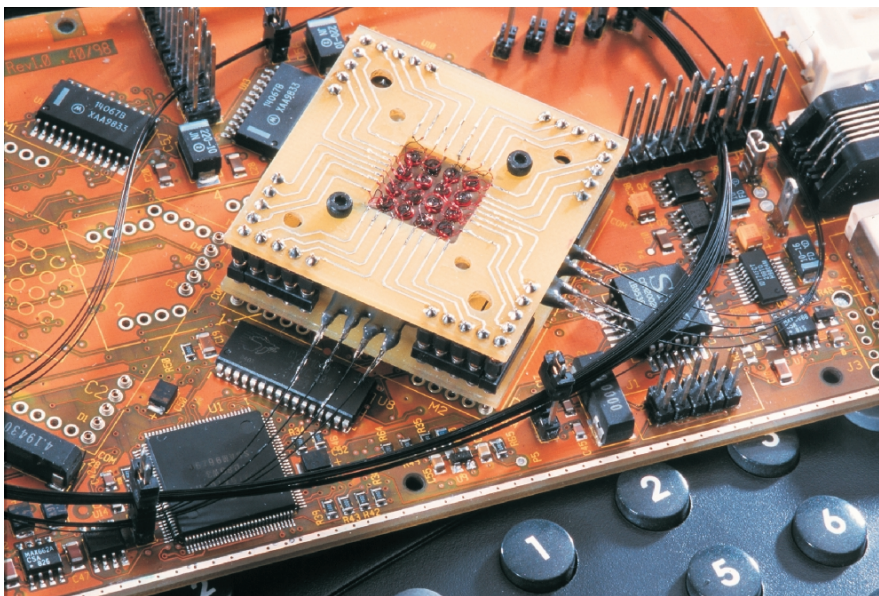


Bild 12. Ein faseroptischer 4x4-Schalter für optische Netzwerke, bestehend aus spritzgegossenem Mikrobauteil und 16 beweglichen Kunststoffprismen

tegiert-optische Wellenleiter [29] für optische Netzwerke, Mikrotriebe für Mikromotoren [30], mikrofluidische Komponenten für die Medikamentenforschung und die klinische Diagnostik [6, 31, 32] sowie Komponenten für die minimal invasive Chirurgie [33].

Vom Silizium-zum Kunststoffwafer

Bei der Frage nach der Produktionstechnik von morgen für Mikrostrukturen aus Kunststoff spielt die Art und Weise der Fertigung der Einzelkomponenten eine wichtige, aber nicht die dominierende Rolle. Das Formteil wird erst dann zum Produkt, wenn es in einem System mit anderen Funktionseinheiten kombiniert und an die Umwelt angeschlossen werden kann. Hierbei bestimmen Prozessschritte wie Handhabung, Magazinierung, Mikromontage und Qualitätskontrolle die Fertigungszeit, den gerätetechnischen Aufwand und damit die Fertigungskosten. Vor diesem Hintergrund wurde am Institut für Mikrotechnik (IMM), Mainz, die Plastics Wafer Technology (PWT) mit dem Ziel einer Standardisierung der Fertigungstechnik vergleichbar mit der Mikroelektronik entwickelt [34,7]. Die wesentlichen Prozessschritte der PWT sind

- ▶ die gleichzeitige Herstellung einer Vielzahl von Mikrostrukturen im Nutzen¹ in Form eines Kunststoff-Wafers

- durch Spritzgießen oder Spritzprägen, für Vorserien auch durch Heißprägen,
- ▶ die standardisierte Handhabung und Magazinierung der Wafer analog der Mikroelektronik,
- ▶ die Mikromontage von Einzelkomponenten oder im Nutzen unter Verwendung des Wafers als Montageplattform,

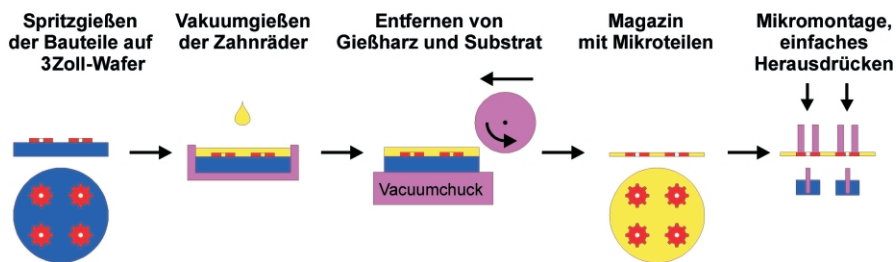


Bild 13. Prozeßsequenz zur Herstellung von Mikrotrieben mittels Plastics Wafer Technologie (PWT)

- ▶ die Waferinspektion zur Qualitätskontrolle sowie
 - ▶ die Nutzentrennung
- Diese Fertigungsstrategie bietet Vorteile wie:
- ▶ Für die Herstellung können konventionelle Spritzgießmaschinen verwendet werden.
 - ▶ Standard-Waferformate z.B. 5 Zoll erlauben den Einsatz von Stammwerkzeugen für viele Applikationen.
 - ▶ Der Einsatz des Spritzprägens zur Waferfertigung macht den Herstellungsprozeß robuster.

- ▶ Materialorientierungen in den Formteilen werden vermieden und es können gleichzeitig eine große Anzahl von gleichen Bauteilen in einem Schuß gefertigt werden.

Die Handhabung und Magazinierung der Mikroteile wird durch den Wafer einfach und vergleichbar mit denen einer CD. Gleichzeitig bleibt die Information über Lage und Position der einzelnen mikrostrukturierten Komponenten nach deren Fertigung erhalten. Basierend auf der Verwendung sehr genauer Prozesse im Formenbau, wie der Ultra-Präzisionszerspanung und einer hohen Reproduzierbarkeit der Mikroabformung wird diese Information im Wafer quasi eingefroren und dem Montageprozeß „zur Verfügung gestellt“. Bedingt durch die bei der Mikromontage meist geringen Montage- und Füge-toleranzen von wenigen Mikrometern, läßt sich dieser Vorteil unmittelbar in geringere Gerätekosten umsetzen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Kompatibilität des Waferformats zu den Siliziumwafern. Damit können Prozesse der Halbleitertechnik, wie das Aufbringen von Elektroden, vollflächige oder partielle Metallisierungen, Spincoaten, Plasmabehandlungen, Reinigungsschritte oder die Verbindung mit elektronischen Baugruppen ohne zusätzliche Magazine oder Adapter in die

Fertigungskette integriert werden. An die Qualitätskontrolle mikrostrukturierter Bauteile werden aufgrund der geringen Dimensionen und der hohen Präzisionsanforderungen enorme Anforderungen gestellt. Hier profitiert der Ansatz von der Verfügbarkeit und den technischen Möglichkeiten moderner Waferinspektionssysteme. Außerdem können optische oder taktile Meßverfahren

¹ Nutzen: Zahl der gleichen Einzelteile, die auf einem Wafer Platz haben.

durch die Kenntnis der Lage der einzelnen Produkte im Batch vergleichsweise einfach automatisiert werden. Zur Trennung des Nutzens in die einzelnen Produkte stehen eine Reihe von Möglichkeiten zur Verfügung. Dazu gehören

- ▶ Nutzentrenner für PCB-Boards der Mikroelektronik, für die bereits bei der Herstellung Sollbruchstellen in den Kunststoffwafer eingearbeitet werden können,
- ▶ das Vereinzeln mittels Wafersägen oder
- ▶ die Nutzung des Laserschneidens als kontaktloses Trennverfahren.

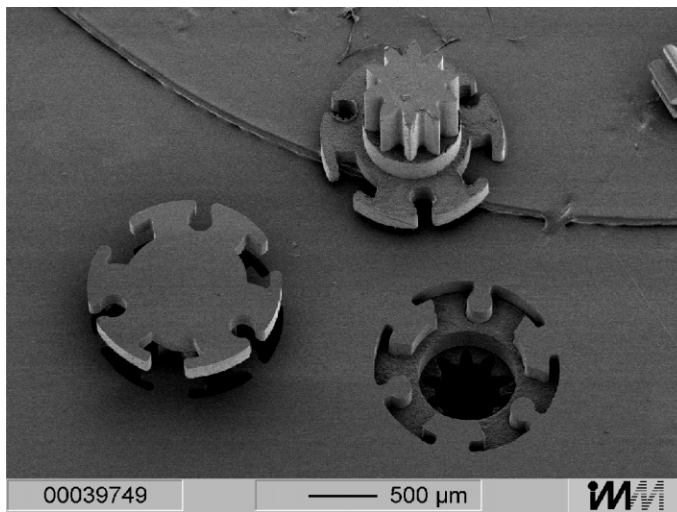


Bild 14. Aus dem Magazin entnommene Stegoberteile eines Mikrogetriebes

Die Prozessschritte für die Fertigung eines Mikrogetriebes auf der Basis der Plastics Wafer Technology werden in Bild 13 dargestellt. Die kleinsten Bauteile sind Mikrozinräder mit einem Außendurchmesser von etwa 400 µm und einer Höhe von 500 µm. Im ersten Schritt werden ca. 500 dieser Zahnräder auf einem 3-Zoll-Wafer spritzgeprägt und anschließend in eine Polyurethanharzmatrix durch Vakuumgießtechnik eingebettet. Nach dem Entfernen von Substrat und Harz bis zu den Stirnseiten der Bauteile liegt ein einfach zu handhabendes Magazin vor, aus dem heraus die Montage der Komponenten einzeln oder im Nutzen erfolgen kann. Bild 14 zeigt beispielhaft aus einem 3-Zoll-Magazin entnommene Stegoberteile des Mikrogetriebes.

Von der Mikro- zur Nanoabformung

Die Forderung nach immer kleineren Strukturen in Mikroelektronik und Spei-

chertechnik hat neben der Weiterentwicklung der optischen Lithographie in Richtung Röntgen- und Ionenstrahlolithographie auch zur Entwicklung neuer Abformungsprozesse für die Nanostrukturierung von Kunststoffen geführt. Diese besitzen das Potential, die Lithographie für die Herstellung von Mikroelektronikbauteilen vollständig zu ersetzen. Zu diesen, unter der Bezeichnung Nanoimprint-Technik [35] bekannten Verfahren gehört das Heißprägen dünner Kunststoffschichten aus PMMA mit Hilfe von geätzten Siliziumformen [36]. Dabei abgeformte Strukturen sind beispielsweise

Dank

Die Mehrzahl der Resultate sind Teilergebnisse zahlreicher Entwicklungsprojekte des IMM. Dank gilt der Dr. Boy GmbH, der Jenoptik-Mikrotechnik GmbH, der Zumtobel Staff GmbH, der Ettliger Kunststoffmaschinen GmbH sowie den Mikroabformungsgruppen am Forschungszentrum Karlsruhe, am IKV in Aachen und am IFWT in Wien für die Bereitstellung zusätzlicher Informationen und des Bildmaterials.

Literatur

Die umfangreiche Literaturübersicht erhalten Sie unter Fax-Nr.: 0 6131/9 90-205.

Die Autoren dieses Beitrags

Dr.-Ing. Lutz Weber, geb. 1964, ist wissenschaftlich-technischer Direktor des Instituts für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM) und als Leiter der IMM-Außenstelle Zweibrücken verantwortlich für Aufbau mikrotechnischer Produktionstechnik für Werkzeug- und Formenbau, Mikroabformung und Mikromontage.

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Ehrfeld, geb. 1938, ist Professor an der Universität Mainz und Geschäftsführer des IMM.

Löcher mit Durchmesser bis herab zu 10 nm bei einer Tiefe von 60 nm auf einem Siliziumsubstrat. Sie dienen als Maske für nachfolgende Dünnschicht- und Ätzprozesse. Eine andere Anwendung dieses Verfahrens ist die Herstellung von Datenbahnen für neue CDs mit einer Spurbreite von 100 nm [37]. Dies entspricht einer Speicherkapazität von 10 Gbit/cm². Gleiche oder ähnliche Nanostrukturen lassen sich auch mit Druckprozessen erzeugen, bei dem spezielle Kunststoffe mittels eines strukturierten Elastomerstempels auf beispielsweise mit Gold metallisierte Siliziumwafer übertragen werden [38] oder flüssige Monomere durch einen Formstempel strukturiert und mittels UV-Strahlung ausgehärtet werden [39]. Die ersten Ergebnisse dieser vergleichsweise noch jungen Entwicklungsrichtungen lassen ein großes Potential für die Kunststofftechnik im diesem Bereich erkennen, das aber auch neue Anforderungen für Maschinen- und Materialentwickler gleichermaßen mit sich bringen wird.