

Festigkeit in filigraner Form

Zu den Vorzügen der LIGA-Technik gehören die sehr hohe Präzision und **STRUKTURAUFLÖSUNG**. Dank hoher Festigkeitswerte und gestalterischer Freiheit findet das Verfahren auch in der Uhren- und Schmuckindustrie großen Anklang.

Bild 1. »Micro Harmonic Drive-Getriebe mit Sonderverzahnung, hergestellt mit Direkt-LIGA



REINHARD DEGEN

Der Wettlauf, in der Technik auf immer kleinerem Bauraum möglichst viele Funktionen zu integrieren, erfordert eine Miniaturisierung der Bauteile, die in der Mikroelektronik begonnen hat und sich zwischenzeitlich immer stärker auch bei mechanischen Strukturen fortsetzt. Ähnlich wie in der Mikroelektronik kann mithilfe miniaturisierter mechanischer Bauteile die Funktionalität von Systemen gesteigert und dabei gleichzeitig die Masse oder die Außenabmessungen der Gesamtsysteme verringert werden. So lassen sich etwa in der Medizintechnik neue Lösungen umsetzen, beispielsweise in der Diagnostik oder der Therapie. Gleichzeitig werden der Tragekomfort und die Leistungsfähigkeit gesteigert oder die Voraussetzungen für mobile Geräte geschaffen.

Einen Vorreiter für miniaturisierte komplexe Systeme stellt schon seit Langem die Uhrenindustrie dar, bei der auf kleinstem Bauraum eine Vielzahl an Funktionen realisiert wird, beginnend bei der Zeitanzeige über Kalenderfunktionen bis hin zu akustischen Signalen durch mikromechanische Bauteile. Für die Herstellung solcher kompakten Multifunktionsgeräte werden jedoch nicht nur Bauteile benötigt, die lediglich wenige Millimeter groß sind. Um einen zuverlässigen und verschleißarmen Betrieb über eine lange Lebensdauer sicherzustellen, werden oft auch sehr hohe Ansprüche an die Materialeigenschaften gestellt, beispielsweise in Bezug auf die Festigkeit und Härte. Eine weitere Zielsetzung bei der Miniaturisierung ist es, die Anzahl an Einzelkomponenten zu verringern und somit mehrere Funktionen möglichst mit einem Bauteil integrieren zu können. Auf diesem Wege lassen sich die sehr hohen Kosten für die Handhabung und



Bild 2. Mikrobauteil mit zwei Ebenen

Montage der Mikrobauteile reduzieren. So ist es ein Ziel bei der Konstruktion von Mikrobauteilen, die funktionalen Strukturen, zum Beispiel Verzahnungsgeometrien oder Federkonturen, gemeinsam mit den Strukturen für die Montage, das Handling und die jeweilige Verbindungstechnik in einem Bauteil zu integrieren. Auf diese Weise soll eine automatisierte Handhabung ermöglicht und somit die Produktionskosten in der Montage gesenkt werden. Aufgrund seiner Freiheiten bei der geometrischen Gestaltung der Bauteile sowie bei der Wahl der Materialeigenschaften bietet der LIGA-Prozess hierfür beste Voraussetzungen. Dank der erzielbaren Bauteilpräzision kann das Verfahren einen herausragenden Beitrag zur Miniaturisierung von Systemen leisten.

Das »Direkt-LIG«-Verfahren

Seit 2001 entwickelt und baut Micromotion aus Mainz mikrotechnische Komponenten und Systeme für die Antriebstechnik. Die Mikrozinhräder, welche unter anderem im weltweit kleinsten spielfreien Mikropräzisionsgetriebe, dem »Micro Harmonic Drive«-Getriebe, zum Einsatz kommen, werden in höchster Präzision mithilfe des LIGA-Prozesses hergestellt

und einem anschließenden Abformungsprozess, beispielsweise dem Spritzgießen in Kunststoff.

Micromotion setzt das LIGA-Verfahren bis zum Galvanikschritt für die Herstellung von Mikrozinhrädern aus einer hochfesten und verschleißbeständigen Nickel-Eisen-Legierung ein. Da kein weiterer Abformungsprozess zum Beispiel in Kunststoff erfolgt, wird dieses Verfahren als Direkt-LIG bezeichnet.

Je nach den Anforderungen an Genauigkeit, Aspektverhältnis und Bauteildicke kann zur Strukturierung entweder die UV-Lithografie oder die Röntgentiefenlithografie eingesetzt werden. Als Werkzeug für die Lithografie dient – wie in der Halbleiterfertigung – eine Maske. Durch eine Schattenprojektion werden bei der Belichtung die geometrischen Muster, die sich als Absorberstrukturen auf der Maske befinden, in den lichtempfindlichen Photoresist übertragen. Die Dicke des Photoresists entspricht dabei der benötigten Bauteildicke. Durch die selektive Belichtung des Photoresists verändern sich sehr lokal dessen chemische Eigenschaften in den belichteten Bereichen gegenüber den unbelichteten Bereichen. Daraus resultiert eine stark unterschiedliche chemische Löslichkeit. In dem anschließenden Entwicklungsschritt werden die belichteten Bereiche selektiv gegenüber den unbelichteten Bereichen (bei Positivlack beziehungsweise umgekehrt bei Negativlack) herausgelöst, und es entstehen dreidimensionale Negativ-Strukturen der zukünftigen Metallbauteile. Um die Geometrie in der dritten Dimension verändern zu können, beispielsweise zur Realisierung von Absätzen, Wellen und Anschlägen, wird dieser Prozessschritt mit einem anderen Maskendesign wiederholt (**Bild 2**). Je nach Belichtungs-

> KONTAKT

HERSTELLER
Micromotion GmbH
 55124 Mainz-Gonsenheim
 Tel. +49 6131 66927-0
 Fax +49 6131 66927-20
www.mikrogetriebe.de



Bild 3. Rastfeder für mechanische Uhr

verfahren können hierbei Fertigungstoleranzen von weniger als $1\ \mu\text{m}$ und Aspektverhältnisse bis $200:1$ realisiert werden. Bauteile bis zu einer Dicke von $1,2\ \text{mm}$ und kleinste Strukturdetails von weniger als $1\ \mu\text{m}$ sind möglich (**Bild 3**).

Der fertig strukturierte Resist wird anschließend galvanisch abgeformt. Um die für die Mikrotriebe notwendigen Materialeigenschaften wie Zugfestigkeit und Härte zu erzielen, wird bei Micromotion eine Nickel-Eisen-Legierung mit einem Eisengehalt von rund 14 Prozent abgeschieden. Über die Parameter des Galvanikprozesses kann das Kristallwachstum direkt beeinflusst und somit die mechanischen Eigenschaften des abgeschiedenen Materials gezielt auf die Bedürfnisse der Anwendung eingestellt werden. Aufgrund des nanokristallinen Gefüges können in den Mikrobauteilen Zugfestigkeiten von über $1800\ \text{N/mm}^2$ bei einem E-Modul von $140\ 000\ \text{N/mm}^2$ hergestellt werden. Aufgrund dieser hervorragenden Festigkeitskennwerte und seiner Dauerschwingfestigkeitseigenschaften ist dieses galvanisch abgeschiedene Material für Federbauteile und insbesondere für die elastischen Zahnräder der MHD-Getriebe bestens geeignet. Die hohe Härte der Mikrobauteile von über $600\ \text{HV}$ führt außerdem zu einem verschleißarmen Betriebsverhalten und zu langer Lebensdauer. Ebenso ist dieses galvanisch hergestellte korrosionsbeständige Material für medizinische Anwendungen ideal geeignet, da es sterilisierbar ist. Neben der hochfesten Nickel-Eisen-Legierung können auch andere Nickel-Legierungen, reines Nickel, aber auch Metalle wie Gold, Silber oder Platin verarbeitet werden.

Die Vorteile im Überblick:

Der große Vorteil dieses außergewöhnlichen Verfahrens ist, dass mit extrem hoher Genauigkeit winzigste hochfeste metallische Mikrobauteile hergestellt werden können. Hinzu kommen die außergewöhnlichen gestalterischen Freiheiten für den Konstrukteur, besonders in zwei Dimensionen, sodass sehr komplexe Geometrien in den Mikrobauteilen realisiert werden können.

Dabei besitzt die Komplexität des Bauteils, zum Beispiel die Anzahl von Bohrungen oder Zähnen, die Einbindung von Hilfsstrukturen für Füge- oder Montageschritte oder die Integration von zusätzlichen Designelementen, keinen unmittelbaren Einfluss auf die Herstellkosten.

Zudem können extrem hohe Aspektverhältnisse (Verhältnis der Höhe zu den lateralen Abmessungen)



Bild 4. Lithografisch strukturierter Wafer für die Fertigung von Direkt-LIGA-Bauteilen im Batch-Prozess

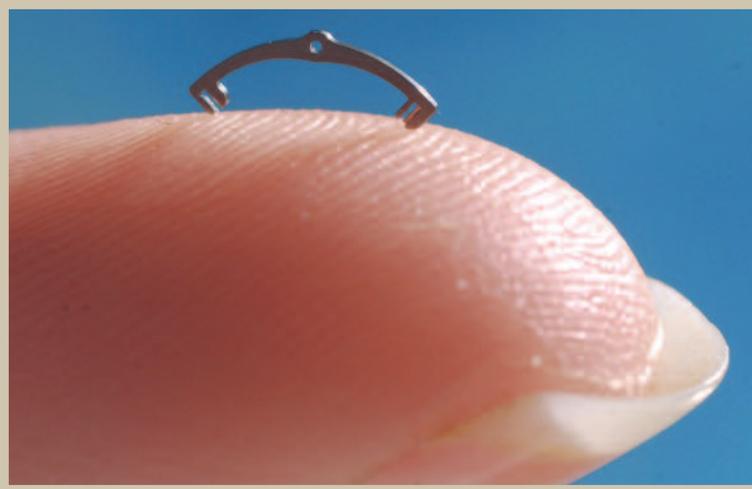


Bild 5. Anker für die Uhrentechnik

hergestellt werden. Strukturbreiten von 5 µm Breite in einem Bauteil mit 1 mm Dicke sind auf diesem Wege herstellbar.

Neben den geometrischen Freiheiten zeichnet sich das Verfahren zusätzlich durch die möglichen Werkstoffeigenschaften aus. Zum einen kann eine Vielzahl an Metallen und Legierungen verarbeitet werden, und zum anderen sind durch den Galvanikprozess die Materialeigenschaften gezielt einstellbar. Auf diese Weise lassen sich Materialien mit hoher Festigkeit und Härte herstellen. Mit dem Direkt-LIGA-Verfahren wird gleichzeitig eine Vielzahl an Mikrobauteilen produziert, wodurch sich die Prozesskosten der einzelnen Arbeitsschritte auf die parallel hergestellten Bauteile aufteilen. Je nach Bauteilgröße können durch diesen Batch-Prozess bis zu mehrere 1000 Komponenten pro Wafer hergestellt (**Bild 4**).

Beispiele aus der Medizin- und Uhrentechnik

Außer für die Zahnräder des MHD-Getriebes eignet sich dieses einzigartige Herstellungsverfahren ebenfalls hervorragend zur Produktion kundenspezifischer Bauteile, wie sie unter anderem in der Medizintechnik oder in der Uhrenindustrie benötigt werden. So werden derartig hergestellte Mikrobauteile in der Endoskopie verwendet, um platzsparend und präzise kleine Optiken oder Werkzeuge auszurichten und damit die Diagnosemöglichkeiten herkömmlicher Systeme deutlich zu verbessern. Neben dem Miniaturisierungsgrad sind hierbei die Präzision der Bauteile, die Sterilisierbarkeit und die Freiheiten in der Gestaltung von besonderer Bedeutung.

Micromotion entwickelt und fertigt ebenfalls Bauteile für hochwertige mechanische Uhrwerke. Erst durch eine weitere Miniaturisierung der einzelnen Bauteile und durch eine Steigerung der Bauteilgenauigkeit können Verluste im Uhrwerk verringert und weitere Funktionen in das Uhrwerk integriert werden, ohne die Laufzeit zu reduzieren. Wie bei den Mikrozahnrädern sind auch für diese Bauteile die hohe Festigkeit, so auch Dauerschwingfestigkeit, die Härte und die



Bild 6. Spiralfeder für die Uhrentechnik

Genauigkeit von entscheidender Bedeutung. So wird das üblicherweise für Uhrenbauteile mit federnden Eigenschaften eingesetzte Material Durnico in hochwertigen mechanischen Uhrwerken zunehmend durch die von Micromotion optimierte Nickel-Eisen-Legierung ersetzt. Der große Vorteil der LIGA-Technik liegt jedoch in den großen gestalterischen Freiheiten. So können in einem Bauteil die Funktionselemente ohne weitere Montage- und Fügenschritte mit den Anschlag- und Verbindungsstrukturen kombiniert werden. Die Fertigungskosten lassen sich auf diese Weise deutlich reduzieren. Die gestalterischen Freiheiten werden gerade in der Uhrentechnik genutzt, um zusätzlich zu den speziellen Funktionsflächen auch die hohen ästhetischen Ansprüche zu erfüllen, indem filigrane Strukturen in dem Mikrobauteil integriert werden (**Bilder 3, 5 und 6**). ■ MI110148

AUTOR

Dr.-Ing. REINHARD DEGEN ist Geschäftsführer von Micromotion in Mainz; info@micromotion-gmbh.de