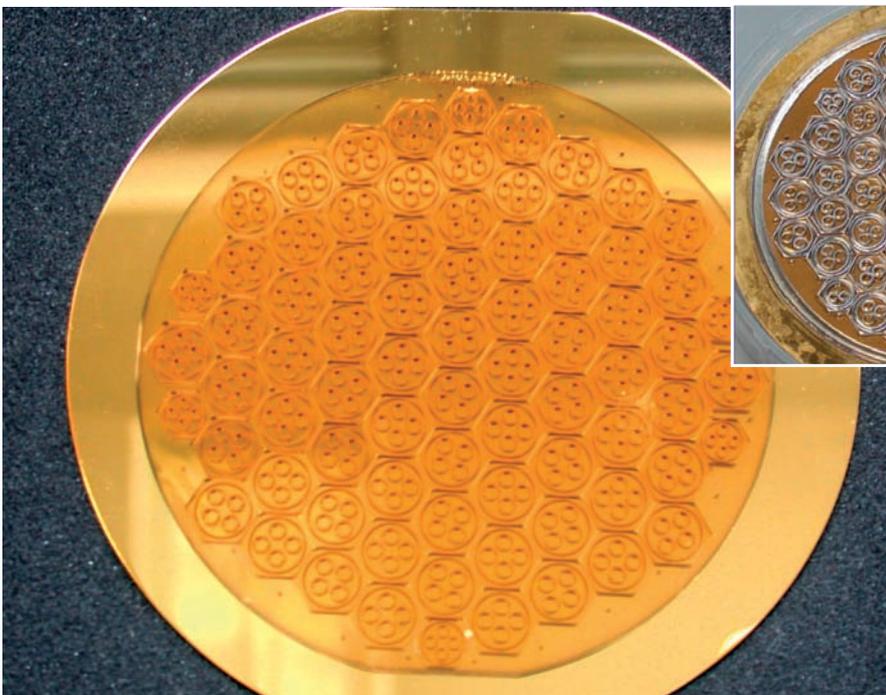


Hochpräzise und wirtschaftlich

Die Galvanoformung als hochpräzises Verfahren zur Abformung von Mikrozahnradern

Dr. Udo Kirsch, Dr.-Ing. Reinhard Degen, Micromotion GmbH, Mainz

Seit dem Siegeszug der Mikroelektronik hat ein Wettlauf der Technik zur Miniaturisierung begonnen, der heute und in Zukunft noch weiter anhalten wird. Davon ist nicht nur die Mikroelektronik betroffen, sondern sie war nur der Anstoß für eine rasante Entwicklung in der Halbleitertechnik, der Automobiltechnik, der Medizin- und Analytentechnik. Es werden immer mehr Funktionen auf immer kleineren Bauraum integriert. Als auffälligstes Beispiel ist hier das Mobiltelefon zu nennen, dessen ursprüngliche Hauptfunktion – nämlich das Telefonieren – durch die vielen Zusatzfunktionen in den Hintergrund getreten ist.



Für die Herstellung dieser immer kompakter und leistungsfähiger werdenden Geräte müssen auch die Herstellungsverfahren für die schrumpfenden Bauteilgrößen angepasst werden. Es müssen deshalb Makroverfahren, wie Bohren und Fräsen, auf Mikroverfahren herunter-

skaliert werden. Doch diese Verfahren stoßen ab einer gewissen Bauteilgröße an ihre Grenzen. Sobald die Bauteile eine derart filigrane Struktur erreichen, dass sich bei der Bearbeitung die Bauteile verbiegen, müssen neuartige Technologien eingesetzt werden.



Bild 1. Größter Mikrotriebeeinbausatz Micro Harmonic Drive Getriebe der Firma Micromotion GmbH und zum Vergleich der kleinste Makrotriebeeinbausatz der Harmonic Drive AG.

Zu diesen Technologien gehört zweifellos die LIGA-Technik [1], [2], die in den 1980iger Jahren entstanden ist und seitdem ein wertvolles Werkzeug der Mikrosystemtechnik darstellt. Das Kürzel LIGA steht hier für die Verfahrensschritte Röntgentiefenlithografie, Galvanik und Abformung. Dieses Verfahren besteht aus insgesamt drei Prozessen. Der erste Prozess ist die Lithografie, bei der mit Hilfe einer sogenannten Arbeitsmaske und einer speziellen

Form von Röntgenstrahlung durch Schattenprojektion ein beliebiges Design hochpräzise in einen photoempfindlichen Resist übertragen wird. Danach erfolgt in einem zweiten Schritt die Galvanik, bei der die durch die Lithografie erzeugte Genauigkeit der Negativstrukturen im Resist nahezu verlustfrei in metallische Bauteile abgeformt wird. In einem dritten Prozessschritt können diese metallischen Formen bei entsprechenden,

Bild 2a (groß). Vier-Zoll Silizium-Wafer mit Goldstartschicht und strukturiertem Photoresist. Bild 2b (klein). Vier-Zoll Silizium-Wafer nach der Galvanik mit gefüllten Zahnradstrukturen.

Überwachungen als Formeinsätze dienen und in einem weiteren Abformungsprozess werden Mikrobauteile in Kunststoff zum Beispiel im Spritzguss hergestellt. Aus dieser Technologie wurde mittlerweile eine verkürzte Variante, das sogenannte Direkt-LIGA abgeleitet. Hierbei werden

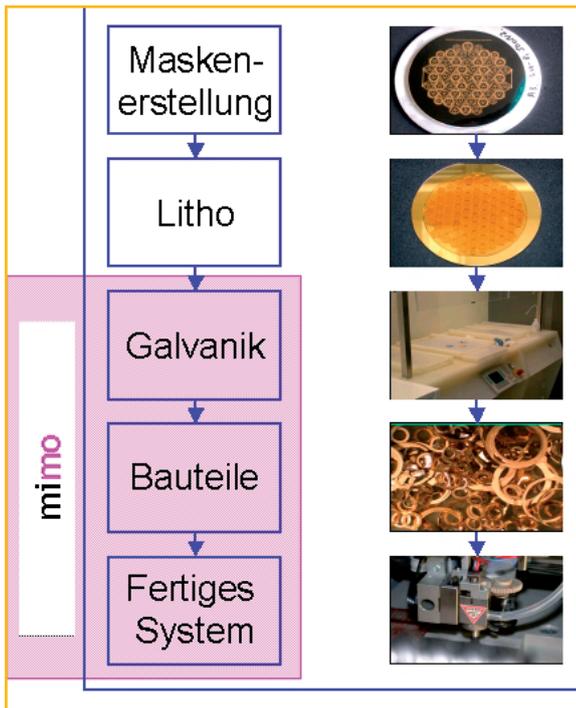


Bild 3. Ablaufplan des Direkt-LIG Verfahrens zzgl. der Prozesse, die bei der Micromotion GmbH durchgeführt werden.

nur die beiden ersten Prozessschritte angewendet, da es hier meistens um die Herstellung von hochpräzisen Mikrobauteilen geht, bei denen ein zusätzlicher Abformungsprozess zu Genauigkeitsverlusten führen würde.

Getriebetechnik und Mikrotechnik

Dieses Direkt-LIG Verfahren wird von der Firma Micromotion GmbH in Mainz eingesetzt, um deren Mikrogetriebe herzustellen und damit kundenspezifische Mikroantriebe aufbauen zu können. Die Micromotion GmbH hat sich auf die Herstellung und Entwicklung von Mikroantriebssystemen spezialisiert. Sie folgte, wie oben erwähnt, dem Trend der Miniaturisierung, indem ein gut bekanntes und bewährtes Prinzip eines Präzisionsgetriebes (das sogenannte Harmonic Drive) mit Hilfe des Direkt-LIG Verfahrens, wie in Bild 1 dargestellt, erfolgreich in die Mikrotechnik zum Micro Harmonic Drive Getriebe herunterskaliert und weiterentwickelt wurde. Der Lithografie-Prozess wird von der Micromotion GmbH extern als Dienstleistung zugekauft. Der strukturierte Resist, der auf einem Vier-Zoll Silizium-Wafer mit Startschicht für die Galvanik aufgebracht ist (siehe dazu Bilder 2a und 2b), wird danach bei der Micromotion GmbH galvanisch als Nickel-Eisen-Legierung mit

rund 14 Prozent Eisengehalt abgeformt. In Bild 3 ist das Direkt-LIG Verfahren und die bei Micromotion durchgeführten Prozessschritte zur Veranschaulichung als Ablaufplan skizziert.

Konstruktionsfreiheit in 2 1/2 Dimensionen

Der Vorteil der Galvanoformung gegenüber anderen Bearbeitungstechniken, wie Erodieren oder Lasern, ist die große Vielfalt des Konstrukteurs, in zwei Dimensionen frei gestalten zu können. Nur in der dritten Dimension ist die Form etwas eingeschränkt. Dafür wird das Werkstück in den 2 1/2 Dimensionen durch die galvanische Abscheidung hochpräzise abgeformt. Als Beispiel sind in Bild 4 und Bild 5 Mikrozahnräder des Micro Harmonic Drive Getriebes gezeigt, die in dieser Größe und Komplexität von herkömmlichen spanenden Techniken nicht hergestellt werden können. In Bild 4 ist ein Planetenrad des MPG-10-80 Getriebes der Micromotion GmbH gezeigt, welches eine Zahnbreite von 1.000 Mikrometern besitzt. Die Bohrung hat einen Durchmesser von 1,6 Millimetern. Die Zahnköpfe verlaufen in einem spitzen Winkel, so dass hierbei ultrahohe Aspektverhältnisse (Verhältnis von Höhe zu lateralen Abmessungen) von der Galvanik abgeformt werden müssen. Dennoch sind die Zahnflanken sehr glatt und ohne Defekte. In Bild 5, welches ein Planetenrad darstellt, ist ein Beispiel für die Designfreiheit des Konstrukteurs gezeigt. Um ein radial federndes Verhalten unabhängig von der Zahnradstärke zu erzielen, wurden Hinterschnitte an den Zähnen angebracht. Die Hinterschnitte haben dabei ein Aspektverhältnis von 100 und sind in dieser Form mit einem mechanischen Verfahren ohne Gratbildung nur schwer zu realisieren. Die Maße der Hinterschnitte betragen 30 Mikrometer in der Länge, 10 in der Breite und 1.000 in die Tiefe. So bleibt dieses Zahnrad, das ein relativ hohes Drehmoment [3] übertragen kann, elastisch genug um deformiert werden zu können, welches ein Grundprinzip des Micro Harmonic Drive Getriebes ist, um spielfreie und sehr dynamische Bewegungen zu ermöglichen.

Einstellbare Materialeigenschaften

Doch damit nicht genug, denn mit der Galvanoformung können nicht nur exakt sehr komplexe Strukturen abgeformt werden, sondern während der Abformung können auch die Materialeigenschaften durch geschickte Wahl der Galvanikparameter beeinflusst werden. Bezogen auf die Zahnräder von Micromotion bedeutet dies, dass durch die Wahl des Eisengehalts in der Legierung die Materialeigenschaften für den Einsatz in den Mikrogetrieben angepasst wurden. Dies wurde durch eine Abstimmung des Verhältnisses des Eisengehalts im Elektrolyten und der Abscheidengeschwindigkeit in den Strukturen des Resists möglich. Die Höhe des Eisengehalts in der Nickel-Eisen-Legierung bestimmt im Wesentlichen die Dauerwechselfestigkeit der Zahnräder, die wie oben schon erwähnt eine notwendige Eigenschaft für das Micro Harmonic Drive Getriebe ist. Um die entsprechenden Drehmomente übertragen zu können, muss auch eine gewisse Härte und Festigkeit der Zahnräder gegeben sein. Die Härte und Festigkeit der Legierung wird nicht nur durch den Eisengehalt

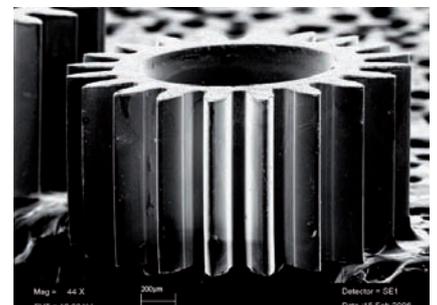


Bild 4. Planetenrad MPG mit einer Zahnradbreite von 1.000 µm und 1,6 mm Bohrungsdurchmesser.

beeinflusst, sondern es überlagern sich hier noch weitere Effekte, wie die Zugabe eines Kornverfeinerers in die Galvanik oder eine relativ hohe Abscheidengeschwindigkeit, die zu einer kleinen Korngröße des Metalles beitragen. Mit kleinerer Korngröße wächst bekanntermaßen die Festigkeit und Härte. Durch die entsprechende Einstellung und Überwachung der Galvanikparameter können somit die Materialeigenschaften von Mikrobauteilen für ihre spätere Verwendung mittels der Galvanoformung gezielt eingestellt werden.

Im Fall der Mikrozahnräder von Micromotion beträgt die mittlere Härte 55HRC und die mittlere Zugfestigkeit rund 1.800 N/mm². Das Elastizitäts-Modul beträgt im Mittel 135.000 N/mm², welches ein Maß



Bild 5. Ausschnitt eines Micro Harmonic Drive Getriebes mit markantem Planetenrad. Hinterschnitte sorgen für ein radial federndes Verhalten unabhängig von der Zahnraddicke.

für die Federeigenschaften der Zahnräder ist. Diese Werte sind denen von Federstahl ähnlich und unterstützen somit die charakteristischen Eigenschaften des Micro Harmonic Drive Getriebes optimal.

1.000 in einem Batch

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Galvanoformung ist die gleichzeitige Herstellung von sehr vielen Bauteilen in einem Prozessschritt, das auch als sogenannter Batch Prozess bezeichnet wird. Durch die Bestückung von bis zu 1.000 Zahnrädern pro Wafer, die in einem Batch-Prozess hergestellt werden können, reduzieren sich die Kosten gegenüber einer seriellen Herstellung. Werden zusätzlich mehrere Wafer gleichzeitig in einem Galvanikbad abgeschieden, so reduzieren sich die Kosten um ein Vielfaches bei entsprechender Auslastung der Anlage.

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass der Trend der Miniaturisierung zu einem Umdenken für die Anwendung von neuen Verfahren, wie der Lithografie und der Galvanoformung, zusammengefasst als Direkt-LIGA, führen muss. Diese Verfahren haben ihre Vorteile in der Übertragung von sehr komplexen Geometrien und bei kleinen Abmessungen der Mikrobauteile hauptsächlich in zwei Dimensionen und eingeschränkt in der dritten Dimension. Die Galvanoformung als letztendliches Herstellungsverfahren, für zum Beispiel Mikrozahnräder, bietet hierbei die Möglichkeit, durch die Wahl der Prozessparameter die Materialeigenschaften optimal anzupassen. Hierbei konnte in diesem Artikel nur kurz

auf die mechanischen Eigenschaften einer Nickel-Eisen-Legierung für Mikrozahnräder eingegangen werden. Diese Metalllegierung kann natürlich auch für andere Anwendungen, wie für magnetische Sensoren und Aktoren im Mikromaßstab, bei denen die magnetischen Eigenschaften im Vordergrund stehen, interessant sein.

Allen Anwendungen ist jedoch gleich, dass mit der Galvanoformung ein wichtiges Werkzeug der Mikrotechnik

zur Verfügung steht, mit dem hochpräzise und komplexe metallische Mikrobauteile in einem Batch-Prozess produziert werden können, deren Materialeigenschaften weitgehend einstellbar und von der Kostenseite wirtschaftlich sind. ●

Literatur:

- [1] Menz, W.; Mohr, J.: Mikrosystemtechnik für Ingenieure, Weinheim, VCH, 2. Aufl., 1997.
- [2] U. Kirsch, R. Degen: Direkt-LIGA Verfahren Mikroteile präzise produzieren, JOT 1, Vieweg Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, S. X-XII, (2007).
Download unter: <http://www.micromotion-gmbh.de/sites/deutsch/download-d-veroeff.html>
- [3] Unternehmensprospekt der Micromotion GmbH; 04/2005 MM 90 01 18.
Download unter: <http://www.micromotion-gmbh.de/sites/deutsch/download-d.html#>

Kontakt

Dr. Udo Kirsch
Micromotion GmbH
An der Fahrt 13
D-55124 Mainz
Tel.: +49 6131 66927-14, Fax: -20
E-Mail: kirsch@micromotion-gmbh.de
Internet : www.micromotion-gmbh.de