

## **LIGA Verfahren**

Was bedeutet LIGA Verfahren –  
ein Überblick über das LIGA Verfahren;  
Erläuterung der Prozesse und Anwendungsbeispiele

Hausarbeit zum Seminar:  
**„Mikrosystemtechnik“**

Wintersemester 2002/2003  
Leitung: **Prof. Stein**

vorgelegt von:  
**Christian Prüfer**  
Matrikel Nr.: 488652  
6. Fachsemester

Jena, 15.03.2003

## 1. Inhalt

1.	<b>INHALT</b> .....	2
2.	<b>EINLEITUNG</b> .....	3
2.1.	LIGA VERFAHREN –HERKUNFT .....	3
2.2.	KURZE ÜBERSICHT DER WICHTIGSTEN PROZESSCHRITTE DES LIGA VERFAHREN .....	3
2.3.	LIGA TECHNIK .....	4
3.	<b>RÖNTGENTIEFENLITHOGRAPHIE</b> .....	5
3.1.	WARUM RÖNTGENSTRAHLUNG.....	5
3.2.	MASKENHERSTELLUNG FÜR DEN LIGAPROZESS .....	5
3.3.	BESTRAHLUNGSGEOMETRIEN .....	7
3.3.1.	<i>Bestrahlung unter verschiedenen Einfallswinkeln</i> .....	7
3.3.2.	<i>Aufwachsen einer zweiten Schicht</i> .....	7
3.3.3.	<i>Opferschichttechnik</i> .....	8
4.	<b>GALVANISCHE ABSCHIEDUNG</b> .....	8
5.	<b>ABFORMUNG</b> .....	10
6.	<b>ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN</b> .....	10
6.1.	MIKROMOTOR .....	11
6.2.	MIKROTURBINE .....	12
7.	<b>AUSBLICK</b> .....	14
8.	<b>VERWENDETE QUELLEN</b> .....	14
9.	<b>ABBILDUNGSNACHWEIS</b> .....	15

## 2. Einleitung

In der folgenden Arbeit soll es darum gehen, das LIGA Verfahren vorzustellen. Ich werde erläutern, was LIGA Verfahren bedeutet, werde auf die wesentlichen Prozesse des Verfahrens eingehen und werde etwas zur Anwendung des Verfahrens beschreiben.

### 2.1. LIGA Verfahren –Herkunft

Das LIGA Verfahren wurde unter Leitung von Dr. E. Ehrfeld Anfang der achtziger Jahre im IMT (damals noch Institut für Kernverfahrenstechnik) entwickelt.<sup>1</sup> Ziel war es Trenndüsen zur Isotopentrennung von Uran herzustellen.

**LIGA** ist ein Kunstwort und steht für die wesentlichen Prozessschritte des Verfahrens.

Diese sind:

- Röntgentiefenlithographie
- Galvanik
- Kunststoff-Abformtechnik

Diese Verfahrensschritte haben eine große Bedeutung bei der Herstellung von Mikrobauteilen und Mikrosystemen bekommen.

Das LIGA Verfahren bietet den Vorteil, Mikrobauteile mit nahezu beliebigen lateralen Geometrien und großer Strukturhöhe aus den Materialien Kunststoff, Metall und Keramik erstellen zu können, und deckt so den Bereich der Nicht-Silizium-Materialien ab.<sup>2</sup>

### 2.2. Kurze Übersicht der wichtigsten Prozessschritte des LIGA Verfahren<sup>3</sup>

#### 1. Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung

- Vorteil: intensive, parallele Strahlung mit Wellenlänge im A-Bereich
- Nachteil: extrem teure Apparatur

#### 2. Galvanoformung (electroplating)

- Vorteil: hohe Materialvielfalt

---

<sup>1</sup> 03 [http://www.fzk.de/imt/liga/d\\_index.html](http://www.fzk.de/imt/liga/d_index.html)

<sup>2</sup> 01 [http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter\\_deutsch/liga.pdf](http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter_deutsch/liga.pdf)

<sup>3</sup> 05 [fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/](http://fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/)

### 3. Abformung

- Massenproduktion durch Spritzguss und Prägen

### 4. Eventuell zweite Galvanoformung

- Vorteil: hohe Materialvielfalt
- Nachteil: verlorene Formen

## 2.3. LIGA Technik

Die folgende Abbildung zeigt das Prinzip des LIGA Prozesses, in sechs Stufen.

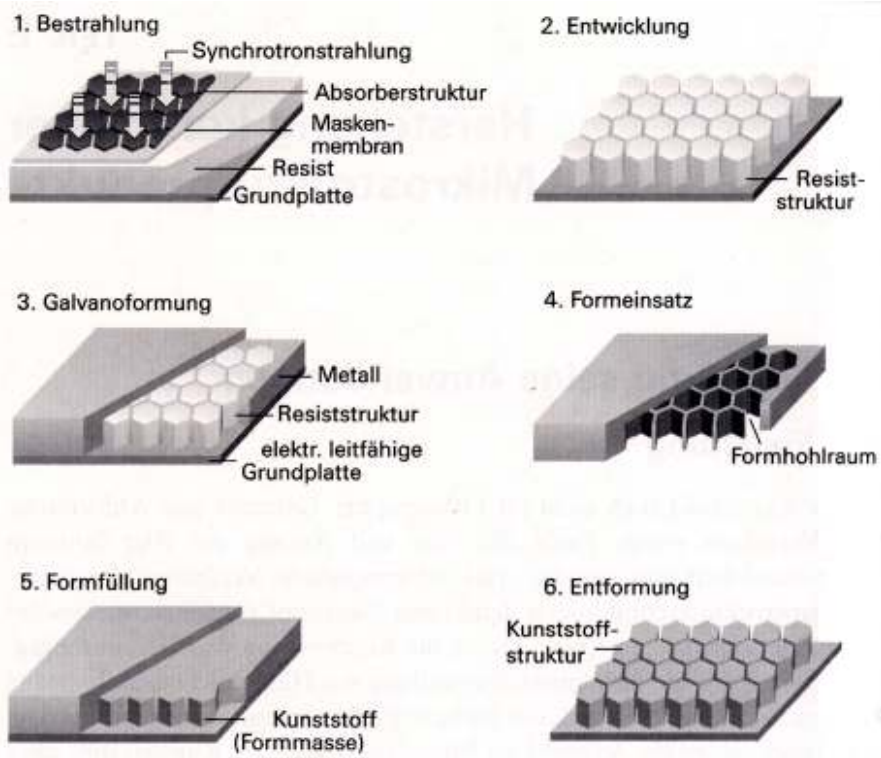


Abbildung 1:<sup>4</sup> Fertigungsschritte des LIGA Prozesses

<sup>4</sup> Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 432

### 3. Röntgentiefenlithographie

#### 3.1. Warum Röntgenstrahlung<sup>5</sup>

- Wellenlängenbereich:  $0,2 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 2 \text{ nm}$ 
  - Beugungseffekte sind vernachlässigbar
  - Belichtung des Resist bis zu einer Dicke von 3mm möglich

#### Nachteile der Röntgenstrahlung<sup>6</sup>

- Für Röntgenstrahlen gibt es keine optischen Komponenten wie Linsen oder Hohlspiegel:
  - nur Schattenprojektion (Proximity – Belichtung)
  - keine Reticle möglich
  - Strukturen der Maske haben dieselben Abmessungen wie im Resist
  - Großer Aufwand der Maskenfabrikation
- Strahlung ist divergent
- Strahlungsschäden

#### 3.2. Maskenherstellung für den LIGAprozess

Bevor man mit der lithographischen Strukturierung beginnen kann, muss man eine geeignete Arbeitsmaske anfertigen. Die Arbeitsmasken sind typischerweise  $20 \mu\text{m}$  bis  $30 \mu\text{m}$  hoch und die Strukturen bestehen meistens aus Gold. Die Strukturen sind aus Gründen der Formfreiheit auf einem Beryllium-, Titan- oder Siliziumnitridträger aufgebracht.<sup>7</sup> Mit Hilfe der Fertigung von Vormasken, aus denen die Arbeitsmaske sukzessive erstellt wird, erreicht man die geforderte Höhe der Goldabsorberstrukturen.

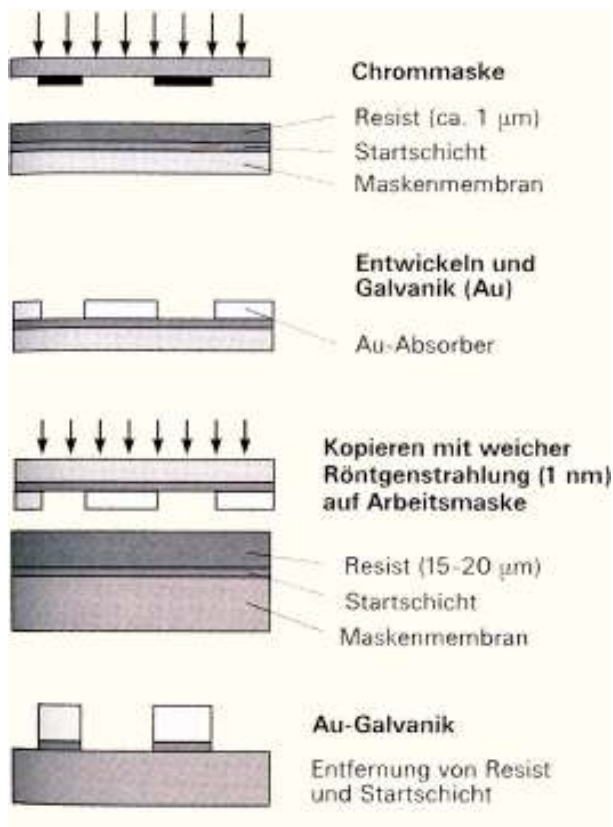
Folgend sind die Fertigungsschritte für die Erstellung einer Arbeitsmaske dargestellt.

---

<sup>5</sup> 05 <http://fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/mst/vorlesungen/mst2/MST2-LIGA-Verfahren.pdf>

<sup>6</sup> 05 05 <http://fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/mst/vorlesungen/mst2/MST2-LIGA-Verfahren.pdf>

<sup>7</sup> vgl. W. Ehrfeld, Handbuch Mikrotechnik, 2002, S. 431



**Abbildung 2: Fertigungsschritte für die Herstellung einer Arbeitsmaske<sup>8</sup>**

Mit Hilfe eines Elektronenstrahlschreibers wird eine Chromschicht auf einem Quarzsubstrat strukturiert. Danach werden die Strukturen photolithographisch in eine wenige Mikrometer hohe Photoresistschicht übertragen und nach dem Entwickeln galvanisch mit Gold aufgefüllt. Die daraus entstandene Zwischenmaske wird dazu verwendet, mit Hilfe von weicher Synchrotronstrahlung die Struktur in dickeren Resist zu übertragen. Im Gegensatz zu UV-Strahlung verwendet man hierbei Synchrotronstrahlung, weil UV Strahlung in diesen Resisthöhen von einigen zehn Mikrometern durch Beugung nach unten gekrümmte Wände erzeugen würde. Ein nochmaliges galvanisches Auffüllen der entwickelten Strukturen ergibt nun die Arbeitsmaske. Mit dieser kann man nun eine mehrere hundert Mikrometer hohe Resistschicht bestrahlen.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> W. Ehrfeld, Handbuch Mikrotechnik, 2002, S. 433

<sup>9</sup> vgl W. Ehrfeld, Handbuch Mikrotechnik, 2002, S. 432

### 3.3. Bestrahlungsgeometrien

#### 3.3.1. Bestrahlung unter verschiedenen Einfallswinkeln

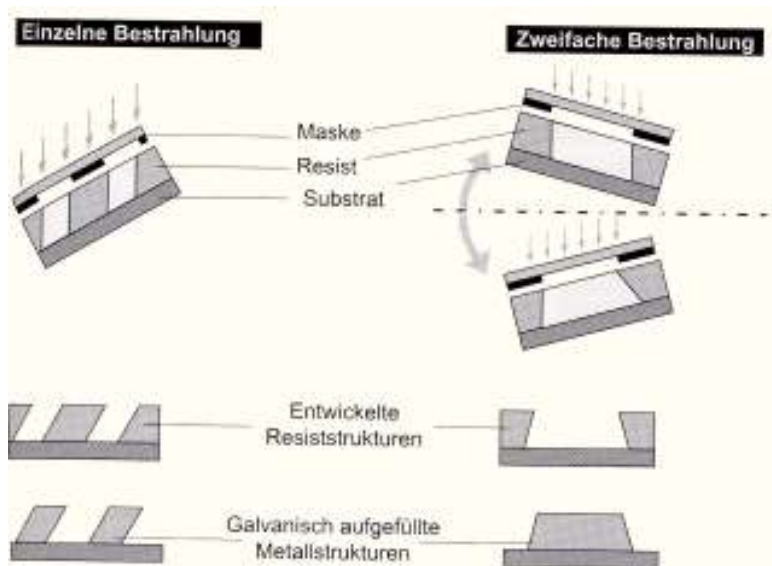


Abbildung 3:<sup>10</sup> Einfach- und Mehrfachbestrahlungen unter beliebigen Neigungswinkeln

Der Einfallswinkel der Bestrahlung kann in jedem Fall variiert werden, es kann also mehrfach bestrahlt werden und jedes Mal ein anderer Einfallswinkel eingestellt werden. Dabei wird die Maske mit geneigt und wirkt dementsprechend nur noch als Teilabsorber. Die Kantensteilheit kann somit beeinflusst werden, sie entspricht dann dem Winkel der Einstrahlung zur Oberfläche.

#### 3.3.2. Aufwachsen einer zweiten Schicht



Abbildung 4:<sup>11</sup> Aufwachsen einer zweiten Galvanikschicht durch Wiederholen des LIGA Prozesses

<sup>10</sup> Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 437

<sup>11</sup> Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 437

Eine weitere Möglichkeit ist das wiederholte Bestrahlen eines bereits bestrahlten und galvanisch aufgefüllten Substrates, welches erneut mit einer Resistschicht belegt wurde.

Hierbei muss besonders darauf geachtet werden, die zweite Arbeitsmaske genau zu Justieren, da diese die Lage der neuen Galvanikstrukturen in Bezug zur ersten bestimmt.

### 3.3.3. Opferschichttechnik

Der Einsatz von Opferschichten ist eine gängige Möglichkeit um zum Beispiel auch die Fertigung beweglicher Teile zu realisieren. Diese sind beispielsweise bei Aktuatoren notwendig.<sup>12</sup> Dabei ist es unbedingt notwendig eine elektrische Isolation der Teile zu gewährleisten, bevor an deren Stelle die eigentliche Opferschicht aufgetragen wird. Nach der Bestrahlung und Entwicklung werden die Vertiefungen galvanisch aufgefüllt. Die Opferschicht wird dann - als letzter Schritt – entfernt.

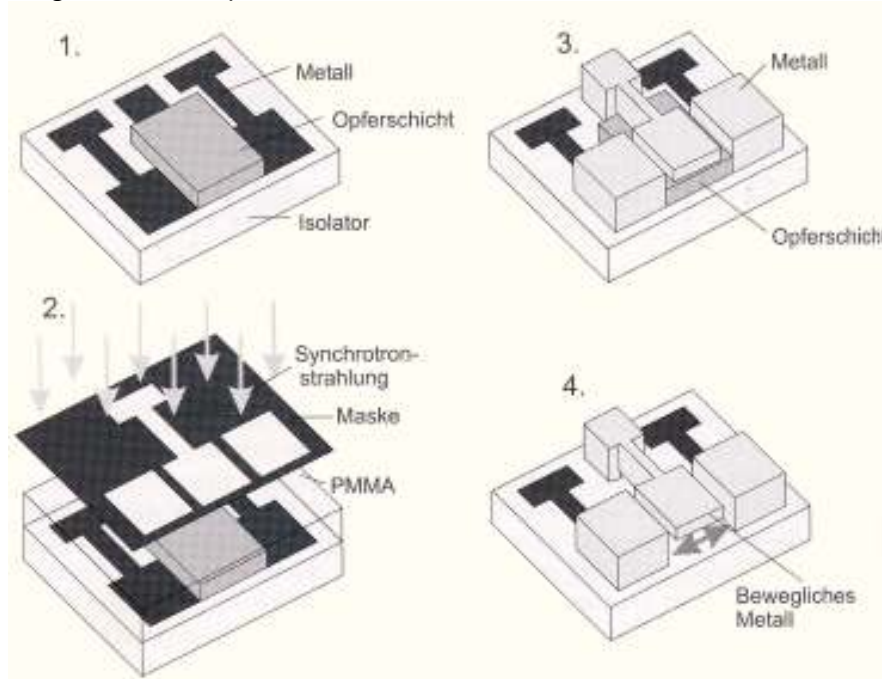


Abbildung 5:<sup>13</sup> Opferschichttechnik für die Herstellung beweglicher Aktuatoren

## 4. Galvanische Abscheidung

Mikrostrukturen, welche mit der Röntgentiefenlithographie hergestellt wurden, könnten in einigen Fällen schon das Endprodukt sein (z.B.

<sup>12</sup> W. Ehrfeld, Handbuch Mikrotechnik, 2002, S. 438

<sup>13</sup> Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 438



mikrooptische Komponenten aus Kunststoff). Oft benötigt man jedoch robuste und formstabile Abformwerkzeuge aus Metall. Diese werden zur Herstellung von Mikrostrukturen in einer kostengünstigen Kunststoffabformung benötigt.

Metallische Mikrostrukturen erhält man dadurch, indem man die Zwischenräume der Strukturen aus Kunststoff mit Hilfe der galvanischen Abscheidung mit Metall auffüllt.

Im folgende gehe ich auf einige technologische Probleme bei der Galvanoformung ein.<sup>14</sup>

- Ungenügende Haftung zwischen der Oberfläche und den aufgalvanisierten Metallstrukturen; das wiederum bewirkt die Auflösung einzelner Strukturelemente
- Innere Spannungen innerhalb der abgeschiedenen Metallschicht können zu Verformungen in der Struktur führen
- Inhomogene Metallverteilung kann dazu führen, dass die Höhe der Mikrostruktur nur an manchen Stellen erreicht oder sogar überschritten ist, wobei die gewünschte Höhe an anderen Bereichen noch nicht erreicht wurde.
- Ein weiterer Punkt sind die zum Teil relativ schmalen und tiefen Gräben der Resiststruktur. Es muss gewährleistet werden, dass eine defektfreie Metallabscheidung stattfindet.
- Die Zusammensetzung der Elektrolyte ist ständig zu kontrollieren, da diese Zusammensetzung der Elektrolyte sehr genau konstant gehalten werden muss.

Was bei der Galvanik übrig bleibt, ist ein metallener Formeinsatz, der nun für die Replikation durch Spritzguss, Spritzprägen, Heißprägen oder Reaktionsguss verwendet werden kann.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> vergleiche hierzu W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 210

<sup>15</sup> vgl. Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 439

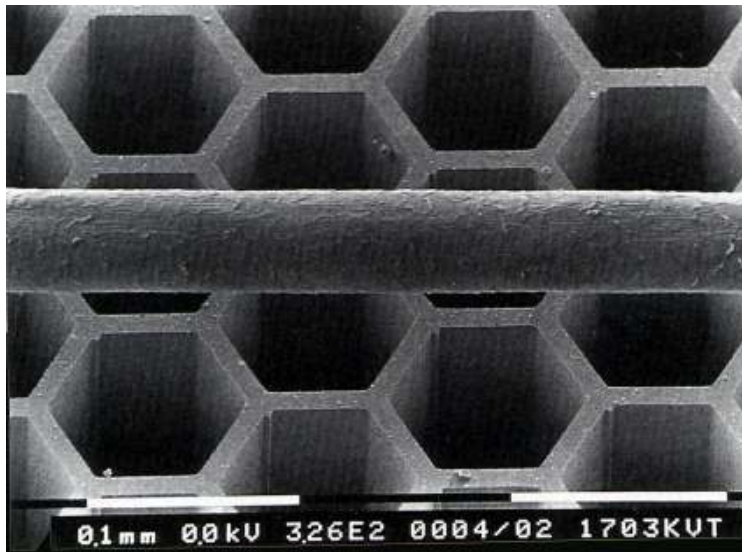


Abbildung 6:<sup>16</sup> Beispiel für eine metallische Mikrostruktur, die aus einem Nickelsulfamatbad abgeschieden wurde. Zum Größenvergleich ist ein menschliches Haar über die Struktur gelegt.

## 5. Abformung

Interessant für die industrielle Vermarktung von Mikrostrukturen, welche mit dem LIGA Verfahren hergestellt werden, wird der Prozess durch die Möglichkeit der Replikation oder der kostengünstigen Massenfertigung. Bei der Replikation von Mikroteilen muss besonders auf die Formfüllung geachtet werden. Die metallenen Formeinsätze haben meist sehr kleine und relativ tiefe Hohlräume, die es komplett zu füllen gilt. Die Viskosität der verwendeten Kunststoffe muss also sehr gering sein und sollte es auch während des gesamten Füllvorganges bleiben. Dazu ist es notwendig, dass das Werkzeug heizbar ist. Auch Lufteinschlüsse in der Struktur müssen verhindert werden. Hierfür ist es hilfreich, wenn das Werkzeug evakuierbar ist. Probleme bei der Abkühlung kann es immer geben, und deshalb kann es auch sein, dass man diese vorher erkennt oder sogar berechnet oder simuliert, um sie bei der Formherstellung in den ersten Schritten des LIGA Verfahrens schon berücksichtigen zu können.

## 6. Anwendungsmöglichkeiten

Durch die völlig freien Formgebungsmöglichkeiten sowie die große Materialvielfalt eröffnen die Anwendung des LIGA Verfahrens in vielen unterschiedlichen Bereichen:<sup>17</sup>

<sup>16</sup> W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 215

- Mikromechanik
- Mikrooptik und integrierte Optik
- Sensor- und Aktortechnologie
- Chemie-, Biologie- und Medizintechnik

Folgend sind zwei Anwendungsbeispiele des LIGA Verfahrens näher erläutert.

## 6.1. Mikromotor

Die Anziehungskraft zweier gegenpolig geladenen Elektroden, welche einen Kondensator bilden, sind der Grund für das Funktionieren eines elektrostatischen Mikromotors. D.h., wenn sich zwei Elektroden versetzt gegenüber stehen, ziehen diese sich nicht nur senkrecht zu ihrer Oberfläche an, sondern sie ziehen sich auch in paralleler Richtung zu ihrer Oberfläche an, und zwar so lange, bis sich die beiden Elektroden genau gegenüberstehen. Diese tangentielle Antriebskomponente (wenn Rotor und Stator mit zwei entgegengesetzten Elektroden versehen) kann zur Erzeugung eines Drehmoments genutzt werden.

Auf zwei gegenüberliegenden Statoren wird eine Spannung angelegt (Bild b). Auf der Oberfläche des leitfähigen Rotors werden Gegenladungen induziert, so dass sich eine tangentielle Antriebskraft ergibt.<sup>18</sup> Sobald sich die beiden Platten genau gegenüberstehen, also keine tangentielle Kraft mehr wirkt, wird die Spannung an das benachbarte Elektrodenpaar angelegt, welches ja jetzt versetzt ist und wodurch wieder eine tangentielle Kraft zustande kommt.

Da die antreibende Tangentialkraft bei einem Plattenkondensator zwar von der Höhe aber nicht von der Länge der Platten (Elektroden) abhängt, ist es günstig, den Rotor und die Statoren so auszuführen, dass sich viele kleine parallelgeschaltete Platten ergeben, die schließlich zu einer gezahnten Oberfläche führen.<sup>19</sup>

In Bild d ist die notwendige Betriebsspannung in Abhängigkeit der Drehzahl dargestellt. Zum Anlaufen wird eine um etwa 30% höhere Spannung verbraucht als die Spannung bei kleinen Drehzahlen (ca. 65 V). Grund dafür ist die zu überwindende Haftreibung um den Rotor aus dem Stillstand zum Bewegen zu bringen.<sup>20</sup>

---

<sup>17</sup> vgl. W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 242

<sup>18</sup> W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 258

<sup>19</sup> W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 258

<sup>20</sup> vgl. W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 258

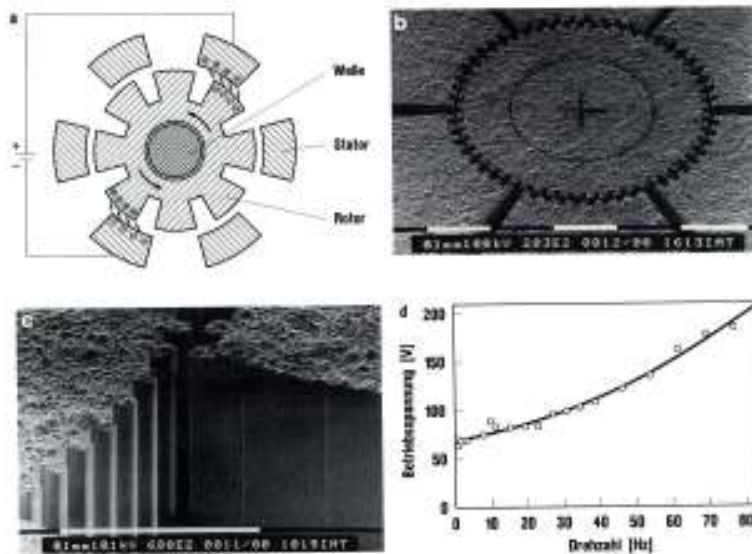


Abbildung 7:<sup>21</sup> Elektrostatischer Mikromotor

- Prinzip eines elektrostatischen Mikromotors
- REM-Aufsicht auf die Gesamtstruktur
- REM-Aufnahme mit Details der gezahnten Elektroden von Rotor und Stator
- Gemessene Betriebsspannung zur Aufrechterhaltung der Rotation in Abhängigkeit der Drehzahl

## 6.2. Mikroturbine

Es gibt Anwendungsmöglichkeiten für Mikrosensoren, bei denen Teile der Anordnung frei beweglich sind, aber doch noch mit dem System fest verbunden sind. Beispiele hierfür wären z.B. der Beschleunigungssensor oder der Linearantrieb. Dagegen muss bei sich drehenden Mikrostrukturen der Rotor völlig vom Substrat abgelöst sein. Nur die Achse, auf die der Rotor lagert, muss fest mit dem Substrat verbunden sein. Die ersten rotierenden LIGA Strukturen, die hergestellt wurden, waren Mikroturbinen, die mit Hilfe von Gasen oder Flüssigkeiten angetrieben wurden.

Die beweglichen Teile der Struktur, also die Rotoren, werden nicht wie bei den zusammengesetzten Strukturen nachträglich auf die Achse montiert, sondern sie werden an ihrem endgültigen Platz – wie oben schon beschrieben auf – einer Opferschicht aufgebaut. Diese wurde nach dem letzten eigentlichen Prozessschritt selektiv entfernt. Ein Problem stellt die

<sup>21</sup> W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 259

Reibung zwischen dem Rotor und der Achse dar. Konventionelle Schmierung ist aufgrund der kleinen Spalte sehr schwierig; deshalb verwendet man Luftlager. Wellenförmige Lager haben bei der bisherigen experimentellen Untersuchung besonders günstige Laufeigenschaften gezeigt (siehe dazu Bild b).

Um die Drehzahl solcher Mikroturbinen zu messen, nimmt man Glasfaser zur Hilfe. Diese werden in vorgefertigten Schächten bis zum Rotor gelegt (siehe Bild c). Der Lichtstrahl der von einem Sender ausgeht, trifft bei jedem Vorbeidrehen eines Rotorblattes auf dessen Stirnseite und wird von dieser reflektiert. Diese Impulse können mit einer ziemlich hohen Genauigkeit gemessen werden. Mit dem Wissen über die Anzahl der Zähne und der gemessenen Anzahl der Impulse lässt sich nun einfach die Geschwindigkeit der Mikroturbine bestimmen.

In Abbildung d ist die Rotationsgeschwindigkeit nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen aus dem Stillstand dargestellt. Man kann deutlich sehen, dass bereits nach sehr wenigen Umdrehungen die Geschwindigkeit der Turbine extrem hoch ist. Mit den bestehenden Lagern sind Gesamtdrehzahlen von bis zu 100 Millionen Umdrehungen möglich.<sup>22</sup>

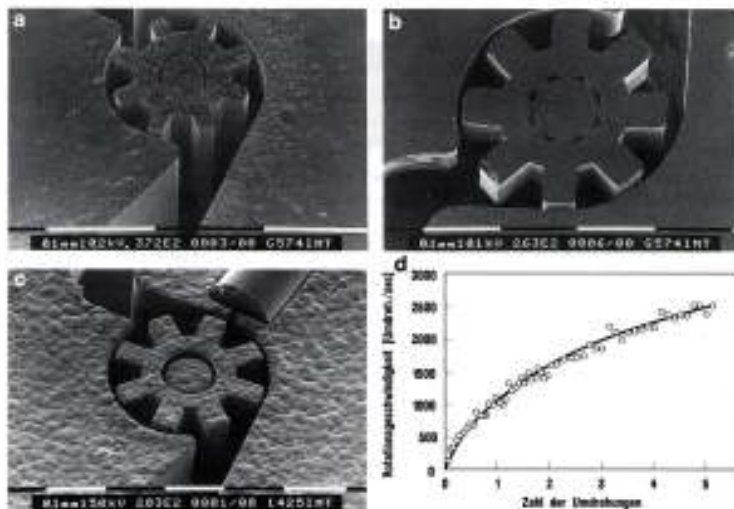


Abbildung 8:<sup>23</sup> Mikroturbine

- a) REM-Aufnahme einer Mikroturbine aus Nickel
- b) REM-Aufnahme einer Mikroturbine aus Kupfer mit strukturiertem, wellenförmigem Lager
- c) REM-Aufnahme einer Mikroturbine mit integrierter Glasfaser zur Drehzahlmessung
- d) Gemessener Anstieg der Drehzahl während eines Anlaufvorgangs

<sup>22</sup> vgl. W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 258

<sup>23</sup> W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; S 257

## 7. Ausblick

Das LIGA Verfahren hat sich im Laufe von mittlerweile zwei Jahrzehnten von einer Labortechnologie zu einem wirtschaftlich einsetzbaren Integrationsverfahren in der Mikrotechnik gewandelt.<sup>24</sup> Weltweit werden für das LIGA Verfahren ständig neue Anwendungen geschaffen. Das Interesse dieses Verfahrens ist dabei die Möglichkeit, der billigen Massenproduktion von hochkomplexen Mikrotechniken.

Das LIGA Verfahren wird in seinen Möglichkeiten noch verfeinert, um noch mehr Anwendungsgebiete zu besetzen und die kostengünstige Massenproduktion von Mikrosystemen schnell voranzutreiben.

## 8. Verwendete Quellen

- 01 [http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter\\_deutsch/liga.pdf](http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter_deutsch/liga.pdf)
- 02 [http://www.rs.uni-siegen.de/Lehre/seminarmaterialien/MST-Seminar\\_SS2000/Folien\\_Schaefer.pdf](http://www.rs.uni-siegen.de/Lehre/seminarmaterialien/MST-Seminar_SS2000/Folien_Schaefer.pdf)
- 03 [http://www.fzk.de/imt/liga/d\\_index.html](http://www.fzk.de/imt/liga/d_index.html)
- 04 [http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter\\_deutsch/liga.htm](http://www.fzk.de/pmt/arbeits Themen/datenblaetter_deutsch/liga.htm)
- 05 [fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/mst/vorlesungen/mst2/MST2-LIGA-Verfahren.pdf](http://fachschaft.informatik.uni-freiburg.de/~ehrenfeu/ersticd/mst/vorlesungen/mst2/MST2-LIGA-Verfahren.pdf)
- Microsoft• Encarta• Enzyklopädie 2000. • 1993-1999 Microsoft Corporation.
- Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, 2002 Carl Hanser Verlag München Wien
- W. Menz, P.Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure; 1993 VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim
- Friedmann Völklein, Thomas Zetterer; Einführung in die Mikrosystemtechnik; 2000 Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH

Hinweise zu Fußnoten an Überschriften: Hierbei bezieht sich die Fußnote auf den Teil des Textes, der durch die Überschrift deklariert ist.

---

<sup>24</sup> Wolfgang Ehrfeld; Handbuch Mikrotechnik, S. 449

## 9. Abbildungsnachweis

Abbildung 1: Fertigungsschritte des LIGA Prozesses .....	4
Abbildung 2: Fertigungsschritte für die Herstellung einer Arbeitsmaske...	6
Abbildung 3: Einfach- und Mehrfachbestrahlungen unter beliebigen Neigungswinkeln .....	7
Abbildung 4: Aufwachsen einer zweiten Galvanikschicht durch Wiederholen des LIGA Prozesses .....	7
Abbildung 5: Opferschichttechnik für die Herstellung beweglicher Aktuatoren .....	8
Abbildung 6: Beispiel für eine metallische Mikrostruktur, die aus einem Nickelsulfamatbad abgeschieden wurde. Zum Größenvergleich ist ein menschliches Haar über die Struktur gelegt.....	10
Abbildung 7: Elektrostatischer Mikromotor .....	12
Abbildung 8: Mikroturbine .....	13