

## Mikrogalvanik in tiefen SU8 Strukturen

P. Choleva, S. Partel., R. Mathies

### Einführung:

Wie in allen Bereichen der Technik bestimmt auch in der Mikrotechnologie die Verfügbarkeit geeigneter Werkstoffe zusammen mit den entsprechenden Formumgebungs- und Strukturierungsverfahren die Funktion und Gestalt von Bauteilkomponenten und Systemen.

Einen solches System ist zum Beispiel die Erzeugung eines RFID- Systems („Radio Frequency Identification“) durch Mikrogalvanik in tiefen SU8 Strukturen. Diese Bauteile lassen eine automatische Identifikation wie sie im Handel, in der Logistik, in Materialflusssystemen und sonstigen Dienstleistungsbereichen gefordert werden zu. Das besondere ist die kontaktlose Übertragung der Information zwischen Datenträger und Lesegerät, dabei wird außer der Information auch die Energie übertragen[1]-[3]. Der zugehörige Datenträger, ein Transponder, besteht aus einem elektronischen Mikrochip und einem geeigneten Koppellement, d.h. einer Antenne (Abb. 1)

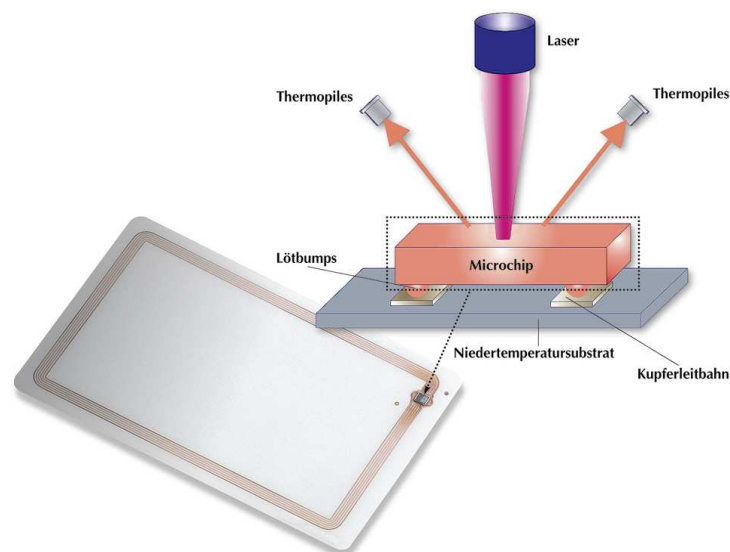


Abb.1 RFID- System bestehend aus Transponderchip und fototechnisch strukturierter planarer Spule auf PVC/ ABS-Träger [1]-[3]

Die Anwendung der fotostrukturierbaren Polymerschichten (Polyimid, SU8) zur Realisierung von Mikrosystemen hat in den letzten Jahren zunehmen an Bedeutung gewonnen. In der Literatur wird ferner über Anwendungen dieser Polymerschichten zur Herstellung von Sensoren berichtet [4]-[6].

Wir zeigen in dieser Arbeit den Herstellungsprozess des Koppellementes (Antenne). Dabei wird die formgebende Struktur aus SU8 Fotolack erzeugt und durch einen nachfolgenden Galvanikprozess erhält das Bauelement seine eigentliche Funktion als Spule (Antenne).

Mit der Galvanoformung steht ein additives Verfahren zur Verfügung, bei welchem durch elektrochemische Prozesse metallische Werkstoffe aus einem Elektrolyten abgeschieden werden. Die Formgebung geschieht durch lithographisch hergestellte Mikrostrukturen aus Fotolack, welche die Abscheidung geometrisch begrenzen. Ein wesentlicher Vorteil der galvanischen Prozesse sind die verhältnismäßig hohen Abscheideraten, wodurch sich das Verfahren auch für die im Zuge dieser

Arbeit verwendeten dicken Schichten anbietet [7]-[9]. In Abbildung 2 ist das Layout der Spule (2a) sowie eine schematische Darstellung der einzelnen Spulenwindungen aus Nickel mit SU8 Fotolack in den Zwischenräumen dargestellt.

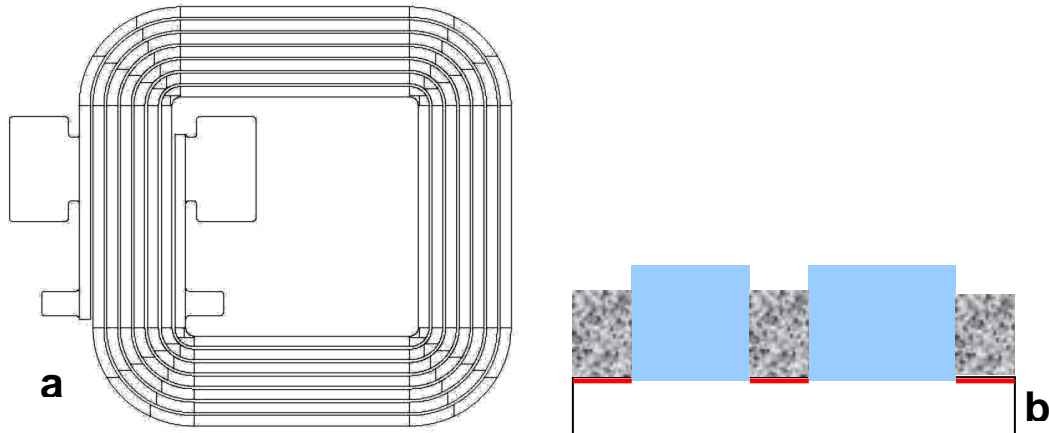


Abb. 2 Spulenlayout (a) und schematische dargestellter Querschnitt über die Spulenwindungen aus galvanisch abgeschiedenem Ni (b)

*Lithographische Herstellung mittels SU8 Fotolack mit Nassätzen der Startschicht*

Die Herstellung der Strukturen in Fotolack wurde mittels Kontaktlithographie mit dem MA6 Maskaligner durchgeführt. Die schematische Abfolge der Prozessschritte zur Herstellung der metallischen Strukturen zeigt Abbildung 3. Als Substrat wurde Si <100> oder Pyrex eingesetzt. Als erster Schritt wird eine metallischen Startschichten durch Sputtern von Ti und Au hergestellt. Anschließend wird auf dieses Schichtsystem ein fotoempfindlicher Negativlack aufgebracht und strukturiert. Das durch die Strukturierung freigelegte metallische Schichtsystem wird geätzt und der verbleibende Fotolack entfernt (gestrippt). Ein weiterer „formgebender“ Lithographieschritt, welcher durch die Verwendung von dicken SU8 - Lackschichten ermöglicht wird, stellt die Basis zur Herstellung der metallischen Strukturen mittels nachfolgender Mikrogalvanik dar.

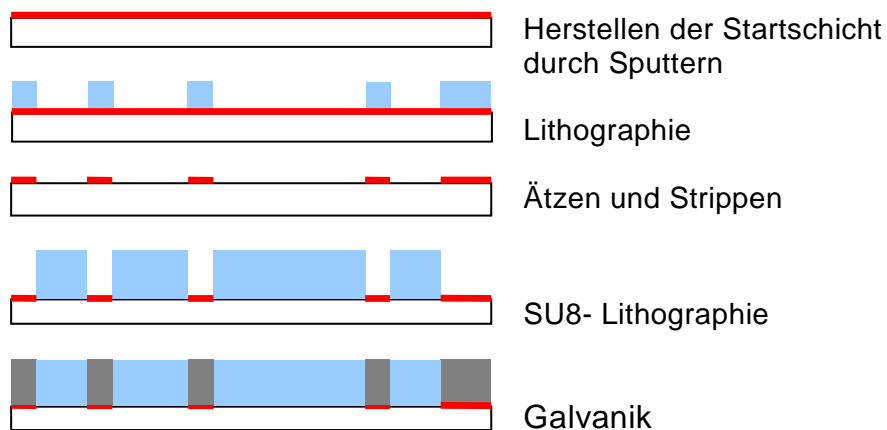


Abb.3 Schematische Darstellung der einzelnen Herstellungsschritte der Spule

Als Vorbereitung zur Galvanik wird die Probe mit DI-Wasser und Isopropylalkohol (IPA) gespült und anschließend zur Erhöhung der Haftfähigkeit mit 10% - er HCl (Salzsäure) für 10 s im Ultraschallbad angeätzt.

Die galvanische Nickelabscheidung erfolgte in einem Nickelsulfamat - Bad bei einer Stromdichte von 0,5 A/dm<sup>2</sup>. Die genaue Zusammensetzung des Bades sowie die Prozessparameter sind in Tabelle 1 aufgelistet:



Elektrolyt		Prozessparameter	
Elektrolyt	Conzentration [g/l]		
Ni( NH <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·7H <sub>2</sub> O	70- 95 g/l	pH	3,6-4
NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	10 g/l	Temperatur	48-52 °C
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	30-40 g/l	Stromdichte	j = 0,5 A/dm <sup>2</sup>
Anionische Netzmittel	10 g/l	Aufwachsrate	6 µm/h

Die Tabelle 1: Es sind die Badkomponenten sowie die optimierten Prozessparameter aufgelistet

Um eine homogene Bekeimung in der Anfangsphase zu erreichen wurde eine höhere Stromdichte ( $j = 1 \text{ A/dm}^2$  für 5 min.) eingesetzt. Die hergestellten Ni-Strukturen weisen nach Beendigung des Prozesses eine Höhe von ca. 80- 95 µm bei einer SU8- Lackdicke von 95-105 µm auf. Die häufigsten Probleme, welche bei der Lithographie auftreten sind Ablösungen der Lackstruktur. Weiters treten bei ungeeigneten Prozessparametern oder Materialkombinationen Haftungsprobleme auf. Speziell in den Randbereichen löst sich der Fotolack von dem Substrat wie bei Abbildung 4a und 4b deutlich zu sehen ist. Bei den gezeigten Kondensatorspulen verbleibt der Fotolack als funktionaler Bestandteil in der fertigen Struktur. Dies stellt höhere Anforderungen an die Lackstruktur ebenso wie an den Galvanikprozess.

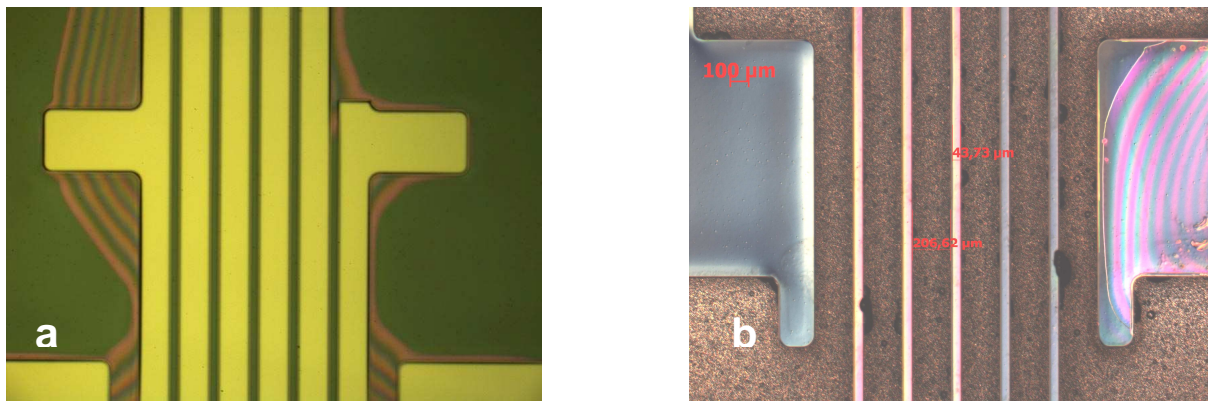


Abb. 4 Typisches Auftreten Newtonscher Ringe bei einem Ablösen der SU8 Struktur vor a) und nach b) der galvanischen Abscheidung ( Si <100> Substrat,  $t = 85 \mu\text{m}$ , Nickelschicht, Startschicht Cu)

Erste Versuche wurden mit Si als Substratmaterial und Cu als Startschicht durchgeführt. Die in Abb 4 a und b dargestellten Haftungsprobleme konnten bei dieser Materialkombination auch durch Ändern der Prozessparameter nicht behoben werden. Durch die Verwendung von Au konnte eine Verbesserung der Haftung beobachtet werden, die Ergebnisse waren jedoch nicht ausreichend. Eine wesentliche Verbesserung konnte durch die Verwendung von Pyrex als Substratmaterial und Au oder Cu als Startschicht erreicht werden. Abbildung 5 zeigt Ergebnisse von Ni-Strukturen auf Pyrex mit SU8 als Fotolack. Dieser zeigt nach dem Metallisierungsschritt keinerlei Spannungsrisse oder Haftungsprobleme. Als Startschicht wurde in diesem Fall Cu verwendet. Die Höhe der SU8-Schicht beträgt 100-105 µm, die der galvanisierten Ni-Struktur 80-85 µm.

Versuche mit unterschiedlichen Spulendesigns ergab ein Aspektverhältnis größer 3. Die Breite der Spulenwindung in Abb. 5a beträgt 107 µm mit einem Abstand von 85 µm (Lack). Abbildung 5b zeigt ein Layout mit geringeren Stegbreiten wobei die Breite der in den Freiräumen gewachsenen Ni-Struktur 26 µm bei einer Höhe von 85 µm beträgt.

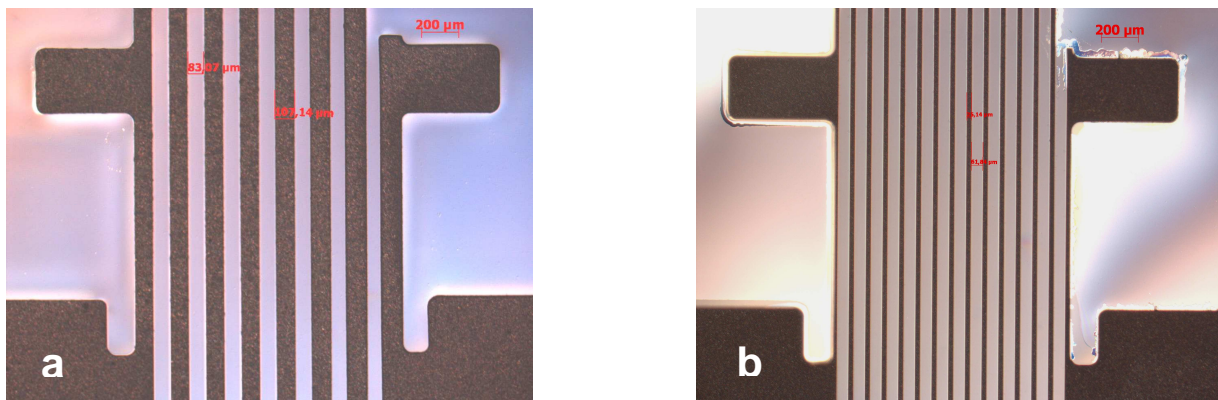


Abb.5 Aufnahmen von Ni-Strukturen auf Pyrex als Substratmaterial und SU8 als Fotolack (Startschicht Cu). Die Breite der Metallbahnen im rechten Bild beträgt 26 µm bei einer Höhe von 85 µm (Aspektverhältnis: AR = 3.3)

Ein inhomogenes Schichtwachstum über das gesamte Substrat bzw. über einzelne Bauelemente kann dazu führen, dass in gewissen Bereichen die gewünschte Höhe bereits erreicht ist, während andere Teile noch nicht vollständig aufgewachsen sind. Oberflächentopographieanalysen mittels Weißlichtinterferometrie zeigen deutlich das inhomogene Wachstum der galvanisch abgeschiedenen Nickelschicht (siehe Abb. 6). Die Dicke der metallischen Schicht weist eine Differenz von ca. 15 µm über den gemessenen Abschnitt mit einer Breite von 1,2 mm auf.

Einflussfaktoren auf das homogene Wachstum sind unter anderem die Elektrolyt-Strömung, die Kathodenbewegung, die Beckengeometrie, der Kathoden-Anodenabstand sowie die Zusammensetzung und Temperatur des Elektrolyten.

Der Wachstumsunterschied innerhalb einer Struktur kann durch eine gute Mikrostreufähigkeit reduziert werden. Im Falle des Nickelbades kann eine hohe Nickelkonzentration angewendet werden, damit auch in engen Kanälen ein gleichmäßiges Wachstum möglich ist.

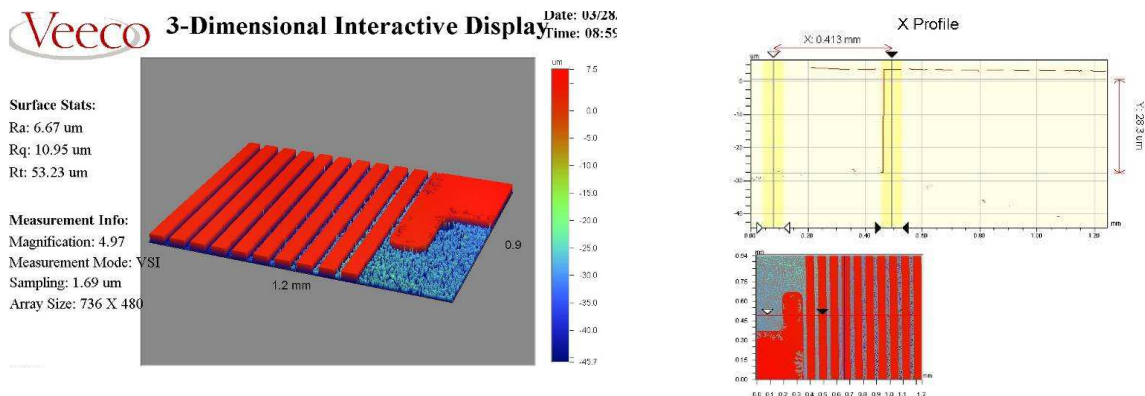


Abb.6 Oberflächentopographieanalyse der galvanischen Abscheidung mittels Weißlichtinterferometrie

Eine weitere Möglichkeit ist die gezielte Anordnung der Strukturen auf dem Substrat und die damit verbundene Feldlinien-Verteilung zur Verbesserung der Homogenität. Fernen können günstig angeordnete Opferflächen auf und um das Substrat herum die Mikrostreufähigkeit verbessern.

Durch eine Anpassung der Stromdichte kann die Homogenität des Schichtwachstums ebenfalls beeinflusst werden. Zusätzlich lassen sich dadurch innere Spannungen vom Zug- in den Druckbereich verlagern. Es hat sich gezeigt, dass bei einer Stromdichte von 0,5- 2 A/dm<sup>2</sup> sich praktisch spannungsfreie Strukturen hoher Homogenität ergeben.

*Diskussion*

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass durch Kombination von Polymerschichten (SU8) mit Mikrogalvanik zusätzlich zu den bisher meistens bekannten mechanischen Teilen auch elektrische Funktionselemente hoher Packungsdichte hergestellt werden können. Wesentliche Probleme lagen bei der Realisierung prozessstabiler Haftung für die Metall- Polymer- Multilayerstruktur sowie die Reproduzierbarkeit der mikrogalvanisch hergestellten Metallstrukturen.

Die mikrogalvanischen Spulen wurden im Rahmen des „Polyhybrid“- Projekts mit Hilfe von SU8-Fotolack nicht nur realisiert, sondern zusätzlich mit Transponderchips versehen und als elektrische Funktionselemente in RFID-Systeme integriert.

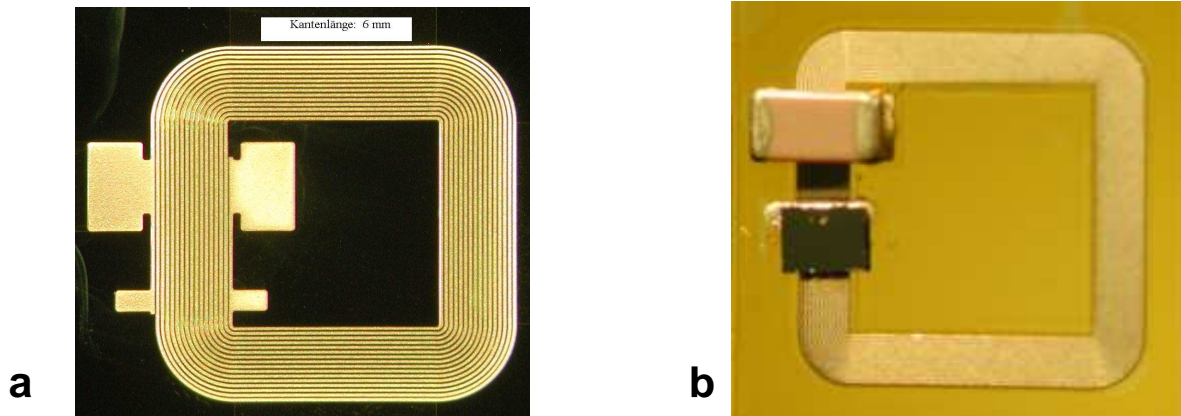


Abb. 7 Komplett prozessierte Mikroschleife (Gesamtlänge: ca 6 mm, dicke: ca: 0.6 mm, Induktivität: 0.39  $\mu$ H (a) und bestücktes Muster bestehend aus Chip, SMD-Kondensator und Antenne- Mini-Transponder (b)

Abb. 7a zeigt eine solche Mikroschleife, die zusammen mit dem Transponderchip LEGIC (Legitimated Integrated Circuit) MIM 256 eine Resonanzfrequenz von 13,56 MHz (Standard Übertragungsfrequenz der RFID-Produkte im HF-Bereich) bildet. Ein komplett bestücktes Muster bestehend aus Chip, SMD-Kondensator und Antenne-Mini-Transponder zeigt Abbildung 7b.

*Ausblick:*

Generell stellt die Galvanik ein Prozess dar, der durch eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren bestimmt wird. Ein geeignetes Werkzeug zur Optimierung dieser Prozessparameter stellen Design of Experiments (DOE)- Methoden dar. Durch die Optimierung von definierten Prozessparametern wird dadurch eine wesentliche Verbesserung der Mikrostrukturierbarkeit und somit Qualität der hergestellten Metallstruktur erwartet. Weiters wird für zukünftige Versuche die sogenannte „Puls-plating“ Methode angewendet bei der mit einem gepulsten Stromverlauf abgeschieden wird. Mit diesem Verfahren wird zusätzlich eine Verbesserung der Schichtqualität erwartet.

Literaturquelle:

- [1] Transpondereinsatz in der Logistik, U. Schmidt, Technik 48, 10.2001
- [2] Chip Card technology in [www.hsg-imit.de](http://www.hsg-imit.de)
- [3] Smart Labels und ihre Anwendungen, B. Beetz, FHTE
- [4] Improving the Process Capability of SU-8, M. Shaw et. al., MEMS 2005
- [5] Development of an SU-8 Fabry-Perot Blood Pressure Sensor, R. Melammud et.al., MEMS 2005
- [6] SU-8 Lift-Off Patterned Silicon Chemical Vapor Deposition, V.T.S. Wong; A. Huang, C.-H. Ho; MEMS 2005
- [7] Schlesinger M., Paunovic M.: Modern Electroplating. Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc (2000)
- [8] Romankiw, L.T.: O’Sullivan, E.J.M. Plating Techniques, in handbook of Microlithography
- [9] Micromachining and Microfabrikation, Rai-Choudhury, P. (Ed.) Vol. 2, Ch 5, SPIE, Optical Engineering Press Bellingham, WA ( 1997) S. 197-298