
Modular aufgebaute „*process-unit*“ – neues Anlagenkonzept für Ätzprozesse und die Wafergalvanoformung

Dr. Markus Guttmann, Dipl.-Ing. (FH) Konradin Kaiser, Dipl.-Ing. Stephanie Muth, Karlsruhe
Dipl.-Des. Hans Moritz, Lohfelden
Dipl.-Ing. Ralf Schmidt, Dr. Michael Zwanzig, Berlin
Dipl.-Ing. Lutz Hofmann, Chemnitz

„*process-unit*“ – Notwendigkeit

An vielen Standorten - sowohl an Universitäten und Forschungseinrichtungen als auch in den Fabs der Industrie - wird weltweit auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik geforscht und entwickelt. Dabei sind die Entwicklung und Produktion von mikrooptischen und -fluidischen Bauteilen, Sensoren, signalverarbeitenden Komponenten sowie systemfähigen Aktoren die Schwerpunkte dieser Arbeiten. Es werden wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen und diese in Produkte umgesetzt, die in marktfähigen Fertigungsverfahren produziert werden sollen. Unter Laborbedingungen müssen dabei zunächst Funktionsmodelle und Prototypen hergestellt werden. Hierbei werden z.B. Funktionsbauteile in Silizium mit nasschemischen Ätzverfahren hergestellt. Mit dem elektrochemischen KOH-Ätzstopverfahren werden Siliziumwafer bearbeitet und dadurch sensitive Siliziumbauelemente erzeugt. Mit aggressiven Chemikalien werden Wafer gereinigt und abgedünnt. In galvanischen Prozessen werden Substrate, teilweise über längere Zeiträume, mit verschiedenen Metallen (Nickel, Kupfer, Gold, u.a.) in den verschiedensten Elektrolyten beschichtet.

Innerhalb der LIGA- bzw. der UV-LIGA-Technik werden Wafer mit Resistmaterialien beschichtet, diese dann über einer Belichtungsquelle maskiert, freigespült und nachfolgend die erzeugten Mikrostrukturen galvanisch aufgefüllt [1]. Danach wird der überschüssige Resist gestrippt. Die nasschemischen Arbeitsprozesse laufen zum Teil mit hohem manuellem Aufwand bei Reinraumbedingungen und oftmals noch unter Einsatz einfacher Bechergläser und in Einzelbecken ab. Alternativ dazu werden Ätz- und Galvanikanlagen mit großen Medienvolumen für die Bearbeitung einzelner Substrate genutzt. Die Wafer und Substrate werden dabei mit unterschiedlichen, im Eigenbau entstandenen, einfachen Haltern in die jeweiligen Prozessbecken gehängt. Die Halter sind dabei schwierig zu handhaben und erfordern eine zeitintensive Be- und Entstückung. Die in den Haltern auf den Wafer ausgeübte mechanische Beanspruchung kann zu Waferbruch führen. Zusätzlich dazu müssen Folien oder aufgeklebte Glasscheiben zum Schutz der nicht zu prozessierenden Waferseite eingesetzt werden. Dieser Schutz muss am Prozessende aufwendig entfernt werden, was zu einer Beschädigung der mikrofeinen Strukturen führen kann. Die für die jeweiligen Prozesse genutzten Einrichtungen und Anlagen lassen in der Regel keine flexible Positionierung der Substrate zu.

„*process-unit*“ – Beschreibung und Aufbau

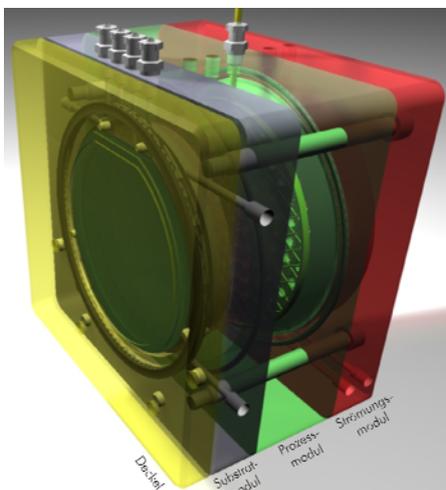


Bild 1 : *silicet process-unit* (Schema)

Im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit [2-4] und eines bestehenden Kooperationsvertrages zwischen der *silicet* AG (Lohfelden) und dem Institut für Mikrostrukturtechnik am Forschungszentrum Karlsruhe GmbH wurde mit diesem Hintergrund mit der Entwicklung eines neuartigen Anlagenkonzepts für nasschemische Prozesse in der Mikrosystemtechnik begonnen. Die Erprobung der neuen *silicet process-unit* wurde inzwischen auf weitere Projektpartner (FhG-IZM Berlin und TU Chemnitz) erweitert.

Die *silicet process-unit* erlaubt es, sowohl dünnste Silizium-Wafer als auch dickere Substrate ohne mechanische Beanspruchung prozessgerecht zu handhaben und zu prozessieren. Sie ist modular aufgebaut und besteht konzeptionell aus dem Strömungsraum, dem Prozessraum, der Substrataufnahme mit Vakuumschraube und dem Deckel (Bild 1). Sie eignet sich zur Bearbeitung beliebiger Substratgrößen

und -formen, z.B. von Wafer in den Größen 2" bis 8"-Zoll. Der jeweilige Aufbau der *silicet process-unit* richtet sich an der entsprechenden Anwendung aus. Durch die Unterteilung in einzelne Module können konstruktive Änderungen, die sich zum Beispiel durch den Einsatz verschiedener Elektrolyte, unterschiedlicher Substratgrößen oder veränderter Prozessbedingungen ergeben, relativ einfach umgesetzt werden.

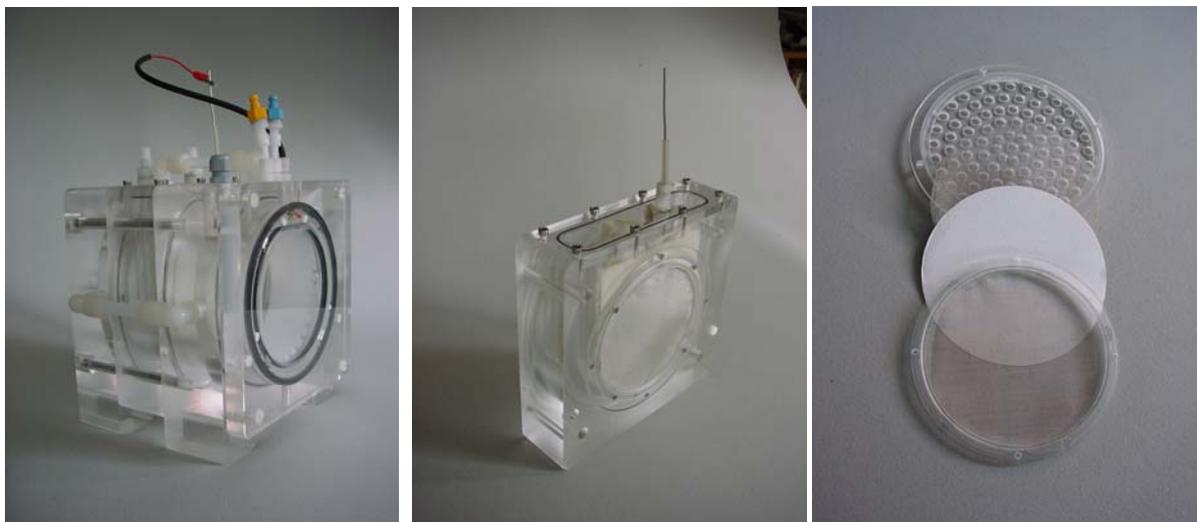


Bild 2: *silicet process unit* für 6"-Wafer (links: Zusammenbau, mitte: Anodenmodul, rechts: Filtereinsatz)

Da der gesamte nasschemische Prozessablauf, z.B. als Abfolge Ätzen - Dekapieren - Spülen, in einer relativ kleinen Zelle stattfindet, erspart die *silicet process-unit* mit der entsprechenden Ausstattung den Einsatz komplexer Anlagen. Für eine Rückwärtskompatibilität ermöglichen spezielle Substratadapter das Prozessieren von kleineren Substraten in einer größeren Einheit. So können z.B. 2"-, 3"-, 4"-, 5"- und 6"-Wafer in einer 8"-*silicet process-unit* eingesetzt werden.

Für den Einsatz bei der galvanischen Metallabscheidung (Mikrogalvanoformung) ergibt sich für die Einheit z.B. folgender Aufbau (Bild 3):

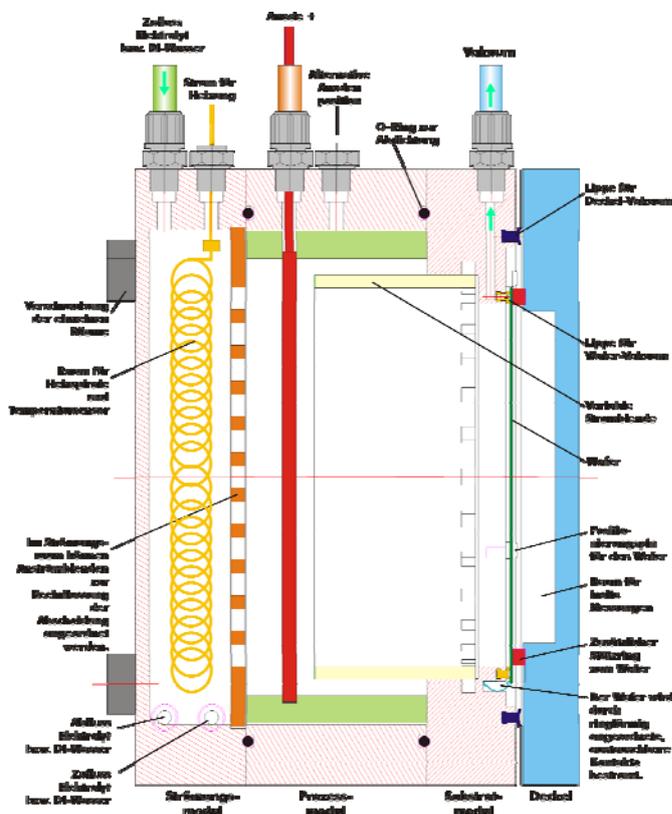


Bild 3: *silicet process-unit* für galvanische Anwendungen

Das **Strömungsmodul** enthält die Anschlüsse für den Elektrolytzulauf und -ablauf und sorgt dafür, dass der Elektrolyt gleichmäßig in das Wafermodul strömt. Dieses Modul kann auch eine Heizspirale zur Temperierung des Elektrolyten aufnehmen.

Durch das **Prozessmodul** wird der Raum realisiert, in dem der Elektrolyt auf das Substrat trifft. Hier können prozessbeeinflussende Komponenten eingesetzt werden, z.B. ein mit einem Anodenbeutel umgebener Titankorb mit Nickelpellets als oder ein Metallblech als Anodenmaterial, sowie ein Anodenfilter. Zur Kontaktierung der Anode führt ein Anschluss nach außen.

Das **Substratmodul** enthält eine Vakuumlippe, die das Substrat (Wafer) als Kathode während der Abscheidung fixiert und gegen das Medium abdichtet. Sie enthält auch die bestromten Federn zur Kontaktierung des Wafers. Eine austauschbare Strömungsblende sorgt für einen möglichst parallelen Verlauf der

elektrischen Feldlinien zwischen Anode und Kathode. Auf der dem Wafer zugewandten Seite besitzt die Blende Aussparungen, die über den kompletten Umfang verteilt sind, was zum gleichmäßigeren Ab- bzw. Zulauf des Elektrolyten führt.

Der **Deckel** wird durch eine zweite am Substratmodul angebrachte, größere Vakuumlippe gehalten und schützt die Rückseite des Wafers. Er ist so ausgeprägt, dass er auch Messinstrumente, z.B. zur Adaption der Waferdurchbiegung in situ, aufnehmen kann. Um die Waferrückseite beim Durchätzen einzelner Membranen zu schützen, kann der Raum zwischen Wafer und Deckel mit einer Flüssigkeit gefüllt werden.

Neben der eigentlichen *silicet process-unit* werden für den Betrieb noch ein externer Elektrolytbehälter mit eingebautem Filterkreislauf, eine Pumpe (zur Regelung des Elektrolytdurchflusses durch die Einheit) sowie für elektrochemische Prozesse ein handelsüblicher Galvanostat (zum Einstellen der elektrischen Parameter) benötigt.

„*process-unit*“ – Innovation, Vorteile und Nutzen

Für alle nasschemischen Prozesse:

Durch den Einsatz der *silicet process-unit* können Waferflächen mit einem höheren Wirkungsgrad genutzt werden. Die geringe Randfläche, welche für das Halten und Abdichten benötigt wird, erhöht die Anzahl der Bauteilbelegung. Durch die Abmessungen innerhalb der *silicet process-unit* werden nur kleine Mengen des jeweiligen Prozessmediums benötigt (KOH, H₂O, H₂SO₄, HF, TMAH u.a. oder galvanische Elektrolyte). Die notwendige Temperierung ist daher mit einem geringeren Energieeinsatz möglich, die Temperatursteuerung ist einfacher als in großen Becken.

Durch das geringe Kammervolumen innerhalb der *silicet process-unit* können die Prozessparameter wie z.B. Prozesstemperatur, Strömungsverlauf des Mediums und Strömungsgeschwindigkeit in Substrat- bzw. Wafernähe genauer und besser überwacht und kontrolliert werden. Dies ermöglicht eine höhere Genauigkeit z.B. in der Homogenität der galvanisch abgeschiedenen Schichtdicken und/oder auch in der Homogenität der abgetragenen Schichten beim Ätzen von hochpräzisen Siliziumstrukturen. In der *silicet process-unit* werden klar definierte Strömungskonzepte und Temperaturverhältnisse realisiert.

In der *silicet process-unit* findet der gesamte Prozess im geschützten Raum statt. Das führt zu:

- **deutlicher Kostenersparnis,**

da der Medienverbrauch durch die kleine Größe des Prozessmoduls gering ist und nur kleine Medienmengen zu temperieren sind (optimaler Energieeinsatz),

- **erhöhter Sicherheit,**

da der direkte Kontakt mit giftigen und aggressiven Medien vermieden wird und es keine Ausgasung an offenen Oberflächen gibt,

- **hoher Mobilität und Flexibilität,**

die durch den modularen Aufbau, den geringen Platzbedarf, den Einsatz im Batchverfahren, sowie dem problemlosen Transport der gesamten, nicht standortgebundenen Einheit gewährleistet ist,

- **erhöhter Qualitätssicherung,**

da durch das Single-Wafer-Processing jeder Wafer bei gleichbleibender Prozessführung einzeln gesteuert und qualifiziert werden kann. Eventuell auftretende Fehler betreffen nicht das gesamte Los.

Durch die geringen Abmessungen können viele Einheiten parallel in Batchprozessen mit zentraler Medienversorgung eingesetzt werden. Aus einem zentralen Vorratsgefäß können somit multiple Einheiten parallel gefüllt werden (numbering up). Dies hat den Vorteil, dass alle prozessierten Substrate bzw. Wafer mit den gleichen Parametern bearbeitet werden, ohne dass es, wie in anderen Batchprozessen, zu Prozessirritationen kommen kann. Dies erhöht die Reproduzierbarkeit des Prozessablaufes und deren Qualifizierung.

Die zum Halten der Substrate eingesetzten Dichtungsringe sind aus EPDM oder Viton und lassen sich leicht austauschen. Die Komponenten der einzelnen Module sind aus PTFE oder PMMA gefertigt, die eingesetzten Vakuum- und Medienschläuche sind aus Norprene oder Viton. Somit werden nur Materialien verwendet, die für Fertigung von mikrotechnischen Komponenten kompatibel sind. Alle Komponenten und Einzelteile einschließlich der Kontaktierungen für elektrochemische Prozesse, sind leicht austauschbar. Alle eingesetzten Materialien lassen sich nach Gebrauch umweltgerecht entsorgen.

Zusätzlich für galvanische Prozesse:

In der *silicet process-unit* können **alle Substrat- bzw. Waferpositionen** realisiert werden, d.h. das Substrat kann sowohl in waagerechter als auch in senkrechter bzw. in einer gewinkelten Position beschichtet werden (Bild 4). Auch die bisher in Anlagen und Bechergläsern unmögliche Anordnung, dass die Anode waagerecht über der Wafer liegt, ist möglich. Mit einer entsprechenden Vorrichtung ist prinzipiell auch eine Rotation der gesamten Einheit während der Abscheidung möglich. Dadurch können z.B. die bei der Prozessierung resultierenden Einflüsse von Nebenwirkungen (z.B. Gasbildung) auf das Prozessergebnis beeinflusst werden.

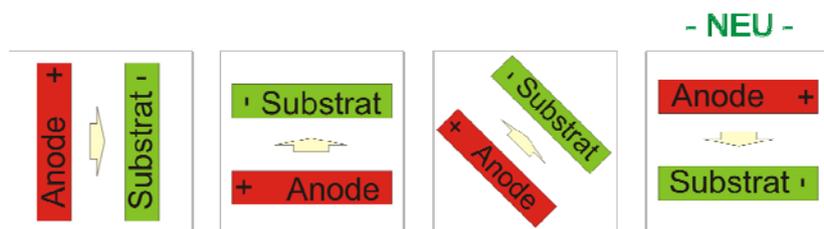


Bild 4: Positionierung von Anode und Kathode (Substrat) in der silicet process-unit (schematisch)

Durch den Austausch des Elektrolyten können ohne Ausbau des Substrates hintereinander unterschiedliche Schichten aufgebracht bzw. chemische Vor- oder Nachbehandlungen durchgeführt werden, z. B. Chrom unter Gold, Gold unter Platin etc. Dabei wird eine Zwischenoxidation der Oberfläche vermieden. Bei LIGA-Prozessen kann neben der galvanischen Beschichtung und der folgenden Spülung auch das anschließende Strippen des PMMA - Resists ohne Waferausbau erfolgen. Durch die *silicet process-unit* eröffnen sich daher völlig neue Möglichkeiten der Waferbearbeitung.

„process-unit“ – Erprobung

Nickelgalvanik – Mikrobauteile und Shim-Formeinsätze

Der erste Prototyp der *silicet process-unit* wurde Ende 2006 bei der silicet AG aufgebaut und im Rahmen einer Diplomarbeit im Zeitraum April bis November 2007 am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) für die Nickelabscheidung auf 6-Zoll-Wafersubstraten erprobt [5].

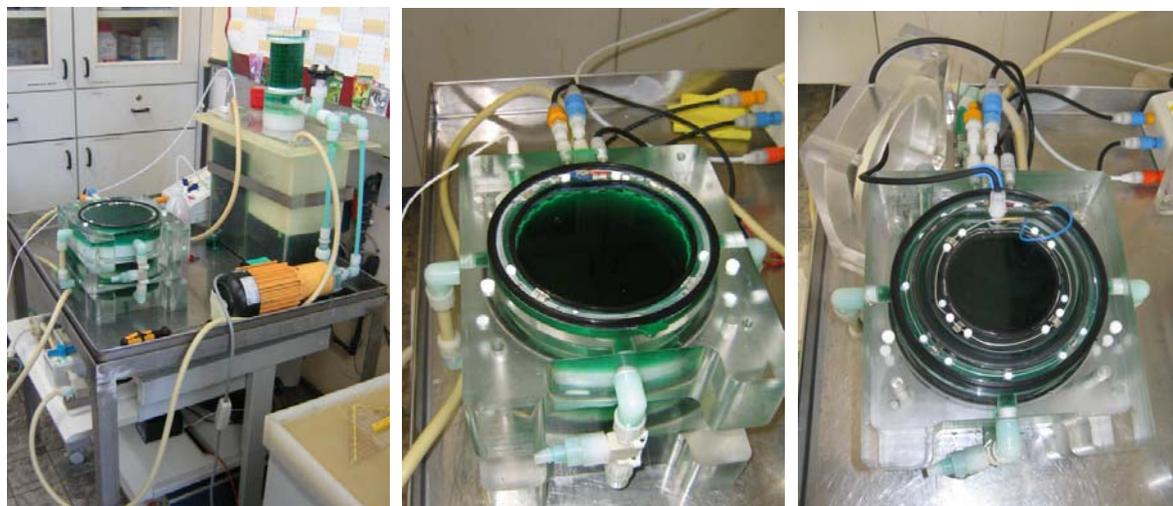


Bild 5: Versuchsaufbau und Einsatz bei der Nickelgalvanik

Der zweite Prototyp wurde basierend auf den Ergebnissen der o.g. Diplomarbeit und den dort gemachten Verbesserungsvorschlägen neu konstruiert und dann im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit im Zeitraum April bis September 2008 ebenfalls für die Nickelgalvanik auf 6"-Wafersubstraten eingesetzt [6, 7].

Für die Arbeiten wurde ein Standard-Nickelsulfamat-Elektrolyt eingesetzt, der am IMT vorrangig zur Herstellung von Formeinsätzen für das Heißprägen verwendet wird. In den Versuchen wurden Schichtdicken bis 300 µm auf unstrukturierten und strukturierten Substraten abgeschieden. Es konnte dabei gezeigt werden, dass die abgeschiedenen Schichten eine sehr gleichmäßige Schichtdickenverteilung mit geringer Randüberhöhung besitzen, was auf die geometrischen Verhältnisse und die gleichmäßige Anströmung in der *silicet process-unit* zurückgeführt werden kann. Mithilfe der Nickelgalvanoformung werden am IMT hauptsächlich Formeinsätze hergestellt, die innerhalb von verschiedenen wissenschaftlichen Projekten zum Heißprägen und Thermoformen von Mikrostrukturen eingesetzt werden. Im Rahmen der zweiten Diplomarbeit wurden deshalb in der *silicet process-unit* zwei mikrostrukturierte Shim-Formeinsätze mit 300 bzw. 700 µm Dicke hergestellt. Die Strukturen mit 50 bzw. 300 µm Höhe wurden hierbei fehlerfrei in der Nickelschicht abgebildet und es konnte gezeigt werden, dass auch bei der Abscheidung von höheren Schichtdicken eine sehr gleichmäßige Schichtdickenverteilung erzielt werden kann.

Die am IMT eingesetzte *silicet process-unit* wird aus einem separaten Elektrolytbehälter gespeist, der über eine eigene Umwälzpumpe mit Filtration verfügt und außerdem die Heizung beinhaltet (Bild 5, links). Der Elektrolytbehälter ist in zwei Kammern unterteilt, in einer Kammer befindet sich ausschließlich gefilterter Elektrolyt. Dadurch ist es möglich, dass die Einheit nur mit frisch gefiltertem und damit partikelfreiem Elektrolyten befüllt wird, wodurch die Prozesssicherheit erhöht wird.

Derzeit wird am IMT ein Adapter erprobt, der die Galvanoformung auf 4"-Substraten in der *silicet process-unit* ermöglichen soll (Bild 5, rechts). Nach Abschluss der Erprobungsphase ist die Übernahme der *silicet process-unit* in die Mikrofertigung des IMT geplant.

Kupfergalvanik – Einfluss des Additivgehaltes für mikroelektronische Anwendungen

Ein dritter Prototyp wurde für das Zentrum für Mikrotechnologien (ZfM) der TU Chemnitz konstruiert und aufgebaut. Dort wird die elektrochemische Schichtabscheidung zum einen für Applikationen in der Mikrosystemtechnik (Kontaktmetallisierungen, Elektroden für elektrochemische Mikrofluidikzellen) und zum anderen für Applikation in der Mikroelektronik (Leiterbahnen, Durchkontaktierungen) eingesetzt. Für die Abscheidung werden aufgrund hoher Aspektverhältnisse der Strukturen hohe Anforderungen an die Elektrolytzusammensetzung gestellt. Dies beinhaltet eine notwendige, anwendungsspezifische Einstellung der Additive (Glanzbildner, Leveler, Suppressor). Für die Erprobung von neuen Additiven bzw. für die Untersuchung unterschiedlicher Additivkonzentrationen ist es von Vorteil mit geringen Elektrolytvolumina zu arbeiten.

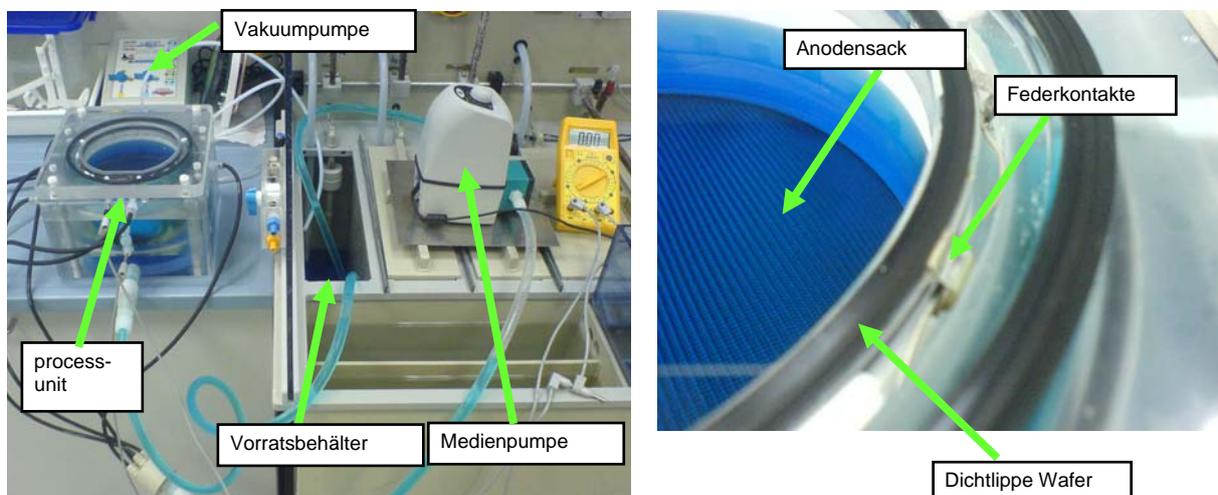


Bild 6: Versuchsaufbau bei der Kupfergalvanik

Mit diesem Hintergrund wurden Versuche zur Erprobung der Kupferabscheidung in der *silicet process-unit* durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Bild 6 zu sehen. Neben dem bereits beschriebenen Aufbau dient eine lösliche Kupferplatte als Anode. Diese ist zum Schutz vor Verunreinigungen durch Anodenschlamm mit einem Gewebetuch aus Teflon ummantelt. Aus der Kupferabscheidung der Mikroelektronik ist bekannt, dass für eine verbesserte Homogenität bei der Kupferabscheidung auf dünnen Seed-layern eine Kontaktierung der Substrate in einer ringförmigen Anordnung um den Waferumfang von Vorteil ist. Dies wurde in Form von 10 Federkontakten realisiert, welche in einer Nut entlang der Dichtlippe zum Ansaugen der Substrate befestigt sind. Als Elektrolyt-Vorratsbehälter diente ein Tauchbecken einer Vertikalgalvanikanlage. Aus diesem Becken wurde der Elektrolyt mittels einer Membranpumpe durch die *silicet process-unit* gepumpt. Als Substrate wurden thermisch oxidierte 6-Zoll-Silizium-Wafer mit einer 150 nm Cu Seed-Layer und mit Titan/Titannitrid (10/20 nm) als Haft-/Barrierschicht verwendet. Die abgeschiedene Kupferschichtdicke betrug 1,5 µm.

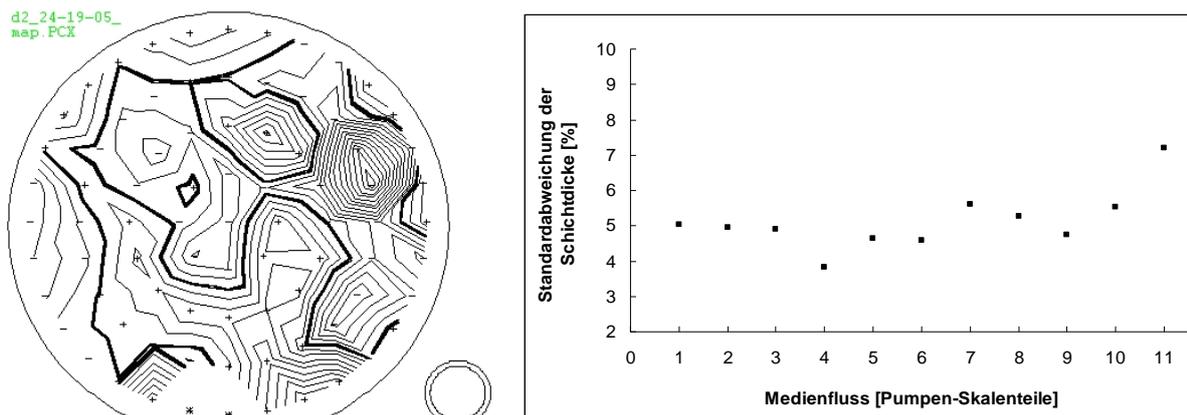


Bild 7: Untersuchung der Schichtdickenhomogenität unter Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit

Ein wichtiges Kriterium bei der Kupferabscheidung in der Mikroelektronik ist die Abscheidehomogenität. Diese wurde in den Versuchen in Abhängigkeit der Größe des durch die Medienpumpe vorgegebenen Elektrolytflusses untersucht. Die Ergebnisse sind in Form einer Auftragung der Schichtdicken-Standardabweichung gegen die Elektrolytflussmenge (Bild 7, rechts) sowie in Form einer Konturmap des Schichtwiderstandes (Bild 7, links) dargestellt. Die Schichtdickenverteilung wurde indirekt über den Schichtwiderstand bestimmt. Es ist zu erkennen, dass bei einem mittleren Elektrolytfluss eine gleichmäßige Verteilung vorliegt die keiner bestimmten Systematik unterliegt (Randeinfluss, Querströmung, ...). Weiterhin ist zu erkennen, dass die Inhomogenität zunächst mit Erhöhung des Elektrolytflusses bis auf 3,8% abnimmt und bei höheren Flussraten wieder stark ansteigt. Der erste Effekt ist wahrscheinlich durch die verbesserte Konvektion zu begründen. Der Anstieg der Inhomogenität bei hohen Durchflüssen liegt an einer starken Vibration des Gesamtaufbaus, welche durch die Membranpumpe verursacht wurde. Dieser Effekt konnte in weiteren Versuchen durch Einsatz eines Pulsationsdämpfers und die Standardabweichung dadurch auf bis zu 3,2% verringert werden.

Bisher wurden bei der Kupferabscheidung in einer Vertikalgalvanikanlage am ZfM mit optimierten Waferhaltern Schichtdickenhomogenitäten bis zu 3% erzielt. Die Ergebnisse der Versuche mit der *silicet process-unit* sind im Vergleich zu diesen Abscheidungen und mit Bezug auf den Einsatz der Einheit für reine Versuchszwecke als gut zu bewerten.

Nickelgalvanik – Anwendung der Horizontalabscheidung

Zwei weitere Prototypen wurden für das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM; Dept. Modulintegration & Board Interconnection Technologies (MDI-BIT); Group Plating & Surface Finishing) durch die *silicet AG* konstruiert und aufgebaut. Einer hiervon wird für die Nickelgalvanik auf Wafer substraten eingesetzt.

Für den Aufbau biokompatibler und berührungslos manipulierbarer Glas-Carrier wurde am Fraunhofer IZM im Rahmen des EU-Projektes *CellProm* in enger Zusammenarbeit mit der Fa. GeSiM mbH (Design, Fotolithographie, Start- und Haftvermittlerschichten) ein Prozess zur volladditiven galvanischen Abscheidung goldverkapselter magnetischer Nickel-Kissen auf 4"-Dünnglaswafern entwickelt (siehe Bild 8) [8, 9]. Da bereits geringste Eigenspannungen zu Verbiegungen oder Muschelbrüchen im Glas-

wafer führen können, waren Anpassungen der chemischen Zusammensetzung des Nickel-Elektrolyten erforderlich, die zu einer verstärkten Adhäsion sich im Galvanikprozess ausbildender Wasserstoffperlen insbesondere an den Resistflanken der Galvanikmaske führten, welche wiederum Störungen im Schichtaufbau und daraus resultierend auch in der Verkapselung verursachten.

Ein vollständig biokompatibler galvanischer Aufbau konnte mit Hilfe einer beweglichen *silicet process-unit* (6"-Einheit mit 4"-Adapter) erreicht werden. Die wichtigsten Vorteile aus technologischer Sicht waren in diesem Zusammenhang eine relativ gleichmäßige Anströmung an die Waferoberfläche und vor allem die hier problemlos realisierbare Abscheidung (in Nickel; ~ 50 µm) in Horizontallage (face up). Mit der entwickelten Technologie konnten sowohl Eigenspannungen als auch Schichtstörungen wie z.B. pittings sicher vermieden werden

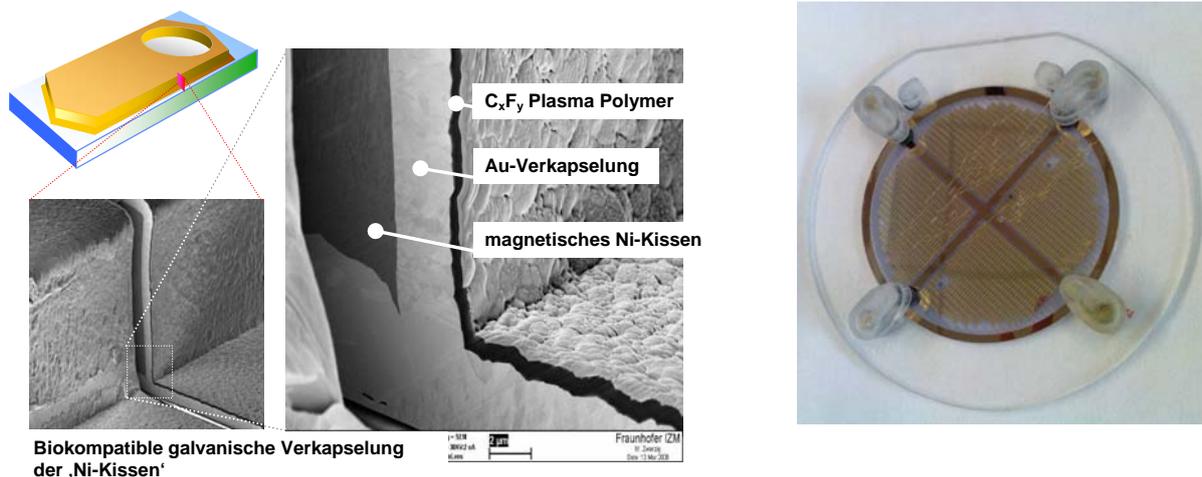


Bild 8: Galvanische Verkapselung der Nickel-Kissen (links); Adapter zur Aufnahme der 4"-Dünnglaswafer in die *silicet process unit* (rechts)

Die zweite Einheit - im 8"-Format; jedoch wegen der geringen Modulbreite mit sehr geringem Elektroltvolumen - wird am IZM seit Januar 2009 für die Goldgalvanik eingesetzt. Darin kommen auch 4" und 6" Adapter zum Einsatz. (zu weiteren Informationen hierzu siehe Beitrag R. Schmidt et al., „Gravitationsgestützte Galvanik zur Erzeugung 3-dimensional kristallin strukturierter Oberflächen“ in diesem Tagungsband [10].)

„*process-unit*“ – Ausblick

Mit der modular aufgebauten *silicet process-unit* ist es möglich, Wafer oder andere Substrate in Nassätz- und galvanischen Prozessen wirtschaftlich, das heißt mit hoher Prozessstabilität und hoher Ausbeute, in kurzen Bestückungs- und Entnahmezyklen, ohne Waferbruch bei minimalem Medienverbrauch zu prozessieren.

Das als Basis eingesetzte, von Hans Moritz entwickelte und patentierte Verfahren zum Halten und Dichten von (Wafer-)Substraten mit Vakuum wird seit 9 Jahren von der *silicet AG* weltweit vermarktet (www.silicet.de). Dieses Prinzip setzt sich auf dem Markt immer weiter durch.

Mit der *silicet process-unit* wird jetzt dem vielfachen Kundenwunsch nach kleinen, hoch-flexiblen und preiswerten Fertigungseinheiten für nasschemische Prozesse (Beschichtung, Strukturierung, Ätzen) innerhalb der Mikrosystemtechnik entsprochen.

Potentielle Kunden sind Forschungseinrichtungen sowie kleine- und mittelständische Unternehmen, die sich auf die o.g. Arbeitsgebiete spezialisiert haben und flexibel in Kleinserien fertigen; ebenso aber auch größere Unternehmen, wenn diese die *silicet process-unit* in Batch-Verfahren einsetzen. Durch die Einheiten können auch Universitäten und Fachhochschulen mit begrenzten Investitionsvolumen den Studenten im Rahmen von Lehre und Forschung eine professionelle Entwicklungs- und Fertigungsumgebung anbieten.

Literatur

- [1] G. Schanz, K. Bade: „*Microelectroforming of metals in Advanced Micro and Nanosystems*“, Vol. 4, *Microengineering of Metals and Ceramics*, edited by H. Baltes, O. Brand, G.K. Fedder, C. Hierold, J.G. Korvink, O. Tabata, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2005) 395-420.
- [2] M. Guttmann, H. Moritz; „*Verbesserte Handhabung von Wafer-Substraten bei der Mikrogalvanoformung - Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Mikrostrukturtechnik Karlsruhe und der silicet AG Lohfelden*“, *Galvanotechnik*, 93 (2002) 2398-2402.
- [3] M. Guttmann, B. Matthis, J. Schulz, F. Winkler, H. Moritz; „*Einfache Substrathalter für die Mikrogalvanoformung*“, *Metalloberfläche*, 59 (2005) Heft 4, S. 22-30.
- [4] M. Guttmann, K. Bade, B. Matthis, H. Moritz; „*Vereinfachtes Handling von Substraten in der Mikrogalvanoformung und der Ätztechnik*“, Tagungsband VDI/VDE-Mikrosystemtechnik-Kongress 2005, Freiburg, 10. bis 12. Oktober 2005, S. 573-576.
- [5] S. Muth; „*Erprobung einer modular aufgebauten Galvanobox*“, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH); Institut für Mikrostrukturtechnik; November 2007.
- [6] K. Kaiser; „*Einsatz einer modular aufgebauten Galvanobox zur galvanischen Fertigung von Mikrostrukturen und mikrostrukturierten Shim-Formeinsätzen*“, Diplomarbeit, Hochschule Aalen (FH), Oberflächen- und Werkstofftechnik, September 2008.
- [7] K. Kaiser, M. Guttmann, H. Moritz; Veröffentlichung in Vorbereitung.
- [8] S. Howitz, T. Wegener, S. Fiedler, M. Zwanzig; „*Sterile Zell-Shuttle für biologische Kultursysteme*“, *MikroSystemTechnik KONGRESS 2007 Dresden*.
- [9] S. Fiedler, T. Müller, M. Zwanzig et al.; „*Toch Less Component Handling – Towards Converging Assembly Strategies*“, *mst news*, no.3/2008, 25-28.
- [9] R. Schmidt, M. Zwanzig, B. Pahl, H. Moritz, „*Gravitationsgestützte Galvanik zur Erzeugung 3-dimensional kristallin strukturierter Oberflächen*“, Tagungsband ZVO-Oberflächentag 2009, Bremen.
-