

Bild 4b. Equipment für die silicet-Halterungen; Vacuum-Box

Einfache Substrathalter für die Mikrogalvanoformung

Markus Guttmann I, Barbara Matthis,
Joachim Schulz, Frank Winkler und Hans Moritz* 2

Die Einführung eines auf (der) Vakuumsaugung basierenden Haltersystems hat im IMT im Bereich der Mikrogalvanoformung zu einer deutlichen Vereinfachung des Handlings und damit zu einer Erhöhung der Reproduzierbarkeit geführt. Das neue Haltersystem, im Einsatz bei der Fertigung von metallischen Mikrobauteilen und von LIGA-Formeinsätzen, wird im folgenden Artikel näher vorgestellt.

Fertigungsverfahren in der Mikrotechnik

Die reproduzierbare Fertigung zusammenhängender oder vereinzelter mikrostrukturierter Bauteile aus Metall mit minimalen la-

teralen Abmessungen im μm -Bereich bzw. mit Aspektverhältnissen (Verhältnis Höhe zu Breite der Struktur), die je nach Herstellungsmethode von 1 bis 20 reichen, sowie die Herstellung von mikrostrukturierten Werkzeugen (Formeinsätzen) aus Metall für

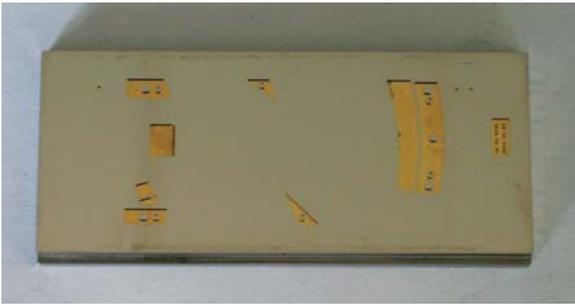
die Abformung von Kunststoffen (zum Beispiel mittels Heißprägen oder Spritzgießen), kann auf verschiedenen Wegen realisiert werden. Neben der Fertigung über den Weg des LIGA-Verfahrens [1-4], welches die Strukturierung eines Resists mittels Röntgentiefenlithographie und die galvanische Metallabscheidung beinhaltet, kann die Erzeugung der Mikrostruktur oder des mikrostrukturierten Werkzeugs aus Metall auch über die Verfahrenskombination aus UV-Lithographie und Mikrogalvanoformung erfolgen [4].

Bei dieser Verfahrenskombination wird ein mittels Bedampfen oder Besputtern metallisierter Silizium- oder Keramik-Wafer durch Spincoaten mit einem UV-empfindlichen Lack (Fotoresist) beschichtet. Anschließend wird der Fotolack durch eine, die Struktur tragende, Chrom-Maske belichtet.

Kontakt

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH;
Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT),
PF 3640, D-76021 Karlsruhe;

*silicet AG,
Lindenbergr. 30,
D-34253 Lohfelden



Wabennetze aus Kupfer, Blenden aus Nickel oder eben mikrostrukturierte Formeinsätze aus Nickel zu fertigen.

In der Herstellung von mikrostrukturierten Formeinsätzen aus Nickel (siehe Bild 1) über die Verfahrenskombination aus Röntgentiefenlithographie und Galvanoformung (LIGA-Verfahren), entsprechend dem institutseigenen QM-System DIN ISO 9001:2000, liegt eine weitere Kernkompetenz des IMT. Hierbei wird auf ein hochpräzises Substrat aus Kupfer mit entsprechend vorbehandelter Oberfläche ein Kunststoff (Resist, in der Regel PMMA) in Plättchenform justiert aufgeklebt und anschließend die Resistoberfläche poliert.

Bild 1 a+b. LIGA-Formeinsätze mit unterschiedlichen Layouts für das Mikrospritzgießen bzw. - heißprägen

Im folgenden Entwicklungsschritt wird in Abhängigkeit vom verwendeten Resist der belichtete oder der unbelichtete Teil naschemisch entfernt, so dass der Resist partiell auf dem Wafer verbleibt und damit die Strukturierung erfolgt. Anschließend kann auf dem Substrat in den Mikrostrukturen galvanisch Metall (wie zum Beispiel Nickel, Gold, Kupfer oder Nickellegierungen) abgeschieden werden. Bei Verwendung eines positiv arbeitenden Resists (wie zum Beispiel AZ 9260()) kann eine Strukturhöhe von bis zu 60 µm und ein Aspektverhältnis kleiner als 5 erreicht werden; mit einem negativ arbeitenden Resist (wie zum Beispiel EPON SU-8) sind Resisthöhen bis zu 200 µm und Aspektverhältnisse kleiner als 10 möglich [5]. Allerdings werden die realisierbare Strukturhöhe und das maximale Aspektverhältnis stark von dem zu erzeugenden Strukturdesign beeinflusst. Die galvanische Auffüllung der Mikrostrukturen erfolgt in der Regel bis zu zwei Drittel der Resisthöhe; es ist jedoch auch das vollflächige Überwachsen der Strukturen und damit die Herstellung von mikrostrukturierten Abformwerkzeugen mit runder Außenkontur (mit einem Durchmesser bis zu 120 Millimeter) möglich.

Die Kombination aus UV-Lithographie und Mikrogalvanoformung wird am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) des Forschungszentrum Karlsruhe schon seit einigen Jahren eingesetzt, um z.B. mikrostrukturierte Schattenmasken aus Nickel für die Anwendung bei PVD-Verfahren [6],

Mittels Bestrahlung durch eine in Form von Goldabsorbern das zu realisierende Layout tragende Arbeitsmaske wird der Resist strukturiert und während der anschließenden naschemischen Entwicklung die bestrahlten Bereiche des Resists aufgelöst. Nach dem möglichen Aufbringen einer partiellen oder vollflächigen Metallisierung mittels Bedampfen (als Galvanikstartschicht) erfolgt die Übertragung der Kunststoffstruktur in ein Metall (in der Regel Nickel oder Nickellegerungen) über die Galvanoformung. Daran anschließend erfolgt über Drahterodieren die äußere Formgebung des Werkzeugs und es wird eine Trennung vom Substrat vorgenommen. In weiteren Fertigungsschritten werden mittels naschemischem Ätzen, mechanischem Polieren und naschemischem, ultraschallunterstütztem Reinigen der Formeinsatz und insbesondere dessen anspruchsvolle Oberfläche in den Auslieferungszustand überführt (zu ausführlicheren Informationen zum Herstellungsprozess siehe unter [4]).

Die Formeinsätze, die in der Industrie unter anderem als Abformwerkzeuge für die Herstellung von Hohlwellenleiter-Spektrometern bei der Fa. Boehringer Ingelheim microParts GmbH eingesetzt werden, unterliegen sehr hohen Anforderungen bezüglich der Materialeigenschaften, der Oberflächenbeschaffenheit bzw. der lateralen Struktur- und Außenmaße. Um die steigenden Anforderungen erfüllen zu können, wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von Verbesserungen beim Handling, in der Fertigungsabfolge und bei den Fertigungsmitteln erarbeitet, die letztendlich zu einer erkennbaren Erhöhung der Prozesssicherheit beim LIGA-Verfahren geführt haben [7].

Bei der Abstimmung der einzelnen Fertigungsschritte aufeinander (die Herstellung von LIGA-Formeinsätzen für Spektrometer beinhaltet über 60 Fertigungs- bzw. Prüfschritte) und hierbei vor allem im Hinblick auf die angestrebte Überführung der Verfahrenskombinationen aus Lithographie und Galvanoformung von der Einzel- in die industrielle Serienfertigung muss vor allem auf eine Erhöhung der Prozessstabilität und der Ausbeute hingearbeitet werden. Dazu ist die Standardisierung der eingesetzten Verfahren und der in ihnen verwendeten Betriebsmittel ein wichtiges Element.

Deshalb wurden in einer Zusammenarbeit zwischen dem IMT und der silicet AG, Lohfelden umfangreiche Arbeiten durchgeführt, um die Handhabung von (strukturierten) Silizium-Wafern bzw. von hochpräzisen Kupfer-Substraten bei der Mikrogalvanoformung weiter zu entwickeln und zu vereinfachen. In diesem Beitrag sollen nun die

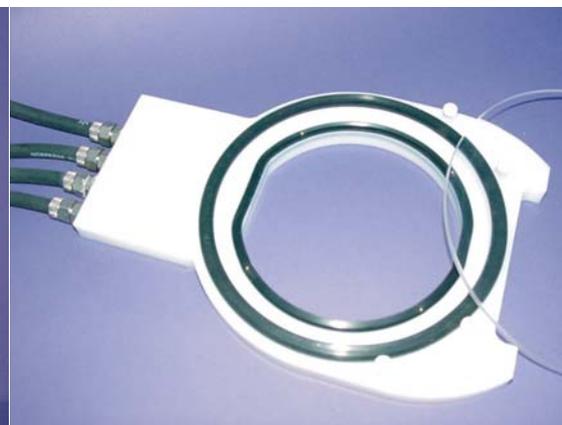


Bild 2 a+b. Halterung aus PTFE für Silizium-Wafer; a) für 4-Zoll-Wafer; b) für 6-Zoll-Wafer, mit Blende

Prozesszeiten über mehrere Tage im Galvanik-elektrolyten (z.B. für die Abscheidung dicker Metallschichten bei kleinen Stromdichten) und ein anschließendes Abkühlen auf rund 20 Grad Celsius sind kein Problem.

Die selbststeuernde „Vacuum Box“ (Bild 4a) enthält eine vakuumentaugliche Flüssigkeitspumpe mit Teflonmembran und Kalrez-Ventilen. Bei Undichtigkeiten im Bereich der Vakuumlippen wird die eintretende Flüssigkeit abgesaugt und über eine Rücklaufleitung in das Prozessbecken zurückgeführt. Der integrierte Druckschalter schaltet die Pumpe bei Erreichen des notwendigen Unterdrucks ab. Ebenso wird die Pumpe bei Unterschreitung eines Grenzwertes wieder gestartet. Dadurch sind auch sehr lange Prozesszeiten ohne Dauerlauf der Pumpe möglich. Durch einen Sub-D Stecker können die Start- und Stoppsignale und ein Signal der Leckerkennung für die Prozessdokumentation abgenommen werden. Die Verbindung von der Halterung zur „Vacuum Box“ wird über zwei Schläuche aus Norprene hergestellt; ein dritter Schlauch, der auch das Kontaktierungskabel trägt, steht in Verbindung mit dem geschützten Raum hinter dem Wafer und sorgt für den nötigen Druckausgleich. Ein weiterer Schlauch aus PTFE, der von der „Vacuum Box“ mit dem Galvanikbad in Verbindung steht, dient der Rückführung des Elektrolyten in das Bad, falls während der Galvanoformung ein Leck (Waferbruch oder defekte Vakuumdichtlippen) am Halter auftritt (zu weiteren Informationen zum Haltersystem siehe unter [8]).

Ein „Vacuum Tool“, der Art nach eine Vakuumpinzette, erleichtert die Positionierung der Wafer im Halter (Abb. 3b). Auch hier halten Vakuumlippen das Substrat nur am Rand. Vorhandene Strukturen werden nicht berührt. Ein filigraner, strukturierter Wafer kann so mit einem „Vacuum Tool“ einfach und sicher in den Halter gelegt und aus dem Halter entnommen werden.

Bei der Nutzung der Wafer-Halter wird nach Einstellen der „Vacuum Box“ der zu beschichtende Wafer zunächst auf die inneren Vakuumdichtlippen gelegt, wobei vier Stifte die Positionierung im Halter erleichtern. Anschließend wird der Wafer mit einer Andrückhilfe (Press-Assistance) oder dem „Vakuum Tool“ leicht ange-drückt, bis die Ansaugung merklich spürbar wird. Zum Schluss wird der Deckel auf die äußeren Dichtlippen gelegt, ebenfalls angesaugt und danach die Halterung in das Galvanikbad eingetaucht. Der Ausbau des Wafers nach der Galvanoformung erfolgt dann entsprechend rückwärts der beschriebenen Abfolge. Abschließend muss eine gründliche, aber auf einfache Weise durchzuführende, Reinigung der Halterung vorgenommen werden.

Die Wafer-Halterungen für die Galvanik wurden nach der Herstellung des ersten Prototypen im Jahr 2002 [9] inzwischen mehrfach weiterentwickelt, so dass jetzt ein in vielen Versuchen erprobtes System vorliegt, welches den Anforderungen für die Mikrogalvanik im IMT entspricht. So wurde zum Beispiel das Material für das Gestell des Halters von PMMA auf PTFE umgestellt und der Einsatz von EPDM auf die Dichtlippen beschränkt. Des Weiteren wurde die Kontaktierung der Substrate deutlich verbessert und es wurde eine Möglichkeit geschaffen, die Halterungen in einfacher Weise auch mit ringförmigen Blenden verwenden zu können (siehe Abb. 2b), um die Schichtdickenho-

mogenität zu verbessern. Das Haltersystem, das den Ein- bzw. Ausbau von Substraten innerhalb von 1-2 Minuten ermöglicht, bleibt weiterhin dahingehend für andere Anwendungen und Anforderungen flexibel, dass Änderungen an der Aufnahme der Halterung in die jeweilige Galvanikanlage, an der Art und der Anzahl der Kontaktierungspunkte sowie an der äußeren Form entsprechend den Anforderungen des Kunden möglich sind.

Die Wafer-Halterungen können für die Mikrogalvanoformung von Nickel oder anderen Materialien bei Schichtdicken bis zu 300 µm auf strukturierten und unstrukturierten Substraten eingesetzt werden, so dass damit sowohl zusammenhängende mikrostrukturierte Bauteile (wie zum Beispiel Schattenmasken) als auch vereinzelbare Mikrostrukturen (wie zum Beispiel Zahnräder) gefertigt werden können.

Mit der 6-Zoll-Waferhalterung wurden kürzlich umfangreiche Untersuchungen zur Schichtdickenhomogenität und zur Durch-



Bild 4b. Equipment für die silicet-Halterungen; Vacuum-Tool

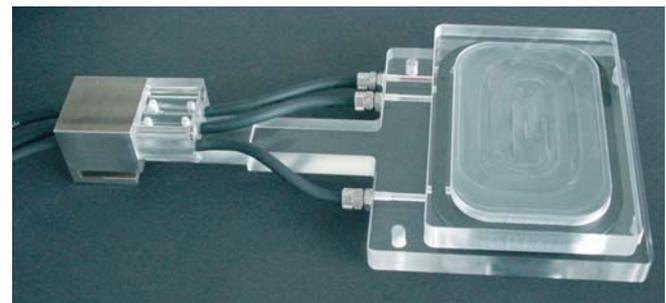
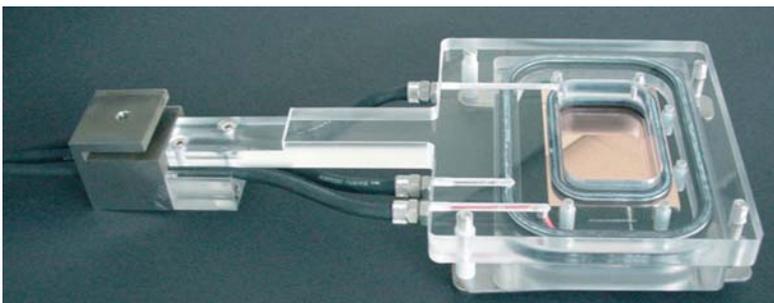


Bild 5 a+b. LIGA-Halterung aus PMMA für Kupfer-Substrate; a) Vorderseite; b) Rückseite



Bild 6a+b. Kupfer-Substrat nach der Galvanoformung in der LIGA-Halterung; a) vor dem Ausbau; b) nach dem Ausbau

biegung von Substraten in Abhängigkeit von Schichtdicke der Nickelabscheidung, von der Stromdichte, von Elektrolytparametern und vom konstruktiven Aufbau der Halterung vorgenommen. (Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird an anderer Stelle berichtet [10].)

Substrat-Halter für die LIGA-Technik

Für das Umkopieren der über die Röntgentiefenlithographie erzeugten Resiststrukturen in Metall mittels Galvanoformung (s.o.) wurden in den vergangenen Jahren im IMT Eigenbauhalterungen verwendet, die einige Nachteile wie zum Beispiel das allseitige Abkleben des Substrates aufwiesen. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Fa. silicet AG wurde nun eine neue Halterung konzipiert (Bild 5 a/b) und hergestellt, die einen schnellen und sicheren Ein- und Ausbau der hochpräzisen Kupfer-Substrate (84 mal 54 mal 8 Millimeter) ermöglicht.

Bei den LIGA-Halterungen kommt wiederum das Vakuumprinzip zum Einsatz, nur wurden hier die Größe und Anordnung der Dichtlippen an das Substrat angepasst (siehe Bild 5a/b und Tab. 1). Für das zentrische Einlegen des Substrates sind entsprechende Positionierstifte vorgesehen; die Kontaktierung des Substrates erfolgt über eine Silberplatte von der Rückseite. Um ein Abfallen des Deckels und des Substrates bei einer möglichen Leckage zu verhindern, wurden zwischen Gestell und Deckel zusätzlich noch vier Sicherheitsschrauben angebracht. Alle Einzelteile der Halterung sind so ausgelegt, dass eine einfache Demontage und Reinigung möglich sind.

Mit diesen Halterungen wurden innerhalb der letzten zwei Jahre eine Reihe von Testversuchen durchgeführt und es wurden schon eine große Anzahl von Werkzeugen (Formeinsätzen) gefertigt (Bild 1). Dabei traten nur in zwei Fällen Schwierigkeiten auf, die allerdings auf eine fehlerhafte Handhabung zurückzuführen waren. Sowohl die Halterungen, die pro Galvanoformung für einen Formeinsatz rund zwei Wochen im Galvanikbad verbleiben müssen, um die Nickelsolldicke von rund 6 Millimeter zu erreichen, als auch die Vakuumboxen haben bisher keine Verschleißerscheinungen, resultierend aus diesem Dauerbetrieb, gezeigt. Gegenüber dem früheren Vorgehen ist nun auch hier eine schnelle Be- und Entstückung der Halterungen möglich. Weiterhin konnte durch den Einsatz der neuen Halterungen die Homogenität in der Schichtdicke der aufwachsenden Schicht verbessert werden. Außerdem trat das sonst häufig beobachtete Knospenwachstum nicht mehr auf (siehe Bild 6a/b).

Auch bei diesen Halterungen sind Änderungen an der äußerer Form und der Aufnahme in einfacher Art und Weise möglich. Höhere Entwicklungskosten treten nur dann auf, wenn die Form und Größe des Substrates (zum Beispiel für runde Substrate) Sondermaße aufweisen. Hierfür sind ggf. neue Spritzgießwerkzeuge für die Dichtlippen erforderlich.

Zusammenfassung

Die Arbeiten am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) in Kooperation mit der silicet AG haben gezeigt, dass die Konzeption der Halterungen über die Ansaugung von Wafern mittels Vakuum auch auf die Mikrogalvanoformung übertragbar ist. Am IMT wurde deshalb eine nahezu vollständige Umstellung von den bisher genutzten Eigenbauhalterungen auf die kommerziell gefertigten 4- und 6-Zoll-Halterungen sowie auf die neu konzipierte Halterung für Kupfer-Substrate der silicet AG vorgenommen. Damit konnte die Mikrofertigung, die am IMT entsprechend des QM-Systems DIN ISO 9001 durchgeführt wird, im Bereich der Galvanoformung weiter verbessert werden, um den Kunden so ein höchstmögliches Maß an Zuverlässigkeit, Nachvollziehbarkeit und Prozessstabilität zu gewährleisten.

Die Vorteile, welche die „Wafer Holder“ der silicet AG zusammen mit der „Vacuum Box“ gegenüber den Eigenbau-Lösungen aufweisen, liegen vor allem in der einfachen Bedienung, Handhabung und Reinigung, in dem schnellen Ein- bzw. Ausbau der Substrate in die Halterung sowie in der einfachen Anpassung an vorhandene Galvanikanlagen. Einzel- bzw. Verschleißteile, wie Dichtlippen oder Kontaktpins können schnell ausgetauscht werden. Der Aufbau der Halterungen ist modular gestaltet, so dass Zusatzteile wie Blenden oder Deckel einfach und schnell gefertigt bzw. abgeändert werden können. Ein weiterer Vorteil liegt im Dienstleistungsbereich der silicet AG: zum einen Support bei der Entwicklung kundenspezifischer Lösungen im Fertigungsbereich der Mikrosystemtechnik und zum anderen schnelle Ausführung von Wartungsarbeiten und Änderungswünschen an vorhandenem Equipment.

Durch die Vereinfachung des Handlings und die Teilautomatisierung von Fertigungsschritten konnte am IMT mit den erarbeiteten qualitätssichernden Maßnahmen eine Erhöhung der Reproduzierbarkeit im

Bereich der Galvanoformung bzw. bei der gesamten Prozesskette und somit auch eine Akzeptanzsteigerung der Verfahren zur Fertigung von Mikrobauteilen aus Metall sowie von LIGA-Formeinsätzen erreicht werden.

Danksagung

Für die Realisierung der Arbeiten und die gute Zusammenarbeit wird an dieser Stelle besonders den Mitarbeitern der silicet AG und den Kolleginnen und Kollegen des Bereichs „Mikrofertigung“ am IMT sowie den Praktikanten Eva Röhm, Norbert Böhmchen und Philipp Schwager gedankt.

Literatur

- [1] W. Bacher, K. Bade, B. Matthis, M. Saumer, R. Schwarz, „Fabrication of LIGA mold inserts“, *Microsys. Technol.*, 4 (1998) 117-119.
- [2] K. Bade, „Herstellung von Formeinsätzen für die Mikrotechnik durch Galvanoformung“, *Galvanotechnik*, 90 (1999) 801-809.
- [3] siehe hierzu u.a. die verschiedenen Artikel zum LIGA-Verfahren und dessen Anwendung in: Forschungszentrum Karlsruhe, *Wissenschaftliche Berichte*, FZKA 6080 (1998), FZKA 6423 (2000) und FZKA 6990 (2004).
- [4] M. Guttman, J. Schulz, V. Saile, „Lithographic Fabrication of Mould Inserts“ vorgesehen zur Veröffentlichung in „Advanced micro- and nano systems“, Vol. 3, *Micro-Engineering in*

metals and ceramics, edited by H. Baltes, O. Brand, G.K. Fedder, C. Hierold, J.G. Korvink, O. Tabata, Wiley-VCH, Weinheim, (2005).

- [5] S.-J. Chung, H. Hein, „Herstellung von Formeinsätzen aus Nickel bis 120 mm Durchmesser mit Hilfe konventioneller optischer Lithographie“, *FZKA-Berichte* 6423 (2000) 187-188.
- [6] M. Guttman, K. Bade, H. Hein, C. Kramer, S. Wilson, „Mikrostrukturieren - Schattenmasken für PVD-Verfahren herstellen“, *Metalloberfläche*, 57 (2003) Heft 5, S. 27 - 31.
- [7] J. Schulz, K. Bade, M. Guttman, L. Hahn, A. Janssen, U. Köhler, P. Meyer, F. Winkler, „Ensuring Reliability and Repeatability in LIGA Mould Insert Fabrication“, *Microsyst. Technol.*, 10 (2004) 419 - 422.
- [8] Umfangreiche Informationen und Datenblätter unter: www.silicet.de.
- [9] M. Guttman, 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.
- [10] M. Guttman, K. Bade, P. Schwager, *Galvanotechnik*, Veröffentlichung in Vorbereitung.

Autoren

Dr. Markus Guttman, Jahrgang 1969, studierte Chemie an den Universitäten Halle/S. und Leipzig und promovierte 1997 auf dem Gebiet der Elektrochemie. Nach einer Tätigkeit an der TU Dresden arbeitet er seit August 1998 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Seit Mai 2000 ist er am Institut für Mikrostrukturtechnik in der

Gruppe „Mikrogalvanoformung und Ätztechnik“ auf dem Gebiet der LIGA-Technik tätig. Dipl.-Ing. (FH) Barbara Matthis, Jahrgang 1964, studierte Oberflächentechnik und Werkstoffkunde an der Fachhochschule Aalen. Heute arbeitet sie im Bereich der Mikrogalvanoformung der Abteilung Mikrofertigung des Instituts für Mikrostrukturtechnik am Forschungszentrum Karlsruhe.

Dr. Joachim Schulz, Jahrgang 1959, studierte Physik und Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe und der University of Wisconsin, Madison, USA. Nach der Promotion über Elektronische Grenzflächenzustände kam er an das Institut für Mikrostrukturtechnik des Forschungszentrums Karlsruhe, wo er heute als Abteilungsleiter den Bereich Technologie leitet.

Dipl.-Ing. (FH) Frank Winkler, Jahrgang 1968, absolvierte eine Ausbildung zum Chemisch-technischen Assistenten am Chemischen Institut Dr. Flad in Stuttgart. Er studierte an der Fachhochschule Aalen Oberflächentechnik/Werkstoffkunde. Nach dem Studium arbeitete er zwei Jahre in der Industrie und ist seit April 2000 am Institut für Mikrostrukturtechnik im Forschungszentrum Karlsruhe in der Gruppe „Mikrogalvanoformung und Ätztechnik“ tätig.

Dipl.-Des. Hans Moritz, Jahrgang 1951, studierte Konstruktion im Maschinenbau an der FH Dortmund und anschließend Industrial Design an der HdK Berlin. Nach einer Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter an der Universität Kassel ist er seit 1983 mit dem Designbüro „Hans Moritz Design“ im Bereich der Entwicklung und dem Design von Industrieprodukten selbständig. Zusätzlich ist er seit der Gründung im Jahr 2000 Geschäftsführer der silicet AG.