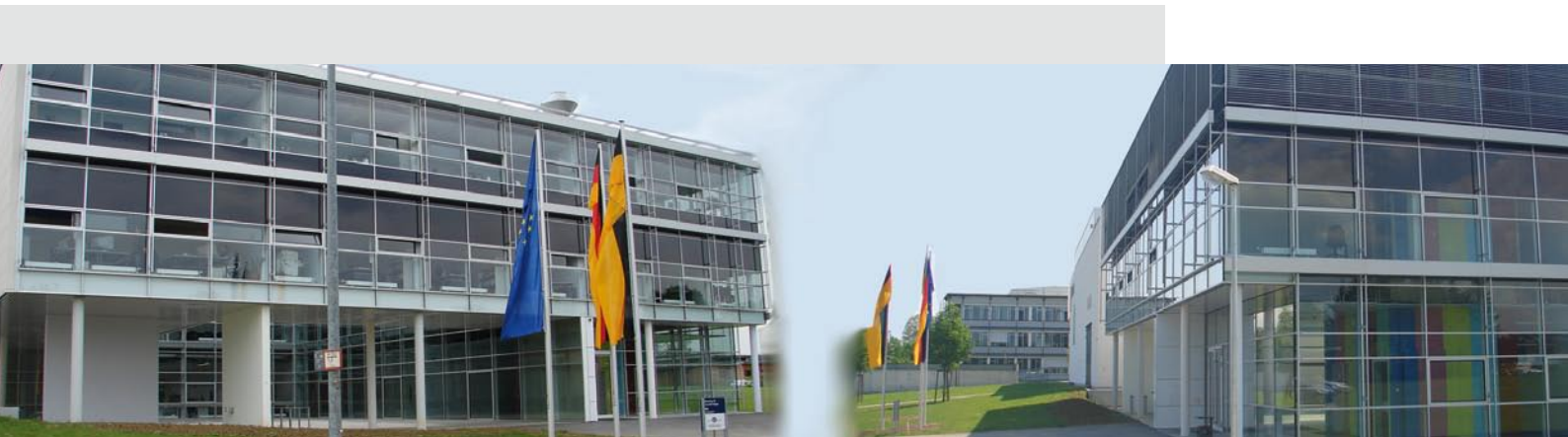


HSG-IMAT



Jahresbericht 2007

mit IZFM – Universität Stuttgart

HSG-IMAT

Adresse Hahn-Schickard-Gesellschaft
Institut für Mikroaufbautechnik
Allmandring 9 B
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 685-83712 oder -83710
Fax +49 711 685-83705

E-Mail info@hsg-imat.de
Internet www.hsg-imat.de

IZFM

Adresse Universität Stuttgart
Institut für Zeitmesstechnik,
Fein- und Mikrotechnik
Allmandring 9 B
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 685-83711 oder -83710
Fax +49 711 685-83705

E-Mail info@izfm.uni-stuttgart.de
Internet www.uni-stuttgart.de/izfm

Inhaltsverzeichnis

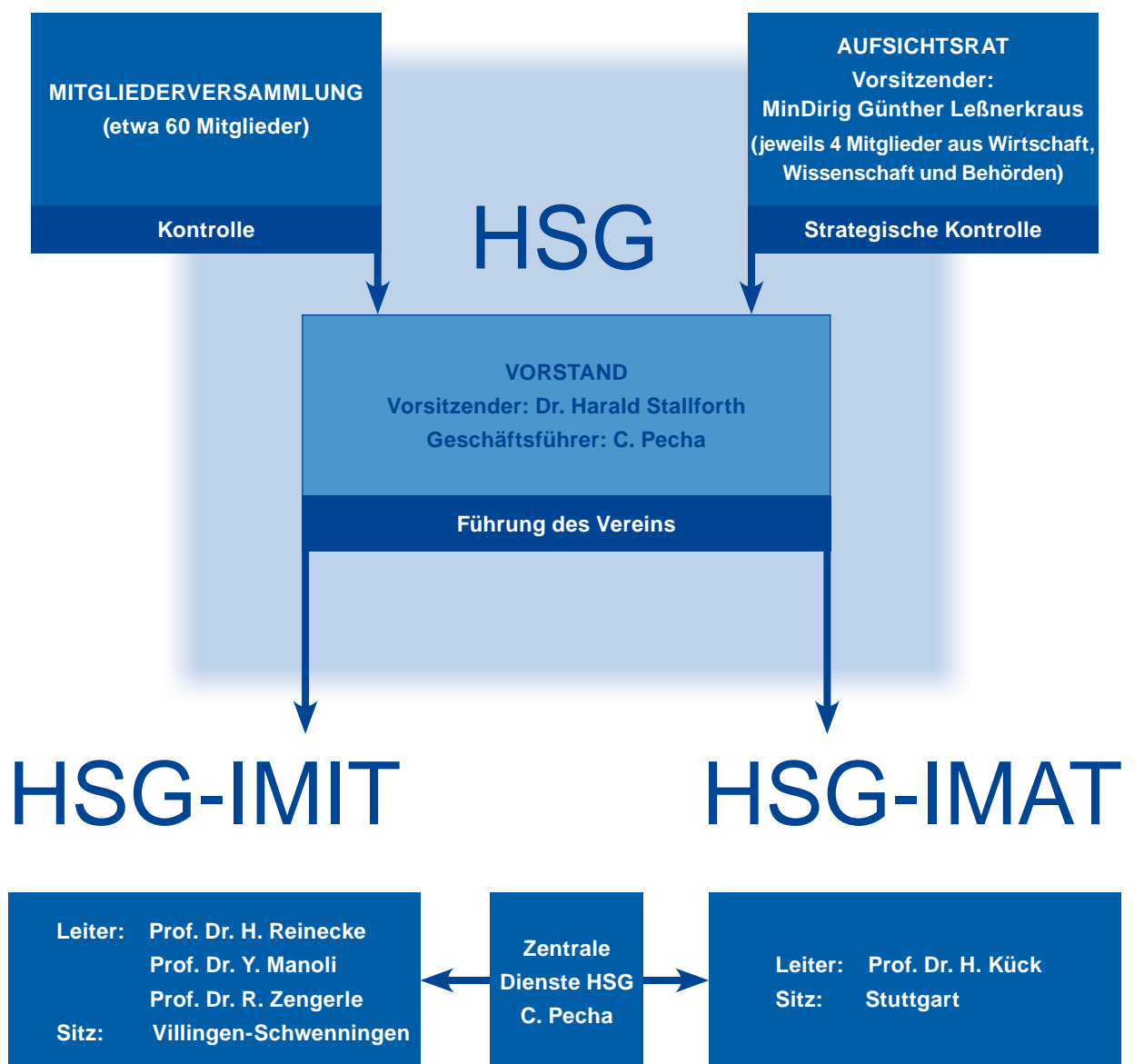
Kontakt	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
Die Hahn-Schickard-Gesellschaft	5
Organe & Organisation der HSG	6
Aufsichtsrat und Vorstand.....	7
Mitglieder	8
Das HSG-IMAT	9
Struktur und Ansprechpartner	10
Das Institut in Zahlen	11
Die Abteilungen des HSG-IMAT	12
Technologie.....	13
Bauelemente.....	14
Projektberichte	15
Neue Möglichkeiten zur Metallisierung von MID im HSG-IMAT.....	16
Heißprägen von Kunststofffolien zum Aufbau von Low Cost Flexschaltungen.....	18
Durchgängige Qualitätssicherung für den LPKF-LDS®-Prozess	20
M ³ D – Ein neues Verfahren zur 3D-Direktstrukturierung.....	22
Hochpräzise optische Bauelemente aus Kunststoff.....	24
Mess- und Prüftechnik für die laserbasierte Fertigung multifunktionaler 3D-Packages.....	26
Publikationen & Marketing	29
Lehrveranstaltungen • Studienarbeiten & Diplomarbeiten	30
Messebeteiligungen • Workshop • Mitwirkung in Gremien.....	32
Vorträge & Veröffentlichungen.....	33
Patente & Gebrauchsmuster.....	34
Impressum.....	35

Die Hahn-Schickard-Gesellschaft

Die Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V. wurde im Jahr 1955 auf Initiative der Uhrenindustrie gegründet. Ihr Name lehnt an zwei historische Vorbilder an: Wilhelm Schickard (1592 bis 1635) und Philipp Matthäus Hahn (1739 bis 1790), beide Vorreiter in der Forschung sowie legendäre Mathematiker und Konstrukteure unserer Region.

Als gemeinnützige Vereinigung zur Förderung angewandter Forschung mit der Aufgabe, die hiesige Industrie zu unterstützen, trägt sie heute zwei Institute: das Institut für Mikro- und Informationstechnik (HSG-IMIT) in Villingen-Schwenningen und das Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT) in Stuttgart.

Organe & Organisation der HSG



Stand: 03/2008

Aufsichtsrat und Vorstand

AUFSICHTSRAT

Vorsitzender:

**Ministerialdirigent
Günther Leßnerkraus**
Wirtschaftsministerium
Baden-Württemberg

Dr. Norbert Fabricius
Karlsruher Institut für Technologie

Dr. Stefan Finkbeiner
Robert Bosch GmbH

Eckehardt Keip
LITEF GmbH

Dr. Rupert Kubon
Oberbürgermeister Große Kreisstadt
Villingen-Schwenningen

Dr. rer. nat. Mirko Lehmann
IST AG

Professor Dr. Johann Löhn
Steinbeis-Stiftung
Präsident der Steinbeis-Hochschule
Berlin

Professor Dr. Ulrich Mescheder
Hochschule Furtwangen

Professor Dr. Wolfgang Osten
ITO - Institut für Technische Optik,
Universität Stuttgart

Dr.-Ing. Peter Post
Festo AG & Co. KG

Professor Dr. Jürgen Rühle
Institut für Mikrosystemtechnik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

**Ministerialrat
Hanno Schnarrenberger**
Ministerium für Wissenschaft, For-
schung und Kunst Baden-Württemberg
(bis 22.11.2007)

Ministerialrätin Susanne Ahmed
Ministerium für Wissenschaft, For-
schung und Kunst Baden-Württemberg
(seit 22.11.2007)

Ständiger Gast:
Ministerialrat Dr. Gerhard Finking
Bundesministerium für Bildung und
Forschung

VORSTAND

Vorsitzender:

Dr. Harald Stallforth
AESCULAP AG & Co. KG

Stellvertr. Vorsitzende:
Ernst Kellermann
Marquardt GmbH

Uwe Remer
2E mechatronic GmbH & Co. KG

Hans Weiss
GMS Gesellschaft für
Mikroelektronik und Sensorik mbH
(bis 22.11.2007)

Dr. Wolfgang Spreitzer
GRUNER AG
(seit 22.11.2007)

Schatzmeister:
Thomas Albiez
IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg

Stand: 01/2008

Mitglieder

AESCULAP AG & Co. KG Tuttlingen · **coHex - Technische Beratung** Donaueschingen · **DAIMLER AG** Stuttgart · **Deutsche Bank AG** Stuttgart · **Deutsche Thomson OHG** Villingen-Schwenningen · **ECMTEC GmbH** Holzgerlingen · **Elbau Elektronik GmbH** Berlin · **ELMOS Semiconductor AG** Dortmund · **Eppendorf Instrumente GmbH** Hamburg · **Etp. Electronics trading and production** Freiburg · **Festo AG & Co. KG** Esslingen · **FORESTADENT Bernhard Förster GmbH** Pforzheim · **GMS Gesellschaft für Mikrotechnik und Sensorik mbH** Villingen-Schwenningen · **GOS Gesellschaft für Organisation und Software mbH** Villingen-Schwenningen · **GRUNER AG** Wehingen · **Harman/Becker Automotive Systems (XSYS Division) GmbH** Villingen-Schwenningen · **Harting Mitronics AG** CH-Biel · **2E mechatronic GmbH & Co. KG** Wernau · **HL-Planartechnik** Dortmund · **Hoerbiger-Origa Systems GmbH** Altenstadt · **HOPF ELEKTRONIK** Lüdenscheid · **Hopt + Schuler GmbH & Co. KG** Rottweil · **IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg** Villingen-Schwenningen · **ISGUS J. Schlenker-Grusen GmbH** Villingen-Schwenningen · **KENDRION BINDER MAGNETE GmbH** Villingen-Schwenningen · **KUNDO System-Technik GmbH** St. Georgen · **Erich Lacher Uhrenfabrik** Pforzheim · **LITEF GmbH** Freiburg · **Lotus Systems GmbH** Gutmadingen · **MADA Marx Datentechnik GmbH** Villingen-Schwenningen · **MARQUARDT GmbH** Riethem-Weilheim · **Metec Ingenieur AG** Stuttgart · **Perpetuum Ebner GmbH & Co. KG** St. Georgen · **Physik Instrumente GmbH & Co. KG** Karlsruhe-Palmbach · **Robert Bosch GmbH** Stuttgart · **SCHMIDT Technology GmbH** St. Georgen · **Schölly Fiberoptic GmbH** Denzlingen · **Schwarzwälder-Service Industrie- u. Gebäudereinigung GmbH + Co.** Villingen-Schwenningen · **Spar-kasse Villingen-Schwenningen** Villingen-Schwenningen · **Karl Storz GmbH & Co.** Tuttlingen · **Tobias Szokalo Werkzeugbau mit HSC-Bearbeitung** Pforzheim · **Team Nanotec GmbH** Villingen-Schwenningen · **THEBEN AG** Haigerloch · **Dr. Tillwich GmbH** Horb · **Vipem Hackert GmbH** Grünbach · **VDO Automotive AG - Ein Unternehmen des Continental Konzerns** Villingen-Schwenningen · **Volksbank Donau/Neckar** Tuttlingen

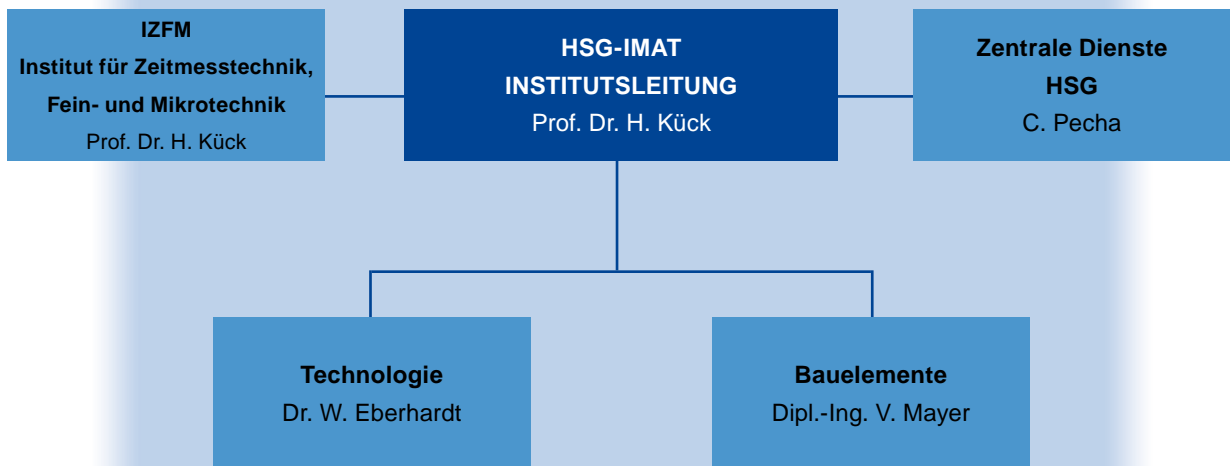
Stand: 01/2008

Das HSG-IMAT

Das HSG-IMAT wurde im Jahr 1955 als von der Industrie getragenes Forschungsinstitut unter dem Namen Forschungsinstitut für Uhren- und Feingerätetechnik gegründet.

Heute arbeitet das HSG-IMAT in enger Kooperation mit dem Institut für Zeitmesstechnik, Fein- und Mikrotechnik der Universität Stuttgart in der Gehäuse- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme unter Einsatz von Kunststoffgehäusen und Molded Interconnect Devices (MID) sowie in der Entwicklung innovativer Sensor- und Aktorsysteme in hybrider Aufbautechnik mit mikrostrukturierten MID.

Struktur und Ansprechpartner



Institutsleitung Prof. Dr. H. Kück
Telefon +49 711 685-83710

Sekretariat P. Hoffmann
Telefon +49 711 685-83711

Lehre / IZFM Dipl.-Ing. R. Mohr
Telefon +49 711 685-83713

Administration HSG-IMAT C. Bellezer
Telefon +49 711 685-83712

Zentrale Dienste HSG C. Pecha
Telefon +49 7721 943-190

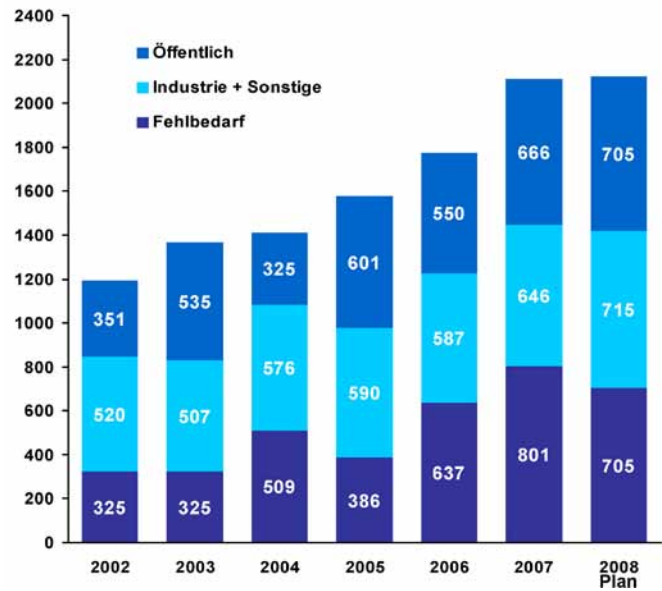
Abteilung Technologie Dr. W. Eberhardt
Telefon +49 711 685-83717

Abteilung Bauelemente Dipl.-Ing. V. Mayer
Telefon +49 711 685-84265

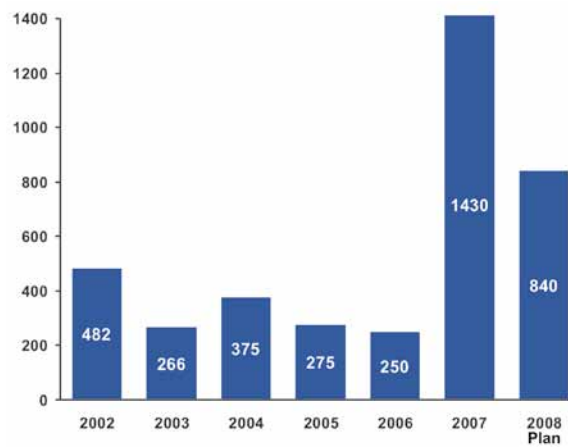
Stand: 01/2008

Das Institut in Zahlen

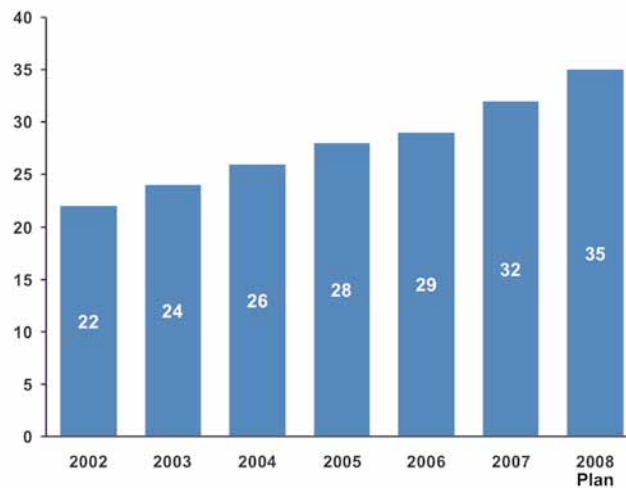
Entwicklung des Haushalts in T Euro



Entwicklung der Investitionen in T Euro



Entwicklung der Personalstärke



Die Abteilungen des HSG-IMAT

- Technologie
- Bauelemente

Technologie

Die Abteilung Technologie ist für die Strukturierung und Metallisierung von MID-Baugruppen sowie für die Montage- und Füge-Techniken von SMD- und Nackt-Chip-Bauelementen zuständig. Die Dienstleistungen, die wir anbieten, reichen von Beratung im Hinblick auf die Machbarkeit über Forschung und Entwicklung von Verfahren und Baugruppen bis zur Prototypenfertigung. Da wir im HSG-IMAT über eine komplette Linie zur Herstellung von MID-Baugruppen mit den entsprechenden Prozessen verfügen, können wir unsere Kunden ganzheitlich zu Fragen der gesamten Prozesskette beraten. Unser interdisziplinäres Team von Wissenschaftlern und Technikern ist mit unserer modernen Geräteausrüstung in der Lage, für jeden Teilschritt in der MID-Fertigung eine Lösung anzubieten.

Unsere Kunden kommen bevorzugt aus den Bereichen Automatisierungstechnik, Kfz-Technik, Medizintechnik und Life Sciences. Die Miniaturisierung komplexer 3D-Baugruppen steht dabei im Vordergrund. Hierzu erzeugen wir feinste Leiterbahnen auf mikrospritzgießtechnisch hergestellten Kunststoffbauteilen, indem wir die Lasertechnik mit der chemischen Abscheidung von Metallschichten kombinieren. Mit subtraktiven, semiadditiven und volladditiven Verfahren und verschiedenen Werkstoffen können wir für viele Anwendungen eine Lösung anbieten. Insbesondere hat die Laserdirektstruk-

turierung in den letzten Jahren sehr an Attraktivität gewonnen, da hier eine breite Palette an Werkstoffen kommerziell verfügbar ist und modernste Laseranlagen eingesetzt werden können. Ein großes Potential zur Feinstrukturierung von Baugruppen sehen wir derzeit auch bei den Drucktechniken.

Durch die Möglichkeit, feinste Leiterbahnen auf thermoplastischen Schaltungsträgern zu erzeugen, ist auch die Montage von Nacktchips auf MID realisierbar. Hierbei kommen Drahtbond-Techniken und Flip-Chip-Techniken zum Einsatz. Bei den Flip-Chip-Techniken sind vor allem auf dem Kleben basierte Verfahren von Interesse. Aber auch das bleifreie Lötten von SMD-Bauelementen ist bei vielen Hochtemperaturthermoplasten problemlos möglich. Bei der SMD-Montage stellt die Klebtechnik aber auch eine interessante Alternative dar.

Bei einfacheren Geometrien von Bauteil und Leiterbild können wir die Heißsprägetechnik einsetzen. Hier steht mittlerweile eine breite Palette von geeigneten Folien zur Verfügung, mit denen Leiterbahnen auf einer Vielzahl von Thermoplasten hergestellt werden können. Durch den Wegfall der chemischen Metallisierung beim MID-Hersteller ergibt sich eine kurze Prozesskette. Heißspräge-MID-Baugruppen eignen sich besonders für die SMD-Montage von Bauelementen.

Neben modernsten Fertigungseinrichtungen verfügen wir auch über umfangreiches Prüfequipment. Daher sind wir auch in der Lage, unseren Kunden die geeignete Prüfung der Baugruppen anzubieten. Dazu gehören die Funktionsprüfungen genauso wie die einschlägigen Zuverlässigkeits- und Umweltprüfungen. Beim Spritzguss und bei der Bereitstellung der Werkzeuge und Vorrichtungen arbeiten wir eng mit der Abteilung Bauelemente zusammen. Daher können wir unsere Kunden während der gesamten Entwicklungszyklen bei neuen Produkten beraten und unterstützen, angefangen bei der Produktidee bis hin zur Bereitstellung von qualifizierten Prototypen.

Kontakt: Dr. Wolfgang Eberhardt

Telefon: +49 711 685-83717

E-Mail: eberhardt@hsg-imat.de

Bauelemente

In der Abteilung Bauelemente befassen wir uns mit Sensoren und Aktoren sowie der Fertigung von Präzisionsteilen insbesondere mit Mikrospritzgießtechnik einschließlich der Herstellung hoch präziser Werkzeuge.

Um beim Spritzguss bestmögliche Kunststoffformteile mit feinsten Strukturabmessungen und Strukturdetails anzufertigen, arbeiten Simulation, Konstruktion, Muster-Werkzeugbau und Spritzguss sehr eng zusammen. Mit unserer neuen hochgenauen Spritzgusssimulations-Software von 3D-Sigma bestimmen wir z. B. vorab das Füllverhalten, den Verzug oder die Werkzeugbelastung. Bei der anschließenden Konstruktion profitieren wir von unserer langjährigen Erfahrung und setzen modernste CAD/CAM-Techniken ein. Zur Anfertigung der Werkzeuge und für die mechanische Bearbeitung hochgenauer filigraner Bauteile stehen uns zwei Hochpräzisions-HSC-Fräsmaschinen, die Mikrofunktenerosion und das elektrochemische Fräsen zur Verfügung. Ist allerhöchste Präzision und Oberflächenqualität gefragt, können wir neuerdings mit unserer 6-Achsen-Ultrapräzisionsbearbeitungsmaschine auch optische Bauelemente oder entsprechende Werkzeug-Formeinsätze anfertigen.

Automatisierungstechnik, Kfz-Technik, Medizintechnik und Life Sciences sind nur einige Bereiche, wo wir mit zahlreichen Partnern aus Industrie und Forschung eine Reihe von herausfordernden Projekten erfolgreich

durchführen und umsetzen konnten. Beispielsweise konnten wir in Zusammenarbeit mit dem HSG-IMIT verschiedenste mikrofluidische Kanal- und Düsensysteme für die Mikrodosierung erfolgreich mit Spritzgießtechnik herstellen. Als neue Herausforderung werden wir demnächst gemeinsam anspruchsvolle Mikronadel-Arrays aus Kunststoff angehen.

In enger Zusammenarbeit mit unserer Abteilung Technologie entstehen bei uns zudem viele Mikrospritzgießbauteile für neueste Aufbau-, Gehäuse- und Verbindungstechniken. Hier werden komplexe 3D-Geometrien für die Integration und Miniaturisierung in drei Dimensionen benötigt, um durch Aufbringen von feinsten Leiterbahnen und Bestückung mit elektronischen und mikrotechnischen Bauteilen hochwertige mechatronische Baugruppen herzustellen.

Bei den Sensoren stehen Neigungs-, Abstands-, Weg- und Drehwinkelsensoren im Vordergrund. Beispielsweise arbeiten wir derzeit verstärkt an einem hochauflösenden flüssigkeitsbasierten kapazitiven einachsigen Neigungssensor mit einem Messbereich von echten 360 Grad. Daneben arbeiten wir an neuen hochauflösenden optischen Drehgebern. Durch die Verwendung von mikrostrukturierten Kodierscheiben aus Kunststoff mit integrierten diffraktiven optischen Elementen können wir hohe Auflösungen bei kleinster Baugröße und einem einfachen montagefreundlichen Sensoraufbau errei-

chen. Für Funktionstests und Charakterisierung wurden spezielle Mess- und Prüfplätze aufgebaut, die auch in den Klima- und Feuchte-Prüfschränken des HSG-IMAT eingesetzt werden können.

Für die Auslegung unserer Systeme greifen wir verstärkt auf Simulationen zurück, um statische und dynamische mechanische Eigenschaften genauso wie elektrische oder magnetische Eigenschaften vorab zu ermitteln.

Mit Miniaturschaltventilen und -pumpen befassen wir uns in der Aktorik. Hier stehen völlig neue Aufbaukonzepte mit strikter Trennung zwischen Fluid und Antrieb im Mittelpunkt. Daher können wir hochinteressante Lösungen bieten, wenn eine gute Medientrennung erforderlich ist.

Ob es sich um Mikrospritzgießbauteile, um komplexe 3D-Packages für Mikrosysteme, um FEM-Simulationen oder um Sensoren und Aktoren handelt, die Abteilung Bauelemente des HSG-IMAT unterstützt Sie gerne bei allen wichtigen Schritten zur Lösung Ihrer Problemstellung. Zögern Sie nicht, uns anzusprechen.

Kontakt: Dipl.-Ing Volker Mayer

Telefon: +49 711 685-84265

E-Mail: mayer@hsg-imat.de

Projektberichte

- Neue Möglichkeiten zur Metallisierung von MID im HSG-IMAT
- Heißprägen von Kunststofffolien zum Aufbau von Low Cost Flexschaltungen
- Durchgängige Qualitätssicherung für den LPKF-LDS[®]-Prozess
- M³D - Ein neues Verfahren zur 3D-Direktstrukturierung
- Hochpräzise optische Bauelemente aus Kunststoff
- Mess- und Prüftechnik für die laserbasierte Fertigung multifunktionaler 3D-Packages

Neue Möglichkeiten zur Metallisierung von MID im HSG-IMAT

Mit dem Einzug in das neue Institutsgebäude am Allmandring konnten wir im HSG-IMAT eine Galvanik- und Vorbehandlungsanlage sowie eine außenstromlose Metallabscheidungsanlage in Betrieb nehmen. Diese Anlagen ermöglichen es, sowohl den stetig wachsenden Stückzahlen als auch den immer höher werdenden Anforderungen bei der Metallisierung von MID gerecht zu werden. Somit erfolgt ein deutlicher Sprung vom Laborprozess hin zum industrietauglichen Metallisierungsprozess, was die bisherige hohe Qualität unserer F&E-Leistungen noch steigern wird.

Jedoch haben wir als Forschungsinstitut auch nach wie vor die Möglichkeit, neben etablierten Prozessen auch Prozesse im Labormaßstab einzusetzen, um so auch Prozesse für neue Schichtsysteme zu erarbeiten und flexibel auf die Anforderungen unserer Kunden reagieren zu können.

PROZESSE

So können wir in unseren neuen Anlagen sowohl den volladditiven LPKF-LDS®-Prozess als auch subtraktive und semiadditive Prozesse durchführen. Die Anlagen sind dabei auf die typischen außenstromlosen Schichtsysteme mit Kupfer, Nickel und Gold ausgelegt. Beim LPKF-LDS®-Prozess erfolgt in einem ersten Schritt die Laserstrukturierung des Leiterbilds mit einem IR-Laser, anschließend wird der komplette Schichtstapel aus Kupfer, Nickel und Gold außenstromlos abge-

schieden. Beim Semiadditiv-Prozess werden die Kunststoffbauteile im ersten Schritt nach einer nasschemischen Vorbehandlung komplett verkupfert. Anschließend erfolgt die Laserstrukturierung des Leiterbilds mit einem UV-

Daneben bieten die Anlagen auch eine Möglichkeit zur galvanischen Verstärkung von außenstromlos abgeschiedenen Metallschichten, die immer dann von Vorteil sein kann, wenn eine hohe Stromtragfähigkeit oder Wärmeleit-



Abb. 1: Außenstromlose Metallabscheidungsanlage

Laser. Nach einem Reinigungsschritt wird dann abschließend selektiv Nickel und Gold außenstromlos abgeschieden. Beim Subtraktiv-Prozess erfolgt die UV-Laserstrukturierung nach dem kompletten Schichtaufbau.

fähigkeit erforderlich ist. Allerdings sind die möglichen Leiterbildgeometrien wegen der notwendigen elektrischen Kontaktierung eingeschränkt.

WARENTRÄGER

In beiden Anlagen stehen uns modulare Prozessbecken mit einem Arbeitsvolumen von 30 Liter zur Verfügung. Je nach Größe und Geometrie können die MID-Bauteile entweder im Gestell oder in der Trommel prozessiert werden. Insbesondere bei kleinsten multifunktionalen 3D-Packages für die Mikrosystemtechnik ist das Trommelverfahren ein sehr rationelles Verfahren. Bei bestimmten Bauteilgeometrien ist jedoch die Beschichtung im Gestell die Methode der Wahl.



Abb. 2: Metallisierungstrommel

ELEKTROLYTBECKEN

Die einzelnen Elektrolytbecken sind mit allen erforderlichen Ausrüstungen ausgestattet, um eine stabile Prozessführung zu gewährleisten. So sorgt beispielsweise eine kontinuierliche automatische Warenbewegung für eine gleichmäßige Medienkonzentration an den zu beschichtenden Kunststoffbauteilen. Eine Umlauffiltration sorgt dafür, dass sich in den entsprechenden Elektrolyten und Prozesschemikalien keine der Badstandzeit abträglichen Partikel anreichern.

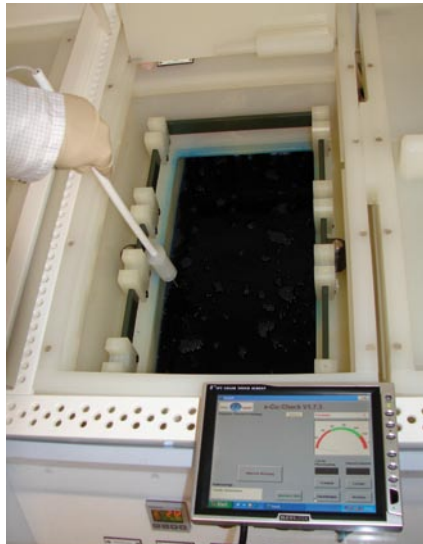


Abb. 3: Elektrolytbecken für chemisch Kupfer mit Messsystem

Automatische Heizelemente sichern in den einzelnen Becken je nach Prozess eine gleichbleibende Medientemperatur. Die Becken zur außenstromlosen Kupferabscheidung sind mit einer regelbaren automatischen Lufteindüsung ausgestattet, welche für die Stabilität der Kupferelektrolyte sorgen. Um das insbesondere für den LPKF-LDS®-Prozess wichtige Anspringverhalten des außenstromlosen Kupferelektrolyten zu erfassen, ist das im BMBF-Vorhaben MELAM-3D (siehe S. 26) entwickelte Messsystem in der Anlage integriert. Die nasschemische Analyse der Bäder erfolgt durch Titration.



Abb. 4: Titrator zur Badanalyse

Die Spülprozesse können in sämtlichen Spülbecken je nach Anforderung individuell programmiert werden, so dass Elektrolytverschleppungen vermieden werden. Sämtliche kontaminierte Spülwässer werden dabei in eine hausinterne Abwassernachbehandlungsanlage eingeleitet und dort entgiftet. Weiterhin sind auch ultraschallunterstützte Reinigungsprozesse sowie Heißlufttrocknungsprozesse der Bauteile möglich. Daneben bieten die Anlagen auch Erweiterungsmöglichkeiten für andere Nassprozesse und sind somit auch für zukünftige Entwicklungen der MID-Technik vorbereitet.

Kontakt: Dr. Wolfgang Eberhardt

Telefon: +49 711 685-83717

E-Mail: eberhardt@hsg-imat.de

Heißprägen von Kunststofffolien zum Aufbau von Low Cost Flexschaltungen

EINLEITUNG

Gedruckte Schaltungen auf der Basis flexibler Kunststoffschaltungsträger sind weit verbreitet. Sie werden eingesetzt, um räumlich getrennte elektronische Baugruppen elektrisch leitend miteinander zu verbinden. Man unterscheidet hier im Wesentlichen zwischen zwei Arten flexibler Schaltungen: Schaltungen mit und ohne dauerhafter dynamischer Beanspruchung. Schaltungen ohne dynamische Beanspruchung werden einmal am Bestimmungsort, beispielsweise in der Bedienkonsole eines Automobils, eingebaut und verbleiben dort ohne Formänderung für einen langen Zeitraum. Schaltungen mit dynamischer Beanspruchung sind während des Betriebs eines Gerätes einer kontinuierlichen Formänderung ausgesetzt. Ein Beispiel hierfür sind flexible Schaltungsträger im Druckkopf eines Tintenstrahldruckers oder in einem Lenkrad.

FLEXIBLE SCHALTUNGEN

Flexible Schaltungen werden heute überwiegend auf der Basis von Polyimidfolien hergestellt, da diese sehr gute thermische und dielektrische Eigenschaften aufweisen. Die Erzeugung von Leiterstrukturen erfolgt meistens über eine metallische Startschicht, aufgebracht durch Vakuummetallisierung, lithografische und nasschemische Verfahren wie chemische und/oder galvanische Metallisierung und Ätztechniken. Die fertige Schaltung wird dann oft noch mit einem Abdecklack versehen, welcher nur die Kontaktierungs-

stellen ausspart. Die so erzeugten Schaltungen bestehen meist aus einer Polyimidlage sowie einer Metallisierungsebene (einseitige Flexschaltung) oder mit je einer Metallisierungsebene auf der Vorder- und Rückseite mit Durchkontaktierungen (doppelseitige Flexschaltung). Flexible Schaltungen auf Polyimidbasis können in nahezu jeder beliebigen Form und Größe hergestellt und bei Bedarf mit sehr feinen Leiterbahnen versehen werden. Neben den genannten Vorzügen haben Polyimid-basierte Flexschaltungen den Nachteil, dass ihre Herstellung relativ aufwändig und die Schaltungen verhältnismäßig teuer sind. Es besteht daher großes Interesse seitens der Industrie, für eine Vielzahl von Anwendungen eine kostengünstige Alternative zu haben.

STRUKTURIERUNG DURCH HEISSPRÄGEN

Ein preisgünstiges und schnelles Verfahren zur Herstellung der Leiterbahnen für flexible Schaltungen ist das Heißprägen. Bei der Heißprägetechnik wird über ein beheiztes Prägewerkzeug, auf dem sich das Schaltungslayout befindet, eine spezielle kupferbasierte Folie unter Druck und Wärme auf einen thermoplastischen Werkstoff gepresst. Die Kupferfolie wird dabei beim Prägeprozess ausgestanzt und verbindet sich mit ihrer aufgerauten Rückseite mit dem aufschmelzenden Kunststoff. Auf diese Weise wird das Leiterbild direkt vom Prägestempel auf einen thermoplastischen Schaltungs-

träger übertragen. Die Anwendung der Heißprägetechnik im industriellen Einsatz ist derzeit allerdings auf starre Schaltungsträger beschränkt, ihre Anwendung auf flexible Schaltungsträger hat bisher keine Verbreitung gefunden. Ein entscheidender Grund hierfür ist die Tatsache, dass Versuche, konventionelle Kunststofffolien mittels Heißprägetechnik mit einer Leiterstruktur zu versehen, im Regelfall keine befriedigenden Resultate ergeben. Wird bei einer zu niedrigen Temperatur geprägt, ist die Haftfestigkeit der Leiterbahnen auf dem Kunststoffsubstrat unzureichend, wohingegen hohe Prägetemperaturen zu Formveränderungen oder gar zur Zerstörung der Kunststofffolie führen. Um die beschriebene Problematik zu lösen, wurden am HSG-IMAT Mehrschichtfolien auf ihre Eignung für die Strukturierung mittels Heißprägen untersucht.

AUFBAU VON LOW COST FLEX-SCHALTUNGEN

Mehrschichtige Kunststofffolien, beispielsweise auf Basis von Polyethylenterephthalat (PET) sind aus der Verpackungsindustrie bekannt und auf dem Markt verfügbar. Sie bestehen aus mindestens zwei Schichten, einer temperaturbeständigen Schicht (LA) mit hoher Schmelztemperatur, welche gleichzeitig als Trägerfolie dient, und einer zweiten, häufig amorphen Schicht (LB), welche eine deutlich tiefere Schmelztemperatur aufweist (Abb. 1).

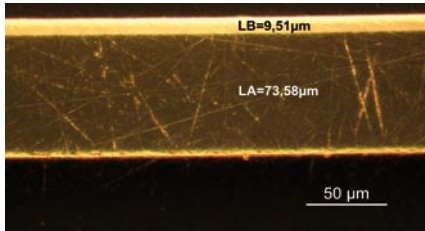


Abb. 1: Mehrschichtfolie im Querschliff

Durch geeignete Auswahl von Kunststoff-Mehrschichtfolie und Kupferheißprägefolie sowie den geeigneten Prägebedingungen lassen sich damit auf sehr einfache Weise flexible Schaltungsträger herstellen (Abb. 2). Wie aus dem Querschliff in Abb. 3 ersichtlich ist, wirkt die niedriger schmelzende Schicht praktisch als thermoplastischer Klebstoff, welcher dem Verbund Kunststofffolie/Leiterbahn eine hohe Haftfestigkeit verleiht. Diese liegt im Fall der untersuchten PET-Folien bei $> 1,4 \text{ N/mm}$. Die höher schmelzende Schicht gibt dem flexiblen Substrat die erforderliche Festigkeit und bestimmt im Wesentlichen die thermischen und mechanischen Eigenschaften des Systems.



Abb. 2: Flexibler Schaltungsträger mit Leiterbild in Nutzenanordnung

Prinzipiell kann die Herstellung flexibler Schaltungsträger mittels Heißprägetechnik sehr vielseitig angewendet werden. Im einfachsten Fall können einseitige flexible Schaltungen mit

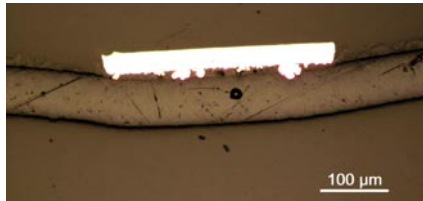


Abb. 3: Querschliff durch Leiter auf Mehrschichtfolie

einer dielektrischen Schicht und einer Leiterebene hergestellt werden. Auch ist es einfach zu bewerkstelligen, die Leiterebene zwischen zwei dielektrischen Schichten einzubetten und dabei beispielsweise nur die Anschlusskontakte auszusparen. Dies erfolgt in der Weise, dass auf eine einseitig flexible Schaltung eine weitere vorher geschnittene oder vorher gestanzte Folie beispielsweise mit einem unstrukturierten Stempel unter Hitze und Druck auflaminiert wird. Die peripheren Kontakte können dann beispielsweise verzinkt werden (Abb.4). Auch die Erzeugung flexibler Mehrlagenschaltungsträger ist denkbar. Die Realisierung derartiger Aufbauten kann durch mehrfaches Laminieren erfolgen. Für Durchkontaktierungen zwischen Leiterebenen können beispielsweise Verfahren wie Laserbohren und Dispensen von Polymerleitpaste zum Einsatz kommen. Dieses Aufbauprinzip wurde an ersten Entwicklungsmustern verifiziert. Die Verfahren zur Herstellung von flexiblen Schaltungsträgern sind grundsätzlich auch in einer Rolle-zu-Rolle Fertigung einsetzbar.

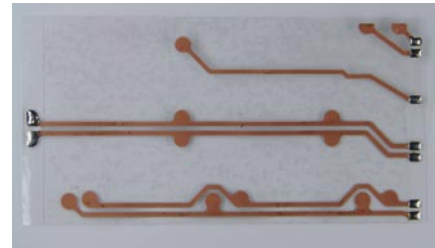


Abb. 4: Flexibler Schaltungsträger mit eingebetteten Leitern

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Kunststoff-Mehrschichtfolien können durch Strukturierung mittels Heißprägen auf einfache Weise flexible Schaltungsträger hergestellt werden. Bisher untersuchte Folien auf PET-Basis weisen eine sehr gute Haftfestigkeit der heißgeprägten Leiterstrukturen auf. Sie lassen sich selektiv verzinnen und mit kleinem Krümmungsradius biegen, ohne dass der Verbund geschädigt oder die Haftfestigkeit vermindert wird. Allerdings sind die PET-basierten Schaltungsträger nicht ausreichend thermisch belastbar, um in Summenlötprozessen mit bleifreien Loten verarbeitet oder bei hohen Dauerbetriebstemperaturen eingesetzt werden zu können. Um diesen Ansprüchen zu genügen, müssen neue hochtemperaturstabile Foliensysteme bereitgestellt und untersucht werden.

Kontakt: Dr. Horst Richter

Telefon: +49 711 685-83716

E-Mail: richter@hsg-imat.de

Durchgängige Qualitätssicherung für den LPKF-LDS[®]-Prozess

Spritzgegossene Schaltungsträger (MID) finden für innovative Produkte aus unterschiedlichsten Branchen eine immer größere Resonanz in der Industrie. Vor allem mit dem Laser-Direkt-Strukturierungs-Prozess (LPKF-LDS[®]-Prozess) können 3D-Bauteile mit hoher Komplexität und bisher feinsten Leiterbildern hergestellt werden.

Für den breiten industriellen Einsatz der LPKF-LDS[®]-Technik ist allerdings eine alle Prozessschritte umfassende, durchgängige Qualitätssicherung (QS) notwendig. Dazu hat HSG-IMAT ein industriefinanziertes Verbundprojekt mit einem Konsortium aus Firmen, die die ganze Prozesskette vom Granulat bis zur Anwendung abdecken (Abb. 1), initiiert, um einen ganzheitlichen Rahmen für die Qualitätssicherung zu erarbeiten.



Abb. 1: Partner des Konsortiums

PROZESSKETTE

Die Prozesskette zur Herstellung eines LDS-MID umfasst die Herstellung des Kunststoffgranulats, den Spritzguss, die Laserstrukturierung und die Metallisierung (Abb. 2), die über entsprechende Schnittstellen verbunden sind. Die anschließende Bestückung bzw. Verarbeitung der MID wurde hier nicht betrachtet.

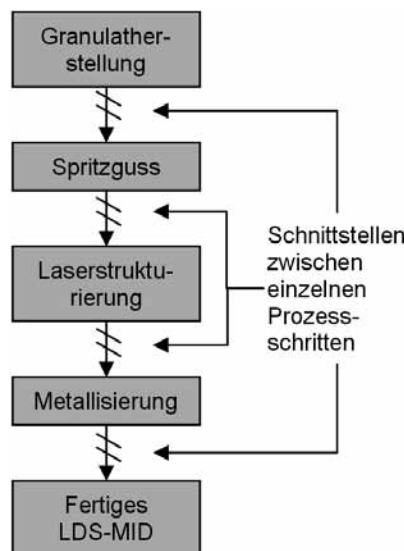


Abb. 2: LDS-Prozesskette

Für eine durchgängige QS müssen die Schnittstellen detailliert definiert werden. Weiterhin sind geeignete Prüfmethoden zu identifizieren und festzuschreiben. Dabei sind auch Verfahren zu betrachten, die über die bisher eingesetzten Prüfungen wie einfache optische Inspektion und Vermessung von Bauteilen und Strukturen, Elektrolyt-Analytik und Haftfestigkeitsbestimmung der Metallisierung hinausgehen.

GRANULAT UND SPRITZGUSS

LDS-Thermoplaste sind mit einem speziellen laseraktivierbaren Additiv modifiziert. Für eine optimale Aktivierung und Metallbeschichtung ist eine homogene Verteilung des Additivs in der Polymermatrix erforderlich. Als Analysemethoden wurden hierfür die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) sowie die Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX) identifiziert und bewertet.

Die Untersuchungen zeigten, dass EDX grundsätzlich zur oberflächennahen Detektion des Additivs geeignet ist. Im Gegensatz dazu kann mit RFA das Additiv auch im Vollmaterial erfasst werden. Mit EDX und RFA konnte gezeigt werden, dass die Verteilung des LDS-Additivs unabhängig von breit variierten Spritzgussparametern innerhalb mehrerer Probekörper sehr homogen ist (Abb. 3).

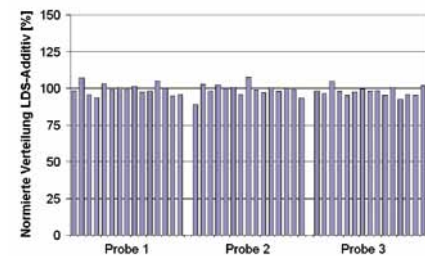


Abb. 3: RFA zum Nachweis des LDS-Additivs

Eine von den Herstellervorgaben abweichende Verarbeitung wie z. B. unzureichende Trocknung des Granulats kann beim Spritzguss zu einer Schädigung des Thermoplast führen, was mit Viskosimetrie nachgewiesen wurde. Unzureichende Kristallisation des Thermoplast kann z. B. durch zu niedrige Werkzeugtemperaturen beim Spritzguss verursacht werden. Dies kann vor allem dann kritisch sein, wenn das MID im Betrieb hohen Temperaturen ausgesetzt ist, die zur Nachkristallisation und damit zu nachträglichem Verzug führen können. Als Prüfmethode zur Bestimmung der Kristallinität kann die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) eingesetzt werden.

LASERSTRUKTURIERUNG

Eine wichtige Größe zur Qualitätsbeurteilung der Laserstrukturierung ist die Geometrie der erzeugten Struktur. Hierzu wurde eine Methode erarbeitet, bei der die laserstrukturierte Bahn softwareunterstützt optisch vermessen und charakterisiert wird. Damit kann eine Defokussierung des Lasers festgestellt werden. Abb. 4 zeigt das Ergebnis einer Vermessung, aus der dann zum Beispiel Breite und Kantenrauheit extrahiert werden können.

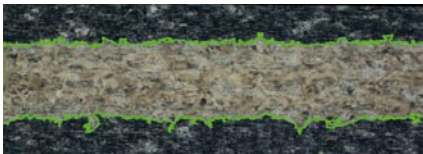


Abb. 4: Erkannte Kontur einer laserstrukturierten Bahn

Ein weiterer Parameter ist die eingebrachte Laserleistung und die Stabilität der Laserpulsform in Bezug auf Pulslänge, Spitzenleistung und Pulsenergie. Die Pulsform wurde mit einer geeigneten schnellen Photodiode untersucht. Diese Methode ist prinzipiell zur Kontrolle der Pulsstabilität geeignet.

METALLISIERUNG

Um eine hohe Qualität der Metallisierung zu erreichen, müssen die eingesetzten Elektrolyte regelmäßig analysiert werden. Für den LPKF-LDS®-Prozess ist darüber hinaus das Anspringverhalten des chemisch Kupfer-Elektrolyten entscheidend. Dazu wurde im Projekt MELAM-3D (s. Seite

26) ein Messsystem erarbeitet und erfolgreich zur Charakterisierung von außenstromlosen Kupferelektrolyten eingesetzt.

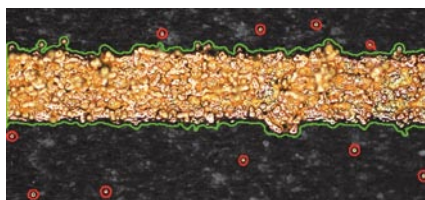


Abb. 5: Kontur der Leiterbahn (grün) und Fremdabscheidung (rot)

Die Qualität einer abgeschiedenen Leiterbahn definiert sich unter anderem über Eigenschaften wie Schichtdicke, Breite, Fehlstellen, Fremdabscheidung, Rauheit sowie Haftfestigkeit. Zur Erfassung von Breite, Fehlstellen und Fremdabscheidung wurde als Prüfmethode die softwareunterstützte optische Vermessung identifiziert, die auch schon für die Qualitätsbeurteilung der Laserstrukturierung eingesetzt wurde. In Abb. 5 ist das Ergebnis der Kontur- und Fremdabscheidungserkennung zu sehen.

Abb. 6 zeigt das Ergebnis der Fehlstellenerkennung auf einem metallisiertem LDS-Substrat.

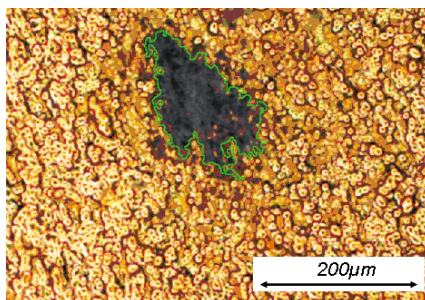


Abb. 6: Fehlstelle auf metallisiertem LDS-Substrat

FAZIT

Die Qualitätssicherung für den LPKF-LDS®-Prozess konnte im Rahmen einer Industriekooperation umfassend betrachtet und um neue Prüfmethode ergänzt werden. Obwohl der LPKF-LDS®-Prozess für den Anwender sehr komplex erscheinen mag, haben jedoch die durchgeführten Untersuchungen gezeigt, dass die Prozessfenster von LDS-MID für eine industrielle Fertigung ausreichend groß sind. Alle Ergebnisse des Projekts wurden im „Leitfaden für den LDS-MID-Entwickler“ zusammengefasst, der dem Entwickler von LDS-MID eine hervorragende Hilfestellung beim Einstieg leistet und beim HSG-IMAT erhältlich ist.

Kontakt: Dipl.-Ing. Hannes Willeck

Telefon: +49 711 685-84780

E-Mail: willeck@hsg-imat.de

M³D – Ein neues Verfahren zur 3D-Direktstrukturierung

Für spritzgegossene Schaltungsträger (Molded Interconnect Devices MID) sind heute 2K-Spritzguss, Heißprägen und Laserstrukturierung zur Herstellung des Leiterbildes Stand der Technik. Für bestimmte Anwendungen können auch Drucktechniken interessante neue Möglichkeiten bei Verdrahtung, Kontaktierung und Integration von Bauelementen bieten. Die neuartige „Maskless Mesoscale Materials Deposition“-Technologie (M³D) der Firma OPTOMECH besitzt das Potenzial sowohl zur Herstellung feinsten Leiterbahnen als auch zum Aufbau von mehrlagigen Leiterbildern. Darüber hinaus kann an die Herstellung von elektronischen Bauelementen wie Widerstände, Kondensatoren, Spulen und organischen Transistoren gedacht werden.

3D-DIREKTSTRUKTURIERUNG

Das M³D-Verfahren arbeitet berührungs- und maskenlos und kann strukturierte Schichten auch auf dreidimensionalen Bauteilen aus unterschiedlichen Werkstoffen abscheiden. Dazu liegt der Schichtwerkstoff in einer geeigneten Lösung ähnlich einer Tinte vor, aus welcher in einem Zerstäubermodul ein Aerosol erzeugt wird (Abb.1). Auf diese Weise lassen sich prinzipiell Metalle, Isolatoren, Keramiken, Polymere und auch Biomaterialien in geeigneten Formulierungen verarbeiten.



Abb. 1: Schematische Darstellung des M³D-Verfahrens

In einem speziellen Beschichtungskopf wird das Aerosol aerodynamisch fokussiert und durch eine Düse direkt auf das zu beschichtende Substrat geleitet. Der Aerosolstrahl kann dabei auf einen Durchmesser reduziert werden, welcher einem Zehntel der Düsenöffnung entspricht. So ist es mit M³D grundsätzlich möglich, Strukturen mit minimalen lateralen Abmessungen von bis zu 10 µm zu generieren. Aufgrund der Fokusschärfentiefe des Aerosolstrahls von bis zu 3 mm bietet das berührungsfreie M³D-Verfahren auch die Möglichkeit für die Abscheidung strukturierter Schichten auf dreidimensionalen Bauteilen. Zur Aushärtung der Schichten kann sowohl ein konventioneller thermischer Sinterprozess als auch ein integrierter Lasersinterprozess durchgeführt werden. Die Sinterung mit dem im M³D-System integrierten Lasermodul ermöglicht die thermische Nachbehandlung auf

temperaturempfindlichen Substraten, ohne das Basissubstrat nennenswert zu schädigen.

MÖGLICHKEITEN UND ANWENDUNGEN

M³D kann derzeit bereits bei einer Vielzahl von 2D-Anwendungen im Bereich der Elektronik eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind hochintegrierte Verdrahtungen auf flexiblen Leiterplatten, passive Bauelemente, RFID-Tags, Mikroantennen sowie Displays. Durch die additive Strukturierung ohne den Einsatz von Masken und Chemikalien wie Resiste und Ätzlösungen stellt die M³D-Technologie auch einen interessanten Ansatz zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit dar.

LEITERBAHNSYSTEME MIT M³D

Im HSG-IMAT steht eine M³D-Anlage seit April 2007 zur Verfügung und wird derzeit im Rahmen des vom Projektträger VDI/VDE-IT geförderten BMBF-Vorhabens NADIMASMEL zur Untersuchung der Herstellung von einfachen und mehrlagigen Leiterbahnsystemen eingesetzt. Erste Untersuchungen zeigen die grundsätzliche Machbarkeit von mehrlagigen Leiterbahnsystemen, indem leitfähige und isolierende Materialien auf unterschiedlichen Substraten abgeschieden wurden. So wurden geeignete Prozessparameter für dichte Bahnen mit guter Kantendefinition bestimmt.

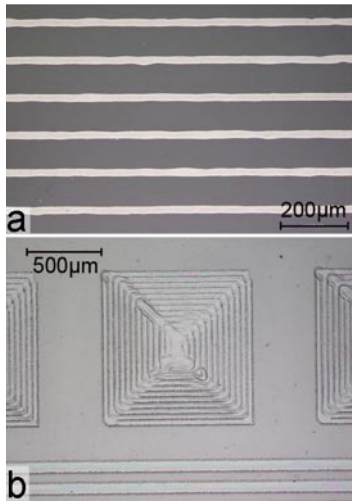


Abb. 2: M³D auf Glassubstraten
a) Leiterbahnen aus Silber
b) Isolationsschichten aus PI

Abb. 2a zeigt das mit einer Silbersuspension erzielbare Druckresultat. In diesem Beispiel handelt es sich um Silberleiterbahnen auf einem Glassubstrat. Die filigranen Leiterbahnen sind ca. 30 µm breit und weisen eine Schichtdicke von ungefähr 0,2 µm auf. Abb. 2b zeigt gedruckte Polyimid-Isolationsflächen von 1 mm² Fläche sowie Polyimid-Bahnen mit einer Breite von ungefähr 70 µm. Die minimale Schichtdicke beträgt in diesem Beispiel etwa 0,2 µm. Prinzipiell sind mit diesem Verfahren derzeit Linienbreiten von 10 µm bis 150 µm in einem Druckschritt möglich.

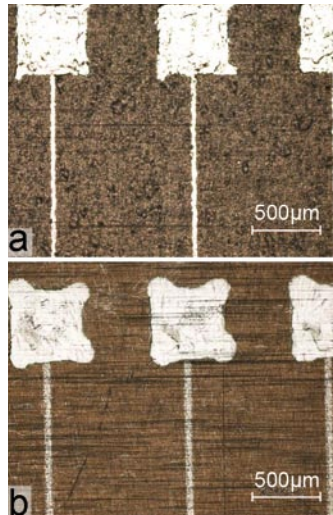


Abb. 3: M³D auf Thermoplastsubstraten
a) Leiterbahnen und Pads aus Silber auf LCP
b) Isolationsschichten aus PI auf PET+PBT

Weiterhin sind bereits typische MID-Substrate wie LCP (Abb. 3a), PA und PET+PBT (Abb. 3b) sowohl mit leitfähigen Silberbahnen als auch mit isolierenden Polyimid-Schichten bedruckt worden. Darüber hinaus wurden einfache Leiterbahnkreuzungen realisiert, welche vollständig mit dem M³D-Verfahren aufgebaut worden sind (Abb. 4).

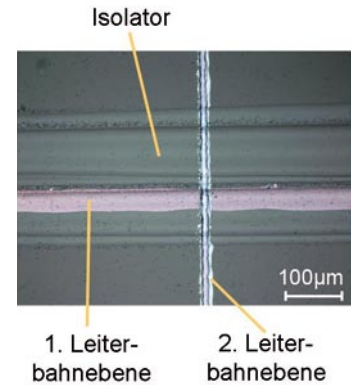


Abb. 4: Leiterbahnkreuzung auf Glassubstrat

Hierbei wurde die erste und zweite Leiterbahnebene durch eine Isolationschicht aus Polyimid getrennt.

ZUSAMMENFASSUNG

Der neue maskenlose 3D-Direktstrukturierungsprozess M³D zeigt Chancen und Möglichkeiten zur Herstellung von komplexen, mehrlagigen Leiterbildern mit feinsten Leiterbahnstrukturen. Aufgrund der Vielfalt der einsetzbaren Materialien können Druckverfahren somit eine vielversprechende Alternative zum Aufbau von kunststoffbasierten Systemen sein.

Kontakt: Dr. Britta Obliers-Hommrich

Telefon: +49 711 685-84827

E-Mail: obliers@hsg-imat.de

Hochpräzise optische Bauelemente aus Kunststoff

EINLEITUNG

Hochpräzise spritzgegossene optische Bauelemente sind aus Barcode-Scannern, DVD-Spielern, optischen Computermäusen, Tintenstrahldruckersensoren oder Handy-Kameras nicht mehr wegzudenken. Bauteile aus Glas wären um ein Vielfaches kostenintensiver. Zahlreiche optische Bauelemente werden über den Kunststoffspritzguss erst realisierbar, da die Gestaltungsfreiheit im Vergleich zum Glas wesentlich größer ist. Die Integration weiterer Funktionselemente wie z. B. Reflektoren, Haltenasen, Führungen oder Anschläge in das optische Bauelement bietet enorme Vorteile und eröffnet neue Anwendungen.

ULTRAPRÄZISIONSBEARBEITUNG

Für das Spritzgießen von optischen Bauelementen sind höchstpräzise Formeinsätze mit optischer Oberflächenqualität erforderlich, welche mit Diamantbearbeitung hergestellt werden. Hierfür steht seit Anfang des Jahres eine 6-Achsen Ultrapräzisionsbearbeitungsmaschine Precitech Freeform 700A am HSG-IMAT zur Verfügung (Abb. 1). Mit Werkzeugen aus Naturdiamant sind höchste Genauigkeiten und Oberflächenqualitäten erreichbar. Bei der Drehbearbeitung von Nicht-eisenmetallen können beispielsweise Oberflächenrauigkeiten von bis zu $R_a = 2 \text{ nm}$ bei Formgenauigkeiten von 100 nm erreicht werden.

Das Drehen von optischen Oberflächen wird in der Industrie bereits gut beherrscht. Bei zahlreichen industriellen Anwendungen besteht jedoch Bedarf, Formeinsätze mit komplexen Freiformflächen und optischer Oberflächenqualität herzustellen. Da dies derzeit noch eine große Herausforderung darstellt, möchte HSG-IMAT hier mit künftigen Arbeiten ansetzen.



Abb. 1: Precitech Freeform 700A

PROTOTYPING

Neben der Herstellung von Formeinsätzen ist die Herstellung von Kunststoff-Prototypen mittels Diamantdrehen sehr interessant. Für die optischen Drehgeber des HSG-IMAT wurden bereits zahlreiche Prototyp-Linsen aus PMMA angefertigt. Die Bearbeitungsschritte einer Miniaturlinse vom Kunststoffrohling über die Bearbeitung der einzelnen Flächen zur fertigen Linse zeigt Abb. 2. Bei der dargestellten Linse mit $2,9 \text{ mm}$ Außendurchmesser wurden eine Rau-

heit von $R_a = 13 \text{ nm}$ und eine Formtoleranz von ca. $\pm 0,5 \mu\text{m}$ erreicht, was für die Anwendung im Drehgeber völlig ausreichend ist.



Abb. 2: Drehen von Prototypen-Linse

MIKROSTRUKTURIERTE KODIERSCHEIBEN FÜR DREHGEBER

Bei den optischen Drehgebern wird mit kostengünstigen neuartigen mikrostrukturierten Kodierscheiben aus Kunststoff gearbeitet. Im Gegensatz zu lithographisch hergestellten Kodierscheiben aus Glas werden die Kodierscheiben im HSG-IMAT ähnlich wie CDs oder DVDs durch Kunststoffspritzguss hergestellt, wobei anstelle der Datenstruktur ein geometrisches Muster auf der Kodierscheibe erzeugt wird (Abb. 3).

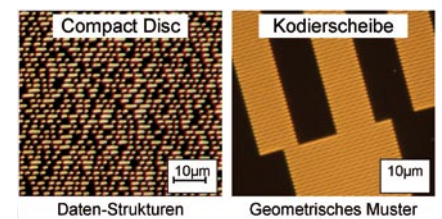


Abb. 3: Vergleich CD mit Kodierscheibe

Das geometrische Muster der Kodierscheibe wirkt bei der Beleuchtung im Drehgeber als diffraktives optisches Gitter und beugt das Licht in Abhängigkeit vom Drehwinkel auf die Fotodetektoren des Drehgebers.

SPRITZGUSS MIT MATRIZEN

Um CDs oder mikrostrukturierte Kodierscheiben spritzgießtechnisch herstellen zu können, werden Matrizen benötigt, welche die Negativform der nur ca. 120 nm tiefen, 600 - 800 nm breiten und etwa 10 µm langen Mikrostrukturen beinhalten. Die Matrize wird in das Spritzgießwerkzeug eingelegt, über Vakuum darin gehalten und bei der Formfüllung abgeformt. Die Herstellung der Matrizen erfolgt über Lithographie und Galvanoabformung von Nickel, wobei die Mikrostrukturen entweder durch die Laserbelichtungsverfahren des CD- bzw. DVD-Mastering oder durch Elektronenstrahlbelichtung generiert werden.

ABFORMUNG IM NANOMETERBEREICH

Um nicht auf den Durchmesser einer Standard CD beschränkt zu sein und Kodierscheiben mit kleineren Durchmessern herstellen zu können, wurden am HSG-IMAT entsprechende Kodierscheiben-Spritzgießwerkzeuge aufgebaut. Abb. 4 zeigt ein Spritzgießwerkzeug zur Herstellung von Kodierscheiben mit 30 mm Durchmesser und 5 mm Bohrung.

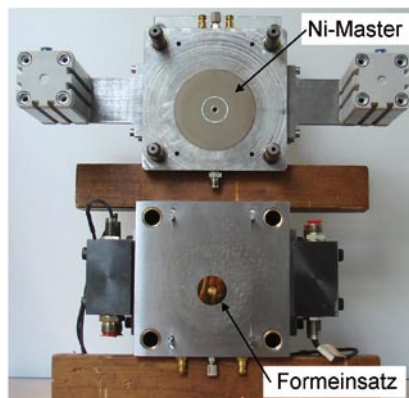


Abb. 4: Spritzgießwerkzeug

Die bunt schillernden Bereiche des Nickel-Masters mit den Mikrostrukturen sind ebenso wie der hoch polierte Formeinsatz für die Scheibe gut zu erkennen. Abb. 5 zeigt Kodierscheiben aus Polycarbonat mit 9 mm und 30 mm Durchmesser in der oberen Bildhälfte nach dem Spritzguss.

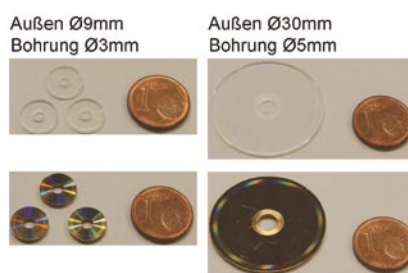


Abb. 5: Kodierscheiben

In der unteren Bildhälfte sind die anschließend einseitig mit einer Reflexionsschicht aus Gold beschichteten Kodierscheiben dargestellt. Auch hier sind die Mikrostrukturen des Winkelcodes sehr gut zu erkennen. Rasterkraftmikroskopische Vermessungen zeigen, dass eine hervorragende

Abformung der Mikrostrukturen möglich ist. Die am Nickel-Master gemessene Strukturböhe von 125 nm wird an den Kodierscheiben mit 122 nm abgeformt, was unter Berücksichtigung der Schrumpfung des Kunststoffes ein bestmögliches Ergebnis ist.

AUSBLICK

Im Bereich der Ultrapräzisionsbearbeitung werden sich weitere Arbeiten vor allem auf das Fräsen von optischen Elementen, z. B. Freiformflächen, konzentrieren. Weiter wird untersucht werden, wie die Ultrapräzisionstechnik für die Herstellung hochpräziser mikrofluidischer Bauteile genutzt werden kann. Bei den Kodierscheiben werden sich die weiteren Untersuchungen damit befassen, wie zusätzliche optische Funktionselemente in die Scheiben integriert werden können.

Kontakt: Dipl.-Ing Volker Mayer

Telefon: +49 711 685-84265

E-Mail: mayer@hsg-imat.de

Mess- und Prüftechnik für die laserbasierte Fertigung multifunktionaler 3D-Packages

Im Rahmen des vom BMBF über den Projektträger VDI/VDE-IT geförderten Projekts MELAM-3D wurden Prüftechniken für die zuverlässige Fertigung von laserbasierten multifunktionalen 3D-Packages erarbeitet. Ein Aufgabengebiet war die Entwicklung eines Verfahrens zur Charakterisierung eines außenstromlosen Kupferelektrolyten während der Beschichtung von laserdirektstrukturierten Substraten. Weiterhin wurde ein Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Leiterbahnen direkt auf multifunktionalen 3D-Packages erarbeitet.

CHARAKTERISIERUNG EINES AUSSENSTROMLOSEN KUPFERELEKTROLYTEN

Das momentan gebräuchlichste Verfahren zur Überwachung von außenstromlosen Kupferelektrolyten für die Metallisierung laserdirektstrukturierter Substrate ist die Metallisierung von laseraktivierten Messsubstraten über einen Zeitraum von typischerweise 30 Minuten. Anschließend wird die Schichtdicke des aufgewachsenen Kupfers mittels Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt. Aufgrund der langen Verweildauer im Bad kann vor allem auf zu aktive Bäder nicht zeitnah reagiert werden. Dies kann im schlimmsten Fall zum Verlust der Metallisierungscharge und des gesamten Kupferelektrolyten führen. Daher wurde ein Messprinzip entwickelt, mit dem die Badaktivität deutlich schneller bestimmt werden kann. Für diesen

Zweck wurden spezielle Messsonden hergestellt (Abb. 1).

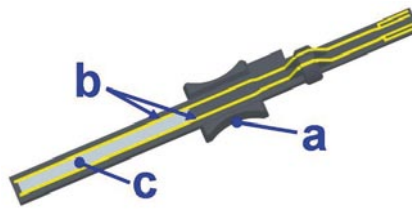


Abb. 1: Aufbau einer Messsonde

Die aus einem LDS-Thermoplasten spritzgegossenen Sondenkörper (Abb. 1a) werden mittels Laser-Direkt-Strukturierung mit einer Elektrodenstruktur versehen (Abb. 1b) und anschließend eine Fläche zwischen den Elektroden mit dem Laser aktiviert (Abb. 1c).



Abb. 2: Einstecken einer Messsonde in den Sondenhalter

Für die Durchführung einer Messung wird eine Messsonde in einen Sondenhalter eingesteckt (Abb. 2) und anschließend mit dem Halter in den Elektrolyt getaucht und der Eintauchzeitpunkt automatisch detektiert, in dem der komplexe Widerstand zwischen den Elektroden der Sonde kontinuierlich gemessen und über einen Messrechner ausgewertet wird (Abb. 3).

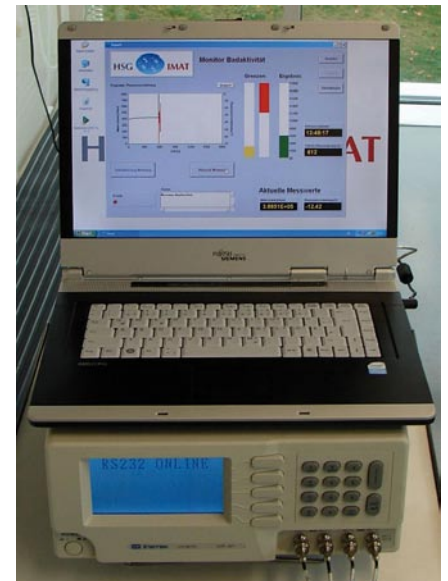


Abb. 3: Messplatz mit LCR-Meter und Auswerterechner

Im Elektrolyt wird auf der aktivierten Fläche zwischen den Elektroden Kupfer abgeschieden. Mit Ausbildung erster Stromleitpfade ändert sich die Phasenverschiebung sprunghaft. Die Zeitspanne zwischen Eintauchzeitpunkt und Phasensprung ist ein Maß für die Badaktivität und wird als Messergebnis ausgegeben.

Nach der Messung wird die gebrauchte Messsonde (Abb. 4) durch eine neue ersetzt und weitere Messungen können durchgeführt werden.

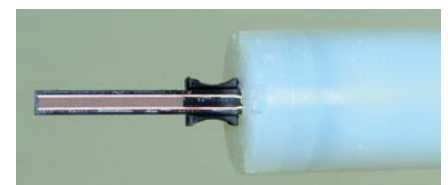


Abb. 4: Sonde mit abgeschiedenem Kupfer nach der Messung

Nach einem Neuansatz weist der Kupferelektrolyt eine geringe Badaktivität auf. Während einer Einlaufphase wird der Elektrolyt für die Metallisierung von laserdirektstrukturierten Substraten vorbereitet. Abb. 5 zeigt die in regelmäßigen Abständen bestimmte „Zeit bis zum Phasensprung“ während der Einlaufphase. In der Einlaufphase nimmt diese Messgröße kontinuierlich ab, dies entspricht einem Anstieg der Badaktivität. Anschließend bleibt die Badaktivität konstant und die Einlaufphase ist beendet.

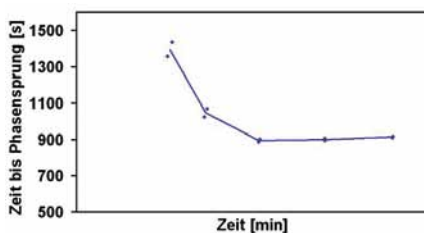


Abb. 5: Badaktivität während der Einlaufphase

Die Badaktivität während des Betriebs eines außenstromlosen Kupferelektrolyten kann durch Änderung des Volumenstroms der Lufteindüsung stark beeinflusst werden. Eine Verringerung der Badaktivität bei verstärkter Lufteindüsung spiegelt sich in einem Anstieg der „Zeit bis zum Phasensprung“ wieder (Abb. 6).

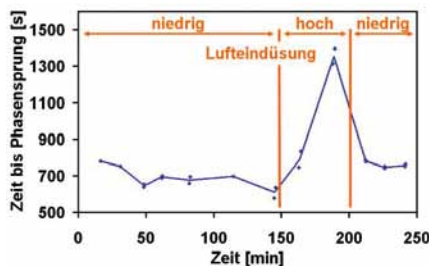


Abb. 6: Einfluss der Lufteindüsung auf die Badaktivität

Nach anschließender Verringerung der Lufteindüsung steigt die Badaktivität wieder an. Wegen der schnellen Ansprechzeit des neuen Messprinzips kann in der Fertigung schnell reagiert werden. So kann z. B. die Badaktivität durch die Lufteindüsung geregelt werden oder die Metallisierungscharge kann rechtzeitig aus dem Bad genommen werden, bevor Schaden entsteht. Das entwickelte Messsystem wurde ausgiebig - auch unter Fertigungsbedingungen - getestet und hat sich als überaus zuverlässig erwiesen.

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER HAFTFESTIGKEIT

Die etablierten Verfahren zur Bestimmung der Haftfestigkeit wie Stirnabzug- oder Peeltest erfordern einen hohen Präparationsaufwand der Proben und stellen Mindestanforderungen an die zu prüfende Leiterbahn bezüglich Länge, Breite und Dicke. Mit diesem Verfahren ist es nicht möglich, direkt

an Original-MID-Bauteilen Messungen durchzuführen. Daher wurde am HSG-IMAT ein neues Messverfahren erarbeitet und ein Demonstrator aufgebaut. Das Verfahren soll eine grundsätzliche Vergleichbarkeit mit den etablierten Tests bieten.

Das neue Verfahren zur Haftfestigkeitsbestimmung beruht auf der Messung der Kräfte, die beim Abschälen einer Leiterbahn wirken (Abb. 7). Dazu wird ein Mikroabschälmeißel präzise in der Grenzschicht zwischen Leiterbahn und Substrat geführt und trennt dabei den Verbund. Mögliche Unebenheiten des Substrats werden durch eine vorher durchgeführte Profilerfassung kompensiert.

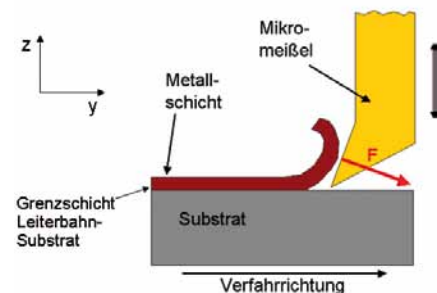


Abb. 7: Schema des Messprinzips

Bei der Auslegung des Demonstrators wurde auf sehr hohe Steifigkeit Wert gelegt, um die durch Kraftwirkung bedingte Auslenkung des Meißels auf wenige Mikrometer zu begrenzen.



Abb. 8: Demonstrator

Der aufgebaute Demonstrator (Abb.8) hat ein Granitportal auf dem ein Positioniersystem für die Probe und die Abschälereinheit aufgebaut ist. Die Abschälereinheit beinhaltet den Abschälmeißel, einen Höhengensensor sowie zwei Kraftsensoren für die Horizontal- und Vertikalkraft und ist an der Vertikalachse des Portals aufgehängt. Die Positioniereinheit erlaubt eine Justierung der Probe in der Horizontalen mit einem optischen System sowie die Abschälbewegung. Die Steuerung des Systems sowie die Messdatenverarbeitung erfolgen mit einer speziellen Software.

Referenzmessungen wurden an 35 µm dicken und 0,5 mm breiten Kupferleiterbahnen auf Standardleiterplattenmaterial (FR4) durchgeführt. Abb. 9 zeigt das Ergebnis mehrerer Messungen, wobei die Y-Kräfte in Leiterbahnrichtung und die Z-Kräfte senkrecht zur Leiterbahnoberfläche wirken. Beim Abschälvorgang bildet sich ein einziger gleichmäßiger Span aus. Erste vergleichende Messungen mit dem Peeltest

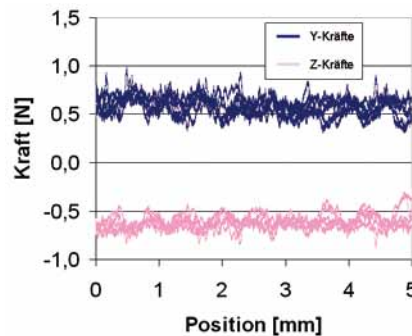


Abb. 9: Kraftverläufe beim Abschälen von Kupferleiterbahnen auf FR4

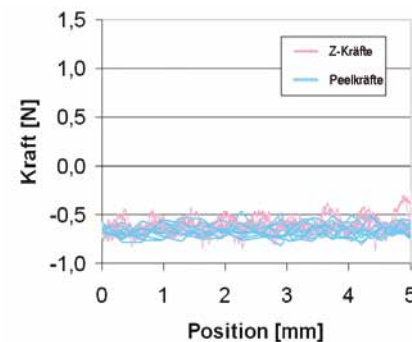


Abb. 10: Vergleich der Kraftverläufe aus Peeltest und Abschälvorgang

ergaben eine gute Korrelation der gemessenen Z-Kraft und der Peelkraft (Abb. 10). Weiterhin wurden erste Messungen an Leiterbahnen aus einem Kupfer-Nickel-Gold-Schichtstapel auf einem LDS-Thermoplast durchgeführt. Die Ergebnisse für eine etwa 10 µm dicke und 0,5 mm breite Leiterbahn sind in Abb. 11 dargestellt.

Im Unterschied zu den duktilen Kupferbahnen auf den FR4-Substraten bildet sich kein langer Span aus, sondern die Leiterbahn zerbricht beim Abschälen in relativ kurze Späne bzw. Segmente,

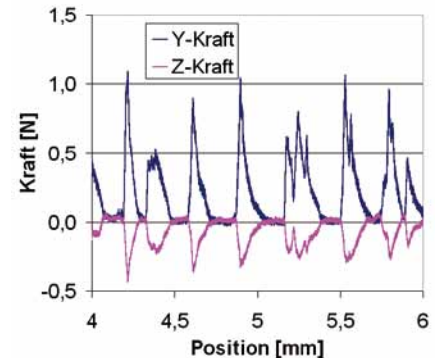


Abb. 11: Kraftverlauf beim Abschälen einer Leiterbahn auf LDS-Substrat

was auf die spröde Nickelschicht der Leiterbahn zurückzuführen ist. Dieses Verhalten erklärt die im Kraftverlauf auftretenden Peaks, wobei jeder Peak ein Leiterbahnsegment repräsentiert. Mit dem am HSG-IMAT aufgebauten neuen Messgerät zur direkten Haftfestigkeitsbestimmung von Leiterbahnen auf LDS-Substraten konnten somit erste vielversprechende Ergebnisse erzielt werden. In weiteren Schritten werden die Korrelation mit den etablierten Verfahren detailliert untersucht und die Eignung des Messprinzips für ein genormtes Prüfverfahren untersucht.

Kontakt: Dr. Wolfgang Eberhardt
Telefon: +49 711 685-83717
E-Mail: eberhardt@hsg-imat.de

Kontakt: Dipl.-Ing. Hannes Willeck
Telefon: +49 711 685-84780
E-Mail: willeck@hsg-imat.de

Publikationen & Marketing

- Lehrveranstaltungen · Studienarbeiten & Diplomarbeiten
- Messebeteiligungen · Workshop · Mitwirkung in Gremien
- Vorträge & Veröffentlichungen
- Patente & Gebrauchsmuster

Lehrveranstaltungen • Studienarbeiten & Diplomarbeiten

VORLESUNGEN

H. Kück

Grundlagen der Mikrotechnik mit
Übungen

H. Kück

Aufbau- und Verbindungstechnik für
Mikrosysteme mit Übungen

B. Martin

Ausgewählte Messverfahren der Fein-
und Mikrotechnik

R. Mohr

Elektronik für Mikrosystemtechniker

R. Mohr

Elektronische Bauelemente in der
Mikrosystemtechnik

B. Bertsche, E. Göde, H. Kück,

E. Laurien, E. Westkämper

Einführung in den Maschinenbau

H. Kück, R. Mohr

Modellierung und Simulation in der
Mikrosystemtechnik

SEMINAR

Seminar der Mikrosystemtechnik

KOLLOQUIUM

Kolloquium der Mikrosystem- und Fein-
werktechnik

PRAKTIKA

Hauptfachpraktikum Mikrosystem-
technik

Allgemeines Praktikum des Maschi-
nenbaus

Elektronik-Praktikum für Mikrosystem-
techniker

EXKURSIONEN

Ziel: Robert Bosch GmbH, Reutlingen
und Gerlingen,
01.02.2007, 25 Teilnehmer

Ziel: Festo AG & Co. KG, Esslingen,
05.07.2007, 17 Teilnehmer

IN 2007 ABGESCHLOSSENE STUDIENARBEITEN

Fischer, Alexander

Neigungsschalter mit Wälzkörper
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

Fleischle, David

Modellierung von Leiterbahnen auf
zweidimensionalen Substraten
Betreuer: Dipl.-Ing. H. Willeck

Gallenmüller, Robert

Tampondruck zur Herstellung feiner
Leiterbahnen auf dreidimensionalen
Bauteilen
Betreuer: Dipl.-Ing. U. Keßler

Grözinger, Tobias

Untersuchung zum dynamischen
Verhalten eines kapazitiven Neigungs-
sensors
Betreuer: Dipl.-Ing. A. Schwenck,
Dipl.-Ing. D. Benz

Hinselmann, Ulrike

Bestimmung der Beugungsbilder für
einen absolut codierten optischen
Drehwinkelsensor
Betreuer: Dipl.-Ing. V. Mayer

Lyda, Wolfram

Konzeption eines optischen Drehmo-
mentsensors
Betreuer: Dipl.-Ing. T. Botzelmann

Studienarbeiten & Diplomarbeiten

IN 2007 ABGESCHLOSSENE STUDIENARBEITEN

Potereyko, Nataliya

Konzeption, Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes für einen Drehwinkelsensor

Betreuer: Dipl.-Ing. V. Mayer,
Dipl.-Ing. J. Seybold

Stöppler, Georg

Konstruktion und Aufbau eines kapazitiven Abstandssensors in MID-Technik

Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

Wibbing, Daniel

Charakterisierung und Bewertung von LDS-Leiterbahnstrukturen

Betreuer: Dipl.-Ing. H. Willeck

Zimmermann, Till

Voruntersuchungen zu einem kapazitiven Umdrehungszähler für einen Drehwinkelsensor in MID-Aufbau-technik

Betreuer: Dipl.-Ing. V. Mayer

IN 2007 ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEITEN

Fischer, Alexander

Grundlegende Untersuchungen zur Abscheidung einer nanoskaligen Silberdispersion auf MID-Substraten

Betreuer: Dipl.-Ing. H. Willeck

Fritz, Karl-Peter

Konstruktion und Aufbau eines absolut codierten optischen Drehgeber-Demonstrators

Betreuer: Dipl.-Ing. V. Mayer

Grabert, Falk

Entwicklung der Aufbau- und Gehäuse-technik für einen integrierten Positionssensor

Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dr.-Ing. D. Warkentin
(Festo AG & Co. KG)

Kim, Min-Ho

Verschließen der Befüllöffnung eines fluidischen kapazitiven Neigungssensors in MID-Technik

Betreuer: Dipl.-Ing. A. Schwenck,
Dipl.-Ing. D. Benz

Lapper, Sven

Bumpingtechnologie für zukünftige mikrosystemtechnische Anwendungen

Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dieter Donis (Robert Bosch GmbH)

Nowak, Peter

Evaluierung der Eigenschaften und Potentiale von EAP-Aktuatoren für die Anwendung in Lithographiesystemen

Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Bärbel Schwaer (Carl Zeiss SMT AG)

Rupp, Jochen

Prozessentwicklung und Zuverlässigkeit integrierter Dehnungssensoren mit Silizium-ASIC auf Stahl

Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dr.-Ing. Gilbert Mörsch
(Robert Bosch GmbH)

Schneider, Marc

Konstruktion und Aufbau eines inkrementell kodierten optischen Drehgeber-Demonstrators

Betreuer: Dipl.-Ing. V. Mayer

Wibbing, Daniel

Untersuchungen zu einer Dämpfungsüberwachung von pneumatischen Antrieben

Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dr.-Ing. D. Warkentin
(Festo AG & Co. KG)

Messebeteiligungen • Workshop • Mitwirkung in Gremien

MESSEBETEILIGUNGEN

SMT/HYBRID/PACKAGING,
Nürnberg, 24.-26.04.2007

MiNaT, Neue Messe Stuttgart,
12.-14.06.2007

Tag der Wissenschaft, Stand im
Pfaffenwaldring 9, Universität Stuttgart,
23.06.2007

Productronica, München,
13.-16.11.2007

WORKSHOP

**Innovative Anwendungen der MID-
Technik**, Veranstalter: Hahn-Schick-
ard-Gesellschaft - Institut für Mikroauf-
bautechnik (HSG-IMAT) zusammen mit
dem Wirtschaftsministerium Baden-
Württemberg, Stuttgart, 10.10.2007

MITWIRKUNG IN GREMIEN

U. Keßler
Mitglied der DVS AG A2.4 Bonden

H. Kück
Mitglied im Kuratorium der Steinbeis-
Stiftung

Mitglied im Aufsichtsrat der Micro-
Mountains Applications AG

Mitglied im Fachausschuss 4.8 „Mikro-
fertigung und Werkstoffe“ der GMM

Mitglied im Fachausschuss 5.5 „Auf-
bau- und Verbindungstechnik“ der
GMM

Mitglied im Wissenschaftlichen Rat der
AiF

Mitglied im Fachbeirat des „Kompe-
tenznetz MAHREG Automotive“

W. Eberhardt

Deputy Head of Division bei WP6
„Assembly and Packaging“ im Network
of Excellence: „Multi-Material Micro
Manufacture: Technology and applica-
tions (4M)“

D. Benz

Sub Task Leader bei WP11 „Sensors
and Actuators“ im Network of Excel-
lence: „Multi-Material Micro Manu-
facture: Technology and applications
(4M)“, Sub Task 11.1b: Low cost non-
silicon physical sensors



Wir sind Mitglied der Innovationsallianz Baden-Württemberg.
Die Innovationsallianz Baden-Württemberg ist ein Zusammen-
schluss von wirtschaftsnahen außeruniversitären Forschungsein-
richtungen im Land, die als Brücken zwischen der Grundlagenfor-
schung etwa der Hochschulen und der technischen Entwicklung in
den Betrieben fungieren.

Mitglied der



Wir sind Mitglied der
Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen
„Otto von Guericke“ e.V. (AiF)

Vorträge & Veröffentlichungen

- M. Arnold, W. Eberhardt, H. Kück, G. Munz, D. Warkentin, „**Elektrostatistisch angetriebenes Mikroventil in MID Technik**“, Proceedings 7.GMM/ETG Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Augsburg, 12.06.-13.06.2007
- D. Benz, V. Mayer, H. Kück, „**Kapazitive Sensoren auf Basis selektiv metallbeschichteter Polymerwerkstoffe**“, 5. Paderborner Workshop „Entwurf mechatronischer Systeme“, 22.03.2007
- W. Eberhardt, „**MID-Techniken**“, Workshop „Kunststoffbasierte Aufbau- & Verbindungstechnik vom Granulat zur hochwertigen Baugruppe“, Virtual Dimension Center, Technologiezentrum St. Georgen, 04.12.2007
- M. Hedges, B. King, M. Renn, W. Eberhardt, H. Kück, „**M³D™ - Eine neues Verfahren zur 3D Direktstrukturierung**“, Plus, 3/2007, S. 525
- K. Hofmann, H. Kück, H. Ruoff, L. Staemmler, „**Different influences on the ECF process**“, Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Material Micro Manufacture (4M), Borovets, Bulgaria, 03.10.-05.10.2007
- H. Kück, „**Aktuelle Entwicklungen in der AVT am HSG-IMAT**“, Festo Academy, Esslingen, 17.01.2007
- H. Kück, „**Projekte und aktuelle Entwicklungen am HSG-IMAT und IZFM**“, Stuttgart, 25.04.2007
- H. Kück, „**Anwendung von nanoskopischen Dispersionen zur maskenlosen Strukturierung von mehrlagigen 3D-Leiterbahnsystemen zur Erhöhung der Integrationsdichte bei multifunktionalen thermoplastischen 3D-Packages für die Nano-Mikro-Integration**“, Kick-Off-Meeting Mikro-Nano-Integration „NADIMASMEI“, Stuttgart, 10.05.2007
- H. Kück, „**Projekte und aktuelle Entwicklungen am HSG-IMAT und IZFM**“, Stuttgart, 22.05.2007
- H. Kück, „**Aktuelle und künftige Entwicklungen zur MID-Technik im HSG-IMAT**“, Stuttgart, 10.10.2007
- H. Kück, „**Vorstellung des HSG-IMAT**“, AiF Südkreis-Tagung, HSG-IMAT, Stuttgart, 23.10.2007
- H. Kück, „**Mikrofügetechniken auf MID**“, Workshop „Kunststoffbasierte Aufbau- und Verbindungstechnik vom Granulat zur hochwertigen Baugruppe“, Virtual Dimension Center, Technologiezentrum St. Georgen, 04.12.2007
- H. Kück, „**Hinweise zur Technologieauswahl**“, Workshop „Kunststoffbasierte Aufbau- und Verbindungstechnik vom Granulat zur hochwertigen Baugruppe“, Virtual Dimension Center, Technologiezentrum St. Georgen, 04.12.2007
- H. Kück, „**Vorstellung des HSG-IMAT**“, MID Academy 2007, HSG-IMAT, Stuttgart, 12.12.2007
- V. Mayer, „**Mikroformenbau und Mikrospritzguss**“, Workshop „Kunststoffbasierte Aufbau- & Verbindungstechnik vom Granulat zur hochwertigen Baugruppe“, Virtual Dimension Center, Technologiezentrum St. Georgen, 04.12.2007
- V. Mayer, T. Botzelmann, K.-P. Fritz, J. Seybold, H. Kück, „**A new concept for an absolutely encoded angular resolver**“, 4M 2007 Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, Borovets, Bulgaria, 03.10.-05.10.2007
- M. Schober, „**Hochgenaue Spritzgussimulation**“, Workshop „Kunststoffbasierte Aufbau- & Verbindungstechnik vom Granulat zur hochwertigen Baugruppe“, Virtual Dimension Center, Technologiezentrum St. Georgen, 04.12.2007

Vorträge & Veröffentlichungen Patente & Gebrauchsmuster

VORTRÄGE & VERÖFFENTLICHUNGEN

L. Staemmler, K. Hofmann, H. Kück,
**„Hybrid tooling by a combination of
 high speed cutting and electroche-
 mical milling with ultrashort voltage
 pulses“**, Microsystem Technologies,
[http://www.springerlink.com/content/
 057313132674x248/](http://www.springerlink.com/content/057313132674x248/)

H. Willeck, **„Ein neues Verfahren
 für die Haftfestigkeitsprüfung von
 strukturierten Metallschichten“**,
 Workshop Innovative Anwendungen
 der MID-Technik, HSG-IMAT, Stuttgart,
 10.10.07

H. Willeck, W. Eberhardt, H. Kück,
**„A new method for directly deter-
 mining the adhesive strength of
 conductors on microstructured
 MID“**, 4M 2007 Proceedings of the 3rd
 International Conference on Multi-
 Material Micro Manufacture, Borovets,
 Bulgaria, 03.10.-05.10.2007

PATENTE

H. Kück, D. Benz, F. Wolter,
**„Pumpelement und Pumpe mit
 einem solchen Pumpelement“**,
 Deutsche Patentanmeldung am
 27.03.2007

H. Kück, V. Mayer, A. Schwenck,
 K.-P. Fritz, D. Benz, **„Sensorelement
 und ein Verfahren zur Herstellung
 eines kapazitiven Sensors“**,
 Deutsche Patentanmeldung am
 08.08.2007

H. Kück, H. Richter, V. Mayer,
 W. Eberhardt, D. Ahrendt, E. Wiens,
**„Flexibles Schaltungssubstrat für
 elektr. Schaltungen und Verfahren
 zur Herstellung desselben“**,
 Deutsche Patentanmeldung am
 28.11.2007

D. Warkentin, H. Kück, T. Botzelmann,
 D. Benz, **„Kapazitiver Sensor zum
 Messen einer Messgröße“**,
 Europäische Patentanmeldung am
 28.12.2007

GEBRAUCHSMUSTER

H. Kück, V. Mayer, **„Schaltventil mit
 Stoßbetätigung und Medientren-
 nung“**,
 Gebrauchsmuster eingereicht am
 27.07.2007

Redaktion Ulrich Allgeier
Mitarbeiter der Bereiche

Gestaltung Michael Kohler
Iris Schmalhoff
Monika Teichner

Druck Müller Offset Druck
Villingen-Schwenningen

© Copyright HSG-IMAT 2008
ISSN 1861-7220

