

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

Die Entwicklung der 3D-MID-Komponenten ist die Basis für ein erfolgreiches Produktkonzept. Hierbei sind funktionsorientierte und fertigungsgerechte Aspekte gleichermassen zu berücksichtigen. Die Realisierung der Innovation erfolgt basierend auf den Ideen unserer Kunden. HARTING Mitronics kann das hierfür erforderliche interdisziplinäre Know-how mit umfassender Prozesskompetenz vom Werkzeugbau bis zur Montage der Bauelemente komplett intern abbilden. Entwicklungsbegleitende Analysen sowie Anschauungs- und Funktionsmuster sichern den Produktentstehungsprozess ab.

1 Entwicklung von 3D-MID

1.1 Funktionsorientiert und fertigungsgerecht

Bei der Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen eröffnet sich durch die Gestaltungsfreiheit des Spritzgussprozesses und die selektive Metallisierung ein enormes Potenzial zur Funktionsintegration. Primär können mechanische und elektrische Funktionen realisiert werden. So ist beispielsweise eine integrierte Darstellung von Kontaktflächen für Schalter, Induktivitäten, Widerständen, Antennen, abschirmenden Flächen, Befestigungselementen, Kühlrippen und die exakte Ausrichtung von Sensorelementen möglich. Des Weiteren ist aber auch die Integration fluidischer, thermischer und optischer Funktionalitäten möglich. Neben einer Funktionserweiterung steht vor allem die Miniaturisierung der Komponenten im Vordergrund, die meist mit einer Gewichtsreduzierung einhergeht.

Bei einem entsprechend fertigungsgerechten Design (DFM – Design for Manufacturing) können neben der innovativen Produktgestaltung auch bei der Baugruppenherstellung enorme Rationalisierungspotenziale erschlossen werden. Zahlreiche in Serie laufende Applikationen verdeutlichen, wie durch eine geringere Teileanzahl die Montage bzw. der Fertigungsprozess vereinfacht wird. Eine Reduzierung der Schnittstellen ermöglicht auch eine Steigerung der Zuverlässigkeit der Baugruppen.

Bei der Technologieauswahl sollten dabei die Stärken der Technologie MID stets voll ausgeschöpft werden. Ein reines Redesign mit der MID-Technik für bestehende Produkte ist meist nicht sinnvoll, vielmehr sollte eine Funktionserweiterung und / oder eine Produktvereinfachung, oft verbunden mit einer Kostenreduzierung, angestrebt werden. HARTING Mitronics hat hierfür die Herstellungstechnologien Laserdirektstrukturierung und Zweikomponentenspritzguss qualifiziert und erfolgreich in Serie etabliert. Die Material- und Technologieauswahl muss den Anforderungen der Anwendung, den Einsatzbedingungen und der Verbindungstechnologie angepasst werden. Der Entwickler ist dabei, wie bei anderen Technologien auch, dem Spannungsfeld aus Qualität, Zeit und Kosten ausgesetzt. Hier gilt es zu entscheiden, ob die angestrebte Applikation mit der Technologie MID in der erforderlichen Zeit zu entsprechenden Kosten gemäss den gestellten Zuverlässigkeitsanforderungen umgesetzt werden kann und ein Vorteil im Vergleich zu Konkurrenzlösungen entsteht.

HARTING Mitronics
www.HARTING-Mitronics.com

Dr. Christian Goth
Phone +49 911 5302 9096 Email Christian.Goth@HARTING.com

Dr. Michael Römer
Phone +41 32 3442 186 Email Michael.Roemer@HARTING.com

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

1.2 Komplexität der Prozesskette

Bei der Entwicklung und Auslegung eines Schaltungsträgers in MID-Technik existieren zwischen den einzelnen Prozessschritten starke Wechselwirkungen. Bereits in dieser frühen Phase der Produktentstehung ist daher ein hohes Mass an interdisziplinärem Know-how (Mechanik, Elektronik, Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik, Aufbau- und Verbindungstechnik) erforderlich, so dass die komplexen Zusammenhänge entsprechend beachtet werden können.

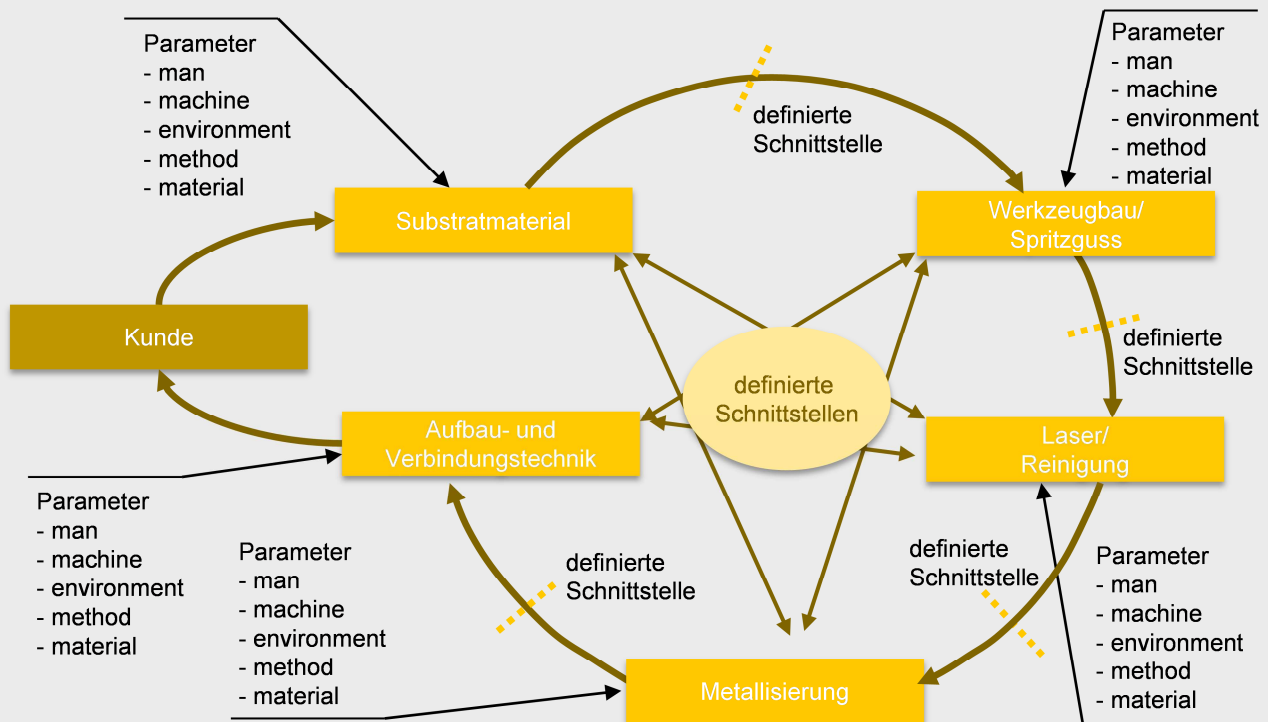


Abbildung 1: Vernetzung der einzelnen am Entwicklungs- und Fertigungsprozess beteiligten Experten

Bei HARTING Mitronics ist Know-how entlang der gesamten Prozesskette vorhanden, so dass die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte erforderliche Vernetzung ohne externe Schnittstellen – abgesehen vom Kunden – erfolgen kann. Ferner wird das Know-how hinsichtlich der Abhängigkeiten der einzelnen Prozessschritte aus der Vielzahl an Serienprojekten permanent bei Neuentwicklungen mit berücksichtigt, da vom Werkzeugbau bis zur Montage der Bauelemente die gesamte Prozesskette in-house abgebildet werden kann.

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

1.3 Computergestützter Entwurf des mechanischen Grundkörpers und des elektrischen Layouts

Bei HARTING Mitronics wird basierend auf dem 3D-Modell des Kunden ein MID-spezifisches Design mit den prozessrelevanten Informationen und Parametern angefertigt, vergleiche Abbildung 2

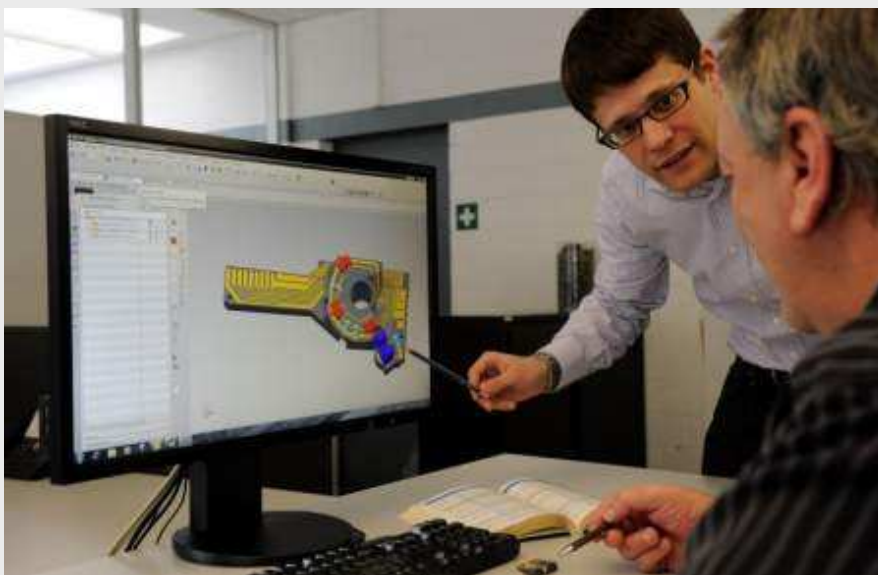


Abbildung 2: Zielgerichtete Entwicklung als perfekte Basis für ein erfolgreiches Serienprodukt

Bei der Konstruktion einer räumlichen elektronischen Baugruppe ergibt sich dabei das Problem, dass die 3D-Gestaltungsfreiheit der Technologie MID zwar durch die klassischen CAD-Systeme (z. B. Siemens NX7.5 bei HARTING Mitronics), jedoch nicht durch die am Markt verfügbaren Systeme für den elektronischen Schaltungs-entwurf unterstützt wird. Herkömmliche ECAD (Electronic Computer-aided Design)-Softwarewerkzeuge sind am Bedarf planarer Leiterplatten orientiert und bieten daher nur eine 2D-Entwicklungsumgebung. Für die Darstellung der elektrischen Funktionalität (Logik) ist dies auch für MID ausreichend, allerdings nicht für das Design der räumlichen Baugruppe inklusive des Leiterbildes. Daher ist eine dreidimensionale Entwicklungsumgebung erforderlich, die sowohl das elektronische als auch das mechanische Design integriert. [1]

2 Design for Manufacturing

Die relevanten Besonderheiten der MID-Prozesskette müssen bereits im frühen Entwicklungsstadium betrachtet werden. Dabei sind alle Prozessschritte im Detail zu analysieren, um einen optimalen Fertigungsablauf garantieren zu können. Im Folgenden werden kurz die für die einzelnen Prozessstufen relevanten Kriterien hinsichtlich eines optimalen Design for Manufacturing aufgeführt. Grundsätzlich erfolgen bei HARTING Mitronics basierend auf der Kundenanfrage eine Prüfung der Machbarkeit des Produktes (Fertigbarkeit gemäss Gestaltungsrichtlinien und Eignung der Produktionseinrichtungen) und eine Abschätzung der Herstellkosten.

HARTING Mitronics
www.HARTING-Mitronics.com

Dr. Christian Goth
Phone +49 911 5302 9096 Email Christian.Goth@HARTING.com

Dr. Michael Römer
Phone +41 32 3442 186 Email Michael.Roemer@HARTING.com

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

Eine ausführliche Beschreibung erfolgt in den jeweiligen Whitepapers zu den folgenden Themen:

- Werkstoffe, Werkzeugbau und Spritzguss für 3D-MID
- Laserdirektstrukturierung und Zweikomponentenspritzguss für die Serienproduktion von MID
- Metallisierung von 3D-MID
- Montagetechnologien und Verbindungstechniken für 3D-MID.

Weitere Informationen zur Gestaltung von MID sind in den HARTING-spezifischen Design-Rules *Gestaltungsrichtlinie MID-LDS* und *Gestaltungsrichtlinien MID-2K* sowie in den *LDS-MID Designregeln* der LPKF Laser & Electronics AG aufgeführt. [2] [3] [4]

2.1 Werkzeugbau und Spritzguss

Bei der Konstruktion des Werkzeugs ist darauf zu achten, dass keine Anspritzpunkte in Bereichen, die später mit Leiterbahnen versehen werden, liegen dürfen. Ebenso sollten in diesen Bereichen keine Auswerferstifte positioniert sein. Für eine einfache Entformung des Bauteils aus dem Werkzeug sind entsprechende Entformungsschrägen bei der Auslegung der Baugruppe vorzusehen. Bei einem Leiterbild auf mehreren Prozessflächen sind scharfkantige Übergänge bei konkaven und konvexen Geometrien durch Krümmungsradien grösser 300 μm an Bauteilkanten zu ersetzen.

Bei der Herstellung der MID-Formteile sind durch die Fertigung bedingte Einflüsse wie Bindenähte, Gratbildung, verstärkte Anisotropien oder eine Änderung der Abmessungen durch eine Nachschwindung nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. ist darauf zu achten, dass diese nicht in kritischen Bereichen auftreten. Eine Gratbildung kann, insbesondere bei einem zur Leiterbahn senkrechten Verlauf, zu einem frühzeitigen Ausfall der Leiterbahn führen. Bindenähte oder eine verstärkte Anisotropie beeinträchtigen bei thermischer Wechsel- und mechanischer Belastung die Lebensdauer der Leiterbahn negativ.

Die Auslegung des Werkzeugs und des Formteils wird bei HARTING Mitronics durch entsprechende FEM-Berechnungen, Mold-Flow-Analysen oder Thermoanalysen abgesichert.

2.2 Laserdirektstrukturierung

Bei der Auslegung des Formteils für die Laserdirektstrukturierung ist die Dimensionierung der Leiterbahnen ein wichtiger Punkt, siehe Abbildung 3. Die Erfahrung bei HARTING Mitronics zeigt, dass Breiten (b) von minimal 150 μm und Abstände (a) von 150 μm berücksichtigt werden müssen und nur in Ausnahmefällen unterschritten werden sollten. Die Leiterbahnen dürfen nicht direkt an Wandungen verlaufen. Empfehlenswert ist ein Abstand grösser 150 μm bei einer Wandneigung von 45°. Mit zunehmenden Winkeln sollte der Abstand vergrössert werden, um eine aufwändige Positionierung des Bauteils, die mit Zusatzkosten verbunden ist, einzuschränken.

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

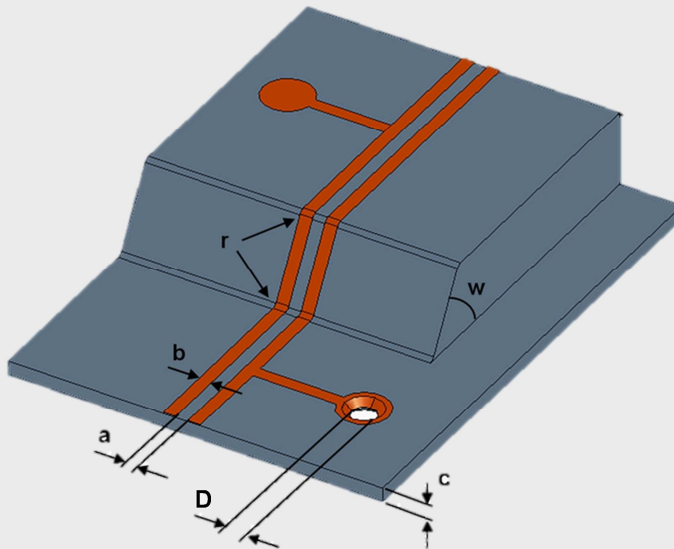


Abbildung 3: Design-Grundregeln für die Laserdirektstrukturierung

Durch den begrenzten Scanbereich des verfügbaren Lasersystems LPKF MicroLine-3D 160 Industrial ist der bearbeitbare Bereich bei auf ein Scanfeldvolumen eines Kegelstumpfes mit einem Grundflächendurchmesser von 160 mm, einer Höhe von 24 mm und einem Neigungswinkel von 77° zwischen Mantelfläche und Grundlinie beschränkt. Innerhalb dieses Bereiches kann das Werkstück ohne Verdrehungen oder Verschiebung bearbeitet werden. Bei anderen Systemen der Fusion-Reihe mit bis zu vier Laserköpfen in unterschiedlicher Position vergrößert sich der Bearbeitungsraum. Ferner ist zu beachten, dass der Einfallswinkel, definiert als Winkel zwischen dem Lot der zu aktivierenden Fläche und dem Laserstrahl, maximal 60° sein soll. Bei schräger Bestrahlung ist die Energie des Lasers zur Ablation des Kunststoffes und Aktivierung des Additivs zu gering. Bei der Realisierung von Durchkontaktierung mit einem Durchmesser (D) grösser $300\ \mu\text{m}$ sind die Aspektverhältnisse c/D (kleiner 1:1 bei einseitigen konischen Bohrungen und 2:1 für beidseitig konische Bohrungen) zu berücksichtigen. [2] [4]

2.3 Zweikomponentenspritzgiessen

Bei der 2K-Technologie werden im Gegensatz zur Laserdirektstrukturierung die Leiterbahnen durch den Spritzgussprozess definiert. Die erzielbaren Leiterbahnbreiten und -abstände sind deshalb sehr stark von den Materialeigenschaften und der Geometrie des Formteils abhängig. Die minimale Leiterbahnbreite (b) beträgt ca. $300\ \mu\text{m}$ bei einem minimalen Leiterbahnabstand (a) von $300\ \mu\text{m}$ und ist in der Abbildung 4 dargestellt. Die Bauteilgrösse sollte für die Bauteillänge, -breite und -höhe jeweils in einem Bereich zwischen 5 bis 40 mm liegen, wobei Sondergrößen generell möglich sind. Durchkontaktierungen können in der 2K-Technologie in zylindrischer Form mit einem Durchmesser (D) grösser $300\ \mu\text{m}$ realisiert werden, wobei hier ein Aspektverhältnis (s/D) von maximal 2:1 zu beachten ist.

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

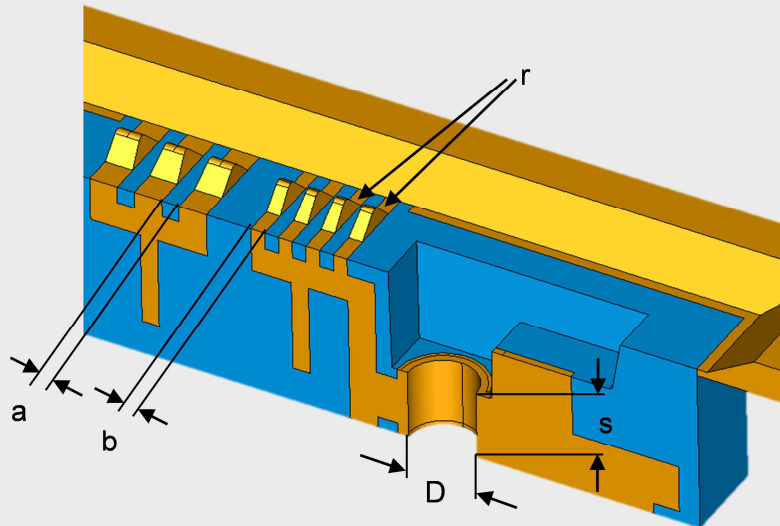


Abbildung 4: Design-Grundregeln für den Zweikomponenten-Spritzguss

Bei der Verwendung von LCP im Zweikomponentenspritzguss ist zu beachten, dass die Haftungsneigung gering ist und eine Verbindung zwischen erster und zweiter Komponente durch entsprechende konstruktive Massnahmen hergestellt werden muss. LCP ist aber ein flüssigkristallines Polymer mit sehr guten Fliesseigenschaften und daher ideal für miniaturisierte Baugruppen mit langen Fliesswegen bei dünnen Wandstärken geeignet.

2.4 Metallisierung

In Abhängigkeit der Grösse und der Geometrie erfolgt die Metallisierung in einer Trommel oder im Gestell. Bei einer Metallisierung in der Trommel können sehr viele Baugruppen ohne besonderen Aufwand prozessiert werden. Bei einer Metallisierung am Gestell müssen die MID einzeln befestigt werden und bereits bei der Konstruktion eine entsprechende Befestigungsmöglichkeit (z. B. Ösen, Aufnahmelöcher) vorgesehen werden. Insbesondere für kleine MID ist das Trommelverfahren aus kostentechnischen Gründen die zu bevorzugende Lösung. Die Teile dürfen sich dabei nicht ineinander verhaken. Ebenso sind bei Baugruppen mit ebenen Flächen entsprechende Abstandshalter (z. B. Bumps, Dome) vorzusehen, um ein Verkleben der prozessierten Teile zu vermeiden. Allgemein ist darauf zu achten, dass bei schöpfenden Geometrien die Gefahr des Verschleppens von Prozesschemikalien besteht. Durch das Versenken der Leiterbahnen und Verrundungen an den Aussenkanten wird einer Beschädigung der Strukturen durch das Aneinanderreiben der Bauteile vorgebeugt. Ferner sind entsprechende Entlüftungsmöglichkeiten für die bei der Metallisierung entstehenden Wasserstoffblasen wichtig. [4] [5]

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

2.5 Verbindungstechnik

Für das Dispensieren der Lotpaste bzw. des Leitklebers und das Bestücken der Bauelemente ist eine gute Zugänglichkeit der jeweiligen Prozessflächen zu gewährleisten. Vor allem bei konkaven Geometrien ist ein entsprechender Randabstand zu definieren, damit der Bestück- bzw. Dispenskopf nicht mit dem Schaltungsträger kollidiert. Das bevorzugte MID-Lötverfahren ist das Dampfphasenlöten. Schöpfende Strukturen sind daher beim Design des Schaltungsträgers zu vermeiden, da durch eine Behinderung des Kondensatablaufs die Wärmeübertragung verringert und das Medium ausgetragen wird. Die Werkstückträger sind soweit zu skelettieren, dass die Wärmeübertragung nicht durch die thermische Masse des Trägers behindert und ein Verschleppen des Dampfphasenmediums durch Kavitäten verhindert wird.

3 Entwicklungsbegleitende Anschauungs- und Funktionsmuster

Das MID-Prototyping ist im Produktentstehungsprozess für Entscheidungsprozesse auf Managementebene, aber auch für eine anforderungsgerechte Produktentwicklung enorm wichtig. Die Prototypen können von reinen Anschauungsmustern bis hin zu seriennahen Lösungen für Funktions-, Einbau- und Lebensdauertests reichen. Der zeitliche und finanzielle Aufwand für die Mustererstellung sollte sich am Ziel, das mit den Prototypen verfolgt wird, orientieren. HARTING Mitronics bietet Muster in folgender Abstufung an:

- Anschauungsmuster
- A-Muster: Prototypen mit reduziertem Funktionsumfang
- B-Muster: Funktionsfähige Prototypen aus Originalwerkstoff für seriennahe Tests
- C-Muster: Funktionsfähige Muster zur Prozessprüfung und Freigabeproofung
- D-Muster: Vorserie bzw. Nullserie.

Die Herstellung des Grundkörpers kann sehr schnell durch generative Fertigungsverfahren (z. B. SLA oder SLS), durch Vakuumgießen mit Polyurethanharzen (PUR) oder das Fräsen der Grundkörper aus einem LDS-fähigen Halbzeug erfolgen. Das Spritzgießen mit Prototypen-Werkzeugen ermöglicht die Realisierung von MID-Komponenten mit seriennahen Eigenschaften. Die mechanischen Formteile werden in den folgenden Prozessschritten der Strukturierung und der Metallisierung mit leitfähigen Strukturen funktionalisiert. Insbesondere die Laserdirektstrukturierung ermöglicht die schnelle und einfache Realisierung von Prototypen. Die Basis hierfür sind direkt strukturierbare Formteile mit integriertem LDS-Additiv oder das Aufbringen einer strukturierbaren Hülle auf den mechanischen Grundkörper. Im Whitepaper *Prototyping für 3D-MID* werden die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Formgebung und zur selektiven Metallisierung von MID-Prototypen im Detail erläutert.

4 Entwicklungsbegleitende Qualifizierung

HARTING Mitronics führt entwicklungsbegleitend eine Qualifizierung von Material und Prozess gemäß den im Lastenheft definierten Spezifikationen des Kunden unter akkreditierten Bedingungen durch. Im Fokus stehen dabei die Anforderungen der Herstellungsprozesse und des späteren Einsatzortes. Die verschiedenen Prüfverfahren und das erforderliche Testequipment von HARTING Mitronics umfassen die dimensionelle Messtechnik, die optische Inspektion, die Schicht- und Materialanalytik und die elektrische Charakterisierung.

HARTING Mitronics
www.HARTING-Mitronics.com

Dr. Christian Goth
Phone +49 911 5302 9096 Email Christian.Goth@HARTING.com

Dr. Michael Römer
Phone +41 32 3442 186 Email Michael.Roemer@HARTING.com

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

Des Weiteren erfolgt die Bestimmung der dauerhaften Zuverlässigkeit nach den Vorgaben der IEC (International Electrotechnical Commission), beispielsweise im Temperaturdauer-, im Temperatur-Wechsel-, im Feuchte-Wärme- und / oder im Schadgas-Test. Die verschiedenen Prüfverfahren sind ausführlich im *Whitepaper Qualifizierung von 3D-MID* beschrieben.

Autoren

Dr.-Ing. Christian Goth ist für HARTING Mitronics als Strategic Technology Manager tätig. Er hat an der Universität Erlangen-Nürnberg zu dem Thema „Analyse und Optimierung der Entwicklung und Zuverlässigkeit räumlicher elektronischer Schaltungsträger (3D-MID)“ unter der Leitung von Prof. Franke am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik promoviert. Von 2007 bis 2011 war er Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.

Dipl. Ing. Frank Wittwer ist für HARTING Mitronics als Leiter Projektmanagement tätig. Er hat an der Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB in Elektronik-, Mess- und Regeltechnik diplomiert. Seit 2007 ist er bei HARTING Mitronics im 3D-MID Projektmanagement, davor war in verschiedenen Positionen in Technologieentwicklung, technischer Beratung und Produktentwicklung tätig.

Literaturverzeichnis

- [1] FRANKE, J. (HRSG.): Räumliche elektronische Baugruppen (3D-MID) – Werkstoffe, Herstellung, Montage und Anwendungen für spritzgegossene Schaltungsträger. München: Carl Hanser Verlag, 2013.
- [2] HARTING AG MITRONICS (HRSG.): Gestaltungsrichtlinie MID-LDS. Ausgabe 1.2, Stand 30.09.2009.
- [3] HARTING AG MITRONICS (HRSG.): Gestaltungsrichtlinien MID-2K. Ausgabe 1.2, Stand 30.09.2009.
- [4] LPKF LASER & ELECTRONICS AG (HRSG.): LDS-MID Designregeln – Technische Information. Version 2.0, Stand 10.11.2010, Garbsen, 2010.
- [5] EBERHARDT, W.; WESER, S.; KÜCK, H.: Von der Deko in die Industrie: Metallisierung von MID mit nasschemischen Verfahren. In: Elektronik – Sonderausgabe Räumliche Elektronische Schaltungsträger, 2011, S. 24-27.

Entwicklung und Konstruktion von 3D-MID

Dr. Christian Goth und Frank Wittwer



Pushing Performance

People | Power | Partnership

Glossar

Fachbegriffe

Abkürzung	Begriff	Erklärung
FDM	Fused Deposition Modeling	Extrudierendes Prototyping-Verfahren. Mittels einer frei verfahrbaren, beheizten Düse werden Drähte mit kreisrundem Querschnitt aufgeschmolzen und in teigiger Form mit leichtem Druck abgelegt.
MID	Molded Interconnect Devices	Spritzgegossenes Formteil mit integrierter Leiterstruktur und Bauelementen (optional).
SLA	Stereolithografie	Flüssige Monomere werden mit einer UV-Lichtquelle bestrahlt. Die Werkstoffe (z. B. Epoxidharz) beginnen mit der Polymerisation und das flüssige Ausgangsmaterial wird zu einem festen Polymer.
SLS	Selektives Lasersintern	An- und Umschmelzen von Pulvern. Das Material wird schichtweise in einem Pulverbett abgelegt und mit einer Laser-Scanner-Einheit lokal aufgeschmolzen. Nach dem Abkühlen bildet sich eine feste Schicht aus.

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional	r	Krümmungsradius
2K	Zweikomponenten	ω	Einfallswinkel
3D	Dreidimensional	Ni	Nickel
a	Leiterbahnabstand	PA	Polyamid
b	Leiterbahnbreite	PBT	Polybutylenterephthalat
c, s	Dicke des Bauteils	PC	Polycarbonat
D	Durchmesser	Pd	Palladium
DFM	Design for Manufacturing	PEEK	Polyetheretherketon
ECAD	Electronic Computer-aided Design	PET	Polyethylenterephthalat
ECAD	Electronic Computer-aided Design	PPA	Polyphthalamid
IEC	International Electrotechnical Commission	r	Krümmungsradius
LCP	Liquid Crystal Polymer	s	Dicke des Bauteils
LDS	Laserdirektstrukturierung	Sn	Zinn
PUR	Polyurethanharz	ω	Einfallswinkel