

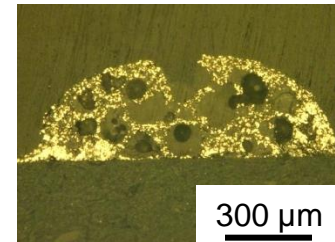
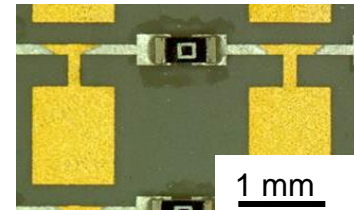


Innovative Laserverfahren für die MID-Technologie

*M. Sc. Bernd Niese
Bayerisches Laserzentrum GmbH*

SMT Hybrid Packaging 2014

- Motivation und Zielsetzung
- Laserbasierte Fertigung von elektrisch leitfähigen Strukturen
 - a. ADDIMID-Technologie in Kombination mit Stereolithografie (SLA)
 - b. Laserstrahlsintern von Leitkleber in Kombination mit SLA
 - c. Laser-Pulverauftragschweißen / -strahlschmelzen
- Zusammenfassung und Ausblick

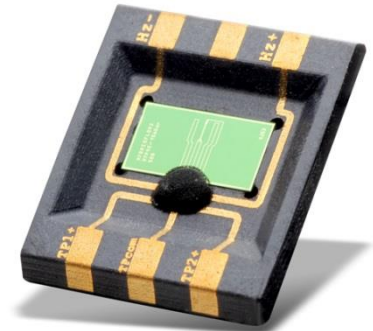


Den **Anforderungen** an MID-Bauteilen, wie z. B.



Quelle: elektronikpraxis.vogel.de

- **multifunktional**
- **systemintegrativ**
- **3D-Gestaltungsfreiheit**
- **flexible Layout-Änderungen**
- **kurze Herstellungszeit**



Quelle: 2e-mechatronic.de

..., durch den Einsatz des **Strahlwerkzeugs Laser** gerecht werden.

Zielsetzung:

- Flexible Herstellung von elektronischen Schaltungsträgern
- Qualifizierung von MID-relevanten **Werkstoffen** und **Werkstoffkombinationen**
- Herstellung elektrischer Leiter **unabhängig von Bauteilgröße, -geometrie und -oberflächenbeschaffenheit**

Laserbasierte Fertigung von elektrisch leitfähigen Strukturen

ADDIMID-Technologie

- Verfahrensanwendung
 - Spritzguss
 - Rapid Prototyping → Stereolithografie (SLA)
 - Nicht geschütztes Laserstrukturierungsverfahren
- Breites Werkstoffspektrum
 - Technische und Hochtemperatur-Thermoplaste
 - SLA-Harz (z. B. Somos® NanoTool)
 - Hohe Werkstoffkompatibilität zwischen Metallpartikel und Kunststoff

Laserstrahlsintern von Leitleber

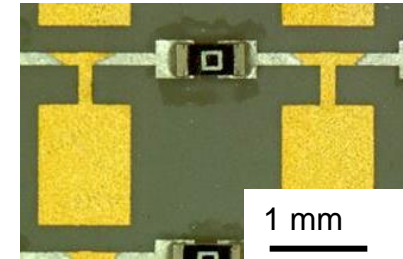
- Direkte Erzeugung von elektrisch leitfähigen Strukturen auf Substraten ohne chemische Metallisierungsverfahren
- Integration von elektrisch leitfähigen Strukturen und Funktionskomponenten während des SLA-Bauprozesses

Laser-Pulverauftragschweißen (LPAS)

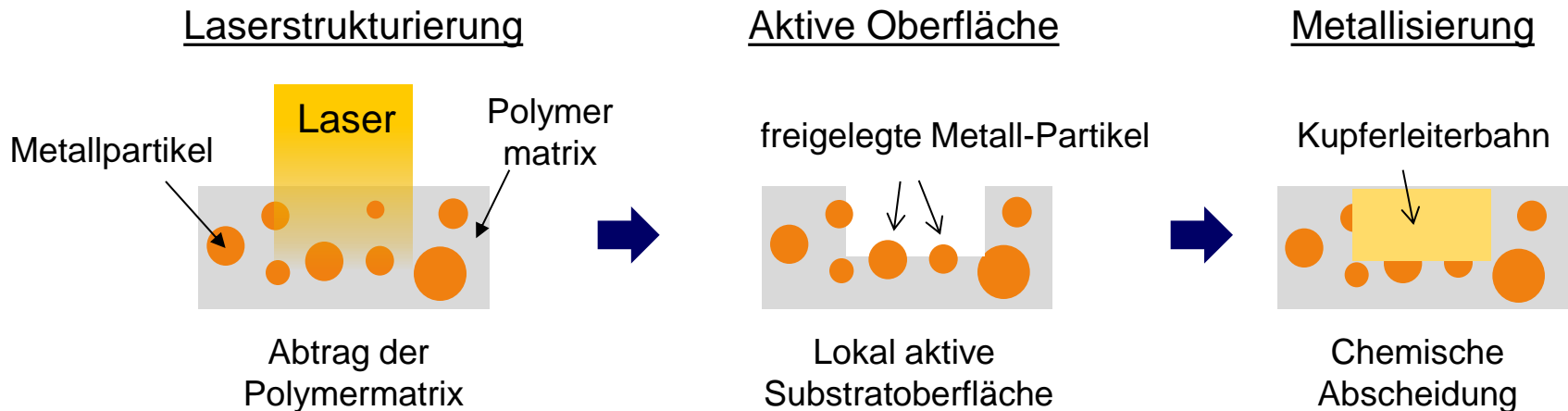
- Flexible Erzeugung leitfähiger Strukturen mit variablem, größerem Querschnitt
- Verzicht auf vor- und nachgelagerte Prozesse zur Leiterbahnerzeugung (z. B. Oberflächenaufrauung, chemische Metallisierung etc.)

Verfahrenseigenschaften

- Verschiedene, feine Metallpulver (Al, Cu, Ni) als Additiv einsetzbar
 - Strukturierung der Substratoberfläche durch Laserbestrahlung
 - Flexible Leiterbahnerzeugung auf Substratoberflächen
- Verfahrensprinzip ähnlich zu LDS



Verfahrensprinzip



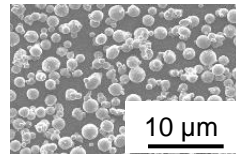
Ausgangswerkstoffe und Verfahrensvarianten

Matrixmaterial

- SLA-Harz:
z. B. Somos® NanoTool
- Thermoplaste:
z. B. PPS-GF, PPT-GF

+

Partikel

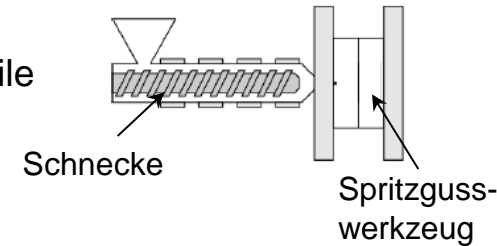
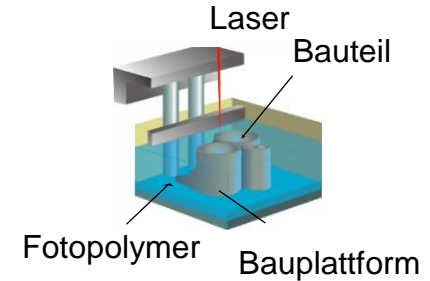


- z. B. Al, Cu, Ni
- Homogen verteilt



Bauteilherstellung

- Stereolithografie
→ Prototypen
- Spritzguss
→ Serienbauteile



Einflussfaktoren für Prototypenfertigung

Verarbeitbarkeit und Aushärtung des gefüllten SLA-Harzes

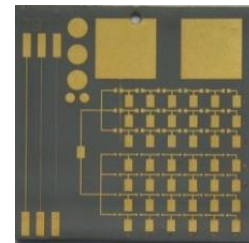
Lagerungseinfluss auf die Metallisierung

Langzeiteigenschaften

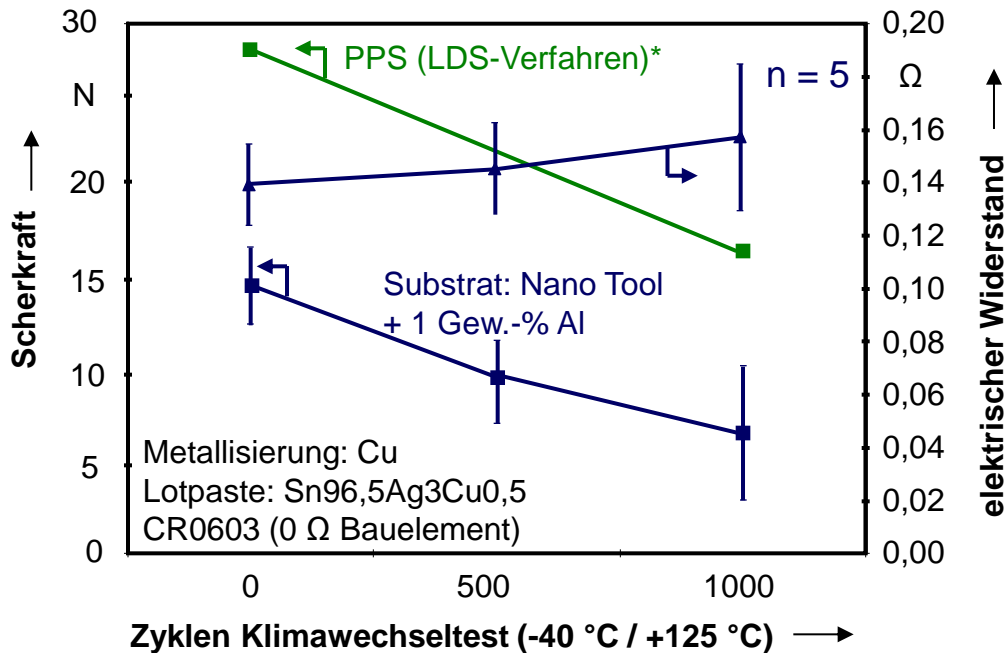
Bauteilherstellung mittels Stereolithografie und ADDIMID-Technologie

Probenpassivierung

Haftungseinfluss zwischen Leiterbahn und Substrat



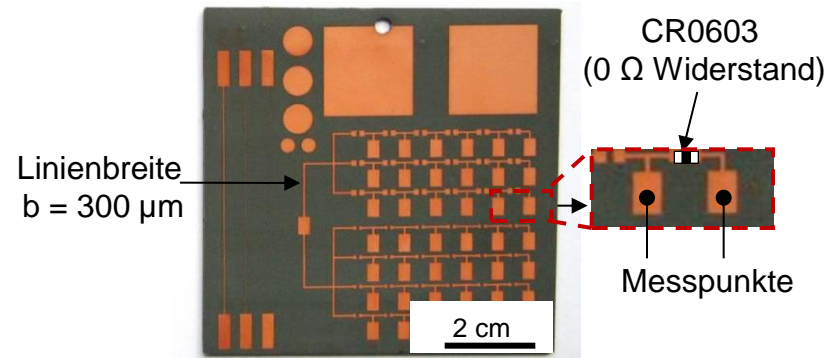
Scherkraft und elektrischer Widerstand vor/nach Klimawechseltest



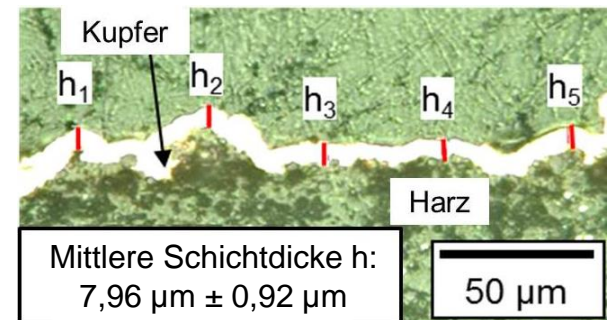
Laserparameter:
 $P_L = 3 \text{ W}$, $\lambda = 355 \text{ nm}$, $f_{\text{rep}} = 30 \text{ kHz}$, $h_S = 40 \text{ }\mu\text{m}$, $v_S = 600 \text{ mm/s}$

*Quelle: 3D-MID e. V.

Testlayout



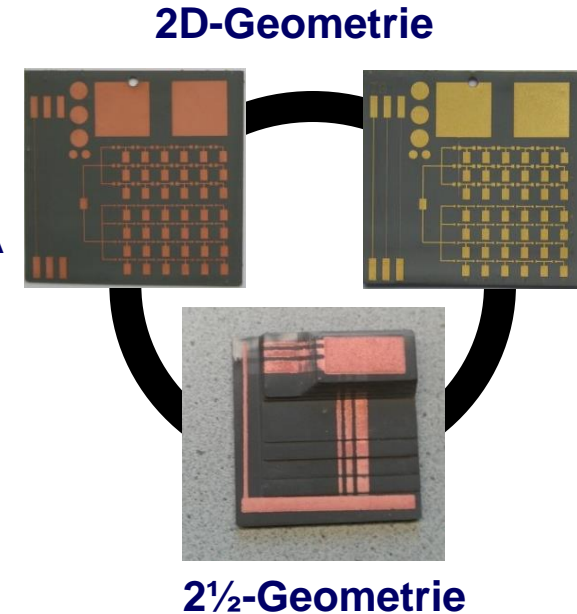
Querschnitt einer Kupferleiterbahn



Kein Ausfall der Bauelemente sowie ausreichender elektrischer Widerstand und Scherkraft bei typischer Zyklentestanzahl von Prototypenbauteilen

Prototypenfertigung

- Herstellung von mechatronischen Schaltungsträgern mittels Stereolithografie und ADDIMID-Technologie ist möglich
- Produktentstehungsprozess von Bauteilfertigung mittels SLA bis zum funktionsfähigen, bestückten Prototypen < 1 Woche
- Übertragung auf 3D-Prototypenbauteile in Entwicklung
→ Fokuslagenvariation an Kantenübergängen nötig



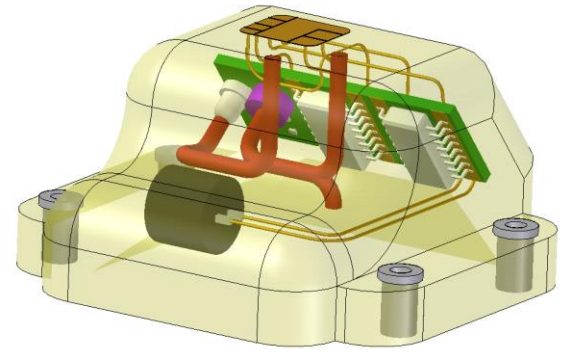
Leiterbahneigenschaften

- Hohe Gestaltungsfreiheit des Leiterbahnlayouts durch Laserstrukturierungsverfahren
- Erzeugung schmaler Leiterbahnstrukturen bis $\geq 100 \mu\text{m}$ möglich
→ Geeignet für Mikroelektronik
- Nicht geeignet für Leistungselektronik ohne galvanische Nachverstärkung der Leiterbahnen
→ geringe Stromtragfähigkeit

Laserstrahlsintern von Leitkleber in Kombination mit SLA

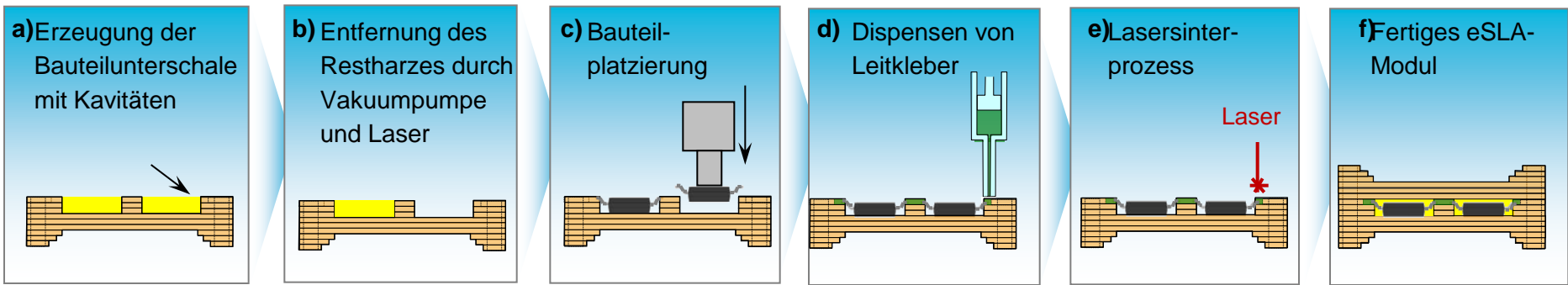
Verfahrenseigenschaften

- Direkte Erzeugung von elektrisch leitfähigen Strukturen auf Substraten ohne chemische Metallisierungsverfahren
- Verfahren zur Erweiterung der Stereolithografie hinsichtlich der Integration von elektronischen Funktionskomponenten



Beispiel eines eSLA-Moduls mit integrierten Leiterbahnen und elektronischen Komponenten

Verfahrensprinzip der einbettenden Stereolithografie (eSLA)



Herstellung von elektrisch leitfähigen Strukturen aus silberpartikelhaltigem Leitkleber (Elecolit 3043, Fa. Panacol)

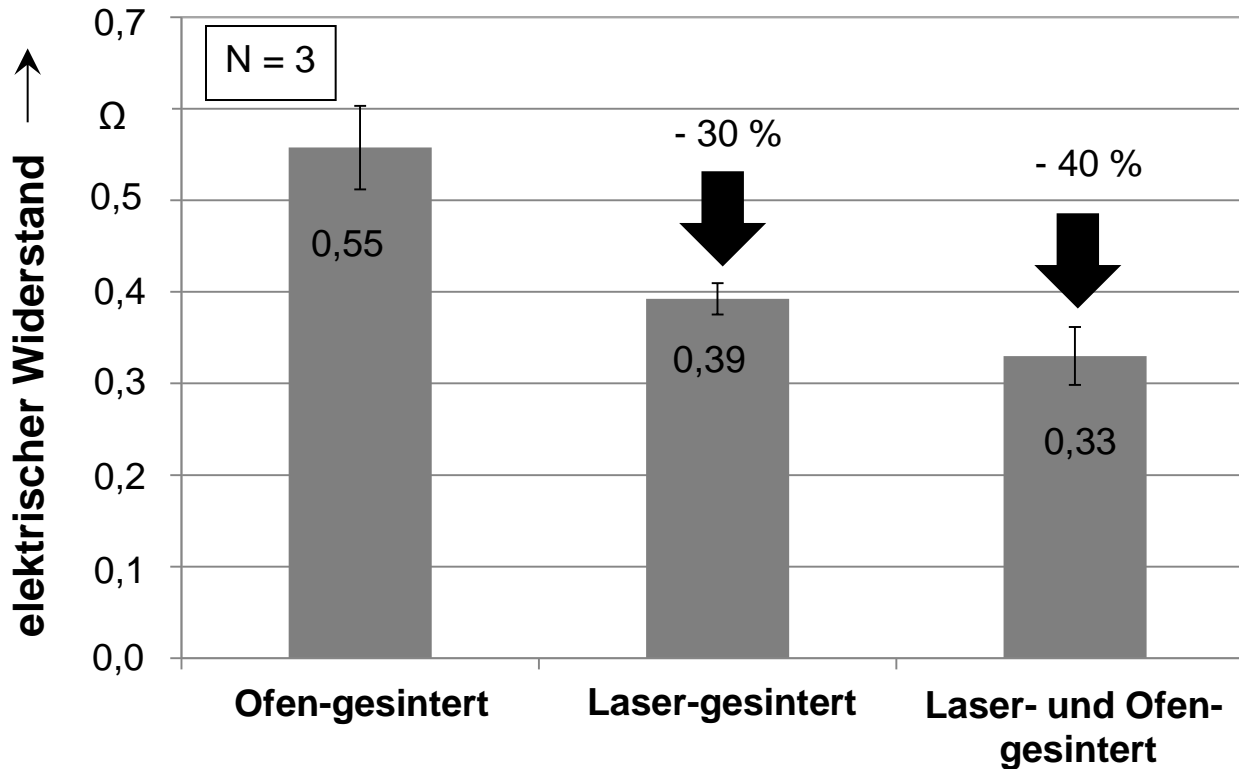
Prozessziel

- Herstellung leitfähiger Strukturen durch Kombination aus Dispensen und Sintern mittels Laserstrahlung
- Einbetten von Leiterbahnen während des SLA-Bauprozesses
- Ausreichende Haftfestigkeit der Leiterbahnen auf Substratoberfläche

Leiterbahnherstellung

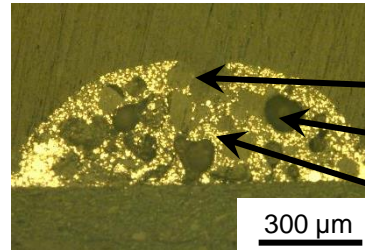
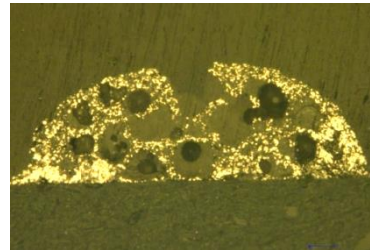
- **Dispensen von Leitkleber**
 - Aufbringung der Leiterbahnstruktur
 - Leiterbahnstruktur vor Sinterprozess nicht elektrisch leitfähig
- **Lasersinterprozess**
 - Sintern der Leiterbahnstruktur mittels Laser
 - Leiterbahnstruktur elektrisch leitfähig
- **Auslagerung im Wärmeofen**
 - Vollständige Aushärtung und Nachvernetzung des Substratwerkstoffes im Wärmeofen
 - Nachträglicher, thermischer Sinterprozess der Leiterbahnen
→ Zusätzliche Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit

Laserstrahlsintern von Leitkleber



Laserparameter:
 $P_L = 1,4 \text{ W}$
 $f = 20 \text{ kHz}$
 $v_s = 1 \text{ mm/s}$
 $n = 2$
 $d = 50 \mu\text{m}$
 $n = 2$

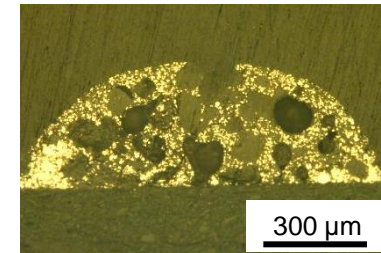
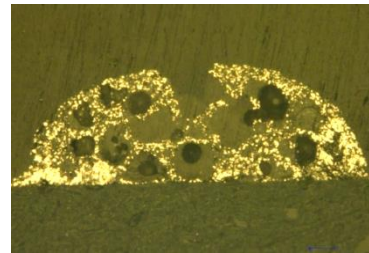
Ofenparameter:
 $T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t = 10 \text{ Min.}$
Herstellerangabe: Panacol



Ablationskrater
Poren
gesintert Bereich

Laser-gesinterteter Leitkleber Elecolit 3043, Fa. Panacol

Laserstrahlsintern von Leitkleber



- Gute Absorption der Silberpartikel bei einer Wellenlänge von 355 nm führt zu geringeren elektrischen Widerständen der Leiterbahnen nach dem Laserstrahlsinterprozess im Vergleich zum Ofensinterprozess ($T = 150\text{ °C}$)
- Kombination aus Laserstrahlsintern und Ofensintern führt zu einer weiteren Verringerung des elektrischen Widerstandes
- Laser-gesinterte Strukturen haben eine für den eSLA-Prozess ausreichend gute Haftfestigkeit
→ Kratztestmethode
- Weiter Untersuchungen folgen zur...
 - Variation der Laserstrahlsinterstrategie hinsichtlich der Reduzierung des Ablationskraters
 - Berechnung der spezifischen Leitfähigkeit der Laser-gesinterten Strukturen

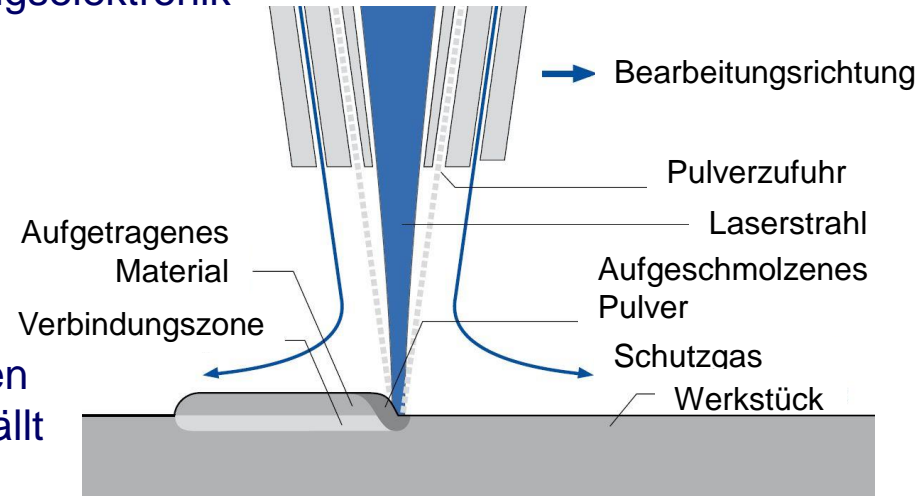


- Sintern von silberpartikelhaltigem Leitkleber mittels Laser ist möglich
- Dabei können geringere elektrische Widerstände der Leiterbahnen als durch Ofensintern erzielt werden
- Mittels Laser-gesinterte Strukturen haben eine ähnlich hohe Haftfestigkeit wie Ofen-gesinterte Strukturen auf dem SLA-Substrat → Kratztestmethode
- Starke Porenbildung im Inneren der Laser-gesinterten Strukturen führt zu keiner Verringerung der Haftfestigkeit der Leiterbahnen bei Kratztests auf dem SLA-Substrat

Laser-Pulverauftragschweißen (LPAS)

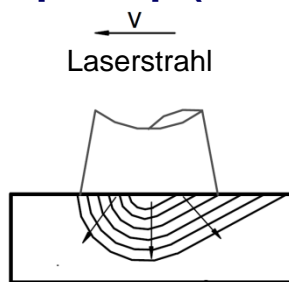
Verfahrenseigenschaften

- MID-Herstellungsverfahren für Hochleistungselektronik
- Direkte Erzeugung von Leiterbahnen durch gleichzeitigen Pulverauftrag mittels Düse und Laserbestrahlung
- Verzicht auf chemische Metallisierung und galvanische Nachverstärkung
- Zusätzliche Vorbehandlung der Oberflächen durch Aufrauen oder Plasmaverfahren entfällt → vgl. Flamecon oder Plasmadust

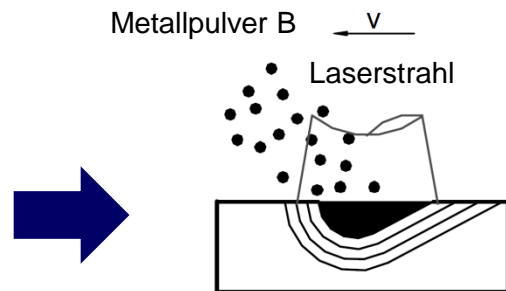


Quelle: Trumpf

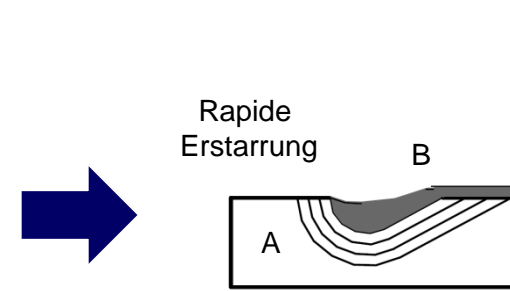
Verfahrensprinzip (LPAS)



Absorption und Wärmeleitung



Zusatz von Metallpulver durch Düse



Verschmelzung von Werkstoff A und B

LPAS - Einflussgrößen und Herausforderungen



Input

- **Laser**
 - Laserleistung
 - Fokusbildungsdurchmesser
 - Wellenlänge
 - ...
- **Pulverdüse**
 - Zuführmenge
 - Düsendurchmesser
 - ...
- **Substrat**
 - optische Eigenschaften
 - Schmelztemperatur
 - Verdampfungstemperatur

Prozess

- **Physische Phänomäne**
 - Absorption
 - Wärmeleitung
 - Gas / Schmelze Interaktion
 - Verminderung der Laserintensität durch Pulver
 - ...

Output

- **Substrat**
 - Thermische Schädigung
 - Haftfestigkeit des Pulvers
 - ...
- **Qualität der Metallisierung**
 - Geometrie
 - Poren
 - Risse
 - Interaktion
 - Eigenspannungen
 - ...

Herausforderungen für das LPAS-Verfahren

- Erzeugung einer haftfesten Verbindung zwischen Kunststoff und Metallpulver
- Erzeugung einer elektrisch leitfähigen Struktur auf dem Kunststoffsubstrat
- Möglichst geringe thermische Schädigung des Kunststoffsubstrates

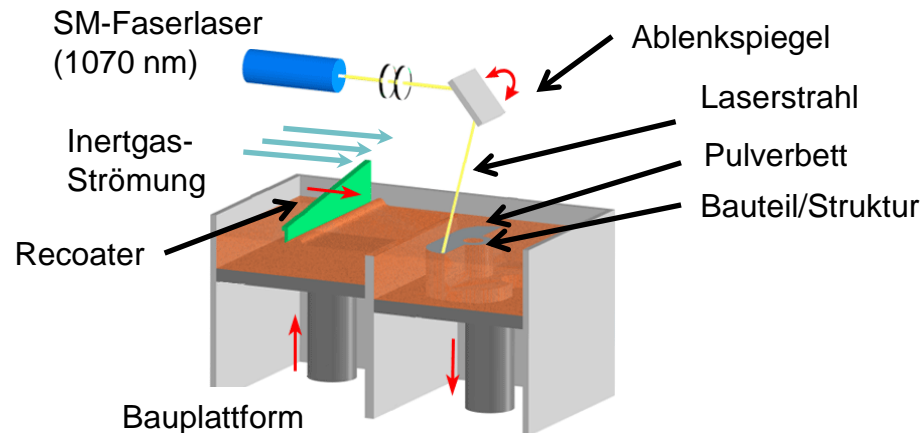


Erzeugung von haftfesten, elektrisch leitfähigen Strukturen auf Russ-dotiertem PA-12-Substrat mittels AL-Pulverauftrag und Laserstrahlschmelzen (LSS)

Werkstoffe

- **Russ-dotierte PA-12-Beschichtung (ca. 300 µm)** auf Metallsubstrat
- Sphärisches **Aluminium-Pulver** (Reinheit 99,7 %)
Partikelgröße: $40 \mu\text{m} \leq d_{\text{Partikel}} \leq 50 \mu\text{m}$

Laserstrahlschmelz-Anlage mit SM-Faserlaser



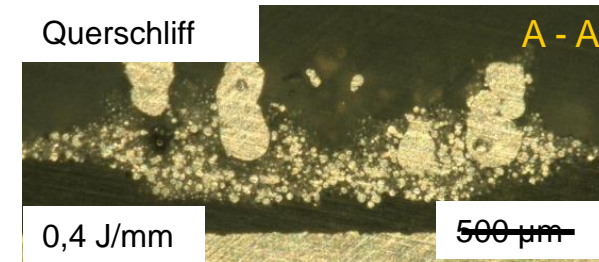
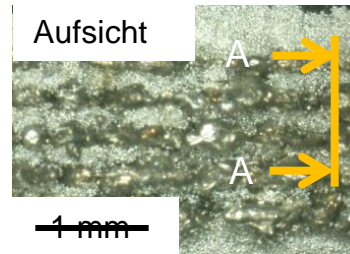
Quelle: custompartnet.com

Vorversuche zu LPAS

Variation der Linienenergie E_L zur Herstellung elektrisch leitfähiger Strukturen mittels LSS

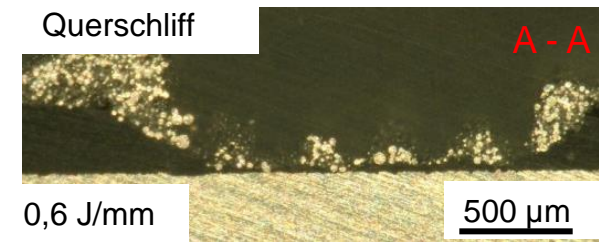
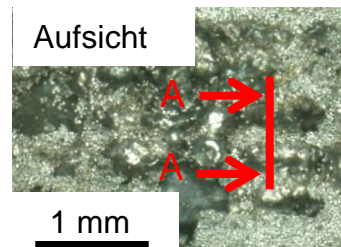
$0,3 \text{ J/mm} \leq E_L \leq 0,4 \text{ J/mm}$:

- keine Zerstörung der PA-12-Schicht
- geringe Haftfestigkeit
- Leitfähigkeit über kurze Distanzen nachweisbar ($0,4 - 0,5 \Omega$)



$E_L > 0,4 \text{ J/mm}$:

- teilweise schmelzmetallurgische Verbindung \rightarrow ($0,3 - 0,4 \Omega$)
- Zerstörung der PA-12-Beschichtung



Variation der Linienenergie E_L hat Einfluss auf

- die Absorption an der Substratoberfläche durch diffuse Laserstrahlung und die daraus resultierende thermische Schädigung des Substrates
- die Wärmeleitung zwischen Metallpartikeln und Substrat und die daraus resultierende thermische Schädigung des Substrates

Rückschluss für das LPAS-Verfahren

\rightarrow Durch Anpassung von Prozessparametern ist die Herstellung von elektrisch leitfähigen Strukturen auf Kunststoffsubstraten möglich (additiver Schichtaufbau)

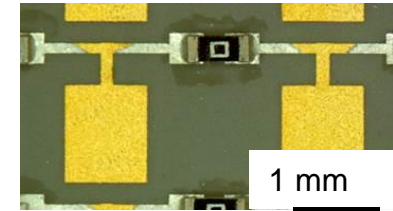
Zusammenfassung und Ausblick



Laserbasierte Fertigung von elektrisch leitfähigen Strukturen

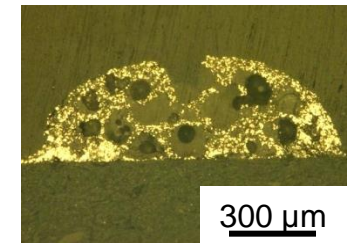
ADDIMID-Technologie

- Flexible Herstellung des Leiterbahnlayouts durch Laserstrukturierungsverfahren
- Metallpartikel als Additiv für die Laserstrukturierung und chemische Metallisierung einsetzbar
- Herstellung von MID-Prototypen und -Spritzgussbauteilen möglich



Laserstrahlsintern von Leitkleber

- Hohe elektrische Leitfähigkeit und ausreichende Haftfestigkeit der lasergesinterten Leiterbahnen auf SLA-Substraten
- Verfahren zur Integration von elektronischen Funktionskomponenten in SLA-Bauteilen



Laser-Pulverauftragschweißen

- Verringerung der Schädigung des Kunststoffes durch Anpassung der Bestrahlungsenergie
- Elektrisch leitfähige Strukturen auf PA-12 durch Schmelzen von Metallpulver generierbar



Quelle: Trumpf



Quelle: FAPS



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt

Bayerisches Laserzentrum GmbH

Bernd Niese

Konrad-Zuse-Straße 2-6

91052 Erlangen

b.niese@blz.org

Tel.: +49 (0)9131 / 9 77 90 – 27

Fax: +49 (0)9131 / 9 77 90 – 11

info@blz.org

www.blz.org