

# Einsatz von Schmelzklebstoffen zur Montage von MEMS und MOEMS

G. Hemken<sup>1</sup>, S. Böhm<sup>1</sup>, K. Dilger<sup>1</sup>, A. Raatz<sup>2</sup>, S. Rathmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Füge und Schweißtechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 19b, 38106 Braunschweig

## Kurzfassung

In diesem Beitrag werden die aktuellen Ergebnisse des Teilprojekts B8 aus dem SFB 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ vorgestellt. Ziel dieses Teilprojektes ist, eine geeignete Verbindungstechnik auf Basis von nicht-viskosen Klebstoffsystemen (Schmelzklebstoffen) für MEMS und MOEMS zu entwickeln. Dabei wird von vorneherein auf die Automatisierbarkeit, die Prozessgeschwindigkeit, minimale Fügegeometrien und die Anwendbarkeit in einem Batchprozess geachtet. Die Herstellung von Schmelzklebstoffgeometrien im  $\mu\text{m}$ -Bereich sowie die Entwicklung von batchfähigen Applikationstechniken stehen dabei im Vordergrund dieses Beitrags. Des Weiteren wird ein automatisierter Montageprozess mit schmelzklebstoffbeschichteten Mikrobauteilen vorgestellt.

## 1 Einleitung

Das Kleben unter Verwendung von viskosen Klebstoffen wird in der Mikrosystemtechnik und der Mikroelektronik immer häufiger eingesetzt. Hinsichtlich der Klebstoffapplikation bestehen allerdings vor allem bei sehr kleinen Klebstoffmengen und höheren Klebstoffviskositäten Defizite [1], [2], [3].

Gründe, die einen stärkeren Einsatz des Klebens in der Mikrosystemtechnik verhindern, liegen in den Eigenschaften derzeit eingesetzter viskoser Klebstoffe begründet. Diese sind die zu dosierenden Minimalvolumina, die kleine Fügegeometrien ( $\ll 200 \mu\text{m}$ ) nicht zulassen, die Prozesszeit, die benötigt wird, bis die Fügeverbindung handhabungsfest ist ( $\gg 1 \text{ s}$ ) und die klebstoffabhängige Topfzeit, in der der aufgetragene Klebstoff noch verwendet werden kann und in der sich die Eigenschaften des Klebstoffs ändern können.

Die Herstellung von Mikrosystemen erfolgt aus prozesstechnischen und wirtschaftlichen Gründen in der Regel in Batch-Verfahren, bei denen eine große Anzahl von Systemen auf einem Wafer prozessiert werden. Können diese Systeme nicht monolithisch hergestellt werden, werden Fügeverfahren angestrebt, die ebenfalls im Batch angewendet werden können [4].

Der hohe Miniaturisierungsgrad von MEMS und MOEMS erfordert darüber hinaus Fügeverfahren wie das Kleben, die ein Fixieren kleinster Flächen ermöglichen. Gründe für das Kleben bei MEMS und MOEMS sind die Möglichkeit, unterschiedliche

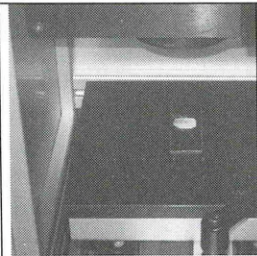
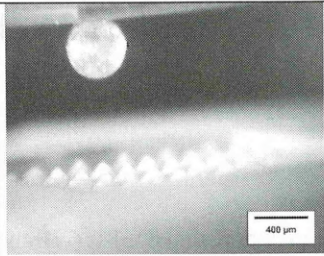
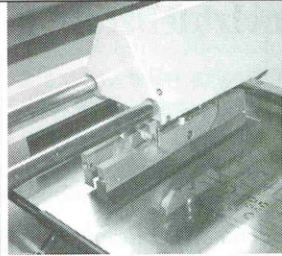
Werkstoffpaarungen ohne thermischen Verzug mit ausreichender Festigkeit und guten dynamischen Eigenschaften zu verbinden, eine elektrische und thermische Leitfähigkeit oder Isolation und eine mögliche optische Transparenz.

## 2 Eigenschaften nicht-viskoser Klebstoffe

Die aufgeführten Einschränkungen viskoser Klebstoffe in der Mikrosystemtechnik werden durch den Einsatz von Schmelzklebstoffen, die als thermoplastische, physikalisch abbildende Klebstoffe bei RT einkomponentig, nicht-viskos und lösungsmittelfrei vorliegen, zu großen Teilen aufgehoben werden.

Ein wichtiger Vorteil von Schmelzklebstoffen gegenüber viskosen Klebstoffsystemen ist die Möglichkeit, Schmelzklebstoffsysteme auf unterschiedliche Arten vorapplizieren zu können, z. B. als Pulver, Kugel, Folie oder als Dispersion, siehe Bild 1. Der Fügevorgang muss nicht direkt nach der Beschichtung des Substrates mit Klebstoff erfolgen, sondern dieses kann zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt geschehen. Dies ist neben unterschiedlichen Möglichkeiten des automatisierten Klebstoffauftrags eine wichtige Eigenschaft für eine wirtschaftlich interessante Fertigung im Batch-Prozess. Der Klebstoff wird erst beim eigentlichen Fügeprozess durch einen Wärmestoß aufgeschmolzen und benetzt bei Kontakt mit dem anderen Substrat



			
Auftrag von Klebstoff in Pulverform und punktuelles Ansintern mittels Laser	Diskreter Auftrag von Klebstoffkugeln	Schablonendruck von Schmelzklebstoff- Dispersionen	Auftrag von Klebstoff in Folienform

**Bild 1** Unterschiedliche Schmelzklebstoffauftragsarten

dessen Oberfläche. Bei geeigneter Wärmeführung erstarren Hotmelt-Klebungen sehr schnell, d. h. eine Handhabungsfestigkeit (in der Regel bereits die Endfestigkeit) ist deutlich unter einer Sekunde realisierbar.

### 3 Klebstoffvorbeschichtung

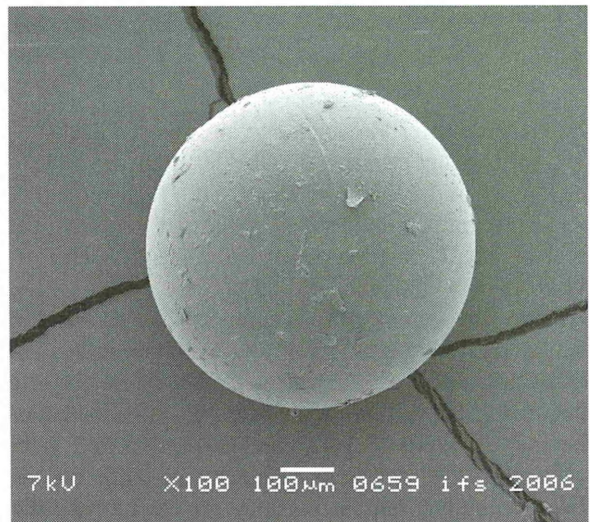
Ein wichtiger Aspekt beim Einsatz von Schmelzklebstoffen in der MST ist die Herstellung von geeigneten vorapplizierbaren Schmelzklebstoffgeometrien. Die Herstellung von Kornfraktionen, Rundkörnern und Folien hat zum Ziel, Minimalklebstoffmengen für die unterschiedlichen Applikationsprozesse und den anschließenden Fügeprozess zur Verfügung zu stellen.

#### 3.1 Herstellung von geeigneten Klebstoffgeometrien

Bei der Herstellung von **Kornfraktionen** werden mit Hilfe von Analysensiebmaschinen eine Klassierung, d. h. exakte Trennschnitte von Pulverfraktionen ausgesiebt. So können z. B. kommerziell erhältliche Schmelzklebstoffpulver auf PA-Basis auf Fraktionen zwischen 0-32 µm ausgesiebt werden. Zur Zeit werden neue Herstellverfahren für kleinere Schmelzklebstoffpartikel durch Sprühtrocknen, durch Ausfällen aus Lösung oder Suspension und durch das kryogene Mahlen untersucht.

Für die Herstellung von **Rundpartikeln** wurden kleinstfraktionierte Hotmelt-Pulver zur Verkuglung auf PTFE-Folien aufgebracht. Durch die Oberflächenspannung und die geringe Oberflächenenergie der PTFE-Folie ziehen sich die Partikel unterschiedlichster Geometrie zu Kugeln zusammen. Von entscheidender Bedeutung bei diesem Verfahren ist ein Pulverauftrag, der feinste Partikel vereinzelt auf der Folie erzeugt. Ist dies gegeben, können sphärische Rundpar-

tikel mit kleinsten Durchmessern von bis zu 20 µm bei 4 pl Volumen erzeugt werden. Bei genauerer Betrachtung dieser Schmelzklebstoffpartikel sind jedoch alle Partikel so umgeschmolzen, dass sich eine halbkugelförmige Struktur ergibt. Ein weiterer Ansatz ist das Umschmelzen von Hotmelts im freien Fall. Mit Hilfe eines Piezodosierers konnten Hotmelts mit niedriger Schmelzviskosität (in der Regel unter 1.000 mPas) so dispenst werden, dass eine kugelförmige Struktur entstand, siehe Bild 2.



**Bild 2** REM-Aufnahme einer Schmelzklebstoffkugel mit einem Durchmesser von ca. 500 µm

Für die Herstellung von dünnsten **Folien** aus thermoplastischem Material ist das Chill-Roll-Verfahren Stand der Technik. Diese Flachfolienextrusion geschieht über eine Extruderanlage samt Kühlwalze (chill roll), auf deren Oberfläche die Schmelze verstreckt und abgekühlt wird. Die mit diesem Verfahren erzeugten Folien haben homogene Schichtdickenverläufe von ca. 50 µm sowie keinerlei Luftpinschlüsse. Allerdings müssen die thermoplastischen Materialien für eine Plastifizierung in einem Extruder modifiziert

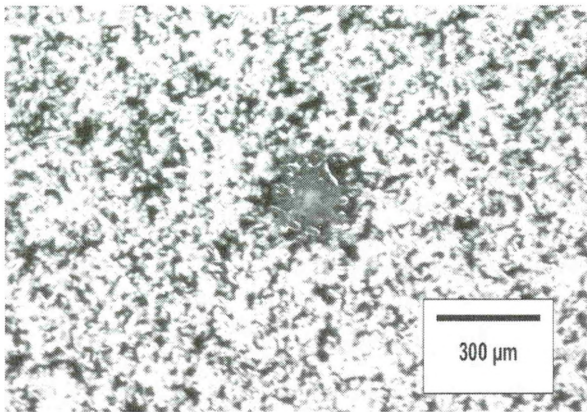


werden.

### 3.2 Applikation von Schmelzklebstoff

Wie in Abbildung 1 dargestellt wurde, können die erzeugten Schmelzklebstoffgeometrien in Minimalmengen auf unterschiedliche Weise zur Vorbeschichtung von Bauteilen genutzt werden.

Bei der *Applikation von Klebstoffpulvern* wird das Pulver auf eine Oberfläche aufgetragen und flächig mit einer Heizplatte oder lokal mit einem Laser ansintert. Grundvoraussetzung für die Ansinterung von Pulver ist der möglichst gleichmäßige Auftrag von Schmelzklebstoffpartikeln auf die Substratoberfläche. Für die Untersuchungen zum Lasersintern wurde ein Festkörper-Scheibenlaser dazu verwendet, das Schmelzklebstoffpulver auf dem Substrat so zu erwärmen, dass das Pulver nur lokal ansintert und in anderen Bereichen wieder entfernt werden kann. Durch die Wellenlänge von 1064 nm ist dabei nur eine indirekte Erwärmung des Schmelzklebstoffs über die Wärmeleitung des Siliziums möglich. Hierzu wird der Laser durch die für die Laserwellenlänge transparente Schmelzklebstoffschicht auf das darunter befindliche Substrat gerichtet. Für niedrig schmelzende Klebstoffsysteme konnten, wie in Bild 3 dargestellt, Strukturen im Größenordnungsbereich von 150-250 µm erzeugt werden.

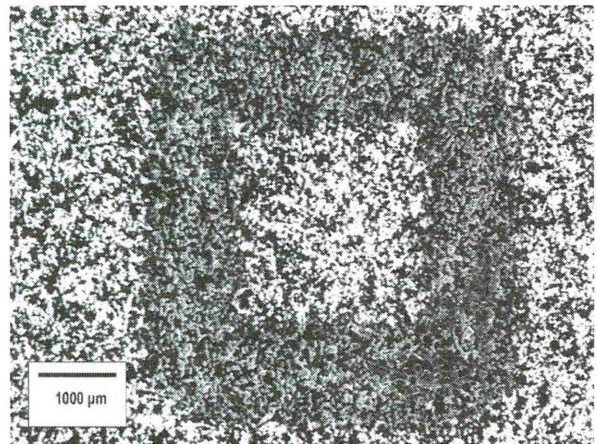


**Bild 3 :** Mittels Laser aufgeschmolzenes Pulver

Auch konnten gezielt geometrische Strukturen erzeugt werden, wie in Bild 4 dargestellt. Allerdings zeigte sich auch in dieser Abbildung deutlich der Effekt des indirekten Aufschmelzens. Aufgrund der Wärmeleitung stellt sich eine größere Wärmeinflusszone dar, die sich für das strukturierte Pulver im Bereich von 1 mm befindet.

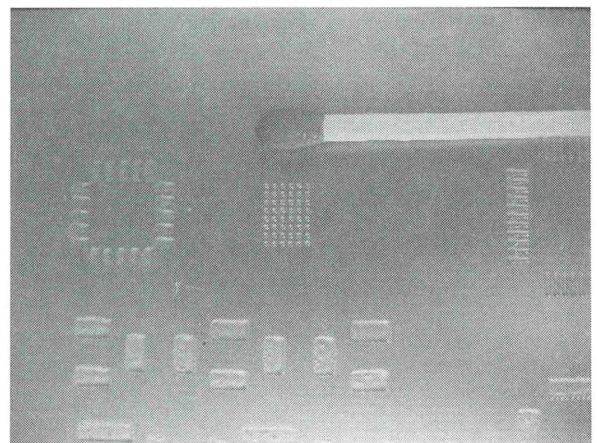
Da durch elektrostatische Effekte nicht nur an den angesinterten Stellen das Schmelzklebstoffpulver haften blieb, musste eine Kontamination durch ungewollt anhaftendes Pulver vermieden werden. Der notwendige Reinigungsprozess von überschüssigen Pulverbestandteilen wurde durch eine reine Druckluftreinigung, eine Kombination aus elektrostatischer Pulverneutralisie-

rung und Druckluft sowie einer nasschemischen Reinigung untersucht, wobei letzteres Verfahren am effektivsten war.



**Bild 4** Mittels Laser strukturiert aufgeschmolzenes Pulver

Eine neue Auftragstechnik ist der *Schablonendruck von dispergierten Schmelzklebstoffpulvern*. Hierzu werden Feinstfraktionen (<32 µm) eines Schmelzklebstoffs so dispergiert, dass sich eine thixotrope, druckbare Dispersion ergibt. Diese wird dann mit einem Schablonendrucker gedruckt, das Lösemittel wird in einem weiteren Prozessschritt abgedampft und es bleibt eine exakt dosierte Menge Klebstoff mit hoher örtlicher Auflösung übrig, siehe Bild 5. Entweder wird nun ein zusätzlicher „Sinterprozess“ angeschlossen oder es kann direkt gefügt werden. Wie auch beim Pulversintern mittels Laser kann der so aufgebrachte Klebstoff nahezu beliebig lange gelagert werden, bevor er dem eigentlichen Fügeprozess zugeführt wird.



**Bild 5** Teststrukturen von gedruckten Schmelzklebstoff-Dispersionen



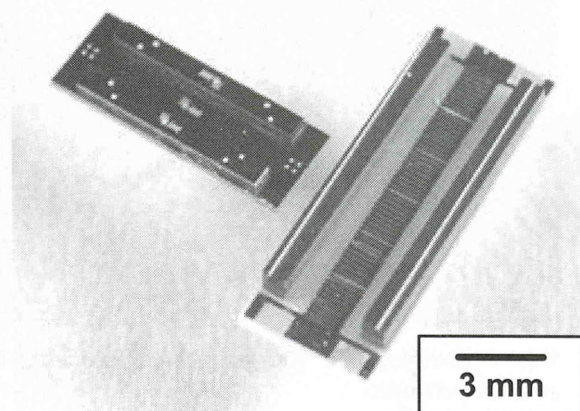
## 4 Fügen Klebstoff-vorbeschichteter Bauteile

### 4.1 Montageanlage

Für das automatisierte Fügen steht ein kommerzieller Roboter der Firma Sysmelec (AUTOPLACE 411) zur Verfügung. Dieser mit einem Vision-System ausgestattete kartesisch aufgebaute Roboter erreicht eine Wiederholgenauigkeit von 1 µm. Für die Klebversuche wurde dieser Montageplatz um eine Heizplatte, einen IR-Strahler mit einer Leistung von 500 W, einer Kamera zur Erkennung von Merkmalen auf der Unterseite der Fügeteile, einem konfokalem Laserwegmesssensor und einem hochgenauen Aufspannplatz erweitert. Mit diesem Aufbau kann eine Montagegenauigkeit von ± 10 µm erreicht werden.

### 4.2 Automatisierter Fügeprozess

Für eine Montageaufgabe wurden Substrate im Schablonendruck mit einer Schmelzklebstoffdispersion im Batch vorbeschichtet. Der Fügevorgang gliedert sich in sechs Teilschritte. Vor dem Fügeprozess wird das in einem Magazin befindliche Fügebau teil auf der Heizplatte über die Schmelztemperatur des Klebstoffes hinaus erwärmt. Der Fügeprozess beginnt mit dem Vermessen der Lage des aufgespannten Fügepartners durch das im Roboter integrierte Bildverarbeitungssystem. Ebenfalls erfolgt die Vermessung der Ebenheit und Höhe durch den am Roboter montierten Wegsensor. Anschließend wird das vorbeschichtete Bauteil sensorgestützt aus dem auf der Heizplatte befindlichen Magazin gegriffen.



**Bild 6** Aktorbauteile

Nach dem optischen Vermessen der Bauteilgeometrie auf der Ober- und Unterseite und den entsprechenden Lagekorrekturen erfolgt das kraft- und weggesteuerte

Verkleben der Fügepartner. Je nach Wärmekapazität und benötigter Zeit für das Vermessen des Bauteils kann dieses vor dem Fügen über dem IR-Strahler nachgeheizt werden. Durch das Fügen auf dem kalten Fügepartner wird die im Bauteil bzw. im Schmelzklebstoff gespeicherte Wärme sehr schnell abgeführt, sodass die Handhabungsfestigkeit, in der Regel ist dies bereits die Endfestigkeit, in weniger als 1 s erreicht ist. Bild 6 zeigt mit Hilfe der Montageanlage gefertigte mikrosystemtechnische Komponenten.

## 5 Zusammenfassung

Die bisherigen Versuche zeigen das große Potenzial von Schmelzklebstoffen beim Kleben in der Mikrosystemtechnik auf. Ein deutlicher Vorteil dieses Klebstoffsystems liegt im Fügen kleiner Bauteilgeometrien (<< 200 µm). Die dafür erforderlichen Minimalklebstoffmengen im pl-Bereich sind reproduzierbar herstellbar. Weitere signifikante Vorteile stellen die aufgezeigte Batchfähigkeit der Prozesse und die Zeitdauer zum Erreichen der Endfestigkeit im Bereich von einer Sekunde bei geeigneter Wärme führung dar. Somit ist eine echte Alternative zu den bisher in der MST eingesetzten viskosen Klebstoffsystemen gefunden worden, die neben prozesstechnischen Vorteilen auch wirtschaftlich sehr interessante Aspekte bietet.

## 6 Danksagung

Besonderer Dank der Autoren gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), durch deren Finanzierung des Sonderforschungsbereiches „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme (SFB516)“ diese Arbeit ermöglicht wurde.

## 7 Literatur

- [1] Götz, J.; Gesang, T.; Hennemann, O.D.: Gefüllte Klebstoffe: Mikrodispensen ohne Aussetzer. Adhäsion - Kleben & Dichten, Band 47, Heft 7/8, S. 38-42, 2003
- [2] Hartwig, A.; Hennemann, O. D.: Besonderheiten beim Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen, Schweißen und Schneiden. Band 52, Heft 11, S. 685-687, 2000
- [3] Hartwig, A.; Hennemann, O.D.: Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen - Dosierung, Härungsverhalten und Klebeigenschaften. VTE - Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik, Band 11, Heft 5, S. 254-258, 1999
- [4] Van Brussel, H.; et al.: Assembly of microsystems. In: Annals of the CIRP, Vol. 49 (2), 2000, pp. 451-472