

Fügen Klebstoff-vorbeschichteter Bauteile zur Fertigung von MEMS und MOEMS

S. Böhm¹, K. Dilger¹, A. Raatz², G. Hemken¹, S. Rathmann²

¹ Institut für Füge und Schweißtechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig

² 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 Projektes ist es, eine geeignete Verbindungstechnik auf Basis von nicht-viskosen Klebstoffsystemen (Schmelzklebstoffe) für MEMS und MOEMS zu entwickeln. Dabei wird von vornherein auf die Automatisierbarkeit, die Prozessgeschwindigkeit und die Anwendbarkeit in einem Batchprozess geachtet. Es werden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, den Schmelzklebstoff aufzutragen. Des Weiteren wird eine Anlage zur Montage von mikrosystemtechnischen Komponenten vorgestellt, mit der das automatisierte Fügen Klebstoff-vorbeschichteter Bauteile möglich ist. Dabei wird auch auf die verschiedenen Prozessvarianten zur Erwärmung der Bauteile bzw. des Schmelzklebstoffs eingegangen.

1 Einleitung

Das Kleben unter Verwendung von viskosen Klebstoffen wird in der Mikrosystemtechnik und der Mikroelektronik immer häufiger eingesetzt. Hinsichtlich der Klebstoffapplikation allerdings bestehen vor allem bei sehr kleinen Klebstoffmengen und höheren Klebstoffviskositäten Defizite. Aufgrund der stetigen Miniaturisierung bei Komponenten und Produkten sowie durch die Vielzahl von möglichen Basissubstraten können Dosiervorgänge, die derzeit in der Mikrosystemtechnik (MST) eingesetzt werden, wie z. B. Stempeln, Kapillardispensen und Einzeltropfenerzeugung, die an sie gestellten Anforderungen oft nicht erfüllen. Ein zentrales Problem beim Mikrokleben besteht, neben den klebstoffeigenen Prozesszeiten bis zum Erreichen einer Anfangsfestigkeit, in der Erzeugung und der Applikation der notwendigen sehr kleinen Klebstoffmengen [1], [2], [3].

Das bedeutet, dass ein für das Mikrokleben geeignetes Dosiergerät im Nano- und Subnanoliterbereich dosieren können muss, damit die geometrischen Abmessungen der Fügestelle nicht größer werden als die zu fügenden Mikroteile. Ein Dosiervolumen von mehreren Dutzend Pikolitern, allerdings nur bei äußerst geringen Viskositäten, ist derzeit die Grenze des technisch Machbaren, wodurch die minimale Fügegeometrie und die einsetzbaren Klebstoffe deutlich beschränkt werden.

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 sind die Möglichkeit, unterschiedliche Werkstoffpaarungen ohne thermischen Verzug mit ausreichender Festigkeit und guten dynamischen Eigenschaften zu verbinden. Weiterhin können Klebstoffe eine elektrische und thermische Leitfähigkeit, optische Transparenz oder eine entsprechende Isolation übernehmen.

Gründe, die einen stärkeren Einsatz des Klebens in der Mikrosystemtechnik verhindern, liegen in den Eigenschaften derzeit eingesetzter viskoser Klebstoffe begründet. Dies sind die zu dosierenden Minimalvolumina, die kleinste 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.

2 Problemstellung

3 Eigenschaften nicht-viskoser Klebstoffe

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

Schmelzklebstoffe, die zu Beginn des Teilprojektes B8 noch nicht in der MST eingesetzt wurden, haben sich als viel versprechende Alternative zu viskosen Systemen gezeigt. 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 dessen Oberfläche. Durch Abkühlen bindet der Klebstoff ab. Die Möglichkeit der Vorapplikation besteht zwar auch bei speziellen viskosen Systemen wie z. B. verschiedenen UV- und VIS-vernetzenden Acrylat- und Epoxidharzklebstoffen, ist aber hier durch ein mögliches Verlaufen dieser Klebstoffe bei der Bauteilhandhabung eingeschränkt. Bei geeigneter Wärmeleitung erstarren Hotmelt-Klebstoffe sehr schnell, d. h. eine Handhabungsfestigkeit (in der Regel bereits die Endfestigkeit) ist deutlich unter einer Sekunde realisierbar.

4 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, Minimal Klebstoffmengen für die unterschiedlichen Applikationsprozesse und den anschließenden Fügeprozess zur Verfügung zu stellen.

4.1 Herstellung von geeigneten Klebstoffgeometrien

Bei der Herstellung von *Kornfraktionen* wurde mit Hilfe von Analysensiebmaschinen eine Klassierung,



Bild 1 Unterschiedliche Schmelzklebstoffauftragsarten

d. h. exakte Trennschnitte von Pulverfraktionen ausgesiebt, um eine Fraktionierung zu erhalten. So konnten z. B. kommerziell erhältliche Schmelzklebstoffpulver auf PA-Basis auf Fraktionen zwischen 0-32 µm ausgesiebt werden, siehe Bild 2.



Bild 2 REM-Aufnahme einer 32 µm-Fraktion

Die Feinstvermahlung von Pulver zur Erzielung kleinerer Kornpartikel wurde mit unterschiedlichen Mührentypen getestet. Mit einer Fließbettstrahlmühle konnten Trennschnitte erzielt werden, wobei die Partikelverteilung nach den Versuchsreihen im Bereich von

$d(10) = 2,94 \mu\text{m}$ bis $d(99) = 43,78 \mu\text{m}$ lag.

Auch mit einem weiteren Mührentyp, einer Spiralstrahlmühle wurden keine verbesserten Ergebnisse erzielt, da in kürzester Zeit eine Zusetzung der Anlage erfolgte.

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 Rundpartikel mit geringen Durchmessern, wie in Bild 3 dargestellt, erzeugt werden. Bei genauerer Betrachtung dieser Schmelzklebstoffpartikel sind jedoch alle Partikel so umgeschmolzen, dass sich eine halbkugelförmige

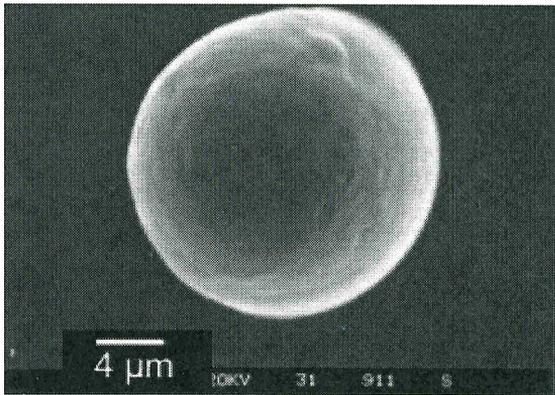


Bild 3 REM-Aufnahme einer Schmelzklebstoffkugel von 20 µm Durchmesser bei einem Volumen von 4 pl

Struktur ergibt, siehe Bild 4. Das Benetzungsverhalten der eingesetzten Schmelzklebstoffe und der PTFE-Folie zeigt eine unvollständige Benetzung (Kontaktwinkel = 90° und mehr), die Oberflächenenergie von PTFE reicht aber nicht aus, um die geforderte Nicht-Benetzung (Kontaktwinkel = 180°), d. h. eine Verkugelung des Schmelzklebstoffs, zu erreichen.

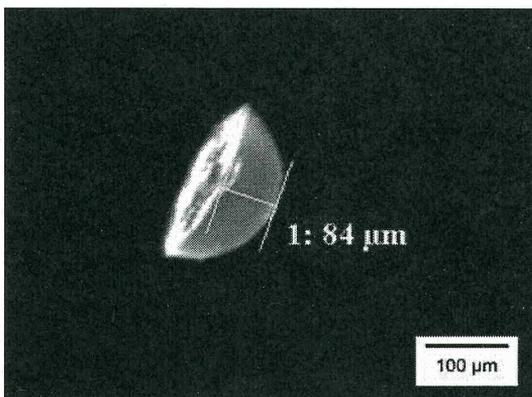


Bild 4 REM-Aufnahme eines auf PTFE verkugelten Pulverkorns

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 dosiert werden, dass eine kugelförmige Struktur entstand, siehe Bild 5.

Unter optimierten Parametern (Förderdruck, niedrige Schmelzviskosität und kurzen Dosierzeiten) konnten bei einem Dosierer-Düsenquerschnitt von 150 µm Kugeln im Bereich von 300-500 µm reproduzierbar dosiert werden.

Zur Herstellung von **Folien** wurden drei unterschiedliche Ansätze verfolgt, welche das Heißpressen, das Trocknen eines Dispersionsfilms und die Folienextrusion beinhaltete. Beim Heißpressen von Pulverpartikeln, aber auch beim Dispersionsfilmtrocknen sind Folien mit Lufteinschlüssen sowie inhomogenen Schichtdicken entstanden.

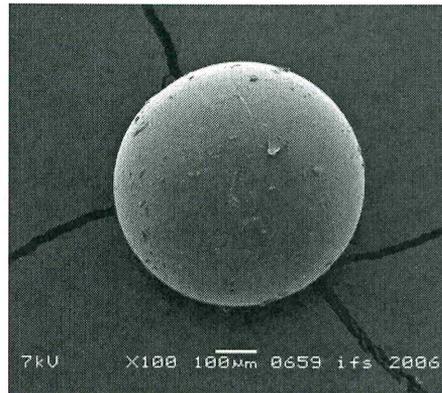


Bild 5 REM-Aufnahme einer Schmelzklebstoffkugel mit einem Durchmesser von ca. 500 µm

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 Dickenverläufe von ca. 50 µm sowie keinerlei Lufteinschlüsse. Allerdings müssen die thermoplastischen Materialien für eine Plastifizierung in einem Extruder modifiziert werden.

4.2 Aufbringen und Positionieren von Schmelzklebstoff

Der trockene Auftrag von Schmelzklebstoff kann in Form

- eines diskreten Auftrags von Klebstoffpartikeln,
- eines Auftrags von Klebstoff in Pulverform,
- eines Auftrags von Klebstoff in Folienform
- und eines Schablonendruckes von Schmelzklebstoff-Dispersionen

erfolgen. Um Schmelzklebstoffe in Partikelform oder als Folie in der Mikrosystemtechnik einzusetzen, müssen diese in Abmessungen kleiner 100 µm gehandhabt werden. Das Handhaben von kleinsten Partikeln bereitet allerdings Probleme aufgrund der Tatsache, dass die Gewichtskräfte nicht – wie es z.B bei makroskopischen Bauteilen der Fall ist – dominieren. Mit kleiner werdenden Teilen, die gehandhabt werden sollen, wird der Einfluss von Van-der-Waals-, elektrostatischen- und Adhäsionskräften immer größer. Dieser Einfluss macht sich in einem veränderten Teileverhalten bemerkbar. Die Teile neigen dazu, an Greifern oder Magazinen haften zu bleiben und üben darüber hinaus auch untereinander Kräfte aus, die zu Änderungen der Bauteilposen führen können [5]. So besteht bei kleinen Bauteilen weniger die Problematik, diese zu greifen, sondern vielmehr diese zu vereinzeln, gezielt zu positionieren und in der gewünsch-

ten Pose loszulassen.

Bei der **Applikation von Klebstoffkugeln** wurden unterschiedliche Greifprinzipien überprüft. Klebstoffkugeln lassen sich mit Vakuum-Pipettensauggreifern, die bis zu wenigen Mikrometer Durchmesser herstellbar sind, handhaben. Backengreifer sind derzeit prozesssicher bis zu einer Kugelgröße von 200 μm einsetzbar. Für die Handhabung von Klebstofflinsen ist der Einsatz von Backengreifern aufgrund der Geometrie der Linse nicht möglich. Das Absetzen mit diesen beiden Greifertypen ist jedoch nur mit Wärmeunterstützung, die zu einer leichten Klebrigkeit der Kugel an der Bauteiloberfläche führt, möglich. Versuche mit aktiven elektrostatischen Greifern zeigten, dass es möglich ist, eine Klebstoffkugel aus einem Magazin aufzunehmen (Bild 6). Für das Halten der Kugeln wird eine Greiferspannung von 500 V benötigt. Aber auch bei dem elektrostatischen Greifer verhindert die Klebrigkeit des Klebstoffs im Magazin und die im Gegensatz dazu sehr geringen materialspezifischen Haltekräfte von wenigen 100 μN ein reproduzierbares und kontrolliertes Aufnehmen. Ebenso wie beim Backen- und Pipettengreifer ist das Absetzen der Kugeln auch nur mit Wärmeunterstützung möglich.

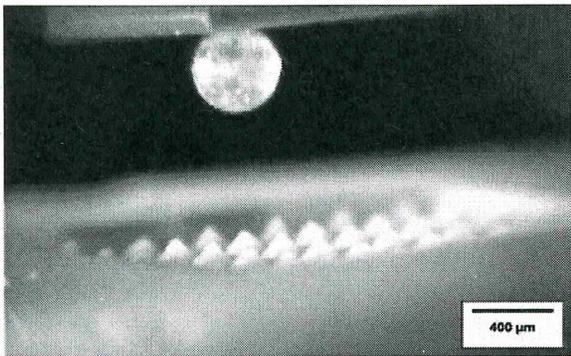


Bild 6 Elektrostatischer Kugelgreifer

Bei der **Applikation von Klebstoffpulvern** wird das Pulver auf eine Oberfläche aufgetragen und flächig mit einer Heizplatte oder lokal mit einem Laser angesintert. 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 aus dem Substrat lokal 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 Klebstoff-Systeme konnten, wie in Bild 7 dargestellt, Strukturen im Größenordnungsbereich von 150-250 μm erzeugt werden.

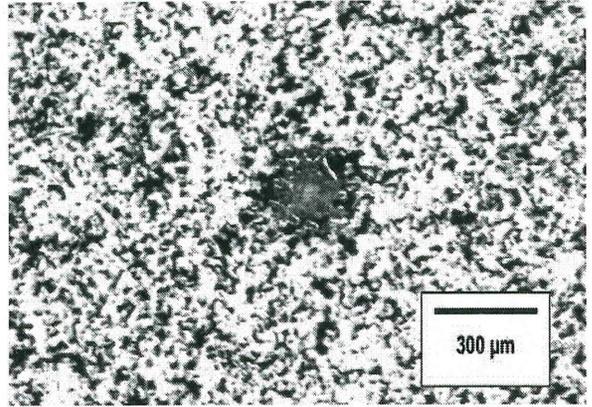


Bild 7 : Mittels Laser aufgeschmolzenes Pulver

Auch konnten gezielt geometrische Strukturen erzeugt werden, wie in Bild 8 dargestellt. Allerdings zeigte sich auch in dieser Abbildung deutlich der Effekt des indirekten Aufschmelzens. Aufgrund der Wärmeleitung stellt sich eine größere Wärmeeinflusszone 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 Pulverneutralisierung und Druckluft sowie einer nasschemischen Reinigung untersucht.

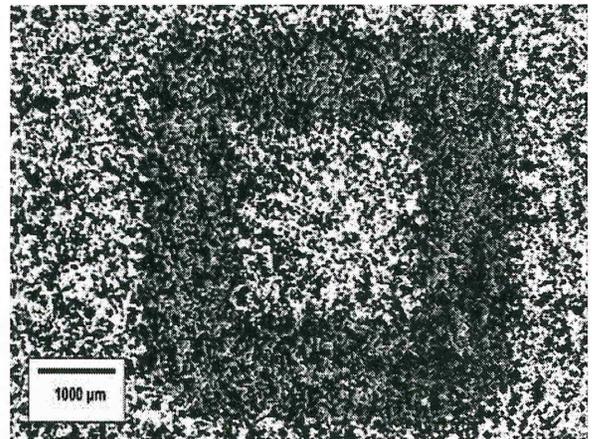


Bild 8 Mittels Laser strukturiert aufgeschmolzenes Pulver

Klebstofffolien sind gut geeignet, um sie mit flächig wirkenden Greifkonzepten greifen zu können. Es wurde das Greifen der Folien mittels Vakuum-Pipettengreifer und elektrostatischen Greifkonzepten untersucht. Das Greifen von Folienstücken mit mechanisch wirkenden Greifern wie Backengreifern ist nicht möglich, da Folien biegeschlaff sind und in Greifrichtung keine Kräfte aufnehmen können. Mit einfachen Vakuum-Pipettengreifern konnten erfolg-

reich Folienstücke bis zu einer Größe von $4 \times 4 \text{ mm}^2$ gegriffen und abgesetzt werden. Mit Pipettengreifern mit einem Bohrungsdurchmesser von bis zu $100 \mu\text{m}$ können auch kleinere Folienstücke mit Abmaßen von $150 \times 150 \mu\text{m}^2$ gehandhabt werden. Bild 9 zeigt ein Folienstück der Größe $2 \times 5 \text{ mm}^2$, das mit einem aktiven elektrostatischen Greifer gegriffen wurde. Mit einer Greiferspannung von 600 V kann die Folie sehr gut gegriffen und wieder abgesetzt werden. Vorteil dieses Greifsystems gegenüber dem Vakuum-Pipettengreifer ist die Möglichkeit, auch Folienstücke, die in einem hohen Detailgrad konturiert sind, zu handhaben.

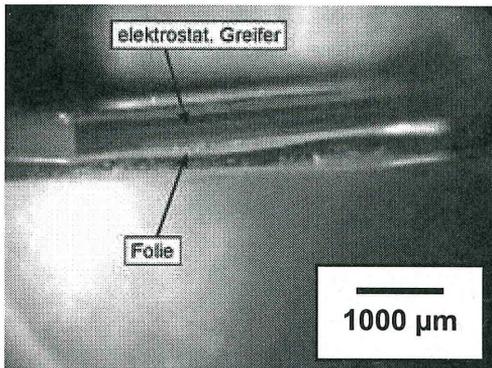


Bild 9 : aktiver elektrostatischer Foliengreifer

Eine neue Auftragstechnik ist der *Schablonendruck von dispergierten Schmelzklebstoffpulvern*. Hierzu werden Feinstfraktionen ($< 32 \mu\text{m}$) eines Schmelzklebstoffs so dispergiert, dass sich eine thixotrope druckbare Dispersion ergibt. Diese wird dann mit einem Sieb oder Schablonendrucker gedruckt, das Lösemittel (in der Regel werden wässrige Dispersionen verwendet) dampft ab und es bleibt eine exakt dosierte Menge Klebstoff mit hoher örtlicher Auflösung übrig. Siehe Bild 10. Entweder wird nun ein zusätzlicher „Sinterprozess“ angeschlossen oder es kann direkt gefügt werden. Wie auch beim Pulversintern mittels Laser kann der so aufgebraute Klebstoff nahezu beliebig lange gelagert werden, bevor er dem eigentlichen Fügeprozess zugeführt wird.

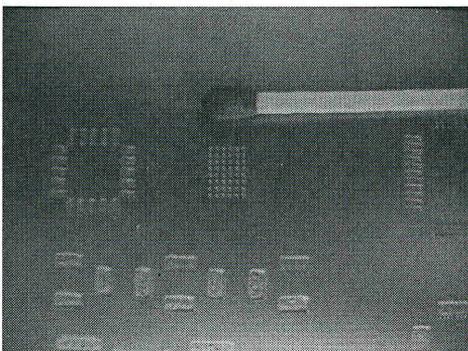


Bild 10 Teststrukturen von gedruckten Schmelzklebstoff-Dispersionen

5 Fügen Klebstoff-vorbeschichteter Bauteile

Für das Kleben mit Schmelzklebstoffen sind unterschiedliche Prozesse vorstellbar. Bei allen Prozessen werden zwei Fügepartner und ein Schmelzklebstoff sowie eine Temperatur benötigt, die oberhalb der Schmelztemperatur des Schmelzklebstoffs liegt. Der Schmelzklebstoff kann nun entweder vorappliziert auf einem oder beiden Bauteilen vorliegen oder aber beim Fügeprozess zugeführt werden (z. B. in Form einer Folie). Die Applikationsmethoden sind bereits beschrieben worden. Weiterhin kann die benötigte Wärme auf verschiedene Weise eingebracht werden. Entweder sind einer oder beide Fügepartner bereits auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur erwärmt oder die Temperatur wird während des Fügevorgangs zugeführt. Beim Fügen von mit Schmelzklebstoff beschichteten Bauteilen spielt die Reihenfolge der Prozessschritte neben den schon genannten Klebstoffeigenschaften wie Schmelztemperatur, Benetzung etc. eine wichtige Rolle. Im Folgenden werden drei Prozessvarianten vorgestellt, die umgesetzt und teilautomatisiert erprobt wurden.

1. Batchfähige Klebstoffapplikation

Das Beschichten des Substrates im Batch und das zeitlich nacheinander angeordnete Fügen mehrerer Bauteile durch gezieltes Aufheizen des Bauteils.

2. Batchfähige Fügeprozesse

Das serielle Beschichten der Bauteile mit anschließender serieller Montage auf ein Substrat. Die eigentliche Verbindung erfolgt anschließend im Batch durch ganzflächiges Aufheizen des Substrates.

3. Batchfähige Handhabung

Das serielle Beschichten der Bauteile mit anschließender Montage im Batch auf ein Substrat.

5.1 Montageanlage

Für das automatisierte Fügen steht ein kommerzieller Roboter der Firma Sysmelec (AUTOPLACE 411) zur Verfügung. Dieser mit einem Visionssystem ausgestattete kartesisch aufgebaute Roboter erreicht eine Wiederholgenauigkeit von $1 \mu\text{m}$. 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 Fügepartner, einem konfokalem Laserwegmesssensor und einem hochgenauem Aufspannplatz erweitert (Bild 11). Mit diesem Aufbau kann eine Montagegenauigkeit von $\pm 10 \mu\text{m}$ erreicht werden.

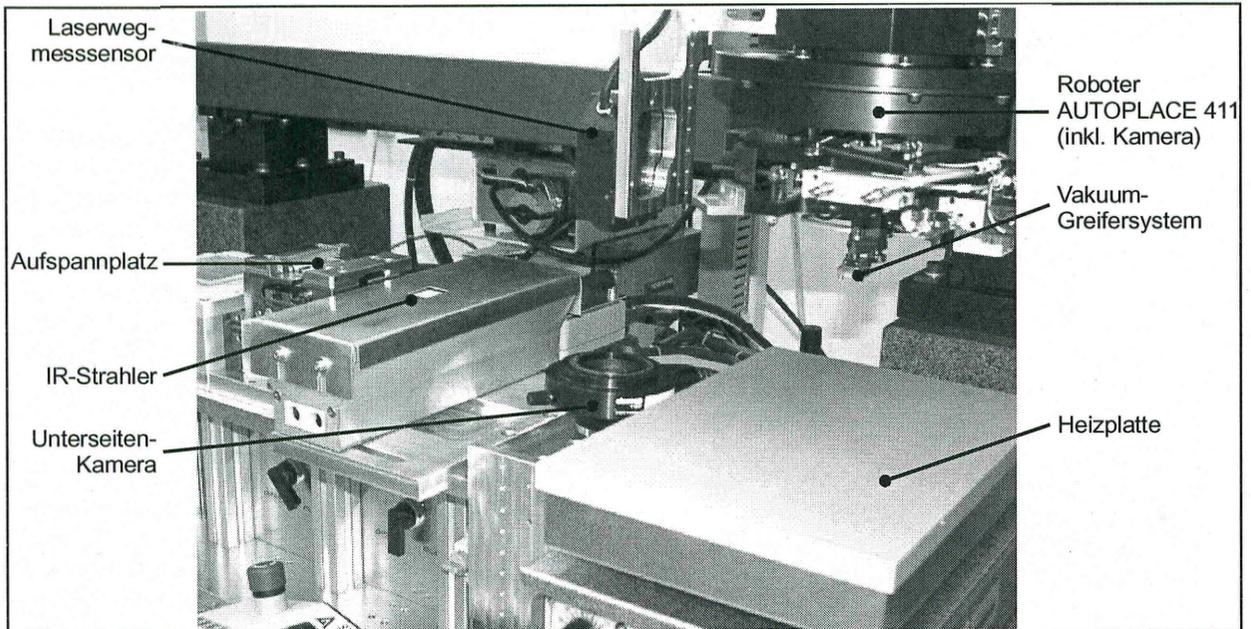


Bild 11 Montageanlage

5.2 Verschiedene Möglichkeiten der Klebstoffwärmerung

Die Vorbeschichtbarkeit ist ein Grund für die Batchfähigkeit von Schmelzklebstoffsystemen. Ein weiterer Grund ist aber die Tatsache, dass der eigentliche Klebvorgang (das Benetzen und physikalische Abbinden) durch genau definierte Temperaturerhöhung und -absenkung und damit verbundener Viskositätsänderung erfolgt. Weiterhin kann die Wärmezufuhr direkt oder indirekt, flächig oder lokal punktuell erfolgen. Die Einkopplung thermischer Energie kann über

- punktuelle Erwärmung des Substrats mittels Laser (1064 nm, 532 nm, 355 nm),
- punktuelle Erwärmung des Bauteils mittels Laser (1064 nm, 532 nm, 355 nm),
- flächiges Erwärmen mittels Heizplatte oder IR-Strahlung

erfolgen.

Bei der lokalen, hoch orts aufgelösten Erwärmung des Schmelzklebstoffs kann die Einkopplung der Laserstrahlung in den Schmelzklebstoff oder durch den Schmelzklebstoff hindurch in das Substrat erfolgen. Dies hängt von der Laserwellenlänge und den Absorptionseigenschaften des Schmelzklebstoffs ab.

Als Alternative zum Erwärmen mittels Laserstrahlung wird eine Präzisions-Heizplatte bzw. IR-Strahlung verwendet. Diese eignet sich besonders gut für das vollflächige Erwärmen geometrisch ausgedehnter Werkstücke (wie z.B. Wafer). Nachteilig ist allerdings die im Gegensatz zur Lasererwärmung längere Zeitdauer, die für das Abkühlen der Platte erforderlich ist.

5.3 Automatisierter Fügeprozess

Für eine Montageaufgabe wurden Substrate im Schablonendruck mit Schmelzklebstoffdispersion im Batch vorbeschichtet. Der Fügevorgang gliedert sich in 6 Teilschritte. Vor dem Fügeprozess wird das in einem Magazin befindliche Fügebauteil 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. 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 12 zeigt mit Hilfe der Montageanlage gefertigte mikrosystemtechnische Komponenten.

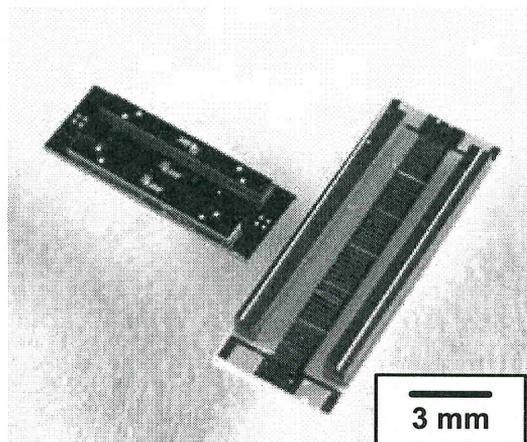


Bild 12 Aktorbauteile

Zur Steuerung dieses speziellen Fügeprozesses wurde die Steuerung des Roboters angepasst. Dazu wurde ein parametrisierbares Programm für diesen Prozess in die Robotersteuerung implementiert. Es erlaubt die Einstellung des Fügespaltes, die Variation der Nachheizzeit über dem IR-Strahler, die Kontrolle der maximal zulässigen Fügekraft und die Protokollierung der wichtigsten Prozessparameter. Außerdem wurden spezielle Greifsysteme ("passiver Temperaturgreifer") zur Montage der vorbeschichteten Bauteile entwickelt, siehe Bild 13.

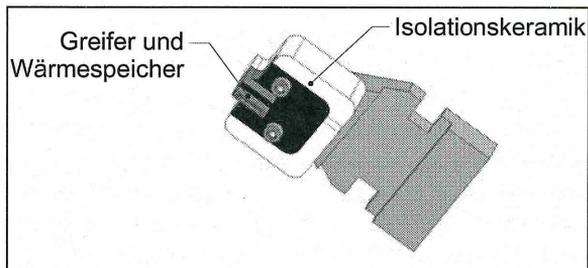


Bild 13 Passiver Temperaturgreifer

Der Temperaturgreifer besteht aus zwei Teilen. Zum einen aus einer Isolationskeramik, welche die Verlustwärme des Greifers minimieren soll, und zum anderen aus dem Wärmespeicher. Dieser Wärmespeicher ist aus Kupfer. Da Kupfer zwar eine gute Wärmekapazität, aber ebenso einen hohen Reflektionsindex und demzufolge einen schlechten Absorptionsgrad besitzt, wird die Unterseite des Greifers zusätzlich schwarz angefärbt. Durch Verwendung dieses Greifersystem wird nicht nur die nutzbare Prozesszeit zwischen Aufwärmen und Fügen erhöht, sondern zusätzlich kann dadurch die Aufheizzeit und die Bauteiltemperatur verringert werden.

6 Zusammenfassung

Die bisherigen Versuche zeigen das große Potenzial von Schmelzklebstoffen beim Kleben in der Mikrosystemtechnik auf. Ein deutlicher Vorteil dieses Klebstoffsystems liegt im Fügen kleinster Bauteilgeometrien ($\ll 200 \mu\text{m}$). Die dafür erforderlichen Minimalklebstoffmengen im μl -Bereich sind reproduzierbar herstellbar. Einen weiteren signifikanten Vorteil stellen die aufgezeigte Batchfähigkeit der Prozesse und die Endfestigkeit im Bereich einer Sekunde bei geeigneter Wärmeführung dar. Somit ist eine echte Alternative zu den bisher in der MST eingesetzten viskosen Klebstoffsystemen gefunden worden, die neben prozesstechnischen Vorteilen auch wirtschaftlich sehr interessant ist.

7 Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten und Ergebnisse wurden teilweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ unterstützt. Die Autoren möchten hierfür ausdrücklich danken.

8 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
- [5] Hesselbach, J., Graf, C.: A Tool to Estimate the Adhesive Forces between Microcomponents and Grippers or Magazines. In: Proc. of 10th International Conference on Precision Engineering, S. 619-623, Yokohama, 2001

