Reproduzierbares Auftragen elektrisch isotrop leitfähiger Klebstoffe im Sub-Nanoliter-Bereich bei kurzen Taktzeiten

Situation

Zur Kontaktierung sind elektrisch isotrop leitfähige Klebstoffe bei vielen Anwendungen bereits fest etabliert. Dabei hat sich das Dispensen als flexible Applikationstechnik bewährt, die auch bei unebenen Substraten oder bei der Nachbestückung gut einsetzbar ist. Zukünftige Anwendungen erfordern eine deutliche Absenkung des prozesssicher dispensbaren Klebstoffvolumens bzw. der Durchmesser der Klebstoffpunkte gegenüber dem heutigen Stand der Technik. Der nahe liegende Lösungsansatz, Dispenskapillaren mit kleineren Durchmessern einzusetzen, führt aus verschiedenen Gründen nicht unmittelbar zum Erfolg.

Projektziel

Das primäre Projektziel wurde von dem projektbegleitenden Ausschuss wie folgt definiert: Dispensen eines gefüllten, elektrisch leitfähigen Klebstoffs mit einer Prozesssicherheit von 4 σ (entsprechend maximal einem Fehlpunkt bei 10 000 Klebstoff-Punkten) und einem Durchmesser der Klebstoff-Punkte von ca. 180 µm bei einer Taktzeit < 1 s. Für ein konkretes Beispiel wählte der projektbegleitende Ausschuss ein Toleranzband für den Durchmesser von – 50 Prozent / + 20. Ferner war eine kostengünstige, einfach zu handhabende, zerstörungsfreie Wareneingangsprüfung für Klebstoffe zu konzipieren und prototypisch zu realisieren, die die Beurteilung der Klebstoffe bezüglich des Dispensens kleiner Volumina erlaubt.

Einflussfaktoren

Zunächst wurden die Ursachen der ungenügenden Reproduzierbarkeit beim Dispensen kleiner Volumina ermittelt, wobei folgende Einflussbereiche Beachtung fanden: Leitklebstoffe, Dispensertechnik und Dispenszubehör sowie Prozessführung.

Klebstoffe

Eine Recherche bei Klebstoff-Herstellern zeigte, dass potenziell geeignete Leitklebstoffe (100 Prozent der Füllstoffe < 20 µm, Inhomogenitäten im Klebstoff, z. B. Gasblasen oder füllstoffarme Bereiche < 10 µm usw.) kommerziell kaum erhältlich sind. Erst Klebstoff-Optimie-

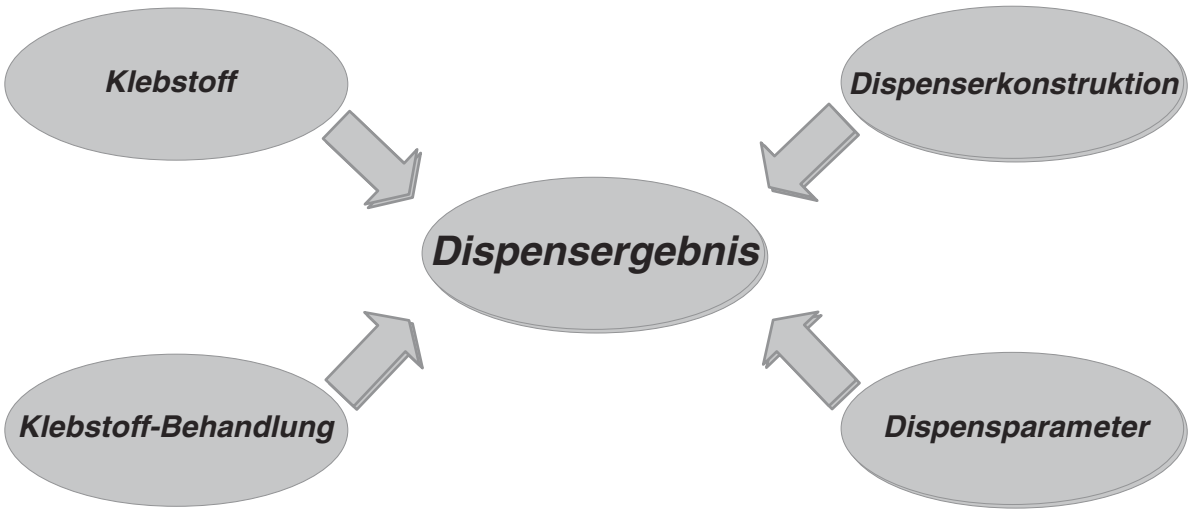


Abb. 1: Einflussgrößen bezüglich des Dispensergebnisses.

rungen durch alle drei Hersteller des projektbegleitenden Ausschusses resultierten schließlich in Klebstoffen, die annähernd den eingangs gestellten Anforderungen entsprachen.

Zerstörungsfreie Untersuchungen bestätigten im Wesentlichen die Befunde bezüglich der im Allgemeinen unzureichenden Ausgangsqualität der Leitklebstoffe.

Auftragstechnik

Bezüglich der Dispensertechnik standen mehrere kommerzielle Dispenser, Modifikationen und Eigenkonstruktionen zur Verfügung, die die Dispensprinzipien Druck-Zeit sowie vom »Positive Displacement«-Prinzip Schraube bzw. Schnecke und Kolben abdeckten. Anfangs wurde die gute Reproduzierbarkeit der Förderpulse der Druck-Zeit-Dispenser nachgewiesen (nicht die der diesbezüglich als eher unkritisch eingestuften »Positive Displacement«-Dispenser). Die Klebstoffe standen in handelsüblichen Kartuschen zur Verfügung, an die kommerzielle Luer-Lock-Dispenskapillaren angeschraubt wurden. Der gesamte Fließweg des Klebstoffs wurde untersucht, und das Fließen des Klebstoffs konnte in Echtzeit verfolgt werden. Bei den kommerziellen Kartuschen und Kapillaren ist zum Nanodispensen der Fließweg als strömungsmechanisch eher ungeeignet zu bewerten. Lösungsansätze wurden aufgezeigt. Die Kapillar-Röhrchen wiesen erhebliche Fertigungstoleranzen auf, sind jedoch im Allgemeinen frei von Graten und anderen Verunreinigungen. Die Rauheit R_A der Kapillaren-Innenflächen gibt möglicherweise zur Agglomeration von Füllstoff-Partikeln Anlass.

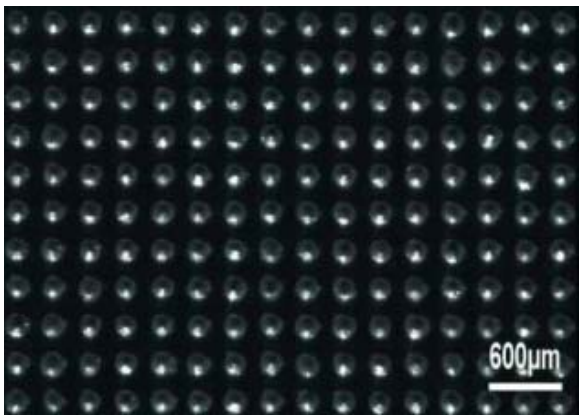


Abb. 2: Ausschnitt eines optimierten Dispensmusters.

Plasmapolymerbeschichtungen erzielten nicht den gewünschten Effekt der schlechteren Benetzung der Kapillaren-Stirnfläche durch den Klebstoff.

Klebstoffauftrag mittels Dispenser

Im Rahmen der Versuche wurden Dispensmuster mit bis zu 50 000 Punkten auf 4" Si-Wafer erzeugt. Es fand eine 100-Prozent-Kontrolle bezüglich Aussetzern statt. Bei fünf Messfeldern à 1 000 Punkten wurden zusätzlich die Punkt-Volumina vermessen. Ingesamt wurden Dispensmuster mit ca. vier Millionen Klebstoff-Punkten angefertigt und ausgewertet. Dispensmuster wurden erzeugt durch Variation des Klebstoffs, der Dispensertechnik oder der Prozessführung. Das Ziel war jeweils die Ermittlung der minimalen erreichbaren Punkt-Volumina unter Einhaltung der o. g. Prozesssicherheit und Toleranzgrenzen. Es wurde eine Katalogisierung von acht charakteristischen Fehlertypen vorgenommen, um Fehlertyphäufigkeitsanalysen und Ursache-Wirkungs-Korrelationen herzustellen. Bei der Variation der Prozessführung wurden anwendungsrelevante Einflussgrößen untersucht wie z. B. Lagerdauer des Klebstoffs bei Raumtemperatur, unterschiedlich lange Verfahrwege/ Wartezeiten oder verschieden große Nadelspalte.

Ergebnisse unter optimierten Bedingungen

Schließlich wurden mit einer optimalen Auswahl aus jedem der drei Einflussbereiche Klebstoff, Dispensertechnik und Prozessführung optimierte Dispensmuster hergestellt. Mit den optimierten Parametern wurden prozesssichere Punkt-Muster dispenst. Die dabei minimal erreichbaren Punktdurchmesser betrugen 170 – 179 µm (jeweils arithmetischer Mittelwert eines Dispensmusters à 50 000 Punkte). Einen Ausschnitt eines solchen Dispensmusters zeigt Abb. 2. Die elektrische Leitfähigkeit der erzeugten Punkte wurde stichprobenartig qualitativ nachgewiesen. Diese Punkt-Muster sind bezüglich des Klebstoff-Volumens um einen Faktor 3 besser als der Stand der Technik. Mittels einer »vorläufigen Prozessfähigkeitsanalyse« wurde anhand von

Qualitätsregelkarten, Qualitätsfähigkeitskennzahlen und Prozessfähigkeitsindizes die Stabilität des verwendeten Prozesses nachgewiesen.

Der erarbeitete Prozess fand seine erfolgreiche Anwendung bei einem Industrie-Demonstrator. Dies war die elektrisch leitfähige Präzisionsklebung bei einem Radarsensor für Kfz mit Bondpads von 0,15 x 0,36 mm², Abb. 3.

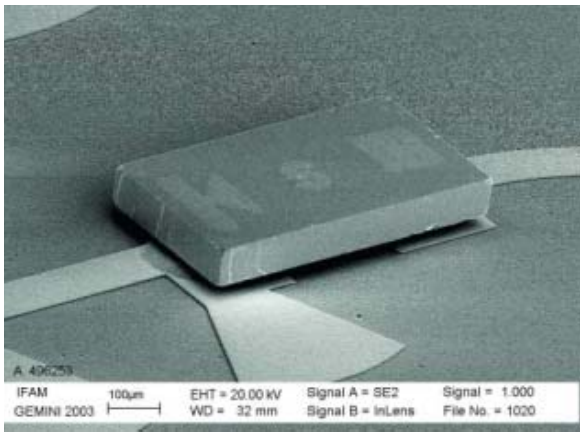


Abb. 3: Elektrisch leitfähige Präzisionsklebung.

Zerstörungsfreie Qualitätskontrolle

Die zerstörungsfreie Qualitätskontrolle durch das Fraunhofer-Institut IZFP beinhaltete zum einen die Charakterisierung abgesetzter Klebstoffpunkte mittels sich ergänzender Prüfmethoden. Zum anderen wurde eine Wareneingangsprüfung für Klebstoffe konzeptioniert und prototypisch realisiert, Abb. 4. Sie basierte auf einer Ultraschall-Laufzeitmessung und wurde mit Röntgenabsorptionsmessungen korreliert. Theoretische Abschätzungen gaben bezüglich der für Aussetzer und für zu kleine Punkte im Dispensprozess verantwortlichen Mikroblasen die Empfindlichkeit der Prüfung an. Sie kann etwa einen Aussetzer pro 2 000 Dispens-Punkten im Voraus detektieren. Die Prüfgeschwindigkeit beträgt unter 20 s pro Klebstoff-Kartusche, die Kosten einer diesbezüglichen kommerziellen Apparatur würden voraussichtlich um 20 000 Euro betragen.

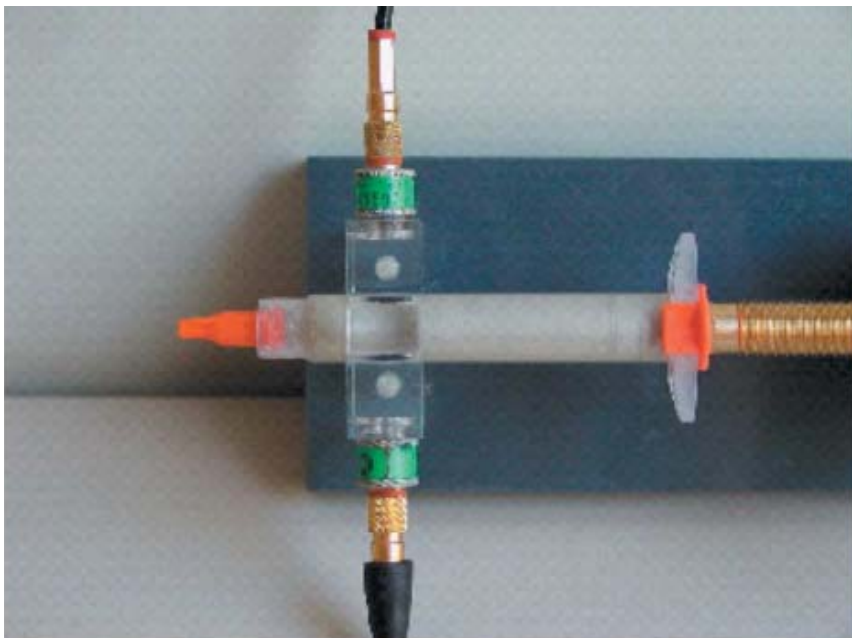


Abb. 4: Ultraschall-Laufzeitmessung als Qualitätskontrolle einer Klebstoff-Kartusche.

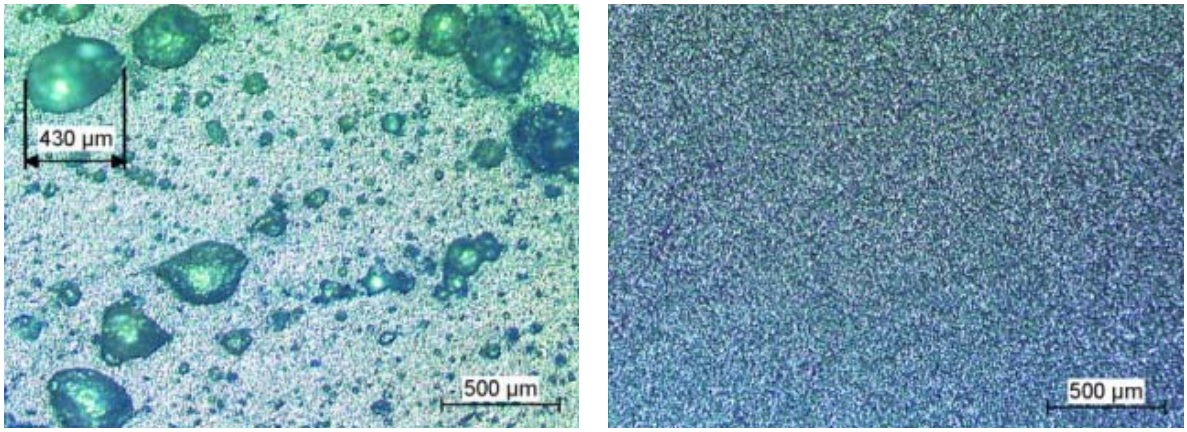


Abb. 5: (links) Kommerzieller Leitklebstoff vor und (rechts) nach Entgasung.

Ausblick

Von den untersuchten Einflussbereichen ist derzeit die Qualität kommerziell verfügbarer elektrisch isotrop leitfähiger Klebstoffe der limitierende Faktor beim reproduzierbaren Dispensen im Sub-Nanoliter-Bereich. In einer vom IFAM betreuten Dissertation im Hause BOSCH wurde deshalb u. a. ein Verfahren zur Entgasung elektrisch leitfähiger Klebstoffe entwickelt und zum Patent angemeldet, das die Qualität der Klebstoffe wesentlich verbessern kann, Abb. 5.

Ansprechpartner

Thomas Gesang
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 74
E-Mail ge@ifam.fraunhofer.de

Projektpartner

3p Industrieversand AG
DaimlerChrysler Aerospace AG
DaimlerChrysler AG
Elbau Elektronik Bauelemente GmbH
Gemac mbH
KSW Microtec GmbH
Lewicki Mikroelektronik GmbH
Miele & Cie. GmbH & Co.
Rafi GmbH & Co. KG
Robert Bosch GmbH
Scientific Precision Instruments
SMT & Hybrid GmbH
Temic GmbH
Cybertron GmbH
Martin GmbH
Microtronic GmbH
Panacol-Elosol GmbH
Polytec GmbH
W.C. Heraeus GmbH

Institute

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, IFAM, Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, IZFP, Saarbrücken