



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik



Gregor Hemken

Experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Schmelzklebstoffen in der Mikroelektronik am Beispiel des Flip-Chip-Klebens

Forschungsberichte des Instituts für
Füge- und Schweißtechnik

Band 69

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Schmelzklebstoffen in der Mikroelektronik am Beispiel des Flip-Chip-Klebens

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von: Gregor Hemken
aus (Geburtsort): Oldenburg (Oldb)

eingereicht am: 08.12.2022
mündliche Prüfung am: 15.05.2023

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger
Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

Forschungsberichte des Instituts für Füge- und Schweißtechnik

Band 69

Gregor Hemken

**Experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von
Schmelzklebstoffen in der Mikroelektronik am
Beispiel des Flip-Chip-Klebens**

Shaker Verlag
Düren 2023

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2023

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9316-2

ISSN 1614-4783

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs) der Technischen Universität Braunschweig. Ein Großteil der Untersuchungsergebnisse wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 516: Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme, Teilprojekt B8 „Klebstoffverarbeitung in Batch-Technologie“ sowie anwendungsorientiert in mehreren Industrieprojekten erarbeitet.

An dieser Stelle möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger, dem Leiter des ifs, nicht nur für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit, sondern auch für Gewährung der Freiräume sowie der Begutachtung meiner Dissertation meinen herzlichen Dank aussprechen.

Bei Frau Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz, der Leiterin des Instituts für Montagetechnik (match) der Leibniz Universität Hannover möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Rainer Tutsch sei für den Vorsitz im Prüfungsausschuss gedankt. Ein zusätzlicher Dank gilt dem ehemaligen Leiter der Abteilung Mikrofügen des ifs, Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm, für die fachliche und technische Unterstützung.

Darüber hinaus gilt hier allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes mein herzlicher Dank. Dies gilt besonders für Silke Ziehm, Kai Noack und Markus Köhler, die mich in jeder Phase der Arbeit stets unterstützt haben.

Oldenburg, im Mai 2023

Gregor Hemken

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
1.1 Kleben in der Mikrosystemtechnik	1
1.2 Motivation	3
1.3 Zielsetzung und experimentelle Vorgehensweise	5
2. Stand der Technik	7
2.1 Aufbau- und Verbindungstechnik für hybride Mikrosysteme.....	7
2.1.1 Hybrider Aufbau von Elektronikkomponenten	8
2.1.2 Gehäuse- und Montagetechnologien	10
2.1.3 Nackchipmontage	12
2.2 Fügeverfahren für das Flip-Chip-Bonden	14
2.2.1 Weichlöten	14
2.2.2 Eutektisches Löten (Anlegieren)	15
2.2.3 Anglasen	15
2.2.4 Flip-Chip-Kleben.....	16
2.2.4.1 Mikro-Klebstoffapplikationstechniken	16
2.2.4.2 Fügen mit Leitklebstoffen.....	20
2.3 Schmelzklebstoffe	23
2.3.1 Thermoplastische Schmelzklebstoffe	24
2.3.2 Temperaturabhängige Eigenschaften von Thermoplasten.....	25
2.3.3 Reaktive Schmelzklebstoffsysteme	28
2.3.4 Schmelzklebstoff-Dosiersysteme	29
2.3.5 Fügeprozess Schmelzkleben.....	30
3. Wissenschaftlich-Technische Problemstellung	35
3.1 Momentane Verfahrensgrenzen im Mikrokleben.....	35
3.2 Problemfelder in der Prozesstechnik des Flip-Chip-Klebens.....	36
3.3 Anforderungsprofil für den Einsatz von Schmelzklebstoffen in mikrotechnischen Fügeprozessen.....	37
3.3.1 Anforderungen aufgrund der Werkstoffkenndaten der Fügepartner.....	38
3.3.2 Anforderungen aufgrund der Fertigungsrandbedingungen	39
3.3.3 Anforderungen aufgrund der Klebstoffkennwerte.....	40
3.3.4 Anforderungsprofil Beanspruchung	41
3.4 Zusammenfassung	42

4. Mess- und Versuchseinrichtungen	43
4.1 Thermische Analyseformen.....	43
4.1.1 Dynamisch Mechanische Analyse (DMA).....	43
4.1.2 Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC).....	46
4.1.3 Rheologie.....	47
4.2 Mechanisch – technologische Charakterisierung	48
4.2.1 Herstellung von geklebten Si-Probekörpern.....	48
4.2.2 Druck-Scher-Prüfung an Si-Probekörpern	50
4.2.3 Herstellung von Flip-Chip-Probekörpern.....	51
4.2.4 Druck-Scher-Prüfung an Flip-Chip-Probekörpern	54
4.2.5 Bruchflächenanalyse.....	55
4.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Klebstoffen.....	56
4.4 Temperaturmessung in der Klebfuge	58
4.5 Volumenmessung von Mikro-Schmelzklebstoffstrukturen.....	58
4.6 Schablonendrucker	59
5. Untersuchung des Potentials von Schmelzklebstoffen in der Elektronikproduktion	60
5.1 Klebstoffscreening.....	60
5.1.1 Thermische Analyse von Schmelzklebstoffen.....	60
5.1.1.1 Schmelztemperatur und –viskosität	61
5.1.1.2 Verarbeitungstemperaturbereiche	61
5.1.1.3 Klassifizierung der Thermoplaste	62
5.1.1.4 Bestimmung des Verfestigungsverhaltens	64
5.1.1.5 Bestimmung thermomechanisches Verhalten.....	65
5.1.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften	67
5.1.3 Bewertung des Klebstoffscreenings sowie Schlussfolgerungen..	69
5.2 Herstellung von Mikro-Schmelzklebstoffgeometrien	72
5.2.1 Herstellung von Pulverfraktionen.....	72
5.2.2 Herstellung von Schmelzklebstoff-Filmen	75
5.2.3 Herstellung von Rundpartikeln.....	76
5.2.4 Bewertung der Herstellbarkeit von Mikro-Schmelzklebstoffgeometrien	78
5.3 Entwicklung von Applikationstechniken zur Schmelzklebstoffvorbeschichtung.....	78
5.3.1 Applikation von Schmelzklebstoffkugeln	78
5.3.2 Applikation von Schmelzklebstoff-Filmen.....	79
5.3.3 Applikation von Schmelzklebstoff-Pulverfraktionen	79
5.3.4 Applikation von Schmelzklebstoffdispersionen	82
5.3.4.1 Zusammensetzung von Schmelzklebstoffdispersionen	82

5.3.4.2	Charakterisierung der Schmelzklebstoffdispersionen.....	83
5.3.4.3	Einflussfaktoren beim Schablonendruck	88
5.3.4.4	Auswertungsmethodik Schablonendruck.....	90
5.3.4.5	Prozessoptimierung des Schablonendrucks von Schmelzklebstoff-Dispersionen	91
5.3.5	Bewertung der Applikationstechniken sowie Schlussfolgerungen	95
6.	Verifikation der bisherigen Erkenntnisse in einem Flip-Chip-Fügeprozess für RFID	97
6.1	Problemstellung beim Fügen von RFID-Systemen	97
6.2	Experimentelle Vorgehensweise	98
6.3	Entwicklung und Charakterisierung anisotrop leitfähiger Schmelzklebstoffe	98
6.3.1	Schmelzklebstoff-Auswahlmatrix für RFID-Applikationen	99
6.3.2	Formulierung von ACA-Schmelzklebstoff-Dispersionen	99
6.3.2.1	Leitpartikel	100
6.3.2.2	Mikro-Verkapselung von Ag-Leitpartikeln	101
6.3.2.3	Zusammensetzung der ACA-Schmelzklebstoffdispersionen	101
6.3.3	Rheologie der ACA-Schmelzklebstoffdispersionen	103
6.3.4	Leitfähigkeits-Messungen der Übergangswiderstände	104
6.4	Ergebnisse des Schablonendrucks von ACA-Schmelzklebstoffen	106
6.5	Entwicklung Flip-Chip-Montage mit Schmelzklebstoffen	107
6.5.1	Allgemeine Prozessbeschreibung RFID-Fertigung	109
6.5.2	Wärmestromführung in der Flip-Chip-Montage	110
6.5.2.1	Wärmeübertragung im Fügeprozess	110
6.5.2.2	Anordnung der Schmelzklebstoffdepots im Wärmestrom....	111
6.5.2.3	Abkühlen der Fügeverbindung	112
6.5.2.4	Schlussfolgerungen zur Wärmestromführung	114
6.5.3	Entwicklung einer angepassten Prozessführung.....	115
6.5.4	Fügeparameteroptimierung der Flip-Chip-Montage.....	116
6.6	Funktionstest an Smart Label-Komponenten	119
6.6.1	Testaufbau: Mifare.....	120
6.6.2	Messaufbau: I-Code SLI.....	120
6.6.3	Messung der Übergangswiderstände an RFID-Testaufbauten ..	121
6.6.4	Lesereichweiten-Messung	122
6.6.5	Zuverlässigkeitstests	124
6.6.5.1	Klimalagerung.....	125
6.6.5.2	Schliffbilder	127

6.7 Fazit des Einsatzes von modifizierten Schmelzklebstoffen in der Direktmontage	128
7. Zusammenfassung und Ausblick	130
7.1 Zusammenfassung	130
7.2 Ausblick.....	133
8. Literaturverzeichnis.....	136
9. Anhang.....	142
9.1 Versuchsplan Taguchi	142
9.2 Abkürzungsverzeichnis Schmelzklebstoffsysteme	143
10. Eigene Veröffentlichungen	144