

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen	xiii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung und Technik	4
2.1 Tribologische Grundlagen	4
2.1.1 Tribotechnische Systeme	4
2.1.2 Aufbau technischer Oberflächen	5
2.1.3 Reibung	6
2.1.4 Verschleiß	7
2.2 Ultraschallbonden	9
2.2.1 Bondmaschine und -prozess	10
2.2.2 Eindimensionales Ultraschallbonden	13
2.2.3 Mehrdimensionales Ultraschallbonden	14
2.2.4 Herstellung von Leistungshalbleitermodulen	17
2.3 Werkzeuge für das Ultraschallbonden	19
2.3.1 Beschaffenheit des Werkzeugs	20
2.3.2 Werkzeuggeometrie und -varianten	22
2.3.3 Werkzeughmaterial und -herstellung	23
2.3.4 Kräfte am Bondwerkzeug	24
2.4 Finite-Elemente-Simulation	25
2.4.1 Nichtlineare FEM mit Reibung und großen Verformungen	27
2.4.2 FE-Simulation mittels Hochleistungsrechner	28
3 Verschleißanalyse von Werkzeugen beim Kupferdrahtbonden	29
3.1 Verschleiß von Bondwerkzeugen aus Wolframcarbid	30
3.1.1 Allgemeines Verschleißverhalten von Wolframcarbid-Cobalt	31
3.1.2 Ursachen für Werkzeugverschleiß beim US-Drahtbonden	31
3.1.3 Verschleißmechanismen beim Kupfer-Dickdrahtbonden	33
3.1.4 Verschleißerscheinungsform und Folgen für die Scherfestigkeit	34
3.2 Einfluss von Bondprozess und Werkzeuggeometrie auf den Verschleiß	38
3.3 Schlussfolgerungen für die Modellierung	42
4 Modellbildung für den Bondprozess mittels FEM	44
4.1 Modellierung des Bondprozesses	46
4.1.1 Drahtvordeformation	46
4.1.2 Entfestigung des Drahts	47
4.1.3 Werkzeugamplitude	49
4.2 Modellierung des Verbindungsaufbaus zwischen Draht und Substrat	50
4.2.1 Oxidschichtreinigung	51

4.2.2	Anbindung zwischen Draht und Substrat	52
4.3	Modellierung von Werkzeugverschleiß	54
4.3.1	Verschleißberechnung für die finiten Elemente	55
4.3.2	Ermittlung des Verschleißkoeffizienten	57
4.4	Programmtechnische Realisierung des Modells	57
4.5	Einfluss der Modellparameter	59
4.5.1	Diskretisierung der finiten Elemente	59
4.5.2	Berechnungsschrittweite	60
4.6	Berechnungsdauer des FE-Modells	61
5	Modellvalidierung	63
5.1	Validierung des Anbindungsmodells	63
5.2	Validierung des Verschleißmodells	66
5.2.1	Bestimmung des Verschleißvolumens des Werkzeugs	66
5.2.2	Bestimmung der Reibarbeit im Werkzeug/Draht-Kontakt	68
5.2.3	Vergleich zwischen Messung und Simulation	68
6	Modellbasierte Analyse	70
6.1	Analyse des gegenwärtigen Bondwerkzeugs	71
6.1.1	Reibhysterese beim Ultraschallbonds	71
6.1.2	Reibarbeit als Ursache für die Verschleißerscheinung	73
6.1.3	Folgen von Werkzeugverschleiß	76
6.2	Parameterstudien der Werkzeuggeometrie	78
6.2.1	Statistische Versuchsplanung	78
6.2.2	Eingrenzung des Parameterraums	80
6.2.3	Effekte und Wechselwirkungen	84
6.2.4	Werkzeugverschleiß bei verschiedenen Öffnungswinkeln	88
7	Werkzeuge für das mehrdimensionale US-Bonden	91
7.1	Vorgehen bei der Werkzeugentwicklung	92
7.2	Kontaktbestimmende Werkzeugauslegung	93
7.2.1	Kontaktbestimmende Anforderungen an das Bondwerkzeug	94
7.2.2	Modellaufbau	94
7.2.3	Ergebnisse der kontaktbestimmenden Werkzeugauslegung	95
7.3	Dynamische Werkzeugauslegung	96
7.3.1	Dynamische Anforderungen an das Bondwerkzeug	96
7.3.2	Modellaufbau und Vorgehen bei der dynamischen Auslegung	97
7.3.3	Ergebnisse der dynamischen Werkzeugauslegung	98
7.4	Werkzeugerprobung	99
7.4.1	Vermessung des Schwingsystems	101
7.4.2	Einfluss der Werkzeugtrajektorie auf die Scherfestigkeit	102
7.4.3	Einfluss der Prozessparameter auf die Scherfestigkeit	104
7.4.4	Werkzeugverschleiß	107
7.5	Schlussfolgerung für den Einsatz in der Produktionslinie	108
8	Zusammenfassung und Ausblick	109
8.1	Zusammenfassung	109
8.2	Ausblick	112

A	Anhang	123
A.1	Materialdaten	123
A.2	Approximierte Polynomfunktion für den Reinigungsgrad	123
A.3	Konfiguration der Simulationsrechner	123
A.4	Parameterräume der statistischen Versuchspläne	124
A.5	Werkstoffauswahl	126
A.6	Schaft/Werkzeug-Konfigurationen	126
A.7	Demonstrator für das mehrdimensionale Ultraschallbonden	127