

Lebensdauerprognosen für gelötete Bauteile mit Zinn-Blei und Zinn-Silber-Kupfer Lot für Tempera- turwechselprüfungen

von Diplom-Ingenieur
Manfred Spraul
aus Saarbrücken

von der Fakultät IV – Elektrotechnik und Informatik
der technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Clemens Gühmann
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr. E.h. H. Reichl
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. C. Boit
Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. B. Michel

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 26. Januar 2007

Berlin 2007

D 83

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Danksagung	5
1. Einleitung	11
2. Modelle zur Lebensdauervorhersage von Lötstellen	15
2.1. Verformung von Metallen	15
2.1.1. Elastische Verformung	15
2.1.2. Plastische Verformung	17
2.1.3. Kriechverformung	18
2.2. Schädigungsphänomene in Metallen	21
2.2.1. Mechanismen der Schädigung durch Ermüdung	21
2.2.2. Mechanismen der Schädigung durch Kriechen	25
2.2.3. Wechselwirkungen von Ermüdung und Kriechen	26
2.3. Bewertungskriterien für Lebensdauermodelle	27
2.4. Typische Belastungsvorgänge von Lötstellen	29
2.5. Modelle zur Beschreibung von Temperaturwechselbelastungen	32
2.5.1. Überblick über Modelle zur Lebensdauerprognose von Lötstellen	33
2.5.2. Werkstoffphysikalische Betrachtungen zur Temperaturwechselbelastung	37
2.5.3. Bestimmung des Lebensdauermodells	37
3. Versuche zur Bestimmung der Temperaturwechselfestigkeit von Lötstellen	41
3.1. Anforderungen an die Testaufbauten	41
3.2. Testaufbau 1: Keramikbauteil auf organischer Leiterplatte	43
3.3. Testaufbau 2: Flip-Chip auf LTCC Substrat	48
3.4. Durchführung der Experimente	52

4. Durchführung der Beanspruchungsanalyse mittels Finite-Elemente Simulation	59
4.1. Grundlagen der Finiten Elemente Methode	60
4.2. Vorstellung der verwendeten Werkstoffmodelle	61
4.3. Beschreibung der FEM Modelle der Testaufbauten	65
4.3.1. Bestimmung der Lötstellengeometrie mittels „Surface Evolver“	65
4.3.2. Beschreibung des FEM Modells für den Keramik-Testaufbau	68
4.3.3. Beschreibung des FEM Modells für den Flip-Chip-Testaufbau	75
4.4. Bestimmung der Beanspruchung einer Lötstelle	80
5. Ergebnisse und Diskussion	85
5.1. Bestimmung der Lebensdauer aus den experimentellen Daten	85
5.1.1. Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung der Ausfallursache	86
5.1.2. Festlegung des Ausfallkriteriums für eine Einzellötstelle	93
5.1.3. Methode zur Bestimmung der mittleren Lebensdauer aus Einzelausfällen	100
5.1.4. Vorstellung der experimentellen Ergebnisse	103
5.2. Analyse der experimentell bestimmten Lebensdauern	106
5.2.1. Vergleich der Lebensdauer unter unterschiedlichen Prüfbedingungen	107
5.2.2. Vergleich der Lebensdauer von Lötstellen mit Zinn-Silber-Kupfer und Zinn-Blei Lot.	109
5.3. Bestimmung der Beanspruchungen der Lötstellen	112
5.4. Ableitung der Modelle zur Lebensdauerprognose	115
5.4.1. Ableitung des Lebensdauermodells für Zinn-Blei Lot	116
5.4.2. Ableitung des Lebensdauermodells für Zinn-Silber-Kupfer Lot	125
5.5. Diskussion der Gültigkeitsbereiche der Modelle	129
5.6. Ausblick	131

6. Literaturverzeichnis	133
Anhang A: Vergleich von Energie- und Kriechdehnungsansatz	139
Anhang B: Abkürzungsverzeichnis der Testaufbauten und Prüfbedingungen	147
Anhang C: Mittlere Lebensdauer der Lötstellen für den Keramik-Testaufbau	149
Anhang D: Mittlere Lebensdauer der Lötstellen für den Flip-Chip-Testaufbau	153
Anhang E: Ergebnisse der Beanspruchungsanalyse	155