

JEITA

電子情報技術産業協会技術レポート

Technical Report of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

JEITA ETR - 7024

**鉛フリーはんだ接合部の信頼性に対する
ボイド許容基準の標準化に関する調査報告
Research Report on Effect of Voids on Reliability
of Lead-Free Solder Joints and Standard of Evaluation Criteria**

2007年6月発行

作成

実装技術標準化専門委員会

Technical Standardization Subcommittee on Surface Mount Technology

横浜国立大学 于研究室

Yokohama National University Yu Laboratory

発行

社団法人 電子情報技術産業協会

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

概 要

電子デバイスは、コンピュータや携帯電話だけではなく、自動車など様々な分野で使用されている。製品の小型化などに伴い、電子デバイスの小型化・高集積化が進められてきて、BGA(Ball Grid Array)やCSP(Chip Scale Package)などのパッケージが主流になってきている。その電子デバイスのはんだ接合部では、チップと回路基板の熱線膨張差に起因する熱疲労破壊が問題になっている。そのため、これまで、SnPb共晶はんだ接合部の熱疲労強度の評価が行われてきた。

近年では、2006年に欧州で施行されたRoHS指令に代表されるように、世界的な環境保全の動向に伴いPbの使用が規制されるようになり、SnPb共晶はんだに代わって、SnAgCuやSnZnに代表されるような鉛フリーはんだが新たに開発され、一般的に使用されるようになった。しかし、はんだの鉛フリー化に伴い、鉛フリーはんだ接合部内にボイドが発生するという問題が生じた。ボイド発生の原因としては、リフロー過程・フラックス・はんだ材などが挙げられており、多くの企業がボイドの発生を抑制するための研究を行ってきたが、完全に抑えることは困難な状況である。そうした状況下で、鉛フリーはんだを使用した製品が市場に出回っている。

そこで、製品の信頼性を保証するためにも、各種電子デバイスにおける鉛フリーはんだ接合部の疲労信頼性に対するボイドの許容基準を明確にすることが求められている。

本論文では、まず電子デバイスの表面実装技術の紹介及び実装部品の信頼性評価、鉛フリーはんだの必要性等を紹介し、次に鉛フリーはんだ接合部に発生したボイドが疲労寿命に与える影響を解明した。

ボイドが鉛フリーはんだ接合部の疲労寿命に与える影響を評価するために、まず、機械的せん断疲労試験を用いて、ボイドを有する鉛フリーはんだ接合部(SnAgCu・SnZnBi)の疲労寿命を測定し、ボイドが疲労寿命に与える影響を解明すると共に、き裂進展プロセスの観察を行った。しかし、試験結果にはバラツキが生じるという点や、あらゆるタイプ(位置・サイズなど)のボイドの影響を試験だけで評価するのは困難である。そのため、有限要素法解析を用いて、ボイドを有するはんだ接合部の疲労寿命を定量的に評価する手法の確立を目指した。そして、汎用解析ソフトABAQUSによる自動き裂進展解析を確立した。そして、その手法を用いることで、様々な電子部品(BGA, CSP, LGA, チップ部品)のはんだ接合部におけるボイドの影響を評価し、ボイドの許容基準の解明を行った。

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 電子デバイス部品と鉛フリーはんだの現状	5
2.1 電子デバイス部品の実装技術と信頼性評価の現状	6
2.1.1 表面実装技術と電子デバイス部品	6
2.1.2 表面実装におけるはんだ接合部の強度・信頼性問題	7
2.1.3 はんだ接合部の疲労強度評価則	8
2.1.4 はんだ接合部の疲労強度評価(機械的疲労試験)	9
2.2 鉛フリーはんだの必要性	13
2.2.1 鉛含有はんだの規制	14
2.2.2 鉛フリーはんだへの要求	15
2.2.3 代表的な鉛フリーはんだ	16
2.3 鉛フリーはんだの適用における機械的信頼性問題	16
第3章 鉛フリーはんだ接合部のき裂発生寿命に及ぼすボイドの影響	17
3.1 機械的負荷解析におけるボイドの影響	18
3.1.1 解析モデルと負荷条件	19
3.1.2 解析結果	21
3.2 熱サイクル負荷解析におけるボイドの影響	22
3.2.1 解析モデルと負荷条件	23
3.2.2 解析結果	23
3.3 ボイドの発生形態の影響	24
3.4 機械的せん断疲労試験によるボイドの影響検証	26
3.4.1 SnPbAg/SnZnBi CSP 試験片(1)の機械的疲労試験	26
3.4.2 Sn-9Zn CSP 試験片(2)の機械的疲労試験	29
3.5 疲労寿命の評価	32
第4章 機械的せん断疲労試験によるボイドの影響評価	33
4.1 機械的せん断疲労試験	35
4.2 はんだ接合部の観察及び完全破壊の定義	35
4.3 SnAgCu 系はんだ接合部におけるボイドの影響評価	36

4.3.1	CSP 試験片の概要	36
4.3.2	機械的せん断疲労試験の結果	37
4.4	SnZn 系はんだ接合部におけるボイドの影響評価	40
4.4.1	CSP 試験片の概要	41
4.4.2	機械的せん断疲労試験の結果 ~ SnAgCu と SnZnBi の疲労強度の比較 ~	42
4.4.3	機械的せん断疲労試験の結果 ~ SnZnBi におけるボイドの影響評価 ~	43
4.5	鉛フリーはんだ接合部におけるボイドの影響比較	45
第5章	機械的負荷解析によるボイドの影響検証	47
5.1	き裂進展解析におけるはんだ接合部の疲労寿命算出	49
5.2	機械的せん断負荷解析 ~ 手動によるき裂進展解析 ~	49
5.2.1	解析モデルと負荷条件	49
5.2.2	き裂進展解析	53
5.2.3	解析モデル作成の検討 ~ 非線形ひずみを正確に測定するための解析モデル ~	55
5.2.4	解析モデル作成の検討 ~ 解析結果と機械的せん断疲労試験のき裂進展の比較 ~	58
5.3	機械的せん断負荷解析 ~ 自動によるき裂進展解析 ~	63
5.3.1	ABAQUS による自動き裂進展解析	63
5.3.2	自動き裂進展解析による BGA はんだ接合部の信頼性評価	78
第6章	熱サイクル負荷解析によるボイドの影響検証	83
6.1	BGA 部品におけるボイドの影響評価	85
6.1.1	解析モデルと負荷条件	85
6.1.2	各はんだ接合部におけるボイドの簡易的な影響評価	86
6.1.3	コーナー部のはんだ接合部におけるボイドの影響評価	89
6.2	LGA 部品におけるボイドの影響評価 ~ 高い円柱形はんだ接合部 ~	91
6.2.1	解析モデルと負荷条件	91
6.2.2	解析結果	92
6.3	LGA 部品におけるボイドの影響評価 ~ 低い円柱形はんだ接合部 ~	96
6.3.1	解析モデルと負荷条件	96
6.3.2	解析結果	97
6.4	LGA 部品におけるボイドの影響評価 ~ 低い四角柱形はんだ接合部 ~	99
6.4.1	解析モデルと負荷条件	99
6.4.2	解析結果	101

JEITA ETR-7024

6.5 チップ部品におけるボイドの影響評価 ~電極下のはんだ接合部~	102
6.5.1 解析モデルと負荷条件	103
6.5.2 解析結果	106
6.6 チップ部品におけるボイドの影響評価 ~Filet 部のはんだ接合部~	109
6.6.1 解析モデルと負荷条件	109
6.6.2 解析結果	111
6.7 各種電子部品におけるボイドの許容基準評価	120
6.7.1 BGA パッケージ	120
6.7.2 LGA パッケージ	122
6.7.3 チップ部品	123
6.7.4 各部品のボイドの影響比較	125
第7章 結 言	127
7.1 得られた成果	128
7.2 当初の目標に照らした達成状況とその要因	128
7.3 今後の課題	128
7.4 論文に対するまとめ	128
参考文献	130
解 説	132

第 1 章

緒 言

最近の半導体産業の発展は目覚ましく、その進歩は著しい成果を上げている。それに伴ってあらゆる産業の分野に電子デバイス機器が普及し、これらの機器の使用に際して、その信頼性を保証することが重要な課題となってきた。

電子デバイス、電子部品の強度信頼性に関する問題は、その製造工程によって分類することができる。大まかに電子デバイスの製造工程は、単結晶の成長工程、薄膜、微量不純物を添付するウェーハ加工工程、チップ内の素子を個々に電気的に分離する等のデバイス加工工程、プラスチックやセラミックスでチップを封止するパッケージング工程、プリント回路基板に半導体デバイスをはんだ付けする表面実装工程、プリント回路基板をユニット化して組み込む機器実装工程からなる。これらいずれの工程においての強度信頼性の特徴及び問題点を以下に示す。

- ・主な負荷状態が熱負荷であること。
- ・異種材料の組合せ構造であること。
- ・小型かつ大集積であること。
- ・部材の微小化に伴い、結晶粒度、不純物介在、マイクロポイド、表面マイクロクラック、酸化膜、加工変質層などの材料強度に及ぼす影響が大きいので、標準試験片を用いたバルク材の強度が必ずしも微細材料の強度とは限らないこと。つまり実構造による疲労試験を行わなければならないこと。
- ・実構造を用いて強度評価を行うため、微細化された接合部の力学的特性の評価を有限要素解析に頼らざるを得ない。

次に、その強度信頼性に対して以下のような手法を挙げることができる。

- ・実構造の電子デバイス部品を用いて熱サイクル疲労試験を行う。
- ・熱サイクル疲労試験の代わりに機械的疲労試験を行う。しかし数百ミクロンのマイクロ構造の疲労試験を行うためには、0.1 ミクロンの変位制御可能な疲労試験機が必要とされている。
- ・疲労強度試験の条件に合わせて電子デバイス部品の応力・ひずみ解析を行い、その力学的挙動を正確に把握することによって、解析で得られた力学的パラメータを用いて疲労強度試験の結果を評価する。

本研究では信頼性評価において特に問題となっている表面実装部品のはんだ接合部の熱疲労強度評価について述べる。電子デバイスをプリント回路基板に実装する場合、はんだ継手を介して接合される。はんだ継手の特色は、はんだの融点が低いことにある。例えば、63%Sn-37%Pb の共晶はんだの融点は183 である。このため、はんだ付け(リフロー)工程において、パッケージ及び基板等の母材に大きな損傷を与えることなく接合が可能となり、安価な樹脂を用いたパッケージの使用が可能となった。しかし、その反面はんだ接合部は融点が低いために常温でも顕著なクリープ特性を示す。さらに、温度変化によるパッケージと基板の線膨張率の差が、構造強度上最も軟らかいはんだ接合部に熱応力を生じさせ、ひずみを集中させる傾向にある。その結果、熱負荷が繰り返されると、金属疲労現象としてき裂が発生し、徐々に進展して設計によっては最終的の電氣的破断状態になってしまうこのため、はんだ接合部の