429 有機基板への超音波フリップチップ実装技術の開発

Development of the Ultrasonic Flip Chip Interconnection Technology for Printed Circuit Board

○小林 弘(富士通) 小八重健二(富士通)
久保田 崇(富士通) 尾崎 行雄(富士通)

Hiroshi KOBAYASHI, Fujitsu Limited, 36 Kita-owaribe, Nagano

Kenji KOBAE, Fujitsu Limited

Takashi KUBOTA, Fujitsu Limited

Yukio OZAKI, Fujitsu Limited

1. 緒言

近年、半導体パッケージの開発は、搭載製品の軽薄短小に伴って、高性能化・小型化へと進んでいる。そこで当社は、1 パッケージの中に複数のチップを組み込む、MCP (Multi Chip Package)の開発に取り組んでいる。

MCPの小型化に有効であるフリップチップは重要な要素技術であり、その実装方式の中で超音波実装は、圧接実装と比べて、①接合時間が短い、②低温・低荷重実装が可能である、③金属接合を用いているため接合抵抗が小さい、という特徴をもち、急ピッチで開発が行われている。

夏秋らは、シリコン基板に対する超音波フリップチップ実装方式を調査し、高信頼性の実装方式¹⁾²⁾を完成させた。本稿では、シリコン基板(COC)と有機基板(COB)へ実装した場合を比較し、技術的な問題点提起と解決策の提案を行う。

2. ステージ温度と樹脂硬化温度の影響

フリップチップでは、回路面保護と接着強度向上を目的に、チップと基板間にアンダーフィル樹脂を形成する。

シリコンチップと有機基板等の接合材料が異なる場合、アンダーフィル樹脂を硬化するまでの温度差によって、膨張差が発生する。超音波フリップチップ実装では、樹脂が硬化するまでの接合はバンプのみで保持しているため、プロセス間の温度変化は、特に重要な要因である。

ステージ温度と樹脂硬化温度の差(以下 ΔT)と接合の関係の明確化を目的に、超音波実装後にアンダーフィル樹脂を形成するプロセスにて、実装評価を行った。評価部材をTable 1、評価条件をTable 2に示す。なお、本稿では振幅は総てPeak to Peak値で表記する。

Table 1 Evaluation material.

Pad Number	Chip	PCB	Bump
300	Silicon 6×6mm	Glass epoxy	Au 50 μm φ

Table 2 Evaluation condition.

Load (N/chip)	Amplitude (μm)	Temperature(°C)		US Time (sec)
		Tool	Stage	
60	2.0	100	50	0.4

Fig. 2 Defective generation rate.

判定は、導通の有無による良否判定とした。Fig. 1に ΔT と、導通不良の関係を示す。 ΔT の増加と共にNGが増加するが、 $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ で接合不良が発生しない事が明確となった。

本稿では以降の評価は、 ΔT による導通不良抑制のため、実装温度と樹脂硬化温度の差を 30°C にコントロールして行った。(ステージ温度 70°C 、樹脂硬化温度 100°C)

3. 超音波振動の影響

3. 1 基板材料の接合への影響

有機基板への超音波フリップチップ実装の、現状把握を目的に、実装評価を行った。事前評価により、超音波実装に影響する要因は振幅が大きく、荷重、時間等の要因の影響は小さかった。よって振幅をパラメータとして $1.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ を評価した。判定は断面による接合部分の観察で行い、結果をFig. 2に示す。バンプの根元部分、またはシリコン部に亀裂が発生するクラックモード、接合部に亀裂が発生するオープンモードの不具合を確認した。Fig. 3は各モードの断面写真である。

COCはクラックモードが発生しないのに対し、COBは各振幅で発生した。主な発生箇所はコーナー部である。またCOBのオープンモードは $1.7 \mu\text{m}$ 以下で発生した。基板材料の違いにより、接合状態が異なる事が明らかとなった。

3. 2 実装時の振動状態

このようなCOBとCOCの違いは、実装時の振動状態が異なると推測し、Laser Doppler Vibro meter(以下LDV)を用いて振動を可視化した。結果は振動エネルギーを定量化するために、速度のrms値(以下 V_{rms})を用いて判断する事とした。Fig. 4に実装時のチップと基板の振動状態を示す。

Fig. 2 Flip chip bonding result.

Fig. 3 Defective mode.

Fig. 4 Defective generation rate.

(b) vicinity bump stress. (c) corner bump stress.

Fig. 5 COB Simulation.

Table 3 Crack generation rate, amplitude, V_{rms} .

Cramp	Crack rate [%]	V_{rms} [m/s]	
		Chip	PCB
Cramp	0.0%	0.135	0.014
None	2.1%	0.175	0.045

COC では基板はほとんど振動しないのに対し、COB では振幅 $2.0 \mu m$ の時に約 2 倍の $0.045 m/s$ の振動が発生している。よって、COB ではチップに加えられた振動が基板に伝達し、この振動エネルギーは、基板を振動させる事に消費されている事が明らかとなった。さらに、チップと基板の相対振幅の差は、COC が $0.085 m/s$ に対して COB は $0.013 m/s$ であり、COB の方が大きい事が明らかとなった。

また、COB の基板振動測定ポイントを、チップ端面から外側に約 $2.0 mm$ 離れた部分とすると、 V_{rms} は $0.01 m/s$ となり、基板の振動はステージと基板の滑りではなく、実装部分の変形であることが判明した。

3. 3 シミュレーションによる解析

ここまでの結果から、超音波実装時の基板変形がバンプに加える応力をシミュレーションで解析した。Fig. 5 に結果を示す。基板が変形した場合の、辺中央とコーナーのバンプ応力分布を 8 段カラーで示している。

これらの結果より、基板変形が発生した時の応力は、コーナーのバンプに集中する傾向があり、実験結果とシミュレーションが一致した。よって有機基板の変形による相対振幅増加が、クラック発生の原因である事が判明した。

3. 4 振動対策

クラックの解決方法として、パラメータ調整や有機基板材質の変更、更にはチップのパッド構成の変更等様々な方法が考えられるが、今回は基板変形の抑制を簡易的かつ効果的に実施するため、有機基板のおさえ方法の変更という手法を取った。

具体的には、一般的に行われている吸着に加え、横方向の振動を抑制する、メカニカルクランプを導入してこの対策とした。

基板をおさえる個所は、振動抑制に有効であると考えられる垂直方向に、チップ端から約 $5 mm$ の個所とし、超音波ツールの振幅は $2 \mu m$ を選択した。Table 3 にクラックの発生率と V_{rms} を示す。

メカニカルクランプを導入する事で、クラックモードの

Fig. 6 Result with Mechanical clamp.

Table 4 confidence TEST results.

Name	Condition		Result
T/C	-55°C~125°C	500cyc.	Pass
PCT	121±3°C/85±3%RH	672±4h	Pass
HTS	150°C	504h	Pass
*Pre-condition	30°C/80%/5days+250°C5second reflow +30°C/80%/4days+250°C5second reflow		

発生率を 0% に抑制する効果があり、 V_{rms} 、相対振幅を比較しても変形抑制効果がある事が判明した。

3. 5 メカニカルクランプのダメージへの効果確認

メカニカルクランプを用いた歩留まり検証を、改めて行った。超音波の振幅をパラメータとして、 $1.0 \sim 2.5 \mu m$ を評価した。Fig. 6 に結果を示す。

メカニカルクランプを用いる事により、クラックモードの発生しない領域を確保した。

解決のためにはこの変形を抑えることが重要であり、振幅に対してクラックモードおよびオープンモード発生率 0% のマージン確保が可能となった。

4. 信頼性の確認

3. 5 で確認したサンプルに対する信頼性試験を実施した。モールド形成後のプレコンディショニング*として吸湿リフローを行い、各試験に投入した。結果を Table 4 に示す。

信頼性試験は量産の判断指標であり、十分な信頼度を得られる事が明らかになった。

5. 結言

本稿において、我々は超音波フリップチップ実装における問題点を提示してこれらを解決した。また有機基板に対する超音波フリップチップ実装プロセスを提唱し、以下の事を解明した。

(1) 超音波フリップチップにおける最大の課題は、チップに加える超音波エネルギーを効率的にバンプと有機基板間に伝達させる事であり、有機基板特有の問題である基板変形によるクラックは、この変形を抑制する事で解決可能である事が明らかになった。

(2) メカニカルクランプは超音波エネルギーによる基板変形抑制に十分な効果があり、その方向は超音波の振動に対して垂直方向にする事が重要である。

(3) 実装温度と樹脂硬化温度の差 ΔT をコントロールした樹脂開発、およびプロセス開発が必要である。

参考文献

- 1) 安藤 史彦他：「CoC 対応の超音波フリップチップ実装技術」 JIEP MES2002 シンポジウム論文集 p47-50
- 2) 夏秋 昌典他：「ファインピッチ対応のフリップチップ実装技術」 Mate2003 論文集 p17-20