鉛フリー半導体パッケージのはんだ付け実装における ウィスカ評価

小林 晶子*, 戸井 恵子*, 梶原 隆志**, 竹内 誠***, 高橋 邦明***

Whisker Test of Lead-Free Semiconductor Packages in Lead-Free Soldering

Akiko KOBAYASHI*, Keiko TOI*, Takashi KAJIHARA**, Makoto TAKEUCHI*** and Kuniaki TAKAHASHI***

*エスベック株式会社横浜R&Dセンター (〒224-0053 神奈川県横浜市都筑区池辺町4206)

**エスベックテストセンター株式会社豊田試験所 (〒471-0844 愛知県豊田市聖心町3-44-1)

***エスベックテストセンター株式会社横浜試験所 (〒224-0053 神奈川県横浜市都筑区池辺町4206)

*Yokohama R&D Center, ESPEC CORP. (4206 Ikonobe-cho, Tsuduki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 224-0053)

**Toyota Test Center, ESPEC TEST CENTER CORP. (3-44-1 Seishin-cho, Toyota-shi, Aichi 471-0844)

***Yokohama Test Center, ESPEC TEST CENTER CORP. (4206 Ikonobe-cho, Tsuduki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 224-0053)

Abstract

We evaluated the semiconductor mounting substrate and investigated the whisker's generations and factors by experimenting different environmental conditions. On the lead consisted of Cu base/Sn plating, the result of the condition 110°C/85% & 120°C/85% which were produced by Air-HAST (HAST with air) generates Sn whiskers faster than other high temperature and humidity tests. We concluded that the factors in the whisker generation are high temperatures, high moisture and oxygen.

Key Words: Sn/Tin Whisker, Lead-Free Solder, QFP, Soldering, Environmental Testing

1. 緒 言

電子部品の鉛フリー化によって、電子部品のリード間で発生するウィスカによるショート故障が懸念されている。錫ウィスカは、主に下記の5種類の環境条件で発生・成長することが知られている¹⁾。

室温で成長するウィスカ

温度サイクルで成長するウィスカ

酸化・腐食環境で成長するウィスカ

外圧下で成長するウィスカ

エレクトロマイグレーションで成長するウィスカ

このうち本稿では、温湿度がかかわる、室温、温度サイクル、酸化・腐食環境で成長するウィスカに焦点を当てた。

電子部品のウィスカ評価としては、室温試験4000時間、高温高湿試験2000時間、温度サイクル試験2000サイクルなどが実施されている²⁾が、長時間を要するため、短時間で評価可能な試験方法が求められている。また、めっき、はんだ、部品、リードフレームなど、各単体でのウィスカ評価報告は多いが、半導体パッケージ実装基板での評価はあまり報告されていない。そこで、半導体パッケージ(QFP)実装基板において各種環境試験を実施した。

環境試験は、室温試験、温度サイクル試験(TC)、高温高湿試験、高度加速寿命試験(HAST: Highly-Accelerated Temperature and Humidity Stress Test)や、さらに、酸化の要因

検討のため、空気分圧を変えた特殊な試験を実施した。

試験後は、QFPリード部のマイクロスコープ観察、SEM (Scanning Electron Microscope)観察およびEPMA (Electron Probe Micro Analyzer)分析から、リードのはんだ付け部の外観変化とその原因について解析を行い、短時間でウィスカ発生を評価可能な試験方法の検討を行った。

2. 評価方法

2.1 半導体パッケージ実装基板

評価基板は、QFPパッケージをSn-3.0Ag-0.5Cuのはんだペーストを用いてリフローはんだ付けした基板を用いた。Table 1に評価基板の詳細、Fig. 1に外観写真を示す。QFPリードフレームの組成は、母材はCu、めっきはSnとNi-Pd-Auの2種類を用いた(Table 2)。

2.2 環境試験および観察

Table 3に実施した環境試験条件を示す。環境試験は室温試験(17.9~27.5°C 12~68%rh, 平均: 24.8°C 40%rh)、温度サイクル試験(保持時間15分)、高温高湿試験、高度加速寿命試験(HAST)を実施した。高温高湿試験については、一般的な試験装置(Table 3 ⑦)と、減圧することで空気分圧をほぼ0kPa(圧力単位: パスカル)とした特殊仕様の試験装置(Table 3 ⑧)を用いた。また、通常空気のないほぼ水蒸気だけの環境の、標準のHAST試験(Table 3 ⑫)と、HAST槽内に空気を残す、特殊仕様のHAST槽を用いた試

験（以下 Air-HAST と呼ぶ）(Table 3 ⑩)の両方を実施した。Fig. 2に HAST と Air-HAST の試験開始時の温度・湿度・圧力のプロファイルを示す。これらから、空気中の酸素によ

Table 1. Evaluation board

Package	0.5 mm pitch, 176 pin, QFP
PWB specifications	FR-4 46 mm×46 mm×0.8 mm
Solder alloy	Sn-3.0Ag-0.5Cu
Peak reflow temperature	240°C

Fig. 1 Evaluation board

Table 2. Lead frame

Base metal	Plating	Plating thickness
Cu	Sn	10 μm
Cu	Ni-Pd-Au	Ni: 1.17 μm Pd: 0.03 μm Au: Flash

Table 3. Test conditions

	Test method	Test conditions	Apparatus
①	Ambient test	17.9~27.5°C/12~68%rh (Average: 24.8°C/40%rh)	
②	Temperature cycling test	0°C/60°C; 15 minute-soak	
③	Temperature cycling test	-40°C/85°C; 15 minute-soak	
④	Temperature cycling test	-40°C/125°C; 15 minute-soak	
⑤	High Temperature/ Humidity test	55°C/85%rh	
⑥	High Temperature/ Humidity test	60°C/93%rh	
⑦	High Temperature/ Humidity test	85°C/85%rh	
⑧	High Temperature/ Humidity test	85°C/85%rh APP*=0 kPa in estimate	Special
⑨	High Temperature/ Humidity test	85°C/95%rh	
⑩	Air-HAST	110°C/85% rh, APP=128 kPa in theory	Special
⑪	Air-HAST	120°C/85% rh, APP=132 kPa in theory	Special
⑫	HAST	110°C/85% rh, APP=0 kPa in estimate	Standard
⑬	HAST	120°C/75% rh, APP=0 kPa in estimate	Standard
⑭	HAST	120°C/85% rh, APP=0 kPa in estimate	Standard

* APP: Air Partial Pressure

(a) Temperature profile of HAST

(b) Temperature profile of Air-HAST

(c) Relative humidity profile of HAST

(d) Relative humidity profile of Air-HAST

(e) Absolute pressure profile of HAST

(f) Absolute pressure profile of Air-HAST

Fig. 2 Temperature, relative humidity, and absolute pressure profiles of HAST and Air-HAST after starting up (110°C/85%rh)

同じサンプルを再び試験に投入した。

3. 評価結果および考察

3.1 評価結果

試験後の外観変化として、針状ウィスカ、ノジュール、棘（とげ）状異物の3つの生成物が確認された(Fig. 3)。Table 4, 5にSnめっきリードおよびNi-Pd-Auめっきリード

の環境試験後の観察結果を示す。両めっきリードともに、85°C/85%rhより高温高湿の環境において、リード先端から棘状異物の発生を確認した。また、Snめっきリードは、高温高湿試験⑥60°C/93%rh～⑨85°C/95%rhおよびAir-HAST⑩110°C/85%rh⑪120°C/85%rhで、ウィスカの発生を確認した。Ni-Pd-Auめっきリードは、高温高湿試験⑤55°C/85%rh～⑦85°C/85%rhで、ウィスカの発生を確認し

Fig. 3 Appearance of QFP lead after environmental testing (SEM)

Table 4. Test results (Sn Plating)

	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	4 months (2880 h)	6 months (4320 h)	8 months (5760 h)			
①	Ambient	24.8°C/40%rh		None	None	None	None			
	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	3000 cyc					
②	TC	0°C/60°C		None	None					
③	TC	−40°C/85°C		None	None					
④	TC	−40°C/125°C		None	None					
	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	100 h	200 h	500 h	800 h	1000 h	3000 h
⑤	High/T & H	55°C/85%rh		None	None	None	None	None	None	None
⑥	High/T & H	60°C/93%rh	Filament whisker	None	—	—	—	—	—	$L=10\text{ }\mu\text{m}$
⑦	High/T & H	85°C/85%rh	Filament whisker	None	None	※ None	—	$L=40\text{ }\mu\text{m}$	$L=40\text{ }\mu\text{m}$	
			Thorn-like protrusions	None	Protrusions	Protrusions	—	Protrusions	Protrusions	
⑧	High/T & H	85°C/85%rh (APP=0 kPa)	Filament whisker	None	—	—	—	—	$L=15\text{ }\mu\text{m}$	
			Thorn-like protrusions	None	—	—	—	—	Protrusions	
⑨	High/T & H	85°C/95%rh	Filament whisker and Nodule	None	—	—	$L=15\text{ }\mu\text{m}$			
			Thorn-like protrusions	None	—	—	Protrusions			
⑩	Air-HAST	110°C/85%rh (APP=128 kPa)	Filament whisker and Nodule	None	None	$L=30\text{ }\mu\text{m}$				
			Thorn-like protrusions	None	Protrusions	Protrusions				
⑪	Air-HAST	120°C/85%rh (APP=132 kPa)	Filament whisker and Nodule	None	$L=25\text{ }\mu\text{m}$					
			Thorn-like protrusions	None	Protrusions					
⑫	HAST	110°C/85%rh	Thorn-like protrusions	None	Protrusions	Protrusions				
⑬	HAST	120°C/75%rh	Thorn-like protrusions	None	—	—	Protrusions			
⑭	HAST	120°C/85%rh	Thorn-like protrusions	None	Protrusions					

APP: Air Partial Pressure —: Unadministered Length: Max whisker length
N=352-pin (2-board) ※: N=176-pin (1-board)

Table 5. Test results (Ni-Pd-Au Plating)

	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	4 months (2880 h)	6 months (4320 h)	8 months (5760 h)			
①	Ambient	24.8°C/40%rh		None	None	None	None			
	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	3000 cyc					
②	TC	0°C/60°C		None	None					
③	TC	−40°C/85°C		None	None					
④	TC	−40°C/125°C		None	None					
	Test method	Test conditions	Appearance of QFP lead	Initial	100 h	200 h	500 h	800 h	1000 h	3000 h
⑤	High/T & H	55°C/85%rh	Filament whisker and Nodule	None	—	—	—	—	—	$L=15\text{ }\mu\text{m}$
⑥	High/T & H	60°C/93%rh	Filament whisker and Nodule	None	—	—	—	—	—	$L=50\text{ }\mu\text{m}$
			Thorn-like protrusions	None	—	—	—	—	—	Protrusions
⑦	High/T & H	85°C/85%rh	Filament whisker	None	None	※ None	—	$L=30\text{ }\mu\text{m}$	$L=30\text{ }\mu\text{m}$	
			Thorn-like protrusions	None	Protrusions	Protrusions	—	Protrusions	Protrusions	
⑧	High/T & H	85°C/85%rh (APP=0 kPa)	Thorn-like protrusions	None	—	—	—	—	Protrusions	
⑨	High/T & H	85°C/95%rh		None	—	—	None			
⑩	Air-HAST	110°C/85%rh (APP=128 kPa)	Thorn-like protrusions	None	Protrusions	Protrusions				
⑪	Air-HAST	120°C/85%rh (APP=132 kPa)	Thorn-like protrusions	None	Protrusions					
⑫	HAST	110°C/85%rh	Thorn-like protrusions	None	Protrusions	※ Protrusions				
⑬	HAST	120°C/75%rh	Thorn-like protrusions	None	—	—	Protrusions			
⑭	HAST	120°C/85%rh	Thorn-like protrusions	None	Protrusions					

APP: Air Partial Pressure -: Unadministered L: Max whisker length
N=704-pin (4-board) ※: N=176-pin (1-board)

た。両めっきリードともに、室温試験8ヵ月(5760 h)および温度サイクル試験3000 cycで、ウィスカの発生はなかった。

3.2 ウィスカ発生・成長要因

Table 4より、高温高湿の環境において、温度・湿度が高いほどウィスカが発生・成長しやすい傾向があった。

また、Table 4より、Snめっきリードでは、⑤ 55°C/85%rh/3000 hでウィスカが発生しなかったのに対し、Air-HAST ⑩ 110°C/85%rh/200 hや⑪ 120°C/85%rh/100 hでは短時間でウィスカが発生したことから、これらのAir-HASTの試験条件は短時間でウィスカ評価できる可能性がある。また、HAST ⑫ 110°C/85%rh/200 hではウィスカは発生しなかったことから、Air-HAST ⑩ 110°C/85%rhとHAST ⑫ 110°C/85%rhの違いを調査するため、ウィスカの主な発生箇所である、リード先端の断面の元素分析を行った(Fig. 4)。元素分析結果では、Air-HAST (Fig. 4(a))の方がHAST (Fig. 4(b))より、リード先端のSnの酸化が顕著であった。Snは、酸化によって体積膨張や歪みが生じ、圧縮応力を発生する¹⁾。したがって、Air-HAST環境に存在する酸素が、ウィ

スカ発生に寄与したと考えられる。特にリード先端において酸化が進行しているのは、リード先端は母材のCuが露出しており、CuとSnの間でガルバニック電池を形成するためと考えられる。

3.3 ウィスカの分析

Fig. 5にAir-HAST ⑩ 110°C/85%rh試験後のSnめっきリード先端の観察結果を示す。リード先端から約30 μm の針状ウィスカが発生した。Sn元素分析結果では、このウィスカの主成分はSnであった(Fig. 5(c))。また、Fig. 6に⑦ 85°C/85%rh試験後のNi-Pd-Auめっきリードの観察結果を示す。リード側面から約20 μm の針状ウィスカが発生した。Sn元素分析結果では、このウィスカの主成分もSnであった(Fig. 6(c))。Ni-Pd-AuめっきにはSnが含まれないことから、このウィスカの主成分は、はんだ中のSnと考えられる。

3.4 棘状異物の分析

棘状異物は主にリード先端に発生していた。Snめっきリード上の棘状異物の元素分析結果をFig. 7に示す。さら

(a) Air-HAST 110° C / 85%rh / 200h APP=128kPa, Sn plating

(b) HAST 110° C / 85%rh / 200h APP=0kPa, Sn plating

Fig. 4 Analyzed toe of QFP lead (EPMA)

(a) Microscope

(b) SEM

(c) EPMA (Sn)

Fig. 5 Observed whisker (Sn Plating, Air-HAST 110°C/85%rh/200 h APP=128 kPa)

に、分析精度を高めるため、棘状異物をカーボンテープに貼り、元素分析を行った結果をFig. 8に示す。棘状異物からはCuやC, O, Brが検出され、Snは検出されなかった。Cuはリードフレーム母材、C, O, Brはフラックスに含まれるこ

とから、棘状異物はリード端部に露出した銅とフラックスによって形成された塩と推察され、単結晶のウィスカではなかった。棘状異物はウィスカと形状が類似しているため、観察の際に注意が必要である。

Fig. 6 Observed whisker (Ni-Pd-Au Plating, 85°C/85%rh/1000 h)

Fig. 7 Analyzed thorn-like protrusions (Sn Plating, HAST 120°C/85%rh/200 h)

Fig. 8 Analyzed thorn-like protrusions (Ni-Pd-Au Plating, HAST 120°C/75%rh/500 h)

4. 結 言

短時間でウィスカ評価可能な試験方法を調査するため、半導体パッケージ実装基板において、室温試験、温度サイクル試験、高温高湿試験、高度加速寿命試験(HAST)や、さらに、酸化の要因検討のため、空気分圧を変えた特殊な

試験を実施し、次の結論を得た。

- (1) 酸化・腐食環境で成長するウィスカの発生・成長要因として、高温、高湿および酸素が関与していると考えられる。
- (2) Air-HAST (HAST 槽内に空気を残す、特殊仕様の HAST 槽を用いた試験) 110°C/85%rh および

120°C/85%rhは、酸化・腐食環境で成長するウィスカを短時間で評価できる可能性がある。

- (3) めっきにSnが含まれない半導体パッケージ実装基板でもSnウィスカが発生したことから、今回発生したウィスカは、はんだウィスカと考えられる。
- (4) 高温高湿環境でリード先端に発生した棘状異物は、リード端部に露出した銅とフラックスによって形成された塩と推察され、単結晶のウィスカではないが、ウィスカと形状が類似しているため、観察の際に注意が必要である。

(2009.9.9-受理)

文 献

- 1) 菅沼克昭：“Snウィスカ発生メカニズム理解の現状と抑制技術”，エレクトロニクス実装学会講演大会講演論文集，Vol. **21**, March, pp. 19–20, 2007年3月
- 2) IEC60068-2-82, “Environmental Testing—Part 2-82: Tests—Test Tx: Whisker Test Methods for Electronic and Electric Components”
- 3) 小林晶子，戸井恵子，梶原隆志，竹内 誠，高橋邦明：“鉛フリー半導体パッケージのはんだ付け実装におけるウィスカ評価”，エレクトロニクス実装学会講演大会講演論文集，Vol. **23**, March, pp. 165–166, 2009年3月