Sn-Ag-Bi-In はんだを用いた BGA 接合部の継手特性と界面組織

山口 敦史*, 山下 裕平*, 古澤 彰男*, 西田 一人*, 北条 隆志**,
十河 陽介***, 三輪 綾子***, 廣瀬 明夫***, 小林 紘二郎***

Soldering Properties and Interfacial Microstructure of BGA Solder Joints with Sn-Ag-Bi-In Solder

Atsushi YAMAGUCHI*, Yuhei YAMASHITA*, Akio FURUSAWA*, Kazuto NISHIDA*, Takashi HOJO**,
Yosuke SOGO***, Ayako MIWA***, Akio HIROSE*** and Kojiro F. KOBAYASHI***

* 松下電器産業株式会社 (〒571-8502 大阪府門真市松葉町2-7)

** 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1) / 現・関西電力株式会社

*** 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

* Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. (2-7 Matsuba-cho, Kadoma-shi, Osaka 571-8502)

** Graduate School of Engineering, Osaka University (2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871) / Presently at Kansai Electric Power Co. Inc.

*** Graduate School of Engineering, Osaka University (2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871)

概要 Sn-Ag-Cu はんだよりも融点が高い Sn-Ag-Bi-In はんだの BGA 接合部の継手特性について、Sn-Zn-Bi はんだの継手特性と比較し、その接合部の界面組織と機械的特性の関係について調べ、その適正リフロープロファイルについて検討した。その結果、BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを、Cu/Ni/Au 基板電極に実装する場合、Sn-8Zn-3Bi はんだは、503 K 以上で実装すると高強度を示し、Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだではより低い 493 K で高強度を示し、低温で実装する鉛フリーはんだとして Sn-Ag-Bi-In 系はんだが有利であることがわかった。また、BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを、Cu/Ni/Au 基板電極に Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだを用いて実装する場合、483～493 K で実装すると層状の Ni-Sn 層が得られ、503 K 以上で実装すると塊状の (Cu, Ni)₆Sn₅ 相を不均一に形成し、低い継手強度を示した。このことから BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを Cu/Ni/Au 基板電極に Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだを用いて実装する場合の適正リフロープロファイルは、リフローピーク温度範囲が 483～493 K で実装する必要がある、リフローピーク温度が 493 K を超える場合でも冷却速度を 2 K/s 程度と遅くすることで継手強度の低下を防ぐことができることを示した。

Abstract

In this paper we report on an investigation into appropriate reflow profiles for BGA joints using Sn-Ag-Bi-In solder, which has a lower melting point than Sn-Ag-Cu solder. We examine the relationship between the interfacial microstructure and mechanical characteristics of the solder joints compared with Sn-Zn-Bi solder. When soldering Sn-3Ag-0.5Cu BGA balls on Cu/Ni/Au pads, Sn-8Zn-3Bi has high joint strength at 503 K or higher and Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In has strength at a lower temperature of 493 K. This implies that Sn-Ag-Bi-In type solder is more appropriate for soldering at lower temperatures. A stratified Ni-Sn layer formed on the joint interface when the Sn-3Ag-0.5Cu BGA ball was soldered on a Cu/Ni/Au pad using Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In at 483–493 K. At 503 K or higher, blocks of (Cu, Ni)₆Sn₅ phases formed unevenly on the joint interface and lower strength resulted. These results suggest the appropriate reflow thermal profile of the Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In solder joints with the Sn-3Ag-0.5Cu BGA ball on the Cu/Ni/Au pads should be in the range of 483–493 K. Even if the reflow peak temperature is over 493 K, slowing down the cooling speed by 2 K/s can prevent a decrease in joint strength.

Key Words: Lead-Free Solder, Tin-Silver-Bismuth-Indium Solder, Reflow Soldering, Joint Strength, Interfacial Reaction Layer

1. 緒言

電子機器の進展に大きく貢献してきた鉛含有はんだ実装は、電子回路板の埋立廃棄時に酸性雨等により溶出する鉛の有害性から鉛フリーはんだ実装へと過渡期を迎えている^{1)～3)}。

EUにおけるWEEE/RoHS指令では、電気機器への鉛使用を2006年7月からの禁止を宣言している。鉛フリーはんだを製品に導入するには、基板、電子部品から工法、設備開発まで電子回路板ものづくりに関する全要素を見直す必要

があり、さらに実装性、信頼性評価方法・基準の設定および実施も含めて見直す必要がある。そのため、材料プロセス開発と設備投資・部品・基板開発を同時に進めると、困難さや膨大なコストが発生する。そこで、われわれは、鉛フリー化の実現のためには、現行のリフロー実装プロセス、設備、製造条件を用いることを優先している。そのため、

- ① 現行はんだと同等以上の接合品質
 - ② 作業性が現行はんだに近いこと（特にリフロー温度）
 - ③ 現行の設備で対応できること
- を目標とし、その開発を進めてきた。

Table 1. Basic physical of Sn–Ag–Bi–In solder

	Alloy composition (mass%)							Melting temperature (K)		Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
	Sn	Ag	Bi	In	Pb	Cu	Zn	Solidus	Liquidus		
Sn–Ag–Bi–In	Bal.	3.5	0.5	3				463	487	5.1	33
	Bal.	3.5	0.5	8				443	479	6.5	30
Sn–Zn–Bi	Bal.		3				8	460	470	7.1	23
Sn–Ag–Cu	Bal.	3				0.5		492	490	3.6	38
Sn–Pb	Bal.				37			456	456	4.3	32

リフロープロセスにおけるはんだ材料としては、接合特性に優れた Sn–3Ag–0.5Cu はんだを使用することを標準としているが、全製品の鉛フリー化を実現するためには、その融点の高さのため、製品によっては、部品耐熱温度の向上やリフロー設備の新規導入が不可欠となる。そこで、より低融点のはんだ材料が求められている。そのため、Sn–3Ag–0.5Cu はんだが使用できない製品に適用するはんだとして、低融点 Sn–Ag 系はんだである Sn–Ag–Bi–In 系はんだと Sn–Zn–Bi はんだの検討を行ってきた^{4)~11)}。

そこで本稿では、Sn–Ag–Bi–In はんだの BGA 接合部の継手特性について、Sn–Zn–Bi はんだの継手特性と比較し、その接合部の界面組織と機械的特性について調べ、その適正リフロープロファイルについて検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

Sn–Ag–Bi–In 系はんだを用いた BGA 接合部の界面組織と機械的特性の関係を調査するために、Sn–3.5Ag–0.5Bi–3In はんだペーストおよび Sn–3.5Ag–0.5Bi–8In はんだペースト（ハリマ化成製）を用い、比較材として Sn–8Zn–3Bi はんだペースト（ハリマ化成製）を用いた。はんだボールは Sn–3Ag–0.5Cu はんだ（千住金属工業製）を用いた。なお、はんだボールの直径は 700 μm とし、基板は FR-4 基板を用い、基板表面処理として Cu 耐熱ブリフラックス処理および無電解 Ni(5 μm)/Au(0.05 μm) めっきを施した。Table 1 に各はんだの特性および Fig. 1 に BGA 接合部の模式図を示す。

2.2 ソルダリング条件

Table 2 に、はんだペーストおよびはんだボールとリフローピーク温度の組み合わせを示す。リフローピーク温度

Fig. 1 General view of BGA solder ball joint

については基板上での温度のばらつきを考慮して、各はんだペーストの融点+10 K 以上とするために、Sn–3.5Ag–0.5Bi–3In はんだペーストを用いた場合のリフローピーク温度は 503 K、Sn–3.5Ag–0.5Bi–8In はんだペーストおよび Sn–8Zn–3Bi はんだペーストを用いた Cu 電極での継手は 503 K、Ni/Au めっき処理をした電極の継手は 493 K、503 K と変化させ、リフローソルダリングを行った。なお、それぞれのはんだが融点以上の温度で 20 s 以上保持するとともに、プリヒート温度を 403~423 K とし、60±20 s 保持とした。また、リフロー雰囲気は大気中とした。

また、Sn–3.5Ag–0.5Bi–8In はんだペーストを用いた場合にリフロープロファイルの違いが継手特性に与える影響を検討するため、リフローピーク温度、ピーク温度での保持時間、冷却速度を変化させて実装した。リフローピーク温度は 478~513 K の間で 5 K 間隔に変化させた。保持時間は 0 s および 20 s と変化させた。このとき、融点から 490 K までにおける冷却速度はおおよそ 5 K/s で、徐冷した試料では 2 K/s とした。Fig. 2 に冷却速度 5 K/s および 2 K/s の場合、および保持した場合のリフロープロファイルを示す。

Table 2. Soldering condition

Sample name	Solder paste	Solder ball	Pad plating	Reflow peak temperature
3In–Cu–503 3In–Ni–503	Sn–3.5Ag–0.5Bi–3In	Sn–3Ag–0.5Cu	Cu Cu/Ni/Au Cu	503 K
8In–Cu–503 8In–Ni–493 8In–Ni–503	Sn–3.5Ag–0.5Bi–8In		Cu/Ni/Au	493 K
Zn–Cu–503 Zn–Ni–493 Zn–Ni–503	Sn–8Zn–3Bi		Cu	503 K
			Cu/Ni/Au	493 K
				503 K

(a) Cooling rate of 5K/s

(b) Cooling rate of 2K/s

(c) Cooling rate of 5K/s after holding at peak temperature for 20s

(d) Cooling rate of 2K/s after holding at peak temperature for 20s

Fig. 2 Reflow profile

2.3 高温放置試験

長時間使用環境を想定した継手特性評価を行うために、ソルダリング後のBGA試料について高温放置試験を行った。このとき保持温度は398Kとし、保持時間は0.9Ms, 1.8Ms, 3.6Msとした。

2.4 接合部組織観察および反応相の同定

試料を基板に対して垂直方向にファインカッターを用いて切断し、エメリー紙(#2000)を用いて研磨し、その後ダイヤモンドペースト(1 μ m)を用いてパフ研磨することで接合部断面観察試料を作製した。作製した接合部断面をEPMA, 走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Micro-

Fig. 3 Hot bump pull test

Analyzer S-800 日立製) を用いて組織観察および反応層の同定を行った。また、継手接合部の詳細な界面組織観察には、収束イオンビーム加工装置 (FIB: Focus Ion Beam, 日立製作所製, FB-2000A) により接合部断面を切り出し、走査型イオン顕微鏡 (SIM: Scanning Ion Micrograph) を用いて観察を行った。

2.5 接合部強度試験

継手接合部の機械的特性評価として、BGA 加熱式バンブル (HBP: Hot Bump Pull) 試験を行った。試験は、万能型ボンドテスター (DAGE 社製, DAGE-SERIES-4000P) を用いて、はんだ継手の破断荷重を測定した。なお、測定個数はいずれの試験においても10点計測し、平均値を破断荷重とした。引き上げ速度は0.3mm/sとし、加熱バンブル試験における最高加熱温度は約573Kとした。Fig. 3にHBP試験の模式図を示す。

2.6 破面観察および破断経路の同定

BGA 接合部強度試験後の試料について、破断経路をEPMAを用いて観察を行った。なお、破断面観察試料は2.4の接合部組織観察試料の作製方法と同様に基板と垂直な方向に研磨することで作製した。

3. 実験結果および考察

3.1 ソルダリング後におけるはんだぬれ性評価

Fig. 4にリフローソルダリング後におけるBGA接合部概観観察結果を示す。Sn-3.5Ag-0.5Bi-3Inはんだ, Sn-3.5Ag-0.5Bi-8Inはんだ, Sn-8Zn-3Biはんだのいずれのはんだペーストを用いた場合においても、リフローピーク温度

Fig. 4 General views of as-soldered BGA ball joints

493 Kの継手はリフローピーク温度503 Kの継手と比較すると基板からのボール高さが高く、若干ぬれ性に劣っていた。特にSn-8Zn-3Biはんだペーストを用いたリフローピーク温度493 Kの継手では、Sn-3Ag-0.5CuはんだボールがSn-8Zn-3Biはんだペーストの上に乗ったような状態であり、それらの境界がはっきりと観察された。これは、リフローピーク温度493 KでのSn-3Ag-0.5Cuはんだボールは、リフローピーク温度503 Kと比べると溶融時間が短いためだと考えられる。

3.2 接合部組織と強度

3.2.1 Cu電極

Cu基板に実装した継手の組織観察結果をFig. 5に示す。Sn-8Zn-3Biはんだ継手では、リフロー直後からCu-ZnをベースとするCu-Sn-Zn相とCu-SnをベースとするCu-Sn-Zn相の2層を形成していた。これは、界面でCu-Zn相を形成するのに十分なZnが存在しなかったため、Snを含むCu-Sn-Zn相を形成したと考えられる。高温放置試験後でも2層が存在し、Cu-Snを主体とするCu-Sn-Zn層でやや成長が見られた。Sn-3.5Ag-0.5Bi-8Inはんだでは、リフロー直後にCu₆Sn₅層を形成し、高温放置試験後には、Cu₃Sn層とCu₆Sn₅相が成長していた。

これらの継手組織の変化が継手強度に与える影響を調べるため、加熱式バンププル試験を行った。その結果をFig. 6に示す。リフロー直後では、Sn-8Zn-3Biはんだ継手に比べ、Sn-3.5Ag-0.5Bi-8Inはんだ継手の方がやや高い強度を示した。また、いずれの継手でも高温放置試験後に継手強度は低下していた。しかし、破断形態に違いが見られ、Sn-8Zn-3Biはんだの場合は保持時間に伴い反応層界面での破壊率が増加し、界面強度が低下していた。これはCu-Snを主体とする反応層が成長し亀裂の伝播経路となったために強度低下が起こったためであった。また、Sn-3.5Ag-0.5Bi-8Inはんだ継手においてはリフロー後および高温放置後もほとんどがランドはく離を生じており、界面強度は測

Fig. 6 Strength of solder joints with Cu pad using Sn-8Zn-3Bi and Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In before and after holding 1.8 Ms at 398 K

Fig. 7 Backscatterd electron microstructure of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-8Zn-3Bi as soldered using reflow profile with peak temperature of 493 K and 503 K and after 3.6 Ms holding at 398 K

Fig. 5 Backscatterd electron microstructure of solder joints with Cu pad using Sn-8Zn-3Bi and Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In after 3.6 Ms holding at 398 K

定値以上に高いと考えられ、界面に成長していたCu-Sn層は継手界面強度に与える影響は小さいと考えられる。よって、Cuランドに対する接合性はSn-3.5Ag-0.5Bi-8Inはんだの方が良好であると言える。

3.2.2 Ni/Au電極

Sn-3Ag-0.5Cu ボールをNi/Auめっき処理を施した基板にSn-8Zn-3Biはんだを用いて実装した継手の界面観察結果をFig. 7に示す。

リフロー温度493 Kの継手では、リフロー後にAu-Zn層が形成し、高温放置後ではAu-Zn層はんだ中へ拡散し、反応することで、界面にはCu-Ni-Sn-Zn層が形成していた。リフロー温度を上昇させ、503 Kでリフローした継手では界面でCu-Ni-Sn-Zn層が形成し、高温放置試験後は、その化合物層は成長していた。

次に、Sn-Ag-Bi-In系はんだ継手の組織観察結果をFig. 8に示す。リフロー後にはNiめっきとの界面で塊状の(Cu,

Fig. 8 Backscattered electron microstructure of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-3.5Ag-0.5Bi-3In and Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In as soldered and after 3.6 Ms holding at 398 K

Fig. 9 Strength of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-8Zn-3Bi, Sn-3.5Ag-0.5Bi-3In and Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In before and after holding 1.8 Ms at 398 K

$(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が形成していた。また、リフロー温度 503 K は、低温の 493 K に比べ、塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が多く形成していた。さらに、高温放置後では $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相は界面全体で層状になるまで成長していた。

継手強度評価を行うために加熱式パンププル試験による継手強度試験を行った結果を Fig. 9 に示す。Sn-8Zn-3Bi はんだ継手はリフロー温度を 493 K から 503 K に上昇させた場合、強度が上昇した。これは、Ni めっきとの密着性の悪い Au-Zn 層が溶出し、はんだと Ni めっきとの反応が進行したためである。Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだ継手は、リフロー温度 493 K で実装した場合、高い強度を示した。しかし、リフロー温度を 503 K に上昇させた場合、大きく強度が低下した。これは、リフロー温度が 503 K の場合、界面で塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相の生成量が多かったためであると考えられる。また、すべての継手で高温放置後にはその継手強度

は上昇していた。さらに、Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだ継手に関しては、リフロー後では塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が不均一に形成していたが、高温放置により $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が層状に形成し、強度が上昇した。

以上より、Sn-8Zn-3Bi はんだと Sn-Ag-Bi-In 系はんだを比較すると、低温はんだとしては、低温実装で高強度の得られる、Sn-Ag-Bi-In 系はんだが有利であるといえる。

3.3 適正リフロー温度プロファイル

3.3.1 接合界面特性に及ぼす Cu の影響

これまでの検討で、Sn-Ag-Bi-In 系はんだでは、塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相の形成が継手強度に影響を与えることを示した。そこで、塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相の形成機構と強度への影響について調べるために、はんだボールに Cu を含まない Sn-3.5Ag ボールと Cu を含む Sn-3Ag-0.5Cu ボールを用いて、リフローピーク温度を 483 K から 10 K 刻みで変化させ、リフローピーク温度と界面組織形成の関係について、両者を比較して検討した。その結果を Fig. 10 に示す。

Sn-3.5Ag ボール継手では、いずれの界面でも層状の Ni-Sn 層が形成していた。また、Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手でも、493 K までははんだボールからの Cu の拡散が界面に至っていないため、Ni めっき上には Ni-Sn 化合物層のみが形成していた。しかし、503 K 以上に上昇させると、塊状の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が不均一に形成し、リフロー温度の上昇に伴い、塊中の $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ はより多く形成していた。

3.3.2 接合部強度に及ぼす Cu の影響

界面組織が強度に及ぼす影響を調査するため、加熱パンププル試験による継手強度試験を行った。その結果を Fig. 11 示す。

Sn-3.5Ag ボール継手は、リフロー温度 483 K でやや低い強度を示したが、493 K 以上では強度に変化は見られなかった。一方、Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手は、483~493 K で高い強度を示した。これら Sn-3.5Ag ボール継手および Sn-

Fig. 10 Backscattered electron microstructure of solder joints with BGA ball of Sn-3.5Ag and Sn-3Ag-0.5Cu on Cu/Ni/Au pad using Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In as soldered at every 10 K from 483 K to 513 K

Fig. 11 Strength of solder joints with BGA ball of Sn-3.5Ag and Sn-3Ag-0.5Cu on Cu/Ni/Au pad using Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In as soldered at 483 K, 493 K and 503 K

3Ag-0.5Cu ボール継手のいずれの継手界面でも層状にNi-Sn 層を形成していた。Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手において、リフロー温度を503 K以上に上昇させると、強度が大きく低下した。このとき温度の上昇に伴って塊状の $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が界面に多く形成していた。このことから、Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手における強度低下は、塊状の $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相の形成によることがわかる。また、Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手で高い継手強度を得るためには、リフロー温度483~493 Kで実装をする必要がある。

ここで、Sn-3Ag-0.5Cu ボール継手の層状のNi-Sn相を形成していた界面と塊状の $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相を形成していた界面を、SIM像を用いて詳細に組織観察を行った結果をFig. 12に示す。リフロー温度483 Kの継手界面では、針状のNi-Sn相が層状に形成していた。リフロー温度503 Kの継手界面では、層状のNi-Sn層の上に塊状の $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相が形成しており、Ni-Sn層と $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相との界面でボイド状の間隙が確認できた。この間隙が破壊の発生および、伝播経路

Fig. 12 SIM images of interfacial reaction layer of BGA ball joints using Sn-3Ag-0.5Cu solder ball/Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In solder paste as soldered at 483 K and 503 K

となるため、低い継手強度を示したと考えられる。このようなボイド状の欠陥は、Sn-3Ag-0.5Cu ボールとSn-Ag-Bi-In系はんだペーストの融点差に起因して生じていると考えられる。すなわち、リフロー温度過程では、まず低融点のSn-Ag-Bi-In系はんだペーストが溶融し、Niめっきでの界面で層状のNi-Sn化合物層を形成する。その後の温度上昇によって、溶融したSn-3Ag-0.5Cu はんだボール中からCuが拡散し、界面のNi-Sn層近傍のはんだ中で $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 化合物層を核生成し、それが成長して塊状の $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相を形成するため、Ni-Sn相との密着性が悪く、ボイド状の間隙を形成したと考えられる。

また、ソルダリング後に低い継手強度を示した場合でも、高温放置試験により継手強度は上昇することが確認された。これは、高温放置によってNiめっきと $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相との密着性が高くなったためである。

そこで、リフロー過程において、 $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相の形成を界面全域にまで促進させて継手強度を改善させることを目的として、リフロー保持時間を長くし、十分反応を進行させた。リフローピーク温度を493 Kから513 Kまで5 Kごとに変化させ、それぞれのリフローピーク温度で20秒保持した後、さらに徐冷した試料における加熱式バンププル試験

の継手強度試験結果および接合部断面組織写真を、Fig. 13 および Fig. 14 に示す。

保持時間がない場合、リフロー温度の上昇とともに継手強度は大きく低下した。一方、保持時間を設けた継手では、どのリフロー温度でも安定して高い継手強度が得られた。この接合界面では、 $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相と Ni-Sn 相との界面に形成していたボイド状の間隙が消失しており、 $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相と Ni が直接接合している形態であった。このことから、リフロー過程においても保持時間を長くして界面反応を促進させることにより $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相と Ni-Sn 相との密着性を改善できる。

3.3.3 リフロー過程における冷却速度の影響

ピーク温度での保持とリフロー冷却過程で徐冷することのどちらがより継手強度に影響を与えているのかを検討するために、ピーク温度を 513 K として、急冷、徐冷、ピーク温度で 20 秒保持後に急冷、ピーク温度で 20 秒保持後に徐冷した。これら条件で作製した試料に対し、加熱式パンプル試験を行った結果を Fig. 15 に示す。Fig. 15 より、

Fig. 13 Strength of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-3Ag-0.5Cu solder ball/Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In solder paste as soldered with a reflow profile which has holding time of 20 s at a peak temperature of every 10 K from 493 K to 513 K

513 K で急冷した試料が最も低い強度を示し、次に 513 K で保持後急冷した試料、そして 513 K で徐冷した試料と 513 K で保持後徐冷した試料がほぼ同等で最も高い強度を示した。このことから、リフローの冷却速度が遅いと継手強度が高くなり、冷却速度が継手強度に大きく影響を与えている。これは、凝固時に徐冷することにより、界面近傍での $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相と Ni-Sn 化合物あるいは Ni めっきとの反応を促し、 $(\text{Cu, Ni})_6\text{Sn}_5$ 相と Ni-Sn 化合物あるいは Ni めっきとの密着性を改善するためである。

以上の結果をまとめると、Sn-3Ag-0.5Cu はんだボールを用いた BGA 実装に Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだペーストを適用する場合、リフローピーク温度を 483~493 K に管理するとソルダリング直後から高い継手信頼性を得ることができる。また、リフローピーク温度が 493 K を超える場合でも冷却速度を 2 K/s 程度と遅くすることで継手強度の低下を防ぐことができる。

4. 結 論

本研究では、Sn-Ag-Bi-In はんだの BGA 接合部の継手特

Fig. 15 Strength of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-3Ag-0.5Cu solder ball/Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In solder paste as soldered with a reflow profile which has different cooling rate and holding time at a peak temperature of 513 K

Fig. 14 Backscatterd electron microstructure of solder joints with Cu/Ni/Au pad using Sn-3Ag-0.5Cu solder ball/Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In solder paste as soldered with a reflow profile which has holding time of 20 s at a peak temperature of 493 K, 503 K and 513 K

性について、Sn-Zn-Bi はんだの継手特性と比較し、その接合部の界面組織と機械的特性の関係について調べ、その適正リフロープロファイルについて検討した。本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

- (1) BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを、Cu/Ni/Au 基板電極に実装する場合、Sn-8Zn-3Bi はんだは、503 K 以上で実装すると高強度を示し、Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだではより低い 493 K で高強度を示した。このことから、低温で実装する鉛フリーはんだとして Sn-Ag-Bi-In 系はんだが有利であると言える。
- (2) BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを、Cu/Ni/Au 基板電極に Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだを用いて実装する場合、483~493 K で実装すると層状の Ni-Sn 層が得られ、503 K 以上で実装すると塊状の (Cu, Ni)₆Sn₅ 相を不均一に形成し、低い継手強度を示した。
- (3) BGA 対応 Sn-3Ag-0.5Cu ボールを Cu/Ni/Au 基板電極に Sn-3.5Ag-0.5Bi-8In はんだを用いて実装する場合の適正リフロープロファイルは、リフローピーク温度範囲が 483~493 K で実装する必要があることがわかった。また、リフローピーク温度が 493 K を超える場合でも冷却速度を 2 K/s 程度と遅くすることで継手強度の低下を防ぐことができる。

(2004.7.22-受理)

文 献

- 1) 矢野友三郎：“環境 ISO 規格へのわが国の対応”，環境管理 **31**, No. 10, pp. 7-16, 1955
- 2) 竹本 正：“Pb フリーソルダとマイクロ接合”，あたりあ，Vol. **35**, No. 4, pp. 320-325, 1996
- 3) 菅沼克昭：“鉛フリー化を迫られるはんだ開発—最新研究動向と開発指針”，回路実装学会誌，Vol. **12**, No. 2, p. 83, 1997
- 4) 岩西宏昭，今村武史，廣瀬明夫，小林紘二郎：“Sn-Zn-Bi はんだを用いた QFP 継手特性に及ぼすリードめっきの影響”，Proc. 8th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp. 277-282, 2002
- 5) 山口敦史，古澤彰男，大谷博之，池田順治，岩西宏昭，北条隆志，廣瀬明夫，小林紘二郎：“Sn-Zn-Bi はんだを用いた CSP 接合部の組織と継手特性”，Proc. 6th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp. 295-300, 2002
- 6) 山口敦史，古澤彰男，岩西宏昭，北条隆志，十河陽介，廣瀬明夫，小林紘二郎：“Sn-Zn-Bi はんだを用いた CSP 接合部の組織と継手特性—Ni/Au めっきの影響—”，Proc. 6th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp. 309-314, 2003
- 7) 十河陽介，岩西宏昭，北条隆志，廣瀬明夫，小林紘二郎：“Sn-8Zn-3Bi はんだを用いた CSP 実装における継手信頼性に及ぼす界面構造の影響”，Proc. 13th Microelectronics Symposium, pp. 57-60, 2003
- 8) Y. Sogo, T. Hojo, H. Iwanishi, A. Hirose, K. F. Kobayashi, A. Yamaguchi, A. Furusawa and K. Nishida: “Influence of the Interfacial Reaction Layer on Reliability of CSP Joints Using Sn-8Zn-3Bi Solder and Ni/Au Plating”, Materials Transactions, Vol. **45**, No. 3, pp. 734-740, 2004
- 9) A. Yamaguchi, H. Iwanishi, T. Hojo, A. Hirose and K. F. Kobayashi: “Microstructure and Soldering Properties of CSP Solder Joints Using Sn-Zn-Bi Solder”, Proc. 8th Pan Pacific Microelectronics Symposium, pp. 87-92, 2003
- 10) 平野正人，末次憲一郎，山口敦史，桑田秀典，宇治和博，高野宏明：“鉛フリー接合技術の開発とその実用化”，Proc. 5th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp. 393-396, 1999
- 11) A. Yamaguchi, Y. Yamashita, A. Furusawa, K. Nishida, T. Hojo, Y. Sogo, A. Miwa, A. Hirose and K. F. Kobayashi: “Properties of Solder Joints Using Sn-Ag-Bi-In Solder”, Materials Transactions, Vol. **45**, No. 4, pp. 1282-1289, 2004