

高信頼性鉛フリーはんだ “SN100C”(Sn-0.7Cu-0.05Ni + Ge)

株式会社日本スペリア社
海外事業推進部
濱口 周

はじめに

EU RoHS 開始から約1年が経とうとしている。国、地域によってバラツキはあるものの、鉛フリー化は着々と進んでいる。今後は量産課題対応だけでなく、Sn-37Pb はんだと同等以上の信頼性を得ることができているかどうか十分な確認が必要である。ここで言う「信頼性」とは、接合部が生産時初期の接合品位をどれだけ長期維持できるかということである。そこで本稿では、フローディップ用はんだとして幅広く使用されている Sn-3.0Ag-0.5Cu と Sn-0.7Cu-0.05Ni + Ge 組成の SN100C との様々な比較試験を通して、鉛フリーはんだに求められる信頼性評価結果について述べる。

鉛フリーはんだの信頼性確認

1. 引け巣からクラックへ進行

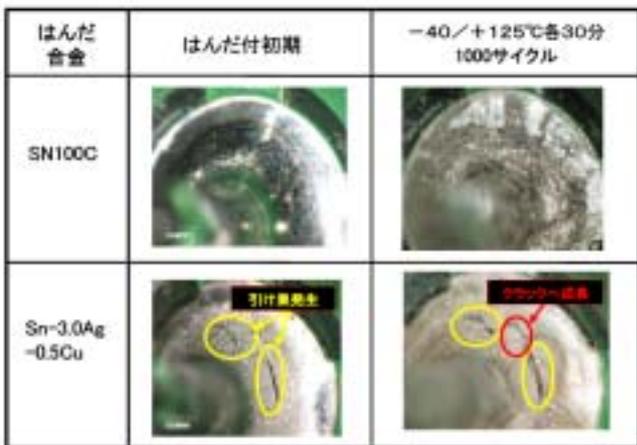


図1 引け割れ写真

引け巣はクラックへと進行する。図1は SN100C と Sn-3.0Ag-0.5Cu のはんだ付け初期(左)とヒートサイクル試験(-40/+125 各30分 1000サイクル)後の状態(右)を示している。

SN100C の場合は、固相線及び液相線温度共に約227 で共晶に近く均一に凝固するので、はんだ付け初期も引け巣が無く表面に光沢がある。ヒートサイクル試験後も、表面に収縮によるシワは発生するがクラックの発生は確認できない。

Sn-3.0Ag-0.5Cu は、はんだ付け初期から引け巣が発生し、ヒートサイクル試験後にはさらに引け巣から

クラックの進行が確認できた。

この引け巣の発生メカニズム(図2)について説明すると、溶融している状態から凝固する過程において、まず融点の最も高い金属間化合物を形成し、次に錫の結晶が形成され、最後に共晶部(低融点)の凝固が起こり最終的に全てが凝固する際、金属の収縮により引け巣が発生する。この写真が図2の(5)写真である。

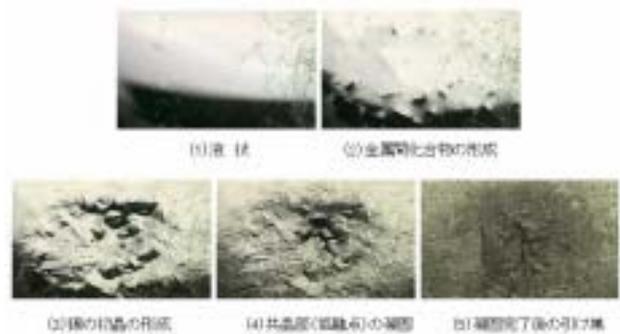


図2 Sn-Ag-Cu-Bi 引け巣進行写真

引け巣の発生を抑える対策としては、凝固時間を短縮して急冷すれば改善できるが、急冷によりはんだ凝固時の応力が基板や部品に蓄積されて信頼性の低下が懸念されるため、注意が必要である。

また、引け巣を抑制するためには金属間化合物を微細化し、固相温度と液相温度が同一の共晶合金を選定することによって、一気に固めることが重要である。SN100C は共晶に近いので、引け巣の発生はほとんどない。

2. 繰り返し伸縮特性

	引張強度(MPa)	伸び(%)	クリープ性
SN100C Sn-0.7Cu-0.05Ni+Ge	32	48	容易にクリープしない
Sn-3.0Ag-0.5Cu	50	32	容易にクリープしない
Sn-37Pb	44	25	クリープしやすい

引張試験 10mm/min. 25

図3 各種はんだの伸び率比較

図3は SN100C、Sn-3.0Ag-0.5Cu、Sn-37Pb はんだの引張強度、伸び率、そしてクリープ性を示した表である。

る。

鉛フリーはんだは Sn-37Pb はんだと比較すると融点が高く、高温状態で接合部が形成されるため、基板や部品にかかるストレスが比較的大きい。さらに Sn-37Pb はんだは、はんだ自体がクリープ変形することによってストレスを緩和していたが、鉛フリーはんだは、クリープしにくいという特性を持っている。よって、基板や部品にかかるストレスを低減するためには、強度よりも柔軟性や伸び特性が重要な要素となる。

銀の含有率が高い Sn-3.0Ag-0.5Cu は硬く合金自体の強度が高い一方で、伸びが悪く、部品、基板、はんだ接合部界面にかかる応力が緩和されないまま凝固する。図3を見ると、伸び率も32%とSN100Cの48%と比較すると伸縮特性が劣ることが分かる。さらに、伸縮特性を確認するため、はんだ試験片が破断するまで繰り返し伸縮させる実験を以下の条件で行った。

試験条件：

はんだ材料

- SN100C
- Sn-3.0Ag-0.5Cu
- Sn-37Pb

テストピースの作成方法

棒はんだを7×20×50mmに切断し同じ体積にしてそれを400まで加熱溶解後、鋳型に注ぎ込む。

鋳型の穴サイズ：幅12mm、長さ160mm、深さ10mm

引張試験機の設定と測定方法（図4参照）

- 取付け：テストピースを長さ60mmにチャックで固定する
- 変形速度：20mm/min
- 変形量：±5mm伸縮させる
- 測定方法：破断するまでの引張方向移動に加わる最高荷重を測定する。

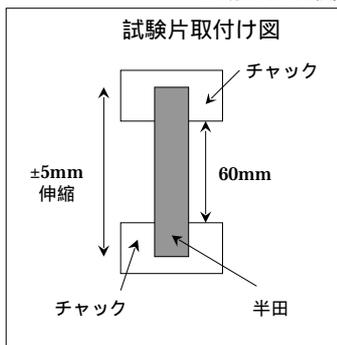


図4 試験片取付け図

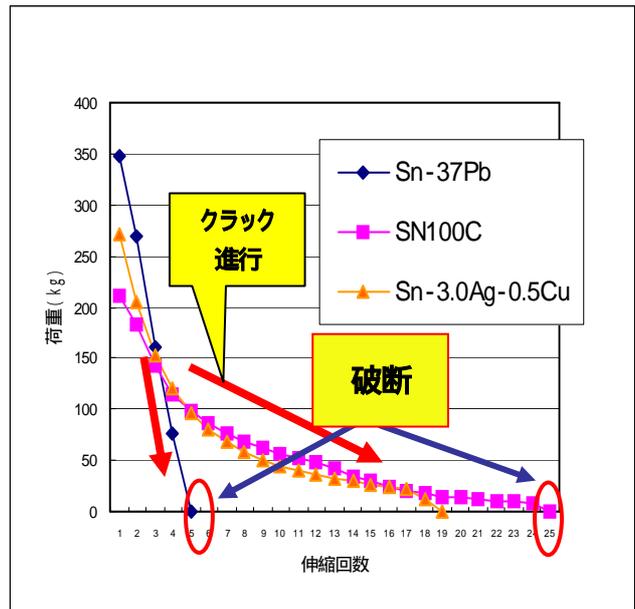


図5 伸び方向移動時に加わった最大荷重の推移

図5は、はんだのテストピースを繰り返し伸縮させた時の荷重と伸縮によって破断に至るまでの回数を示している。このように伸縮によるクラックの発生により荷重は下がっていき、0になった時が完全に破断に至った回数である。

合金	初期荷重(Kg)	破断時の伸縮回数(回)
SN100C	212	25
Sn-3.0Ag-0.5Cu	272	19
Sn-37Pb	347	5

図6 試験結果 破断に至るまでの回数

実験の結果(図6)初期変形に必要な荷重はSN100C(212kg) < Sn-3.0Ag-0.5Cu(272kg) < Sn-37Pb(347kg)の順であった。破断までの回数はSn-37Pb(5回) < Sn-3.0Ag-0.5Cu(19回) < SN100C(25回)の順であった。

初期変形に必要な荷重が小さいものほど、繰り返し伸縮特性が良い。SN100CはSn-37Pbはんだと比較すると完全に破断するまでの繰り返し伸縮特性が5倍優れているという結果が得られた。

3. 耐ヒートサイクル特性

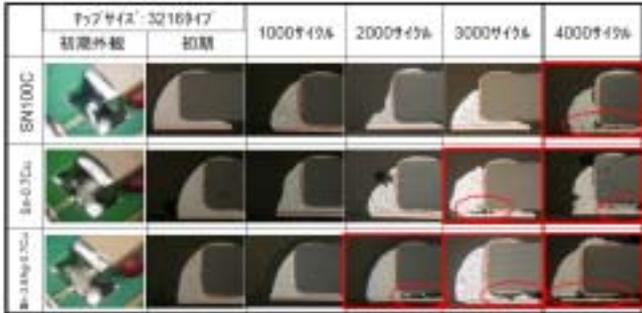


図7 面実装部品のクラック発生比較(断面写真)

図7はSN100C、Sn-0.7Cu、Sn-3.8Ag-0.7Cuのヒートサイクルによる接合断面変化を示したものである。ヒートサイクル試験は以下の条件で行った。

条件： ヒートサイクル： - 45 15分 / + 125 25分、
基板： FR-4 Snコート基板

Sn-3.8Ag-0.7Cuは2000サイクルからクラックが発生し、4000サイクルでは全面オープンになっている。また、Sn-0.7Cuは3000サイクルから、SN100Cは4000サイクルから大きなクラックが発生しているがSn-3.8Ag-0.7Cuのように完全にオープンにはなっていないことが分かる。この試験結果からSN100Cは、耐ヒートサイクル特性に優れていると言える。

4 耐衝撃特性

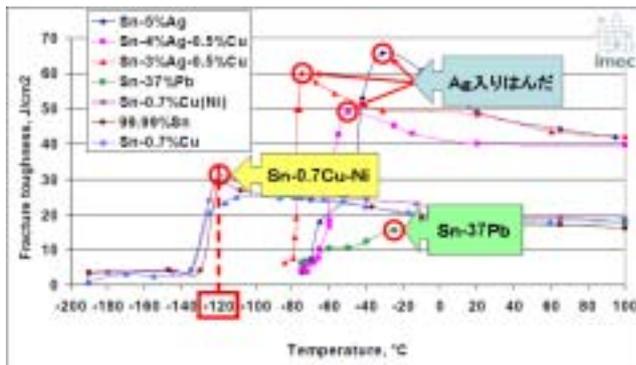


図8 Reference: Ratchev et al., A Study of Brittle to Ductile Transition Temperatures in Bulk Pb-Free Solders, EMPC 2005 (IMAPs-Europe) June 12-15, Brugge, Belgium.

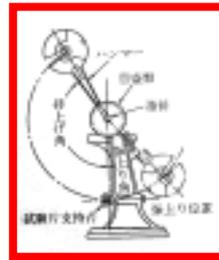


図9 シャルピー試験のハンマー

海外にてシャルピー衝撃試験が行われ、図8で示されている結果が発表された。シャルピー衝撃試験とは、図9で描かれているハンマーを用いて試験片が破壊するのに要した断面積当たりのエネルギーによって靱性(じんせい)を評価するための試験である。一般的に、この値が小さいほど脆い金属と評価される。

SN100Cは、Sn-37Pbや銀入りはんだに比べて-120の低温域まで優れた衝撃特性を持つことが明らかにされた。

5. 耐振動特性

SN100Cは様々な応力を緩和し、耐ヒートサイクル性、耐衝撃性に優れていると述べてきたが、次に海外の耐振動試験結果について述べる。

Vibration Test Data (Manufactured Vehicles)

Component	Reference Investigator	Solder Finish	Relative Solder Ranking			
			Sn37Pb	Sn3.8Ag1.0Cu	Sn3.8Ag1.0Cu.2Bi	Sn3.7Cu.0.2Bi
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		
PDP-20	US	Pb-Free/100% Sn at Sn37Pb/0.5% Cu	2	2		

※挿入部品での検証

JCAA/JG-PP Lead-Free Solder Project : Vibration Test
Boeing Electronics Materials and Processes Report - 582, Revision A
(EM/P-582, Rev. A) より抜粋

図10 JCAA/JG-PP 振動試験データ

図10はアメリカの軍用関連機関JG-PPのプロジェクトで評価されている鉛フリーはんだの信頼性試験結果についての発表である。エグゼクティブサマリーで、振動試験の結果、SN100CはSn3.9Ag0.6Cu、Sn-37Pbと比較され、合金ランキングNo.1を占めており、耐振動性に優れたは

んだであるという評価結果が発表されている。今後は過酷な環境下において使用される分野への展開が期待される。

6. 銅食われの抑制

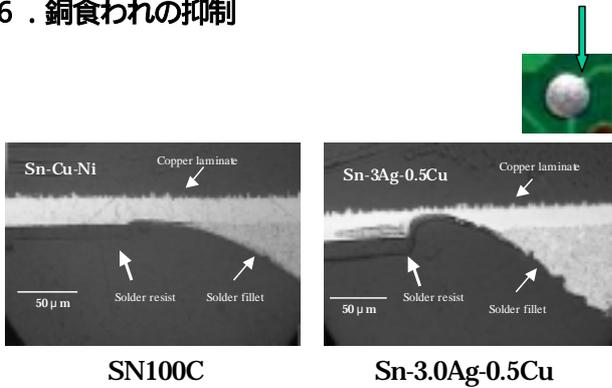


図11 片面プリント基板の銅箔食われ

片面基板を用いて、銅食われ試験を行った。図11はプリント基板の銅箔食われ状態を示しているが、ランドのエッジから引き出されている部分を見るとSn-3.0Ag-0.5Cuは銅箔が大きくえぐられているところが見つかった。パターンが細くなるほど、はんだウェーブの影響を受けやすい。一方、SN100Cにおいては銅食われ度合いは少ないことが分かる。

さらに両面基板においても銅食われ試験を行った。試験条件は以下の通りである。

基板： t1.6mm FR-4 OSP 両面基板

1. ロジン系フラックスに基板を5秒浸漬
2. はんだ材料 SN100C、Sn-3.0Ag-0.5Cu
3. はんだ温度 250、260
4. 噴流高さ 5mm
5. 基板をセットし2mmの深さにDIPする。
6. 浸漬時間：10秒、20秒

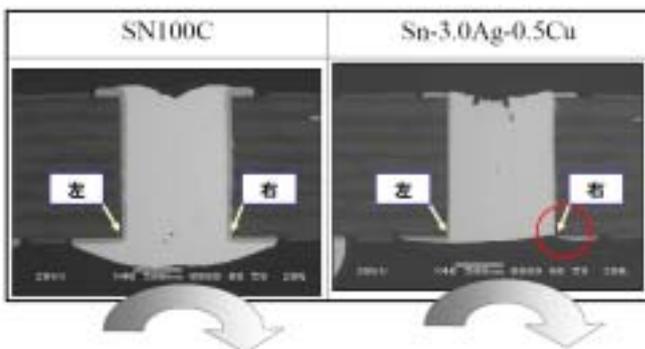


図12 両面基板のスルーホールコーナー銅食われ

スルーホールコーナー残部の厚み

厚みの平均(初期値)447.22 μm

温度	浸漬時間	残部の厚み平均(%)			
		SN100C		Sn-3.0Ag-0.5Cu	
		左側	右側	左側	右側
250° C	10秒	93.47	98.59	91.53	42.46
	20秒	87.05	96.56	77.66	3.06
260° C	10秒	89.23	84.21	92.38	21.81
	20秒	75.86	81.61	62.45	0

図13 スルーホールコーナー銅箔残部厚み

図12の矢印は、はんだの流れを表している。はんだの流れ方向に対する食われ量を見ると、スルーホールの左右で食われ量が違うことが分かった。そのため、左右の銅食われ量を測定した。その結果を図13に示す。

Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだの食われは大きく、浸漬時間が長くなるにしたがって食われ度合いが大きくなっている。浸漬時間20秒の右側のコーナーでは、Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだは残部が0に対して、SN100Cでは81.61 μmも残っており、長時間、高温においても銅食われが少ないことが確認できる。

7. 金属間化合物成長の抑制

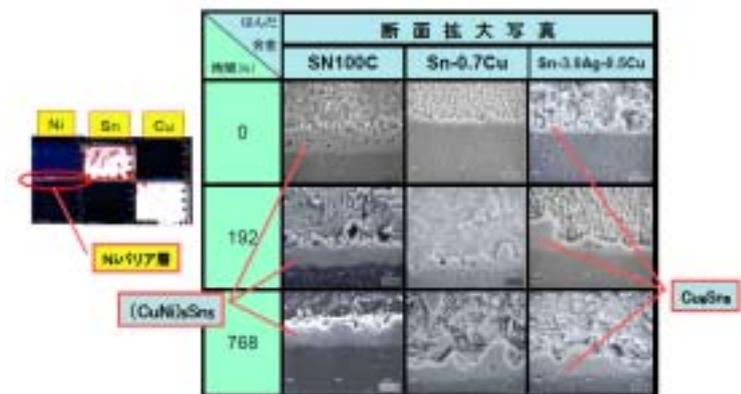


図14 断面拡大写真(合金層の高温エージング試験)

図14はSN100CとSn-0.7Cu、Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだの合金層の120の高温放置時における経時変化を示している。SN100Cは銅箔とはんだとの界面に安定した合金層を形成し、120の高温放置後(768時間後)においてもNiバリア効果によって、合金層の成長を抑制している。対して、Sn-3.0Ag-0.5Cuは合金層の成長が確認できる。

Sn-0.7CuとSn-3.0Ag-0.5Cuはんだの場合は最初に行ける合金層の厚みは薄いですが、120の高温放置後

(768時間後)Cu₆Sn₅の金属間化合物層が大きく成長している。凝固後も硬くて脆い金属間化合物 Cu₆Sn₅が成長し続けるため、初期状態から接合界面の強度が落ちてくる。その結果、接合界面部にクラックが発生し易くなるため注意が必要である。

一方、SN100C は微量に添加された Ni によって (Cu,Ni)₆Sn₅の金属間化合物を形成し、合金層の成長を抑制している。

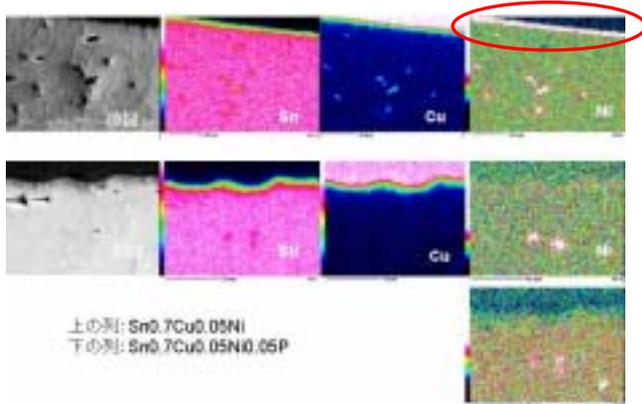


図15 元素マッピング

図15の上の列はSN100Cではんだ付けした箇所の断面を元素マッピングした写真である。それぞれ Sn、Cu、Ni の3種の元素についてマッピングした結果、はんだ付け界面に Ni が濃く出ているのが分かる。また図15下の列の Sn-Cu-Ni に酸化防止対策として P を添加した組成の場合では、Ni がはんだ中に拡散してしまい、Ni バリアが形成されない事が分かった。

まとめ

SN100C は共晶に近いはんだであるため、引け巢の発生が少なく凝固時のはんだ表面は滑らかで光沢がある。

鉛フリーはんだは融点が高く、クリープしにくいという特性を持っているため、部品と基板の収縮による内部応力歪が大きく、チップ部品のクラックや基板剥離等の問題につながる。応力を緩和するためには、柔軟性があり伸縮特性の良い合金の選択が必須となる。Sn-3.0Ag-0.5Cu を代表する銀を含むはんだの強度は強いが、硬くて伸びが悪い。しかし、Sn-0.7Cu-0.05Ni + Ge 組成の SN100C は柔軟性があり伸びが良いため応力吸収力に優れている。そのことが繰り返し伸縮試験、ヒートサイクル試験、衝撃試験、そして、振動試験結果に現れている。また、接合界面部が経時変化しにくく安定した強度が得られるため、SN100C は高信頼性はんだであると言える。