

# Sn-Cu めっきコネクタにおけるウイスカ対策とその効果

コネクタの鉛フリー化に伴い、新たに嵌合時にコンタクト接点部から発生するウイスカが問題となっている。このウイスカの抑制を目的として、Sn-Cu めっきを用いて各種試料を作製しウイスカ発生状況の調査を行った。その結果、Sn-Cu めっきの結晶粒径を制御することによって皮膜硬度低下を実現し、ウイスカ発生が少ないめっきが得られることが明らかとなった。現在、Sn-Cu めっきはウイスカが発生し易いめっき組成の1つであると考えられている<sup>[1-2]</sup>。しかしながら、適切な粒径に制御された Sn-Cu めっきは耐ウイスカ性やぬれ性において優れた特性を有するため、コネクタの鉛フリーめっきとして有力であると考えられる。

キーワード: ウイスカ、Sn-Cu、コネクタ、鉛フリー

## 1. はじめに

2006年7月1日から施行される RoHS 規制に対応するため、各コネクタメーカは 2001-2002 年にかけて Sn 系鉛フリーめっき製品の供給を開始した。当時 Sn-Cu めっきが Sn-Pb めっきの代替めっきとして有力と考えられていたため、多くのコネクタメーカが Sn-Cu めっきを採用した。

2002-2003 年頃、これらの鉛フリーめっきコネクタが搭載された電子機器においてウイスカによる短絡事故が相次いで発生したことから問題が明らかとなった。このウイスカは従来のものと発生モードが異なり、嵌合によって接点部付近から短時間に発生することが知られている。短絡事故の危険性は、特に端子間距離の短い狭ピッチ FPC/FFC 用コネクタにおいて高いと考えられている。

状況把握及び問題解決のため、電子情報技術産業協会 (JEITA) によって詳細に調査が行われてきた。その結果、Sn-Cu めっきは他の鉛フリーめっき (Sn リフロー、Sn-Bi、Sn-Ag 等) に比べて長いウイスカ発生するものの、熱処理によってウイスカ抑制効果が得られることが明らかとなった<sup>[3]</sup>。

現在、実装に使用されるのは Sn-Ag-Cu 系へと標準化が進んでいるが、低融点はんだの実用化検討も平行して行われている状況である。将来予想される多様な実装条件を想定して、実装温度によらない安定かつ優れたウイスカ抑制効果を持っためっきが要求されている。今回、この要求を満たすため Sn-Cu めっきを用いて各種試料を作製し、その抑制効果について確認を行った。コネクタのめっきには耐ウイスカ性以外にも様々な機能が求められるが、最も重量な性能の1つであるはんだ付け性についても確認を行った。

## 2. 試験方法

### 2. 1. 試料

#### 2. 1. 1. めっき

コネクタ端子 (コンタクト) 形状にプレス加工されたリン青銅 (C5210-EH, t=0.2) に、アルカリ脱脂、電解脱脂、酸活性処理を行い、スルファミン酸 Ni の下地加工を施した。その後、無光沢 Sn-Cu めっき、半光沢 Sn-Cu めっき

の順に電解めっきを行った。無光沢 Sn-Cu めっき浴は、半光沢 Sn-Cu めっき浴から光沢剤成分を除去しためっき液である。図 1 にめっき断面模式図を示す。

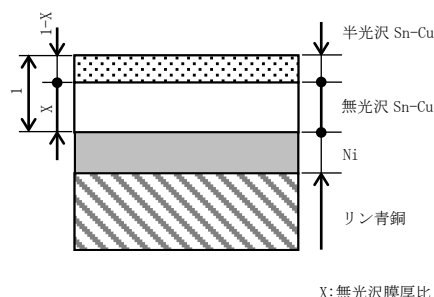


図 1 めっき断面模式図

トータル Sn-Cu 膜厚を一定に保ち、無光沢と半光沢膜厚比率を変更した計 6 種類の試料を作製した。各試料の膜厚は蛍光 X 線膜厚計 (XRF) を用いて測定を行った (表 1)。全ての試料共に後処理として酸化防止処理を行った。

表 1 めっき厚測定結果 N=5

試料 No.	無光沢膜厚比 X	トータル Sn-Cu 膜厚 [μm]	Ni 膜厚 [μm]
1	0	4.78	2.10
2	0.2	4.92	2.14
3	0.4	5.02	1.79
4	0.6	5.35	2.26
5	0.8	5.48	2.03
6	1.0	5.21	1.88

皮膜中の Cu 濃度は EDX 定量分析によって 2±1wt% を満たしている。融点は DTA 測定結果より 229°C であった。

### 2. 1. 2. 組立て

表 1 の各コンタクトをインシュレータに圧入し、スライダを取り付けコネクタ製品に加工した。作製したコネクタは 0.5mm ピッチ、ZIF タイプの FPC/FFC 用コネクタである。コネクタの断面形状を図 2 に示す。

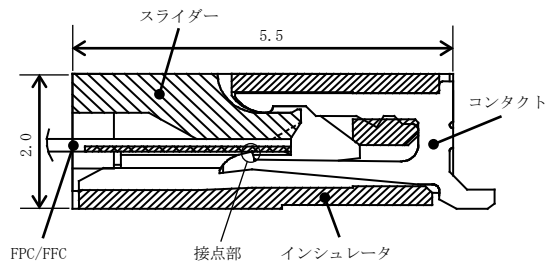


図2 コネクタ断面図

## 2. 2. 試験

### 2. 2. 1. 嵌合ウイスカ試験

コネクタはリフロー無し（前処理無し）とリフローピーク温度 230[°C]/250[°C]（基板上面温度、空リフロー）のリフロー炉を通した計3種類を用意した。各コネクタに各種 FPC/FFC を嵌合し、最も発生しやすいとされている室温（25±10 [°C]）環境下<sup>[3]</sup>で放置した。所定時間経過後に FPC/FFC を抜去し、顕微鏡（×300）を用いてコンタクト接点部を観察しウイスカ発生有無の確認とウイスカ長の測定を行った。なお、本試験は各時間での破壊試験になるため、予め観察時間毎に別々の試料を用意した。

### 2. 2. 2. ぬれ性試験

コネクタは初期（前処理無し）とプレッシャー・クッカー試験（PCT: 105[°C], 100[%RH], 1.22×10<sup>5</sup>[Pa], 8[h]）品の2種類を用意した。コンタクトテール部にフラックス（ロジン 25[%] IPA 溶液）を塗布し、メニスカス法（浸漬速度: 2.5[mm/s], 浸漬深さ: 0.5[mm], Sn-3.0Ag-0.5Cu : 245[°C]）によってゼロクロスタイムの測定を行った。

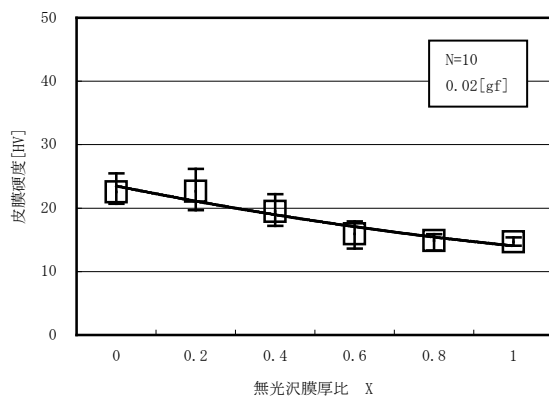


図3 皮膜硬度測定結果

## 3. 結果及び考察

### 3. 1. 膜厚比変更試料

#### 3. 1. 1. Sn-Cu めっき皮膜硬度測定

作製した試料のマイクロビッカース硬度測定結果を図3に示す。無光沢 Sn-Cu めっき層が厚くなるに従って皮膜硬度が低下していくことが判る。

### 3. 1. 2. 嵌合ウイスカ試験

図4にダミーFPC（ガラスエポキシ材, t=0.35）嵌合72[h]後のウイスカ最大長を示す。各試料のウイスカ性能が最も顕著に確認できるため、コネクタはリフロー無し品を用いた。試験結果より、無光沢 Sn-Cu 膜厚増加に伴いウイスカ最大長が減少していくことが判る。無光沢 Sn-Cu めっきは半光沢 Sn-Cu めっきに比べて皮膜硬度が低いため、外部から印加された力が無光沢 Sn-Cu 層によって吸収されていると予想される。

最も耐ウイスカ性が優れていたのは無光沢膜厚比率 X=0.8であった。なお、X=1.0はX=0.8に比べて若干長いウイスカ発生が見られるが、その理由は明らかでない。

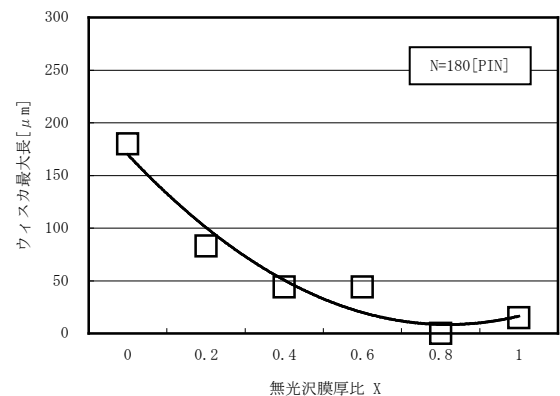


図4 嵌合ウイスカ試験結果

### 3. 1. 3. ぬれ性試験

ゼロクロス測定結果を図5に示す。X=0.2~0.8は安定した良好なぬれ性を示しているのに対し、X=0, 1は若干ぬれ性が劣る。X=0におけるぬれ性悪化の理由として、皮膜中の有機物成分が悪影響を及ぼしていると考えられる。また、X=1は表面酸化によるぬれ性低下である。従って、無光沢 Sn-Cu のみではぬれ性に問題があるため、保護膜としての半光沢 Sn-Cu 層は必須であると言える。

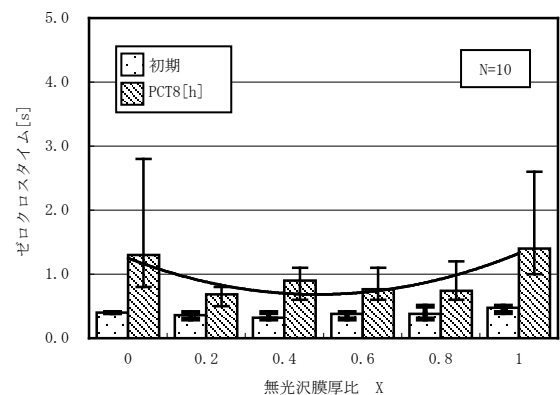


図5 ゼロクロスタイム測定結果

### 3. 2. X=0.8 試料

#### 3. 2. 1. 嵌合ウイスカ試験

最も耐ウイスカ性の優れていた X=0.8 を用い、市販の

SnめっきFFC (Snめっき厚:  $1\mu\text{m}$ 以上、 $t=0.3$ ) との嵌合試験を実施した (図6)。嵌合時間は100[h]である。

コンタクト接点部から発生したウイスカは各試料共に  $50[\mu\text{m}]$ 以下であり、リフロー条件によらず高い抑制効果が得られている。リフロー無し品と  $230[^\circ\text{C}]$ リフロー品を比較すると、 $230[^\circ\text{C}]$ リフロー品の方がウイスカ長及び発生率が若干少ない。これは、熱処理によって抑制効果 (3.4. 参照) が得られたためと考えられる。一方、 $230[^\circ\text{C}]$ リフロー品と  $250[^\circ\text{C}]$ リフロー品を比較すると、 $250[^\circ\text{C}]$ リフロー品の方が長いウイスカ発生が確認された。この原因については不明である。しかしながら、現在、原子移動モデルによって嵌合時のウイスカ発生が一部説明可能である<sup>[4]</sup>ことから、金属間化合物の成長 (3.4. 参照) がこのウイスカ発生に寄与している可能性が挙げられる。

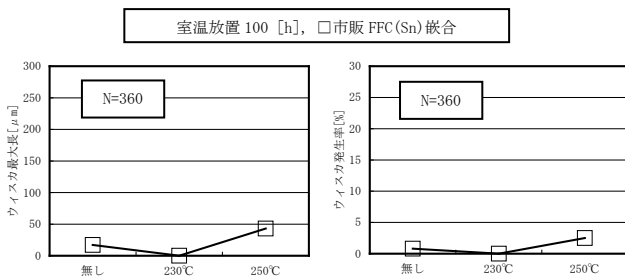


図6 リフロー温度と最大ウイスカ長/発生率の関係

図7にリフロー無し品と  $250[^\circ\text{C}]$ リフロー品について、5000[h]までの嵌合ウイスカ試験結果を示す。

コンタクト接点部から発生するウイスカの成長は、嵌合時間  $100\sim 500[\text{h}]$ で止まることが判る。リフロー無し品と  $250[^\circ\text{C}]$ リフロー品とを比較すると、最大長・発生率において両者に大きな違いは見られない。

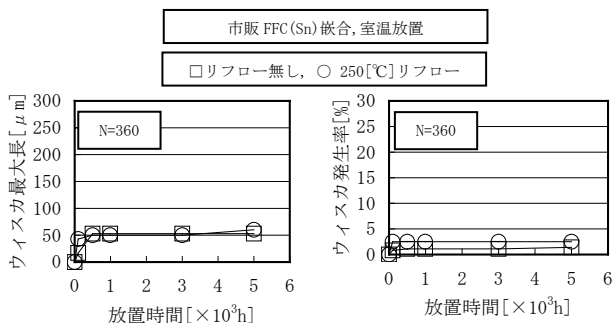


図7 放置時間と最大ウイスカ長/発生率の関係

### 3. 2. 2. 未嵌合ウイスカ試験

未嵌合時のウイスカ発生状況について調査を行った結果を表2に示す。試料はリフロー無し品を使用した。各試験共にウイスカ発生は見られなかった。

未嵌合 (自然放置) 時におけるウイスカ発生要因の1つとして、母材から Sn-Cu 皮膜への Cu 拡散が挙げられる。Cu 拡散によって  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  が生成し、体積膨張による圧縮応力増加がウイスカ発生の駆動力になっていると考えられている<sup>[3]</sup>。従って、Ni 下地によって Cu の拡散が抑えられていると考えられる。なお、自然放置によって発生するウイスカは、各種環境下  $4000[\text{h}]$ 程度の確認が必要と考えられており<sup>[3]</sup>、本試験のみでは充分であるとは言えない。今後さらに加速した試料についてウイスカ発生が無いことを確認する。

表2 未嵌合ウイスカ試験結果

No.	試験項目	試験項目	結果
1	室温試験	温度: $25\pm 2[^\circ\text{C}]$ , 湿度: $50[\%RH]$ 以下, 試験時間: $6[\text{ヶ月}]$ ( $\approx 4300[\text{h}]$ )	○
2	温度サイクル試験	最低保存温度: $-40\pm 2[^\circ\text{C}]$ , 最高保存温度: $85\pm 2[^\circ\text{C}]$ , サイクル数: $1500[\text{回}]$	○
3	恒温恒湿試験	温度: $60\pm 2[^\circ\text{C}]$ , 湿度: $90\sim 95[\%RH]$ , 試験時間: $1000[\text{h}]$	○
4	高温試験	温度: $50\pm 2[^\circ\text{C}]$ , 試験時間: $1000[\text{h}]$	○

○: ウイスカ発生無し, ×: ウイスカ発生有り

### 3. 3. リフロー温度と皮膜硬度の関係

図8にリフロー温度と皮膜硬度の関係を示す。初期から  $230[^\circ\text{C}]$ リフロー時にかけて若干皮膜硬度が低下することが判る。また、 $250[^\circ\text{C}]$ リフロー時では急激に皮膜硬度が上昇し、測定値に大きなバラツキが生じる。

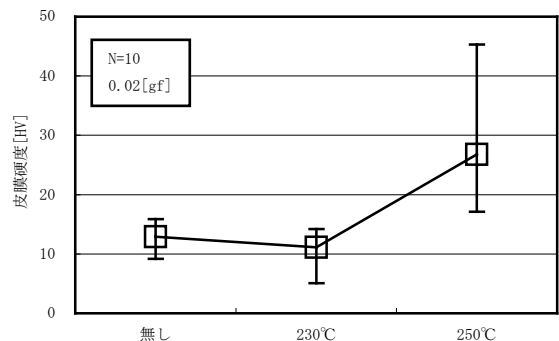


図8 リフロー温度と皮膜硬度の関係

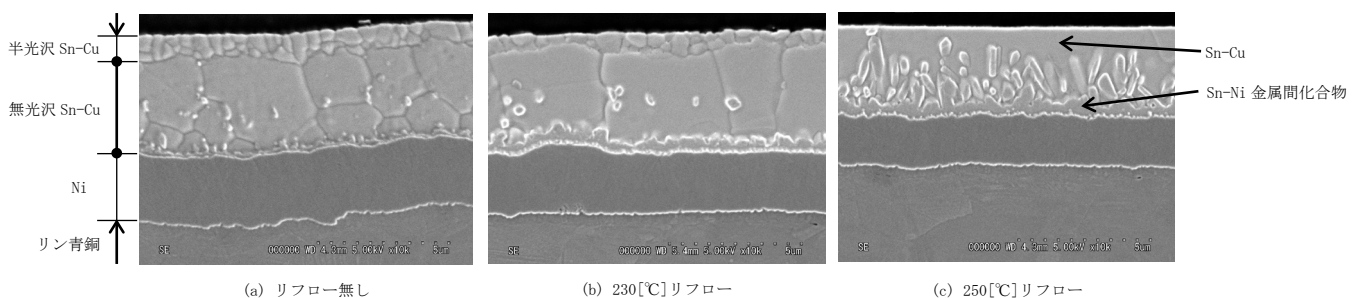


図9 各リフロー温度における Sn-Cu めっき結晶状態

### 3. 4. めっき断面 SEM 観察

リフロー温度と Sn-Cu めっきの粒子状態を調べるため、各温度でのめっき断面 SEM 観察を実施した (図 9)。リフロー無しの状態は、直径  $0.5[\mu\text{m}]$  程度の半光沢 Sn-Cu 層と、直径  $2[\mu\text{m}]$  程度の無光沢 Sn-Cu 層で構成されていることが判る。

$230[^\circ\text{C}]$  リフロー時についても 2 つの Sn-Cu めっき層が確認できる。ピーク温度保持時間が短かったため、Sn-Cu めっき溶融には至っていない。また、どちらの層もリフロー無し品に比べて結晶粒径が大きく成長している。図 6 において  $230[^\circ\text{C}]$  リフロー品がリフロー無し品に比べてウイスカ発生が抑えられていた理由は、この Sn-Cu 粒子成長による皮膜硬度低下の効果であると考えられる。

$250[^\circ\text{C}]$  リフロー時には、完全に溶融した Sn-Cu めっき皮膜が再結晶化することによって最も大きな粒子を形成しており、Sn-Cu 層自体の硬度は最も柔らかくなっていると考えられる。また、無光沢 Sn-Cu 層と Ni 層との境界に針状の金属間化合物層が成長していることが判る。この層は XRD 測定によって、 $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$  や  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  を主成分とする合金層であることが確認されている。これが、図 8 の  $250[^\circ\text{C}]$  リフロー時において皮膜硬度増加が見られた原因である。これによって、FPC/FFC 導体部からのウイスカ発生が促進されると考えられる。

### 4. 結論

半光沢と無光沢の 2 つの Sn-Cu めっきを用いて結晶粒径を制御することによって耐ウイスカ性に優れ、かつ十分な耐食性を有するめっきが得られることが明らかとなった。

半光沢 Sn-Cu めっきはぬれ性確保の面から不可欠である。無光沢 Sn-Cu めっきは皮膜硬度低下を実現し、嵌合によって発生するウイスカを  $50[\mu\text{m}]$  程度まで抑えることができる。無光沢膜厚比  $X=0.8$  において最も良好な耐ウイスカ性が得られる。なお、嵌合によって発生するウイスカは嵌合時間  $100[\text{h}] \sim 500[\text{h}]$  で飽和する。

### 5. おわりに

比較的容易な対策を行うことによって、Sn-Cu めっきであってもウイスカ抑制効果に優れた (コネクタの Sn 系鉛フリーめっきとして使用可能と考えられる) めっきが得られることが明らかとなった。但し、現在もなおウイスカ発生メカニズムは完全に解明されていないため、今後様々な要因 (浴組成、加工条件、コンタクト接圧、接点形状等) を変えて性能確認を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) K. -W. Moon, M. E. Williams, C. E. Johnson, G. R. Stafford, C. A. Handwerker, and W. J. Boettinger; Proceedings of The Fourth Pacific Rim Conference on Advanced Materials and Processing, pp. 1115-1118, (2001)
- 2) George T. T. Sheng et al.; J. Appl. Phys., **92**(1), 64-69, (2002)
- 3) (社) 電子情報技術産業協会：鉛フリーはんだ実用化検討

の 2004 年度成果報告書, (2004)

- 4) (社) 電子情報技術産業協会：鉛フリーはんだ実用化検討の 2005 年度成果報告書, (2005)
- 5) (社) 電子情報技術産業協会：JEITA 鉛フリー化完遂緊急提言報告書, (2005)