

フレキシブルフラットケーブル導体のウイスカ対策

材料技術研究所 磯部 芳泰¹・畑 中 翼¹・直江 邦浩²・味村 彰治³
電子電装開発センター 市川 雅照⁴

Whisker Prevention of Flexible Flat Cable Conductor

Y. Isobe, T. Hatanaka, K. Naoe, S. Ajimura & M. Ichikawa

Pbフリー-Snめっきをしたフレキシブルフラットケーブルの端子部にコネクタを嵌合した場合、コネクタ近傍のめっき表面からウイスカが発生する現象が問題となっている。この外部応力型ウイスカの発生機構を調査し、種々の対策案を検討した結果、Snめっき厚さを薄くすること、熱処理を強化することが、ウイスカ抑制に対して効果があることがわかった。この2つの対策を組み合わせることで最適化することにより、ウイスカ長さを50 μ m未満に抑制することができた。

When the terminal of Flexible Flat Cable that applies lead-free plating was connected, a whisker was observed to have grown on the surface. We investigated the mechanism to grow external stress-derived whisker and examined various ways to prevent the growth. We then found that both thinning plating thickness and raising the temperature of heat treatment are effective. We could suppress the whisker length to 50 μ m or less by combining these two methods.

1. ま え が き

近年、電子・電気機器の小型化、軽量化にともない、機器の内部に使用される配線材料についても、小型化、軽量化の要求が多く出されているが、コンピュータ、ビデオ、ビデオカメラ、プリンタ等の電子・電気機器の内部配線材として、柔軟性や屈曲性に優れているフレキシブルフラットケーブル（以下、FFCと記す）が用いられている¹⁾。FFCに使用されるCu導体の端子部は従来Sn-Pbはんだめっきが使用されてきたが²⁾、環境対応の観点からPbフリー化への取り組みがなされてきた。SnめっきはPbを添加しないと自然放置でウイスカが発生することが古くから知られており、当社では自然発生ウイスカ対策として純Snめっき後に熱処理を行うことで対応してきた。しかし、2003年、機器メーカーでFPCについて、FFCでも端子部をコネクタに嵌合すると、端子部近傍のめっき表面からウイスカが急速に発生・成長する現象が起こり、業界の大きな問題となった³⁾。この場合、めっき部に圧力を負荷することによりウイスカの成長が促進されるため、従来の抑制方法では効果がほとんど得られな

かった。そこで、本報告では、Pbフリー-SnめっきFFCのウイスカ抑制対策について検討した結果を述べる。

2. ウイスカの発生機構

2.1 ウイスカ発生および成長過程の観察

初期の調査においては、フレキシブルプリント基板（以下、FPCと記す）を用いて調査を行った。Sn-1%CuめっきしたFPCで、ウイスカの発生、成長の過程について、常温常湿下でコネクタを嵌合させ、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。図1にコネクタ嵌合後に発生したウイスカの成長過程を観察した結果を示す。コネクタのピンで押し付けた付近の同一箇所を時間の経過とともに観察した結果、ウイスカの成長速度は速いもので約5 μ m/hと自然発生ウイスカの成長速度の約100倍も速かった。またウイスカは先端の形状を保って成長していることから、根元に原子が供給されて結晶成長していることがわかった。

2.2 ウイスカ起点部の結晶組織観察

図2にミクロトームでウイスカを切断し、その断面をSEMで観察した際の反射電子像を示す。ウイスカの起点部では、めっき内の結晶粒の1つを起点として成長している様子が観察された。また、起点下部のめっきは凹凸等がなく、他の部分と同様の結晶組織を成していることから、ウイスカは押し出しなどの機械的変形によって成長したのではなく、拡散による広範囲からの原子移動により

1 金属材料開発部

2 金属材料開発部グループ長

3 金属材料開発部長

4 電子材料開発部

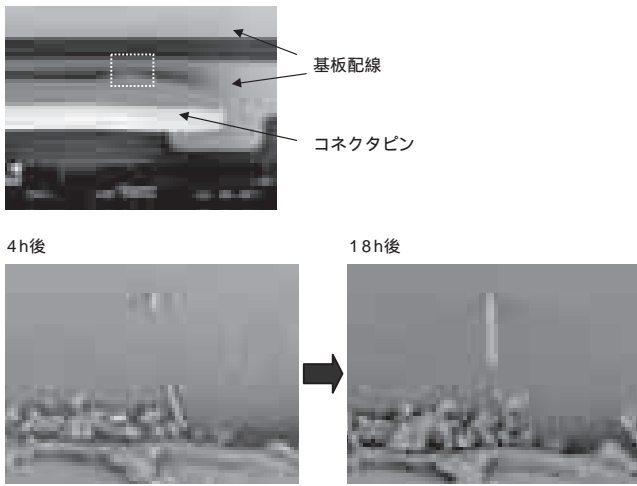


図1 Sn-Cuめっきをしたフレキシブルプリント基板に発生したウイスカ

Fig. 1. Observation of whisker growth at the terminal of Flexible Printed Circuit which was plated with Sn-Cu plating.

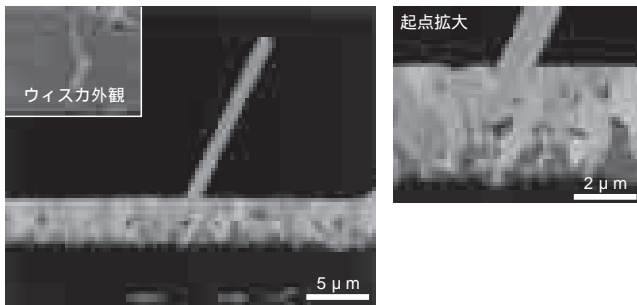


図2 ミクロトーム加工後のウイスカ起点部の断面TEM像

Fig. 2. Observation of whisker cross section.

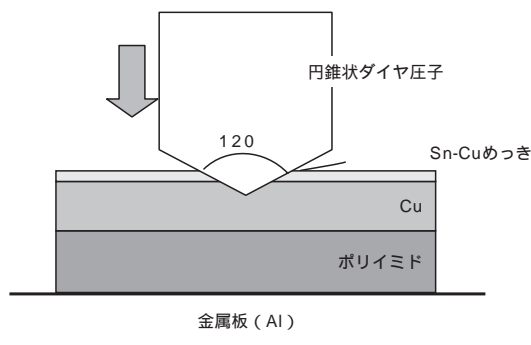


図3 コネクタ嵌合を模擬した実験の概略図

Fig. 3. Schematic diagram of compression test.

成長していると考えられる。

2.3 外部圧力の影響

外部圧力の影響を調査するために、コネクタ嵌合を模擬した実験を行った。図3に示すような円錐型の圧子を所定の荷重で押し付け、常温常湿下で放置した。この際、接触面にかかる圧力は圧痕の面積から近似的に算出した。図4に算出した圧力の値と観察されたウイスカの最大長さ

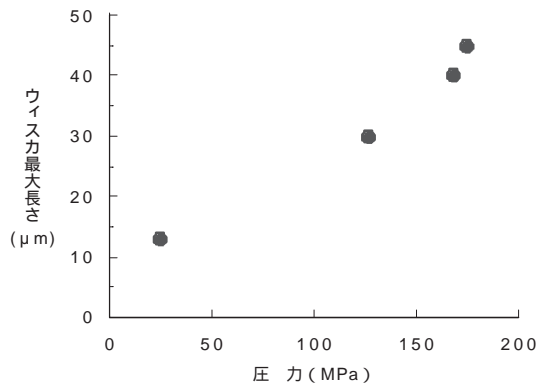


図4 Sn-CuめっきをしたFPCに圧子を押し込んだときの圧力と最大ウイスカ長さの関係

Fig. 4. Relation between pressure and max whisker length.

表1 ウイスカ対策案の検討結果

Table 1. The examination results of whisker prevention.

項目	効果	結果概要
粗大粒		・成長速度は鈍化 ・嵌合時間が長くなると効果薄い
光沢剤減少		・無光沢浴でやや成長速度低下 ・添加量調整は効果なし
合金化		・Ag, Bi添加でわずかな効果 ・SnとSn-Cuでの有意差なし
熱処理強化	拡散層の成長	・リフローでも抑制効果あるが不十分 ・薄めっきとの併用で明確な効果
薄めっき	Sn原子の供給量減少	・めっき厚さを薄くすると効果大

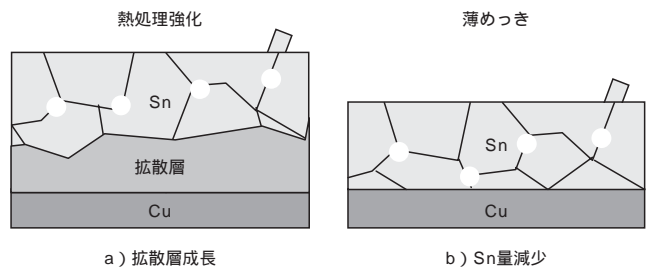


図5 ウイスカ対策案の概略図

Fig. 5. Schematic diagram of whisker prevention.

の関係を示す。圧力が大きくなるにつれて長いウイスカが観察された。これより、ウイスカの加速的成長には外部圧力の影響が極めて大きいと言える。コネクタ嵌合により生じた外部応力がSn原子の拡散の駆動力となり、Sn原子の移動が促進され、移動した原子がウイスカとして成長しやすくなったと考えられる⁴⁾。

2.4 ウイスカ発生機構のまとめ

以上のことから、外部応力型ウイスカの加速的成長の機構として、外部応力の伝搬によってSnの拡散速度が促進され結晶粒が成長するものと推測される。そこで、ウイスカ抑制策として、1つ目にはめっき内に生じる応力勾配を小さくし、Snの拡散速度を小さくする方法が考えられ

る。また、2つ目として拡散するSnの供給源を低減させる方法があげられる。これら2つの方法に関して具体的に行った検討項目を表1に示す。Snめっきの結晶粒粗大化や合金めっきではウイスカ抑制効果がほとんど得られなかったが、熱処理の強化とSnめっき厚さを薄くする方法で効果が得られた。通常、Cu系の材料にSn系めっきを施した場合、Cu原子がSn中を拡散していき、SnめっきとCuの間にSnとCuの金属間化合物（以下、拡散層と記す）が形成される⁵⁾。熱処理を強化することで、図5に示すように拡散層を優先的に成長させてウイスカ成長に供給されるSn原子の量が減少し、ウイスカ発生を抑制できる。また、Snめっき厚さを薄くすることもSn原子の絶対量を減少させる効果がある。そこで、当社では、この2つの項目を組み合わせた方法をFFCへ適用することにした。なお、ウイスカ抑制方法を検討するにあたって、ウイスカ抑制の目標値を、現行の狭ピッチパターンでも回路間の短絡が起こらない50 μm 以下にすることにした。

3. 実験方法

3.1 試料作製

タフピッチ銅（Cu）の荒引線を0.76mmまで冷間伸線し、電気めっきによりSnめっきを実施した。次に、0.12mmまで冷間伸線した後、圧延機により幅0.3mm、厚さ0.035mmに圧延し、通電アニールにてアニールを実施してFFC用の平角導体を得た。電気めっきは平角導体のSnめっき厚さが約1.5～4.0 μm になるように調整した。また、通電アニールの条件を調整し、拡散層の厚さが異なる試料を作製した。アニール条件が強くなるにつれて、拡散層の成長が顕著になる。

3.2 めっき厚さおよび断面構造評価

FFC導体を樹脂に埋め込み、断面を研磨してSEMで観察することによってめっき部の拡散層の成長度合いを評価した。

3.3 耐ウイスカ性試験

SnめっきFFCの端子部にコネクタを嵌合し、常温常湿下に各試料を最大1,000h放置した。その後、各端子の表面をSEMで観察し、発生している最大のウイスカ長さを調査した。なお、コネクタは、Snリフローめっきを端子に施したコネクタ（以下、SnRコネクタと記す）と、下地Niめっきの上にAuめっきを端子に施したコネクタ（以下、Au/Niコネクタと記す）の2種類を用いた。

3.4 信頼性評価

コネクタ嵌合時における接触抵抗評価を以下の方法にて実施した。まず、FFCをコネクタに嵌合させた状態で、ヒートショック試験を行った。温度サイクルは、-40～85 \times 25～100回（各30min保持）とした。ヒートショック試験の前後で、コネクタ-導体間の抵抗を求め、接触抵抗の上昇率を算出した。

4. 実験結果と考察

4.1 めっき構造評価

図6にFFCのめっき部の断面SEM像を示す。熱処理を行うことで、拡散層が安定して成長していた。ウイスカ成長のSn原子の供給源となるのは、全体のめっき厚さから拡散層を引いた純Snめっき層（以下、残存Sn層と記す）の部分であるため、残存Sn層厚さを制御することが重要になる。

4.2 残存Sn層厚さと耐ウイスカ性の関係

図7にSnめっき厚さおよびアニール条件を変化させて作製したFFCの残存Sn層厚さと発生した最大ウイスカ長さの関係を示す。いずれのコネクタにおいても、Snめっき厚さを薄くするとともに、通電アニールでの熱処理により拡散層を成長させて残存Sn層を薄くしためっき構造にすることで、ウイスカ発生が抑制される結果が得られた。これはウイスカ成長に供給されるSn原子の絶対量が減少したためと考えられるが、もう一つの要因として、熱処理強化によるSnめっき中の残留応力を除去する効果があげられる。これまでのウイスカについての報告で、電気Snめっきと比較してめっき中の残留応力が少ない熔融Snめっきは、耐ウイスカ性が高いことが知られている⁶⁾。通電アニール時にSnめっきが一度熔融することで、電気Snめっきのままの場合と比較して、Snめっき中の残留応

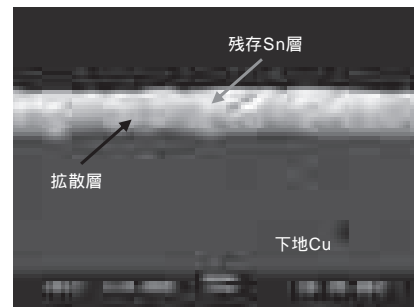


図6 SnめっきFFCのめっき部断面
Fig. 6. Cross section of tin plated area.

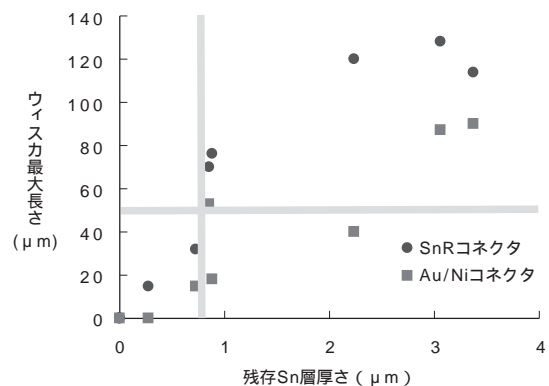


図7 SnめっきFFCの残存Sn層厚さと最大ウイスカ長さの関係
Fig. 7. Relation between thickness of remaining tin layer and max whisker length.

力が減少したことも要因として考えられる。また、図7の結果より、最大ウイスカ長さを50 μm 未満に抑制するためには、残存Sn層厚さを約0.8 μm 以下にする必要があることがわかった。

4.3 信頼性評価

拡散層を成長させるために、通電アニールの条件を強くし、残存Sn層を薄くした場合の導体の接触抵抗について調査を行った。種々の残存Sn層厚さを持ったサンプルを用いて、ヒートショック試験前後の接触抵抗値を測定し、接触信頼性を評価した。その結果を図8に示す。残存Sn層厚さが0.3 μm 以下で抵抗が急激に上昇する傾向があるが、0.4 μm 以上では抵抗上昇率の変化はほとんど見られなかった。よって、ウイスカ対策として、熱処理の強化により残存Sn層厚さを0.8 μm まで減少させた場合でも、信頼性には悪影響をおよぼさないことが確認できた。

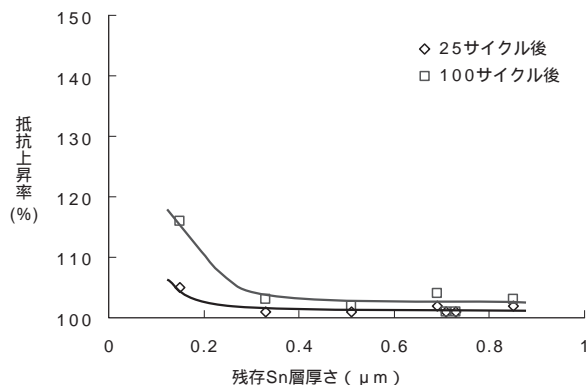


図8 ヒートショック試験におけるFFCの残存Sn層厚さと接触抵抗上昇率の関係

Fig. 8. Relation between thickness of remaining tin layer and rate of contact resistance rise.

5. むすび

PbフリーSnめっきFFCのコネクタ嵌合時のウイスカ抑制策として、めっき厚さを薄くするとともに、熱処理の強化により残存Sn層厚さを薄くする方法が効果のあることがわかった。検討の結果、最大ウイスカ長さを50 μm 未満に抑制し、かつ接触信頼性を持たせるためには、残存Sn層厚さを0.4~0.8 μm にする必要がある。当社では、ウイスカ対策FFCを2005年から量産し、これまでウイスカによるトラブル事例は発生せず、安定した納入を続けている。これまでの検討により、ウイスカ成長の防止対策は確立できたが、ウイスカの発生、成長のメカニズムが未だ完全には解明されていない。今後、これまでに得られた材料知識や経験をもとに、ウイスカの発生、成長のメカニズムをさらに解明していく必要がある。

参考文献

- 1) 高木, 大沼, 沢田, 吉沼, 渡邊, 吉永, 谷平, 佐藤, 唐牛: フジクラ技報 第87号, pp.57-59, 1994
- 2) 市川, 菅原, 廣瀬, 鎌田: フジクラ技報 第102号, pp.35-37, 2002
- 3) 小谷ほか: Eで稼ぐ グリーン決戦まであと656日, 日経エレクトロニクス, 2004年9月13日号, No.882, pp.119-141
- 4) K. N. Tu: The American Physical Society, Vol.49, No.3, pp.2030-2034, 1994
- 5) George T. Galyon and L. Palmer: IEEE Transaction on Electronics Manufacturing, Vol.28, No.1, January 2005
- 6) 志賀, 鈴木, 加藤, 成瀬: 古河電工時報 第73号, pp.165-175, 1981