

身近な金属の  
ミクロ組織を読む

第 64 回

# 鉛フリーはんだ付けの今と昔

この10年で鉛フリーはんだ付けに対し世界中で研究が為され、大変に多くの事実が分かっています。そこで、本稿では、今求められている信頼性に焦点を当て、最近の鉛フリーはんだ実装に関わる話題を紹介しましょう。



写真1 Sn-Ag-In-Bi系で1998年にリフロー量産を果たしたMDとその実装基板(パナソニック)



写真2 Sn-Zn-Bi系でリフロー量産を果たしたノートパソコンとその実装基板(NEC)

## はじめに

十年一昔と言いますが、鉛フリーはんだにより実装された民生機器の量産が始まったのが、1998年の10月でした。写真1は、その記念すべき製品となったポータブルMDプレーヤーと基板を示します。この時使われた鉛フリーはんだは、Sn-Ag-Bi-In系で、採用に際しては、従来使われてきたSn-Pb共晶はんだと同レベルのリフロー温度と扱いやすさが重要視されました。これは、当時の基板や部品の耐熱性が、今日標準となったSn-Ag-Cuの実装温度では保証が出来なかったからです。そのすぐ後に実用化されたノートパソコンでは低融点のSn-Zn系はんだが実用化になりましたが、これも実装温度を極力抑えたかったことが大きな採用の理由です(写真2)。その後、徐々に基板や部品の鉛フリー対応が進み、Sn-Ag-Cuが世界標準はんだとなったことは、広く知られています<sup>1)</sup>。今日、市場にある電子機器のほとんどは鉛フリー化されています。また、ELVやRoHSなどの欧州環境規制の改定が進み、内部接続の高温はんだも含めた完全鉛フリーはんだ化も間近に迫っています。一方、市場における旧来の電子・電機機器故障の原因とする深刻な事故から、機器に求められる長期信頼性は20年保証を越えるまでに至っています。さらに、車載機器の電子化では、はんだ付けに従来の無い高信頼性が求められるようになってきていることは言うまでもありません。

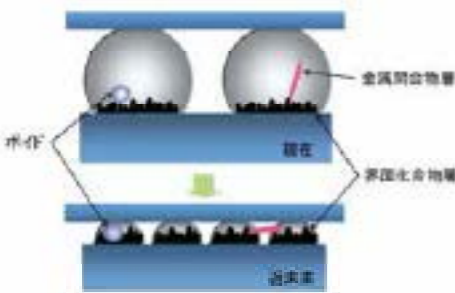


図1 近未来の接続部位は、はんだのポリウムが極小になる一方で、リフロー条件が変化しないので、欠陥となる界面の化合物、ポイド、金属間化合物などの影響が深刻になる。

## 鉛フリーはんだ付けと界面

はんだ付けにおいて、基材との界面状態は、実装機器の信頼性へ大きな影響を及ぼします。特に、高集積化により、はんだ付け部位は年ごとに小さくなって行きます。図1には、今日の接続部のスケールでの界面の状態が、近い将来には接続部のポリウムが減少するために非常に大きな体積を占めることになる様子を漫画で示しました。基本的なはんだ付け現象と界面を理解することが大切な所以です。ここで、界面の品質が問題となる一つの例として、「ブラックパッド」を紹介しましょう。Ni-P無電解めっきは、配線の酸化を防ぎ付加価値の高い基板や部品に多用されるめっきです。ところが、めっき品質やプロセスの管理を原因とし、しばしば深刻な市場故障を引き起こすことがあります。このブラックパッドには、2つの原因があることが分かっています<sup>2)3)</sup>。それは、そもそものNi-Pめっきが酸化してしまっている場合と、反応によりPリッチ層が界面に厚く形成される場合です。つまり、基板のめっき品質が悪い場合と、実装条件が望ましくなく界面反応が激しく生じる場合です。写真3には、実際に市場故障を引き起こした基板のNi-Pめっきの表面を示します。黒い部分は、酸化されて変色した部分です。納入される基板は、この上にAuが薄く形成されるので、Ni-Pめっきがこのような酸化しているかどうかは分かりません。

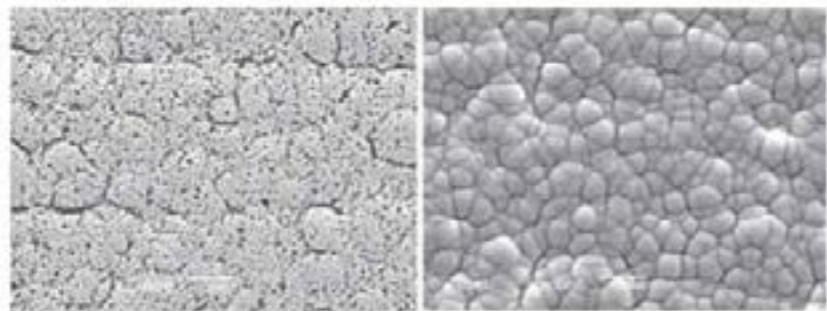


写真3 ブラックパッドを生じたNi-Pめっき(左)と正常なNi-Pめっきの表面(右)。Auめっきを剥がした後のSEM写真。

## ウイスカの問題

Sn、Zn、Cdなどで生じるウイスカは、長い年月に渡り数々の電子機器の故障を引き起こしてきました。米国のNASAは故障事例をウェブで公開していますので、是非ご参照頂きたいと思えます<sup>4)</sup>。最近の例としては、写真4のスペースシャトルの飛行制御ボックス、商業衛星の故障、原子炉の故障、あるいは腕時計の故障などがあります。ウイスカによる故障の現れ方としては、瞬間的または継続的なショートだけではなく、ウイスカが蒸発してアークプラズマ発生し破壊的な故障となる場合、ウイスカが浮遊して生じるショートや光学系への影響、さらには高周波回路への影響などがあります。Snウイスカの発生メカニズムは様々に提案されてきましたが、未だに完璧な理解には至っていません。電子機器の置かれる環境が様々ですので、環境側から分類すると、メカニズムの推測がしやすくなります。いずれにおいても、元素の異常に早い拡散が、ウイスカ発生に関係しています。この環境条件を整理すると、下記の5つのケースに分けることができます<sup>2)</sup>。

- ・ 室温におけるウイスカ
- ・ 温度サイクルで発生するウイスカ
- ・ 酸化・腐食で発生するウイスカ
- ・ 外圧下で発生するウイスカ
- ・ エレクトロマイグレーション(EM)で発生するウイスカ

# ●シリーズ● 材料の素顔に迫る 大阪大学 産業科学研究所 教授 工学博士 菅沼 克昭

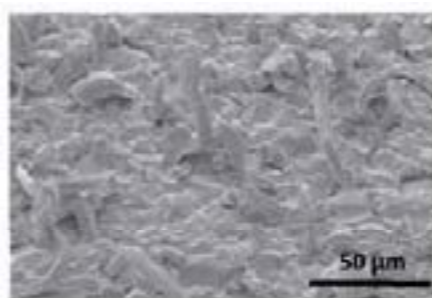


写真5 42アロイ上のSnめっきで発生した温度サイクルウイスカ

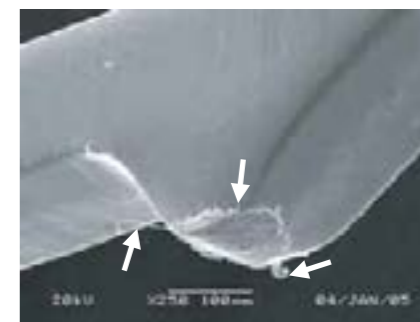


写真6 コネクタのコンタクト側で発生したウイスカ(Sn-Cu合金めっき) 矢印で示す長いウイスカの他に多くのノジュールが形成されている

これらの環境因子の中で、室温におけるウイスカ発生・成長が、最も分かりやすいものです。図2に、そのメカニズムを図示しました<sup>2)</sup>。室温ウイスカの発生は、Snめっき/Cu界面に室温で成長する化合物を原因とします。化合物による体積膨張が圧縮応力を生じ、拡散の引き金となるわけです。ピラミッド状に成長した化合物結晶は、Snめっきに圧縮応力の勾配を発生させ、Snの粒界拡散を促進します。

Snめっきが熱膨張差の大きな基材に施される場合は、温度サイクルや熱衝撃で著しく多数のウイスカが発生します。セラミック部品や42アロイのリードなどが問題になり、その例を写真5に示します。ウイスカの発生密度は高いですが、比較的短いウイスカに留まります。

高い湿度環境ではSnの酸化が進み、酸化の不均質性からめっき膜へ応力が発生しウイスカが形成されます。この酸化・腐食ウイスカは、室温ウイスカとは異なり酸化が十分に進むまでの潜伏期間を持つのが通常です。対策が難しいウイスカで、基本的には酸化させないことが必要です。

さて、日本においてSnウイスカが鉛フリー化の途上で大きな問題になったのは、ファインピッチのコネクタです。写真6は、Sn-Cuめっきされたコンタクト側に発生したウイスカです。コンタクト先端部分のめっきが大きく塑性変形し、Snウイスカは、変形部位

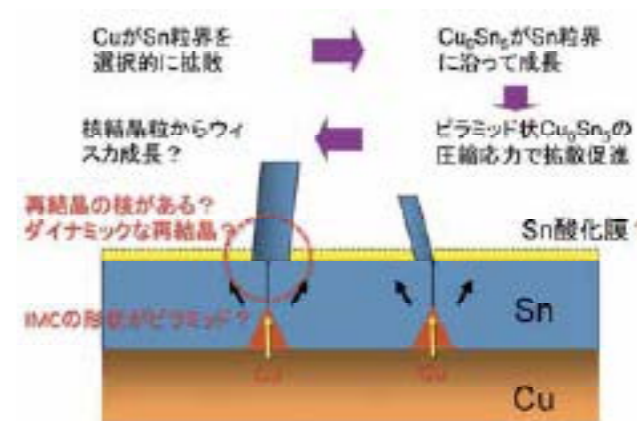


図2 室温近傍のウイスカ成長メカニズム (MC: Intermetallic compound, 金属間化合物)

の周囲から発生しています。めっき種類、嵌合圧力、リフロー処理などのウイスカ発生へ及ぼす影響が知られています。

最後のEMウイスカですが、まだ検討例が少なく、統一的理解に至っていません。ファインピッチが進むフリップチップ接続やパワー化が進む自動車や自然エネルギー変換などのモジュールで問題が顕在化すると考えられるので、今後の集中的な取り組みを期待したいところです。

今日、Snウイスカの発生成長の基礎メカニズムがようやく理解され始めましたので、

その予防策も徐々に提案されるようになってきました。今後の開発の成果に期待が掛かるところです。

## おわりに

本稿では、鉛フリーはんだ付けの歴史から、その実用化が進んだ今日、新たな焦点となっている事柄をピックアップして紹介しました。はんだの歴史は長いですが、意外と、めっきやはんだの組織評価方法ですら十分には確立されていませんでした。しかし2000年以降の産業界の鉛フリー化によって、Snを取り巻く科学に漸く陽が当たり始めたところです。はんだ付け実装は、間違いなく機器の寿命を決定する要素になります。日本における物作りの特色をこれからも維持しアピールするためには、その信頼性へ多大の影響を持つ諸現象の基本的な理解が必要であり、これに立脚した評価技術、観察技術を揃えなければなりません。世界的に実装の高付加価値化が目される今日、皆様のこれまでの豊富な経験と最先端の知識、解析技術を駆使し、戦略的な技術開発が展開されることを期待したいと思います。

## 参考文献

- 1) 菅沼克昭: はじめてのはんだ付け技術、工業調査会、(2002)。
- 2) 菅沼克昭: はじめての鉛フリーはんだ付けの信頼性、工業調査会、(2005)。
- 3) K.Suganuma, K.-S.Kim: JOM, 60[6] (2008), 61-65
- 4) NASAホームページ: <http://nepp.nasa.gov/whisker/>

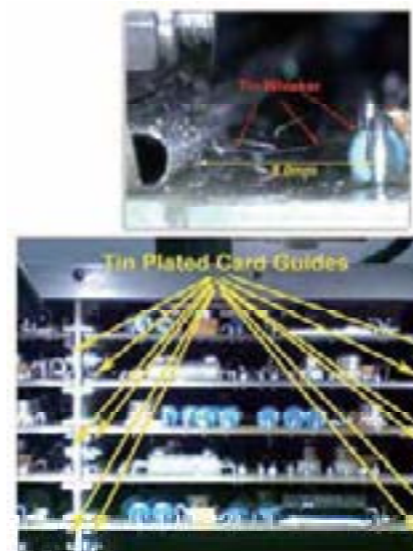


写真4 スペースシャトルの制御系でSnめっきされたフレームに発生したウイスカ (NASAより)

