

高温動作環境下におけるはんだ付け部の信頼性

近年、パワーエレクトロニクスの進展やLEDの多方面での利用に伴い、半導体やモジュール内はもちろん、そのPKGや抵抗のはんだ付け部も高温になってきた。このため接合部の高温耐久性や使用温度範囲拡大による疲労破壊などの故障増加が懸念される。本稿でははんだ付け部が高温になることで促進される破壊や高温で発生する新たな信頼性問題とされる現象について概説する。

1. はんだ付け部の信頼性

「製品の長期使用時に故障が生じる過程では、物理的、化学的要因で複合ストレスが、順列的もしくは同時に進み、劣化が製品の耐力を超えた時点で故障に至る」とされる。はんだ付け部では、以下6項がこのような故障に至る原因と考えられる。

- ① はんだクラック
- ② エレクトロマイグレーション
- ③ エレクトロケミカルマイグレーション(イオンマイグレーション)
- ④ 合金層の成長によるはんだ接続性の低下
- ⑤ 腐食
- ⑥ ウィスカ

はんだ歪み

Δt の拡大ではんだひずみも増大(下図 点線)

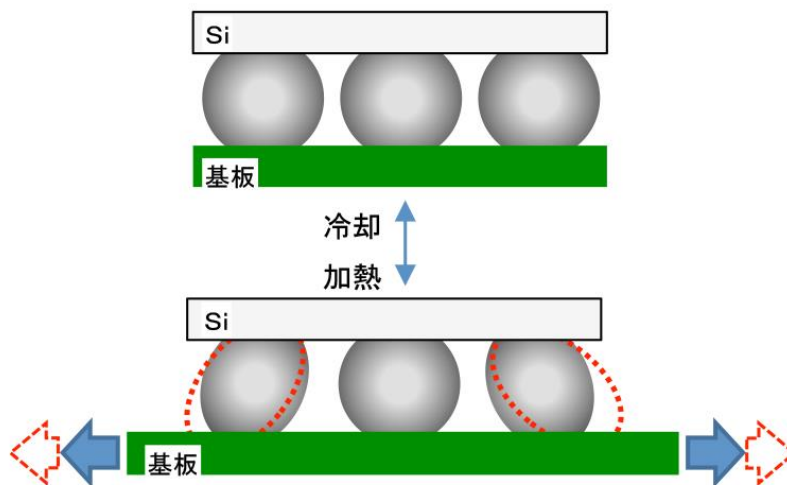


図1 熱疲労破壊によるはんだクラック

これまでは、はんだ付け部の信頼性としてクラックを原因とする破断が主で、他原因が引き起こす破壊はほとんどなかった。しかし、はんだ付け箇所が高温になることで上記②～④による破壊が懸念される。本稿では、接合箇所が高温になることで問題になる①～④の信頼性項目について記す。

2. はんだクラック

はんだクラックによる破壊は、一定応力が負荷され続けるクリープ破壊、繰り返しの加熱冷却で発生する熱疲労破壊、振動などで発生する機械的疲労破壊がある。この中で熱疲労破壊が7割を占める¹⁾とされており、当社で取り扱うクラック破断も、ほとんどがこの形態と考えている。

熱疲労破壊について記す。はんだで熱膨張率の異なる材料を接合しているため、温度変化によりはんだ接合部には繰り返し応力が加わる。この熱膨張率のミスマッチがクラック進展の推進力となる。はんだ付け部が高温になることで Δt が拡大し、クラック進展の推進力が増すことで完全破断までの時間が短くなる。図1に歪みの図を記す。したがって、高温で使用されるという事はクラックに対する信頼性を強化する必要があると考える。

- ①熱膨張率が近い材料をはんだ接合する
【例】基板材質の変更等
- ②温度変化の緩和
【例】冷却ファン、水冷等
- ③温度変化による接合部のストレス低減
【例】アンダーフィル、ダミーパッド等
- ④応力集中の分散、低減
【例】実装位置の変更、設計変更等
- ⑤クラックが入り難い材料
【例】耐クラック性に優れるはんだ材料等

図2 はんだクラック対策

はんだクラック対策を図2に示す。クラックが入らないように、このような対策を試みるが現実的な条件の中でクラックが発生しない方法はない。コストを含む製品固有の保証基準を適切に設け、それを満足する試験および判断基準を設定することが重要となる。対象部が高温になるとクラック進展は促進されるため、保証基準を満足するための開発と試験方法、条件を含む判定基準の見直しが必要と考える。

また、Sn基Pbフリーはんだでは、クラック進展が極端に早い場合があると聞く。基本的には β -Snの結晶異方性に起因すると考えられ²⁾「特定の方位が出現した場合」「結晶粒界がクラックの進行方向と一致した場合」にその進行は加速される。具体的な対策はないので、今後の研究が期待される。

3. エレクトロマイグレーション

エレクトロマイグレーション（以下EMと表示）の発生し易い状況が整ってきた。例えば、ハイブリッドカーのパワーコントロールユニットは低燃費と小型高出力化が同時に要求されることからカーメーカーでもEMの検証が進められるようになってきている。³⁾ 小型高出力化の進展で接合部の高温化、微細化は確実に進む。高温、高電流密度で発生するEM発生要件が揃ってきたと言えよう。このため車や車載部品のメーカーでEMを現実的な信頼性問題と捉え積極的な評価が始まっている。

1) EMについて

EMとは金属配線を流れる電流密度が上がると金属原子が電子の流れる方向に輸送される現象で、その最大の加速要因は温度である。図3にはんだボールで接合した左右の配線から電流を流しEMで断線した状態を示す。図4にはEMが進展している電流印加中の断面SEM像を示す。上段の全体写真ではカソードからアノードに向かって、はんだ中を銅が移動している様子が伺える。

下段の接合界面の拡大では、アノード側で化合物層が増大しており、カソード側では銅移動によりボイドが発生しているが化合物層は厚くなっていない事がわかる。カソードからアノードへの銅移動により、最終的に図3の断線となる。

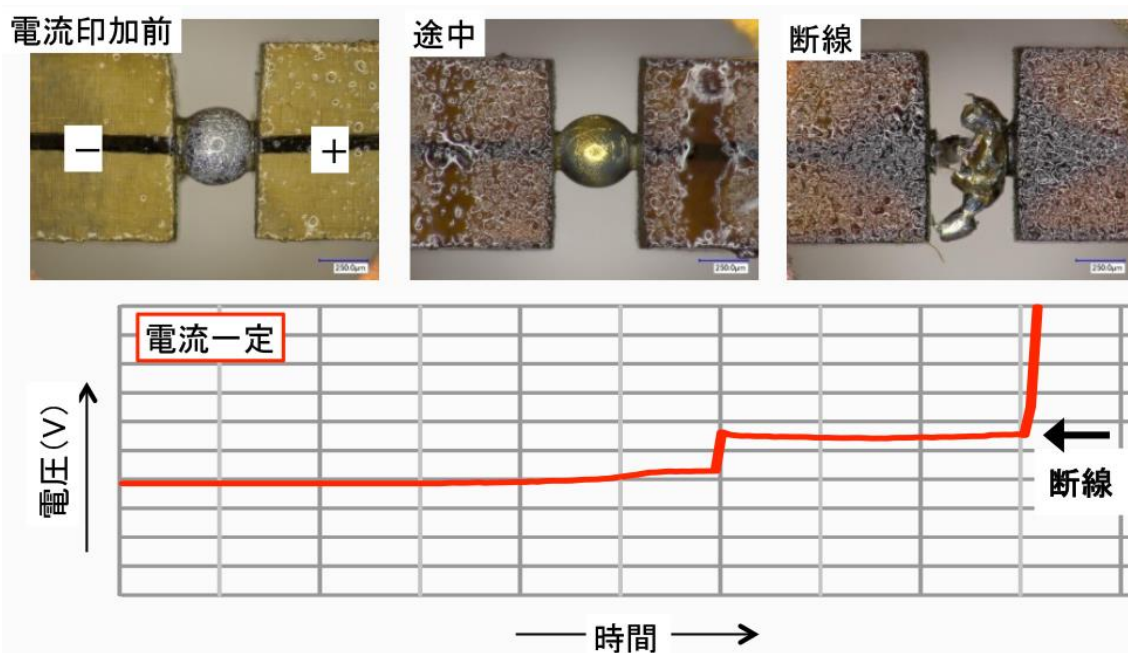


図3 EM試験

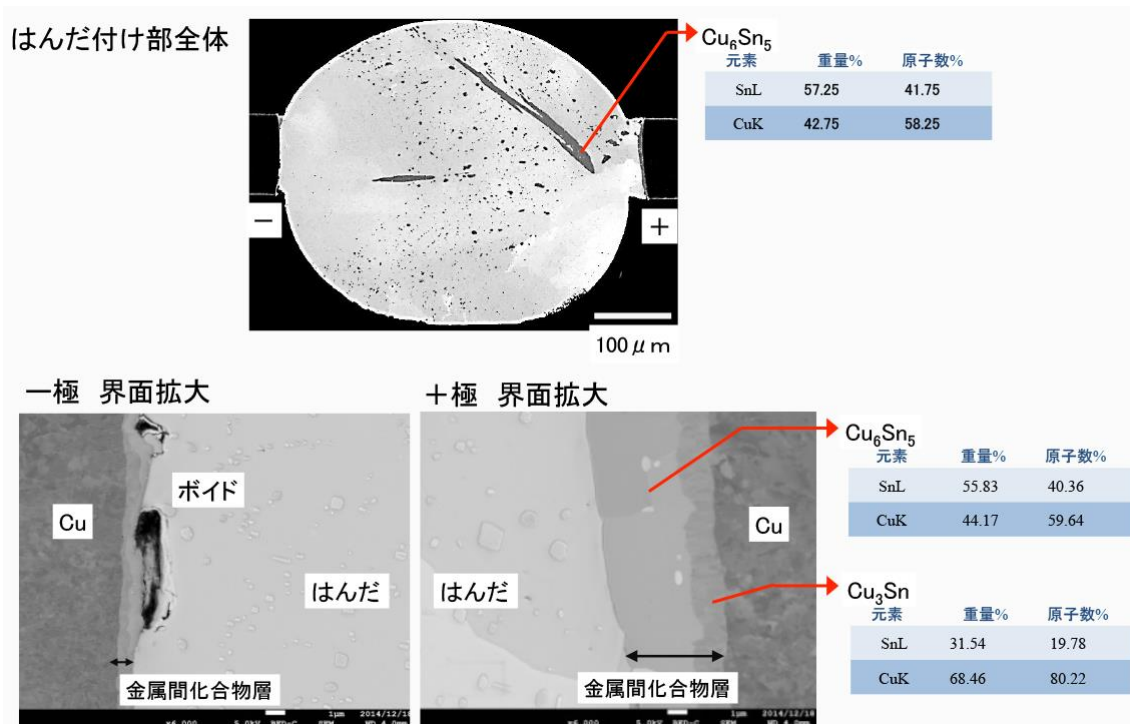


図4 電流印加途中のSEM画像

2) EMへの取り組み

当社ではEMに対して以下の取り組みを行っている。

- 受託試験としてEM試験およびその観察、評価
- EM試験用基板およびEM試験片作製
- EM現象に関する共同研究, 受託研究, 自社研究

EM試験は確立されておらず、試験片を準備することも難しい。そこで、できるだけ簡易で正確にEM試験が行えるよう試験片を考案した。

当社の試験基板を使用した試験片を図5に示す。提示した試験基板のはんだ付け部は、はんだ長400 μm、パッド寸法100×100 μmだが、要望のサイズに変更することもできる。また、Ni/Auめっき等パッド表面処理を施すことも可能。

共同研究、受託研究としてお客様と話し合いながら進める研究も行っているが、自社研究として検討している場合もある。図6にその一部を示す。

はんだ凝固速度をコントロールし徐冷、通常、急冷でEM試験片を作製した。

上段は断面の光学顕微鏡写真、中段は画像処理でSn初晶の単位面積あたりの個数を計測した写真である。(使用ソフト: Scandium 西華デジタルイメージ社) 冷却が速いと

細かな Sn 初晶が多く、単位面積あたりの初晶数が多いことがわかる。初晶サイズや個数が EM の進展に影響を与えないか検証を予定している。

下段は EBSD による結晶方位解析の像を示す。結晶方向やサイズは EM にも影響を与えることが報告されており^{4) 5)} C 軸が電流方向に対して 垂直 (図 6 下段の水冷), 平行 (図 6 下段の徐冷) の試料を作製し、結晶方向と EM の関連を検証している。

EM 現象は、今後 必須の信頼性試験になる可能性もあり、試験方法や判定、そして改善検討に注力していきたい。

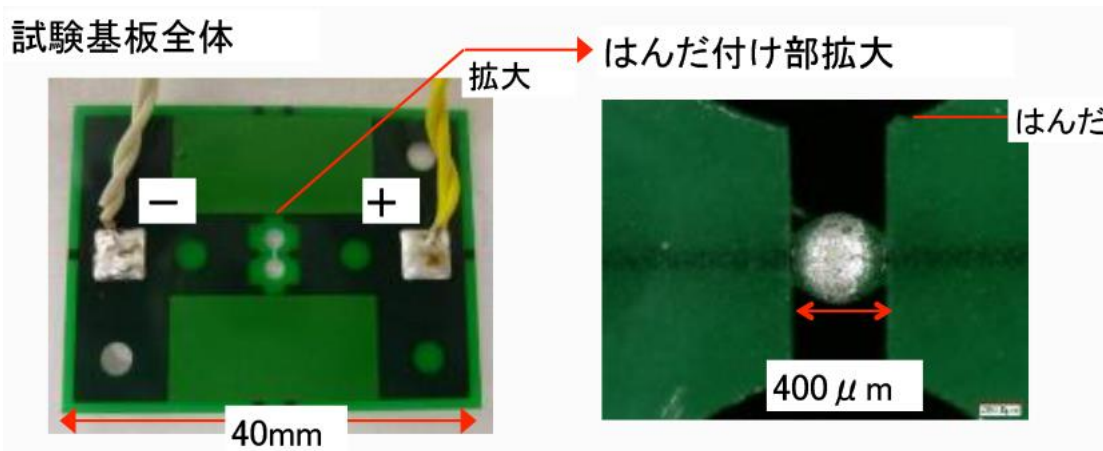


図 5 EM 試験試験片

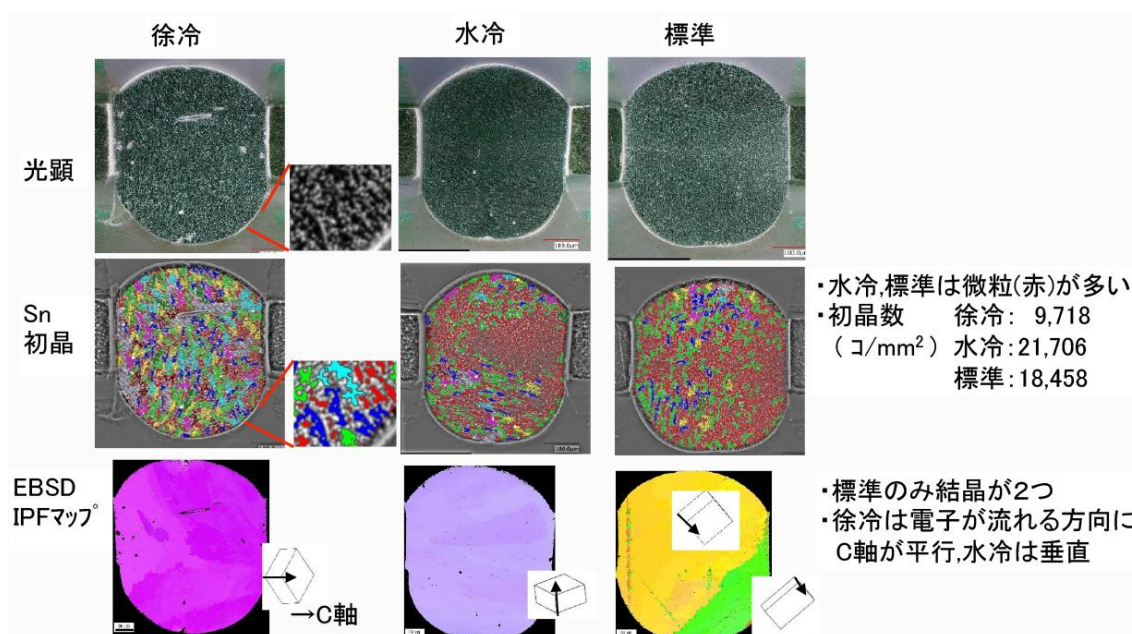


図 6 結晶方位と Sn 初晶分散状態が EM に及ぼす影響

3. エレクトロケミカルマイグレーション (イオンマイグレーション)

エレクトロケミカルマイグレーションは電極部の金属が溶出した後、樹脂状に金属析出しショートする現象で、以前はイオンマイグレーションと呼ばれていた。JPCA 規格の見直しに当たり用語が検討されエレクトロケミカルマイグレーション (以後 ECM と記す) が主となったことから、本稿でもこちらの用語を使用する。

1) フラックス残渣と ECM

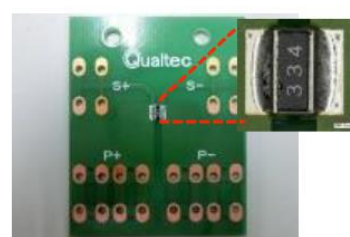
1989 年に施行されたフラックス洗浄剤の規制 (フロン規制) を境に、はんだ付け後のフラックス残渣が洗浄されない、いわゆる無洗浄タイプが主流となった。このため、はんだ付け後に残ったフラックスの信頼性は、重要な特性として認識されるようになった。フラックスと ECM の詳細は本誌 2014 年 4 月号に詳しく記載しているので参照されたい。

筆者は長い間はんだ付け材料の開発に携わってきたが、フラックス自体の問題で ECM による不良を経験したことがない。これは、JIS 等の一般的な信頼性試験を確実に実施していれば問題は発生しないということであろう。しかし、近年チップ抵抗下に ECM が発生する同様の事例を複数経験した。図 7 に示すような長手側に電極のあるチップ抵抗が高電圧で使用され高温になる場合である。

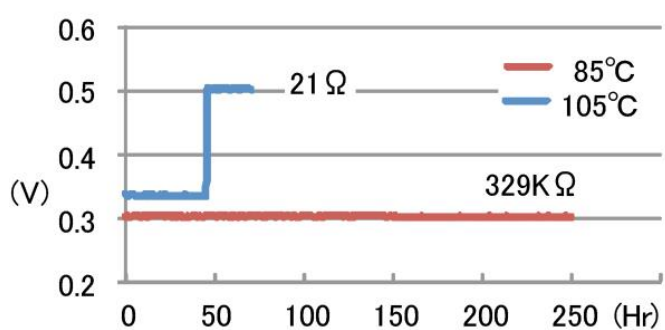
2) 高温下で発生する ECM

図 7 に試験サンプル外観と結果を示す。長手电極の 330kΩ チップ抵抗をはんだ実装し、100V 印加する。85°C 雰囲気では問題ないが 105°C では 40 時間放置で ECM により部品下で通電していた。現在、お客様とこの対策を検討している。

試験サンプル



条件 パッド間距離: 700 μm
はんだ印刷厚: 150 μm



105°C
X線像

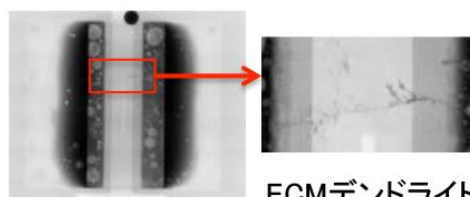


図 7 高温下で発生した ECM

4. 金属間化合物層の成長によるはんだ接続性の低下

はんだ付けの際に形成される母材とはんだの金属間化合物層は（以後 IMC と記載）固くて脆いため、できるだけ薄い方が良くとされる。また、IMCが増加することは良く知られており高温でその成長は著しい。高温環境下では IMC の増加による接合部の信頼性低下が懸念されている。

当社では Ni 表面に特定厚の Cu をめっきすることで高温放置の強度劣化が改善できることを見出した。⁶⁾ 図 8 に試験サンプルを図 9 にシェア強度試験の結果を示す。はんだ付け部は無電解 Ni の表面に 0.05 μm 程度の無電解 Au が施される。開発した表面処理では特定厚の Cu を Ni 表面にめっきすることで、劣化を示す IMC 破壊の増加を抑制できた。

今後ますます問題にされる高温化による接合部の信頼性を、評価方法，対策，開発の面から考え提案していきたい。

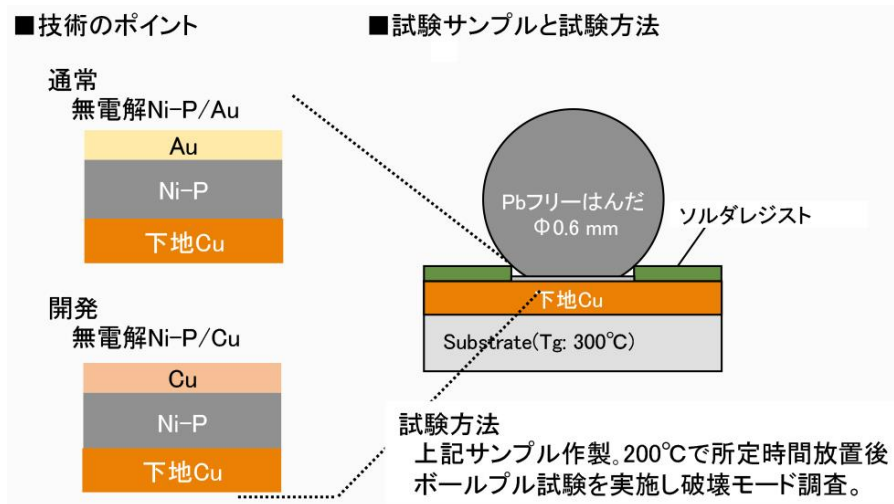


図 8 開発した表面処理と試験サンプル

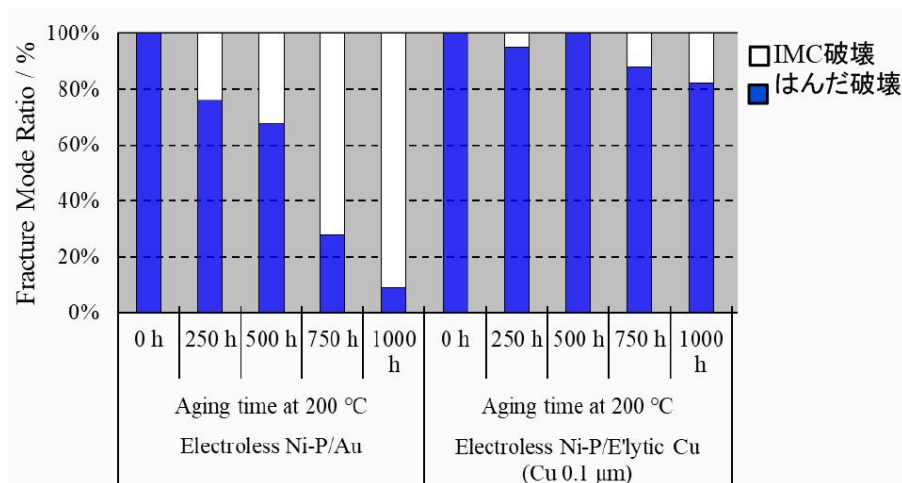


図 9 開発表面処理(再表面 Cu)とボールプル強度結果

【参考文献】

- 1) 久里、他、“はんだ接合部の劣化・寿命診断方法の開発”、東芝レビューVol156 N3.12(2001)
- 2) 苅谷義治、“Sn-Ag-Cu はんだ組織と力学的特徴”、マイクロ接合セミナー(2006)
- 3) 例えば 門口、他、“NiPめっき/Sn-Cu系はんだ接合部のエレクトロマイグレーション現象”、MES2014、(2014) 203-206
- 4) K. Lee, et. al., J. Mater. Res. 26(3), (2010), 467-474
- 5) Y. Wang, et. al., Proc. ECTC2011, (2011), 711-716
- 6) 大矢、他、“無電解Ni-P/Cuめっきが200°C高温環境下のはんだ接合信頼性に及ぼす影響”、Mate2017、(2017) 103-108