

エレクトロマイグレーション

■背景

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た。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。車載用パワーデバイスのはんだ付け部はEMの目安とされる電流密度 $10\text{KA}/\text{cm}^2$ を¹⁾ 超えてはいないが、高温雰囲気下での使用や今後の小型 高出力化を考えると、信頼性問題として認識され始めた。²⁾ 【パワーカード継手部で $2.1\sim 4.2\text{kA}/\text{cm}^2$ 】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。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。

しかし 定まった試験方法はなく試験片を作るのも苦勞する。ここでは、EM試験の簡易方法を提供するとともに、その試験片を使用した実験結果の一部を報告する。

■EMについて

EMとは金属配線を通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。電流密度が $10\text{KA}/\text{cm}^2$ を超えるとEM起因の故障が発生するとされている。¹⁾ 図1にEM現象でパッドのCuが輸送された状態を示す。

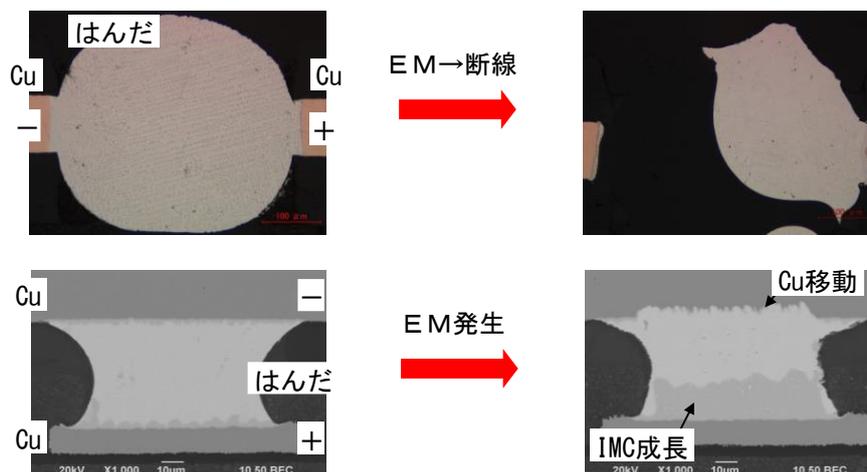
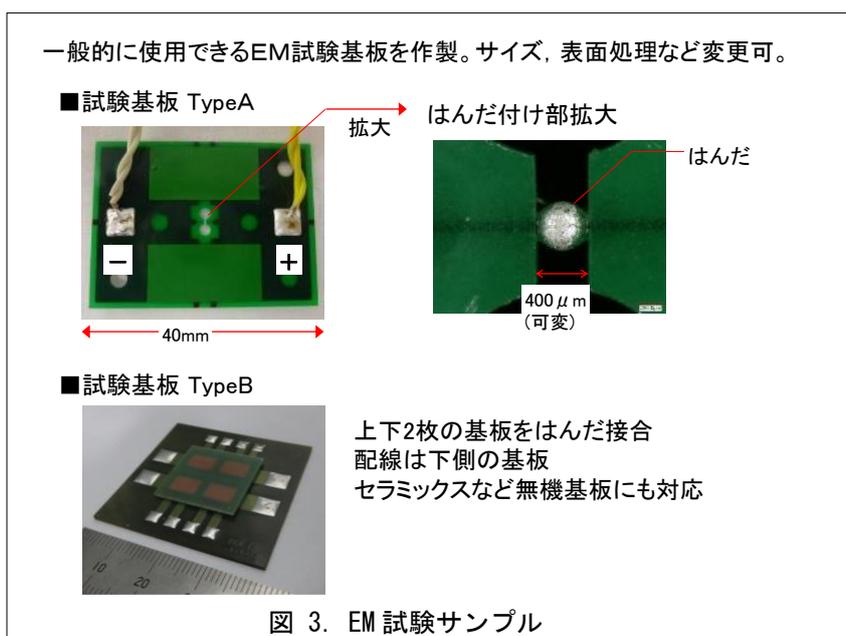
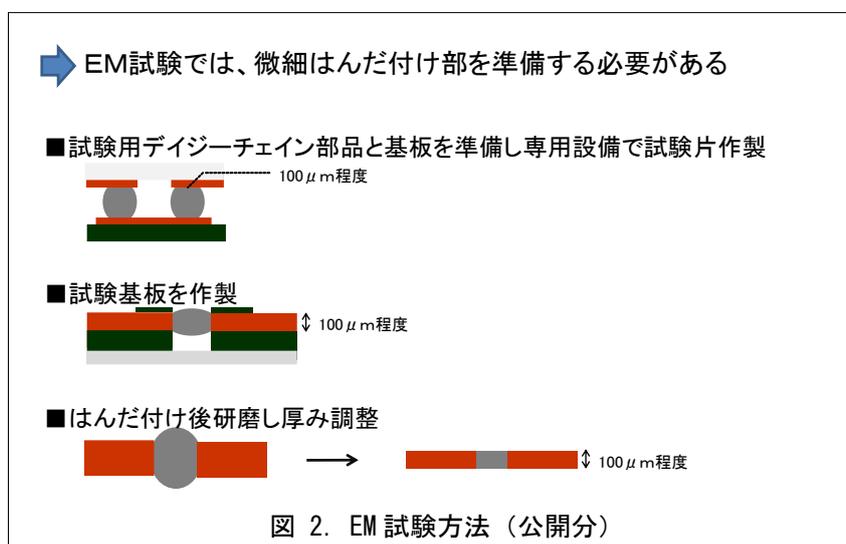


図 1. EM 発生例

■試験サンプル

EM試験は確立されておらず、微細はんだ付け部の試験片を準備することも難しい。これまでに公開されているEM試験サンプルを図2に示す。どの試験片も研究者が工夫

を凝らして作製していることがわかる。このため どうしても「汎用性に乏しい」「専用設備が必要」など、簡単に試験することができない。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。図3に試験サンプルを示す。TypeAは基板の左右に銅板が内層されており中央のはんだ一点で接合している。TypeBは2枚の基板を上下に配置し、その間をはんだ接合している。TypeBでは基材の自由度やめっきし易さが向上するので、より多くの条件でEM試験が可能になると期待している。以降の内容はTypeAでの結果となる。図3 TypeAのはんだ付け部は、はんだ長400 μ m、パッド寸法100 \times 100 μ mだが、要望のサイズに変更することもでき、Ni/Auめっき等パッド表面処理を施すことも可能。(図4)



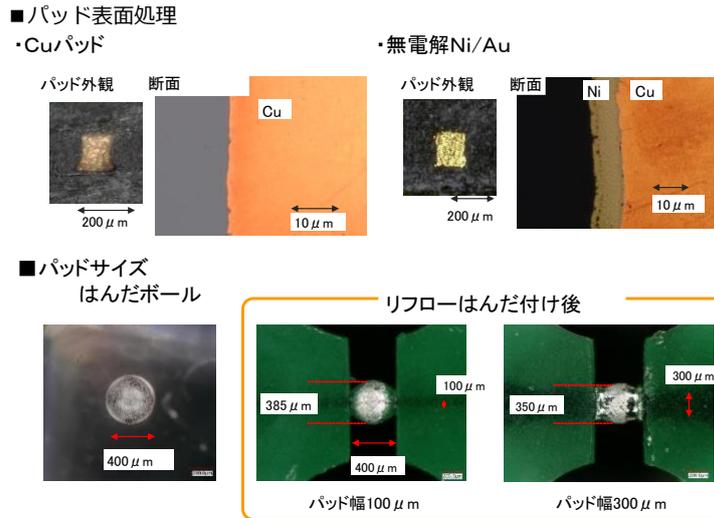


図 4. EM 基板のパッド

以下にEM試験サンプルのまとめを記す。

- ・EM試験用に汎用性の高い基板を作製した。この基板は表面処理、パッド寸法等の仕様を変えることができる。
- ・パッド表面にNi/Au等の表面処理可能
- ・はんだボールを利用し簡易に微細箇所のはんだ付け可能。これにより、比較的簡単にEM試験が可能となった。

■EM試験

初めに、前述の試験基板を用いて印加電流と温度を変数に溶断条件を確認した。その結果から試験条件を決定し、一定電流を流しながら電圧をモニタリングしEM試験とした。図5に電圧変化とその時の接合部外観を示す。

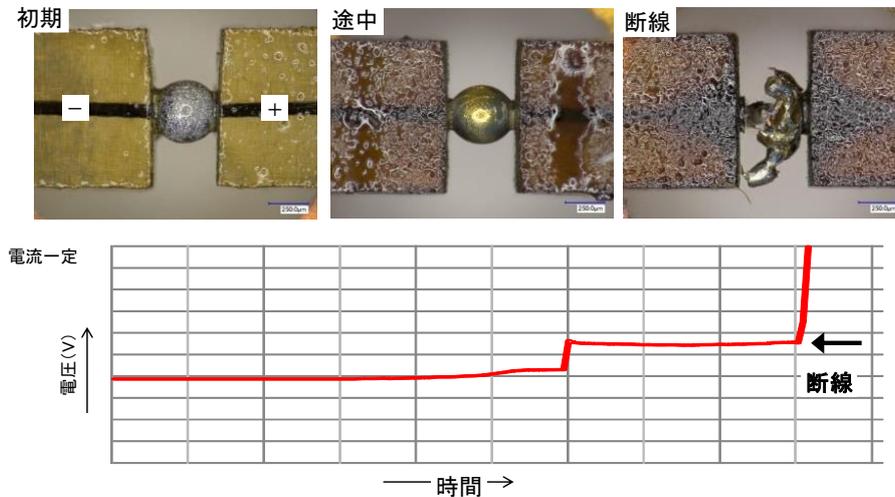


図 5. EM 試験結果

EM 試験時の断面観察結果を 図6に示す。試験開始後しばらく一定だった電圧は途中から上昇しカソード側で断線に至る。図7より電流印可前にはカソード、アノード側ともに2, 3 μmの厚みだった金属間化合物層が、EM進展に伴い 電子を受け取るアノード側で厚くなっていく様子がわかる。また「印可途中」のカソード側では空隙部も観察され断線への 進行が見て取れる結果となった。EM進展の様子がわかりやすい「印可途中」の断面を図7に示す。はんだ中をカソードからアノード側に流れているように見える黒部はCuSn合金で、その比率からCu₆Sn₅と推測される。金属間化合物層が厚くなっているアノード側は2層に分かれておりCu/Sn比から Cuパッド側がCu₃Sn、はんだ側がCu₆Sn₅と考えられた。

赤矢印は金属間化合物層(IMC)を示す。

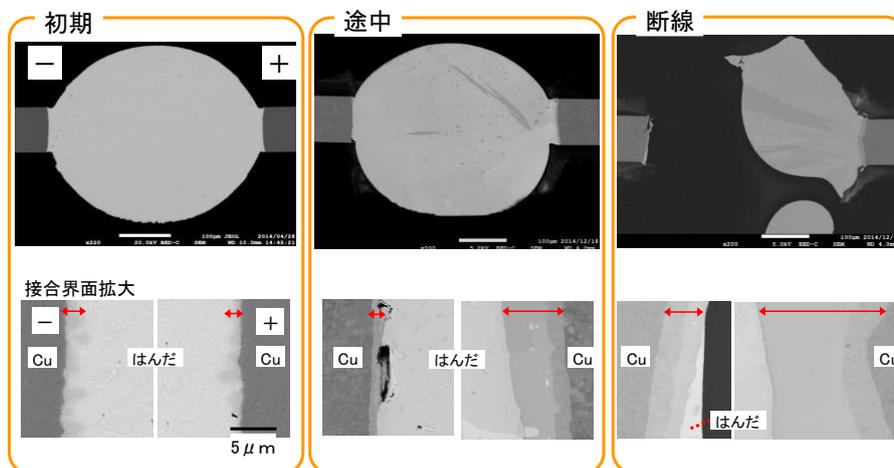


図6 . 断面観察

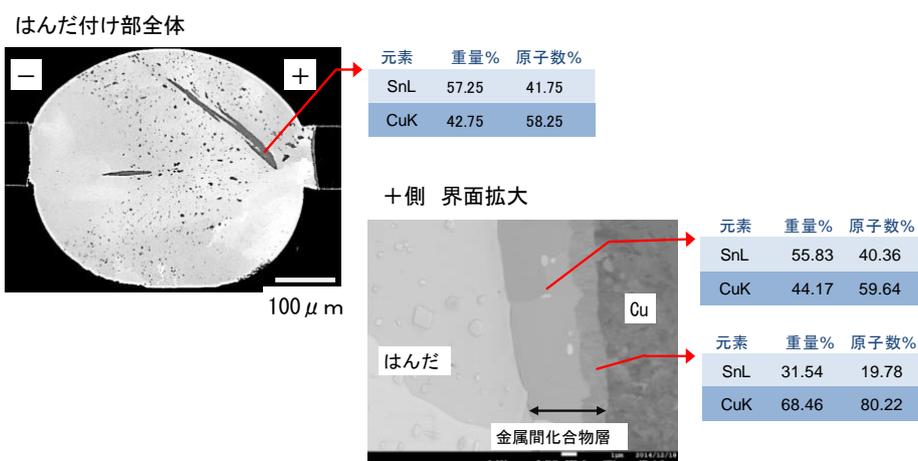


図7. 電流印可中の断面観察

以下にEM試験サンプルのまとめを記す。

- ・ 時間経過とともに抵抗が上昇しカソード側で破断。
- ・ カソードからアノードに向かってCuの移動が確認された。
- ・ カソード側ではボイド発生、アノード側では金属間化合物層の増加が確認された。

■結晶方位とEM

Sn₃Ag_{0.5}Cuを代表とするSn基合金ではβ-Snの結晶構造に由来する異方性が疲労寿命に大きく影響することが知られてきた。この結晶方位やサイズはEMにも影響を与えることが報告されているため^{3) 4)} 結晶方位とEMの関連調査を進めている。合わせてSn初晶サイズも調査対象に加えようと試験方法を検討している。

結晶方位の観察はEBSDを用いる。EBSDは電子後方散乱回折法 (Electron BackScatter Diffraction Pattern) でEBSPとも呼ばれる。電子線を操作して回折パターンを取得しそのパターンに基づいた結晶情報を図示することで結晶方位のマップを得る。(図8)

電子線を走査し視野全域の回折パターンを取得し、回折パターンに基づいた結晶情報を図示することで結晶方位のマップを得る。

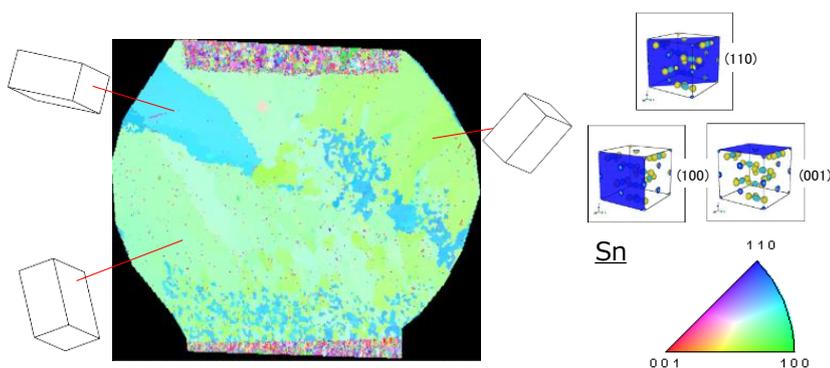


図 8. EBSD:電子後方散乱回折パターン (Electron BackScatter Diffraction Pattern)

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。(図9) 観察例の上段は断面の光学顕微鏡写真で、黒く見えている箇所がSn初晶となる。中段は上段の光学写真を画像処理しSn初晶面積と個数をカウントした。Sn面積でクラス分けし色付けしてあり、赤が最小面積ランクとなる。下段はEBSD結果で、はんだ部がほぼ一色なので、方位から見た結晶は一つだけとなる。図10に徐冷、通常、急冷の比較を示す。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。冷却が速いと細かなSn初晶が多く(最小面積ランクの赤が多い)、単位面積あたりの初晶数も多くなっている。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画像

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^{3) 4)} C軸が電流方向に対して 垂直 (図10下段の水冷), 平行 (図10下段の徐冷) の試料が得られたので、結晶方向とEMの関連を検証していく。

結晶方位およびSn初晶サイズが異なる試料を作製したい

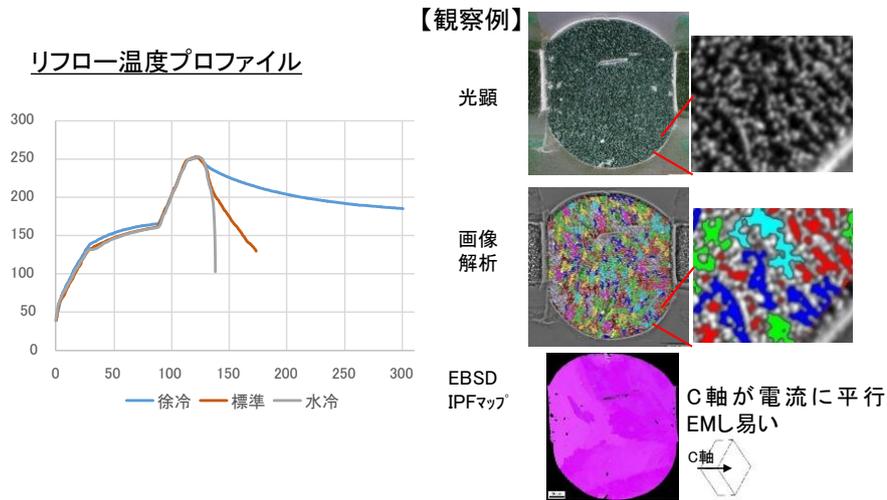
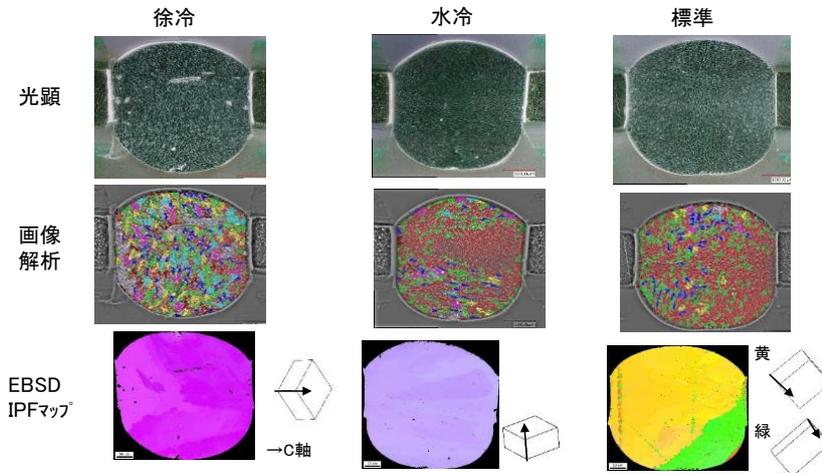


図 9. 試験片の作製



- ・水冷,標準は微粒(赤)が多い
- ・【初晶数】徐冷:9,718 水冷:21,706 標準:18,458 (コ/mm²)
- ・標準のみEBSDで結晶が2つ(黄と緑)
- ・徐冷は電子が流れる方向にC軸が平行,水冷は垂直*)

*)必ず同様の向きになるわけではない

図 10. はんだ断面観察

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する。

- 1) Brandenburg S, Yeh S: Electromigration studies of flip - chip bump solder joints, Proc Surface Mount International Conference and Exposition (1998), 337-343
- 2) 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”, MES 2014、(2014) 203-206
- 3) K. Lee, et. al., J. Mater. Res. 26(3), (2010), 467-474
- 4) Y. Wang, et. al., Proc. ECTC2011, (2011), 711-716