

EBSD 分析による結晶性材料脆弱性箇所の早期発見

分析解析部 藤野 公明

要約

はんだなどの金属間接合界面の評価手法として SEM (Scanning Electron Microscope) – EBSD (Electron Back Scattering Diffraction) などの結晶方位評価が用いられます。

EBSD は結晶の方位・配向性・結晶粒サイズ・結晶の形状・内部応力・歪みの評価が可能であり、他の手法に比べ、大面積を短時間で一括分析が可能で効率的かつ詳細な分析が出来ます。また応用的評価として、故障原因の解析・信頼性評価、継時変化との相関 (劣化メカニズムの解明)・はんだや金バンプなどの接合特性の相関・金属材料の機械的特性 (硬度・強度等)との相関などが可能と考えられています。

1. 諸言

我々は EBSD によって①破壊原因の違いを EBSD により特定可能か? ②はんだ材料の長期信頼性評価時に試料が破壊されるが破壊箇所を事前に予測することは可能か? という二つの点に着目し、EBSD によってこれらの判断が可能かについて検討を行いました。

2. 実験方法

事例 (1) 熱ストレスと機械的衝撃破壊の分別

<機械的衝撃テストにより発生したはんだクラック>

Fig.1 に示す EBSD の Grain マップよりはんだの結晶方位変化は、最初に衝撃を受けたクラック近傍だけでなく広範囲に結晶方位のズレが進んでいる。はんだボール部全体に急激な応力が印加された事を示唆している。落下による衝撃は部材の自重により増幅されるため、はんだボール内を衝撃が伝搬する様子は津波のように伝わり、はんだ結晶の方位変化が部材全体に観察されるものと推察されます。

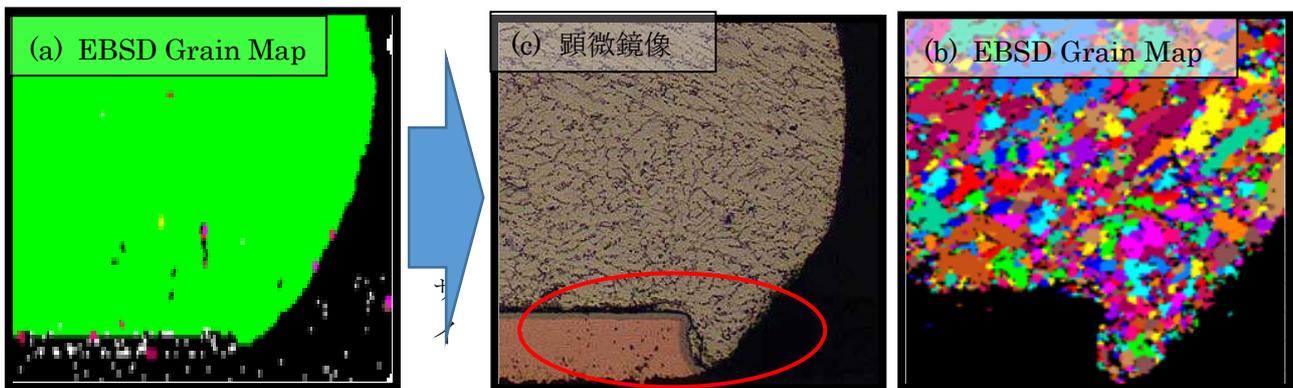


Fig.1 機械的衝撃によるはんだクラックの例

(a)初期状態では結晶方位が揃い・粒径が非常に大きい状態であるが、衝撃試験後には(b)クラックが発生している様子と(c)結晶方位がばらばらになり、結晶粒径が小さくなっている様子が観察される。

<熱試験によるはんだクラック>

Fig.2 に示す冷熱サイクル試験時の EBSD の Grain マップでは、クラック発生箇所を中心に結晶の方位変化が激しい領域、グレインサイズが小さくなっている領域が観察されます。これは材料毎に線膨張係数が異なるため、冷熱サイクル試験の温度差によって局所的に繰り返し応力印加される部位が発生し、即ち Δt 印加による CTE 差により疲労破壊が発生したものと推察されます。これは波打ち際で波が繰り返

返し発生することによって砂を運ぶイメージに酷似しています。

このように繰り返し応力印加による疲労破壊は特定領域の結晶のみ方位変化と破壊が発生しますので、機械的衝撃破壊の例と比較すると EBSD により結晶方位の分布像・結晶粒の分布像を見るとその違いが明確に観察されます。

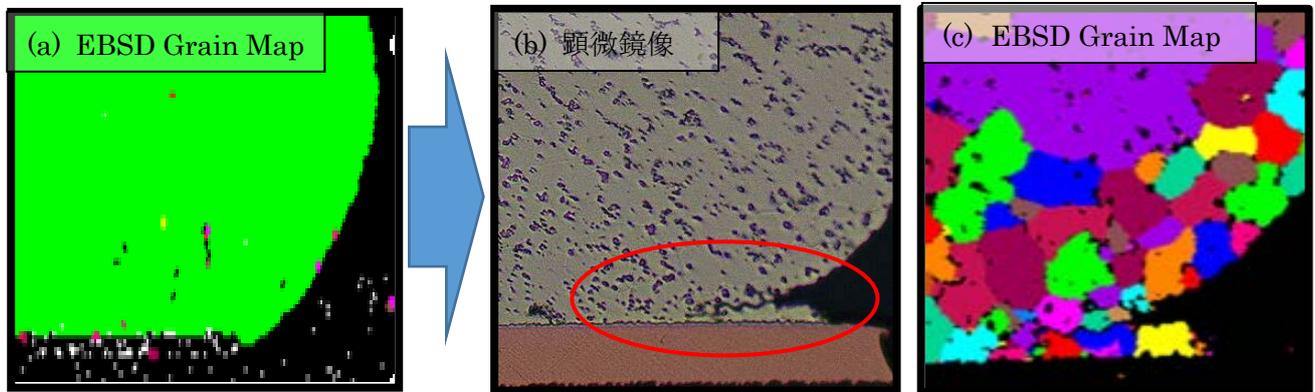


Fig.2 冷熱サイクル試験によるはんだクラック

(a) 初期状態では結晶方位が揃い・粒径が非常に大きい状態であるが、冷熱サイクル試験後には(b)クラックが発生している様子と(c)クラックを中心に結晶粒径が小さくなっている様子が観察される。

事例（2） 信頼性試験における脆弱箇所の早期発見

Pb フリーはんだは共晶はんだに比べ粘性が少ないため信頼性上の課題となっている。今回 Pb フリーはんだにて接合した PWD 基板上的チップの信頼性を評価し、クラック発生箇所の予測が可能か、またシミュレーションでの予測結果と一致するか評価を行いました。

評価は冷熱サイクル試験にて実施しましたが、それぞれの試験において材料の膨張係数から予測される変位量は、約 $5\mu\text{m}$ となります。試験ははんだが破壊に至るまで評価を行いその間の結晶方位・構造がどのように変化していったかを、EBSD の①IFP マップ、②KAM マップ、③GROD マップにより評価し、はんだにクラックが入り破壊が発生する前の段階での結晶の方位変化とクラック発生後の方位変化を観察し、マッピングにより破壊箇所や応力集中箇所が事前可能か評価を行いました。

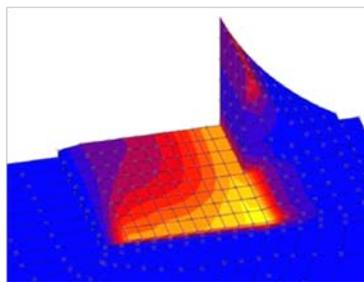


Fig.3 はんだフィレットの冷熱サイクル試験時に印加される応力（予測）

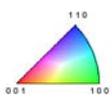
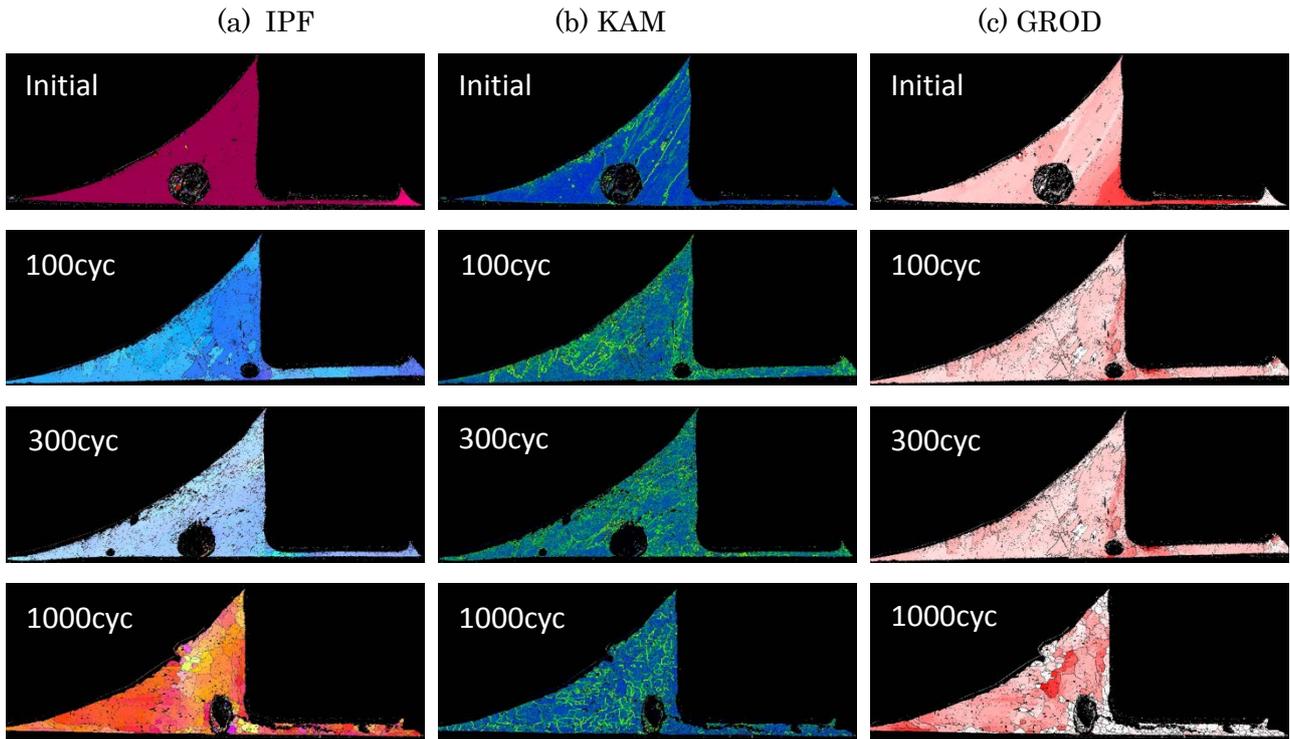


Fig.4 冷熱サイクル試験時の EBSD マッピング
 左(a)IPF, 中(b)KAM, 右(c) GROD マップ、上段より初期品、100cyc., 300cyc., 1000cyc 試験後

Fig.3 に示すシミュレーション結果より、はんだフィレットでは素子底部の応力印加が最も大きくなる。

<冷熱サイクル試験の例>

はんだフィレットの信頼性試験前、初期状態では結晶方位が揃っている状態ですが、サイクル経過により結晶方位の指向性が崩れ、1000cyc.では方位が不揃いとなっています。特に底部での状態が酷く、クラックの発生・進行があり物理的な破壊が発生している状態です。

結晶の物理的破壊が発生している箇所の 1000cyc.のデータでは微視的な方位変化や残留歪みを表す KAM データの歪みが緩和されている様子や粒内の残留歪みを表す GROD マップで応力緩和している様子が確認されます。

物理的破壊が発生する前の応力集中箇所を確認することにより、クラック発生箇所の予測が可能と考え確認したところ、GROD マップの 100cyc., 300cyc.で Fig.2 のシミュレーション結果と同じ箇所で応力集中していることが分かります。

初期状態ではんだ底部に発生している応力は、研磨などの断面加工時の残留応力の影響と可が得られますが、微小な残留応力が断面加工によるものか試験によるものかについては今後の検討課題となっています。

3. 結果・考察

本検討により信頼性評価における応力集中箇所の予測が可能となった。しかしながらミクロン・ナノレベルの微細構造やクラック発生箇所との相関は今後の課題である。どのような結晶構造のどのような箇所でクラックが発生するかをさらに詳細に観察する必要がある。

試験のサイクル数のさらに初期段階で詳細に観察すれば、メカニズム解明に繋がるものと思われる。

SEM-EBSD 法は、はんだに限らず結晶性材料の微細構造を詳細に評価できるため、今後の進展が期待される。