



電子後方散乱回折像(EBSP)法を利用した実装評価技術

EBSP(Electron Back Scatter diffraction Pattern)法とはSEM鏡筒内に傾けてセットした試料に電子線を照射したときに発生する後方散乱電子回折像から結晶方位を解析する手法であり、本誌Vol.9 APR.2000およびVol.11 APR.2002にて測定原理と観察事例が既に報告されている。そこで、本報ではEBSP法に関する説明は割愛し、電子部品の実装評価事例を中心に紹介する。

エレクトロニクス分野において実装技術のテクノロジドライバは、大型コンピュータから携帯電話に代表されるモバイル機器へと移行している。とくに第三世代を迎えた携帯電話の進展は著しく、高機能・大容量かつ小型軽量を実現する手段として、実装技術の果たす役割は大きい。

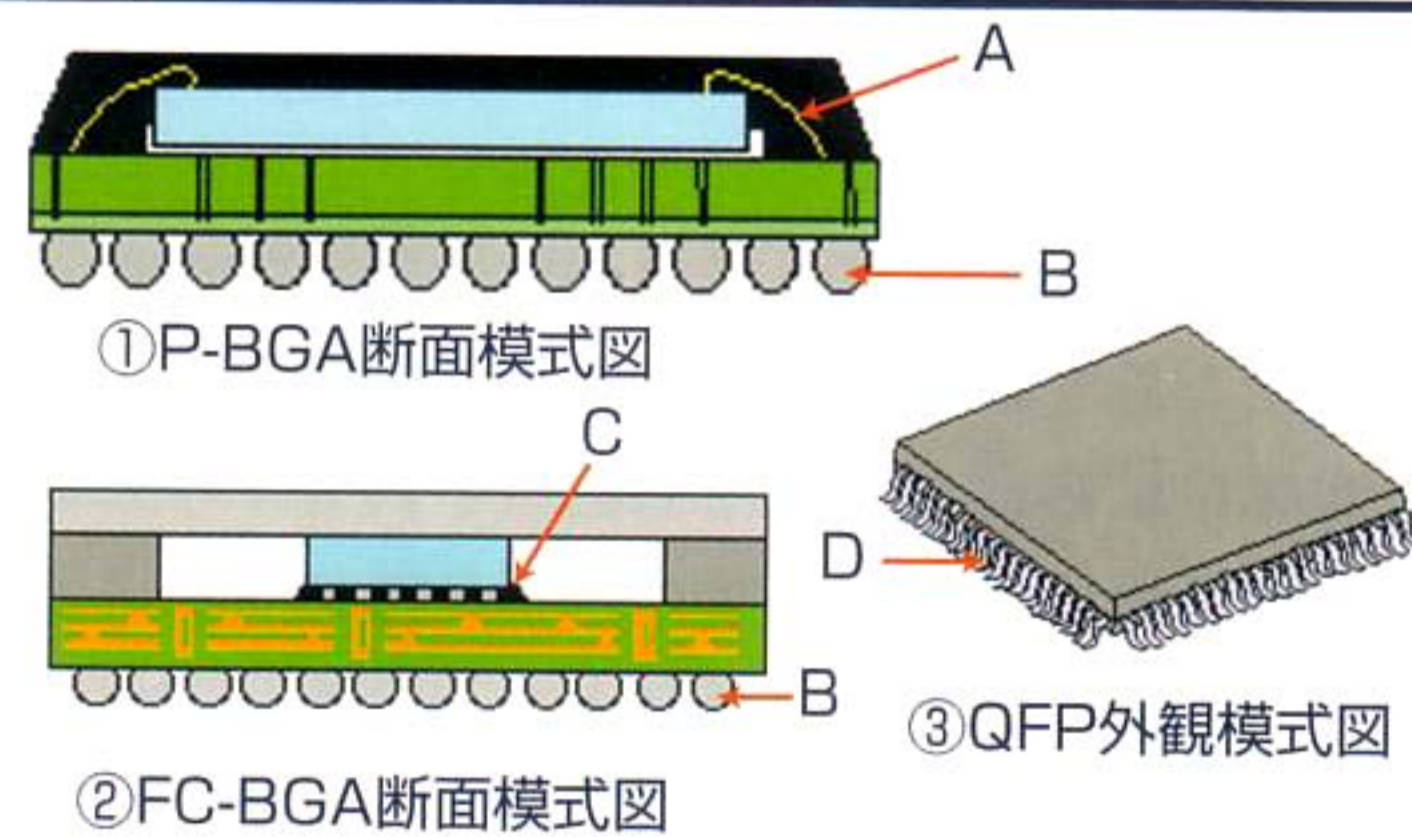
そこで実装技術、とくに評価法についてEBSP法による結晶方位解析を中心に、その解析事例を紹介する。EBSP法による結晶方位解析では平滑で加工歪みの少ない断面試料が求められるため、本報では鋭利なナイフを用いて断面試料調製を行う切削法にて、観察試料を作製した¹⁾。

半導体パッケージにおけるマイクロ接合部

C-1

第1図①P-BGA(Plastic Ball Grid Array)、②FC-BGA(Flip Chip Ball Grid Array)パッケージの断面模式図、③表面実装型パッケージ(図はQFP: Quad Flat Package)の模式図である。図中に示す各々の部位はA:ワイヤボンディング、B:はんだボール、C:バンプ、D:めっきリードである。

本報ではこれらのマイクロ接合部に関して、断面SEM観察およびEBSP法による結晶方位解析を実施した。



第1図 半導体パッケージにおけるマイクロ接合部

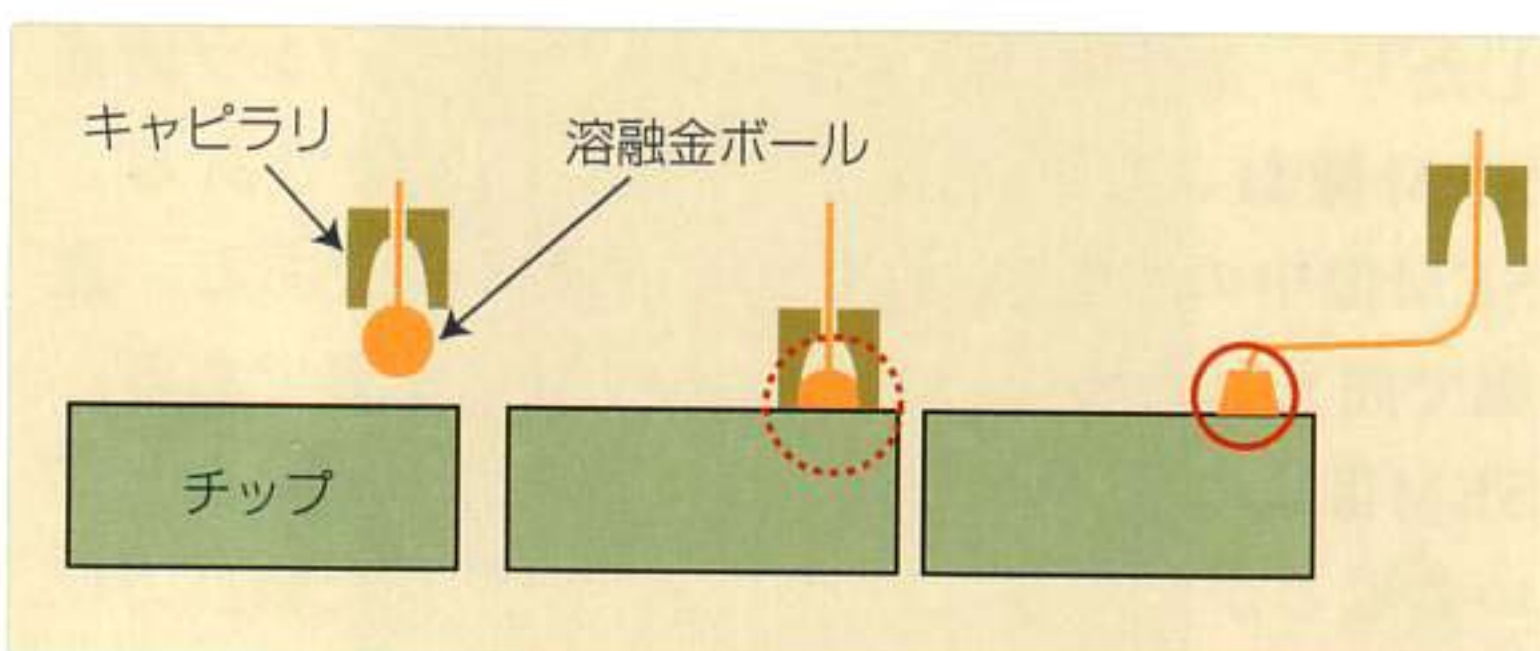
1) 林 富美男、BGA/CSP マイクロ接合部の解析法、エレクトロニクス実装技術、臨時増刊号(1999)

ワイヤボンディング接合部

C-2

ワイヤボンディング接続は他の接続方式に比べて、相互の接続パッドの位置に対して寛容があり、チップサイズやパッドピッチが若干異なるような場合でもインターポーザを共用できるため多品種の生産に適していること、装置・基盤技術が確立されている、などの特徴を有している。そのため、微細化接合技術はさらに進み、最小パッドピッチは2010年には20 μ mまで進展するとの予測もある。本項では微細化の進むワイヤボンディング接合部に関して、EBSP法による結晶方位解析事例を紹介する。

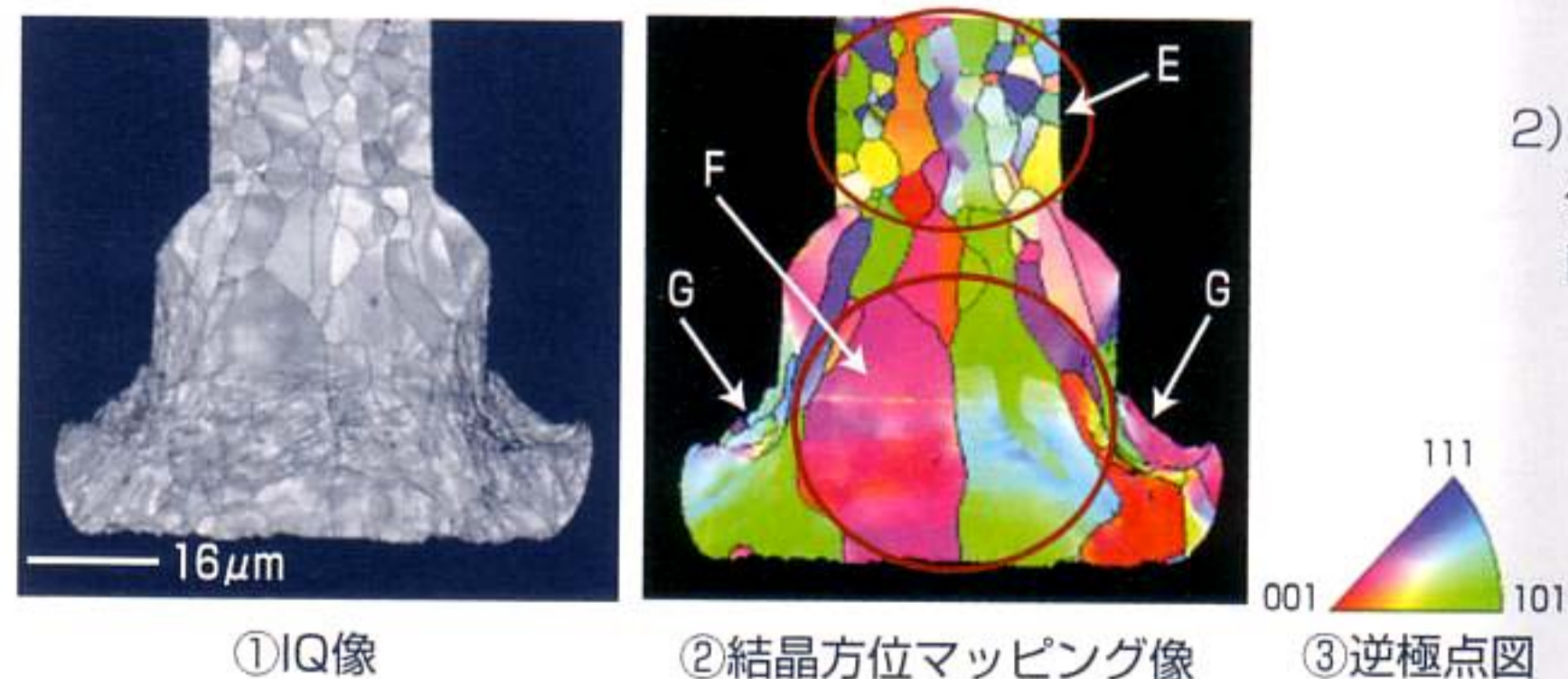
第2図はネイルヘッド・ボンディング法と呼ばれるワイヤボンディングの模式図を示している²⁾。キャピラリに通された金ワイヤの先端を溶融してボールを形成し、このボールを電極上に加熱圧着して接続する。接合時の温度を低くするために接合時に超音波を付加する超音波併用熱圧着法が主



第2図 ネイルヘッドボンディング法

流である。

第3図はワイヤボンディング部の①IQ(Image Quality)像、②EBSP法による結晶方位マッピング像を示している。結晶方位マッピング像は結晶粒の方位を色調で示したものであり、その方位は③に示した逆極点図に対応している。図中の部位Eは熱影響部、部位Fは一度金線が溶融して固化した領域、G部はキャピラリと接触する領域を示している。本結果、G部およびF部の結晶状態とE部のそれとの比較からボンディング時の押付け状態を結晶レベルで評価・観察することができる。

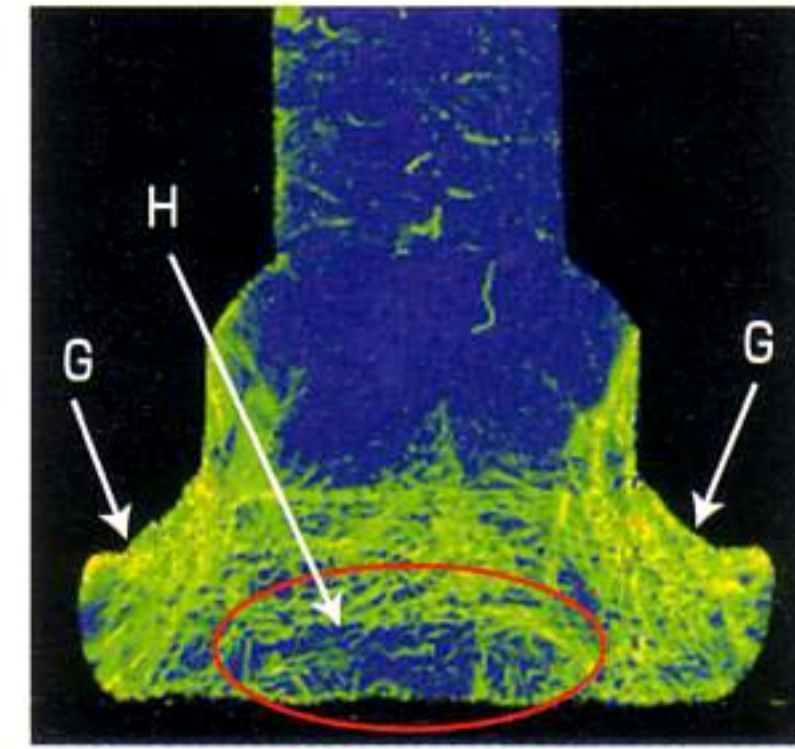


第3図 ワイヤボンディング接合部

2) 香山 晋、VLSIパッケージング技術(下)、日経BP社、p.23

第4図はワイヤボンディング部の測定点における結晶方位差を歪み分布図として表したものである。本図では歪みの高い領域を赤→黄→緑の順に表示している。本図よりキャピラリが接触する部位近傍Gが高い歪みレベルを示しており、図中Hで示す近傍のそれは小さいことがわかる。金ボール

とチップ上のアルミ電極との間で生成される合金層がドーナツ状に形成されることはしばしば経験しており、H部に示すように円周部に比べ歪みが小さいことから、ボールボンディング部の界面近傍では均一なボンディング負荷ではないと予測される。この歪み分布図を用いた評価法は微細化ボンディング接合技術確立のための有効な手段の一つになると考えられる。

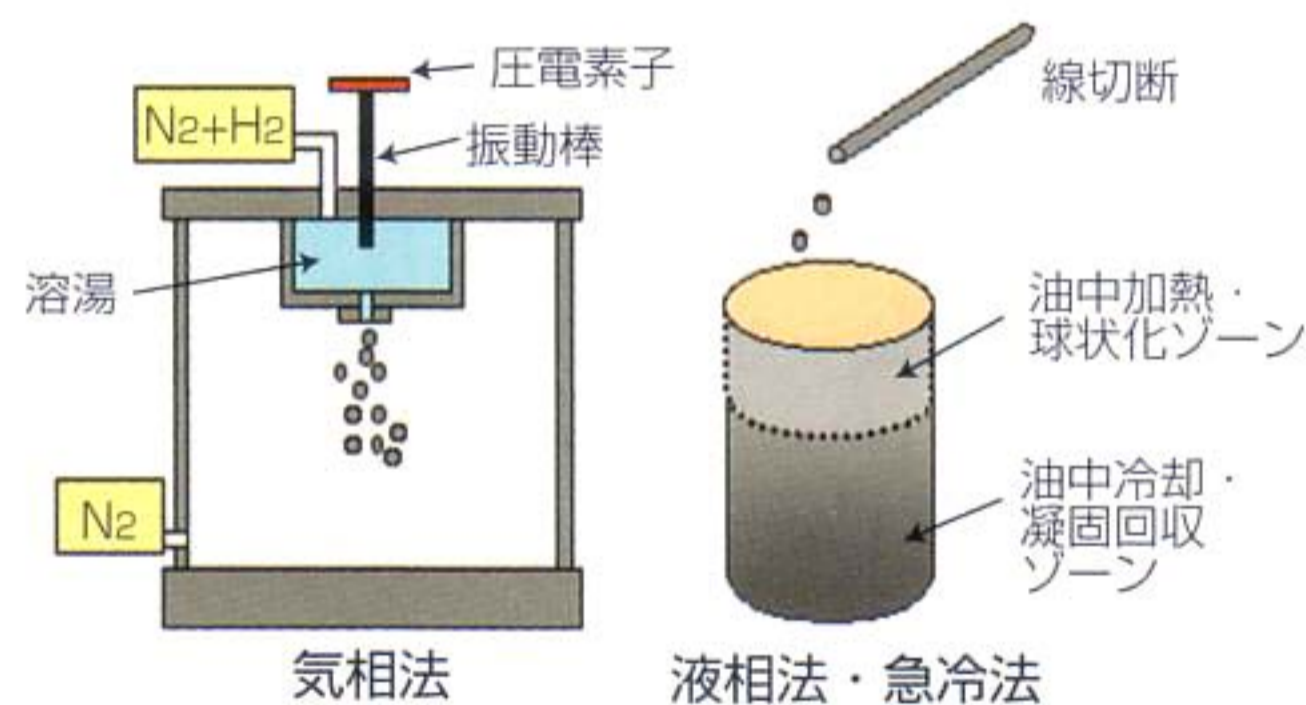


第4図 ワイヤボンディング接合部の歪み分布図

C-3

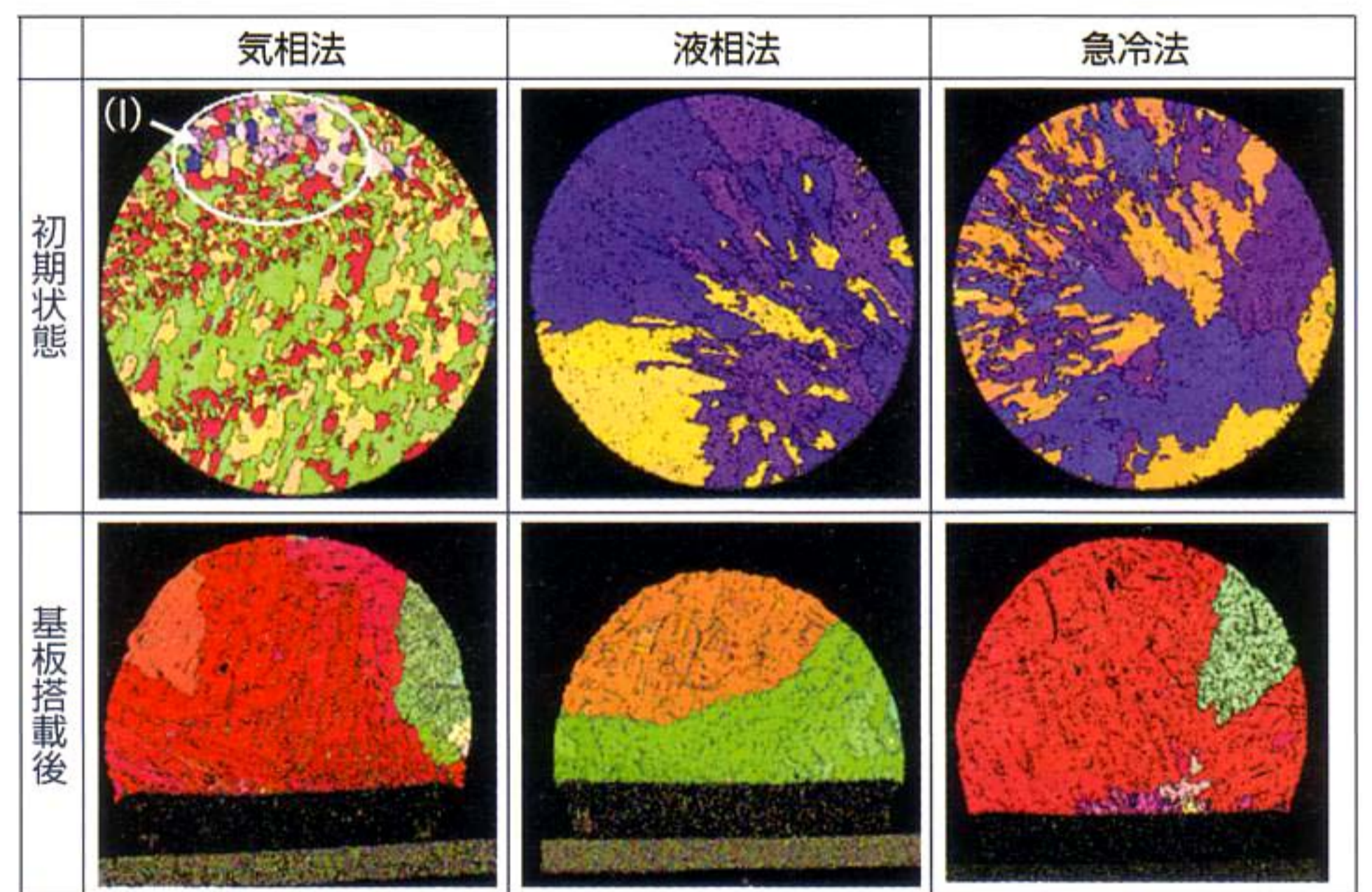
はんだボール接合部

世界的な地球環境および生態系への配慮から、鉛含有はんだの代替材料の研究が盛んに行われている。中でも機械的特性に関する研究・報告事例は多い。しかし、提案されている鉛フリーはんだの機械的特性はJIS規格に準拠した試験片を用いて引張試験、クリープ試験等々を実施しているのが一般的で、実用スケールでの微小な試験片で得られる応力指数は大型材とは異なるとの報告があり、また、金属材料の機械的特性は、その結晶組織に依存していると言われている。そこで本項では、実用状態における結晶組織を調査する目的で、製造方法の異なる3種類のSn-3.5Ag鉛フリーはんだボールを準備し、EBSP法による結晶方位解析を行った³⁾。第5図は今回、準備したはんだボールの製造方法を模式的に示したものである。気相法は溶融したはんだを窒素雰囲気中に噴霧させてボールを形成する方法である。液相法、急冷法は線状はんだを細かく切断して、高温に加熱した油中に入れ、冷却ゾーンで凝固させる方法で、凝固の冷却速度は気相法が最も速く、液相法が最も遅い。

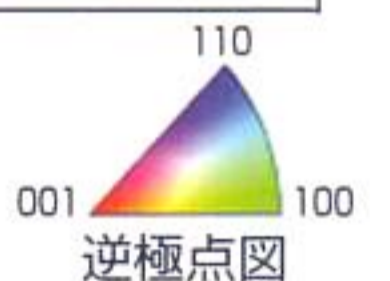


第5図 はんだボール製造法

第6図は液相法および急冷法で製造されたSn-3.5Agの鉛フリーボールについて、初期状態および基板搭載後の結晶方位マッピング像を示している。これらの組織を比較すると、初期のはんだボール状態では製造プロセスが近似した液相法と急冷法の凝固組織は近似しているのに対し、気相法のそれは図中(I)で示した部位のように、微細な結晶組織となっており、製造プロセスの差異を明確にとらえている。一方、基板搭載後ではいずれの結晶組織も類似したものに变化していることがわかる。すなわち、基板搭載することで、はんだボールの結晶組織は全て均一化しており、初期状態とボール搭載後ではその機械的な特性は異なっているのではないかと思われる。



第6図 鉛フリーはんだボールの結晶方位マッピング像



3) 十河英彦他、PbフリーはんだのEBSP解析、mate2004論文集、p.69-72

C-4

バンプ接合部

第1表 前処理条件

吸湿	30°C/60%/168H
リフロー	220°C MAX

フリップチップ実装は、近年、高機能、小型化、軽量化が求められる携帯電話やパーソナルコンピュータのCPUのパッケージング形態として採用されるようになってきている。バンプ材料としては先のはんだの他に金を使用される場合もある。

本項では共晶はんだバンプ(Sn-37Pb)の温度サイクル試験(-55°C~125°C)による熱ストレスの影響と結晶組織の関係、およびめっきで形成された金バンプどうしの接合性評価について結晶方位解析を利用した検討事例について報告する。試料は熱

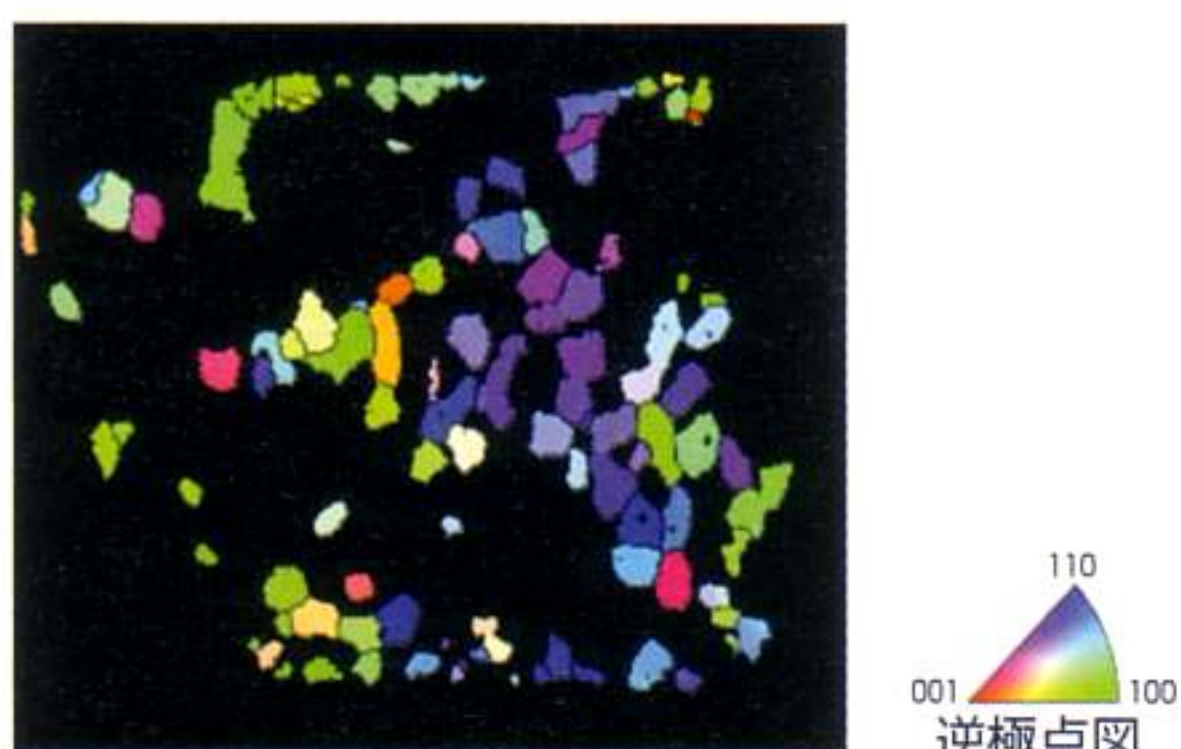
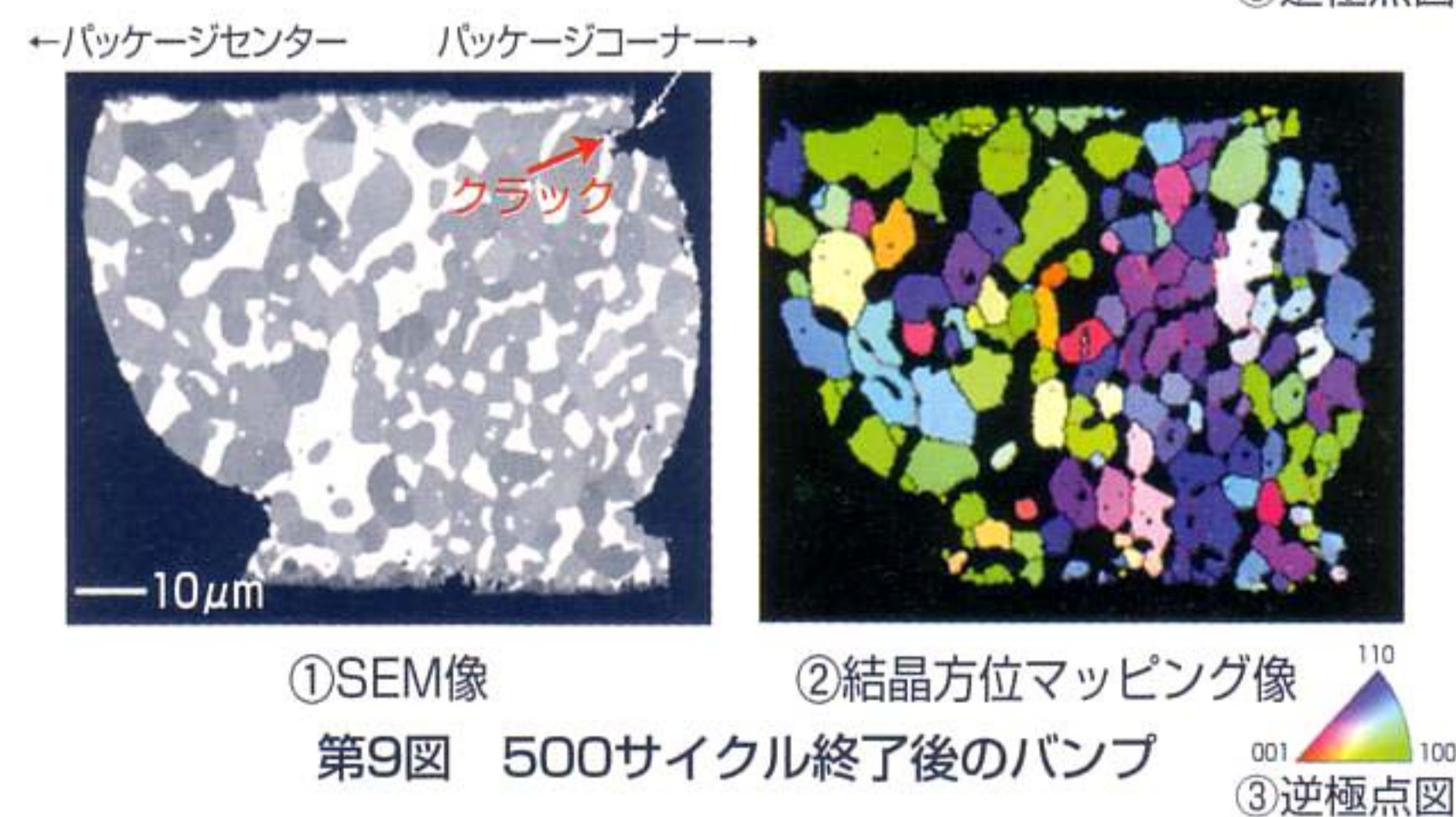
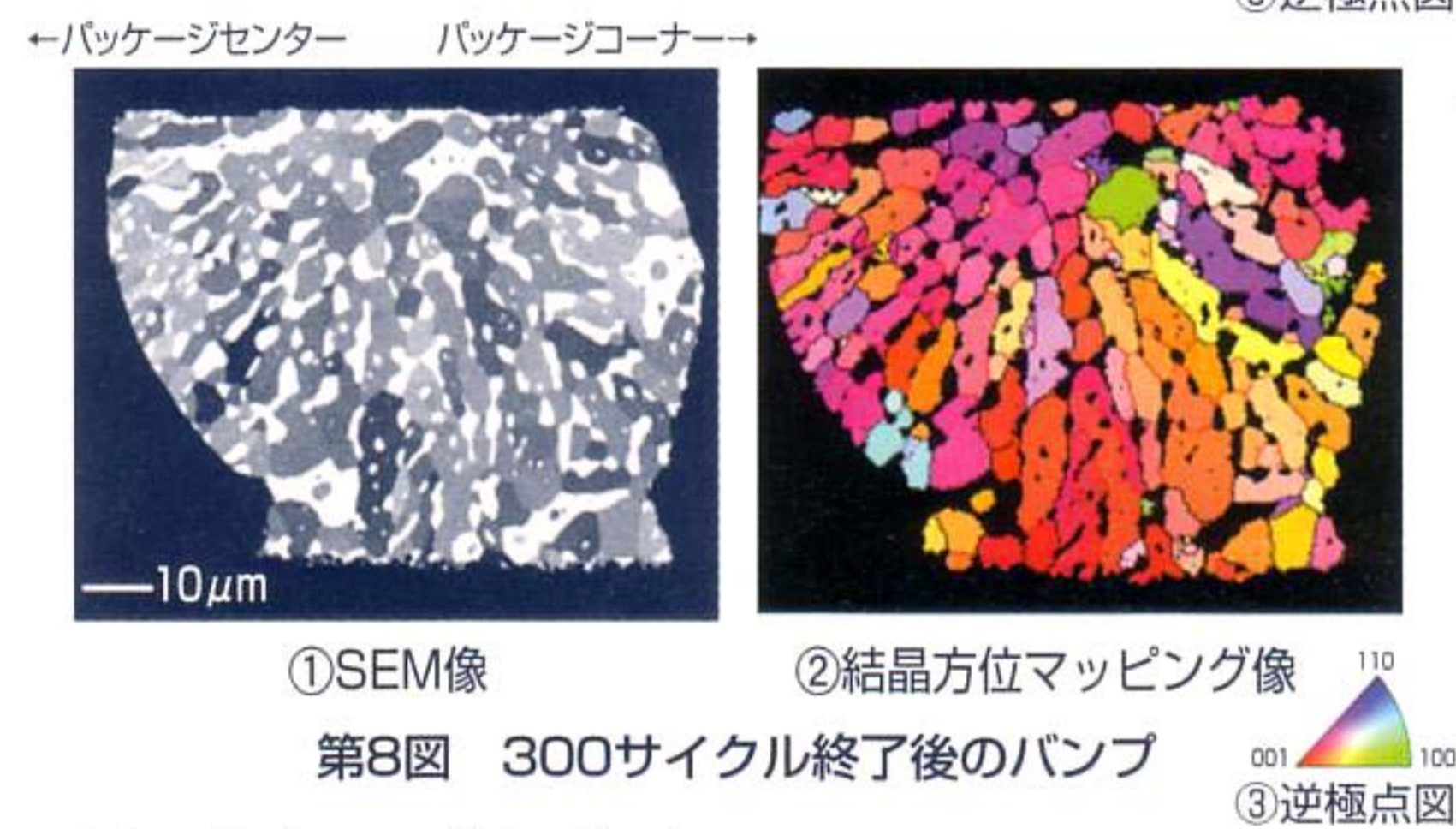
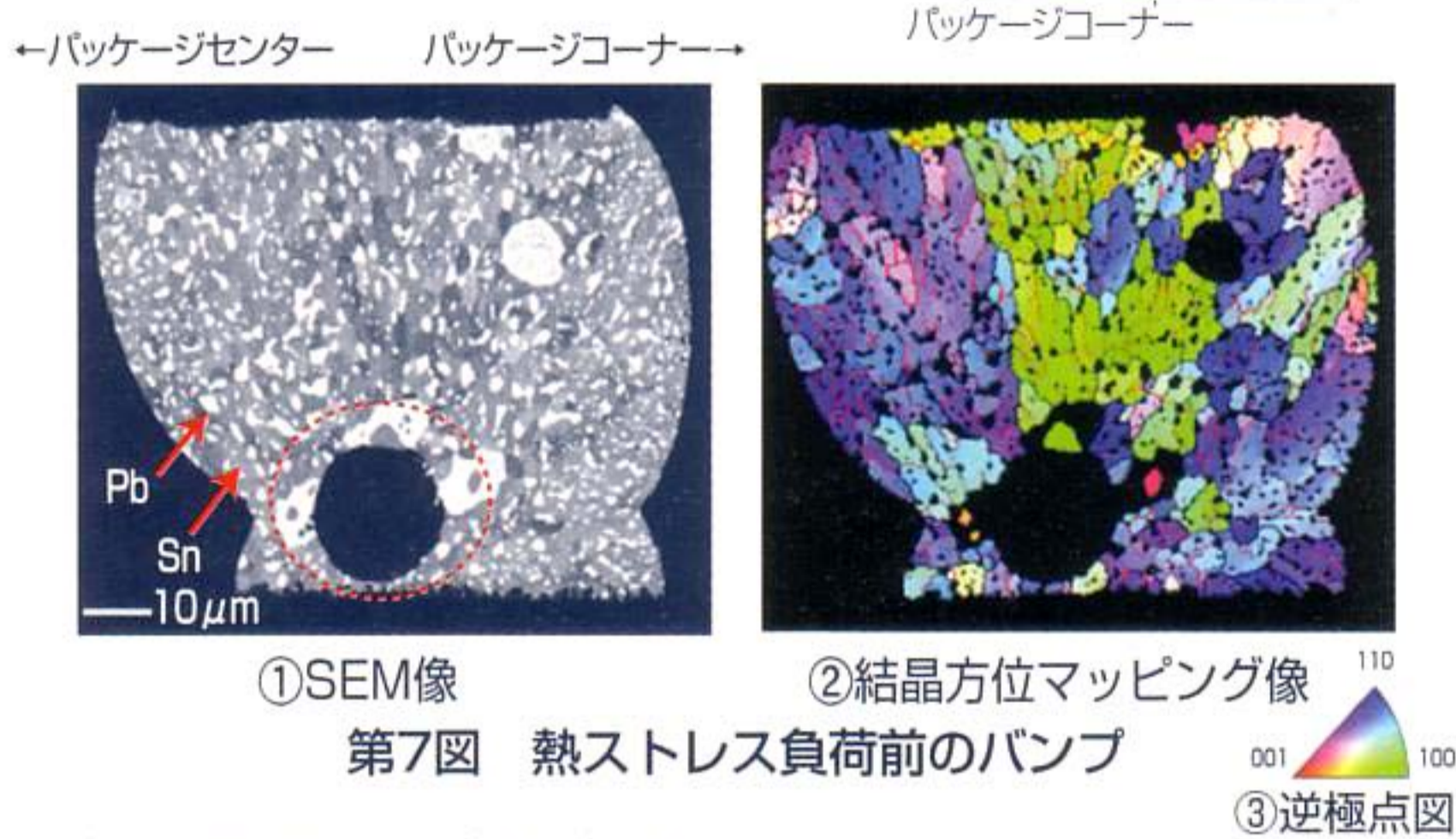
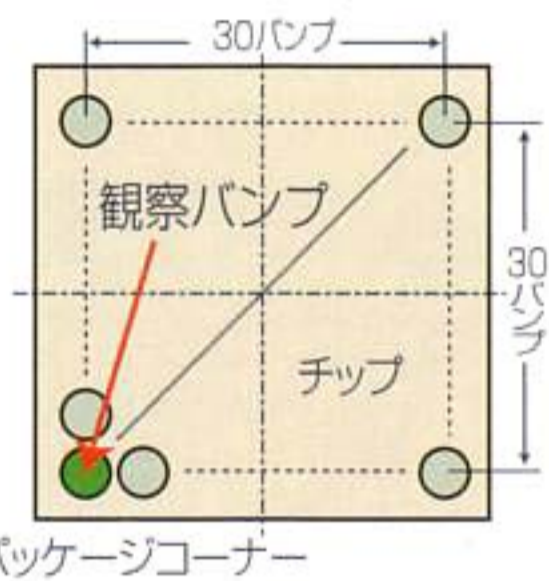
ストレス負荷前および第1表に示す前処理後1000サイクルまでの温度サイクル試験まで実施したものを用いた。断面SEM観察および結晶方位解析は300、500、1000サイクルの試料を取り出して実施した⁴⁾。第7図は熱ストレス負荷前のバンプ断面SEM像および結晶方位マッピング像である。SEM像中の白色部はPb、灰色部はSnである。点線で囲まれた黒い円形状のものはボイドである。SEM像よりSn中に1~5μm程度のPbが散在していることがわかる。一方、Snに着目した結晶方位マッピング像ではSn組織は、後述する熱サイクル試験後の結果と比較して、全体的にデンドライト

4) 猪口憲一他、EBSP法によるはんだバンプの熱疲労解析、PbフリーはんだのEBSP解析、mate2004論文集、p.315-318

的かつ、バンプに対して比較的大きな組織であることがわかる。また、SEM写真と比較するとPbの多くはSnのデンドライト境界に存在していることがわかる。

第8図は300サイクル試験後のバンプ断面SEM像および結晶方位マッピング像を示している。均一に分散していたPbは合体成長し、Snの結晶粒界に存在する傾向を示している。また、結晶方位マッピング像からSnの組織は熱ストレス負荷前の状態と比較すると、細粒化していることがわかる。これらの組織変化はチップと基板のCTE(Coefficient of Thermal Expansion)の差異によって生じるせん断歪みに加え、サイクル試験の熱の影響により生じていると考えられる。

第9図は500サイクル試験後のバンプ断面SEM像および結晶方位マッピング像である。図中の矢印で示す部

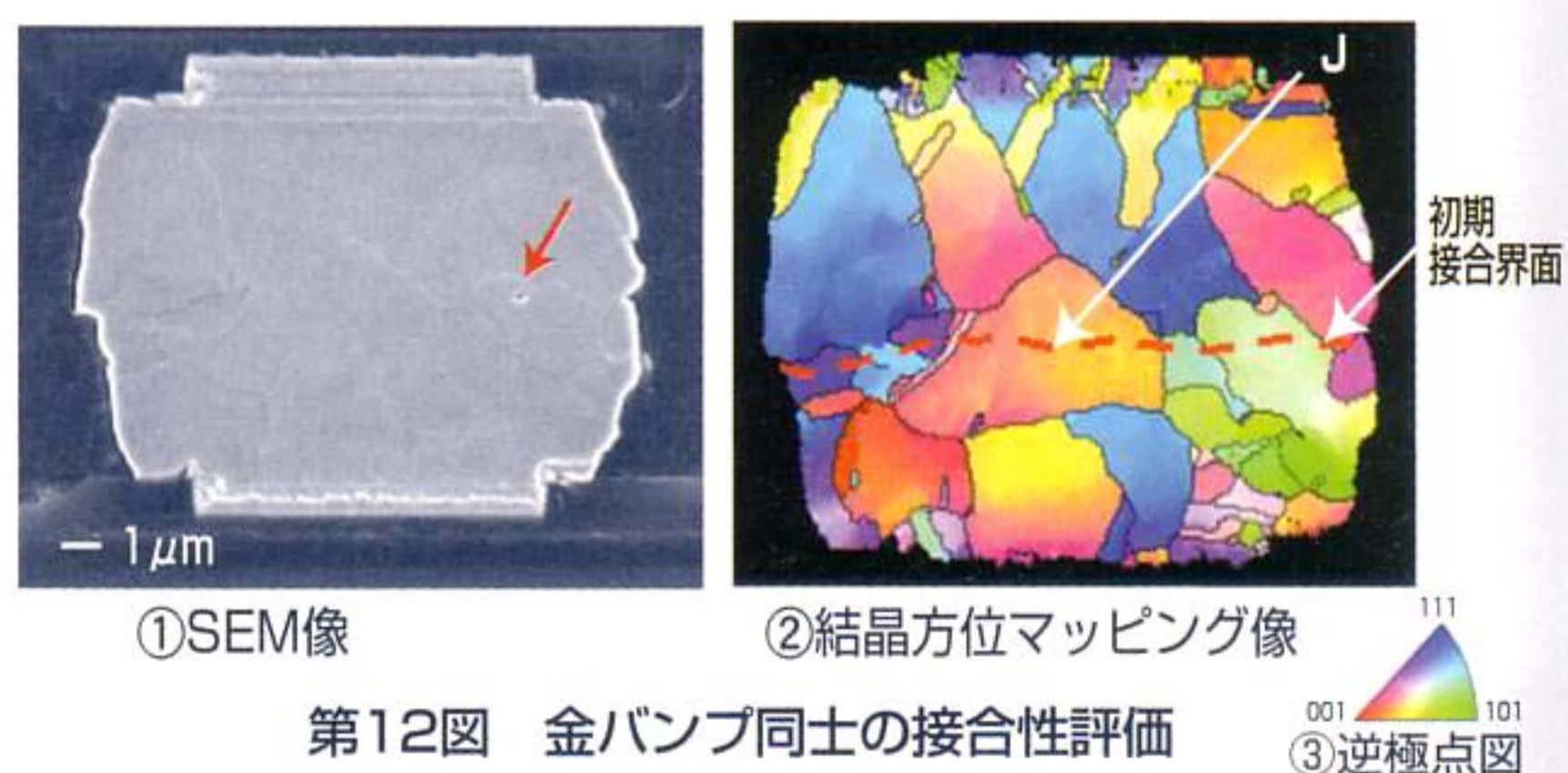
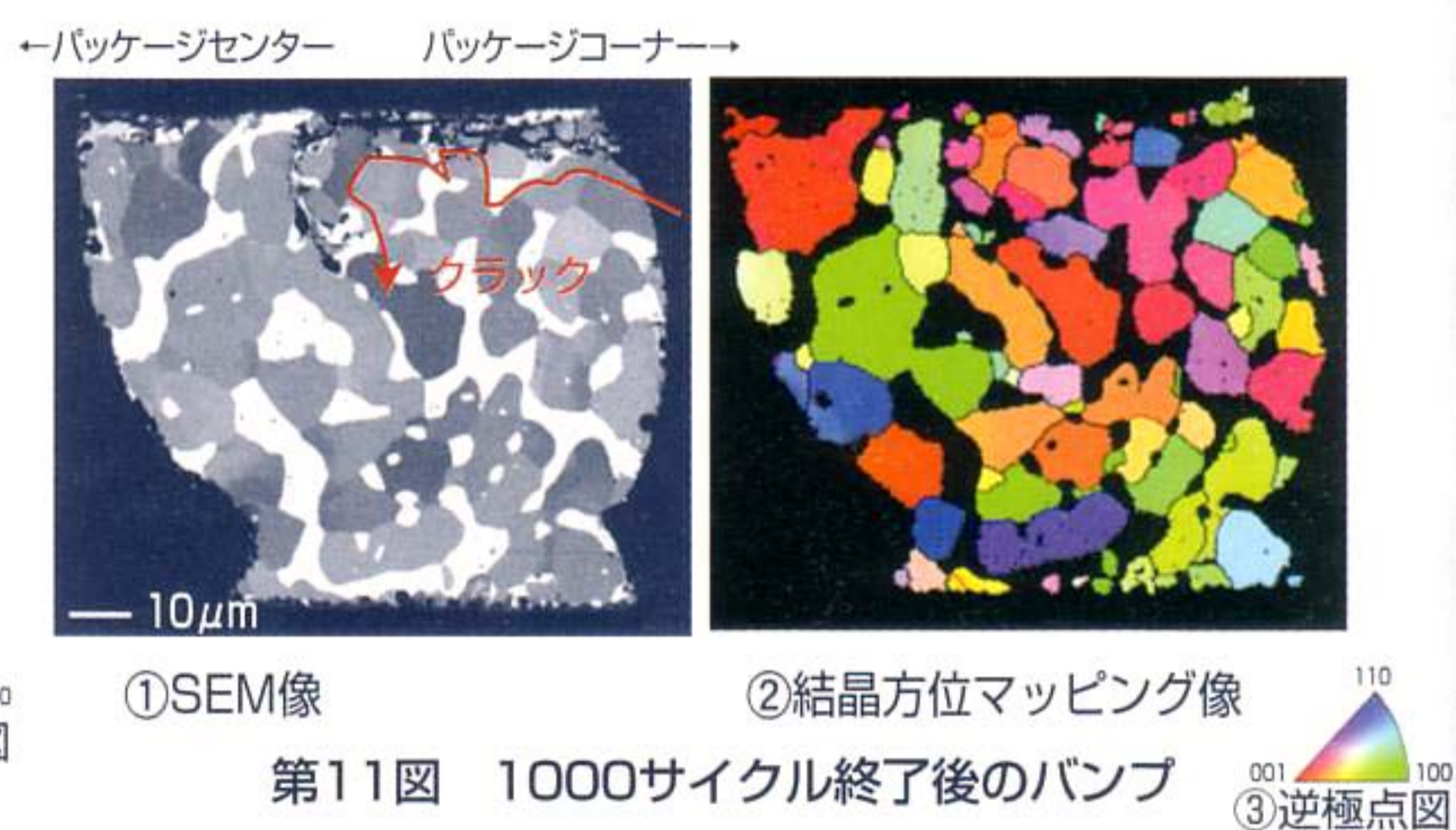


第10図 平均粒径以下のSn結晶分布状態

位にクラックが生じている。全体的にSnの組織は300サイクル試験後のものよりもさらに細粒化が進んでいると思われる。そこで、方位マッピング像より平均粒径(7μm)を求め、平均粒径以下の結晶粒についてプロットしたものを第10図に示す。本結果より、パッケージのコーナー側で組織が細粒化していることがわかる。

第11図は1000サイクル試験後のバンプ断面SEM像および結晶方位マッピング像を示している。SEM像から図中の矢印のクラックは、パッケージコーナー側より結晶粒界に沿って進展していることがわかる。結晶方位マッピング像ではSnの組織は粗大化していることがわかる。これはクラックの進展により応力状態が変化し、機械的な歪みが開放されたことが一つの要因として考えられる。

第12図はチップ側に形成された金バンプとインターポーザ側に形成された金バンプの熱圧着後のSEM像および結晶方位マッピング像である⁵⁾。SEM像中の矢印で示した部位にはボイドが観察されるため初期接合界面はこの破線に沿ってあると考えられる。結晶方位マッピング像では、図中矢印Jに示すように、ある結晶は初期の接合界面を越えて互いに結晶粒が合体成長していると考えられる。この部分においては熱圧着により初期接合界面は消失し、この接合界面が一体化した領域の接合状態を観察することで、接合の良否が強度試験や信頼性試験を実施しなくても検討できると思われる。



本報告は実装評価メニューの一つとして、EBSP法による結晶方位解析の適用事例を中心に紹介したもので、接続ピッチの微細化、三次元モジュール化、などの新規接続形態が見られる昨今のパッケージにおいてもEBSP法による結晶方位解析は有効な情報を引き出せると期待している。

[関門事業所 上野 一也]

5) MES2002第12回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集より抜粋