

feature article

実装プロセスの信頼度向上に貢献する 荷電ビーム応用技術

Charged Beam Technologies for Reliability Improvement of Assembly Process

福井 宗利 Munetoshi Fukui

許斐 麻美 Mami Konomi

砂押 毅志 Takeshi Sunaoshi

武藤 宏史 Hirobumi Muto

LSIのパッケージは微細化、構造の複雑化が進み、故障解析用試料の作製が難しくなっている。従来、広く用いられてきた機械研磨法では加工時に加重する必要がある、加工面に損傷が発生することが避けられない。その影響で、接合界面の微細な構造や元素分布を、電子顕微鏡を使って解析することが困難になってきている。株式会社日立ハイテクノロジーズは、イオンビームによるスパッタリングを応用した試料加工技術の開発に取り組んできた。イオンビーム加工は試料に加重することなく加工を施すことができるため、損傷の低減が可能であり、パッケージ実装プロセスの信頼性向上に貢献するものである。

1. はじめに

近年、情報社会の急速な進展に対応し、キーコンポーネントであるLSI (Large-scale Integration) には小型軽量化、信号処理速度の高速化、高機能化が求められている。また、機能の集積化の観点から、多種チップを単一パッケージ内に集積するSIP (System-in-package) が期待されている¹⁾。このような背景からパッケージに対する要求は多岐にわたり、パッケージ形態、実装方法は多様化してきている。さらに、PbフリーはんだやCuワイヤなど新規材料の採用も進み、信頼度に影響を与える要因は複雑化している²⁾。

パッケージの故障解析において、高倍率観察が可能なSEM (Scanning Electron Microscope：走査型電子顕微鏡) は欠くことができない存在となっている。

SEMは一次電子を試料に入射したときに発生する二次電子を用いた像だけでなく、同時に発生するBSE (Back-scattered Electron：後方散乱電子) による像も取得する。BSE像は結晶方位の差をコントラスト差として表示することができるため、簡便に結晶学的な組織の観察を行うことが可能である。

また、電子線で励起される特性X線を検出するEDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy：エネルギー分散型X線分光法) を用いることによって、試料表面の微量元素の分析も行うことができる³⁾。

ここでは、SEMを用いたパッケージの故障解析における試料加工の課題と、株式会社日立ハイテクノロジーズが提案する解決策について述べる (図1参照)。

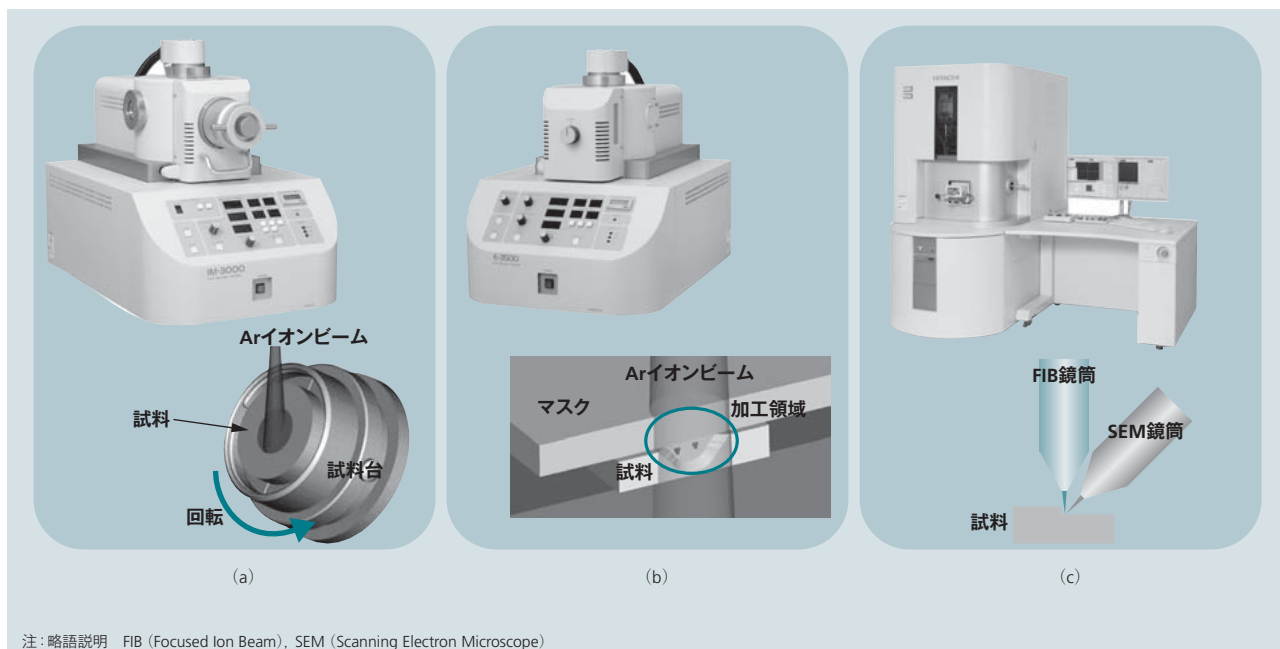
2. パッケージ解析における試料加工の課題

解析対象がモールド樹脂で覆われているパッケージの故障解析は、直接内部を観察することができないため、パッケージを機械研磨して観察面を出す方法がとられている。機械研磨は簡便な方法であるが、試料に加重し、研磨紙や砥(と)粒に密着させるため、応力による加工損傷が発生する。

積層チップパッケージを機械研磨により加工した試料の断面観察例を図2に示す。最下層のチップと上層のチップ間に剥(はく)離が生じており、さらに最下層のチップに欠けが生じている。積層構造、薄チップのパッケージでは、研磨時に加わる応力により、積層面での剥離やチップの欠け・割れが発生しやすいことがわかる。

ワイヤボンディング部の機械研磨試料の断面観察例を図3に示す。Auワイヤとパッケージのメタライズの間を界面を観察しているが、研磨砥粒が試料に食い込んだことに起因する傷が多く見られ、パッケージ側にはAuを引きずった跡が認められる。試料を加工する際は、加工傷を低減するために粒径の粗い砥粒から徐々に粒の細かい砥粒に切り替えているが、細かい傷の発生は抑えられない。さらに、BSE像特有の結晶方位の違いに起因するコントラストは認められず、結晶学的な損傷を受けていることがわかる。これらの損傷は、接合界面の細かな組織の観察や元素分析を行ううえでの妨げとなり、損傷の少ない試料加工技術が重要な課題となる。

また、機械研磨では観察対象の位置で研磨を精度よく停止させることが難しいため、少しずつ研磨しては観察を繰



注：略語説明 FIB (Focused Ion Beam), SEM (Scanning Electron Microscope)

図1 株式会社日立ハイテクノロジーズのイオンビームを応用した電子顕微鏡観察用試料加工技術

フラットミリング装置「IM-3000」とフラットミリングの原理図を (a) に、イオンミリング装置「E-3500」と加工の原理図を (b) に、集束イオン／電子ビーム加工観察装置「nanoDUE2 NB5000」を (c) にそれぞれ示す。

り返し行う方法が採られている。しかし、この方法はスループットが悪くだけでなく、研磨の最終的な停止位置は解析エンジニアの習熟に頼っているのが実状である。今後、ワイヤやバンプの狭ピッチ化が進むにつれて、機械研磨による試料加工の難度が増すものと考えられる。

3. フラットミリング技術

3.1 フラットミリングによる仕上げ加工

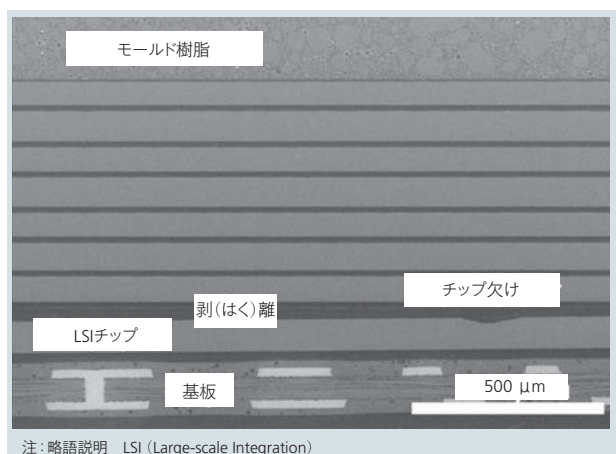
日立ハイテクノロジーズは、機械研磨で生じた加工損傷を除去する方法として、イオンミリングの応用を提案している。イオンミリングはイオンを電界で加速して試料に入射し、試料表面をスパッタリングによって削るものであり、試料に加重を加えることなく加工を施すことができる。試料に対して大きな入射角でイオンを入射するフラットミ

リングは、スパッタリングが試料表面近傍の領域だけで起こるため、機械研磨試料表面の損傷の除去に適している。

フラットミリング装置「IM-3000」の外観とフラットミリングの原理図を図1 (a) に示す。IM-3000ではイオンガンで発生させたArイオンビームを数キロボルトの低い電圧で加速し、高入射角で試料に照射する。また、試料を回転させることで多方向からビームを照射し、試料表面の凹凸の影になる領域が生じないようにしている。

3.2 フラットミリングによる加工例

フラットミリングを適用した例を図4に示す。図3の試料にフラットミリングを追加し、同一個所を観察した結果、同図で見られた加工損傷が低減されている。また、結晶粒界が識別でき、接合界面の結晶構造を明瞭(りょう)に観



注：略語説明 LSI (Large-scale Integration)

図2 積層チップパッケージ断面の観察例
機械研磨で断面加工した試料のSEM像を示す。

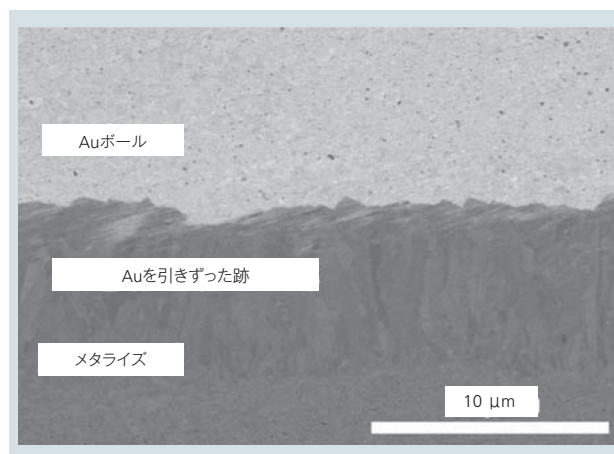


図3 ワイヤボンディング部の断面の観察例

機械研磨法で断面加工した試料のBSE (Backscattered Electron) 像を示す。

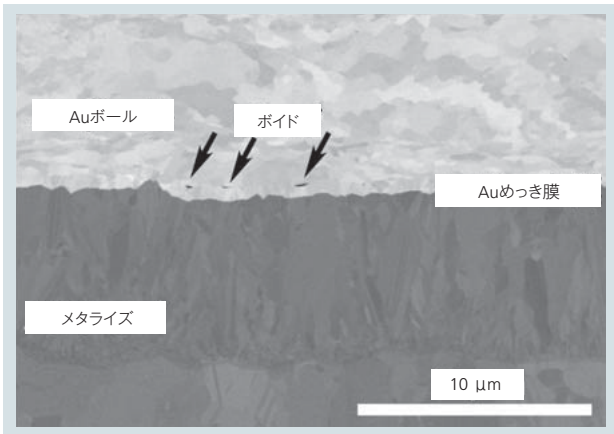


図4 ワイヤボンディング部の断面の加工例

図3の試料にIM-3000を用いたフラットミリングを追加し、加工損傷を低減した表面のBSE像を示す。

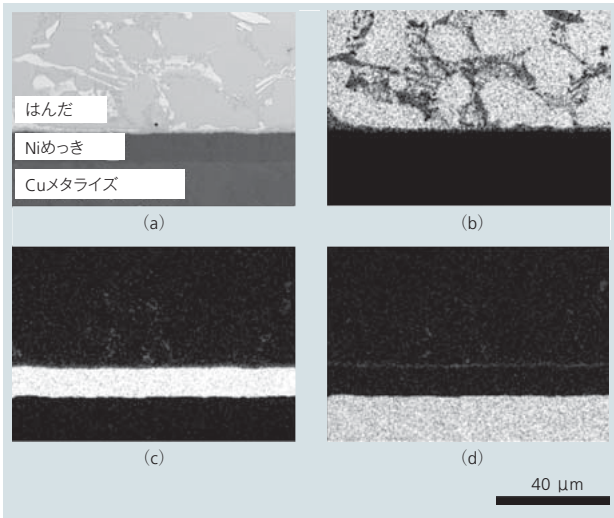


図5 はんたパンプ・プリント基板間接合のEDX分析例

BSE像 (a) と、Sn (b), Ni (c), Cu (d), それぞれのEDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 分析結果をマッピング表示した例を示す。

察することができ、メタライズとAuボールの接合界面に細かなボイドが存在していることがわかる。はんたパンプとプリント基板間接合部を、機械研磨とフラットミリングで加工した試料のEDX分析を行った例を図5に示す。NiとCuの元素マッピングから、Cuメタライズ表面のNiめっき膜がはんた中へのCu拡散のバリアとして働いていることが認められる。

このように加工損傷を除去することにより、従来の加工方法では見逃していた微細構造の解析が可能になるものと期待している。

4. パッケージの微細化への対応

4.1 イオンミリングによる断面加工

日立ハイテクノロジーズは、薄膜多層チップ化およびパッケージの微細化に向けて、イオンビームを使った断面加工を提案している。無加重で高位置精度の加工が可能なイオンミリング装置「E-3500」の外観と加工の原理図を図1(b)に示す。

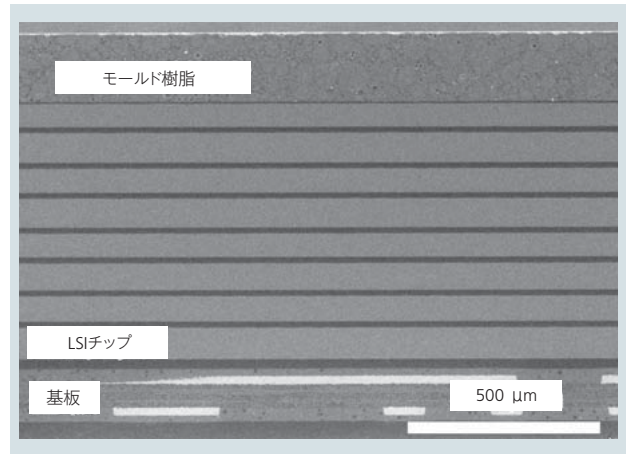


図6 積層チップパッケージ断面の加工例

E-3500を用いたイオンミリングによって加工した断面のBSE像を示す。

まず試料の加工したい場所にマスクを密着させ、試料に対して垂直にArイオンビームを入射する。イオンビームはマスクで覆われていない部分をスパッタリングするため、マスクに沿って試料を削り取る。E-3500ではマスクの位置合わせを光学顕微鏡下で行うことができるため、加工位置を高精度で指定することが可能である。

E-3500を用いて加工した積層チップパッケージ断面のSEM像を図6に示す。イオンミリングの無加重加工の効果により、図2に見られたチップの剥離や欠けが生じていないことがわかる。

4.2 FIBの応用検討

日立ハイテクノロジーズは、パッケージのさらなる微細化に向けて、FIB (Focused Ion Beam) を用いた加工技術の検討を行っている。FIBは、静電型レンズを用いて微小径に絞ったGaイオンビームを試料に照射するものである。ナノメートルオーダーの高い加工位置精度を持つが、加工速度が小さく、従来はチップ内部のサブミクロン領域解析の試料作製に用いられてきた。

図1(c)の集束イオン/電子ビーム加工観察装置「nano-DUE'T NB5000」は、FIB光学系とSEM光学系を備え、加工中の断面構造を高分解能で観察が可能である。試料に対し垂直にGaイオンビームを入射して断面加工を行い、傾けて設置したSEMで加工断面の観察を行う。NB5000は、低球面収差FIB光学系によりビーム径約1 μmの実用ビームで50 nA以上の大ビーム電流を得ることができ、大面積の加工に適している。また、ショットキーエミッション形電子源を用いた高分解能SEMを搭載し、加工表面の微細構造を観察することで高精度の加工終点検出を可能にしている。

ワイヤボンディングのテストチップの加工観察例を図7に示す。ここではAuボールとAlパッドの接合部を、手前

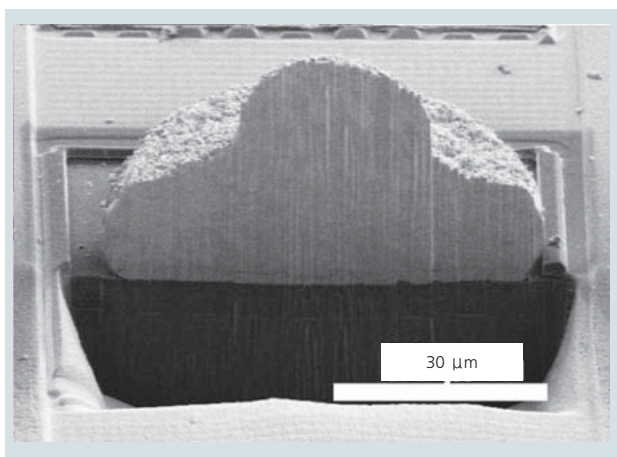


図7 ワイヤボンディング部の加工観察例
nanoDUE'T NB5000の「Mill & Monitor」機能を用いた加工観察例を示す。

から奥に向かって1 μmステップで断面加工を繰り返している。断面加工とSEM像の取得を自動的に繰り返す「Mill & Monitor」機能を用いると、欠陥を発見したところで加工を中断し、引き続いて高倍率のSEM観察による解析を行うことができる。これにより、欠陥位置の同定と詳細解析を1台の装置で行うことが可能になり、解析の高効率化が期待できる。

今後はイオンビームの大電流化による加工速度の向上、加工条件の最適化を行い、パッケージの解析への応用を進めていく。

5. おわりに

ここでは、SEMを用いたパッケージの故障解析における試料加工の課題と、日立ハイテクノロジーズが提案する解決策について述べた。

パッケージ実装の故障解析において、電子顕微鏡による解析のための試料加工にイオンビームを応用した技術は有効である。SEMをはじめとする電子顕微鏡は、微細部分の観察および分析に威力を発揮するが、それは解析すべき領域が視野に確実に含まれ、観察の妨げになる加工損傷の少ない試料を作製できることが前提である。

パッケージの微細化、チップの薄膜化、三次元構造化が進展するにつれて、加工損傷が少なく、加工位置精度の優れた試料加工技術がますます重要となってくる。イオンによるスパッタリングを用いた加工技術は、従来用いられてきた機械研磨に比べ、無加重加工のために加工損傷が少なく、加工位置精度を向上できるという特長を有している。

日立ハイテクノロジーズは、優れた加工特性を持つイオンビーム技術と電子顕微鏡を組み合わせることにより、パッケージ実装の信頼性向上に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) International Technology Roadmap for Semiconductors 2007 Edition (2007)
- 2) 井原, 外編: 最新電子部品・デバイス実装技術便覧, p.1187~1252, R&Dプランニング (2002)
- 3) LSIテスト学会編: LSIテストハンドブック, p.485~502, オーム社 (2008)

執筆者紹介



福井 宗利
1982年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業本部 那珂事業所 那珂アプリケーションセンタ 所属
現在, 電子顕微鏡の応用技術開発に従事
IEEE会員, LSIテスト学会会員



許斐 麻美
2007年株式会社日立ハイテクノロジーズ入社, ナノテクノロジー製品事業本部 那珂事業所 那珂アプリケーションセンタ 所属
現在, 電子顕微鏡の応用技術開発に従事
理学博士
日本顕微鏡学会会員



砂押 毅志
2004年株式会社日立ハイテックマニファクチャ&サービス入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業本部 那珂事業所 那珂アプリケーションセンタ 所属
現在, 電子顕微鏡の応用技術開発に従事
LSIテスト学会会員



武藤 宏史
1988年日立那珂精密株式会社入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業本部 那珂事業所 先端解析システム第一設計部 所属
現在, 電子顕微鏡周辺装置の開発に従事