

半導体実装材料，材料開発に対する実用的顕微鏡活用事例

Practicable Microscope Use Case to Semiconductor Jisso Material and Material Development

栗原 宏 明, 半 澤 規 子

Hiroaki Kurihara and Noriko Hanzawa

^a三井金属鉱業株式会社総合研究所

要 旨 電子機器は市場の軽薄短小化の流れの中で高機能化や低価格化が進んでおり，集積回路（IC）には高機能化や小型化の対応が求められている。ICは基板を用い部品として実装するが，この実装材料の材料開発と信頼性向上方法開発に顕微鏡を活用した事例を紹介する。材料開発の例としては電解銅箔の析出メカニズム検討と銅配線形状がどのように決まるかのメカニズム検討について紹介し，信頼性向上方法開発の例としては部品としては致命的欠陥となる配線の短絡（Short）を引き起こす錫ホイスカー発生メカニズム検討について紹介を行う。

キーワード：半導体実装材料，銅配線，錫めっき，錫ホイスカー，信頼性

1. はじめに

半導体，集積回路（IC）は電子機器に部品として組み込み，或いはプリント配線板（PWB）に実装し使用される。PWB上への実装では，直接実装する方法と組み立てた上で部品として実装する方法がある。電子機器は市場の軽薄短小化の流れの中，高機能化，低価格化が進んでおり，ICにも高機能化，小型化の対応が求められている。ICでは，単位面積あたりの素子数を増やすことでこれに対応しているが，PWBへの直接の実装は難しくなっている。PWBの接続端子部のピッチに対し，ICの接続端子のピッチが，より微細化（ファインピッチ化）しているためピッチが合わず接続ができなくなるためである。このため，ICとPWBを接続する実装用基板（インターポーザー）に対し，ファインピッチ化に対応する開発がますます重要になってきている。

実装用基板として，フレキシブル構造をもつ基板（FPC）をあげ解説する。図1にFPCをICの実装用基板として用いた場合の基材構成とICの実装状態を模式的に示した。ポリイミド上の銅配線は圧延銅箔もしくは電解銅箔をエッチング法により形成するか，銅めっきにより形成する。ICはポリイミド上のめっきした銅配線と（a）Au-Sn共晶ボンディングや（b）金ワイヤーボンディングで実装基板に接続する構造となっている。

IC実装用基板のファインピッチ化に対しては次のような

開発が求められている。

- 1) 材料開発
- 2) 製造プロセス開発
- 3) 信頼性向上方法開発

本稿では顕微鏡を半導体実装用の基板開発に用いた例として，1) 材料開発から，①電解銅箔の析出メカニズム検討，②銅配線形状がどのように決まるかのメカニズム検討，3) 信頼向上方法開発から，③電子部品としては致命的欠陥となる配線の短絡（Short）を引き起こす錫ホイスカー発生メカニズム検討，について適用事例を示す。

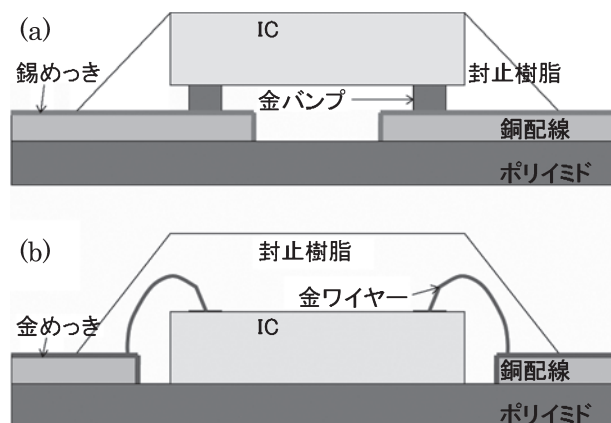


図1 ICとFPCの構成と接続例
 (a) Au-Sn ボンディングした基板
 (b) 金ワイヤーボンディングした基板

^a 〒 362-0021 埼玉県上尾市原市 1333-2
 TEL: 048-776-1259; FAX: 048-775-6373
 2008年12月1日受付

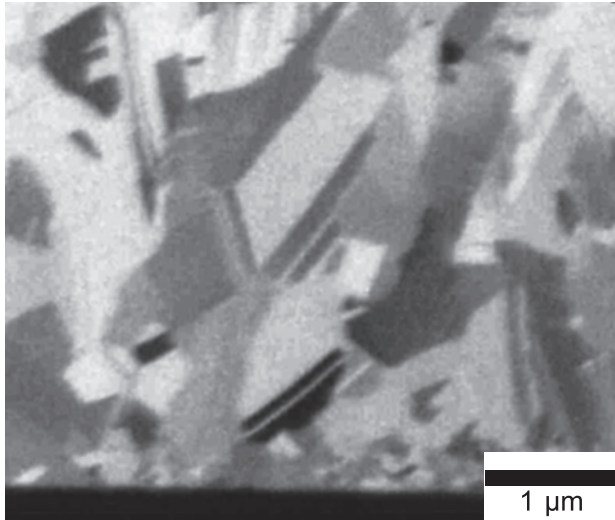


図2 電解銅箔断面のSIM写真

2. 活用事例

2.1 材料開発への活用

FPCの銅配線形成では、電解銅箔が用いるものがある。電解銅箔は、銅電解液とドラム状の鉛やチタンのカソード電極を用い、析出と剥ぎ取りを連続的に行うことで箔とするものである。電解銅箔では、製品として求められる特性や品質に向けた開発が必要となり以下の活用事例がある。

2.1.1 銅箔の結晶粒の状態

FIB-SIMでの解析事例。

銅箔はその断面を構成する結晶粒の形状や大きさが変わると、抗張力や伸び等の物性も変化することがある。何箇所かの断面を観察することで、均一な結晶粒の断面になっているか、形状が乱れて結晶粒径にバラツキのある断面になっているかを確認することで、物性の安定性に関する想定ができる。図2に電解銅箔断面をFIBにより加工したSIM像を示した。結晶粒の状態をこの写真以外の5か所で同様な断面になっていることが確認でき、実際に物性が安定していることも確認できた。この解析ではFIBによりサンプル加工を行っているため掘る深さが数十μmと深く、長さが数百μmもあるような箇所では加工時間が非常に長くなり費用もかかるため測定に制約を受けることがある。より広い面積を加工し断面出しを行うようにできる手法が求められる。

2.1.2 銅箔の初期析出と銅箔の凹凸

SEMでの解析事例。

ファインピッチ向けの電解銅箔では、表面粗さが小さい銅箔が求められる。この表面粗さに影響を与える要因の一つとして銅の初期電着が挙げられる。図3に銅電解を行った時の、カソード上に析出した銅のSEM観察結果を示した。電解初期の(a)30秒では銅は均一ではなく島状に析出しており、(b)300秒では電着が均一に進まない銅箔となっていることが確認できた。銅箔とした後、表面粗さを測定すると粗らさが大

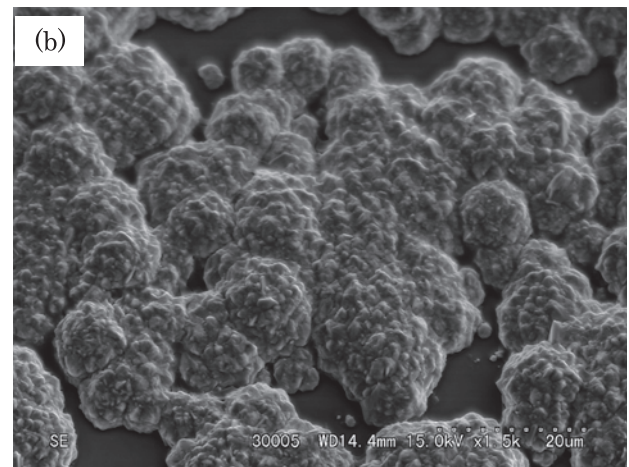
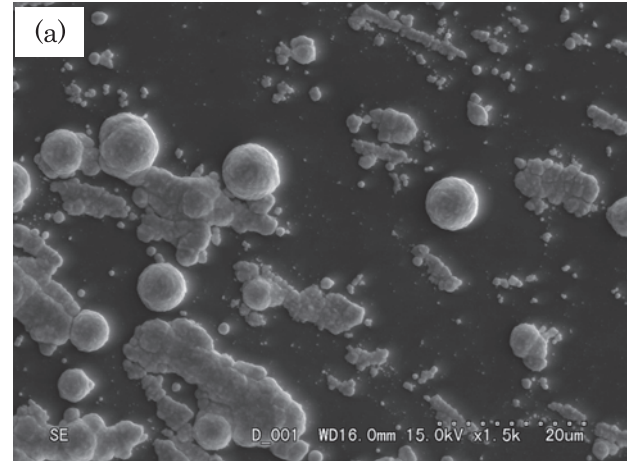


図3 カソード上への銅の初期析出状態のSEM写真
(a) 電解時間30秒, (b) 電解時間300秒

きい結果となった。初期の析出を均一に起こさせることができれば銅箔の表面を平滑化できると想定できた。

30秒と300秒の各サンプルはSEMを撮る必要上、同一個所の評価ではない。電解液中で電解反応を進めながら *in situ* で観察する方法としてはAFMやSTMがあるが、SEMのように画像の観察下で銅箔の形成過程がわかるような手法が求められる。

2.1.3 銅箔の結晶粒の配向性

EBSPでの解析事例。

電解銅箔から銅配線を形成する場合、エッチング性に影響を与える要因の一つとして結晶粒の配向がある。表面に出ている銅の結晶粒の配向面によってエッチング速度が違ってくるためである。図4に電解銅箔断面をEBSPで解析した結果を示した。(a)では、結晶粒の大きさと形状が確認でき、(c)(d)では厚さ方向で配向面のバラツキがあることが確認できた。エッチング性にバラツキのある銅箔になっていると想定される。

従来、銅箔の配向はX線回折(XRD)を用いφ10mm程度の面積で厚さ方向も含めた平均値として解析していたが、局所的な解析はできておらずエッチング性に対する要因も不

明な点が多かった。今後はEBSP手法を取り入れプロセスを改善することで、電解銅箔の配向分布が均一化できればエッチング性の安定化に寄与できると考えられる。

EBSPは有用な解析手法で得られる知見も多いが、分析コストが高く分析箇所を増やすことができないのが現状である。1回の測定で最表面の解析結果のみならず深さ方向も考慮した3次元的な考え方ができる結果を出せる手法、低コストで解析できる手法が求められる。

2.2 銅配線形状の矩形化への活用

SEM, EBSPでの解析事例

銅の配線を銅のエッチングにより形成する場合、その断面形状をいかに矩形に形成できるかが品質上の優位点の一つとなる。2.1.3で述べたように、電解銅箔は単一の配向分布で

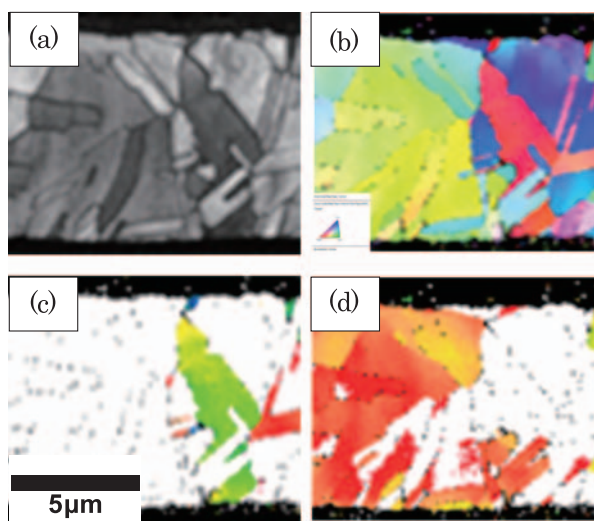


図4 電解銅箔断面のEBSP解析結果

- (a) Image quality map
- (b) Inverse pole figure map
- (c) (111)面の配向分布, (d) (100)面の配向分布

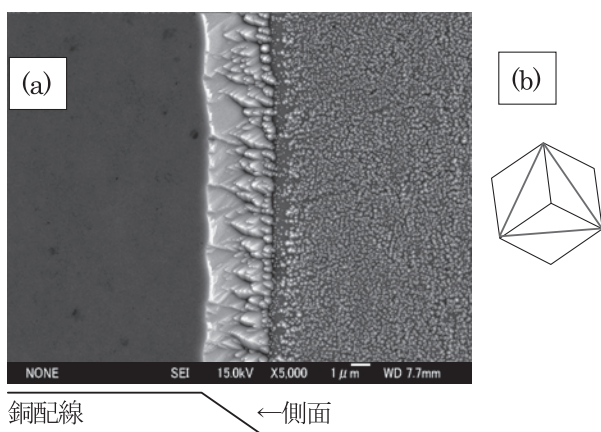


図5 (111)銅単結晶の配線形状とEBSP解析結果

- (a) 銅配線を上から見たSEM写真
- (b) EBSPの解析結果から求めた単結晶の配向の模式図 赤線が(111)面を示す

はなく複数の配向分布をもっている。この配向分布とエッチング形状の関係を確認しておくことは断面を矩形にするための手法を考える上で有用である。図5にエッチングする銅の基板として(111)の銅単結晶を用いた時の上から見た配線形状と、EBSPにより解析した配向面の傾きを示す模式図を並べて示した。(a)では銅配線の側面が三角形にエッチングされていることが確認でき、(b)では(111)単結晶の配向方向を模式的に示したが、(a)の三角形の形成を示唆する結果となった。このEBSP解析では、配線の側面形状が単結晶の配向から説明できた。

2.3 錫ホイスカー発生機構解明への活用

2.3.1 錫ホイスカーの形状区別への活用

SEMでの観察事例

銅の配線上への錫めっきでは、錫ホイスカーが発生し配線の短絡(Short)を引き起こすことがある。この発生を抑えるためには、発生メカニズムを解明することが有用となる。図6に錫ホイスカーのSEM写真を示した。SEMで観察した錫ホイスカーの形態から、(a)真正ホイスカー、(b)疑似ホイスカーの2種類があることを確認した。(a)の真正ホイス

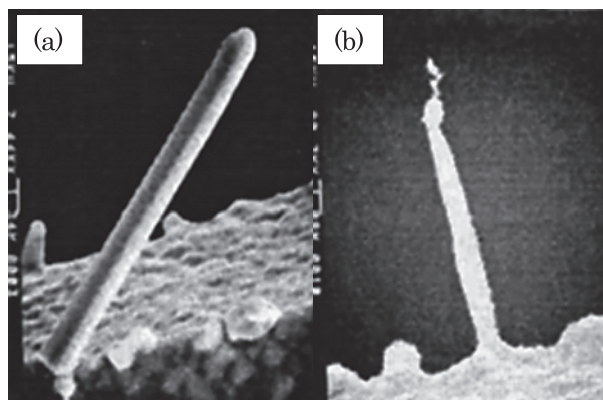


図6 錫ホイスカーのSEM写真

- (a) 真正ホイスカー, (b) 疑似ホイスカー

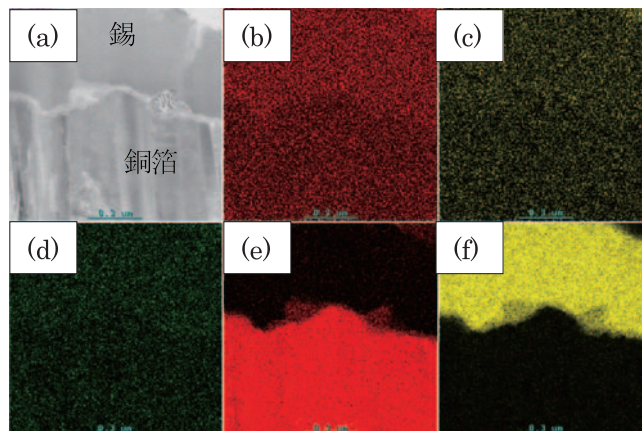


図7 錫めっき直後の銅-錫拡散 STEM-EDS写真

- (a) 暗視野像, (b) Cの分布, (c) Kの分布
- (d) Clの分布, (e) Cuの分布, (f) Snの分布

カーは、錫めっき後の時間経過により発生し、(b)の疑似ホイスカーは錫めっき中に発生することを確認している。

SEMでは、(a)真正の錫ホイスカーの成長を経時観察することが可能である。これに加え *in situ* で観察することができれば、発生メカニズムをより想定しやすくなると考えられる。経時的な *in situ* 観察ができる SEM 観察の手法が求められる。また、(b)の疑似ホイスカーは錫めっき中に成長する特徴があるが、これも *in situ* 観察ができる SEM 観察の手法が求められる。

2.3.2 錫ホイスカーの発生メカニズム解明への活用

STEM-EDS での解析事例。

真正錫ホイスカーの発生についてはそのメカニズムは確定していないが、下地の銅と錫めっきの拡散による応力の発生が成長の駆動となっていると想定されている。図7に STEM-EDS で元素分布を確認した結果を示した。錫めっきの結晶粒界に銅の拡散が始まっていることが確認できた(e)。STEM-EDS によって、経時変化、銅箔種類による拡散層厚変化を確認することで真正錫ホイスカー発生のメカニズムの解明につながると思われる。

3. おわりに

本稿では、ICの実装に用いられる実装基板や基板材料の

開発に対し顕微鏡をどのように活用しているかの事例を紹介した。

今後、顕微鏡及び試料作製技術に期待することは、

- 1) FIB と同等レベルの断面加工を、より大きな面積かつ短時間で加工する手法を開発すること、
- 2) 電解液中の析出現象を *in situ* で観察できる手法を開発すること、
- 3) EBSP について、解析する最表面の結果のみならず、深さ方向も考慮した3次元的な考え方ができる結果を出せる手法を開発すること、
- 4) SEM について、*in situ* 観察ができる手法を開発すること、手法的に優れていても、解析コスト上の問題のため十分に活用できない技術もある。本稿で示した分析、解析を低コストで実現するような開発も望まれる。

文 献

- 1) Ishii, M., Kataoka, T. and Kurihara, H.: Whisker problem in the ultra-fine circuits: 12th European Microelectronics & Packaging Conference
- 2) 栗原宏明, 近藤和夫: Sn ウィスカ発生メカニズム, MES2003
- 3) 栗原宏明, 近藤和夫, 岡田泰行: Ti カソード上への電解銅の初期析出機構, MES2004