膜厚均一化のための電気銅めっき液およびシミュレーションを用いためっき装置の開発

松田 加奈子^a, 立花 眞司^a

^a 上村工業(株) 中央研究所 (〒573-0065 大阪府枚方市出口1-5-1)

Development of the Electrolytic Copper Plating Chemical and the Plating Equipment for Improvement of the Thickness Uniformity

Kanako MATSUDA^a and Shinji TACHIBANA^a

^a Central Research Laboratory, C.Uyemura & Co., Ltd(1-5-1, Deguchi, Hirakata-shi, Osaka 573-0065)

Keywords : Electrolytic Copper Plating, Plating Equipment, Thickness Uniformity, Via Filling

1. はじめに

高密度プリント配線板は主にコア基板の表裏面に複数の配線板を積層したビルドアップ工法で製造される。層間の接続にはブラインドビアホール(以下ビア)があり、ビアを電気銅めっきによってフィリング(以下ビアフィリング)めっきすることでビアの上にビアを積み上げることができ、小型化・高密度配線が可能となる。また、回路形成には微細な配線の形成が可能なセミアディティブ法がビアフィリングめっきと組み合わせられており、配線疎密や微細な配線の影響を受けにくく膜厚均一性が良い電気銅めっき液が必要とされ、同時に膜厚均一性と相反する性能であるビアの良好なフィリング性も求められている。

この課題に対して電気銅めっき液だけでなくめっき装置も併せて検討を行う必要がある。優れたビアフィリング性と細線パターンの膜厚均一性を兼ね備えた電気銅めっき液および高度な電流分布制御機能を備えた電気銅めっき装置を組み合わせることで高密度配線板の更なる膜厚分布の向上が達成できる。薬品側では銅および硫酸濃度、添加剤の種類や濃度を、装置側では遮蔽板、治具、電流線の制御および攪拌を最適条件にする。本解説では薬品と装置の相乗効果で高いビアフィリング性能を持ち合わせつつ、パターンめっきの膜厚均一性の向上について述べる。

2. 電気銅めっき液

2.1 液組成と添加剤

一般的な電気銅めっき液は硫酸銅5水和物、硫酸および塩化物イオンの3成分から構成されている。硫酸銅5水和物は銅イオンの供給源として使用している。硫酸は電気伝導率の向上のために用い、均一電着性に効果を示す。塩化物イオンは添加剤成分として働き後述するキャリアーと連携してめっきの析出に対して抑制作用を示す。

代表的な添加剤成分については、大きくわけて促進剤と抑制剤の2種類の添加剤がある。促進剤はブライトナーと呼ばれ、抑制剤はキャリアーとレベラーと呼ばれる。ブライトナーはS-S結合などの硫黄化合物であり、めっき析出において成長核の生成を促進する。その代表例はビス(3-スルホプロピル)ジスルフィドであり、SPSの略称で知られている。キャリアーはポリエーテルの構造をもつポリマー化合物であり、塩化物イオンとの相互作用により陰極表面に吸着し、単分子膜を形成することで結晶成長を均一に抑制する。その代表例はポリエチレングリコールであり、PEGの略称で知られている。レベラーはアミンやアミドなどの窒素化合物であり、凸部の析出に抑制作用を示し、めっき皮膜に平滑性を与える。その代表例はヤヌスグリーンBであり、JGBの略称で知られている¹⁾。

2.2 膜厚均一性

めっき膜厚の均一性については、式(1)のWagner数^{2),3)}(以下 Wa 数)で解釈することができ、膜厚均一性を良くするためには Wa 数を大きくする必要がある。

$$Wa数 = \kappa / (\rho L) \quad \dots\dots\dots (1)$$

κ = 分極曲線の勾配 ($V \cdot cm^2/A$)

ρ = 電解液の比抵抗 ($ohm \cdot cm$)

L = 極間隔など、系の代表の長さ (cm)

分極曲線の勾配を大きくするために低銅濃度化により分極抵抗を大きくし、高硫酸濃度化により液の電気伝導度を高めて電解液の比抵抗を低くすると Wa 数は大きくなり、疎密や幅などのパターンデザインの影響を受け難く、均一な膜厚を得ることができる。

一般的なパターンめっきでは、同じ幅のパターンである場合、パターン密度が低い方が膜厚は厚くなり、同じ密度のパターンである場合、配線幅の太い方が膜厚は厚くなる。14~40 μm の配線幅のパターンを有する基板に銅濃度を変化させてめっきした結果を図1に示す。銅濃度が低くなるにつれて

最大めっき膜厚と最小めっき膜厚の差が小さくなり、膜厚均一性が向上した。

上記で述べたように通常は太い配線幅の膜厚が厚くなる傾向があるので、レベラーの吸着によってめっきの析出を抑えることで配線幅による膜厚差を小さくすることができる。図2に配線幅が太い場合と細い場合のパターンめっきにおけるレベラー吸着の模式図を表す。細い配線よりも太い配線の方が攪拌による液の流動が起こりやすいためにレベラーが吸着しやすい。さらに比較的拡散速度の遅いレベラーを選択すれば細い配線部への吸着を抑制することができ、配線幅に関係なく膜厚を一定にすることが可能となる。10~80 μm の配線幅のパターンを有する基板に拡散速度が速い添加剤と遅い添加剤を含むめっき液でめっきした結果を図3に示す。拡散速度が速い添加剤の場合は配線が細くなるにつれて膜厚が薄くなるが、拡散速度が遅い添加剤を使用することで均一な膜厚を得ることができる。

図1 銅濃度と膜厚の関係

図2 レベラー吸着の模式図

2.3 ビアフィリング性

ビアフィリングのメカニズムには図4のように大きく分けて3種類ある⁴⁾。図4aで表す銅/硫酸濃度依存では、ビア底のコーナー部におけるめっきは側壁と底部の成長が合わさるため基板表面と比較して成長が速くなりフィリングされる。図4bで表す促進剤依存では、めっき進行に伴ってビア内のめっき面積が小さくなることで、当初、均一に吸着した促進剤が濃縮され、成長が速くなりフィリングされる。図4cで表す抑制剤依存では、攪拌の影響により抑制剤が多く供給されるビア上部よりも、抑制剤が供給されにくいビア底部のめっき成長が促進されることによりフィリングされる。電流-電位曲線の測定により図4bと図4cの添加剤効果を確認した結果を図5に示す。一般的なめっき液は攪拌が強いほど銅イオンが多く供給されるために分極抵抗は低く電流が多く流れるが、図4bの効果が強いめっき液では図5aに示され

図3 ファインパターンへのレベラーの影響

図4 ビアフィリングのメカニズム

(a)銅/硫酸濃度依存, (b)促進剤依存, (c)抑制剤依存

図5 電流-電位曲線 (a)図4bの促進剤依存, (b)図4cの抑制剤依存

図6 銅濃度とビアフィリング性の関係

るように攪拌の強弱に関係なく均一な電流が流れる特徴がある。次に図4cの効果が強いめっき液では図5bに示されるように攪拌が強いと流れる電流が小さくなり、攪拌が弱いと電流が多く流れる。これらのようにフィリングのメカニズムは電流-電位曲線によって説明される。

通常膜厚分布を向上させるために銅濃度を低くすると、ビア内の銅イオン濃度が低下するためにフィリング性が悪くなる。図6に示すように図4bの効果が強いめっき(X浴)はフィリング性を得るためには銅濃度を高くする必要がある、膜厚均一性を必要とするめっきには適さない。しかし、膜厚均一性も良くするためには図4bの効果に加え、図4cの効果も強いめっき液(Y浴)を選定することにより、銅濃度を低くしても良好なフィリング性が得られることが確認された(図6)。

3. 電気銅めっき装置

コンピュータシミュレーション⁵⁾により槽構造⁶⁾や攪拌方

法の最適化を検討しながら膜厚分布に有利な電気銅めっき装置の開発を進めている。攪拌は添加剤の効果を均一に発揮させるために基板に対して垂直に噴流するエダクターを用い、遮蔽板は面内膜厚を均一にするためにアノード側とカソード側の上下に配置する。

まず遮蔽板の電流線制御の効果を確かめるシミュレーション例を図7に示す。遮蔽板がないと図7aのように基板の端部の膜厚が厚くなる。それに対して遮蔽板を図7bのように適切な位置に設置すると基板端部の膜厚が抑えられ、膜厚均一性が増す。

次に、治具の電流分布シミュレーション例を図8に示す。図8aはステンレス製外枠フレームをもつ治具に基板をラッキングした状態を示しており、基板はターゲット基板、シャフトは治具のフレーム、ダミー基板は連続搬送装置の隣接する基板を表している。この治具を用いるとステンレス製外枠フレームが補助カソードの役割を果たし、基板を外枠フレームの間隔および治具間隔で膜厚を制御する。また、図8bのシミュレーション結果では基板、シャフト、ダミー基板はそれぞれ図8aに対応する。シャフト部は矢印が密になっていることから、電流が集中していることがわかり、基板端面の電流集中が緩和され基板への電流が均一になり膜厚分布が良くなっていることがわかる。このように電流分布シミュレーションを行うことでシャフト径およびシャフトと基板の距離を決め、最適な治具構造としている。

攪拌においてはエダクターノズルの液流れをシミュレーションして、適切なノズル選択と配置を決めている。シミュレーション例を図9に示す。図9aはエダクターノズルを示し、図9bはそれらによりめっき液を下から上に噴射したときの流速を表している。ノズル3では中心部とその周りで流速に差が生じているが、ノズル1や2を用いると、周りにあるめっき液を巻き込みながら噴射するため、一定の流速でめっき液を噴射することができる。図9cは基板表面に当たる直前の流速を表している。ノズル3は中心部とその周りの

図7 膜厚分布の向上(a)遮蔽板なし (b)遮蔽板あり

図8 (a) 治具と基板, (b) 治具構造の電流分布シミュレーション

図9 (a) 噴流ノズルの種類, (b) めっき液を噴射したときの液流れ(断面), (c) めっき液を噴射したときの液流れ(垂直面)

流速に差が生じるのに対して、ノズル2は強く広い範囲に均一に噴射している。

上記のようなシミュレーションを駆使しためっき装置においてめっきした510 mm×515 mm 基板の面内における膜厚均一性は、遮蔽板の位置や攪拌強度などの装置条件を最適化することにより平均膜厚 19.9 μm に対して 0.44 μm の標準偏差という良好な結果であった。この時の測定箇所は接点箇所を除いた縦 10 点×横 10 点、合計 100 点の膜厚を測定した。また、配線幅 5~20 μm 、および直径 100 μm のパッドを含む基板の膜厚均一性は平均膜厚 10.3 μm に対して 0.84 μm の標準偏差であり、良好な結果が得られた。

4. おわりに

ビアフィリング性が良くパターンの膜厚均一性にも優れているめっき液に電流分布シミュレーションや流体解析により最適な装置設計を行っためっき装置を組み合わせることは非常に有用である。

スマートフォンやモバイルパソコンなどの高機能化に伴う高密度配線板の配線の微細化により、更なる電気銅めっきの膜厚均一性が要求されている。この要求に対応するために薬品と装置が一体となって開発されることがこれからも必要になっていくだろう。

(Received July 4, 2014)

文 献

- 1) M. Hasegawa, Y. Negishi, T. Nakanishi, T. Osaka ; *J. Electrochem. Soc.*, **152**, (4), C221 (2005)
- 2) 日根文男 ; ウエムラテクニカルレポート, **37**, 26 (1996).
- 3) 日根文男 ; ウエムラテクニカルレポート, **43**, 17 (1998).
- 4) 和久田陽平, 杉本将治, 渡辺充広, 山下嗣人, 本間英夫 ; マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, **20**, 147 (2010).
- 5) 小原勝彦 ; ウエムラテクニカルレポート, **36**, 12 (1996).
- 6) 倭 立柱, 小原勝彦, 浅富士夫, 杉浦 裕 ; ウエムラテクニカルレポート, **65**, 25 (2010).