

最新実装とめっき技術

Recent Electronics Packaging and Plating Technology

本間 英夫

Hideo HONMA

1 はじめに

近年の携帯電話，パーソナルコンピューターに代表される電子機器の小型化，高性能化，高機能化に伴い，半導体関連およびプリント配線板の製造法は，新しい技術が適用され始めている。

1997年9月にIBMがデュアルダマシン法（Dual Damascene process）という全く新しい半導体の配線形成法を発表した。金属薄膜作成法に硫酸銅めっき法を採用し，化学的機械研磨（Chemical Mechanical Polishing: CMP）技術を組み合わせたデュアルダマシン法によって，半導体の小型化，高性能化を飛躍的に向上させ，世界の半導体業界に技術革新を起こした¹⁾。これまでの乾式法による金属成膜技術が主流であった半導体製造業界に湿式法を取り入れる契機となった。

また，IT産業に代表される光ファイバーによる超高速・大容量通信網構築に関しても，新しい技術が開発されている。光ファイバー同士の接続や各種光学部品との接合には，はんだ接合法による検討が始められている。はんだ接合法は金属薄膜形成が必要不可欠な技術で，特に均一性，低コストなどの点で無電解めっき法が適用されている。

本解説では，エレクトロニクス分野における「めっき技術」を用いたマイクロファブリケーションについて，半導体配線形成技術，プリント配線板製造技術，実装技術および光ファイバー上への金属成膜についてそれぞれ解説する。

2 半導体配線形成におけるめっき技術の応用

半導体業界に技術革新をもたらしたデュアルダマシ

ン法は，半導体配線に使用されていたアルミニウム合金よりも電気抵抗が低く，エレクトロマイグレーション耐性に優れる銅を採用することで，LSIの飛躍的な高速化を実現した^{2)・4)}。電子機器の頭脳の役割を担う半導体は，近年になってさらなる高密度化が要求されており，半導体のデザインルールはサブミクロンオーダーにまで達している。

デュアルダマシン法とは，湿式法の1つである電気銅めっき法を使用してLSI上に形成されたトレンチ（溝）やホール（穴）に銅をフィリング（Filling：埋め込み）した後，CMPにより表面層を研磨して配線を形成する工法である。図1に電気銅めっきでトレンチ内に銅を埋め込んだ後の断面写真を示した。一般的な電気銅めっきで微細回路を形成した場合，図1(a)に示したようにトレンチ内にしばしばボイド（Voids：空隙）やシーム（Seam：継ぎ目）が確認され，接続信頼性の点で問題となる。この場合，プリント配線板製造技術の，電気銅めっきによるビアフィリング（Via Filling）技術が解決策となり，後述する硫酸銅めっき浴中の各種添加剤の最適化によって，トレンチへの銅の埋め込み性が向上する。

一方，トレンチ上に過剰析出が起こるオーバープレート現象も問題となっている。この現象は，後続のCMP工程において，削りムラの問題が生じるため，可能な限り平滑な銅皮膜を形成することが望ましい。この場合も，めっき浴中の添加剤の最適化によって，図1(b)に示したように，埋め込み性が良好で平滑な銅皮膜が得られている⁵⁾。

また，半導体デザインルールの微細化に伴い，VLK（Very Low - k）膜（低誘電率層間絶縁膜）と銅配線の組み合わせが重要になってきている。最近では比誘電率 $k = 1.5 \sim 2.0$ の多孔質 SiO_2 が開発されるなど，微細線化に対応するため，様々な検討が進められている⁶⁾。一般に，CMPに

より平坦化と配線の独立化を行った後、CVD(Chemical Vapor Deposition)によりバリア層/エッチストップ層としてSiN膜(比誘電率 $k = 7 \sim 8$)またはSiC膜を形成する。SiN膜は周囲の絶縁膜に比べて比誘電率が非常に高いため、SiN膜中で銅のエレクトロマイグレーションが起これ、接続信頼性の低下を招く。そこで、銅のエレクトロマイグレーションを防止するため、シールド性の高い金属で銅パターンを選択的にキャッピング(Capping)する必要がある。図1(c)に示したような独立した微細銅パターン上に対して無電解めっき技術を適用すれば、図1(d)に示したように約50nmのニッケル合金薄膜の成膜が可能となる⁷⁾。これは無電解めっき法の選択析出性を利用した技術である。

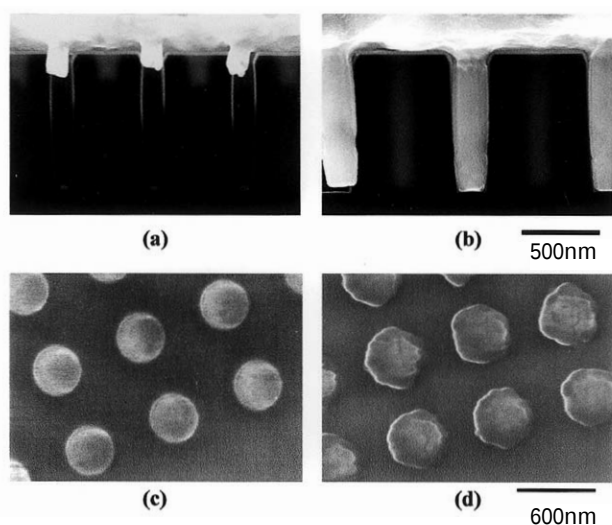


図1 半導体配線形成におけるめっき技術の応用。
(a) トレンチの埋め込み(無添加浴)
(b) トレンチの埋め込み(添加浴)
(c) 銅微細パターン
(d) 銅微細パターン上へのニッケル合金皮膜形成

3 プリント配線板製造におけるめっき技術の応用

プリント配線板もまた半導体製造技術と同様に高密度化、多層化が進んでおり、従来のスルーホール多層プリント配線板では対応が困難になってきている。そのため、ビルドアップ工法(Build-up process)と呼ばれるプリント配線板の製造法が適応されている。一般にビルドアップ工法とは、内層コア材料へ絶縁層と導体層を交互に積み、層間接続材料を介して電氣的に接続する工法で、高密度配線が可能となる。ビルドアップ配線板の工法は数多く提案されているが、本解説ではビアホール(Via Hole)と呼ばれる微小穴をめっき法によって導通化させる工法について説明する。

従来法は、無電解銅めっきによりビアホールを導通化

した後、図2(a)のようにコンフォーマルに電気銅めっきを行い、絶縁樹脂や導電性ペーストを用いてビアホール内部を充填する。しかし電気銅めっき法ではビアホール内部にボイドや表面のくぼみが発生しやすく、接続信頼性や配線の高密度化、高速化への対応の観点から問題となる。そのため、ビアホール内部を完全に金属銅で充填する、ピアフィリング(Via Filling)が有効とされている。さらに従来は不可能であったビアホールの上にビアホールを形成するピアオンピア(Via on Via)構造が可能となり、配線の自由度が増加する。

筆者らは、無電解めっき法、直流電解法、パルス電解法、PR(Periodical Reverse)電解法によるピアフィリングについて報告した^{8)・10)}。無電解めっき法、パルス電解法、PR電解法によるピアフィリングでは、めっき時間、銅の析出状態、めっき浴組成などの問題はあが、フィリングは可能であった。一方、直流電解法は、ビアホール内部にボイドを生じやすく、ピアフィリングには適さないとされていた。しかしながら、添加剤(ブライナー系、湿潤剤系、レベラー系)の制御により、スルーホールめっきに用いるハイスロー浴や装飾めっき用の一般浴でも、直流電解法によるピア内部のフィリングは可能だった^{11)・12)}。(図2(b)、図2(c))

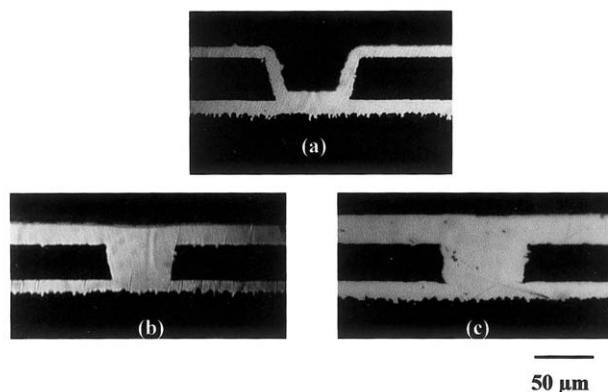


図2 プリント配線板製造におけるめっき技術の応用。
(a) ビアホールへの電気銅めっき
(b) ハイスロー浴によるピアフィリング
(c) 一般浴によるピアフィリング

4 実装技術におけるめっき技術の応用

半導体素子をプリント配線板に搭載するための実装技術も、より高密度な実装方法が要求されている。近年の半導体配線の微細化、高密度化に対応するため、狭ピッチ化、多ピン化が要求されるようになり、従来のリードフレームやワイヤーボンディング(Wire Bonding : WB)法などのリード線を用いた接続に代わりTAB法(Tape Automated Bonding)、マイクロバンプ(Micro

Bump : 微細突起状電極)を用いるフリップチップ(Flip Chip : FC)法, および異方性導電膜(Anisotropic Conductive Films : ACF)を用いるマイクロメカニカル接続が採用されている¹³⁾。さらに, 最近の高密度実装技術の中で, CSP(Chip Size Package)技術として, 1つのパッケージ内に複数のチップを実装するスタックドCSPが開発され, マイクロバンプの重要性はさらに高まっている。

半導体の電極材料であるアルミニウム合金上にバンプを形成する際, 密着性向上のために, クロムやチタン等の1st バリアメタルをスパッタ法により形成し, タングステン, 銅, ニッケル等の2nd バリアメタルを金属拡散防止層として形成している。その後, 湿式法である電気めっき法によってバンプが形成される。

電気めっき法は外部電源を必要とするため, 半導体の独立した電極には適応不可能となる。一方, 選択析出性に優れた無電解めっき法はバンプ形成に適している。無電解めっき法を用いたニッケルバンプ形成は, 一般に前処理として密着性向上を目的とした強アルカリ性のジンケート処理(Zinate treatment : 亜鉛置換)が行われている。しかしながら, ジンケート処理はレジストを侵食するため, 使用が制限される。そこで, ジンケート処理に代わる前処理法が必要になり, 直接アルミニウム上にニッケルめっきを行う直接めっき法を提案した。図3(a), 3(b), 3(c)に示したように, 均一性に優れたバンプが形成できることを見だしている^{14), 15)}。

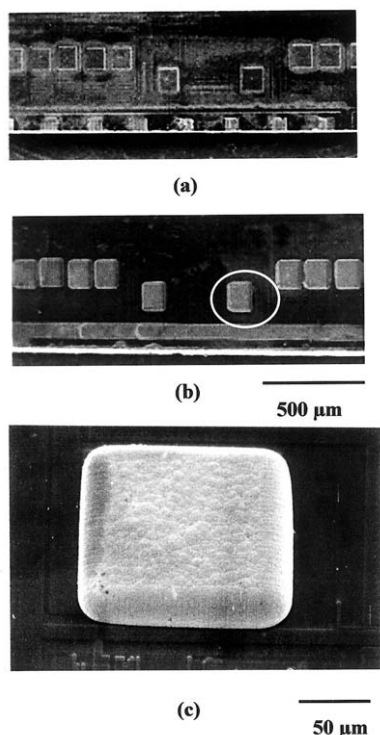


図3 半導体電極上へのめっき技術の応用.

- (a) 無電解ニッケルめっき前
- (b) 無電解ニッケルめっき後
- (c) ニッケルバンプ成膜状態

5 光ファイバー上へのめっき技術の応用

IT産業の発展に伴い, 光ファイバーを用いた超高速・大容量通信網によるインフラが進んでいる。光ファイバー通信網構築には, 光ファイバー同士の接続や各種光学部品との接合がキーテクノロジーとなる。この接合は, フェルールと呼ばれる精密円筒缶に熱硬化型や光硬化型の光学接着剤によって, 光ファイバーを固定する方法¹⁶⁾や, 接着剤を使用しないはんだ接合法などがある。はんだ接合法は光ファイバーのクラッド層に, はんだ濡れ性の高い金属(金など)を成膜して, 接合する方法である。

ガラス上への金皮膜の形成には, 均一性, 低コストなどの点から一部湿式法が適用されている。しかし, ガラス上に直接金の成膜は不可能なため, 下地に無電解ニッケル皮膜を成膜し, その上に金皮膜を形成している。光ファイバー上も同様にニッケル/金層を成膜するが, この場合, 無電解めっきの前処理工程や実験環境が成膜状態, はんだ固定強度に与える影響は非常に大きい。光ファイバーに一般的な前処理を施し¹⁷⁾, めっき浴中の溶存酸素およびめっき環境の清浄度を適切に管理することで, 図4(a), 4(b)に示したように, 均一で, 密着性に優れた皮膜の形成が可能となる。

また, 最近注目を集めている近接場光学顕微鏡(Scanning Near-field Optical Microscopy : SNOM)に使用される光ファイバースローブ上へのめっき技術を適用して微小開口部の形成を試みた。SNOM用プローブは光ファイバーをエッチングして先端部を先鋭化している¹⁸⁾。一般に, 光学顕微鏡の分解能はAbbeの回折限界の理論から示されているように, 測定光波長の約60%が限界とな

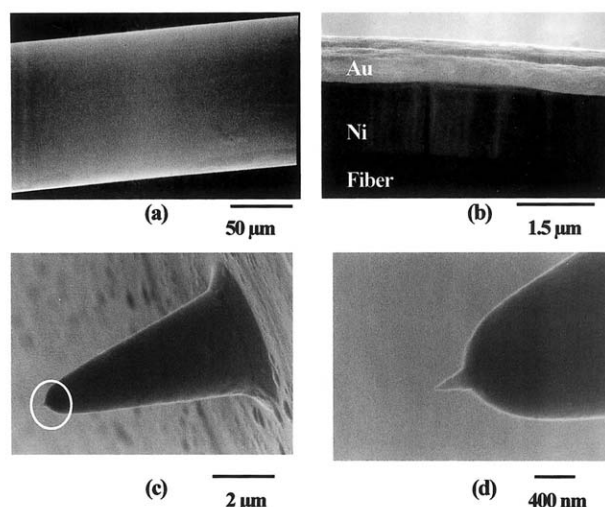


図4 光ファイバー上へのめっき技術の応用.

- (a) ニッケル/金皮膜表面状態観察
- (b) ニッケル/金皮膜断面観察
- (c) プローブ上へのニッケル成膜状態
- (d) プローブ上へのニッケル成膜拡大図

る。しかし、物質表面から光の波長以下の領域、いわゆる近接場領域に発生するエバネッセント場を検出することで、光の回折限界の制限を受けない光学顕微鏡が実現可能となる。SNOMの測定分解能はプローブ先端の微小開口部の大きさに依存するため、開口部の微小径化によって高解像度化が実現できる。プローブ側面の遮光膜形成およびプローブ先端の微小開口部形成法として蒸着法¹⁹⁾やSRC法²⁰⁾が報告されている。無電解めっきにより微小開口部形成を試みたところ、浴組成およびめっき条件を制御することにより、図4(c)、4(d)に示したようにナノオーダーの微小開口部を有する光ファイバースプローブの作製が可能となっている^{21), 22)}。

6 おわりに

エレクトロニクス分野におけるめっき技術の応用について解説した。「めっき技術」の適用によって、現在の最先端の電子機器製造技術は日々発展をつづけている。特に、乾式法が中心であったエレクトロニクス分野の金属薄膜作成法は、湿式法に変わりつつあり、それによって様々な製造法で技術革新が起きている。今後、湿式法による金属薄膜作成法がキーテクノロジーになり、新しい技術が開発されるだろう。

参考文献

- 1) IBM J. RES. DEVELOP., 42, March Issue(1998)
- 2) V. M. Dubin, Y. Shacham-Diamond, B. Zhao, P. K. Vasudev, C. H. Ting, *J. Electrochem. Soc.*, 144, 898 (1997)
- 3) C. H. Ting, V. M. Dubin, T. Nogami, *Proc. of 13th VLSI Multilevel Interconnection Conference*, 481(1996)
- 4) V. M. Dubin, C. H. Ting, R. Cheung, *Proc. of 14th VLSI Multilevel Interconnection Conferenc*, 69(1997)

- 5) 高田祐一, 小山田仁子, 三浦修平, 本間英夫, *エレクトロニクス実装学会誌*, [4] 219(2001)
- 6) 日経マイクロデバイス, No. 10. 71(2000)
- 7) 高田祐一, 石川 薫, 三浦修平, 本間英夫, *エレクトロニクス実装学会誌*, [4] 318(2001)
- 8) 阿部真二, 藤波和之, 青野隆之, 本間英夫, *表面技術*, [48] 433(1997)
- 9) 藤波和之, 小林 健, 真庭朝夫, 本間英夫, *表面技術*, [48] 660(1997)
- 10) 小林 健, 川崎淳一, 石橋純一, 田中健太郎, 本間英夫, *表面技術*, [49] 1332(1997)
- 11) 小林 健, 川崎淳一, 三原邦昭, 山下嗣人, 本間英夫, *エレクトロニクス実装学会誌*, [3] 324(2000)
- 12) 三浦修平, 三原邦昭, 福士 司, 香西博明, 本間英夫, *表面技術協会第 102 回講演大会要旨集*, 20(2000)
- 13) (社) SHM, *エレクトロニクス実装技術講座・総論*, 工業調査会, 36(1994)
- 14) 渡辺秀人, 本間英夫, *表面技術*, [46] 946(1995)
- 15) 稲葉裕之, 三浦修平, 本間英夫, *表面技術*, [52] 222 (2001)
- 16) 中村孔三郎, *回路実装学会誌*, [10], 298(1995)
- 17) 堀田慎一, 鈴木佳司, 渡辺幹男, 本間英夫, *表面技術*, [44], 831(1993)
- 18) S. Mononobe and M. Ohtsu, *J. Lightwave Technol.*, 14, 2231(1996)
- 19) 物部秀二, R. ウママヘスワリ, 斎木敏治, 納谷昌之, 大津元一, 第 55 回応物予稿集, 2, 461(1994)
- 20) 物部秀二, 大津元一, 第 43 回応物予稿集, 3, 885 (1996)
- 21) T. Kobayashi, J. Ishibashi, S. Mononobe, M. Ohtsu, H. Honma, *J. Electrochem. Soc.*, 143, 1046(2000)
- 22) 阿部 治, 石川 薫, 三浦修平, 物部秀二, 大津元一, 本間英夫, *表面技術協会第 103 回大会要旨集*, 40 (2001)



著 者

氏名 本間 英夫

Hideo HONMA

関東学院大学 教授

工学博士

関東学院大学 本間研究室

本間先生のご略歴を紹介させていただきます。先生は1942年富山県にお生まれになり、1965年関東学院大学工学部工業化学科を卒業後、1968年同校工学研究科工業化学専攻を修了されました。同年から関東学院大工学部助手、専任講師、助教授を経て1982年大阪府立大学で工学博士の学位を授与された後、関東学院大学工学部教授に就任されました。

関東学院大学は、30年程前まで大学内に表面処理の事業部を持っていた特殊な大学で、プラスチック上のめっき法を全世界に先駆けて工業化した実績があります。現在、事業部は独立しましたが、その表面処理の研究は本間先生によって受け継がれ、無電解および電解めっきを基本とした湿式成膜による機能性薄膜の創製について30年以上にわたり研究を行っています。“産学協同”を研究の基本方針として、多くの企業や官公庁と共同で多彩な研究を進められています。また、本間研究室卒業生は先生の影響によって、表面処理関連の仕事に携わる方が多く、皆第一線で活躍しております。

先生は表面処理の分野、特に「めっき」に関して世界的な権威であり、研究論文100報以上、口頭発表300以上の実績を持ち、各界から高く評価されています。近年の先生の実績を以下に紹介いたします。

1997年 プリント回路学会技術賞

1999年 電子回路世界大会ポスター発表テクニカル部門最優秀論文賞

2000年 表面技術協会協会賞

2000年 2000年度国際表面処理連合サイモンワーニック賞

2000年 2000年度米国電気化学会電析部門研究賞

2001年 プリント回路学会特別賞

先生は表面技術協会副会長を歴任され、現在はエレクトロニクス実装学会の常任理事、The American Electroplaters and Surface Finishers Society, Inc. (AESF) のAESF Research Board member に就任しておられます。

日本化学工業の無電解めっき技術を適用した製品「ブライト」は先生の適切なアドバイスと情報を頂き、基礎データの収集から次世代向けの導電粒子の開発まで進めております。

先生の研究活動、学会活動に精力的に取り組んでいる姿は、年齢を感じさせず、今年還暦を迎えられる方とは思えません。さらに大学ではサッカー部の部長まで兼任しておられ、先生のすべての事に真剣に取り組む姿勢は、表面処理業界や研究室卒業生、サッカー部員に共感を与えるため、多くの方々に慕われているのは極めて自然なことなのでしょう。

関東学院大学本間研究室のホームページ <http://member.nifty.ne.jp/honma-lab/> に研究内容や活動報告などが公開されています。また、先生が毎月執筆しておられる「雑感」も掲載されております。是非多くの人に読んでいただき、誌面では表現できなかった先生の人柄を知っていただきたいと思います。ご興味ある方は一度アクセスしてはいかがでしょうか？

本間先生および関東学院大学本間研究室の今後のますますのご発展をお祈りしております。

(電材研究部 阿部真二 記)