極薄銅箔を使った新しい工法へのチャレンジ —高密度微細配線化・高機能化の要求に応えて

片岡 卓*

Challenge on New Process Using Ultra Thin Copper

Takashi KATAOKA*

*三井金属鉱業株式会社銅箔事業本部銅箔事業部技術部 (〒362-0013 埼玉県上尾市鎌倉橋656-2)

*Technical Department Copper Foil Division, Copper Foil Sector, Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. (656-2 Kamakurabashi, Ageo-shi, Saitama 362-0013)

1. はじめに

近年の電気・電子機器の小型化・高機能化には、目を見張るものがある。この小型化・高機能化は、プリント配線板の実装技術の進歩によって支えられていると言っても過言ではない。特にビルドアップ配線板の登場によって、携帯電話やパソコン（特にノートパソコン）等の電子機器の小型化・高機能化が一気に推し進められた。そして今日、IT(Information Technology)革命という言葉が使われだし、パソコンだけでなく各種の移動体通信機器を使ったさまざまな情報のやり取りや、その処理のシステムの検討／開発が進められている。今後、プリント配線板に対して、さらなる高機能化のための小型化の要求が強くなってくると考えられる。本稿では、銅箔を使った工法における高密度超微細回路形成の可能性と、極薄銅箔の使用によるビルドアップ配線板の一層の高密度微細化の可能性について述べる。

2. 高密度微細配線の形成

サブトラクティブ法にて回路形成を行う場合、銅箔の選択が微細回路形成の重要なポイントとなる。微細回路形成性の良い銅箔とは、言い換えればエッチング性の良い銅箔ということになる。銅箔のエッチング性を左右する因子として、①厚さ、②プロファイル、③銅の結晶構造の3つが考えられる。

2.1 銅箔の結晶構造の影響の検討

図1に、Ⅲ銅箔、S-HTE銅箔およびVLP銅箔というまったく異なる結晶構造を持った銅箔の各種エッチング液にての溶解速度の比較をした試験の結果を示す。グラフが示すように、塩化銅や塩化鉄およびアルカリエッチャントといったエッチング液では、銅箔の結晶構造の差による溶解速度の顕著な差は確認されなかった。これは、塩化銅や塩化鉄といったエッチング液は、溶解力が強く、わずかな結晶組織の違いは、溶解速度に対し影響を与えないためと考えられる。これに対し、ソフトエッチングやハーフエッチ

ングに使用される溶解力の弱いエッチング液では、銅箔の結晶構造の違いにより溶解速度に差が出ることを確認されている。通常、回路形成には、塩化銅や塩化鉄といった溶解力の強いエッチング液が使用されるので、銅箔の結晶構造の微細回路の形成に対する影響は小さいと考えてよい。

2.2 厚さの影響の検討

微細回路を形成するとき、銅箔の厚さの影響は大きく、薄い銅箔ほど微細回路の形成性が良い。筆者らは、微細回路におけるエッチングの進行を詳細に観察し、その結果をもとにエッチングの進行をモデル化し、シミュレーションを行ってみた¹⁾。図2にそのシミュレーションのモデルと式を示す。また、このシミュレーション式をもとに、各配線ピッチ (L/S) の回路形成において許容される銅箔／銅層厚さを求めた結果を図3に示す。この結果に基づけば、L/S=75/75 μ mの回路形成にあたり許容される銅層厚さは約27 μ mとなる。サブトラクティブ法では層間の接続をとるため、約15 μ mの銅めっきが、ビアホール／スルーホールに対して施されるので、銅箔上にも同じ厚さの銅めっきが施されることになる。したがって、前述の27 μ mからこの15 μ mのめっき厚を差し引いた12 μ mが、使用できる銅箔の最大厚さであるということになる。またL/S=50/50 μ m以下の微細回路をサブトラクティブ法にて形成する場合、5 μ m以下の厚さの銅箔層しか許容されないということに

図1. 結晶構造の異なる3種の銅箔の溶解速度の比較

実験によって求められる深さ方向と水平方向のエッチング速度の比 $b=ks$ ①

上図より: $a=s+Wg/2$ ②, ①と②より: $b=k(a-k/2 \cdot Wg)$ ③

エッチング進行の軌跡を楕円と仮定,

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$$

③を代入

$$x^2/a^2 + y^2/k^2(a-Wg/2)^2 = 1$$

図2. エッチング進行のシミュレーション

図3. 配線ピッチ (L/S) と銅箔許容厚さ

なる。今後の微細回路の形成を考えた場合、5μm以下の厚さの極薄銅箔の必要性が高まってくると考える。

2.3 プロファイルの影響の検討

プロファイルも、低いほど微細回路の形成性が良い。プロファイルは、厚さの一部として考えることができるが、プロファイル部分は、その複雑な形状のためバルク部分に比べて4~5割エッチング速度が遅くなることを考慮しておく必要がある。特に微細回路を形成する場合には、プロファイルの大きな箔では、サイドエッチによる回路の細りが大きく、必要な回路幅を確保することが困難になる。図4に、通常のプロファイルの銅箔と低いプロファイル (LP) の銅箔にて、L/S=50/50μmの回路形成したときの、エッチングの進行を断面より観察した写真を示す。低いプロファイルの銅箔は、回路間に残銅のない良好な形状の回

路が得られているのに対し、通常プロファイルの銅箔では、回路間にプロファイル銅の足残りがなくエッチングしようとした場合、十分な回路幅がとれなくなることがわかる。

また、インピーダンスコントロールの精度といった点で、回路の高周波特性にも、銅箔のプロファイルが影響を与える可能性が出てきている。現在、高速での信号のやり取りのある機器用のプリント配線板には、±10%以下の精度での回路の特性インピーダンスのコントロールが、要求されている。さらに一部では、±5%以下という要求が出ており、将来さらにこのコントロールレンジを狭くするニーズが出てくることは、十分に考えられる。回路の特性インピーダンス Z_0 は、図5に示すように①絶縁層の比誘電率 ϵ_r 、②絶縁層厚さ h/H 、③回路の幅 w 、④回路の厚さ t の影響

図4. プロファイルの異なる銅箔のエッチングの進行の観察 (L/S=50/50μm)

マイクロストリップライン

ストリップライン

$Z_0 \div \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{5.98h}{0.8w+t}$

$Z_0 \div \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{5.98h}{\pi(0.8w+t)}$

図5. 特性インピーダンスの計算式

を受ける。この中でプリント配線板の製造工程においてはばらつきが生じやすいのは②の絶縁層厚さと③の回路幅である²⁾。銅箔のプロファイルは、この回路幅のばらつきに影響を与える。プロファイルの低い銅箔は、回路幅のばらつきを低く抑えることができる。この点においても、今後プロファイルの低い銅箔の必要性は、ますます高まると考える。

2.4 まとめ

銅箔の微細回路形成性について述べてきたが、まとめる以下ようになる。

- (1) 銅箔の結晶構造の微細回路の形成性への影響は、小さい。
- (2) 銅箔厚さの微細回路形成に与える影響は大きく、使用する銅箔の厚さは、設計回路の配線ピッチにより決まる。
- (3) 銅箔のプロファイルは、回路の高周波特性（インピーダンスコントロール）の点からいっても、低い方が望ましい。

$L/S=50/50\mu\text{m}$ 以下の微細回路の形成においては、厚さ $5\mu\text{m}$ 以下の極薄銅箔が、必要となってくる。

また、銅めっきにより層間の導通をとるサブトラクティブ法（量産ベース）では、現状 $L/S=40/40\mu\text{m}$ 前後が限界と考えられる。これ以上の微細配線の形成のためには、エッチング技術やめっき技術（を含む層間の接着技術）の向上が必要となる。

3. キャリア付き極薄銅箔

銅箔は、薄くなればなるほど製造やハンドリングが難しくなり、支持体なしでそのまま取り扱えるのは $9\mu\text{m}$ までが限界である。 $5\mu\text{m}$ 以下の薄さが必要となった場合、キャリア付き極薄銅箔が必要となる。図6にキャリア付き極薄銅箔MicroThinTMの構造を示す。このMicroThinTMは、 $35\mu\text{m}$ 銅箔（キャリア）上にはく離層を介して $3\mu\text{m}$ または $5\mu\text{m}$ の銅箔を電着させ、その上に接着強度を上げるため

図6. キャリア付き極薄銅箔構造図

の粗化処理を施したものである。基材／樹脂上に積層プレスした後にキャリアを引きはがすことにより、 $3\mu\text{m}/5\mu\text{m}$ の極薄銅箔が基材と接着した銅張積層板を得ることができる。キャリア銅箔は、極薄銅箔のハンドリング性の問題を解決するだけでなく、成型加工時に、保護膜としても作用するため、異物の付着や傷、打痕防止にも効果的である。銅箔キャリアの光沢面側に極薄銅箔を形成したMicroThinS(MTS)と、銅箔キャリアの粗面側に極薄銅箔を形成したMicroThinM(MTM)の2種類がある。MicroThinSは、微細回路の形成性に優れ、MicroThinMは、さらに前処理なしで炭酸ガスレーザによるマイクロビアの穴あけ加工が可能である、というメリットを持つ材料である。

4. キャリア付き極薄銅箔の新しい工法への応用展開

4.1 銅箔のセミアディティブ工法への展開

MicroThinTMを使った製造技術により、 $3\mu\text{m}$ 以下の非常に薄い銅（箔）層を表面に持つ銅張積層板が簡単に形成できる。この板にパターンめっきを施した後に、全面フラッシュエッチングを行えば、下地の銅層が非常に薄いため、図7に示すように回路形状を損なうことなく微細配線の形成が可能である。

前節で述べたように、サブトラクティブ法では、現状

図7. キャリア付き極薄銅箔を使ったセミアディティブ法によるファインパターンの形成

L/S=40/40 μ m前後がファイン化の限界と考えられる。しかし、3 μ m以下のキャリア付き極薄銅箔を使い、セミアディティブ法にて回路形成を行うことにより、L/S=30/30 μ m以下の非常に微細な回路形成が可能となった。

4.2 炭酸ガスレーザによる直接穴あけ加工

現在、日本ではマイクロビアの形成（穴あけ）には、生産性の高い炭酸ガスレーザが主に使われている。炭酸ガスレーザの波長は、赤外の領域で、平滑な表面の銅箔では、そのほとんどが反射される。そこで、あらかじめレーザ照射部分の銅をエッチングにより除去するコンフォーマルマスク法にて、マイクロビアの穴あけ加工が行われている。しかし、この方法ではビア径が小さくなると、ビア位置と内層回路パッドの位置ずれ、すなわちレジストレーション

エラーや、小径ビアパターンにおけるエッチング不良といった問題が起こりやすくなる。したがって、パッドやビアのサイズの微細化に限界があり、さらなるファイン化の要求に応えられなくなっている。そこで現在、銅箔に炭酸ガスレーザを使い直接穴あけ加工する方法の検討が進められている。

筆者らが行った実験では、図8が示すように銅箔表面の粗度を上げることにより炭酸ガスレーザの吸収率が向上することが確認された³⁾。ところで、炭酸ガスレーザによる銅箔の穴あけ加工は、吸収されたレーザエネルギーが熱として銅箔温度を上昇させ、銅を蒸発させることにより銅箔に穴をあける加工である。筆者らが行った考察の結果を図9および図10に示す³⁾。薄い銅箔を使えば、銅箔の下の樹脂

図8. 銅箔表面粗さと炭酸ガスレーザの吸収

レーザ出力エネルギーを $P(J)$ とし、表面反射および熱伝導損失を η （イータ）とすると被照射体に温度上昇として吸収されるエネルギーは
 $P(1-\eta)=m(C\Delta T+U_1+U_2)=\pi(d/2)^2\cdot H\cdot\rho\cdot(C\cdot\Delta T+U_1+U_2)$ が成立する。式変形により
 $d^2=4P(1-\eta)/\{\pi\cdot H\cdot\rho\cdot(C\cdot\Delta T+U_1+U_2)\}$
 H :銅層厚さ/ ρ :密度/m:質量/ C :比熱
 d :穴径/ U_1 :融解熱/ U_2 :蒸発潜熱
銅の物理定数 $\rho=8.94g/cm^3$, $C=0.39J/K\cdot g$, $U_1=209.3J/g$, $U_2=4799J/g$, $\Delta T=2582^\circ C$ (銅の沸点)を代入
 $d=2\sqrt{P(1-\eta)/\{\pi\cdot H\cdot 8.94\cdot 6016\}}$ (cm)
照射するレーザエネルギー $P(J)$ 、被照射体厚み $H(cm)$ 、エネルギー損失 η (%)を代入することにより加工可能な穴径 d を計算することができる。

図9. レーザ加工に関する考察

図10. 炭酸ガスレーザによる穴あけ加工のシミュレーションおよび実験結果

図11. MicroThinM (銅厚 3 μm) を用いたビア形成例

図12. MicroThin™を用いたRCCによるビア形成

層にダメージを与えない低いエネルギー (16mJ以下) での穴あけ加工が可能となることがわかる。また銅箔の厚さに $\pm 1 \mu\text{m}$ のばらつきがあった場合、ビア径には $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ のばらつきとなって現れるため、均一な厚さを持つ銅層が必要となる。

まとめると、①表面にレーザー吸収性があり、②薄く、③均一な厚さを持つ銅箔があれば、炭酸ガスレーザーでも銅箔への直接穴あけ加工が可能となる。MicroThinMは、この3つの条件を同時に満たす銅箔である。図11にMicroThinMを使って炭酸ガスレーザーにて直接穴あけ加工を行った結果、および実際に形成したマイクロビアの写真を示す。

4.3 樹脂付き銅箔との組み合わせ

樹脂付き銅箔は、以下のような特徴を持つ⁹⁾。

- (1) 従来のプリント配線板製造装置と同じライン・プロセスをそのまま使用して、積層成形、回路形成ができるため、新たな設備投資が少なくてすむ。
- (2) 表面処理されたプリント回路用銅箔と、強靱な熱硬化性樹脂を使用しているため、銅箔と樹脂の接着強度が高く、耐熱性に優れ基板の信頼性を高めることができる。
- (3) ガラス繊維などの無機材料を使用していないので、基板の軽量化が可能であり、レーザー加工速度が速い。

この樹脂付き銅箔とMicroThin™を組み合わせることで、従来と同じ製造装置で微細回路形成性に優れ、また炭酸ガスレーザーダイレクトによるマイクロビアの形成可能な極薄銅箔層を表面に持つ、ビルドアップの銅張積層板が容易に形成できる。図12にMicroThin™を使った樹脂付き銅箔と、それを使って作成したマイクロビアの断面を示す。

5. おわりに

ビルドアップ配線板において、サブトラクティブ法では、

微細回路形成性に限界があるということで、銅箔を使わないセミアディティブ法やアディティブ法にて回路形成を行う技術が検討され、一部実用化されている。しかし、銅箔を使わないセミアディティブ法／アディティブ法では、回路の接着強度の不足や工程が複雑になるといった問題がある。数あるビルドアップ配線板の製造方法の中で今後どの工法が生き残って伸びていくかは、高い信頼性を持つ配線板を、いかに簡単に加工ができるかがかぎである。本稿で紹介したキャリア付き極薄銅箔は、ビルドアップ配線板の今後の発展に大きく貢献できる材料であると確信する。

(2000.12.1-受理 2000.12.25-再受理)

文 献

- 1) 山本拓也, 中野 修, 平澤 裕, 片岡 卓: “サブトラクティブ法における配線ピッチと銅層許容厚さの実験的考察”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.3, No.10, p.228, 2000.5
- 2) 伊藤元昭: “100MHz超のプリント基板開発製造技術の選択が成否を決める”, 日経エレクトロニクス, No.763, p.197, 2000.2
- 3) 中野 修, 山本拓也, 片岡 卓, 杉元晶子: “キャリア付き極薄銅箔を用いたダイレクトレーザー穴あけ加工”, 第10回MES論文集, p.135, 2000.11
- 4) 桑子富士夫: “樹脂付き銅箔”, P100, ビルドアップ配線板における材料技術と製造プロセス, 技術情報協会, 1998.10

片岡 卓 (かたおか たかし)

昭和32年生まれ。昭和55年、鹿児島大学理学部化学科卒業。現在、三井金属鉱業株式会社銅箔事業本部銅箔事業部技術部において、プリント配線板用銅箔の開発に従事。