

1 はじめに

5Gの普及に伴い、使用周波数帯域であるSub6、ミリ波帯で高周波信号をロスなく伝送する銅配線技術が重要になっている。高周波伝送では、高周波帯域になればなるほど、電流は銅配線の表層にしか流れないため、表層の形状が平滑でないと、伝送損失が増大してしまう。これを表皮効果と呼んでいるが、この表皮効果による伝送ロスを低減するためには、表面粗さが小さく完全な矩形に近い銅配線を形成する技術が求められている。

一方、電子デバイスの急速な小型軽量化に対応するため、銅配線の狭ピッチ化も要求されている。FPCの場合、ポリイミドフィルムの銅張積層板をエッチングして銅配線を形成するサブトラクティブ法での製法が主流である。しかし、この手法では狭ピッチ化における線間幅の確保が困難である。さらに、銅とポリイミドフィルムの界面を粗化处理で接着させた基材の場合、銅配線の底面が凹凸形状となり、狭ピッチ化はさらに難しくなる。

近年、狭ピッチ化と高周波損失低減を両立させるため、ポリイミド銅張積層板では張り合わせる銅箔厚を $3\mu\text{m}$ 以下に薄くしてシード層とする、もしくは基材のポリイミドフィルムにスパッタでナノオーダー膜厚のNi/Cr層を形成し、その上に銅めっきを $1\mu\text{m}$ 厚程度付けた金属層をシード層としたセミアディティブ法で銅配線を形成する手法が広がっている。このセミアディティブ法では、エッチング時に除去すべき層は、シード金属層のみであるため、サブトラクティブ法と比較してエッチング工程が銅配線に与える影響が小さく、狭ピッチ化が容易になる。

しかし、銅箔やNi/Cr+銅めっき層をシード層に用いた場合には、下記図1に示すように、シード層である銅をエッチングする際に、銅配線自体の銅も同時に溶解するため、銅配線が痩せてしまい、銅配線の表面も凹凸形状となってしまう。図1に銅シード層を用いた既存プロセスの問題点を示す。

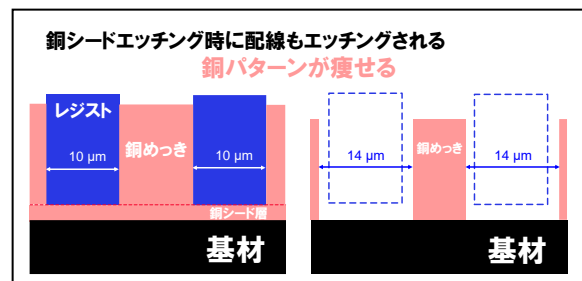


図1：銅シード層を用いた既存プロセスの問題点

2 特徴と仕様

(1) 特徴

前記の銅配線の形状に関する課題を解決できる銅配線形成技術と、下記に示すシード層の要件を満たす新シードフィルム基材を開発した。

【シード層の要件】

- ① 銅を溶解せずにシード金属のエッチングが可能なこと（パターン痩せ、表面凹凸増大の回避）
- ② 基材フィルムを粗化せずに基材との密着が可能であること（基材/層界面の凹凸なし）

この①、②が主要差別化要件となる。

また、下記2点が必要要件になる。

- ③ シード金属は、磁性体ではないこと
 - ④ シード金属が、絶縁信頼性に悪影響がないこと
- ③については、既存技術であるスパッタ法での銅シード層に用いられるNi/Cr層が、銅配線のシード層に用いられた場合、Niの磁性由来の伝送損失が発生することが危惧されており、磁性を持たないシード層が望ましいということが理由である。

弊社はこれらの特性を持つシード層と、新シードフィルムをDIC株式会社と共同で開発した。

(2) 仕様

本品はナノ金属からなる新シード層がプライマー層を介してコーティングされたフィルムとなる。外観を下記図（左）に示す。このフィルムのシード層上に直接めっきレジストを塗布、露光、現像してパターンを形成し、パターン内を銅めっきすることで図2（右）のような断面構造の銅配線が形成される。

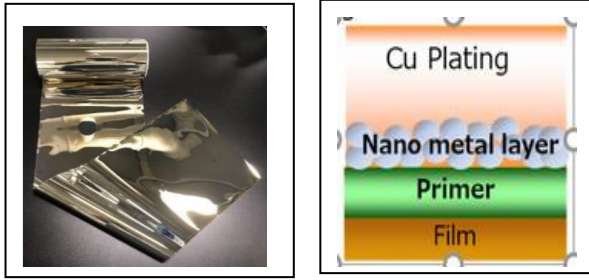


図 2：新シードフィルム外観（上図左）
銅パターン形成後の断面概念図（上図右）

特徴①について詳細を説明する。

図 3 に新シード層をエッチングするための専用エッチング液を用いた場合の、銅と、新シード層のエッチングレートを示す。

図 3 から、新シード層は数秒でエッチングされるが、銅は 15 分浸漬してもエッチングされない。

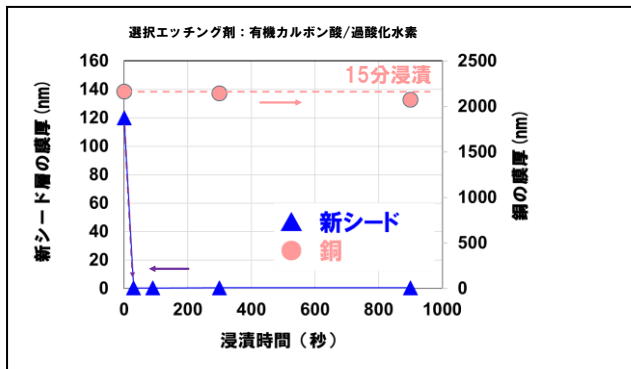


図 3：新シード層と銅のエッチングレートの差

次に、銅配線の断面形状を、新シードフィルムと既存プロセスで比較した。既存プロセスは、スパッタで作成した Ni/Cr 層の上に銅めっきでシード層を形成した基材を用いた。これら銅配線の断面 SEM 写真を図 4、5 に示す。

図 4 からは既存プロセスの場合、銅シード層を用いるため、シード層のエッチングの際に銅配線も一緒に溶解して痩せてしまい、断面形状も台形になっていることがわかる。さらに、新シードフィルムでは、線間幅がシード層エッチング工程の前後で変化しないが、既存プロセスの場合は、線間幅が $7 \mu\text{m}$ も広がってしまった。

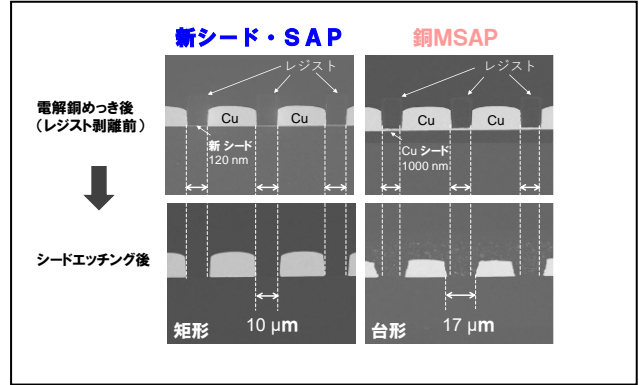


図 4：新シード、銅シードを用いた SAP 後の配線断面 SEM 写真

また、図 5 から、既存プロセスではシード層のエッチング後に銅配線の表面粗さが増大していることがわかる。一方、新シードフィルムの場合には銅配線が溶解せず、表面に凹凸が無く矩形形状を維持していることがわかる。新シードフィルムの場合、銅を溶解しない専用エッチング液を使用するため、このような形状の銅配線が得られる。

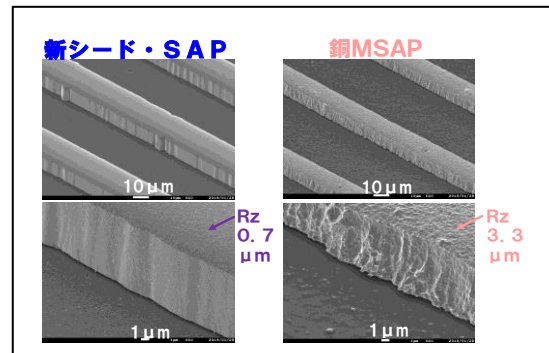


図 5：新シードフィルムと、スパッタ Ni/Cr+銅めっきシード層フィルムを用いた銅配線の SEM 鳥瞰写真

これらの結果から、本シード層は上述の①の特性を満たすものであると考えられる。

次に特徴②について説明する。

図 6 に各種銅積層フィルムの断面図と、基材/銅間の密着力を示す。密着力はピール強度として測定し、サンプル調整直後と、150C で 168 時間保持後の測定結果を示す。

	新シード SAP	銅MSAP (スパッタ)	市販 ラミネート	市販 キャスト
断面SEM画像	Cu Polyimide	Cu Polyimide	Cu Polyimide	Cu Polyimide
ピール強度 常温 (kN / m)	ポリイミドA 0.94 ポリイミドB 1.29	0.6	1.5	1.2
ピール強度 耐熱 (150°C/168h) (kN / m)	ポリイミドA 0.94 ポリイミドB 1.13	0.4	1.1	0.5

図6：各種銅張ポリイミドフィルムの断面 SEM 写真と密着性

新シードフィルムと市販の銅張ポリイミドフィルムの比較において、銅箔をポリイミドフィルムに接着したキャスト品、熱ラミネート品は、いずれも銅箔表面を粗化処理してポリイミドと接着するため、界面の凹凸が大きい。一方、市販のスパッタ品は、ポリイミド／銅の界面は平滑であるが、基材／銅間のピール強度はあまり高くない。

新シードフィルムは、ポリイミド／銅間の界面が平滑であり、且つ、基材／銅間のピール強度は、150°C耐熱試験後も高い値を維持している。

この新シードフィルムの平滑界面での密着力は、図1に示したプライマー層を設けることで達成できる。図7には、新シードフィルムの上に形成された銅配線を屈曲させた写真を示す。MIT試験などの高度な屈曲性試験を行っても、銅配線は剥離しない。

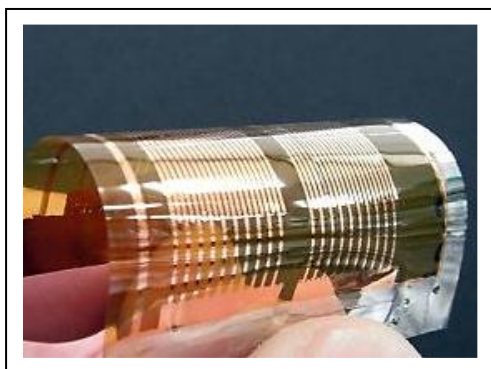


図7：銅めっき後の新シードフィルム

このプライマー層はポリイミド基材と新シード層を接着する役割と、ポリイミド基材の表面を保護してエレクトロケミカルマイグレーションの発生などの絶

縁信頼性の低下を抑制する役割を担っている。また、プライマー層の組成を変更すると種々の基材に新シード層を密着させることができる。

また、この新シード層は非磁性金属からなるため、上述要件③も満たす。

次に上述の要件④について説明する。

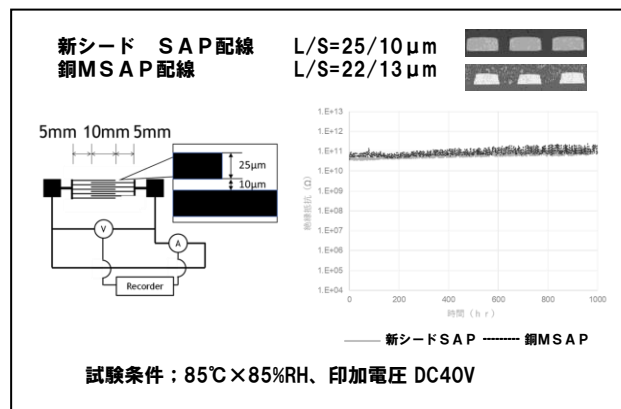


図8：新シード層、銅シード層を用いた銅配線の絶縁信頼性（エレクトロケミカルマイグレーション試験）

新シードフィルムの銅配線と、既存プロセスによるNi/Crスパッタ層+層めっきシード層を使用した銅配線を作成しエレクトロケミカルマイグレーション試験を実施した。図8にその結果を示す。条件は温度85°C・湿度85%、線間10μm、印画電圧40Vとした。既存プロセス品は、銅配線作製時に線間が広がってしまったため、線間は13μmで評価した。この結果から、新シードフィルム上に形成した銅配線は、試験時間1000時間でも短絡せず、既存プロセスによる銅配線と同等の絶縁信頼性を示した。

以上、これらの特性をまとめると表1になる。

表1：銅SAP用新シードフィルムと銅シードフィルムの特性

()内は、伝送損失の増減			
銅配線の形成プロセス		新シード	銅MSAP
シード層	金属種	異種金属	Ni / Cr / Cu
伝送特性への影響因子	磁性体層 (Ni)	無し (低減)	有り (増大)
	配線側面の凹凸	小 (低減)	大 (増大)
	配線底面の凹凸	小 (低減)	小 (低減)
	配線断面の形状	矩形 (低減)	矩形~台形 (増大)

(3) まとめ

5Gの普及によりSub6、ミリ波といった高周波の伝送損失を低減させる重要性がますます増大する。本シードフィルムを用いて銅配線を形成した場合、高周波の伝送ロスの原因の1つである導体損失を、従来の銅配線形成法であるSAPによる銅配線より大きく低

減できる可能性がある。

本論稿ではポリイミド基材についての試験結果から、ファインピッチ化や、高周波対応FPCへの適用有望性を示した。一方、今後、ポリイミド以外のフィルム基材や、リジッド基板に適用することでさらなる用途展開を進めている。