

# 高精細トレンチ配線板

環境・エネルギー研究所 本戸孝治<sup>1</sup>・新田陽介<sup>2</sup>・平野裕之<sup>2</sup>・井上俊明<sup>3</sup>

## Ultra-fine trench circuit board

T. Hondo, Y. Nitta, H. Hirano, and T. Inoue

電子機器の小型化，高機能化にともない，プリント配線板には配線の微細化や高密度化の要求がますます強くなっている．国際半導体技術ロードマップによると，プリント配線板のファイン化は 2014 年にはL/S = 10  $\mu\text{m}$  / 10  $\mu\text{m}$  以下に達するとされる．しかし，セミアディティブ法やサブトラクティブ法といった現行プロセスでは，10  $\mu\text{m}$  以下の配線形成は難しい．そこで，当社では絶縁層内に配線を埋設させたトレンチ状の高精細配線板を開発し，最小線幅 2  $\mu\text{m}$  の配線形成と直径 10  $\mu\text{m}$  の層間接続用のビア形成を実現した．

As electric equipment decreases in size and height and increases in functionalities from day to day, high-density and fine circuits are required more than ever before. According to the International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS, its requirement for trace width / spacing of a printed circuit board will reach less than 10  $\mu\text{m}$  / 10  $\mu\text{m}$  in 2014. However, it is difficult to fabricate such fine circuits on an organic substrate using current processes such as semi-additive process and a subtractive process. We developed the ultra-fine circuit board with trench-shaped traces buried in an insulating layer. The minimum width of the conductor is 2  $\mu\text{m}$  and the minimum diameter of micro via is 10  $\mu\text{m}$ .

### 1. ま え が き

近年，デジタルカメラや携帯電話などの携帯電子機器の小型化，薄型化，高機能化にともない，これらに用いられるフレキシブル配線板は配線の微細化，信号の高速伝送化が求められている．フレキシブル配線板の配線形成は，ウェットエッチングで回路形成するサブトラクティブ法から，選択的にめっき膜を成長させ回路形成するセミアディティブ法の採用が進んでおり，線幅 15  $\mu\text{m}$  の微細化が達成されている<sup>1) 2)</sup>．しかしながら，これらの手法で 10  $\mu\text{m}$  以下の極微細配線を形成するにはいたっていない．また，配線とフィルム基材との密着性を確保する手段として配線表面を粗化処理して数ミクロンサイズの凹凸を形成する工法が主流となっているが，1 GHz 以上の高周波帯域における信号伝送では電流が導体の表面に集中する表皮効果の影響が無視できず，この凹凸による配線の表皮抵抗増大が問題になっている．

そこで，当社は最小線幅が 2  $\mu\text{m}$  と非常に微細で，かつ，配線表面が平滑なプリント配線板を開発した．この配線板は，配線がフィルム基材に埋没したトレンチ構造である．本報では，この高精細トレンチ配線板を作製し，その信頼性を検証した結果について報告する．

### 2. 片面板の製造プロセスフロー

高精細トレンチ配線板の片面板製造プロセスフローを図 1 に示す．最初に，フィルム基材に配線パターン状の微細トレンチを形成した．フィルム基材には液晶ポリマーを用

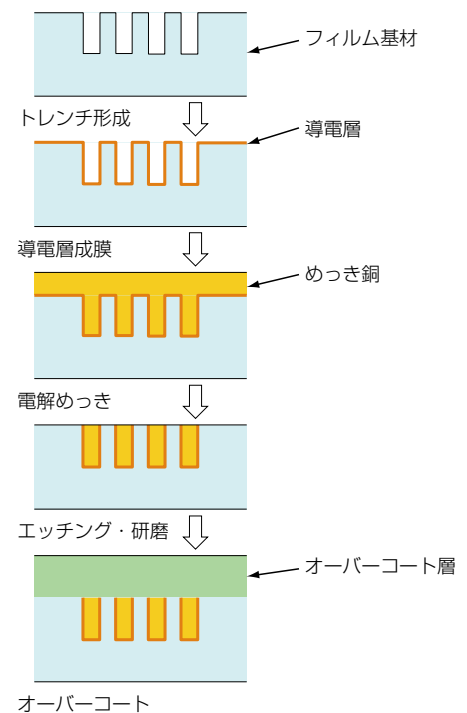


図 1 片面板製造プロセスフロー  
Fig. 1. Process flow of single-sided circuit board.

1 プリントデバイス研究部主査  
2 プリントデバイス研究部  
3 プリントデバイス研究部グループ長

いた。これは、誘電率や誘電正接がフレキシブル配線板のフィルム基材として一般的に用いられるポリイミド樹脂に比べて小さい（表 1）ため高周波伝送に好適<sup>3)</sup>で、加えて、吸水率が小さく、熱膨張係数をSiからCuの間で選択可能なため、マッチングを取ることで実装時の信頼性を向上させることが可能なためである。図 2 に、線幅 2  $\mu$ m & 深さ 6  $\mu$ m の櫛歯電極パターン状トレンチを形成したフィルム基材のSEM像を示す。高精細で高アスペクト比なトレンチを形成することができ、加工によるパターンの欠陥は見つからなかった。次に、このフィルム基材表面に薄膜の導電層を成膜した。導電層をフィルム基材に密着させるため、予めフィルム基材にUV光、あるいはプラズマを照射して極表面を改質してから、無電解めっき法で銅の導電層を形成した。こうすることで、銅が改質層内部から析出して導体層とフィルム基材の界面にナノレベルのアンカー効果が生じ、粗化処理による数ミクロンの凹凸形成をすることなく高い密着力が得られた。改質したフィルム基材表面の面粗さはRz<0.2  $\mu$ mで、非常に平滑であった。次に、電解めっき法を用い、トレンチ内部を銅で充填した。図 3 に充填後の断面SEM像を示す。トレンチ内は銅で一様にフィリングされており、ポイドや剥離した箇所はなかった。次に、表層の余剰な銅をエッチングで除去し、さらに研磨をして完全に除去した。最後にオーバーコート層を塗布形成し、配線を保護した。

表1 フィルム基材の特性  
Table 1. Property of polymer film.

	ポリイミド樹脂	液晶ポリマー
比誘電率 (1 GHz)	3.3 ~ 3.6	3.0
誘電正接 (1 GHz)	0.005 ~ 0.01	0.002
吸水率 [%]	1.0 ~ 1.5	0.04
熱膨張係数 [ppm/°C]	16 ~ 28	5 ~ 18

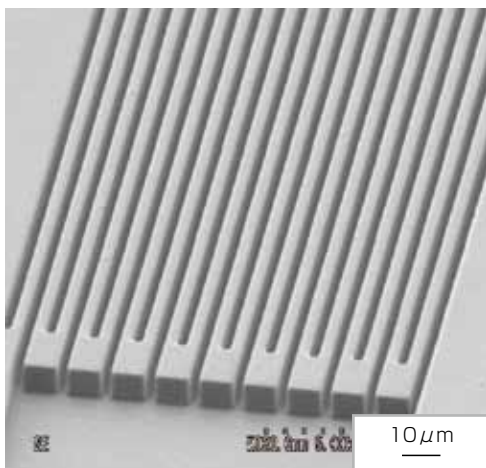


図2 トレンチを形成した基材  
Fig. 2. Trench-shaped traces on film.

### 3. マイクロビア形成

両面板を作製するため、フィルム基材へのマイクロビア形成をおこなった。開発初期は、フィルム基材をUVレーザーで穴あけ加工し、最小径 50  $\mu$ m のマイクロビアを得た。しかしながら、このレーザー加工法でさらに小径のマイクロビアを効率的に形成するには課題が多く、また、加工後のフィルム基材表面に残存したスミアと呼ばれる樹脂残渣を除去する工程が不可欠だった。そこで、新たな工法を種々検討し、成型加工技術を応用することで最小径 10  $\mu$ m のマイクロビアを形成することに成功した。この手法はスミアが発生しないため、除去工程を省略することが可能である。ビアランド部に  $\phi$  10  $\mu$ m のマイクロビアを形成し、電解めっきして銅を充填した後の断面SEM像を図 4 に示す。加工条件を最適化することでマイクロビアの加工に伴うバリやパターン欠陥の発生を抑制し、さらに、充填性の高いめっき液を採用することで内部をポイドなく銅で充填することができた。また、断面観察から、マイクロビアに充填した銅は表面ビアランドおよび裏面ビアランドの銅層と連続的につながっていることを確認した。

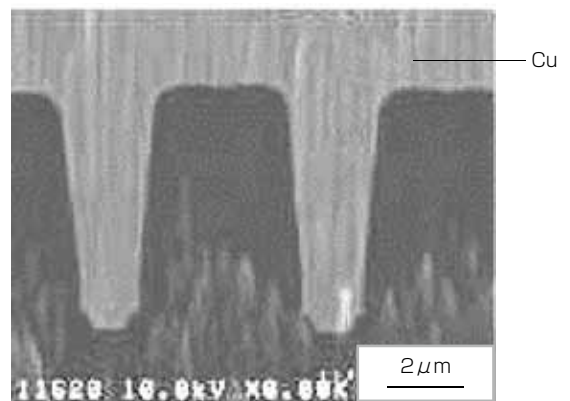


図3 めっき充填後の配線断面  
Fig. 3. Cross-section view of filled traces.

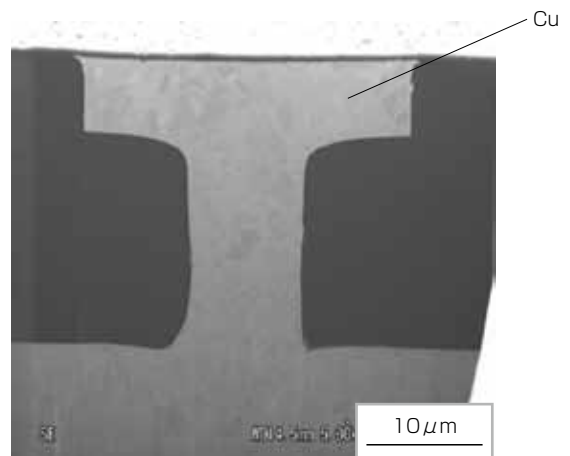


図4 マイクロビアの断面  
Fig. 4. Cross-section view of micro via.

#### 4. 次世代高密度配線板の試作品

上述の高精細トレンチ配線形成技術を用い、パッケージ基板の回路パターンを模擬した両面配線板を試作した。図5に試作品の外観を示す。なお、図はいずれもオーバーコート形成する前の状態である。試作品のパターンサイズは約38mm×38mmで、表層には最小L/S=5 $\mu$ m/5 $\mu$ mのトレンチ配線とビアランドを、裏面にはサブトラクティブ法で電極パッドを形成し、ビアランドと電極パッドとを $\phi$ 25 $\mu$ mのマイクロビアで接続した。表裏の導通をテストで簡易的に評価したところ、いずれも導通しており断線箇所はなかった。また、試作品に大きなうねりや変形はなく、全面にわたって回路が形成できていることを確認した。本試作品はフィルム基材厚さを25 $\mu$ mで形成したこ

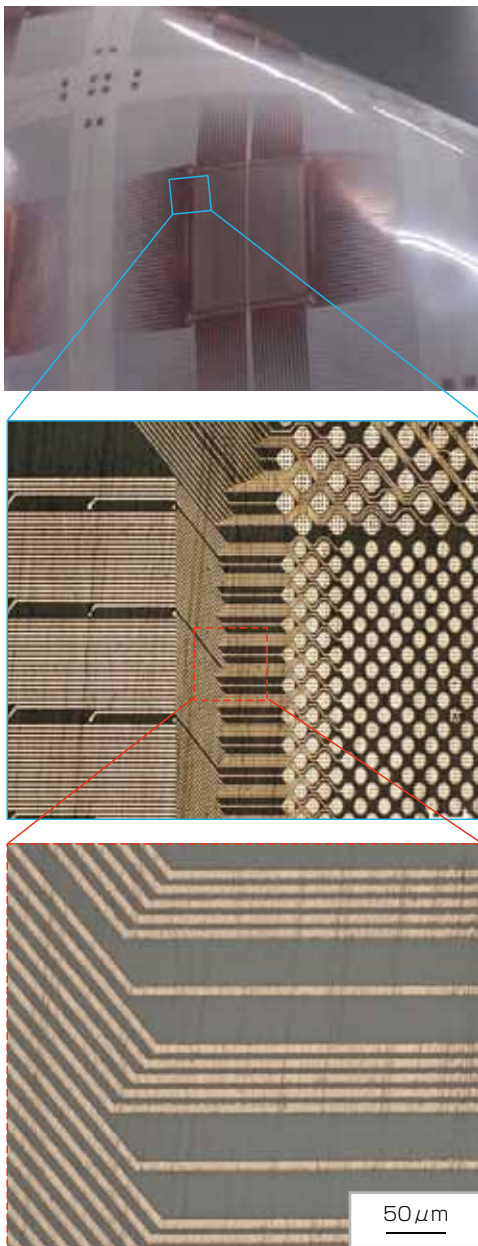


図5 高精細トレンチ配線板  
Fig. 5. Ultra-fine circuit on polymer film.

とからフレキシビリティがあり、図5のように屈曲させてもトレンチ配線に断線や剥離は生じなかった。

#### 5. 信頼性評価

##### 5.1 吸湿リフロー試験

配線板には、部品実装や2次実装など、複数回のリフロー実装工程を想定した吸湿リフロー耐性が求められる。そこで、配線抵抗が測定可能な片面板の評価サンプルを作製し、信頼性の評価をおこなった。評価サンプルは、フィルム基材が25 $\mu$ m厚の液晶ポリマーフィルムに線幅が2 $\mu$ m, 3 $\mu$ m, 5 $\mu$ m, 10 $\mu$ mの4種類のトレンチ配線を形成し、エポキシ樹脂系材料でオーバーコートしたものをを用いた。試験条件は、半導体技術協会JEDECのMoisture sensitivity level 1に準じ、85 $^{\circ}$ C、85%RHの環境下に168時間放置した後にピーク温度260 $^{\circ}$ Cのリフロー処理を3回実施した。試験後にサンプルの外観を検査したところ膨れや剥離箇所はなく、配線にクラックがないことをすべての評価サンプルで確認した。次に、試験前後における配線抵抗を評価した。結果を図6に示す。抵抗変化率は配線幅が細いほど大きかったことから、配線の断面を観察した結果、配線表面が酸化していることがわかった。このことから、吸湿処理においてオーバーコート層が吸水し、配線の銅が酸化したことで抵抗が上昇したと推測した。そのため、オーバーコート層を吸水率の低い樹脂材料に変更すれば抵抗上昇は抑制できると考えている。

##### 5.2 熱衝撃試験

上述の吸湿リフロー試験を前処理として実施した後、熱衝撃試験をおこなった。試験条件は、高温側温度125 $^{\circ}$ C、低温側温度-65 $^{\circ}$ Cとし、60分/サイクルで1,000サイクル

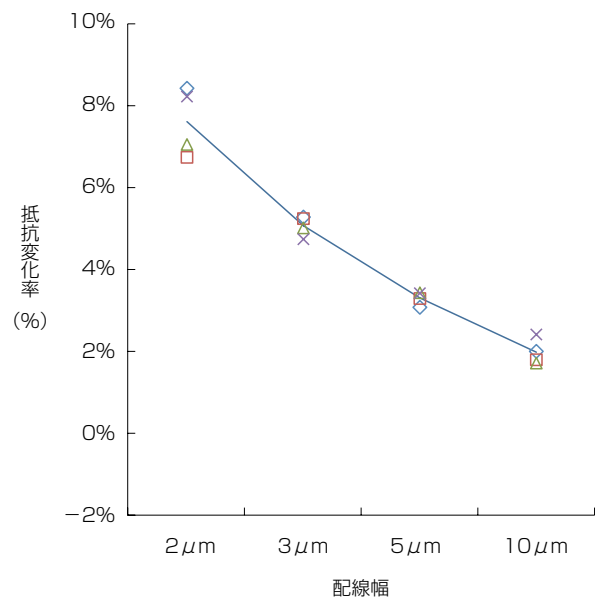


図6 吸湿リフロー試験の結果  
Fig. 6. Results of moisture/reflow sensitivity test.

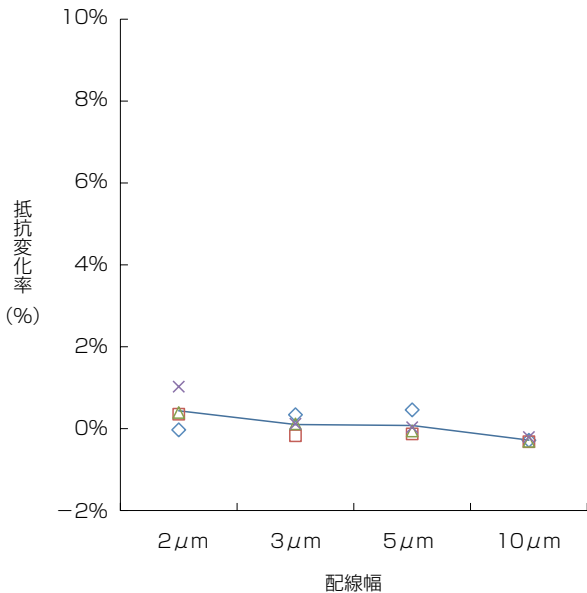


図7 熱衝撃試験の結果  
Fig. 7. Results of heat shock test.

を実施した。試験前後における配線抵抗の変化率を図7に示す。熱衝撃試験による抵抗変化率はいずれも $\pm 1\%$ 以下で、配線幅に依存した傾向はなかった。これは試験が高湿環境下でないため配線の酸化がほとんど進行せず、さらに、熱衝撃に伴う配線へのダメージも十分に小さかったことによるものと推測している。また、試験後の評価サンプルを観察したが、配線にクラックや剥離などの異常箇所はいずれのサンプルでも見つからなかった。以上のように、線幅 $2\sim 10\mu\text{m}$ の高精細トレンチ配線板は、1,000サイクルの熱衝撃試験をクリアし、高い信頼性を有していることを確認した。

### 5.3 不飽和プレッシャークッカーバイアス試験

上述の吸湿リフロー試験を前処理として実施した後、不飽和プレッシャークッカーバイアス試験をおこなった。評価サンプルは、厚さ $25\mu\text{m}$ の液晶ポリマーフィルム基材に $L/S = 5\mu\text{m}/5\mu\text{m}$ のトレンチ配線を櫛歯状に形成し、エポキシ樹脂系材料でオーバーコートしたものをを用いた。試験条件は環境温度 $135\text{ }^\circ\text{C}$ 、湿度 $85\%$ とし、バイアス電圧を $5\text{ V}$ 印加した状態で $336$ 時間試験を行い、配線間の絶縁抵抗の経時変化を計測した。絶縁抵抗は試験中にほとんど変化せず、 $336$ 時間経過後も評価サンプルは $10\text{ M}\Omega$ 以上の高い絶縁抵抗を保持していた。試験後の評価基板の外観を図8に示す。評価したすべてのサンプルで配線の膨れや剥離、断線といった異常箇所はなく、デンドライト状に成長したイオンマイグレーションもなかった。これは、フィルム基材である液晶ポリマー自体の耐圧が高いことに加え、このトレンチ配線板は表層の銅を研磨で除去し作製したため液晶ポリマー上に金属の残渣がなく、その結果、配線間を高い絶縁性で保つことができたと推測している。

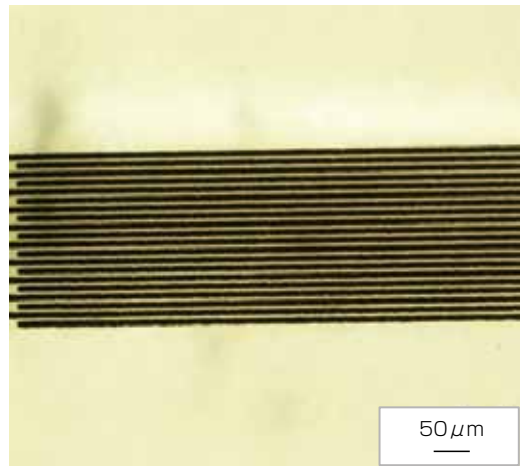


図8 不飽和プレッシャークッカーバイアス試験後のサンプル外観  
Fig. 8. Test vehicle after unsaturated pressure cooker bias test.

## 6. 結 び

液晶ポリマーをフィルム基材に、最小線幅が $2\mu\text{m}$ と高精細で、かつ、配線表面の凹凸が小さいトレンチ構造配線板を開発した。片面板に加え、 $\phi 10\mu\text{m}$ の小径マイクロビアを設けた両面板を作製し、マイクロビア接続部は銅層で連続的につながっていることを確認した。この高精細トレンチ配線板は、片面板においてJEDECレベル1の吸湿リフロー試験をパスし、さらに、熱衝撃試験、不飽和プレッシャークッカーバイアス試験をすべてクリアした。今後、両面板で同様の信頼性を確保し、高密度化、高速/高周波伝送化が要求される次世代高密度配線板への適用を目指す。

## 参 考 文 献

- 1) 池田ほか：「微細回路形成技術」, フジクラ技報, 115号, pp.38-41, 2008
- 2) 小野寺ほか：「セミアディティブ法を適用した全層ポリイミドIVH一括積層配線板」, フジクラ技報, 122号, pp.30-33, 2012
- 3) J. Kivilahti et al "Panel-size Component Integration (PCI) with Molded Liquid Crystal Polymer (LCP) substrates," Proc 52nd Electronic Components and Technology Conf, pp. 955-961, 2002
- 4) Y. Hayashi et al "A new two-step metal-CMP technique for a high performance multilevel interconnects featured by Al and Cu in low  $\epsilon_r$  organic film-metallizations," Symposium on VLSI Technology, pp. 88-89, 1996