

# 高密度 / 高周波に対応した 高機能プリント配線板技術

豊倉 康夫 須藤 浩康

OKI田中サーキット株式会社では、通信・半導体分野で培われてきたプリント配線板製造技術を基に、多ピン Ball Grid Array (以下BGA) の搭載に対応した高密度プリント配線板や大容量伝送・高速信号処理対応の高周波対応 (低誘電率材適用が主) プリント配線板などの高機能プリント配線板の設計・製造を行っている。

近年、これら高機能プリント配線板については、市場からこれまで以上の低コスト化が要求されると同時に、高密度プリント配線板においては、BGAの多ピン化、狭ピッチ化が進み、加えてPC向け拡張バスのPCI Express (以下PCIe) カードエッジ規格による板厚制限もあり、その製品実現が難しくなっている。また、高周波対応プリント配線板においてもその処理スピードが上がり、伝送損失の小さい高機能材料の選定が必要となっている。

本稿では、上記の市場要求に対応するための開発技術について紹介する。

## 高密度プリント配線板の低コスト化事例

高密度プリント配線板では、搭載されるBGAが多ピン (1000ピン以上) 傾向であり、配線引き出しが表層のみでは難しく、内層からも引き出しを行うため複数の配線層が必要となる。一方、PC向け拡張バスのひとつであるPCIe規格の場合、端子部の板厚は1.57mmの制約があり、一般的には12層以下といった制限がある。この為、拡張バス上に多ピンBGAが搭載される場合、配線引き出し用の層数が不足する。このような課題に対して、親基板とは別の子基板にBGAを搭載、これらを実装接合する方法があるが、製作コストが高くなると共に配線長増加による特性ロスが発生する。

また、薄葉材 (0.06mm厚) を多用して層数を増やす方法もあるが、内層信号層の配線幅が細くなり、特性インピーダンスコントロールが難しくなる。低誘電率材を用いることで配線幅を太くすることもできるが、材料コストが高くなり、結果、製品価格も上昇する。

ここでは多ピンBGA搭載とPCIe規格を両立し、低コストで安定した特性を実現する段付き構造プリント配線板に

ついて紹介する。

本プリント配線板では、PCIeカードエッジ箇所を1.57mmとし他の箇所を厚くすることで、板厚の制限に由来する層数の制限や配線幅の設計仕様の自由度を上げることが可能である (写真1)。

また、一つの配線板で構成することができることにより二種類の親子配線板を製作する場合と比較して安価にプリント配線板を提供することが出来る。

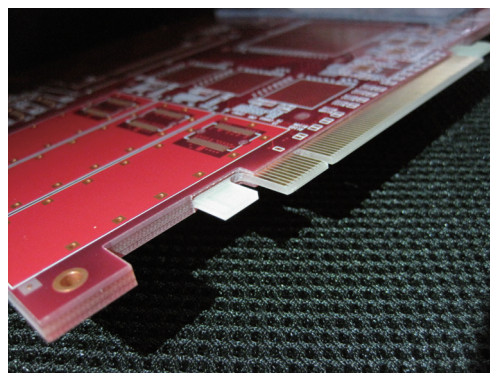


写真1 段付き構造プリント配線板

## 段付き構造実現への製造技術開発

段付き構造の実現する上では、次に示すような製造課題を解決する必要があった。

### (1) 端子部の形成

一般的なドライフィルムを用いるテンティング工法では、段差のついた箇所への追従ができないため、内層の段階でパターン形成を行い、更に金めっきを行うタイミングについても内層の段階で実施している。

### (2) 端子部への樹脂のはみ出し対策

段付き構造を実現するために、本プリント配線板では、構造別に部分積層を行った後、これらを張り合わせて段付き構造を実現しているが、張り合わせ部については端子部への接着樹脂のはみ出しが起きないように塗布エリアを考慮した設計仕様が必要であり、作り込みに反映させている (写真2)。

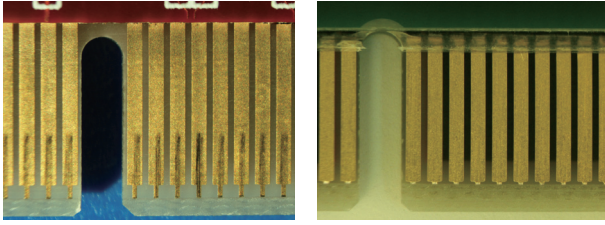


写真2 接着樹脂のはみ出し例 (右:NG)

### (3) 配線の信頼性確保と特性インピーダンス制御

段付き部は製造工程やお客様での使用環境により負荷がかかり断線が発生する可能性があったが、端子幅と同じ太さの線幅で配線を段差内まで行い強度を確保、断線の対策を行った。

また、特性インピーダンス制御の要求により太い線幅にできない場合、Pad On Hole (以下、POH) 構造にすることで内層での特性インピーダンス制御を行いつつ、配線引き出しを可能とした設計仕様とした (写真3)。

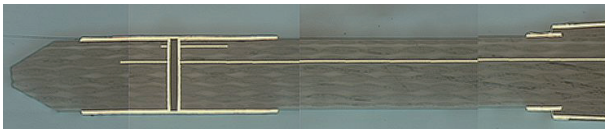


写真3 段付き部 POH 構造の断面構造

## 段付き構造プリント配線板の応用

段付き構造プリント配線板は、片側/両側の段付き構造が可能である。段付き構造を用いて以下のような仕様のプリント配線板を製作することが出来る。

### (1) 段付きプレスフィット

段差部は端子だけでなくスルーホールも設置することが可能である。高さ制限のあるプレスフィット構造に応用が可能である (写真4)。プレスフィットははんだを使わずにプレスでの一括圧入によりコネクタや部品をプリント配線板へ搭載する方法で、工程の簡素化を図ることが可能である。

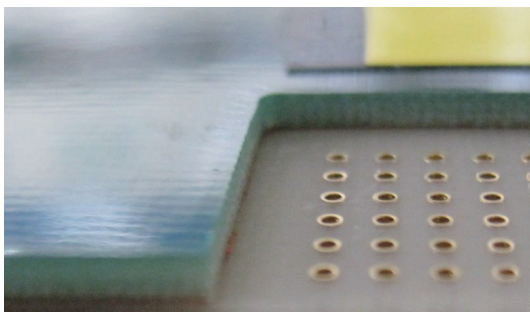


写真4 段付きプレスフィット構造

### (2) 放熱用厚銅/金属埋め込み構造

部品の高速化に伴い発熱量も増加傾向にあり、プリント配線板単体でも放熱性が重要となっている。多ピンBGAは組み込み装置に入ることが多く、放熱方法を考慮する必要がある。PCIe規格において段付き構造を利用することで、厚みのある放熱用金属を内層に設置しても板厚の制限なく配線層を増やすことが可能である。

また、比較的大きな電流を流す場合にも厚銅 (70 $\mu$ m以上) を内層に適用し電源層を強化しつつ配線層数を増やすことが可能である (写真5)。

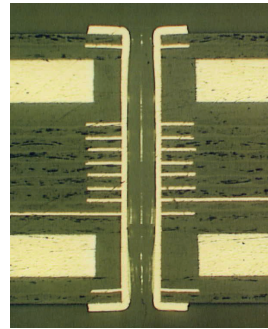


写真5 放熱金属内蔵プリント配線板

## 高周波対応プリント配線板の低コスト化

近年、プリント配線板材料は信号周波数の上昇による遅延の影響や伝送損失の影響を小さくする為、FR-4系 (エポキシ樹脂/ガラス繊維) から低誘電率/低誘電損失の樹脂系とガラス繊維で作られた材料 (低誘電率材) を適用する案件が多くなっている。尚、ハイエンド用途で最も低誘電率の材料はPolytetrafluoroethylene (以下PTFE) 系樹脂を適用した材料である (表1)。

表1 プリント配線板材料特性比較

材 料	Grade	特性 (周波数1GHz時)
一般材料	FR-4	比誘電率: 4.2 比誘電正接: 0.020
低誘電率材料	ミドルレンジ	比誘電率: 3.8 比誘電正接: 0.005
PTFE系材料	ハイエンド	比誘電率: 2.6 比誘電正接: 0.002

従来は、FR-4もしくはハイエンド材料の選択であったが、現在は、ミドルレンジ (比誘電率4.0以下) ~ハイエンド用途 (比誘電率3.5以下) まで幅広く材料の選択することが出来る。また、電気特性だけではなく鉛フリー対応 (IPC-TM-650によるT-288試験において60秒以上クリア) を謳う高い耐熱性や高熱伝導率 (1.0W/m $\cdot$ K以上) の特性も付加された材料も登場している。

いずれの材料は、素晴らしい特性を持っている一方で、コストがFR-4の二倍～数十倍高く、材料コストがそのまま製品の価格に反映されてしまう。また、低誘電率材を適用する場合において、特性重視の樹脂配合により多層化時の条件や熱膨張係数が一般的なFR-4と異なる点が多い。

本稿では、高周波対応プリント配線板について、より低コスト化を目指し、高速信号を重視する表面層のみに低誘電率材を用い、内層材を低コスト材とする複合構造を実現した技術開発について紹介する。

### 材料の複合構造における課題

異なる特性の材料を複合する場合、それぞれの材料特性の差異が大きくなると製品の信頼性が低下する可能性がある。材料の選定は、以下の特性が近い材料を選択することが望ましい。

- (A) 熱膨張係数
- (B) デスマリア性（穴加工面の表面処理性）
- (C) ガラス転移温度（Tg）

(A) の熱膨張係数については差異が大きい場合には異なる材料の境界に応力が溜まってしまう。弊社では、上記特性の近い材料を選択するだけでなく、事前に熱衝撃試験を行い規定のサイクル数をクリアできるかどうかの確認を行っている。

その結果をもとにお客様へ製品の信頼性を確保した上での低コスト化の提案を行っている。

参考として、限界試験を行った場合に複合構造は、同一材料の場合と比較して早い段階で抵抗値の上昇が見られた事例を示す（図1）。

#### 【参考】低誘電率材と高Tg材複合 熱衝撃試験

仕様：20層interstitial via hole  
（以下IVH）[10層+10層]  
板厚：3.2mm  
材料：低誘電率材 比誘電率3.7（1GHz）  
：高Tg材 比誘電率4.4（1GHz）  
前処理：ピーク温度255℃ リフロー3回  
試験条件：MIL-STD-202F  
（-65℃/30分⇄125℃/30分）

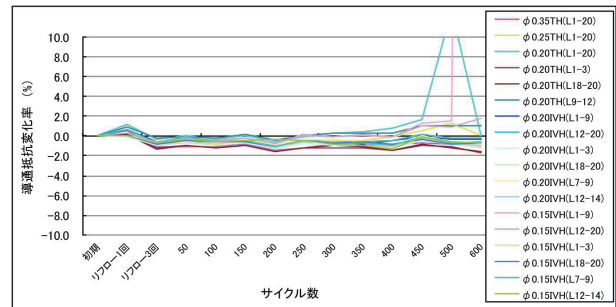


図1 複合仕様での限界熱衝撃試験結果

(B) のデスマリア性については、低誘電率材のデスマリア性が悪いことから通常の低コスト材（通常はFR-4）の条件よりも処理時間を長くする必要はある。また、低コスト材については過剰なデスマリア処理となってしまうため事前に問題がないかどうかを確認しておく必要がある。

ハイエンドの低誘電率材料としてPTFE系の材料があるが、PTFE系の材料は穴内へ銅めっきを析出させるため、特殊な薬液処理やプラズマ処理が必要であることにも注意が必要である。なお、弊社ではPTFE系材料の複合仕様についてはプラズマ処理と過マンガン酸系のデスマリア処理を併用して対応している（写真6）。

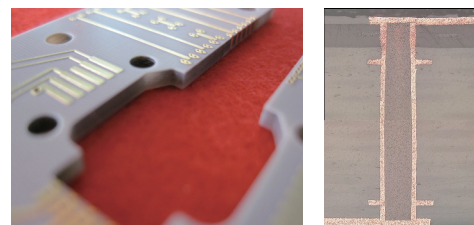


写真6 PTFE 複合プリント配線板と断面構造

(C) のガラス転移温度（Tg）については低誘電率材は一般的にガラス転移温度が高い、いわゆる高Tg材に区分されることが多い。よって、低コスト材についても高Tg材を選択することで実装時の熱膨張率の差による不具合が発生しないようにする必要はある。

弊社では、上記項目を踏まえ、産業用途で必須となる信頼性を確保しながらも、高機能プリント配線板の低コスト化要求に応えられるよう、製品開発に取り組んでいる。

### 低誘電率材の電気特性

低誘電率材は国内外の各メーカーが販売しているが、カタログに記載のある比誘電率の値はメーカー毎に測定環境が異なっているため、カタログ値だけでは材料の

優劣をつけることが難しい。弊社では測定環境を統一化するため、社内に測定環境を整備し材料の比較を実施している（図2、写真7）。その測定値を基に弊社で採用する基材の選定や、特性インピーダンス整合に必要な情報を集めている。

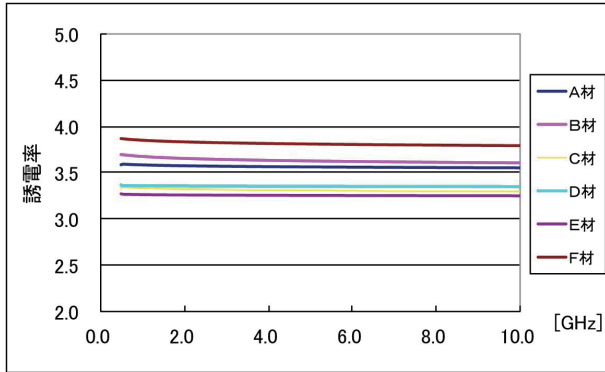


図2 各メーカー低誘電率材の誘電率実測値

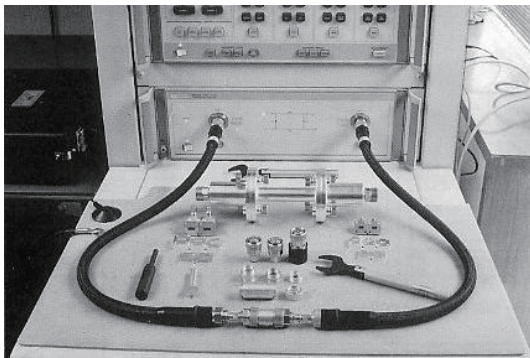


写真7 誘電率実測の測定環境

## あ と が き

プリント配線板業界は厳しいコスト競争により、人件費の安い海外に生産をシフトする動きが増えている。日本国内での製造を守るためには、今後も他社に真似できないような発想と技術を用いることでコスト競争に打ち勝つ必要がある。今後の業界の動きに着目しながら、新しい技術開発と新製品の創出を目指していく。 ◆◆

### ● 筆者紹介

豊倉康夫：Yasuo Toyokura. OKI田中サーキット株式会社  
技術本部 製品開発課 課長

須藤浩康：Hiroyasu Sudou. OKI田中サーキット株式会社  
技術本部 製品開発課

## TiPO 【基本用語解説】

### テンティング工法

パターン形成する部分を保護するためにレジストで覆う工法。

### プレスフィット

圧入加工。はんだを使わずにプレスでの一括圧入によりコネクタや部品をプリント配線板へ搭載する方法。

### FR-4

FRはflame retardantの略。FR-4は耐燃性ガラス基材エポキシ樹脂積層板を指す。

### デスマリア

穴あけの際に摩擦によって発生したスミアや残留樹脂を薬液等で除去する作業。