

5Gに向けたプリント配線板技術 ～高周波・高機能・高放熱対応化～

白幡 大樹

近年、移動通信システムの高速・大容量化が急速に進み、2020年以降に運用拡大する第5世代移動通信システム（5G）に向け、通信部品に求められる性能要求は大幅にアップしている。第4世代のLTE（Long Term Evolution）と比べ、最大通信速度が20倍、伝搬遅延時間が1/10以下、多数同時接続機器数が30倍程度になるためである。

OKIサーキットテクノロジー（以下、OTC）は、OKIグループEMS事業部の中でプリント配線板の設計・開発・製造を行っている会社である。OTCの主なお客様は、通信・計測機器分野であり、この分野では5Gに向けた開発スピードは日々加速している。

本稿では、5G向けプリント配線板の高速・高周波対応、高機能化及び高放熱対応の最新技術を紹介する。

プリント配線板の高速・高周波対応化

5Gの高速通信実現には、搭載されるデバイス特性への影響を最小限にすることがプリント配線板に求められる。そのための重要な技術として、伝送損失の低減がある。これは、プリント配線板の回路へ電気信号を流した際に入力に対する出力の減衰（損失）を低減する技術である。伝送損失には大きく二つの損失があり、一つは誘電体損、もう一つは導体損がある。前者の誘電体損は使用する材料の誘電特性（比誘電率、誘電正接）で決まる。誘電特性は材料の樹脂成分とガラス成分によって決まり、高特性を追及するのであれば材料選定がポイントとなる。

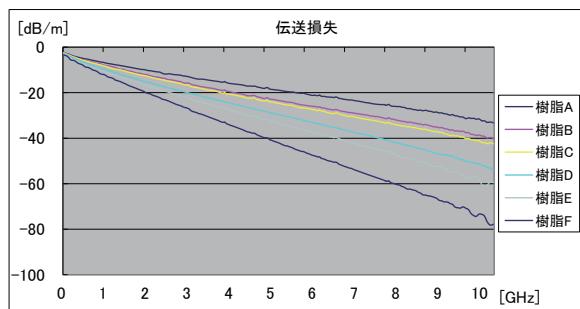


図1 樹脂成分別の伝送損失特性

図1は、OTCで扱う材料の中で、樹脂の誘電特性（比誘電率、誘電正接）が異なる低誘電材から一般材までの樹脂成分の違いによる種類別伝送損失特性を示す。この特性曲線の傾きが小さいほど伝送損失は少ないため、特性の優れた材料を選定する指標となる。

同様に、ガラス成分も誘電特性の違いによる伝送損失特性を図2に示す。

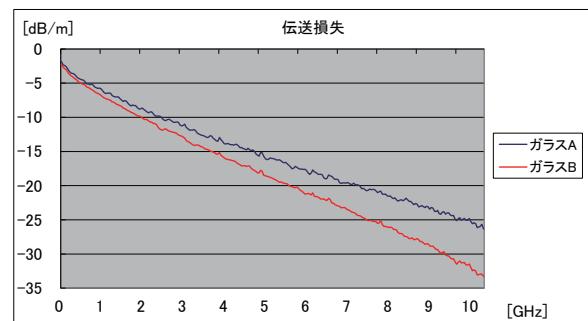


図2 ガラス成分違いの伝送損失特性

表面パターン及び内層パターンの導体損は、プリント配線板に使用される銅箔粗度の影響を受ける。銅箔粗度が異なる三つの種類別伝送損失特性を図3に示す。

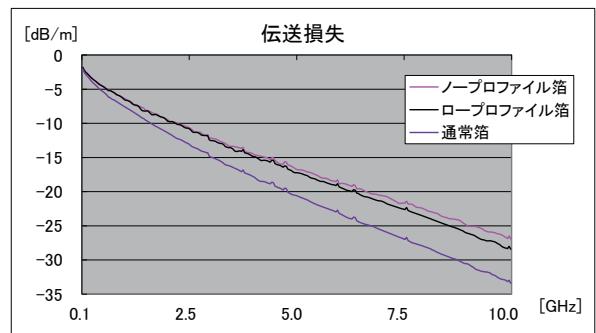


図3 銅箔種別の伝送損失特性

樹脂成分、ガラス成分、銅箔種は一般的に特性が良い物ほど高価であるため、製品コストとトレードオフの関係になり、顧客要求スペックに応じた選定が重要である。

さらに、表面パターンの導体損は、表面処理も影響する。プリント配線板の一般的な表面処理を表1に示す。

表1 プリント配線板の一般的な表面処理

表面処理	詳細
ソルダーコート	共晶はんだ Sn/Pb
	鉛フリーはんだ Sn/Ag/Cu
水溶性耐熱プリフラックス	防錆皮膜（銅上被膜厚0.15μm）
無電解フラッシュ金めっき	薄付け金めっき Ni:3.0/Au:0.03μm

ソルダーコートと水溶性耐熱プリフラックスは高周波特性及び以下の問題から採用はできない。

- ・ソルダーコート：高密度BGA部のはんだブリッジ。膜厚のばらつきが大きく、特性変化が大きい。
- ・プリフラックス：表面回路の経年劣化（酸化）。残る無電解フラッシュ金めっきを採用するケースが多いが、高周波になると下地のニッケル（以下、Ni）が伝送損失を悪化させる要因となっている。（Ni自体の電気抵抗が高い）この問題の解決策としてOTCでは大きく分けて二つの方法を提案する。

一つ目は、金めっき（以下、Au）の厚みを0.03μmから0.3μm以上へ厚くする方法である。金めっきを厚くすることで、高周波信号は表皮効果により導体表面を流れるため、Niの影響を回避可能である。

二つ目は、Niレスのめっき処理である。前者のAu厚を厚くする場合は、特性は向上するが、Auが厚い分コスト増となる。後者のNiレスは、従来の無電解フラッシュ金めっきと同等のコストで伝送損失の低減が可能となる。近年、薬品メーカーから高周波向けの表面処理液が開発されたため、処理別で評価基板を作成し、特性評価を実施した。図4に表面処理別での伝送損失特性を示す。結果として、Niレスは10GHzを超える帯域でも厚付けAuと同等の伝送損失低減が可能である。

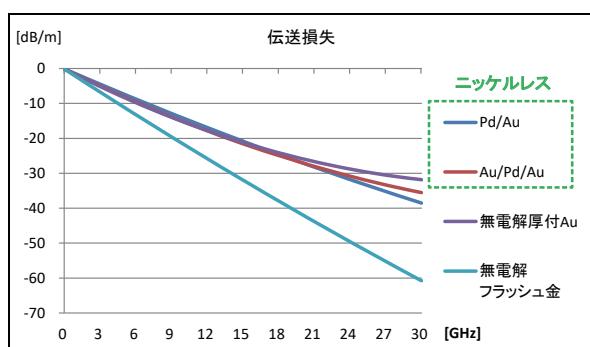


図4 表面処理別の伝送損失特性

表面処理は、部品実装後のはんだボール接着強度にも影響するため、はんだボールプル強度を評価した。図5が評価パターンである。

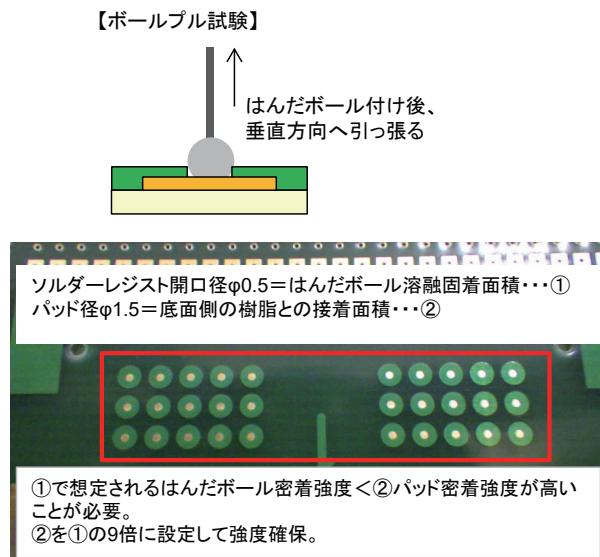


図5 はんだボールプル強度評価パターン

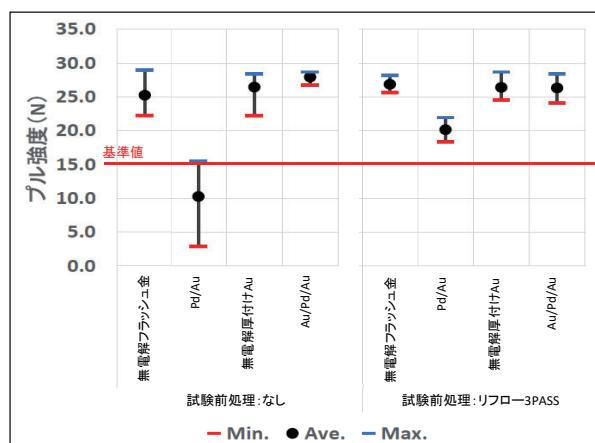


図6 はんだボールプル強度測定

図6の結果より、試験前処理無しで、パラジウム金めっき（以下、Pd/Au）が基準以下となった。リフロー加熱3回処理後の評価ではいずれも問題ないことを確認した。Pd/Auの強度不足は、追加検証中である。

以上のような材料と表面処理の組合せで、5Gなどの高周波用途に対応するプリント配線板の仕様を選定する必要がある。

フレックスリジッドプリント配線板の高機能化

OTCでは通常のプリント配線板のほかに、一部分に折曲げ可能な柔軟性をもつフレックスリジッドプリント配線板（以下、FR基板）も製造している。

一般に、折曲げ可能部分には機械強度、寸法安定性に優れたポリイミドのフレキシブルプリント配線板用材料（以下、フレキ材）を使用するが、伝送損失が大きいため、高周波伝送に向かない。改善策として、低誘電材である液晶ポリマー（以下、LCP）を採用することでフレキシブル部分の伝送損失低減が可能である。

LCPは単独材料でも穴あけ加工後の固着樹脂除去や銅めっき析出など、条件設定が難しいが、リジッド材と一体となった複合状態での加工は更に難易度が増す。OTCでは加工条件最適化を図り、高信頼性も確保した低誘電材FR基板の提供が可能である。図7にLCPとポリイミドのフレキ材の伝送損失特性を示す。

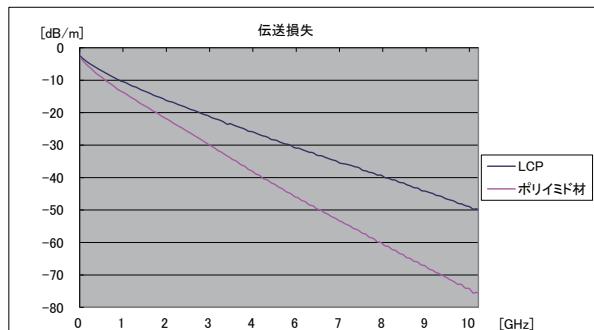


図7 フレキ材別の伝送損失特性

5Gでは、多数同時接続機器数の増加にも対応が必要である。同時接続数増加により、プリント配線板の回路も複雑化され、搭載される部品点数も増加し、部品との接続のためのパターン配線数も増加する。その際、FR基板でフレキ材1枚のみの場合、配線数が制限されるため設計が困難になる。OTCでは、フレキ材を最大7枚までもつFR基板を製造可能とした。これにより、フレキシブルな部分を経由する配線数を格段に増加可能である。図8は、多層FR基板の断面構造イメージである。

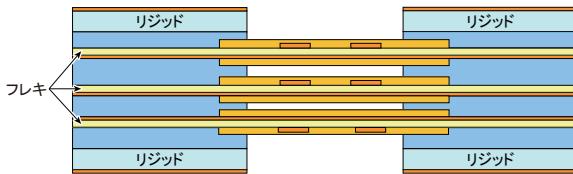


図8 多層FR基板断面構造イメージ

高放熱性への対応

5Gでは、高速処理による搭載部品自体の温度上昇や、それらが多数配置されることで、プリント配線板放熱性への要求が高まっている。OTCでは、放熱対策として、スルーホール内に円柱状の銅を埋め込む「銅コイン基板」の技術確立をしているが、従来はリジッド基板への対応のみであった。しかし、FR基板化やフレキ材の枚数増加の要求もあり、それらと複合した技術「銅コイン入り多層FR基板」も開発した。写真1は、フレキ材2枚の銅コイン入り多層FR基板である。

銅コインと一般構造のスルーホールを比べると、放熱性は約15倍から20倍、銅コインの方が優れる。

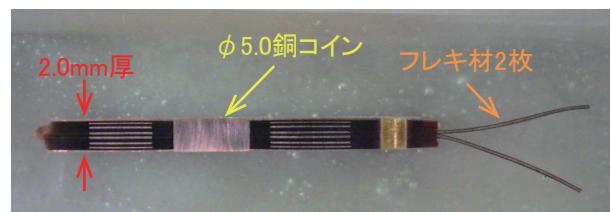


写真1 銅コイン入り多層FR基板断面

今後の技術動向

今後、2021年へ向けた技術は、特徴的な仕様を複数組み込んだ複合技術プリント配線板に加え、特性要求を満たす開発技術が求められる。また、高周波部品（特に光部品）の高密度化が進む。市場要求へ追従していくためにお客様の製品動向を収集し、新たな設備投資の検討も視野に入れて開発を進めいく必要がある。図9にOTC技術開発ロードマップを示す。

動向	～2016		～2020		～2025	
	年表	五輪（リオ）	年号改正（平成⇒令和）	IoT整備、ICTとAI開発	東京五輪・大阪万博2025へ自動運転、ロボット実用化	5G/10Gbps … 1Tbps
固有の仕様要求				複合技術の要求	複合技術+特性要求	複合技術+特性要求
高速・高周波 高密度 放熱 大電流 コネクタレス	低誘電材 ビルト化 銅コイン メタルコア 厚鋼箔 F/R	3.0~4.0 φ3.0~6.0 500μm F2~6層	低誘電材 ビルト化 銅コイン メタルコア 厚鋼箔 F/R	低誘電材 複合技術 配線板開発 厚鋼箔 F/R	低誘電材 銅コイン メタルコア F/R	高付加価値品の提供 ・低誘電+銅コイン⇒通信 ・低誘電+ビルト+厚鋼⇒高速通信 ・低誘電+厚鋼⇒車載 ・低誘電+メタルコア⇒航空宇宙 ・F/R+銅コイン⇒航空宇宙 ・F/R+ビルト⇒小型高機能装置

図9 OTC技術開発ロードマップ

あとがき

日本国内ではプリント配線板のコスト競争が激化し、大手企業のM&Aや生産拠点の海外シフト、海外メーカーへの製造移行が進んでいる。一方情報処理端末の機能性能を支える電子部品は加速的に進化し、実装するプリント配線板への要求仕様は厳しくなっている。OTCは本稿で紹

介した技術に限らず、新たな付加価値を実現するために、新しい発想と新しい技術を用いた、海外メーカーが真似できない製品開発にチャレンジしている。今後の業界の動きに着目しながら、次世代プリント配線板の創出を目指す。

●筆者紹介

白幡大樹:Daiki Shirahata. OKIサーキットテクノロジー
株式会社 技術本部 技術開発部

TIPS【基本用語解説】

5G／4G
第五世代／第四世代移動通信システムの略。

プリント配線板
電気回路の配線を絶縁体からなる板の表面や内部にプリントした基板のこと、部品を装着する前の状態の生板を指す。

比誘電率
誘電体に電界を加えたとき、誘電体内の電束の発生する程度を表す値。

誘電正接
誘電体に正弦波を印加したとき、キャパシタンスに流れる電流は電圧に対して90°進んだものとなるが抵抗が入ると90°からδ°の遅れを生じる。これをtanδで表した値をいう。

パターン
プリント配線板の回路。

表皮効果
交流電流が導体を流れるとき、電流密度が導体の表面で高く、表面から離れると低くなる現象のことである。

はんだボールプル強度試験
引っ張るために付けた棒状のプローブ付きはんだボールをプリント配線板のパッド表面に溶融固定し、ボールが引き剥がされるまで引っ張り、破壊強度や破壊モードを解析する試験。

リフロー(英:Reflow)
リフローはんだ付けを略した言い方で、プリント配線板に電子部品を実装する際、あらかじめペースト状のはんだを基板上に塗布し、部品を設置したのちに炉で加熱して接合すること。

ポリイミド
イミド結合を含む高分子化合物の総称。

リジッド材
柔軟性を持つフレキ材に対し、ガラスエポキシなどの硬い材質の総称。

液晶ポリマー(LCP)(英:Liquid Crystal Polymer)
溶融時に液晶性を示す熱可塑性樹脂の総称。