

5G向けプリント配線板に求められる 材料分析・評価技術

マテリアル事業部 岡林 真義

1 はじめに

5G（第5世代移動通信システム）は4Gに代わる新しい通信規格・通信技術です。世界各国の標準化団体が参加する3GPP（Third Generation Partnership Project）を通じて国際標準仕様の策定が進み、商用サービスが開始されています。5Gは「超高速」、「超低遅延」、「多数同時接続」という3つの特徴を合わせて実現することで、あらゆるモノがインターネットにつながるIoT（Internet of Things）の基盤となることが期待されています。

5G通信にはミリ波帯が利用されるため、新たな技術的課題を解決する必要があります。本報では、5Gで使用される電子機器のうち重要な構成部品であるプリント配線板材料の開発課題における分析技術、および基板樹脂の誘電特性に対する化学構造と吸水率の関係性について、実際の分析事例を用いて紹介します。

2 5G向けプリント配線板の特徴

信号の伝播速度 V (cm/msec) および伝送損失 PI (db/cm) はそれぞれ以下の式で表されます。

$$V=C/\sqrt{\epsilon} \quad (C: \text{光速}, \epsilon: \text{比誘電率})$$

$$PI=k \times f \times \tan \delta$$

(k : 比例定数, f : 周波数, $\tan \delta$: 誘電正接)

上2式により、周波数の高いミリ波帯では基材の伝送損失が大きな問題となります¹⁾。信号を高速化するために、プリント

配線板の材料特性として低誘電率、低誘電正接がこれまで以上に求められます。

3 プリント配線板材料の開発課題と評価項目および分析技術

プリント配線板は、基材樹脂、添加剤、銅箔、接着剤で構成されます（図1）。4Gまでは基材樹脂と銅箔間の物理的なアンカー効果によって密着性を上げていましたが、5Gなどのミリ波帯では表皮効果の影響が無視できないため、低粗度の銅箔が使用されます。した

がって、基材樹脂と銅箔の界面にはアンカー効果に加えて密着性を上げるためのさらなる工夫が必要となります。プリント配線板材料の開発課題、その評価項目および分析技術について表1に示します。基材樹脂は低誘電特性だけでなく、超高速化・集積化による端末の発熱量が増大するため、高放熱性も同時に満たすことが重要となります。当社ではプリント配線板材料の開発課題に幅広く対応することが可能です。

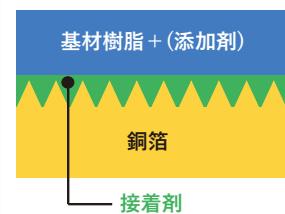


図1 プリント配線板の断面概要図

4 ポリイミド樹脂の分析事例： 誘電特性と化学構造、吸水率

2種類のポリイミドを用いて誘電特性と化学構造および吸水率の関係性を評価しました。ポリイミド①とポリイミド②の超臨界メタノール分解GC-MSクロマトグラム、およびポリイミド②の固体¹³C-NMRスペクトルを図2に示します。図2-1において、ピロメリット酸（テトラメチル化体）および4,4'-ジアミノジフェニルエーテル（テトラメチル化体）が検出されたことから、ポリイミド①の化学構造は4,4'-ジアミノジフェニルエーテル・無水ピロメリット酸重縮合物であることが推定されました。同様に、図2-2の結果から、ポリイミド②はポリイミド①の物質に加え、4,4'-ビス（3-アミノフェノキシ）ビフェニル・無水ピロメリット酸重縮合物も含まれていることが推定されました。図2-3に示す固体¹³C-NMRで検出されたシグナルの積分強度比からモル比を算出すると、4,4'-ビス（3-アミノフェノキシ）ビフェニル・無水ピロメリット酸重縮合物：4,4'-ジアミノジフェニルエーテル・無水ピロメリット酸重縮合物のユニット

表1 プリント配線板の各材料の開発課題、その評価項目および分析技術について

開発課題	背景	評価項目	分析法	
基材樹脂+添加剤	低誘電特性	誘電率が信号伝播速度に影響 低誘電率化の為の分極率の小さな原子団の導入等 低誘電正接化の為の無極性化等	誘電率測定 化学構造	円筒空洞共振器法、平衡型円板共振器法 超臨界メタノール分解 GC-MS、 超臨界メタノール分解 LC-MS、 熱分解 GC-MS、固体 ¹³ C NMR、FT-IR
	低吸水率	吸水率が誘電特性に影響	吸水率測定	重複法 (JIS C 6481), 加熱気化カールフィッシャー法
	低熱膨張率	多層化の為の低熱膨張率化	熱膨張率測定	高感度 TMA
	極性基の運動抑制	分子運動性が誘電損失に影響	分子運動性	パルス NMR
	表面粗さ	表面粗さが信号伝播速度および伝送損失に影響	粗さ	触針式表面粗さ測定機、共焦点顕微鏡
	低誘電特性	誘電率が信号伝播速度に影響	誘電率測定	円筒空洞共振器法、平衡型円板共振器法
		低誘電フィラーの分散が基材樹脂の誘電率に影響	粒度分布 (粒子径)	レーザー回折法、断面 SEM、 画像式粒度分布
		低誘電フィラーの含有量が誘電特性に影響	含有量	ICP-AES, ICP-MS
	樹脂とフィラーの分散性	樹脂と添加剤のなじみ具合が樹脂加工精度に影響	相溶性	ハンセン溶解度パラメータ
		添加剤の分散性が誘電特性に影響	分散性	超音波スペクトロスコピー、 パルス NMR、遠心沈降、レオメータ
銅箔	高熱伝導率化	低誘電フィラーの分散が基材樹脂の放熱性に影響	粒度分布 (粒子径)	レーザー回折法、断面 SEM、 画像式粒度分布
	低粗度	表皮効果に対する表面粗さの低減	表面観察 比表面積	レーザー顕微鏡、SEM、共焦点顕微鏡 ガス吸着法
	低誘電特性	表皮効果に対する低誘電特性化	誘電率測定	円筒空洞共振器法、平衡型円板共振器法
接着剤	密着性	銅箔表面の粗さ低減が密着性に影響	密着性評価	ピール試験、遠心剥離試験
		表面処理が密着性に影響	表面分析	XPS, TOF-SIMS など
界面	密着性	表面処理が密着性に影響	表面観察	SEM, TEM など

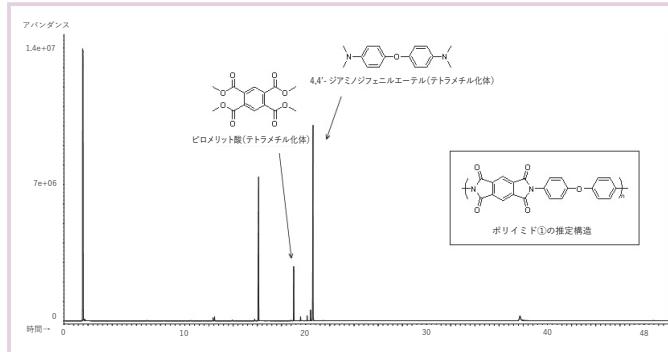


図2-1 ポリイミド①の超臨界メタノール分解GC-MSクロマトグラム

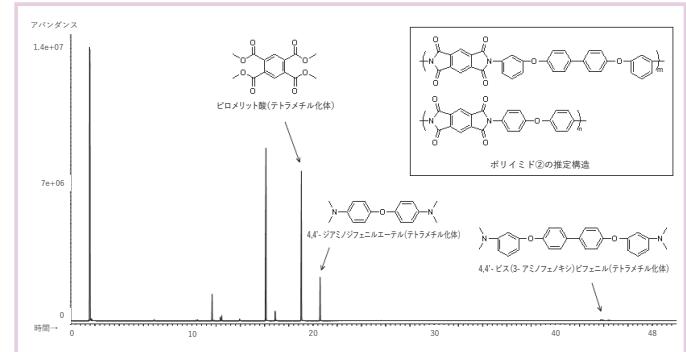


図2-2 ポリイミド②の超臨界メタノール分解GC-MSクロマトグラム

モル比は11:1であることが推定されました。推定した化学構造の結果からポリイミド①およびポリイミド②のイミド基含有率を算出した結果を表2に示します。

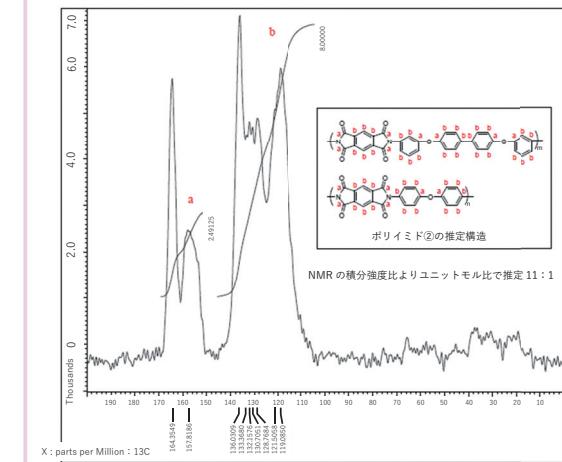
ポリイミドの吸水率を下げるため、極性基を含まない分子量の大きなモノマーを用いて、分極率の高いイミド基の含有率を低下させる方法があります²⁾。一般的なポリイミドは吸湿性が高く、乾燥時には低誘電特性だが加熱・加湿条件で吸湿させた場合、誘電特性が大幅に増加することが知られています³⁾。これは、20GHz付近では水による吸収が大きいため、基材樹脂の吸湿が損失係数に与える影響が大きくなるためと考えられております。当社評価でも、誘電特性、吸水率ともポリイミド②の方がポリイミド①よりも低いという結果が得られました。このことは、推定化学構造から算出したイミド基含有率において、ポリイミド②の方が低い傾向と一致しました。

5 おわりに

5G向けプリント配線板の低伝送損失化のためには、基材樹脂、添加剤、銅箔、接着剤、界面の課題を解決する必要があります。また、低誘電特性を持つ基板樹脂開発のためには、低吸水率や化学構造との関係を把握する事も重要となります。当社では誘電特性の評価だけでなく、化学構造解析技術をはじめとする幅広い分析・評価技術で材料開発を支援いたします。

表2 2種類のポリイミドの誘電特性と化学構造および吸水率の関係

評価項目	手法	ポリイミド①	ポリイミド②
物性測定	比誘電率 誘電正接 ASTM D 2520 (JIS C 2565)	3.33 ± 0.02 0.0256 ± 0.0003	2.96 ± 0.01 0.097 ± 0.0002
	吸水率 プリント配線板用銅張積層板試験方法 JIS C 6481	2.50 %	1.40 %
化学構造解析	化学構造 超臨界メタノール分解 GC-MS 超臨界メタノール分解 LC-MS 熱分解 GC-MS 固体 ¹³ C-NMR FT-IR	4,4'-ジアミノジフェニルエーテル・ 無水ビロメリット酸重結合物 	ビロメリット酸 4,4'-ビス(3-アミノフェノキシ)ビフェニル系ポリイミド
		4,4'-ジアミノジフェニルエーテル・ 無水ビロメリット酸重結合物 	4,4'-ジアミノジフェニルエーテル・ 無水ビロメリット酸重結合物
イミド基含有率	(推定化学構造から算出)	36.6 wt%	26.4 wt%

図2-3 ポリイミド②の固体¹³C-NMRスペクトル

文 献

- 渡辺充広、杉本将治、本間英夫：表面技術，58, 774 (2007).
https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfi/58/12/58_12_774/_pdf
- 長谷川匡俊：エレクトロニクス実装学会誌 16, 399 (2013).
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jeip/16/5/16_399/_pdf/-char/ja
- 福永香、倉橋真司：第21回エレクトロニクス実装学会講演大会論文集, p.85 (2007).
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ejisso/21/0/21_0_85/_pdf



岡林 真義
(おかばやし まさのり)
マテリアル事業部