

低伝送損失基板を実現する 低誘電・高接着ポリイミド樹脂「PIAD」

本論文は JPCA Show 2016 (第46回 国際電子回路産業展) の「JPCA Show AWARDS 2016」を受賞しました。

研究開発本部
コーポレート開発部 田崎 崇司



1 はじめに

近年の無線通信技術の発展は著しく、今後は人同士からM2M、IoTと称される機械やモノ同士の通信が本格的に展開されることが予想される。次世代規格である5Gでは想定される膨大なトラフィックを処理する為、6GHz以上の高周波数帯の利用が考えられている。また自動車用途でも、車載レーダシステムとして、60/76GHz帯レーダの利用が進んでいる。

いずれの用途でもGHz帯の高周波信号を用いる事は前提であり、デバイスの構成要素の一つであるプリント配線基板(PCB)においても高周波信号対応が求められる。極言すると、PCBにおける高周波対策とは、伝送損失への対策と同義といってもよい。

伝送損失は、PCBを構成する導体(銅

回路)由来の導体損失と、誘電体(絶縁材料)由来の誘電体損失からなる。

前者は、特に伝送信号の高周波化が進むと、表皮効果という現象が主な原因となる。その主な対策としては、導体である銅表面を平滑化することだが、絶縁材料との接着性不足を招く。

後者は絶縁材料の誘電率、誘電正接に依存する。従って低誘電特性の材料を用いる事が対策となるが、接着性、耐熱性などの他物性が犠牲になりやすい。

従って伝送損失改善の為、平滑銅への高接着性と低誘電特性を並立する材料が今後一層求められると考えられる。当社が開発した溶剤可溶性ポリイミド樹脂溶液「PIAD」は、この要求に応えるべく、開発されたものである。

2 設計方針

PCBに使用される接着剤などの熱硬化系絶縁材料は、パッケージ基板、メインボード、フレキシブルプリント基板(FPC)などの用途によって比率の違いはあるが、大まかに①架橋成分、②フィラー、そして③ポリマーに分けられる。これらのなかでも、③には、耐熱性、接着性、加工性(溶剤可溶性、熱軟化性)などが求められ、NBR、アクリル、ウレタンなどが使用されてきた。しかしながら上記物性を満たした上で低誘電特性を付与させることは一般的に困難である。従って現状、高周波用途のPCB材料に使用される③ポリマーとして、最適な材料が見つからないのが現状である。

そこで当社は、従来の③ではあまり一般的では無い、ポリイミド骨格に着目した。ポリイミドは極めて優れた熱的、機械的、化学的性質を示し、金属との接着性も良好であり、フィルムとしてFPC回路材に使用される。

しかしポリイミドは一般的にイミド基由来の強い凝集力と配向性を有することから、

前駆体(ポリアミック酸溶液)を300℃以上で高温焼成する工程が必要である。また基本的に焼成後は加工性を有しない。

加工性(熱可塑性、溶剤可溶性)付与のためには、嵩高い、または柔軟なモノマーを利用し、凝集力と配向性を抑制する必要がある。

一方、低誘電化のためには、Clausius-mosotti式よりモノマー極性を下げる、自由体積を大きくする、という方針が考えられる。これらの方針は、原理的には加工性改善と基本的に同じと言える。但し、単純に上記方針に則しても、耐熱性、接着性などの従来物性とトレードオフになりやすい。

当社は、芳香族、脂肪族、脂環族系モノマーの比率を最適化することで、高耐熱、低誘電特性、加工性、接着性などを並立できるポリイミド構造を見出し、溶剤可溶性ポリイミド樹脂溶液、製品名「PIAD」を開発、上市するに至った。図-1に、当材料のポリマー構造の概要を示す。

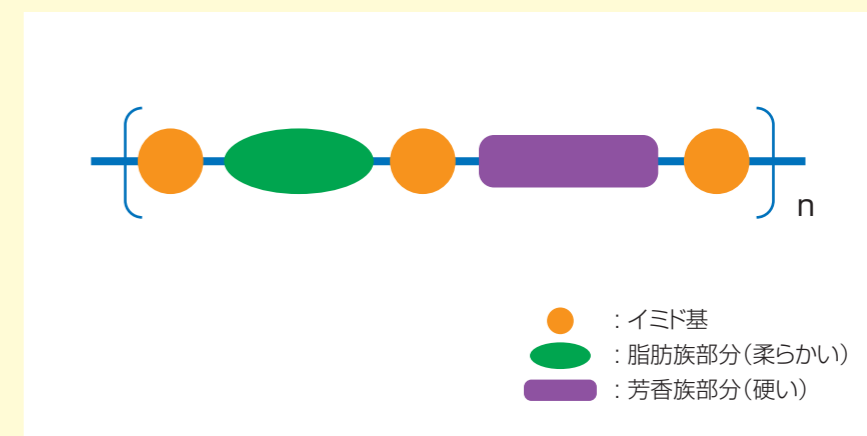


図-1 「PIAD」ポリマー構造概要

低伝送損失基板を実現する 低誘電・高接着ポリイミド樹脂 「PIAD」

研究開発本部
コーポレート開発部
田崎 崇司

3 特徴と仕様

図-2は当製品の外観を示している。当樹脂溶液は一般的なポリイミドと異なり、イミド基が形成された状態で溶液化されているため、安定性に優れ、室温でも1年以上保管可能である。また高温焼成が不要で、かつNMP、DMAcなどの乾燥が困難な溶剤ではなく、トルエン、シクロヘキサノン、酢酸ブチルなどの比較的低温の溶剤に可溶であるため、一般的なPCB材料の溶剤乾燥プロセスに適している。

当材料の代表グレードの1つの溶剤乾燥後における固体外観を図-3に、その諸物性を表-1に示す。



図-2 「PIAD」製品外観 図-3 「PIAD」固形状態

試験項目	単位	数値	備考
最大点応力	MPa	6.91	ASTM D882-97 IPC-TM-650 m2.4.19
破断点伸度	% GL	100 <	
弾性率	GPa	0.136	
吸水率	%	0.60	25℃ × 24h
比誘電率(10GHz)	-	2.50	ASTM D2520
誘電正接(10GHz)	-	0.0017	
重量減少温度	1%	330	TG/DTA
	5%	440	
	10%	455	
軟化点	℃	80	当社レオメーター測定結果より
絶縁破壊電圧	KV / mm	47	JIS C2110:1994

表-1 代表グレード物性一覧

固形状態の外観、弾性率(0.136GPa)、破断点伸度(100%GL<)からも、柔軟性、延性に富むポリマーである事がわかる。一方、ポリイミド基を有するため、1%熱分解温度が300℃以上と高く、耐熱性に優れ、鉛フリーはんだのリフロープロセス(288℃)にも対応する。低誘電率、低誘電特性を有し、液晶ポリマー(LCP)より低い誘電率(約2.5)、ほぼ同等の誘電正接(約0.002)を発現している。また吸水率も0.6%と、従来のポリイミド(1%以上)よりも低い数値を示している。今回物性を

示したグレードの軟化点は80℃であり、PCBの熱硬化性材料の一般的なプレス、ラミネート温度(<200℃)に十分対応可能である。また当材料の軟化点は、モノマー組成の変更などにより、60-140℃付近まで制御可能である。

当材料は高周波基板向け接着剤用途の素材(前述のカテゴリでは③ポリマーに該当)として使用できる。またその際、モノマー組成の異なる複数のグレードを混合することで、接着剤としての接着性、耐熱性を向上させることができる。

4 用途

まず具体例として、カバーレイとしての使用例を示す。

(1) 使用例 1(カバーレイ)

図-4で示される組成で、接着剤液を調製した。「PIAD」については、耐熱性、接着性が向上することから、あるグレード2種の混合という形をとった。架橋成分としては、エポキシ系化合物と硬化剤、難燃剤としては、リン系難燃剤を使用した。溶剤は、アノン、トルエン、メチルエチルケトンなどを所定の比率で混合し、

固形分約30wt%の接着剤液を調製した。当接着剤液を用いポリイミドフィルムに塗工、乾燥(150℃×5min)し、カバーレイフィルムを作製、電解銅箔鏡面側に熱プレスで硬化させ(170℃×30min)、評価用サンプルを作製した。図-5にサンプル構造を示す。

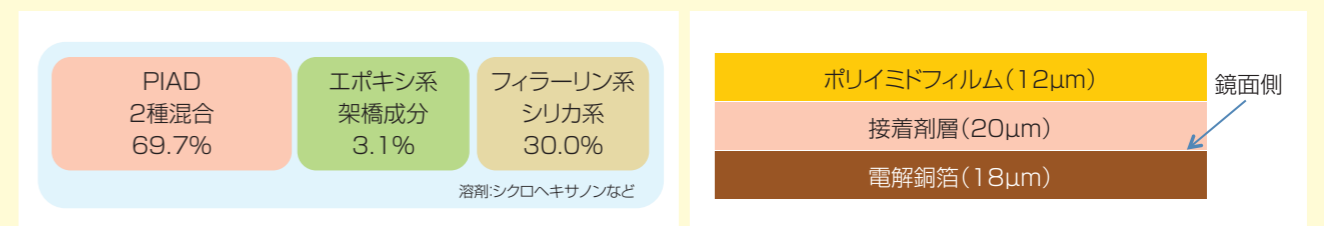


図-4 カバーレイ用接着剤組成

図-5 カバーレイ評価用サンプル構造

上記積層体の諸物性測定結果を表-2に示す。ピール強度は銅箔の平滑面に対して1.0N/mmと、実用レベルの強度が確認できている。また難燃性V-0相当、300℃ではんだ耐熱性も確保し

ており、カバーレイとして問題ない物性である。誘電率(2.6)、誘電正接(約0.004)については、樹脂単体よりは劣るものの、FPC用接着剤としては十分に低い値を示している。

項目	単位	数値
ピール強度 (90°、50mm / min)	N / mm	1.0
難燃性	-	V-0相当
はんだ耐熱 (288℃ × 3min)	-	はんだ浴フロートで 発泡、膨れ無し
接着剤誘電率(10GHz)	-	2.60
接着剤誘電正接(10GHz)	-	0.0038

表-2 カバーレイ試験評価結果

以上の結果から、当材料を用いることで低誘電特性、平滑金属への高接着性、はんだ耐熱性を並立させたカバーレイを製造可能であることが示された。実際に、昨年以降、低誘電カバーレイ、ボンディングシート用素材として採用実績が出てきている。

さらに当樹脂はカバーレイ、ボンディングシートだけでなく、平滑金属への接着性と、低誘電特性が必要な用途に有用だと考えられる。そこで銅箔プライマー、あるいはFCCL用接着剤としての用途を想定した伝送損失評価を行った。

低伝送損失基板を実現する 低誘電・高接着ポリイミド樹脂 「PIAD」

研究開発本部
コーポレート開発部
田崎 崇司

(2) 使用例 2 (FCCL用接着剤/銅箔プライマー)

図-6で示される組成で、接着剤液を調製した。当材料については、架橋成分との相溶性、耐熱性、接着性向上を意図して、3種のグレードを混合という形をとった。架橋成分としては、多官能エポキシ樹脂とフェノール系硬化剤の組み合わせを用いた。溶剤、固形分(約30wt%)

は(1)使用例 1 に合わせた。

当接着剤液、ポリイミドフィルム(カプトンEN、膜厚25 μ m、東レ・デュポン(株)製)、圧延銅箔(GHF5、Rz:0.45 μ m、JX金属(株))を用いて、図-7に示される両面FCCLを作製した。

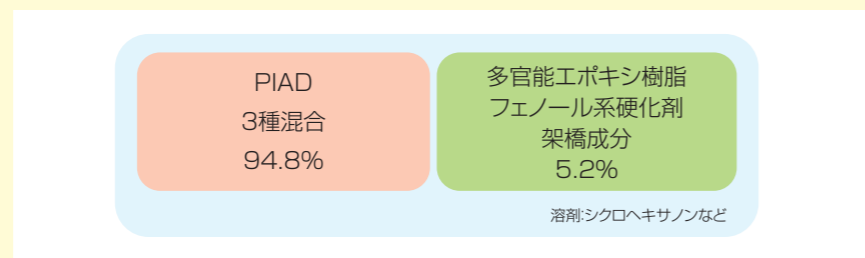


図-6 FCCL用接着剤液組成

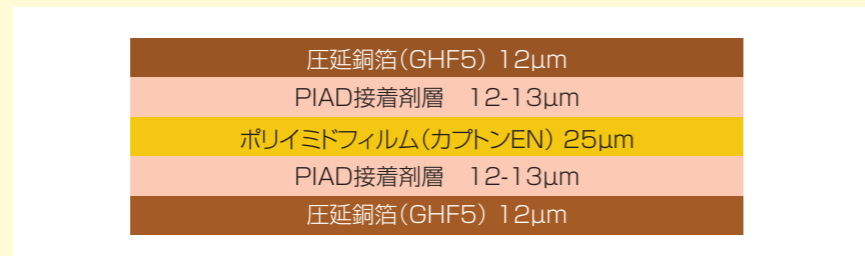


図-7 FCCL評価用サンプル構造

このFCCLの諸物性測定結果を表-3に示す。当接着剤層はRz=0.45 μ mと粗度が非常に小さい圧延銅箔に対する高接着性(0.8N/mm)、低誘電率(2.5)、

低誘電正接(0.0030)、はんだ耐熱性(288 $^{\circ}$ C)をいずれも並立していることが確認された。

項目	単位	数値
ピール強度 (90 $^{\circ}$ 、50mm/min)	N/mm	0.8
はんだ耐熱 (288 $^{\circ}$ C \times 3min)	-	はんだ浴フロートで 発泡、膨れ無し
接着剤誘電率(10GHz)	-	2.50
接着剤誘電正接(10GHz)	-	0.0030

表-3 FCCL試験評価結果

得られた図-7の構造の両面FCCLと、参照として市販の一般ポリイミド(TPI使用)タイプ、及び液晶ポリマー(LCP)タイプの両面FCCLを用いて、それぞれの幅約100 μ m、伝送路長10cm、絶縁層

全体の厚みを総厚50 μ m、インピーダンスを50 Ω に合わせたマイクロストリップラインを形成した。各サンプルの構造を図-8に示す。

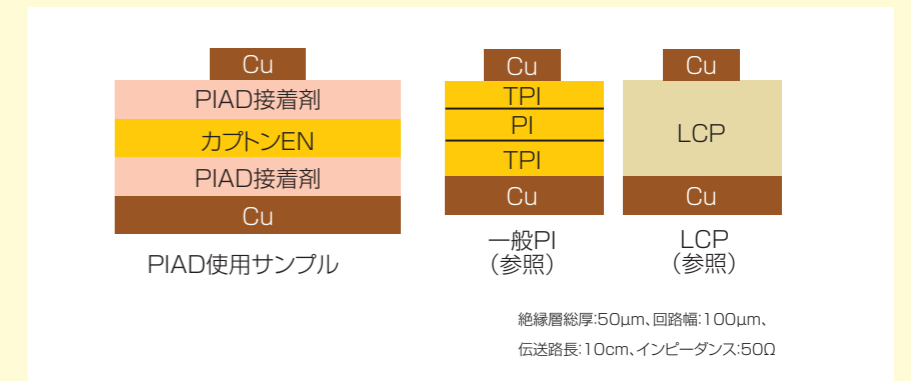


図-8 回路評価用サンプル構造

上記に記載した回路評価用サンプルを用いて、ネットワークアナライザにより伝送損失(挿入損失、S21)の周波数依存性を測定した。測定結果を図-9に示す。

結果、PIAD使用サンプルは、伝送損失抑制という面で、一般PI品より優れ、<20GHzであれば、LCP品と遜色無いことが確認された。

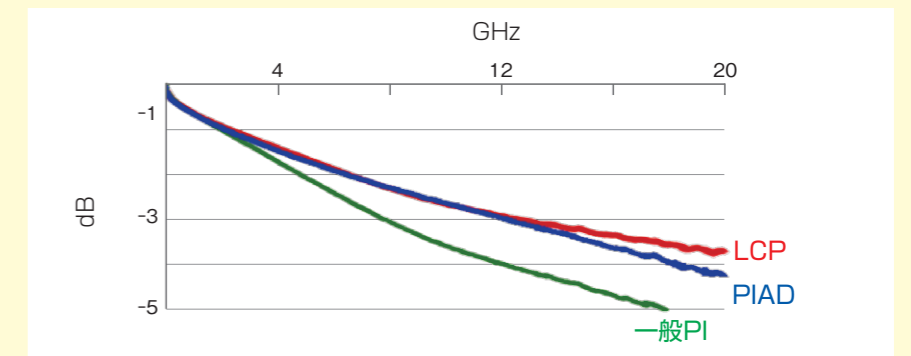


図-9 伝送損失(挿入損失、S21)評価結果

この結果は、低粗度銅箔と、低誘電特性と平滑銅への高接着性を兼ね備えるPIAD接着剤(プライマー)を使用すれば、通常のポリイミドフィルムをコアに使用したとしても、LCP並みの低伝送損失基板を製造可能であることを示唆している。もし実現すれば、一般のFPC加工プロセスが使用可能であるため、コスト面、

供給面で大きなメリットが期待できる。さらに、今回使用したPIAD接着剤の誘電正接は約0.003であり、LCP(約0.002)よりも大きい。現在10GHzの誘電正接が0.002以下のPIAD接着剤組成を開発中であり、当接着剤組成を使用すれば、更なる伝送損失抑制が期待できる。

低伝送損失基板を実現する 低誘電・高接着ポリイミド樹脂 「PIAD」

研究開発本部
コーポレート開発部
田崎 崇司

(3) 使用例3 (リジッド基板用銅箔プライマー)

また当接着剤組成は、FPC向けに限らず、メインボード、パッケージ基板の低伝送損失特性実現に寄与すると考えられる。これらの用途では、導体損失低減を目的として、ロープロファイル ($R_z < 1.0 \mu\text{m}$) またはプロファイルフリー銅箔のような、平滑銅箔の適用が求められつつある。一方プリプレグには誘電体損失低減のため、低誘電特性が要求され、ポリフェニレンエーテルなどの非極性構造の適用した低誘電プリプレグの開発が進められて

いる。しかしながら低誘電プリプレグはその非極性構造ゆえに、平滑銅箔との間で高接着性を発現させることが困難になりつつある。

PIAD使用接着剤組成は、低誘電特性、高耐熱性に加え、平滑銅箔及び低誘電プリプレグとの接着性に優れており、高周波用途向け用銅箔プライマー及び樹脂付き銅箔にも有用と考えられる(図-10 参照)。

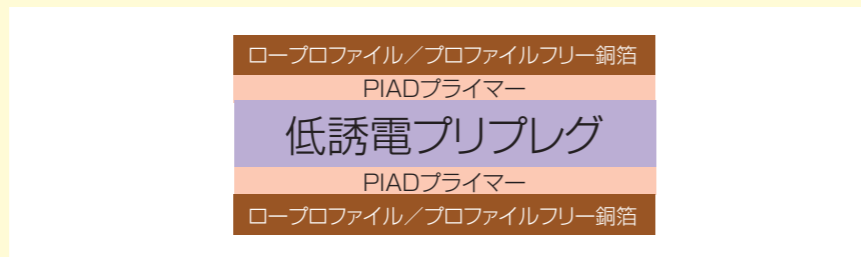


図-10 リジッド基板用銅箔プライマー使用イメージ

5 まとめ

当社は独自のポリマー技術を駆使し、低誘電、高耐熱、高接着性を有する溶剤可溶性ポリイミド樹脂溶液「PIAD」を開発した。当材料は、架橋成分、フィラーなどを組み合わせることで、PCB向け低誘電接着剤として有用である。また

低誘電特性に加え、平滑銅箔との接着性にも優れていることから、銅箔用接着剤/プライマーとして用いることで、低コストかつ低伝送損失に優れた高周波基板を実現することが可能と考える。