

●低誘電性接着フィルム「アロンマイテイ®AF-700」シリーズ

Low dielectric adhesive film 「Aron Mighty® AF-700」 series

沖村 祐弥
Yuya Okimura

Key Word : Low dielectric, Aron Mighty, Epoxy resin, FPC(Flexible Printed Circuit Board)

1 はじめに

近年、スマートフォン等の通信機器や次世代TV等の電子機器では、より大容量のデータをより高速に送受信する事が要求されており、これに伴い電気信号の高周波数化が検討されている。例えば、無線通信分野においては2020年頃に5G（第五世代移動通信システム）の導入が見込まれている。5Gでは、通信速度が前世代の数十倍以上となり、これを実現するために電気信号は10 GHz以上の高周波領域が検討されている。また、自動車分野においては車載レーダーシステムとして、ミリ波と呼ばれる60 GHz以上の高周波領域の電気信号の使用が検討されている¹⁾。

このように将来の情報通信には、高周波数帯の電気信号を扱う事が必要不可欠であるが、一方で、高周波数化する事で伝送損失が増大するというデメリットがある。伝送損失の増大を抑制するためには、絶縁体の誘電特性の改善（低誘電率/低誘電正接化）が必要である。その関係式を式1に示す²⁾。fは周波数であり、高周波数化に伴い伝送損失が増大する事がわかる。そこで、絶縁体の誘電特性を改善する事で、伝送損失の増大を抑制する事が必要となる。また、伝送損失は伝送距離が長い程、損失が大きくなる事も知られており、電気信号が伝送される導体部分の平坦性の向上（低粗化）も検討されている。

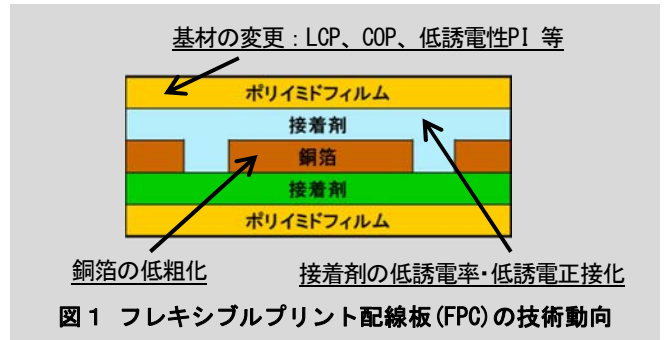
$$L \propto f \times \sqrt{Dk} \times Df$$

L : 伝送損失(誘電損失) f : 周波数
Dk : 比誘電率 Df : 誘電正接

式1 誘電特性が伝送損失に及ぼす影響

上記の事から、スマートフォン等で伝送用基板として使用されるフレキシブルプリント配線板（FPC）にも同様の改良が要求されている（図1）。導通部分である銅箔には低粗化が検討されており、絶縁部分の基材には、誘電特性の改善を狙い、従来のポリイミドフィルム（PI）から液晶ポリマーフィルム（LCP）やシクロオレフィンポリマーフィルム（COP）

等の使用が検討されている。また、銅箔と基材を貼合する接着剤についても、低誘電性を兼ね備えたFPC用接着剤の開発が強く求められている。



以上の事から、当社では低誘電性接着フィルムの開発に着手し、その結果、「アロンマイテイ®AF-700」シリーズを開発した。「アロンマイテイ®AF-700」シリーズは、当社製品であるFPC用接着剤「アロンマイテイ®AF-60」シリーズの高接着性、高耐熱性、長期接続信頼性等の特長や開発で得た知見を活かしつつ、誘電特性を改良した接着剤フィルムである。本文では、この新規低誘電性接着剤フィルムである「アロンマイテイ®AF-700」シリーズの特長や用途を紹介する。

2 設計方針

電子材料に使用される接着剤には、一般的に耐熱性、接着性、加工性等が要求される。これらの要求を満足するために、アロンマイテイ®AF-60シリーズと同様のエポキシ硬化系を選択した。これに加え、5G等の高速通信に対応したFPC用の接着剤に要求される項目として、主に①接着剤自体の低誘電率/低誘電正接化、②低誘電性基材や低粗化銅箔への高い接着性、が挙げられる。①に関しては、低誘電率化には式2に示すClausius-mosotti式から極性の低下や自由体積の増大等が必要である。また、今回のターゲットであるGHz帯の周波数では、誘電損失の主要原因は配向分極であり、低誘電正接化には配向分極の抑制が必要である²⁾。これらの事から、低誘電率/低誘電正接化には、図2に示すような極性基自体の

東亜合成株式会社R&D総合センター 製品研究所

New Products Research Laboratory, General Center of R&D, Toagosei Co., Ltd.

低減や低極性化、極性基の周波数応答による運動の抑制を検討した。②に関しては、FPCに使用される基材フィルムは、従来のPIからLCPやCOPへの変更が検討されており、これらは難接着材料である。低粗化銅箔は、アンカー効果を考慮すると従来より接着しづらい材料となる。この課題については、当社が培ってきた難接着性材料を接着する技術・知見を活かし、これら材料に対し高い接着性を示す接着剤組成を見出す事に成功した。

$$Dk = \left(\frac{1 + 2 \times \frac{Pm}{Vm}}{1 - \frac{Pm}{Vm}} \right)$$

Dk : 比誘電率
Pm : モル分極
Vm : モル比容

式2 Clausius-mosotti式

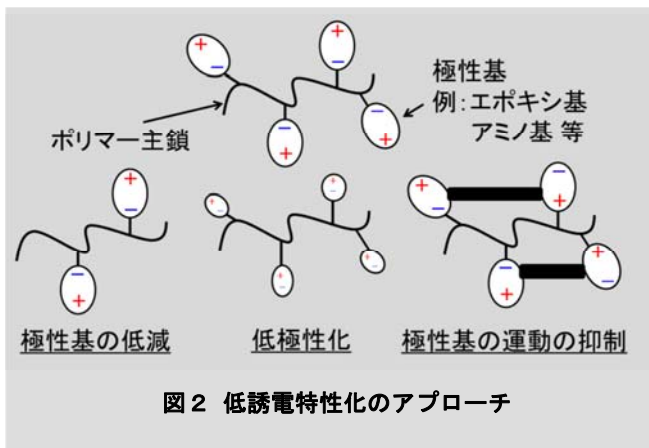


図2 低誘電特性化のアプローチ

3 製品ラインナップと仕様

3.1 製品ラインナップ

AF-700シリーズは、2種が量産体制まで確立されており、さらに誘電特性を改良したタイプを開発中である。現在のラインナップを表1に示す。

表1 AF-700シリーズのラインナップ

サンプル		AF-60	AF-700	AF-711	AF-700改	
グレード		当社FPC用接着剤	標準グレード	難燃グレード	低Dfグレード(開発品)	
誘電特性	1GHz 23°C	Dk	3.0	2.25	2.41	2.22
		Df	0.03	0.0020	0.0023	0.0012
	10GHz 23°C	Dk	-	2.25	2.38	2.17
		Df	-	0.0017	0.0021	0.0012

当社の代表的なFPC用接着剤であるAF-60は、誘電特性は、周波数1GHzにおいてDk(比誘電率)=3.0、Df(誘電正接)=0.03であるが、AF-700はDk=2.25、Df=0.002と、大幅に誘電特性を改善している。AF-711は、AF-700の難燃性や加工性を

改良したグレードである。また、AF-700改はAF-700をさらに低誘電正接化(Df=0.0012(1GHz))したグレードであり、現在量産化を検討中である。

3.2 製品仕様

製品の構成及び外観を図3及び図4に示す。本製品は、接着剤層とその両面を保護する離型フィルムで構成されている。離型フィルムは、使用時に最初に剥がす一次剥離フィルムと、熱プレス等で基材フィルムと貼合した後に剥がす二次剥離フィルムがあり、接着剤との離型性を考慮しそれぞれの役割にあった離型フィルムを選定している。また、本構成以外にも、PIやLCPフィルムを片面に配置する構成も検討中である。接着剤の膜厚は25及び50µmを標準としているが、用途に合わせて5-50µm程度まで製造可能であり、幅広いニーズに対応できる。

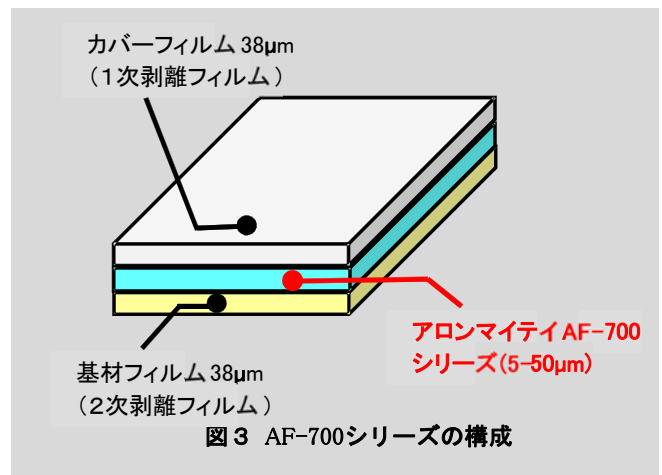


図3 AF-700シリーズの構成



図4 AF-700シリーズの外観写真

3.3 推奨硬化条件

AF-700シリーズは、熱硬化型のエポキシ系接着剤であり、使用の際は硬化処理が必要となる。以下にAF-700シリーズの基材との仮貼合条件及び硬化条件を示す。基材フィルムとの仮貼合は、80-120℃程度の温度下での熱ラミネートを推奨している。硬化条件は180℃/30 min/1～3 MPaの熱プレスを推奨している。但し、熱プレスは短時間での処理（クイックプレス処理）でも高い接着性を発現する事ができる。

<AF-700シリーズの推奨硬化条件>

- 基材フィルムとの仮貼：80-120℃下で熱ラミネート
- 硬化条件：180℃/30 min / 1～3 MPa熱プレス、
もしくは180℃/3分/1～3 MPa熱プレス後、
180℃/30 min 熱養生

4 特長

4.1 伝送特性 (Sパラメータ測定)

AF-700及び他社低誘電性接着剤を使用してそれぞれ配線基板を作製し、伝送特性を評価する方法のひとつであるSパラメータ測定を実施した。Sパラメータ測定は、電気信号の減衰を測定するものであり、今回は、各周波数の電気信号を100 mm伝送させた際の、電気信号の減衰度合い（伝送ロス）を測定した。測定した基板を図5に示す。本評価条件の場合、低誘電性でない従来の接着剤では周波数10 GHzでおよそ-5 dBの伝送ロスを示す事がわかっている。一方、図6に示すように、AF-700では周波数10 GHzの場合およそ-2.6 dBの伝送ロスとなり、従来接着剤に比べ伝送ロスが約2.4 dBも減少している。これは、伝送時の消費電力に換算すると、AF-700の場合は従来接着剤に比べ、約40%の消費電力の改善（消費電力の低減）に相当する。また、他社の低誘電性接着剤との比較においてもAF-700の方が伝送特性に優れており、周波数30 GHzでは伝送ロスの差は約0.4 dBとなり、消費電力換算で約10%の改善が見られる。実使用の際は、より高い周波数でより長い伝送路が使用される用途が数多くあり、この場合さらに伝送ロスの差が拡大し、AF-700の優位性が更に高くなる。このように、AF-700は従来接着剤や他社低誘電性接着剤よりも優れた伝送特性を示している。



入力 出力

基板構成:PI/接着剤/銅箔/LCP/銅箔/接着剤/PI
(PI12.5μm、接着剤25μm、銅箔28μm、LCP50μm)

図5 基板外観写真

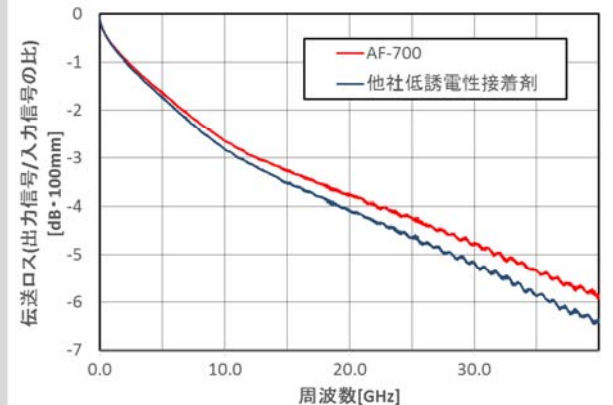


図6 伝送特性評価結果

4.2 高接着性

AF-700シリーズは、従来の基材であるPIや、低誘電性基材であるLCPやCOPに対し良好な接着性を示す。一般的にLCPやCOPは難接着材料であるが、AF-700シリーズは当社の接着技術の知見を活かし、高い接着性を発現している。特にAF-700改では、PIやLCPに対し15 N/cm以上の値を示しており、非常に高い接着性を発現している。（図7）

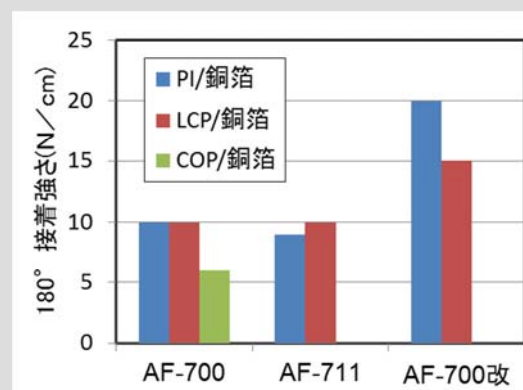


図7 各種フィルムに対する接着性
(180°剥離強さ、23℃、50 mm/min)

4.3 加工性(低反り性、埋め込み性)

AF-700シリーズは、FPC用接着剤がメインターゲットであるが、FPC用接着剤では、基材フィルムや配線基板と貼合した際に反りが発生しない事が求められている。図8(左)に、PIフィルム(25μm)に対し、AF-700(25μm)を貼合したサンプルを示す。基材が薄いFPCでは、図8(右)のように加工時の熱収縮により大きな反りが発生してしまう事がしばしば見られるが、AF-700では殆んど発生しない。反りが発生しない接着フィルムは、配線基板との貼合の際、位置合わせが行いやすく加工性が良好である。

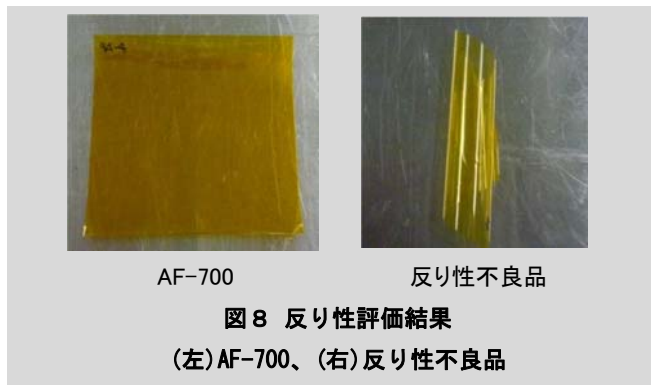


図8 反り性評価結果

(左)AF-700、(右)反り性不良品

加工の際に求められる特性として、埋め込み性(配線の隙間に接着剤が適切に充填される事)も重要である。図9に、FPCの銅配線基板(L/S = 100μm/100μm、銅厚さ18μm)に接着剤(25μm)をプレス加工したサンプルを示す。

図9(右)のように、接着剤が適切に充填されず気泡が混入した配線パターンは、空気中の水分や異物が混入し絶縁信頼性の低下を起す懸念があり、電材部品として不適切である。

一方、AF-700を貼合した場合は銅配線間に気泡が見られず、接着剤が適切に充填されている事がわかる(図9(左))。このようにAF-700は埋め込み性も良好であり、同様にAF-711やAF-700改についても、反り性及び埋め込み性は良好である。

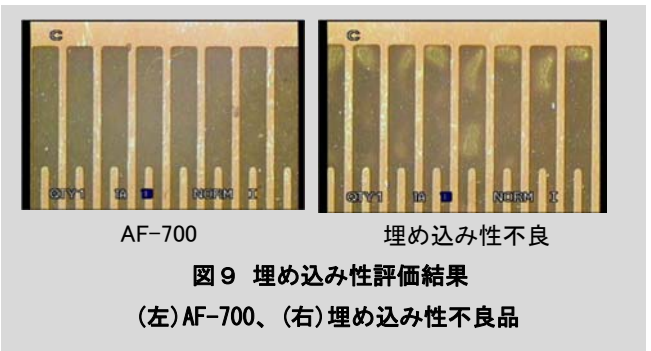


図9 埋め込み性評価結果

(左)AF-700、(右)埋め込み性不良品

4.4 長期絶縁信頼性

近年、品質安定性が強く要求されるようになってきている事から、長期絶縁信頼性はFPCにおける重要な特性の一つである。図10に、AF-700シリーズの長期絶縁信頼性試験結果

を示す。試験は、銅配線幅及び配線間距離が100μmの配線基板を使用し、85℃/85%の環境下で実施した。その結果、AF-700シリーズは1000h後においても 10^{10} Ω以上の線間抵抗値を示しており、長期試験においても高い絶縁性を保持している。

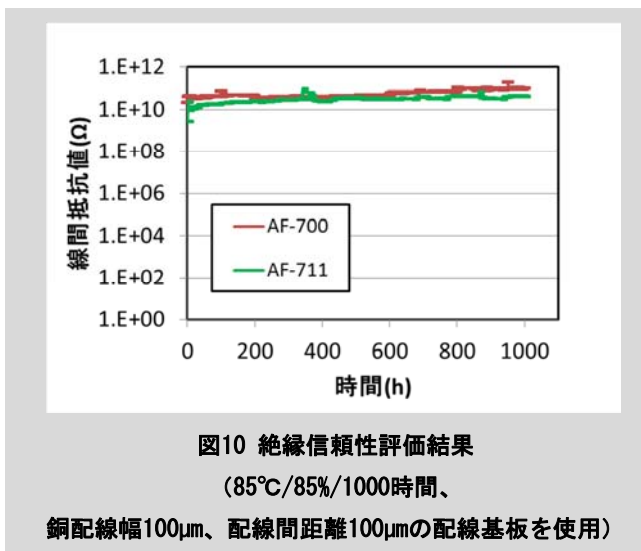


図10 絶縁信頼性評価結果

(85℃/85%/1000時間、

銅配線幅100μm、配線間距離100μmの配線基板を使用)

4.5 各種評価結果一覧

前項までに記載した評価結果を含め、各種評価結果の一覧を表2に示す。AF-700シリーズは、前項で挙げた特長の他にも、はんだ耐熱性に優れ、吸水性が低いという特長を有しており、FPCに要求される一般的な特性は全て良好である。

表2 各種評価結果一覧

サンプル			AF-700	AF-711	AF-700改
グレード			標準グレード	難燃グレード	低Dfグレード(開発品)
誘電特性	1GHz 23℃	Dk	2.25	2.41	2.22
		Df	0.0020	0.0023	0.0012
	10GHz 23℃	Dk	2.25	2.38	2.17
		Df	0.0017	0.0021	0.0012
接着特性	180° 接着強さ (N/mm ²)	PI/銅箔	10	9	20
		LCP/銅箔	10	10	15
		COP/銅箔	6	-	-
	半田耐熱 (℃)	PI/銅箔	>300	>300	>300
		LCP/銅箔			
		COP/銅箔			
難燃性(PI/Ad/PI構成、UL94準拠)			-	VTM-0相当	-
反り性(PI(25μm)/Ad(25μm)構成)			合格	合格	合格
埋め込み性(L/S=100μm)			合格	合格	合格
絶縁信頼性(Ω、85℃/85%/1000hr)			>10 ¹⁰	>10 ¹⁰	-
吸水性(%、23℃/24hr浸漬)			0.1	0.2	0.1
ガラス転移温度(℃)			74	86	-
表面固有抵抗(Ω)			>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	-
体積固有抵抗(Ω・cm)			>10 ¹⁷	>10 ¹⁷	-
絶縁破壊電圧(kV/mm)			>80	>80	-

5.1 車載用ミリ波レーダー向け

電波センシングの応用のひとつとして、車載用レーダーが挙げられる。本装置は、自動運転やブレーキアシストシステムに欠かせない装置であり、各社自動車メーカーでより安全でより快適な走行を実現するために開発が進められている。次世代レーダーシステムであるミリ波レーダーでは、77-81 GHz程度の周波数帯での通信が検討されている。本規格を達成するためにはアンテナ部周辺において低誘電性部材が不可欠であり、AF-700シリーズの適用を検討中である。

5.2 スマートフォン向け

2020年を目処に次世代通信技術として5Gの実用化が目指されており、本技術により機器の通信速度の向上や、IoT (Internet of Things) のさらなる普及が見込まれている。5Gのメインターゲットのひとつにスマートフォンが挙げられ、スマートフォンの通信速度を向上させるために、スマートフォン本体や基地局のアンテナ部材には低誘電性基板の使用が検討されている。これら基板用の接着剤としてAF-700シリーズを検討中である。

5.3 次世代TV向け

4K/8K等の次世代TVでは、現在のフルハイビジョンTVの4倍/16倍の画素数となり、より精彩な画像を大画面で視聴する事が可能となる。現在、4KTVの後継機や8KTVは2020年の東京オリンピックに向けて各社が開発を進めており、画像の情報量の増大に対応するために、信号の高周波数化が予定されている。このことから、次世代TVには伝送特性に優れた回路基板や配線が必要となり、これに適用できる接着剤としてAF-700シリーズを検討中である。

6 おわりに

今回紹介した低誘電性接着剤「アロンマイテイ®AF-700」シリーズは、良好な誘電特性を示し、且つ電子材料向けの接着剤に要求される性能を高いレベルで満足すると考えている。そのため高周波対応部品用途への製品展開を見込んでいる。一方、今後さらに情報伝達の高速化が進むとみられ、また、IoTの普及により通信機能が様々な機器・設備に搭載される事が予想される。このため、今後、新規性能やさらなる高性能化を要求される事は必至である。従って、各種の要求性能に対応できるようにラインナップを充実させ、AF-700シリーズをより広い分野で展開させるべく製品開発を行っていく。

- 1) 「ミリ波レーダー高周波対応技術の最新動向」(2017) 株式会社ジャパンマーケティングサーベイ
- 2) 竹澤由高, 高橋昭雄 (2012)「ネットワークポリマー」(高分子基礎科学 One Point) 共立出版社