

エレクトロニクス実装分野における分子接合技術の応用 展開に関するシンポジウム

「低誘電損失材料の開発」

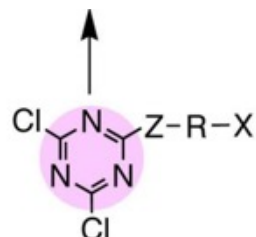
岩手大学 理工学部
大石好行

<yoshiyu@iwate-u.ac.jp>

2024/3/15

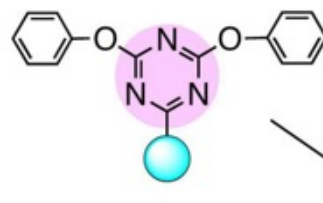
岩手大学研究シーズ：機能性樹脂の精密合成技術

機能性多分岐ポリマー



出発原料（安価）

●：機能団

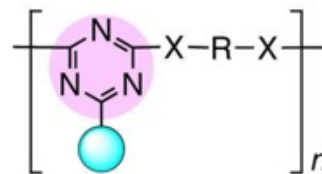


機能性モノマー

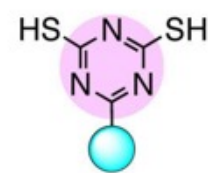


機能性モノマー

X = O, S, NH
Y = OH, SH, COOH, NH₂



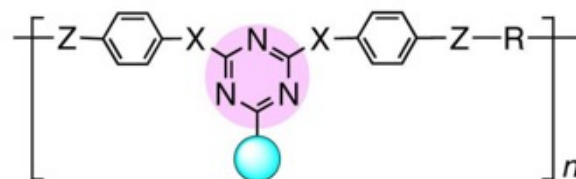
機能性ポリマー



架橋剤、表面処理剤、
分子接着剤



機能性ポリマー

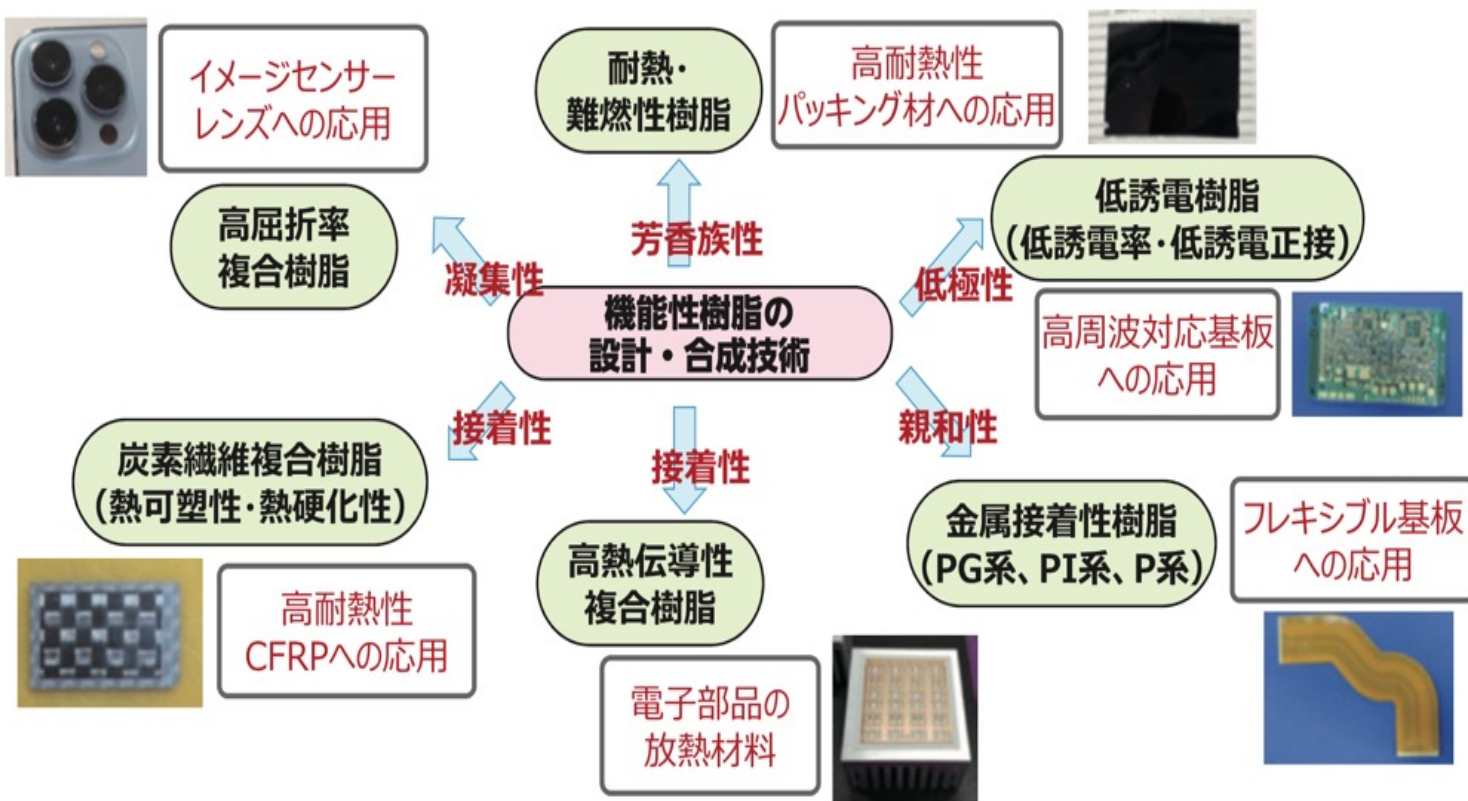


機能性ポリマー

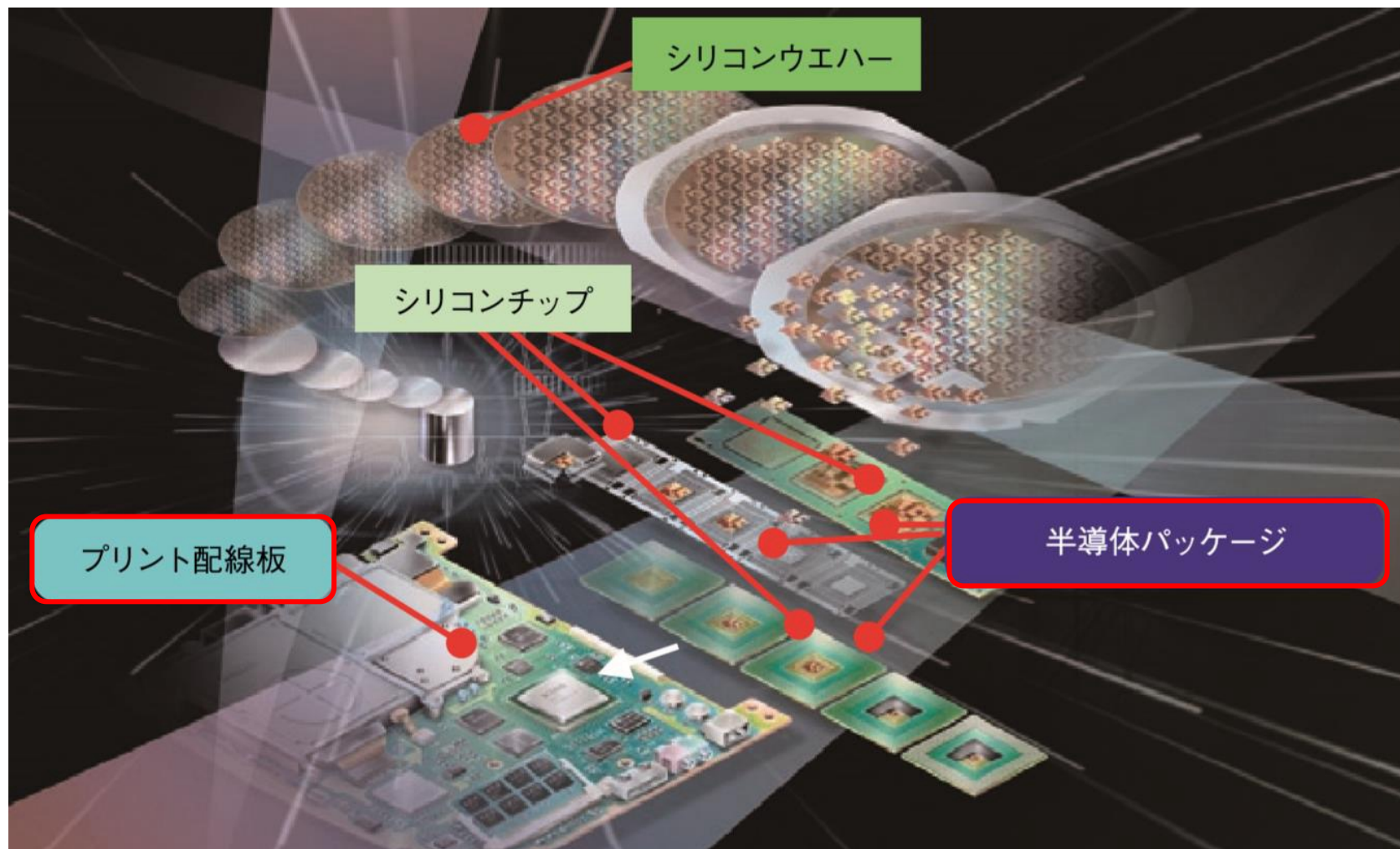
岩手大学シーズ：
精密合成技術
機能化設計技術
機能性モノマー
機能性ポリマー

樹脂設計・合成技術

岩手大学が有する機能性樹脂の材料設計・精密合成技術を用いて、耐熱性、接着性、熱伝導性、高屈折性および低誘電性などの特性に優れた機能性樹脂材料の開発を行っています。



シリコンチップ、半導体パッケージ、プリント配線板

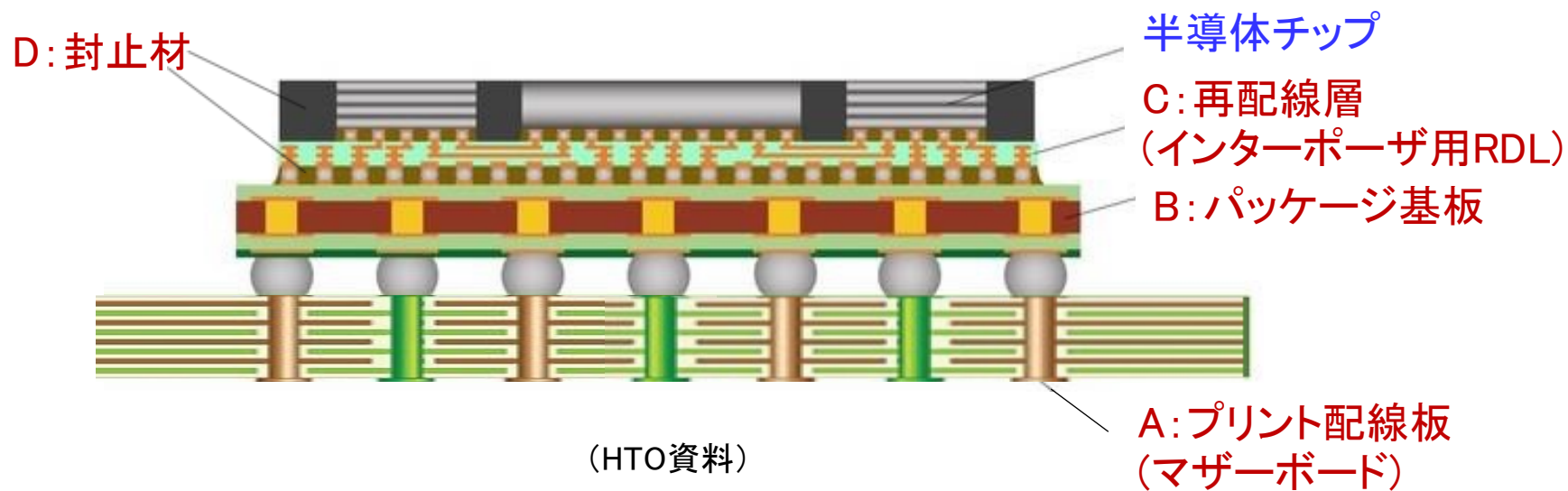


(日立化成テクニカルレポートNo.55, 2013-1月)

半導体パッケージ/プリント配線板

低誘電損失材料は、

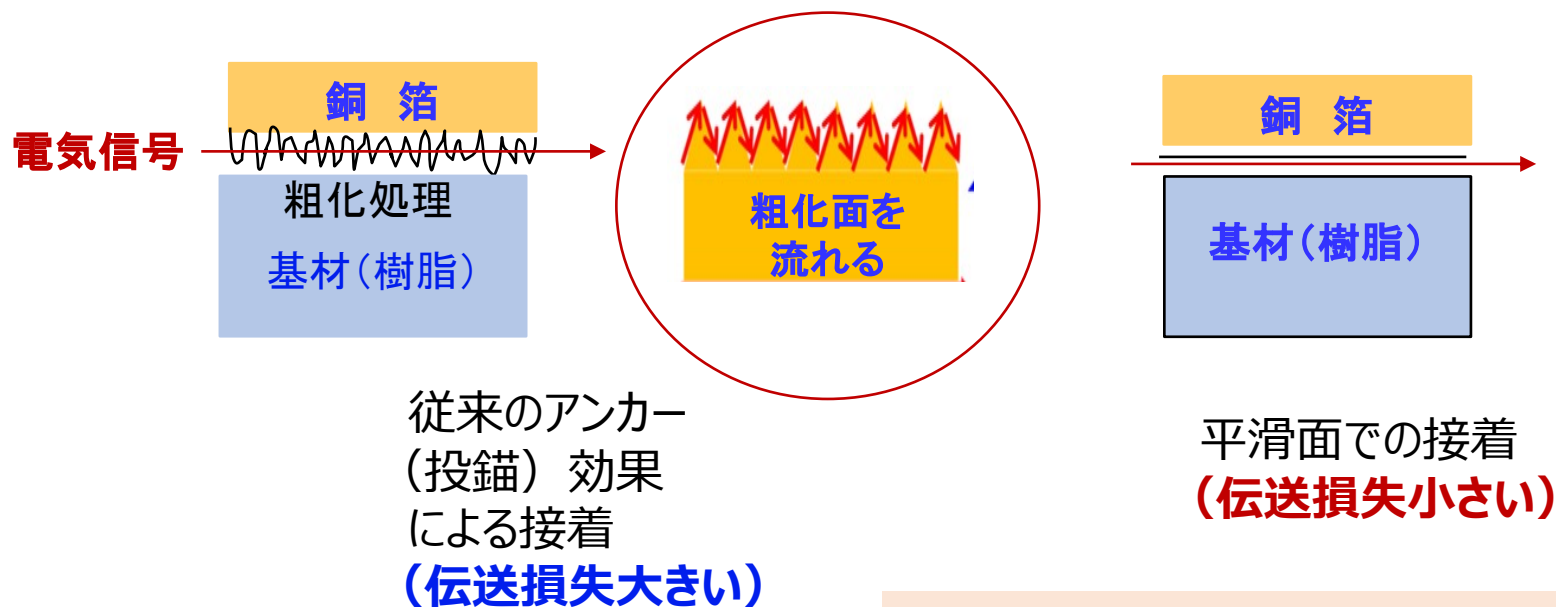
A プリント配線板, B パッケージ基板, C 再配線層(RDL), D 封止材
がターゲットであり, それぞれ要求される性能が異なる。



要求特性：誘電率(Dk) < 2.5、誘電正接(Df) < 0.002

高周波用基板材料に求められる特性

- (1) 高速伝送するために、比誘電率(Dk)の小さい基板材料 (**Low Dk**)
- (2) 誘電損失を小さくするために、誘電正接 (Df)の小さい基板材料 (**Low Df**)
- (3) 導体損失を小さくするために、表面凹凸の小さな銅箔 (**平滑面での接着**)



銅箔と低誘電損失樹脂を平滑面で接着させる技術が必要 (i-SB法で対応可能)

低誘電損失材料の設計指針

設計指針			手法	
低誘電正接 (D_f)	低誘電率 (D_k)	分子分極率を小さくする	フッ素原子・置換基の導入（対称的な導入） 炭化水素基の導入	
		分子体積を大きくする	整列しにくい構造の導入	非対称構造の導入
			嵩高い構造の導入	炭化水素・脂環構造の導入
				芳香族置換基
		密度を小さくする	ナノ空孔の導入	
	分子の運動を抑制する		分子間相互作用	液晶性、結晶性
			立体障害（≡嵩高い構造導入）	
	低吸水性		疎水性構造（≡フッ素原子、炭化水素構造導入）	
			分極性構造の低減	

参考）耐熱性高分子電子材料の展開，P41，シーエムシー出版（2008）．

低誘電損失基板材料の開発事例（現状）

IoT／5G 基板部材・装置に革新迫る 高周波対応で部材多様化

企 業 名	製 品 名	主 要 材 料	備 考
クラレ	ベクスター	LCP	LCP の老舗でスマホ用に実績 新工場も視野
千代田インテグレ	ペリキュール	LCP	LCP フィルムで供給。回路基板用展開
村田製作所	メトロサーク	LCP	基板材料から一貫生産 市場開拓のパイオニア
東レ	シベラス	LCP	スクリーン印刷用メッシュで参入
住友化学	スミカスーパーLCP	LCP	LED 用途や鉛フリーはんだに対応 可溶性 LCP 開発
ロジャース	CuClad	フッ素樹脂	基地局やミリ波レーダー向けに数多くの実績保有
AGC	Fluon*EA-2000	フッ素樹脂	接着機能を持たせた画期的なフッ素樹脂
日本ゼオン	L-24	COP	電気特性 COP 以上。パイロットライン構築中
日鉄ケミカル & マテリアル	エスパネックス F シリーズ	ポリイミド	低誘電ポリイミドの 2 層銅張積層板 20GHz まで対応
デュポン	モリファイド	ポリイミド	誘電率 3.0 以下で、19 年モデルのスマホに一部搭載
パナソニック	ハロゲンフリー超伝送損失基板	熱硬化性樹脂	ふっ素樹脂代替へ 2018 年夏からサンプル出荷
利昌工業	CS-3379M ほか	PPE	ミリ波レーダー 5G アンテナ向け、多層化可能
信越化学工業	SLX	熱硬化性樹脂	自社の低誘電石英クロスと組み合わせて CCL で提供へ
日東紡	NE/T ガラス	低誘電/低 CTE ガラス	高周波対応 CCL、低弾性 PKG 基板向けに増産中

岩手大学の低誘電損失樹脂の開発

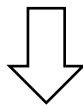
フッ素原子団の特性

R_f

トリアジン環の特性

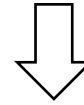


(低分極率、低双極子モーメント、結晶性、凝集性、嵩高さ)



低誘電熱可塑性樹脂

- ・フッ素系熱可塑性樹脂
 - フッ素系ポリイミド(F-PI)
 - フッ素系ポリベンゾオキサゾール(F-PBO)
 - フッ素系ポリエーテル(F-PE)
- ・トリアジン系熱硬化性樹脂
 - ポリシアヌレート(T-PC)
 - トリアジン系ポリエーテル(T-PE)



低誘電熱硬化性樹脂

- ・フッ素系熱硬化性樹脂
- ・トリアジン系熱硬化性樹脂
(開発試作中)

岩手大学の低誘電フッ素系樹脂の基本設計

フッ素原子団の特性
(パーフルオロアルキレン基)

R_f

(低分極率、低双極子モーメント、結晶性)



・フッ素系熱可塑性樹脂

フッ素系ポリエーテル(F-PE)

フッ素系ポリイミド(F-PI)

フッ素系ポリベンゾオキサゾール(F-PBO)

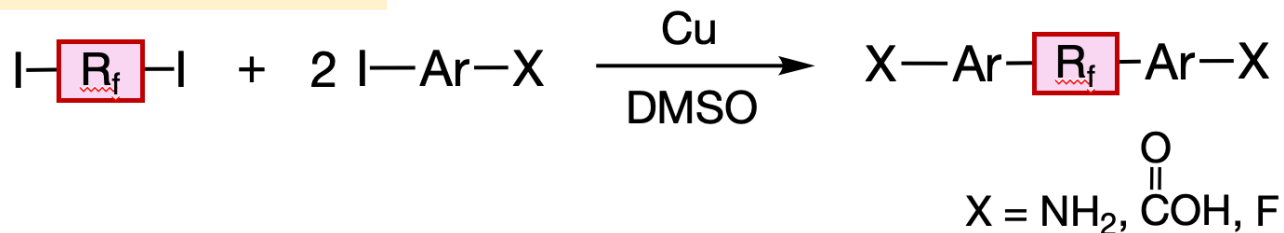
・フッ素系熱硬化性樹脂

フッ素系シアネート(F-CY)

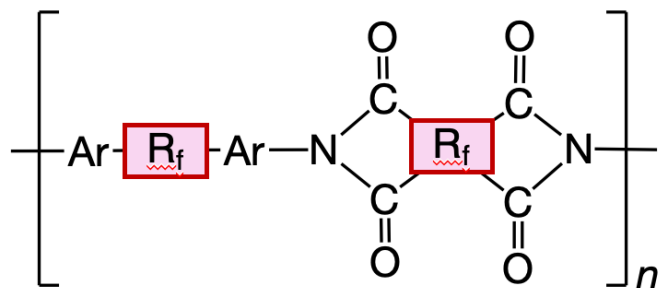
フッ素系ビスマレイミド(F-BMI)

フッ素系アクリレート(F-AC)

フッ素系モノマーの合成

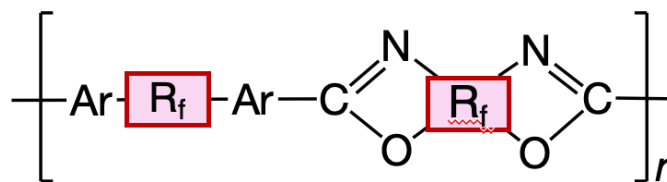


フッ素系ポリマーの合成



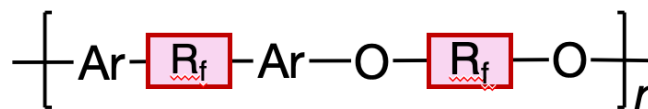
F-PI

誘電率 (Dk) : 2.4-2.5
誘電正接 (Df) : 0.002



F-PBO

誘電率 (Dk) : 2.3-2.5
誘電正接 (Df) : 0.002



F-PE

誘電率 (Dk) : 2.4-2.5
誘電正接 (Df) : 0.001-0.002

トリアジン環の特性 (1,3,5-トリアジン)



(低分極率、低双極子モーメント)



低誘電熱可塑性樹脂の開発

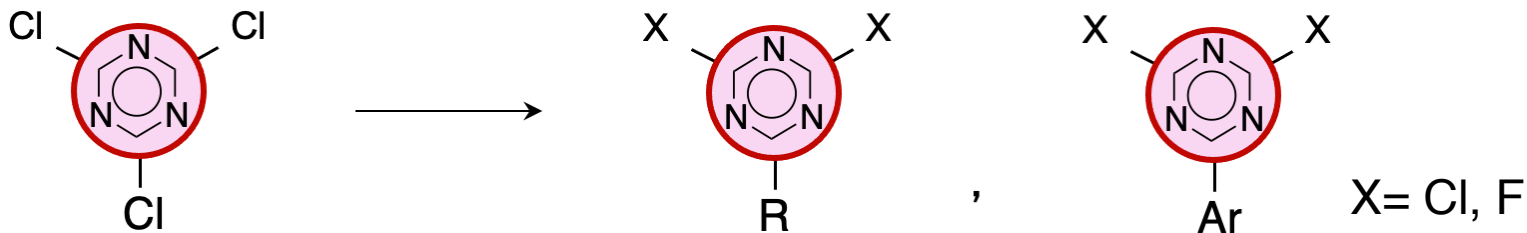
2-1. ポリシアヌレート(T-PC)

2-2. トリアジン系ポリエーテル(T-PE)

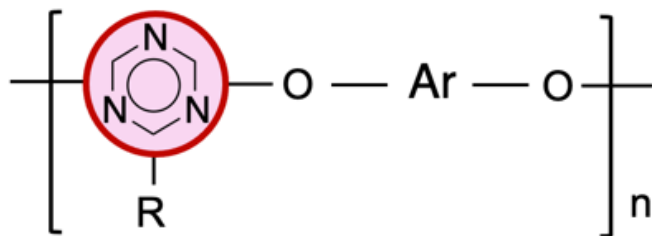


低誘電トリアジン系樹脂の合成指針

トリアジン系モノマーの合成

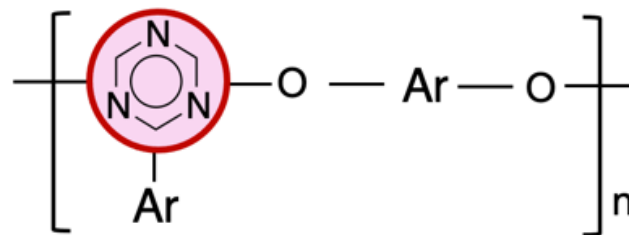


トリアジン系ポリマーの合成



T-PC

誘電率 (Dk) : 2.4-2.5
誘電正接 (Df) : 0.002



T-PE

誘電率 (Dk) : 2.6-2.7
誘電正接 (Df) : 0.001-0.002

分子接合技術(i-SB法)による銅めっき物の作製



F-PEフィルム



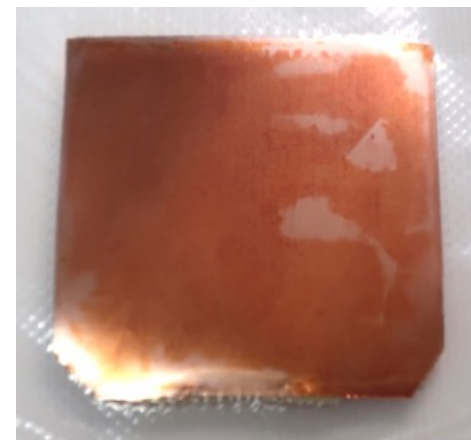
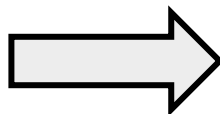
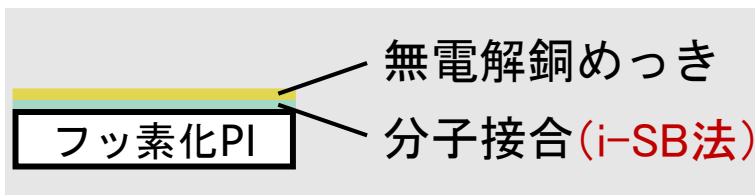
T-PCフィルム



T-PEフィルム



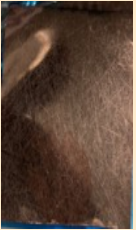




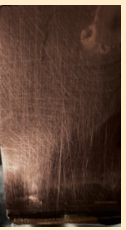
F-PIフィルム



F-PIフィルム銅めっき物

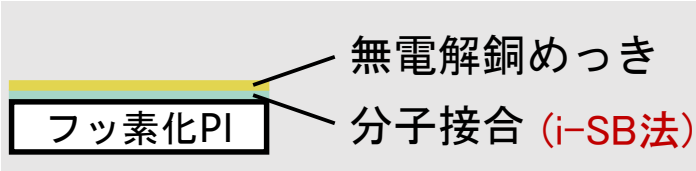
i-SB法により低誘電損失フィルム上への平滑銅めっきに成功

i-SB法による銅めっき物の接着強度

	F-PI (F8)	F-PE (M)	F-PE (F)	T-PC (A)	T-PE (A)	F-BMI (m)
ガラス転移温度 T _g (°C)	190	132	172	184	248	248
誘電率 D _k (10 GHz)	2.39	2.43	2.46	2.41	2.48	2.53
誘電正接 D _f (10 GHz)	0.0016	0.0015	0.0019	0.0017	0.0018	0.0040
接着強度 (kN/m)	> 0.7	0.98	0.94	> 0.4	0.84	0.82
銅めっき物						

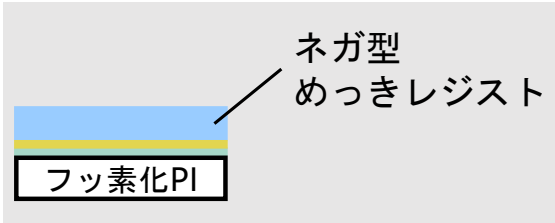
i-SB法により低誘電損失フィルム上に平滑面で強固な銅めっきに成功

i-SB法による銅めっき物からの配線基板の作製

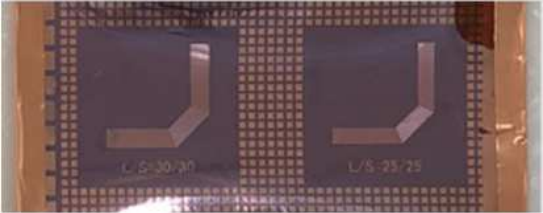


めっきレジスト
ラミネート

➡

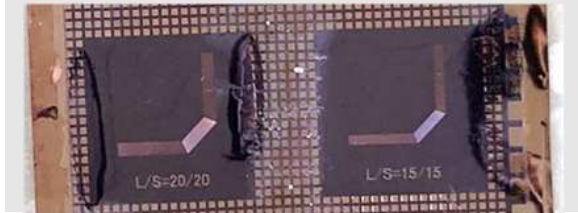


露光・現像

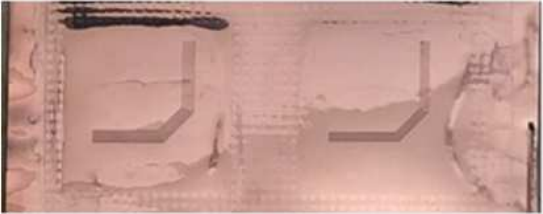


電解
銅めっき

➡

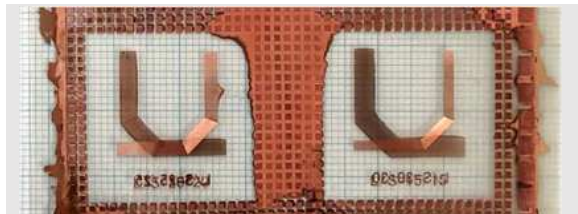


めっきレジスト
除去



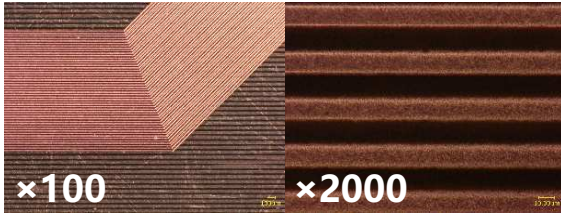
シード層
エッチング

➡



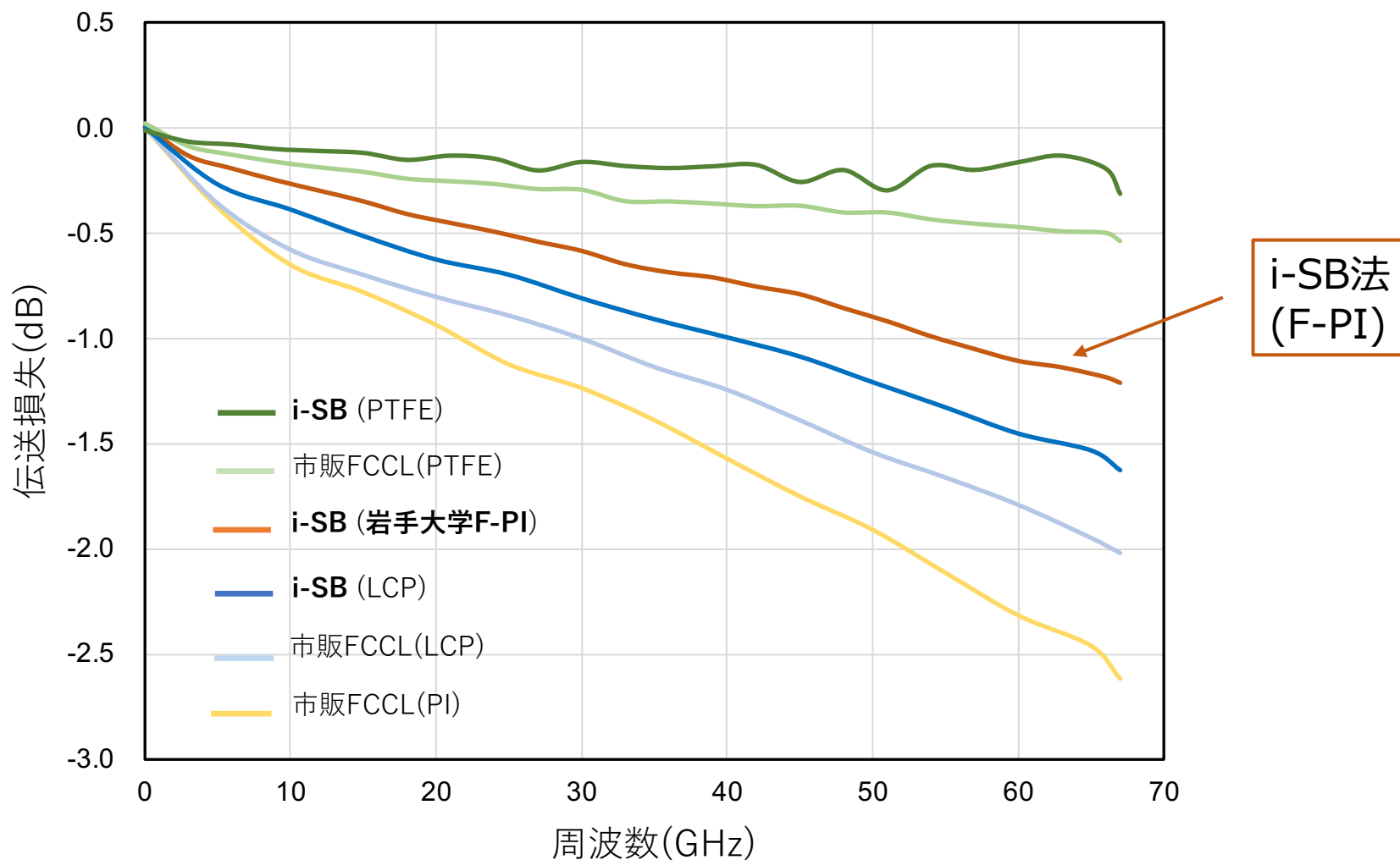
低誘電樹脂フィルム(F-PI)：誘電率2.5、誘電正接0.002
銅配線形成：i-SB法による銅めっき技術とパターニング技術

⇒ 高周波対応配線基板の作製に成功



L/S = 15/15 μm

分子接合技術(i-SB)による配線基板の伝送損失



低誘電損失フィルム上の平滑銅めっき物は低伝送損失を示す

岩手大学の低誘電損失樹脂の優位性

ポリマー	PTFE	COP	LCP	PPE	PI	F-R	T-R
誘電率 (Dk)	2.1	2.4	2.8	2.5	3.3	2.3-2.5	2.3~2.6
誘電正接 (Df)	0.0002	0.001	0.002	0.002	0.01	0.001-0.002	0.001-0.002
耐熱性 (熱変形温度)	×	△	○	△	○	△~○	△~○
透明性 (可視光)	×	○	×	○	×	△~○	○
成形性 (熱成形、溶解性)	△	○	△	△	○	○	○
接着性 (銅箔)	△	△	△	○	○	○	○

PTFE: ポリテトラフルオロエチレン (テフロン)
 LCP: 液晶ポリエステル
 PI: ポリイミド

COP: シクロオレフィンポリマー
 PPE: ポリフェニレンエーテル
 F-R : フッ素系樹脂 (岩手大学)
 T-R : トリアジン系樹脂 (岩手大学)