

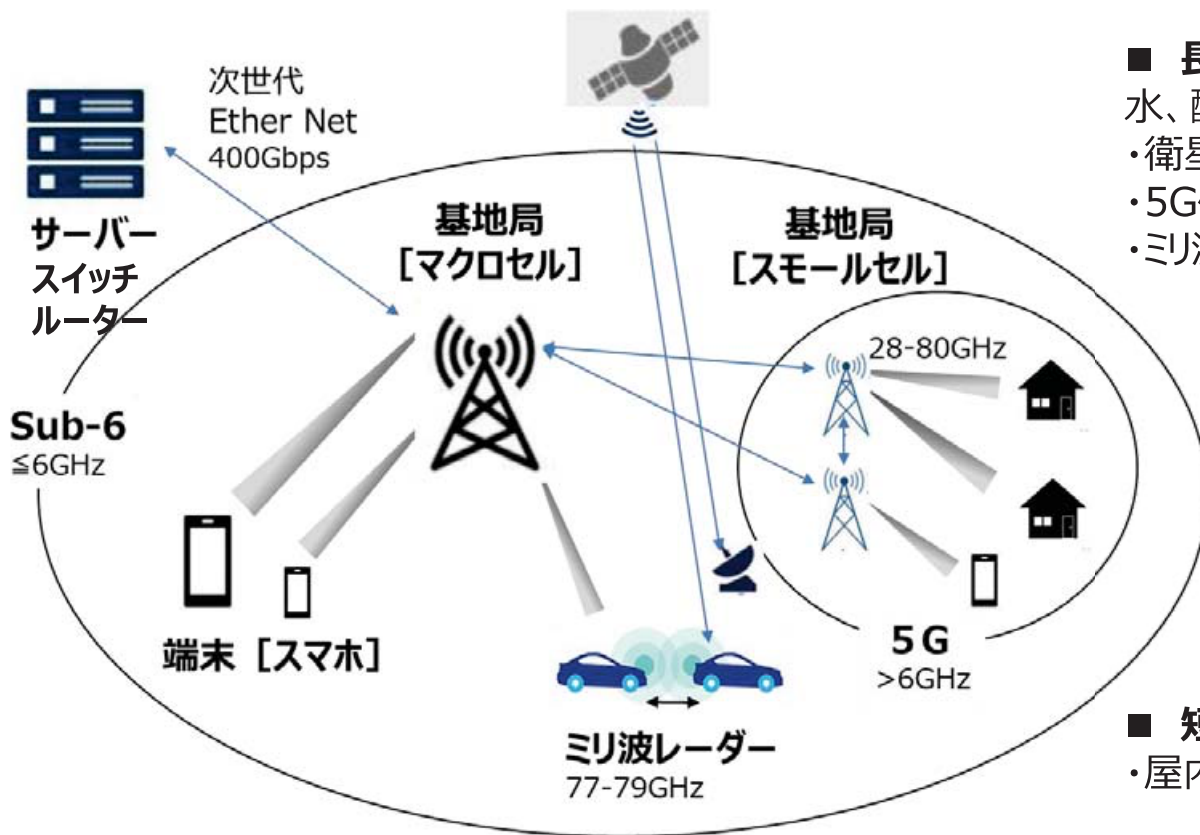
高周波基板に向けた低誘電特性を有するフッ素系およびトリアジン系熱可塑性耐熱樹脂の開発

岩手大学 理工学部 化学・生命理工学科
教授 大石 好行

2021年7月8日

1. 背景：次世代通信システム

スマートフォンなどの次世代通信システムでは、高速伝送、大容量伝送、低遅延通信、多重接続などが要求されており、**電気信号の高周波化**が進められている。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**ミリ波帯の高周波領域の電気信号**が使用されている。



■ 長距離伝送：

- 水、酸素の影響を避けた周波数
- ・衛星、5G候補：28GHz帯
- ・5G候補：35、41GHz帯
- ・ミリ波レーダー：76、81GHz帯

■ 短距離通信

- ・屋内大容量通信：60GHz帯
(O₂吸収はあるが)

2. 高周波信号を用いる問題点

■ 電気信号の伝送損失

$$\text{伝送損失} = \text{導体損失} + \text{誘電体損失}$$

導体損失: 銅箔による伝送損失

誘電体損失: 絶縁材料による伝送損失

■ 電気信号の誘電体損失

$$\text{誘電体損失} \propto \text{周波数} \times \sqrt{\text{誘電率}} \times \text{誘電正接}$$

高周波信号を使用すると誘電体損失(伝送損失)が大きくなり、信号の減衰や遅延などの問題が起こる。

⇒ 回路基板の絶縁材料には、**低誘電率(2.5以下)**、**低誘電正接(0.002以下)**を有する低誘電損失材料が必要である。

3. 低誘電損失材料の設計指針

■ 誘電率 (分子の分極率と自由体積に依存)

Clausius-Mosottiの式

$$\text{誘電率} = [1 - 2 (P_m/V_m)] / [1 - (P_m/V_m)]$$

P_m : モル分極率 V_m : モル容積

低誘電率化を達成するために:

P_m/V_m を小さくする \Rightarrow P_m を小さくする
 V_m を大きくする

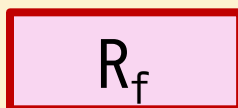
■ 誘電正接 (分子分極と運動性に依存)

低誘電正接を達成するために:

双極子の回転の抑制 \Rightarrow 双極子を減らす
双極子の回転抑制 (固定化)

4. 低誘電損失樹脂の基本設計

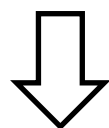
フッ素原子団の特
性



トリアジン環の特性



(低誘電率、低双極子モーメント)

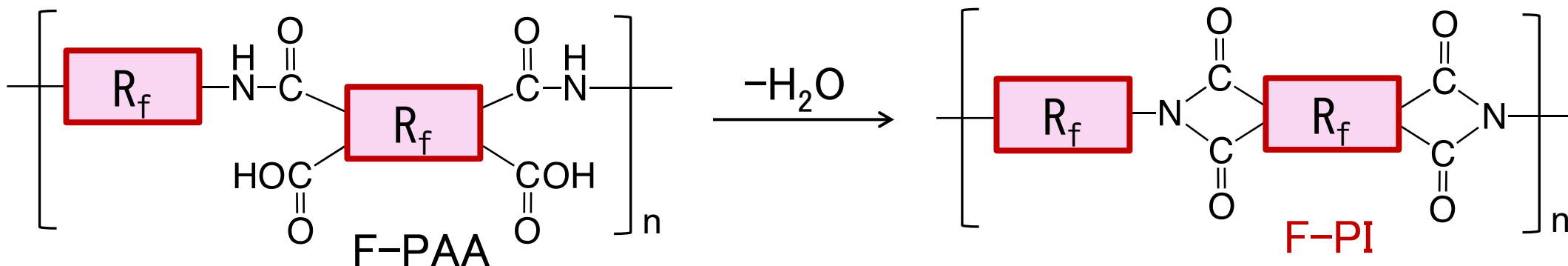


低誘電損失熱可塑性樹脂の開発

- フッ素化ポリイミド(F-PI)
- フッ素化ポリエーテル(F-PE)
- トリアジン系ポリエーテル(T-PC)
- トリアジン系ポリエーテル(T-PE)

実施例1:

フッ素化ポリイミド樹脂 (F-PI)



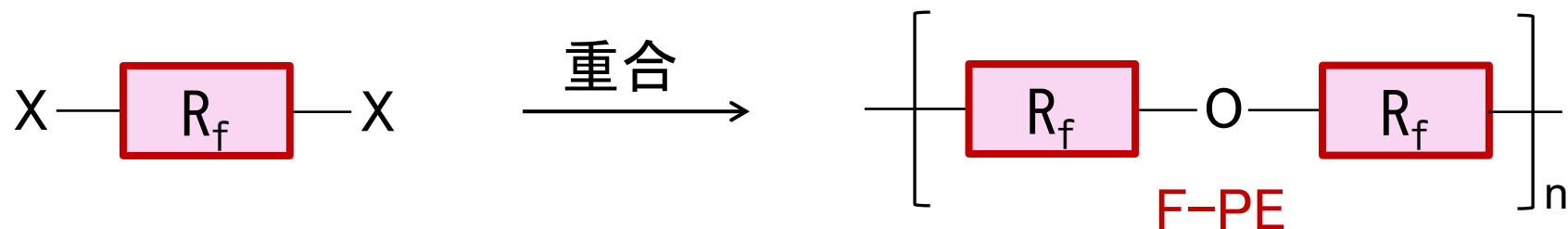
F-PIの溶解性: DMAc、THF、クロロホルム

フッ素化PI	ϵ	D_k (10 GHz)	D_f (10 GHz)	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_{d5} ($^{\circ}\text{C}$)	CTE (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)	T_s (MPa)	E (%)
従来PI	2.66	2.74	0.0066	332	530	—	—	—
F-PI-1	2.56	2.45	0.0019	181	526	89	—	—
F-PI-2	2.57	2.54	0.0022	221	524	92	58	9
F-PI-3	2.52	2.39	0.0016	194	500	85	59	5

ϵ : 誘電率(屈折率からの計算値)、 D_k : 誘電率(空洞共振器)、 D_f : 誘電正接(空洞共振器)、
 T_g : ガラス転移温度、 T_{d5} : 空気中の5%分解温度、CTE: 熱膨張係数、 T_s : 引張破断強度、E: 破断伸び

実施例2:

フッ素化ポリエーテル樹脂 (F-PE)



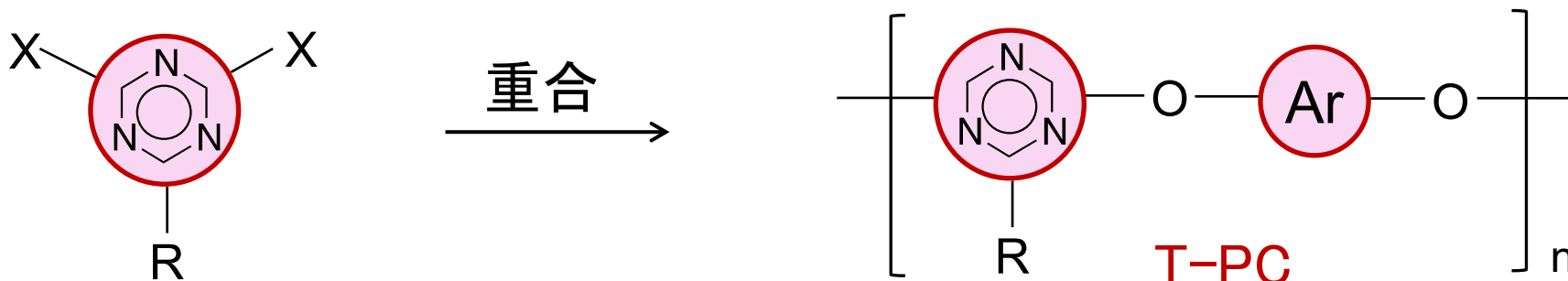
F-PEの溶解性: DMAc、TMU、THF、クロロホルム、酢酸エチル、シクロヘキサノン

フッ素化PE	ϵ	D_k (10 GHz)	D_f (10 GHz)	T_g (°C)	T_{d5} (°C)
F-PE-1	2.25	2.15	0.0042	95	507
F-PE-2	2.33	2.35	0.0011	155	343
F-PE-3	2.34	2.43	0.0015	132	479
F-PE-4	2.47	2.46	0.0019	172	546

ϵ : 誘電率(屈折率からの計算値)、 D_k : 誘電率(空洞共振器)、 D_f : 誘電正接(空洞共振器)、 T_g : ガラス転移温度、 T_{d5} : 空気中の5%分解温度

実施例3:

トリアジン系ポリエーテル(T-PC)



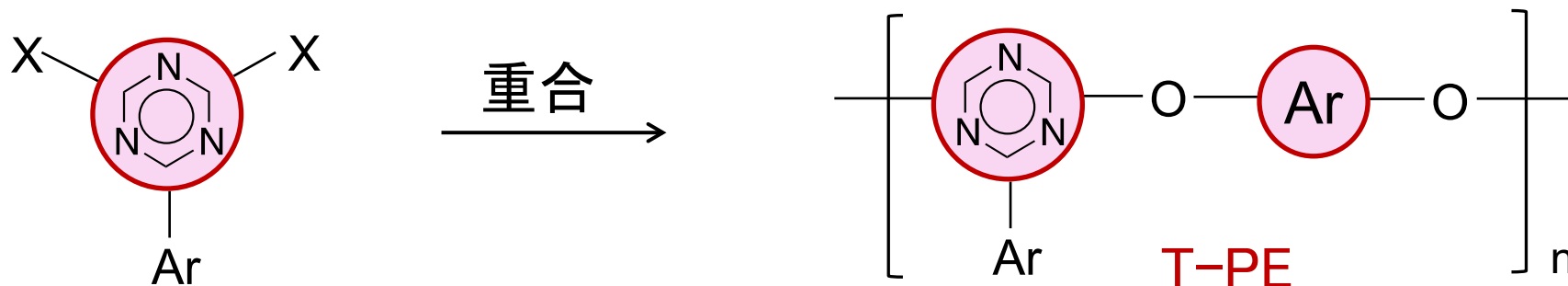
T-PCの溶解性: DMAc、THF、クロロホルム、シクロペンタノン

トリアジンPC	ϵ	D_k (10 GHz)	D_f (10 GHz)	T_g (°C)	T_{d5} (°C)	λ_{cutoff} (nm)
T-PC-1	2.57	2.55	0.0031	167	352	315
T-PC-2	2.49	2.41	0.0023	184	346	288
T-PC-3	2.46	2.43	0.0032	197	404	310
T-PC-4	2.49	2.54	0.0023	236	340	288
T-PC-5	2.55	2.55	0.0022	237	407	319

ϵ : 誘電率(屈折率からの計算値)、 D_k : 誘電率(空洞共振器)、 D_f : 誘電正接(空洞共振器)、 T_g : ガラス転移温度、 T_{d5} : 空気中の5%分解温度、 λ_{cutoff} : カットオフ波長

実施例4:

トリアジン系ポリエーテル(T-PE)



T-PEの溶解性: TMU、クロロホルム、THF、シクロペンタノール

トリアジン系PE	ϵ	D_k (10 GHz)	D_f (10 GHz)	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_{d5} ($^{\circ}\text{C}$)	λ_{cutoff} (nm)
T-PE-1	—	2.56	0.0027	245	448	353
T-PE-2	2.63	2.48	0.0018	248	526	343
T-PE-3	2.68	2.55	0.0017	279	480	354
T-PE-4	2.73	2.69	0.0022	257	512	352

ϵ : 誘電率(屈折率からの計算値)、 D_k : 誘電率(空洞共振器)、 D_f : 誘電正接(空洞共振器)、 T_g : ガラス転移温度、 T_{d5} : 空気中の5%分解温度、 λ_{cutoff} : カットオフ波長

新技術の特徴・従来技術との比較

- フッ素化アルキレン構造や1,3,5-トリアジン環を有しており、低誘電特性、耐熱性、接着性に優れている。
- 可溶性で熱分解温度が高いために、成形加工性に優れている。
- 無色透明フィルムの作製が可能であり、光透過性にも優れている。

想定される用途

- フレキシブルプリント基板用の絶縁材料および接着シート、リジッドプリント基板用のプリプレグおよびプライマーに適している。
- また、接着性が高いことから、半導体パッケージ基板用の低誘電層間絶縁材料に向いている。

企業への期待

- フッ素系およびトリアジン系低誘電損失樹脂の製造または応用展開に興味を持つ企業との共同研究を希望する。
- また、高周波対応のプリント基板への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 低誘電材料用の樹脂組成物、積層基板用フィルム、積層基板、低誘電材料用の樹脂組成物の製造方法、積層基板用フィルムの製造方法及び積層基板の製造方法
- 出願番号 : 特願2021-050547
- 出願人 : 国立大学法人岩手大学
- 発明者 : 大石好行、芝崎祐二、塚本 匡

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称： 低誘電材料用の樹脂組成物、積層基板用フィルム、積層基板、低誘電材料用の樹脂組成物の製造方法、積層基板用フィルムの製造方法及び積層基板の製造方法
- 出願番号 : 特願2021-050694
- 出願人 : 国立大学法人岩手大学
- 発明者 : 大石好行、芝崎祐二、塚本 匡

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : フッ素化アミド化合物、フッ素化含窒素複素
環含有化合物およびフッ素化化合物
- 出願番号 : 特願2021-080688
(原出願: 特願2020-083305)
- 出願人 : 国立大学法人岩手大学、ダイキン工業株式会社
- 発明者 : 大石好行、野口 剛

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 含フッ素ポリエーテル化合物
- 出願番号 : 特願2021-079793
- 出願人 : 国立大学法人岩手大学、ダイキン工業株式会社
- 発明者 : 大石好行、野口 剛

お問い合わせ先

岩手大学

研究支援・産学連携センター

地域イノベーション・エコシステム形成事業事務局

TEL 019-621-6854

FAX 019-621-6892

e-mail iwateeco@iwate-u.ac.jp