

3. 低誘電フィラー・ガラスクロスの開発と市場展開

3-1 高周波用樹脂の低誘電化材料

高周波領域の電子機器には伝送損失の少ない低誘電ポリマーが適用されているが、誘電特性をさらに向上させたり、樹脂の物性を改善するものとして低誘電フィラーや、低誘電ガラスクロス、低誘電の添加剤、改質剤などが用いられている。低誘電ガラスクロスはリジッドプリント配線板の基材に使用されているが、市場に投入されたのは2000年頃で、低誘電化の資材としては早くから用いられている。2010年代の後半には第5世代移動通信システム(5G)の導入に向けた具体的検討が進められ、その中で低誘電ポリマーや低誘電フィラーの応用開発が活発化した。低誘電フィラーは樹脂の低誘電化を目的に使用されるもので、シリカや中空粒子などが用いられている。低誘電フィラーは今後、高周波域で利用される樹脂材料にとって必要不可欠の資材になると予想され、ミリ波通信の拡大とともに市場が広がるとみられる。低誘電の添加剤や改質剤は、樹脂の持つ低誘電特性や機械的特性を維持しながら、樹脂の流動性、接着性、銅箔との密着性などを改善するものである。低誘電の市場では比較的新しい製品であるが、今後は低誘電フィラーと同様に必要不可欠の資材になるであろう。

低誘電材料の中では低誘電ポリマーがメインの材料であるが、通常のプラスチック製品と同様にフィラーや添加剤、改質剤が必要であり、リジッドのプリント配線板にはガラス繊維が不可欠である。これらは5G・6Gの本格的導入や、自動車におけるミリ波レーダの採用拡大に伴って広く普及し、将来的には高周波域で用いられる電子機器の部材として定着していくであろう。

3-2 高周波用コンポジットと低誘電フィラー

3-2-1 セラミックスと樹脂の誘電特性

高周波帯で用いられる誘電体の誘電特性として、信号の遅延時間短縮や伝送損失低減のための低誘電率、低誘電正接が求められる。また基板に用いる場合は、デバイスから発生する熱を効率的に逃がす高熱伝導性や、電極との接合安定性を保つ低熱膨張性、基板材料としての基本的な機械的特性と熱的特性

など、様々な性質を兼ね備えていなければならない。これらの特性を単独の材料で満たすことは困難である。セラミックスは誘電正接が低く、高い熱伝導性や低い熱膨張性を有しているが、低誘電率化が難しく、加工コストも高い。ポリマーは高周波用途に適した低い誘電率を備えているが、誘電正接が一般的に高く、熱伝導、熱膨張についても改善が必要である。このためポリマーをマトリックスにしてセラミックスのフィラーを分散させれば、それぞれの特性を高い水準で保った高周波用誘電材料が可能になる。

図3-1にポリマーとセラミックスの誘電特性を示す。セラミックスは誘電正接が低いものの、誘電率が高く、誘電率を5以下にするのは困難とみられている。ポリマーは、誘電率は低いが、誘電正接が高い傾向にある。従って、図に示した低誘電率、低誘電正接の目標領域を実現するには、ポリマーとセラミックスを

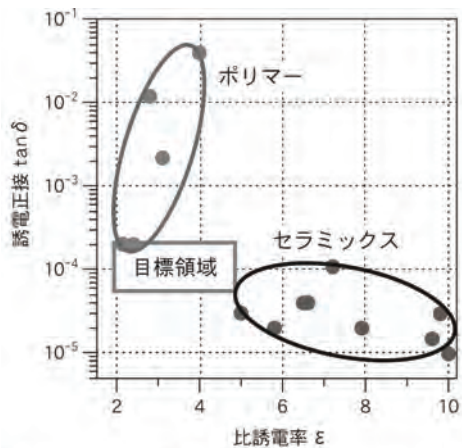


図3-1 ポリマー、セラミックスの誘電特性

複合化することで可能となる。ただ、同図に示したセラミックスの特性は焼結されたセラミックス基板の特性である。フィラーとして粉末状のセラミックスを用いる場合は粉体としての性情に影響されるため、成分の特性がそのままコンポジットに現れることは少ない。また誘電特性だけでなく、セラミックスは剛性や熱伝導性に優れるものの衝撃に弱く、ポリマーは耐熱性や熱膨張率に課題がある。コンポジットではこれらの課題を解消して、実用性のある材料にするものである。

3-2-2 低誘電フィラーの種類と特性

(1) 低誘電フィラーの形状と素材

低誘電フィラーはその形状から粒子(中実)、中空粒子、フレーク、繊維に大別される。素材は粒子がシリカ、窒化ホウ素などで、中空粒子にはシリカ、ガ

ラス、樹脂などがあり、フレークと繊維はガラスである。粒子状フィラーには結晶質シリカ、溶融シリカ、窒化ホウ素などが使用されている。窒化ホウ素は放熱フィラーとして利用されているが、低い誘電正接を有していることから低誘電フィラーとしても市場開拓が進められている。中空粒子は誘電率の低い空気を含有していることから低誘電フィラーとして注目され、参入企業が増えている。素材別では中空シリカ、中空ガラス、中空ポリマーなどがある。繊維はプリント配線板(リジッド)の基材に使用されているガラスクロスに低誘電ガラス繊維が用いられており、そのチョップドファイバーがコンパウンドのフィラーに適用されている。

低誘電のコンパウンドは樹脂を中心に開発が進められ、現在は液晶ポリマー(LCP)、フッ素樹脂(PTFE等)、ポリイミド(PI)、ポリフェニレンエーテル(PPE)などが適用されている。放熱は樹脂の熱伝導性が低いためフィラー添加による高熱伝導化が活発であるが、低誘電はフィラーの応用開発が遅れていた。低誘電フィラーが本格的に市場投入されたのは20年頃からであり、機能性フィラーとしては新しい製品である。低誘電フィラーの市場展開が遅れたのは、市場自体の立ち上げが遅かったことによる。

(2) 低誘電フィラーのコンポジット特性

フィラーに用いるセラミックス粒子は、粒子の組成だけでなく、粒子の大きさ、純度、結晶性などがコンポジットの誘電正接に影響することが明らかになっている。酸化マグネシウム(MgO)は誘電率が9.6、誘電正接が0.00002と非常に低い誘電正接を持つことから有望な誘電体フィラーとみられている。ただ、平均粒径が数百nm以下という小さいMgOをポリマーに混合すると、コンポジットの誘電正接が大きく上昇する。一般に、セラミックス粉体の表面には水酸基などの極性官能基が存在し、この極性基が誘電正接の上昇をもたらしていると考えられている。粒径の小さいフィラーは単位体積当たりの表面積が大きくなり、表面極性基の影響によってコンポジットの誘電正接が上昇したとみられている。このため粒径を数 μm にしてコンポジットを作製すると、低い誘電正接のコンポジットが得られる。しかしセラミックスはポリマーよ