

高周波デバイス用無機有機複合誘電体材料の開発

菅 章紀*

Preparation and Characterization of Inorganic-Organic Composite Dielectrics For High Frequency Devices

Akinori Kan*

MgO filled iPP composites were prepared by melt mixing and injection molding. Dielectric constant (ϵ_r) and dielectric loss ($\tan\delta$) of iPP/MgO composites were measured by cavity resonance method at microwave region. The MgO particles were uniformly distributed in the iPP matrix and the ϵ_r values of composites increased from 2.7 to 4.3, depending on the MgO content (0-30 vol.%). The variation in the ϵ_r values of the composites were compared with theoretical predictions and then experimental data showed a good agreement with mixing rule of Bruggeman model. The dielectric loss on the order of 10^{-4} was obtained in such the composition range.

1. はじめに

通信技術の高度化に伴う情報量の増大やミリ波レーダ等のミリ波帯域の利用拡大により、利用周波数の高周波数化が進んでいる。これらの高周波の信号を伝送する回路基板は、回路パターンとなる電極と誘電体基板から成り、信号の高速伝送のためには、信号の伝播遅延の短縮が重要であり、そのため低い比誘電率 (ϵ_r) が求められる。さらに、信号の伝送の際のエネルギー損失を抑えるためには、誘電体材料の誘電正接 ($\tan\delta$) が小さいことが望まれる。これらの誘電特性に加え、基板の実装の際には、ICチップからの発熱、電極材料との熱膨張のミスマッチ、高抗折強度等観点から機械的および熱的特性も重要となる。誘電体材料としては、主にセラミック、樹脂およびそれらを複合させたコンポジットが挙げられる。セラミックスは、誘電正接 ($\tan\delta$) が小さく、熱伝導率も他の材料より優れているが、 ϵ_r が比較的大きい。一方樹脂では、 ϵ_r は小さく高周波に適しているが、 $\tan\delta$ や熱膨張係数が誘電体材料より大きい。このため、近年、セラミックおよび樹脂のそれぞれの特性を調和させ、上述の応用に適した誘電体材料の開発を目的とした無機有機複合誘電体材料の研究が行われつつある^{(1),(2)}。

そこで本研究では、低い比誘電率をもつアイソタクチックポリプロピレン(iPP)をマトリックス樹脂とし、セラミックフィラーには良好な誘電特性と熱伝導性をもつ MgO を用いた無機有機複合誘電体基板を作製し、その高周波特性と熱伝導性について検討した。

2. 実験方法

原料として高純度の MgO 粉末 (宇部マテリアルズ社製 2000A) と iPP (日本ポリプロ社製 NOVATEC-PP MA3) を用い、iPP に対して 0~30vol% の MgO を温度 200°C、スクリー回転数 50rpm の下、小型 2 軸混練機を用いて混練し、iPP-xvol%MgO コンポジットを作製した。その後、温度 40°C とし、厚さ 1mm、縦×横 50mm×50mm の金型中にそのコンポジットを射出成形し、図 1 に示すようなコンポジット基板を得た。誘電特性の測定には、空洞共振器法(JIS R1641)に基づき、12GHz 近傍に TE₀₁₁ モードの共振ピークを持つ純銅製の円筒キャビティとベクトルネットワークアナライザー (Agilent 8720 ES) を用い、 ϵ_r および $\tan\delta$ を評価した。さらに、その温度依存性を 0°C~80°C の温度範囲にて評価し、誘電率の温度係数(TC ϵ) を求めた。また、コンポジットの断面形態観測には電子放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM)を用い、熱伝導率測定と熱膨張測定には、それぞれ熱流計法と示差膨張方式を用いた。



図 1. iPP/MgO コンポジットの外観

3. 結果と考察

図2に30vol%のMgOを充填したiPP/MgOコンポジット破断面のFE-SEM写真を示す。図から明らかなように、iPPマトリックス中にMgOが均一に分散している。つぎにiPP-xvol%MgOコンポジット ϵ_r および $\tan\delta$ 電率の組成依存を図3に示す。 ϵ_r はMgOの充填量の増加に伴い、2.7から4.3への増加し、これはMgOの ϵ_r による影響であるが、今回合成した0~30vol%の充填量において、当初目標としている低い ϵ_r を示し、高周波に適した ϵ_r を有することが明らかとなった。さらに、 ϵ_r の組成依存に対し、以下の1)および2)式で与えられるMaxwell-GarnettおよびBruggemanの複合則を用い、その計算値と実験値との比較を行った。

$$\frac{\epsilon_c - \epsilon_m}{\epsilon_c + 2\epsilon_m} = v_f \frac{\epsilon_f - \epsilon_m}{\epsilon_f + 2\epsilon_m} \quad (1)$$

$$v_f \frac{\epsilon_f - \epsilon_c}{\epsilon_f + 2\epsilon_c} + (1 - v_f) \frac{\epsilon_m - \epsilon_c}{\epsilon_m + 2\epsilon_c} = 0, \quad (2)$$

ここで、 ϵ_c 、 ϵ_m 、 ϵ_f はそれぞれコンポジット、マトリックスおよびフィラーの比誘電率を示し、本研究では ϵ_m はiPPの比誘電率($\epsilon_r=2.2$)、 ϵ_f はMgOの比誘電率($\epsilon_r=9$)である。また、 v_f は充填したフィラーの体積割合である。図3(a)から明らかなように、MgOの高充填領域において、iPP/MgOコンポジットの ϵ_r は、Maxwell-GarnettモデルよりもBruggemanモデルの方が良い一致を示している。これら実験値と計算値の良い一致は、図2に示すようにMgOがiPPマトリックス中へ高充填、均一分散されていることが一つの要因であると考えられる。さらに、iPP/MgOコンポジットの誘電正接は図3(b)に示されるように0から30vol%の充填量において、 10^{-4} を保持しており、これまでに報告されているコンポジット^{(1),(2)}よりも遥かに低い誘電正接を示し、iPP/MgOコンポジットは高周波デバイスに適した誘電特性を持つことが明らかとなった。

iPP/MgOコンポジットの誘電率の温度係数(TC ϵ)と熱膨張係数(CTE)の組成依存を図4に示す。尚、TC ϵ は0°Cおよび80°Cにおけるそれぞれの ϵ_r から算出した。TC ϵ はMgOの充填量の増加に伴い、-260ppm/°Cから-170ppm/°Cへと変化し、フィラーの充填により、誘電率の温度依存を小さくすることが可能であることが明らかとなった。さらに、熱膨張係数もフィラーの充填により、低熱膨張化が図られ、フィラー充填の有効性が確認された。また、iPP/MgOコンポジットの熱伝導率も0.18W/m・Kから0.4W/m・Kへの改善が認められたものの、さらなる改善が必要であり、熱伝導パスを考慮したフィラーの形状制御などが必要であるものと考えられる。

4. まとめ

本研究で合成したコンポジット材料では、マトリックスとしてiPP、フィラーとしてMgOを用いることにより、高周波に適した ϵ_r および $\tan\delta$ を持ち、かつ低熱膨張化ならびに誘電率の温度依存の抑制が可能であることが明らかになった。しかし、更なる熱伝導率の向上が必要であり、熱伝導パスを確保したコンポジット材料の合成に向け、異方性フィラーの合成の検討が必要であるものと思われる。

REFERENCES

- (1) S. Thomas, V. Deepu, S. Uma, P. Mohanan, J. Philip, M. T. Sebastian, Mater. Sci. Eng. B 163 (2009) 67-75.
- (2) G. Subodh, M. Joseph, P. Mohanan, M. T. Sebastian, J. Am. Ceram. Soc. 90 (2007) 3507-3511.

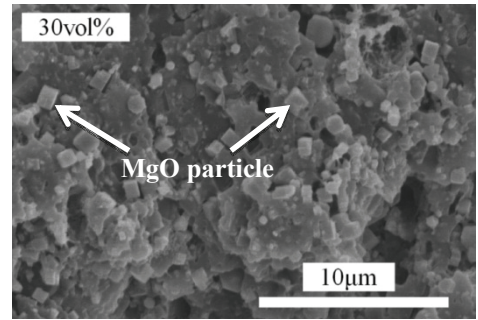


図2. iPP-30vol%MgOコンポジット破断面のFE-SEM

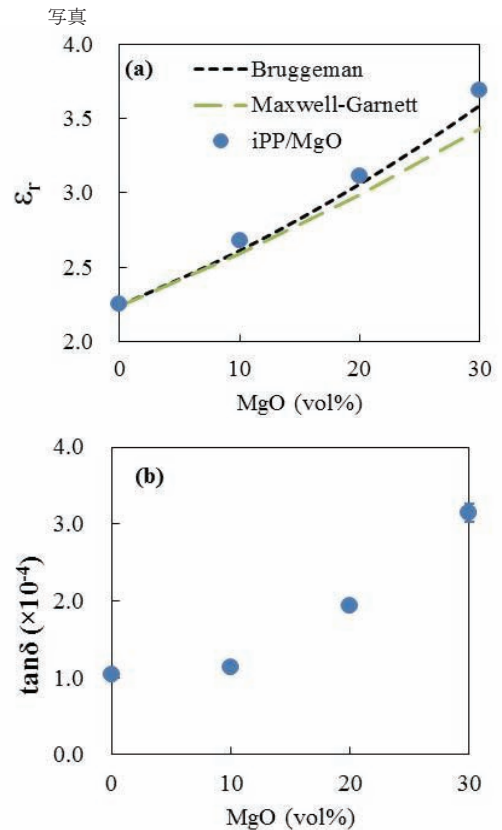


図3. iPP/MgOコンポジットの誘電特性の組成依存

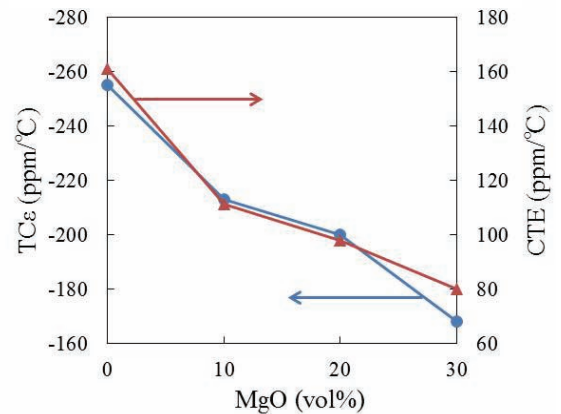


図4. iPP/MgOコンポジットの誘電率の温度係数(TC ϵ)と熱膨張係数(CTE)の組成依存