

6G 移動体ミリ波通信用低比誘電率/超誘電損失セラミックス材料

Ceramics with Low Permittivity and Ultra Low Dielectric Loss for 6G Mobile Communication

○大里 齊^{1&2}, 菅 章紀³, 山本 孝⁴, 小川宏隆¹, 鈴木貞彦²

Hitoshi OHSATO^{1&2}, Akinori KAN³, Takashi YAMAMOTO⁴, Hirotaka OGAWA¹,
Sadahiko SUZUKI²

Nisri¹, MARUSU GLAZE², Meijyo Univ.³, Osaka Prefec. Univ.⁴

E-mail: ohsato.hitoshi@gmail.com

5G/6G では、高速大容量/多接続/低遅延速度が特色である。周波数が高くなると帯域幅を広く取ることができて伝送容量が大きくなり高速大容量となるので、波長の短いミリ波が適している。ミリ波は波長が mm サイズと短いので、波長の短縮効果($\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r / c}$)で波長を短くする必要はない。それ故、誘電率の小さい低比誘電率材料が良い。低比誘電率は遅延速度($TPD = \sqrt{\epsilon_r / c}$)にも効果がある。また、ミリ波では、電波の交番による誘電ロスが大きくなるので、ロス $\tan\delta$ の少ない材料、言い換えると品質係数 Qf ($Q = 1/\tan\delta$) の高い材料が求められている。

5G では、低比誘電率/低損失の LCP (Liquid Crystal Polymer/液晶ポリマー) 等のポリマーが利用されつつある。次世代の 6G では、更なる大容量化が進み、ポリマーから超低損失材料/セラミックスへ変革が進むであろう。Table 1 にポリマーとセラミックス材料の特性を比較した。ポリマーは、低比誘電率に優れ、低誘電損失 ($\tan\delta \sim 10^{-3}$) であるので 5G 用として利用されつつある。一方、超低損失セラミックス材料には、ケイ酸塩系/スピネル系/コランダム系があり、比誘電率は 10 以下で $\tan\delta$ は 10^{-5} とポリマーに比べて損失が 2 桁小さい。ケイ酸塩系は、共有結合性が強い SiO_4 四面体を骨格構造に持つので比誘電率が低く、品質係数 Qf が高い、一方、スピネル系/コランダム系も配位多面体の共有結合性が強いので比誘電率が低く、品質係数 Qf が高い。

Table 1. ϵ_r and $\tan\delta$ of Polymer and Ceramics for candidates of millimeter-wave dielectrics.

(a) Materials for 5G 【Polymer】

材料	ϵ_r	$\tan\delta$	Qf ($\times 10^3 \text{GHz}$)	f (GHz)
LCP	2.91	3.5×10^{-3}	2.85	10
FR-4	4.1	1.2×10^{-2}	0.83	10
PI	3.5	5.0×10^{-3}	2.0	10

(b) Materials for 6G 【Ceramics】

材料	ϵ_r	$\tan\delta$	Qf ($\times 10^3 \text{GHz}$)	f (GHz)
Forsterite Mg_2SiO_4	6.8	6.5×10^{-5}	246	16
Willemite Zn_2SiO_4	6.6	7.0×10^{-5}	219	16
Indialite $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	4.7	9.0×10^{-5}	210	19
Spinel MgGa_2O_4	9.2	4.9×10^{-5}	298	15
Corundum $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$	11.2	3.3×10^{-5}	347	12

LCP: Liquid Crystal Polymer, FR-4: Epoxy glass, PI: Polyimide

謝辞：本研究は、経産省サポイン事業/2009-2013、および科研費 JP22560673, JP25420721, JP16K06735 のサポートを頂いた。

参考文献：セラミックス 56(2021)No.6 495-400, 405-408.