

高周波通信に向けた低誘電損失ケイ素含有炭化水素系ポリマーの合成と誘電特性

東京科学大物質¹○東 友佳¹・高橋 陸¹・佐子奈津子¹・畠山 歆¹・難波江裕太¹・澤田梨々花¹・安藤 慎治¹・早川 晃鏡¹

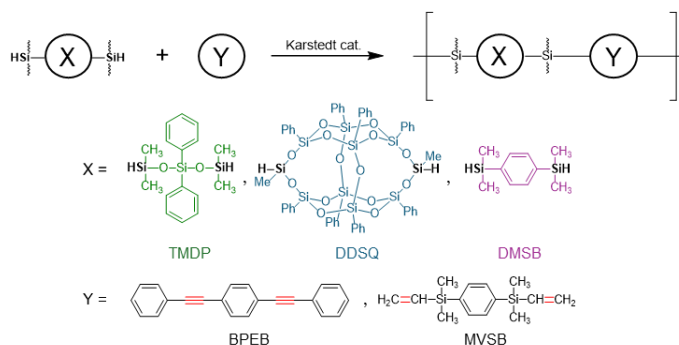
【緒言】

次世代情報通信システムでは、'30年代に向けて高速・大容量通信の実現が求められており、特にミリ波帯を利用した高周波通信の実装が想定されている。しかし高周波領域では伝送損失が顕著に増大するため、層間絶縁膜に用いられる高分子絶縁材料の誘電率および誘電正接の低減が重要となっている。現在、ポリイミドが主要な候補とされているが、その誘電率および誘電正接は次世代通信が要求する水準に対して十分に低いとは言えない。高周波域での誘電損失の低減には、分子レベルでの分極応答を抑制する分子設計が不可欠であり、具体的には、(i) 分極率の小さな炭化水素骨格の導入、(ii) 剛直構造による双極子緩和の抑制、(iii) 自由体積の増大による分子間相互作用の低減、が有効と考えられる。さらに先行研究において、ポリマーへの水分子吸着が誘電率および誘電正接を顕著に増大させることが報告¹されており、吸湿の抑制も重要な分子設計指針である。

本研究では、新規低誘電損失材料の創製を目的として、炭化水素骨格を基本としながら、ケイ素成分を導入したケイ素含有炭化水素系ポリマーの設計と合成を行った^{2,3}。ケイ素の導入により自由体積を増加させると同時に分子の極性を低減し、高周波領域における誘電損失の抑制を図った。得られたポリマーの熱的性質を明らかにした上で、誘電特性を評価し、新しい低誘電損失材料としての可能性を検討した。

【実験及び結果と考察】

目的とするケイ素含有炭化水素系ポリマーは、ジヒドロシランとジインモノマーまたはジエンモノマーの重付加により合成した。重合は、二種のモノマーを混合し、重合溶媒であるトルエン中、Karstedt 触媒存在下で 24 h 攪拌することにより行った (Scheme 1)。重合終了後、重合溶液を大量のメタノールに再沈殿することにより目的とするポリマーを得た。得られたポリマーの数平均分子量は 17.3~75.0 kg mol⁻¹ であり、いずれも高分子量体が得られた。10%重量減少温度は最も低い DMSB-BPEB でも 400℃を超え、優れた耐熱性を示した。



Scheme 1 Synthetic scheme of silicon-containing hydrocarbon polymers via hydrosilylation polyaddition.

自己支持性を示す 6 種類の高分子膜について、空洞共振器を用い 20 および 40 GHz における誘電率および誘電正接の測定を行った。いずれのポリマーも一般的なポリイミドと比較して顕著に低い値を示した。この低誘電特性は、本研究で新たに設計した分子構造において、(i) 極性の低減、(ii) 自由体積の増大、(iii) 水分子吸着の抑制、が相乗的に作用した結果と考えられる。一方、MVSB 由来のポリマーは BPEB 由来のポリマーと比較してやや高い誘電正接を示した。これは、ヒドロシリル化反応により MVSB の二重結合が単結合へ変換されることで主鎖の柔軟性が増大し、分子鎖の局所運動性が昂進したことに起因すると考えられる。すなわち、分子運動性の増大が高周波電場に対する双極子緩和を促進し、誘電正接の増大につながった可能性が示唆された。

【謝辞】

DDSQ は JNC 石油化学(株)より提供された。本研究の一部は、科研費 (25K22280) および JST CREST 研究 (JPMJCR2546) の支援を受けて実施された。

【参考文献】

[1] Sawada, R. Ando, S. *et al.*, *J. Phys. Chem. C* **2024**, 128, 6979-6990. [2] Seino, M. Kakimoto, M. *et al.*, *Macromolecules* **2006**, 39, 3473-3475. [3] Azuma, Y. Hayakawa, T. *et al.*, *Polym. Chem.* **2025**, 16, 3683-3692.

Synthesis and Dielectric Properties of Silicon-Containing Hydrocarbon-Based Polymers with Low Dielectric Loss for High-Frequency Communication

Yuka Azuma¹, Riku Takahashi¹, Natsuko Sashi¹, Kan Hatakeyama¹, Yuta Nabae¹, Ririka Sawada¹, Shinji Ando¹, Teruaki Hayakawa¹ (¹School of Materials and Chemical Technology, Institute of Science Tokyo, 2-12-1-S8-36, Ookayama, Meguro-ku Tokyo 152-8552, Japan), ¹Tel: +81-3-5734-2421, E-mail: hayakawa@mct.isct.ac.jp