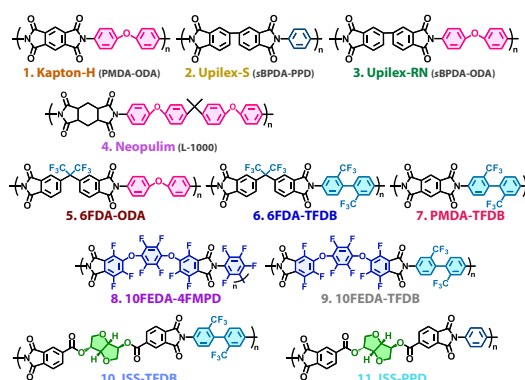


ミリ波帯域 (25~330 GHz) における各種ポリイミドの誘電特性

(東京科学大物質) ○劉 浩男・澤田 梨々花・安藤 慎治 (EM ラボ) 柳本 舎那・柳本 吉之

緒言. 5G 移動通信システムは現在, sub-6 から 39 GHz で運用され, 6G システムではさらに高い周波数域 (最大で 300 GHz) に達すると見込まれている. この技術進展に伴い, 低誘電率 (D_k) と低誘電損失 (D_f) を備えた高分子系絶縁材料の重要性が高まっており, 特に熱安定性, 機械的強度, 優れた誘電特性をもつポリイミド (PI) が注目されている. 本研究では, 25~330 GHz の広い周波数域において, 11 種類の異なる構造をもつ PI (Scheme 1) の誘電分散を詳細に分析し, 5G/6G 移動通信に適した低誘電 PI の新たな設計指針を得ることを目的としている^[1].

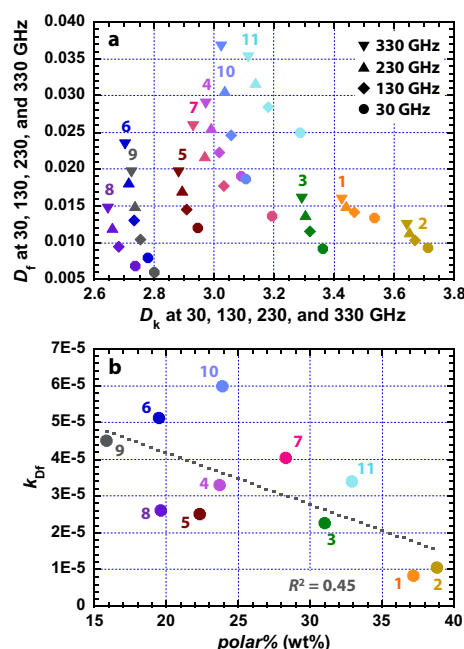


Scheme 1. Structures of PIs utilized in this study.

実験. 試料 1-4 は市販 PI を使用し, その他は前駆体であるポリアミド酸薄膜を熱イミド化することにより得た. D_k と D_f の周波数依存性の測定は, Keysight Technologies 製 N5290A ネットワークアナライザ-ミリ波システムと周波数拡張モジュールを EM ラボ社製 Fabry-Perot 共振器群に接続して行った. 測定温度 25 °C, 相対湿度 45 %に設定した.

結果と考察. Fig. 1a は 4 つの周波数における PI 群の D_k と D_f 値を示している. 高分子材料の D_k は主に電子分極 (P_e) によって決定され, また D_f は双極子分極 (P_d) に強く影響される. 全ての PI の D_k は周波数の上昇に伴って減少したが, これは P_d の寄与が徐々に低下し, P_e を反映する各 PI の (屈折率)² に近づく傾向によると考えられる. また, 高フッ素含量の PI (6, 8, 9) は, 市販 PI (1, 2, 3) と比較して GHz 帯で極めて低い D_k を示したが, これはフッ素原子導入により PI 主鎖の分極率が低減したためと考えられる.

一方, D_f は周波数上昇に伴って増加傾向を示し, その増加率 (k_{Df}) は, 各 PI に含まれる極性基 (イミド基とエステル基) の割合 (polar%) と負の相関を示した (Fig. 1b). また, 6, 8, 9 は 30 GHz で小さな D_f を示すものの, 6, 9 は k_{Df} が大きく 330 GHz でやや大きな D_f を示した. また, TFDB を含む PI (6, 7, 9, 10) では D_f の増加傾向が顕著であり, THz 領域における特異な吸収ピークの影響が示唆される. 一方, 1, 2, 3 は 330 GHz でも低い D_f を維持するが, これは緻密な凝集構造の形成により局所的な分子運動が抑制され, 低 D_f 化に寄与したことを示唆する. 全フッ素化 PI (8) は, 他の PI に比べて顕著に低い D_k と小さな D_f を示し, かつ k_{Df} も極めて小さいことから, 6G 移動通信システムの要求に応える高性能の耐熱性絶縁材料と言える^[2].

Fig. 1. (a) D_f vs D_k and (b) k_{Df} vs polar% of PIs.

参考文献. [1] H. Liu, R. Sawada, S. Yanagimoto, Y. Yanagimoto, S. Ando, *Appl. Phys. Lett.* **2024**, 124, 232903; [2] S. Ando, T. Matsuura, S. Sasaki, *Macromolecules* **1992**, 25, 5858.

Dielectric Properties of Various Polyimides in the Millimeter-Wave Band (25–330 GHz)

Haonan Liu¹, Ririka Sawada¹, Shana Yanagimoto², Yoshiyuki Yanagimoto², and Shinji Ando¹ (¹ Dept. Chem. Sci. & Eng., Institute of Science Tokyo, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, JAPAN; ² EM Labs Inc., 1-4-13 Mizukasadori, Nagata-ku, Kobe, Hyogo 653-0842, JAPAN)

Tel & Fax: +81-3-5734-2889, E-mail: liu.h.al@m.titech.ac.jp