

Micro Review

低消費電力 IT デバイス用の EO ポリマーの開発

Development of EO Polymers for Low Electric Power IT Devices

九州大学先導物質化学研究所 横山 士吉
Kyushu University Shiyoshi Yokoyama

Recently, there is a growing interest in organic electro-optic (EO) materials for use in telecommunication, digital signal processing, and many other applications as active materials in photonic nano-micro devices. This trend of increasing interests in EO materials continues through the development of a significantly high EO coefficient higher than 100 pm/V at telecommunication wavelengths. In this study, we synthesized various kinds of polymers used for the application of EO devices.

インターネットをはじめとする情報通信の発展は、高度なコミュニケーションの実現、物流に代わる作業効率の向上、および情報集約・配信拠点の高速・大容量化を実現してきている。さらに安心安全な社会の実現に向けた通信技術の活用へも大きな期待が集まっており、生活・福祉・医療の現場ではセンシングネットワークとして活用するニーズも高まっている。さらに、情報処理技術においてもクロック周波数による高速化が限界に達していることからマルチコア化が進み、多数のコア間的高速データ伝送速度を達成するためにチップ内での光通信も検討されている。

一方で、情報通信に関わる消費電力は超高速・大容量化とともに増加し、エネルギー消費の少ないネットワークの効率利用に向けた材料・デバイス開発は、情報通信を活用した低炭素社会の実現に向けて必須の課題である。近年、ネットワークの細分化と情報処理の光化が進むにつれ、プラスチックオプティカルファイバー、ポリマー光導波路、および光コネクタなど新たなポリマー技術の開発が進み、実用化に向けた展開がなされている。一方、光情報処理や光変調などの光アクティブデバイスへのポリマーの応用を目指す次世代光情報通信技術の中で高性能光学ポリマーの開発が新技術として大きな注目が集まってきている。その理由として、近年極めて優れた光機能性を有する高分子系材料に関する報告が相次いでなされ、そのデバイス性能が飛躍的に向上していることが上げられる。さらに従来の無機・半導体材料を用いたデバイスと比べて動作電圧を下げることができる省エネルギー技術としても大変大きな関心が集まっている。

本稿では、開発が活発化している超高速・低消費電力の光スイッチングデバイスの実現に向けた電気光学(EO)ポリマーの応用に関して、国際的な開発状況と著者が進めている材料基盤技術の進展について述べる。EOポリマーデバイスの特徴は、無機系デバイスでは到達困難な超高速・低電力動作の光変調や情報処理が可能なことである。

図1に光通信用変調器として実用化されているニオブ酸リチウム(LN)と著者が開発を進めているEOポリマーの電気光学特性を比較する。これまでの研究成果よりLNを大きく超える

非線形光学色素を合成し、EOポリマーとして高い電気光学性能($r_{33} > 150 \text{ pm/V}$)の発現を確認している。さらに光デバイス集積技術によって飛躍的な高速応答と低電力動作を実現が期待できる。EOポリマーを用いた光変調器の作製は、現在の無機変調器の作製と同じプロセスで実現できる点が特徴である。スピンオン技術でEOポリマーを積層した光変調器の試作が進められており、マッハゼンダー型ポリマー光導波路を用いた変調実験では100Gbpsを超える速度と動作電圧 ($V\pi$) が1V以下の低電圧動作が実証されている。

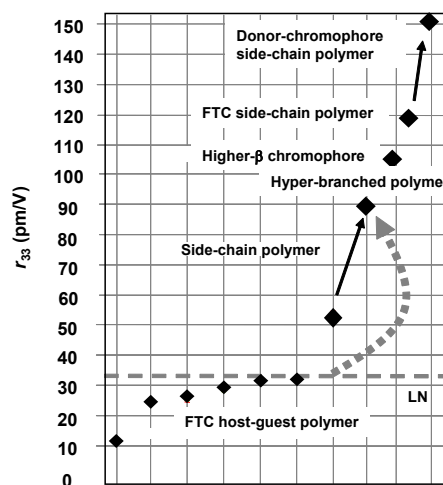


図1 著者が開発を進めている電気光学(EO)ポリマーとニオブ酸リチウムの電気光学特性の比較。

EOポリマーの開発は、高性能NLO色素の設計・合成に大きく依存している。図2に米国を中心に進められてきたNLO色素の光学特性に関してその開発状況を示す。この間、NLO色素の光学特性(超分極率 β)は飛躍的に向上し、1990年代の典型的なNLO色素(DR1など)に比べて、数桁以上の性能向上が達成されている。NLO色素の分子設計は理論的な計算化学に基づく提案もなされており、例えば主骨格にチオフェン環を導入した系(TCF)やポリエン系(YLD)の π 電子共役構造が高い超分極率を示すことが示されている。図2に示したとおり、ポリエン系NLO色素は高い超分極率を達成している。ま

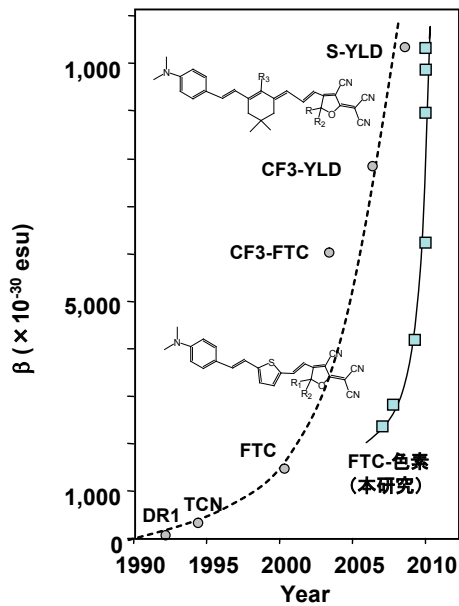


図2 高性能非線形光学(NLO)色素の世界的な開発状況と著者が開発を進めているNLO色素の光学性能。

た、2002年に発表された新規電子アクセプター(トリシアノフラン誘導体)の利用も高超分極率達成にブレイクスルーをもたらしている。一方、著者はポリエン系色素に対してより高い耐熱性と耐光性が期待できる芳香族共役系NLO色素の設計・合成を進めてきた。有機系色素の応用分野で耐久性に関する要求に応えることは重要である。すなわち電子光デバイス分野への展開において、半導体プロセス技術に関与することは必須であり、プロセス耐性を確保する必要がある。例えばEOポリマー変調器の電極配線プロセスでは、局所的に250℃近い熱負荷に耐える必要がある。芳香族共役系色素の耐熱性は高く、著者

らが合成したNLO色素でも280~300℃以上の熱分解温度を有している。著者が合成を進めている新規NLO色素の超分極率特性を図2に合わせて示す。ここではFTC構造を基盤とした強共役系色素の開発を行い、世界的な材料開発競争の中で、光学性能にも耐熱性において優れた特性を得ている。

EOポリマーを用いた超高速・低電力動作の光変調器の実現に向けた機運が高まりつつある。高性能な材料ベースの開発を基盤としたデバイス作製に関する研究も進んでいる。EOポリマー技術は、既存技術に対する大きな利点があると考えられている。その特徴として光変調器の製造が簡単、広帯域、小型・軽量、低駆動電圧、放射線や電磁波等の影響が少ないことが上げられる。特に電磁波等による影響が少ないことは航空機や電化が進む自動車内ネットワークの応用では重要である。さらにEOポリマーは薄膜スピンオン技術を利用しており、製造もCMOS半導体プロセスと類似するため、通信アプリケーション向け光集積デバイスを可能にする高集積に道を拓くだけでなく、チップ内通信の超高速データ処理・伝送にも取り組むことができる。特にチップ内通信は、次世代のマルチコアプロセッサの次課題と見なされており、オンチップ通信は次世代CMOSデバイスで信号をルーティングする最有力の手段と考えられている。

超高速光スイッチング特性、光学低損失、低電力動作、および低製造コストの特性を兼ね備えたポリマー光デバイスの研究開発が、情報通信分野で活発に進展している。これまで未来技術とされてきた光アクティブデバイスの実現に向け、さらに大きな発見とデバイスの高精度化が進むことが楽しみである。大きなブレイクスルーが材料化学から生まれ、先端技術と融合してポリマーの未来素子が実現することを期待する。