

平成23年度 新規委託研究課題
「低消費電力高速光スイッチング技術の研究開発」
研究計画書



1. 研究開発課題

『低消費電力高速光スイッチング技術の研究開発』

2. 研究開発の目的

インターネットをはじめとする高度情報化社会の発展の中で、高度なコミュニケーション技術の実現、通信技術の活用による作業効率の向上、及び安心・安全に関わる通信技術の活用が進められている。今後、動画配信の常態化やクラウドコンピューティングなどの普及によって、ネットワークトラフィックの増加傾向はさらに加速すると予想されており、通信の高速化、大容量化とともに情報通信に関わる消費電力は増大し、省エネルギー化に向けた材料・デバイスの開発も必須となっている。しかし、高速化、大容量化と低消費電力化を同時に満たすことは、既存技術の延長では限界に達している。更には、携帯ゲーム機やスマートフォン、ネットブックなどコミュニケーション媒体の多様化が進み、一人でいくつもの高速スイッチングデバイスを持ち歩く時代に直面しており、資源やゴミ処理の視点から環境への負荷を低減するリサイクル可能な循環対応型材料を用いた低コストのデバイス技術の開発も急務である。

このような状況を鑑み、本研究開発課題では、既存技術の限界を超えた情報通信の超高速・大容量化をこれまでよりも低い消費電力で実現するため、近年飛躍的な性能向上が進んでいる有機 EO ポリマーの応用に着眼し、超高速・低電力動作の有機 EO ポリマーを用いた低コストの超高速光スイッチングデバイスを開発することを目的とする。

情報通信研究機構（以下、「機構」という。）では、高い EO 効果を発現する有機 EO 分子材料とそれを用いた高速高精度変調技術の研究開発を行っており、本研究開発課題では、機構の研究成果を活用してデバイス作製に定常的に供する有機 EO ポリマー材料の製造技術を開発し、その高速性と高効率性を活かし、高速高精度光スイッチング技術を融合発展させることにより、多値変調通信に対応する超高速光スイッチングデバイスを創出する。委託研究期間終了時には、実用的かつ国際的に競争力のある高速スイッチングデバイスを実現し、研究機関にサンプル供給することで、高度情報通信ネットワークの設計検討に資することを目指すとともに、低コスト性により高度光ネットワークの広範な普及促進を図る。

3. 採択件数、研究開発期間及び予算

採択件数：1 件。

研究開発期間：契約締結日から平成 27 年度までの 5 年間。

予算：平成 23 年度は総額 80 百万円を上限とする。提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。なお、平成 24 年度以降は対前年度比で 6% 削減した金額を上限として提案を行うこと。

4. 研究開発の到達目標

本課題では、実用的な有機 EO ポリマー材料から超高速の光スイッチングデバイスまで一連の研究開発を行う。

実用的な有機 EO ポリマー材料としては、光デバイス様態での高い EO 効果と、光学および熱的に耐久性を備えた有機 EO ポリマー材料を定常的に供給可能とする製造技術を開発する。デバイス様態での高機能化を図るために必要であれば、有機 EO ポリマー材料よりも導電率が高いバッファ（クラッド）材料などの付帯技術の開発も含む。

超高速の光スイッチングデバイスにおいては、将来の大容量伝送方式への対応を想定し、多値変調に適応可能な低電圧駆動で高速のスイッチングデバイスの実現を目指す。

尚、具体的な到達目標については下記基準を参考に、提案の際に定量的に記載すること。

1) 定常的に供給可能な EO ポリマーの材料性能

デバイス様態での電気光学特性：EO 性能指数でニオブ酸リチウムの2倍以上

デバイス作製プロセス耐熱性：熱分解温度が 250℃程度

導波路伝搬ロス：波長 1550nm において 1dB/cm 程度

熱安定性：85℃/2000 時間で EO 性能指数の変化が 10%程度

製造バッチ毎の偏差：ガラス転移温度、分解温度、電気光学特性、成膜特性などの偏差が 5%以内

2) 高精度高速スイッチングデバイスの性能

駆動電圧：現在発表されている高性能材料を用いたデバイスの 1 / 2 程度

スイッチング速度：100ps 以下

高周波特性：動作周波数 50GHz 以上

多値変調対応：400Gbit/s 級の通信や 16QAM など多値変調に対応できる精度

デバイスの温度安定性、長期安定性についても到達目標を設定すること

5. 研究開発の運営管理及び評価について

研究開発に当たっては、機構が自ら行っている有機 EO 分子材料の研究（先端 ICT 研究所ナノ ICT 研究室）及び超高速光デバイスの研究（光ネットワーク研究所光通信基盤技術研究室）の成果を活用し、当該研究室との連携を図ること。また、機構が行う有機 EO 分子材料の高機能化とそれを活用したデバイス開発や、機構の有する高速多機能光デバイス技術を応用した評価技術の検討などについて連携を図り実施することを想定している。

また、平成 25 年度に中間評価、平成 27 年度に事後評価を行う。

6. 参考

現在、高性能、光 ICT デバイスは、高速動作を実現するために高い電圧での動作を強いられ、消費電力が大きいという課題を抱えている。また、ハイブリッド車などで需要が急激に伸びている希少金属に依存する材料をベースとするものが多い点も問題である。本課題では、新規材料（有機 EO ポリマー）を用いた超高速光スイッチングデバイスを開発し、性能の向上、消費電力の低減、特定国に集中する資源への依存度低減、環境負荷の低減の同時達成を目指す。この成果は、大容量ノードを支える重要技術となり得るのみならず、将来の低コストデバイスの基盤技術として期待できるものである。

現在、光変調器の帯域は 50GHz 程度であり、既存の誘電体材料（ニオブ酸リチウム）を用いた変調器では限界に達している。一方で、有機 EO ポリマーは高速性に優れており 100GHz を越える帯域での高速動作が期待され、1990 年代に盛んに研究されたものの、大きな EO 効果がなかなか得られず耐久性の問題もあり一旦衰退した経緯がある。しかし、近年米国の研究グループから既存の誘電体材料を越える EO 効果が報告されて以来、再び研究開発が活性化してきている。ただし熱への耐久性などに問題があり、これを克服する研究が機構でなされ、世界トップレベルの EO 効果を示す分子を開発している。有機 EO ポリマーは、その高い EO 効果と加工におけるフレキシビリティの高さから情報処理装置における光配線への応用も期待されている。この場合、CMOS プロセスとの整合性が必要であり、CMOS プロセスの熱処理温度が 250℃であることから、これに耐えうる耐熱性が求められる。

機構においては、先端 ICT 研究所ナノ ICT 研究室で有機 EO 分子材料・デバイスに関する研究を、光ネットワーク研究所光通信基盤技術研究室で超高速光デバイスに関する研究を実施している。ナノ ICT 研究室で開発している有機 EO 分子材料は、全芳香族系のパイ電子共役構造を基本骨格としておりポリエチン系骨格に比べて分解温度が高く、プロセス耐熱性に有利である特徴を有している。また、汎用的なドナー構造を有していることから、これまで報告されているほとんどの有機 EO 分子の EO 特性を向上させることが可能である^[1]。この分子の EO 特性は、全芳香族系のパイ電子共役構造であっても、ポリエチン系分子を凌ぐ特性を示している。この分子を、ポリメチルメタクリレートに分散混合したポリマーにおいて、既存の誘電体材料（ニオブ酸リチウム）の 3 倍の EO 定数を実現している。更に、この分子を側鎖として結合したサイドチェーンポリマーでは、EO 定数で 5 倍、EO 性能指数で 2 倍を実現している^[2]。今後は、ポリマー中の色素濃度の最適化と導電性抑制などにより更なる EO 性能指数の向上が必要である。また、EO 特性の安定性は実用にはまだ十分ではなく、信頼性の高いデバイス開発のためには、有機 EO ポリマーの熱安定性、光安定性の向上を図る必要がある。光デバイスの熱安定性の標準試験として、85℃2000 時間の保存テストが行われており、これを基準に目標設定することが望まれる。既存の無機材料 EO デバイスにおいてはこれまでに様々なデバイス作製・設計・評価手法が開発され、実用と

なっている。有機材料と無機材料には誘電特性、電気特性などの点での差があるが、これまでの知見を活用することは十分可能で、有機材料の特性を生かした新たな作製・設計・評価方法の開発が有効であると考えられる。例えば、有機 EO 材料のもつ低い誘電率を生かした高速デバイスの設計などがあげられる。超高速の光スイッチングデバイスの研究開発では、将来の 400Gbit/s 級の高速通信や 16QAM などの多値変調による大容量伝送方式への対応を想定し、材料の高い EO 効果と高速応答性を活かした構造について検討し、実用的かつ国際的に競争力のあるデバイスを実現する必要がある。そのため、デバイス実現に必要な光集積回路および高周波回路の設計技術、作製プロセス技術の開発が不可欠である。さらに、産業技術への展開のためには、EO ポリマーを用いたスイッチングデバイスに適した実装組立や信頼性の評価が必要となる。評価結果は、材料開発、デバイス作製プロセス開発にフィードバックし、技術としての完成度を高め、実用的なデバイス構成と実装方法の検討につなげていく。本研究開発課題では、これまで自主研究にて開発された有機 EO 分子材料をデバイス作製に定常的に供する有機 EO ポリマー材料の製造技術へと発展させるとともに、この有機 EO 分子材料を用いた高速光デバイスの開発を行い、光通信性能の向上、消費電力の低減、特定国に集中する資源への依存度低減、環境負荷の低減の同時達成を実現する。

- [1] Xianmin Zhang, Isao Aoki, Xianqing Piao, Shinichiro Inoue, Hidehisa Tazawa, Shiyoshi Yokoyama, Akira Otomo, *Tetrahedron Lett.* **51**, 5873-5876 (2010)
- [2] Xianqing Piao, Xianmin Zhang, Yuichi Mori, Masayuki Koishi, Akinari Nakaya, Shinichiro Inoue, Isao Aoki, Akira Otomo, Shiyoshi Yokoyama, *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, **49**, 47-54 (2011)