

研究成果概要書

助成対象事業名	高性能電気光学有機分子をドーピングしたポリマ光変調器及び光スイッチの超低電圧駆動
助成対象事業者 (研究代表者名)	国立大学法人 広島大学 榎波康文

1 事業の概要

本研究の最終目的は、研究代表者榎波と海外共同研究者Jenが共同研究してきた有機分子ドーピングポリマ光変調器のダイナミック駆動電圧(半波長電圧 V_{π})を極限にまで低減し、60GHz以上の高速光通信の消費電力低減を実現することである。研究代表者は海外共同研究者とともに光通信波長1550nmにおいてポリマ光変調器のデバイス環境下での電気光学(EO)係数170pm/V、半波長電圧0.65V、帯域幅60GHzを実現してきた(現時点において誘電体光導波路使用の光変調器最小駆動電圧)。ポリマの屈折率分散(ミリ波と通信波長の屈折率差)は0.1であり、ニオブ酸リチウム(LN)結晶や半導体材料の1/30以下と小さいため、高速光変調に必要なミリ波進行波型光変調器において光波とミリ波の位相整合が容易であることに起因し110GHzの帯域幅が実証されてきた。[3]。さらにEOポリマはLNの5倍以上の高いEO係数が可能であることを代表者はデバイス環境で実証してきた。本研究では海外共同研究者による更なる高いEO係数を有するEOポリマと研究代表者が提案する集積型光変調器や各種スロット光導波路と併用することで、既に代表者が海外共同研究者とともに実現してきた高速、低電圧駆動の光変調器の半波長電圧の更なる低減と集積化に重点を置いた。また、長期安定性に優れたEOポリマを使用しデバイスの長期安定性実証も行い実用化も考慮した。

半導体材料やEOポリマの薄膜化、集積化は容易であるため、インテルとAlex Jenグループなどの半導体製造会社は国家プロジェクトとして、幹線系光通信、RFリンクを高速、低消費電力で行う光変調器の帯域幅拡大、低電圧駆動化及びPC内部のChip-to-ChipやOn-Chip光チップ用半導体光変調器集積化の研究を行ってきた。しかしながら、シリコン光変調器の帯域幅は30GHz以下と狭く、EO係数や電気吸収(EA)係数が小さいため半波長電圧やダイナミック電圧は高い(IBM:Si MZ型7.6V, Cornell大学:Si リング共振器型8.0V, MIT:GeSi EA型3.0V)。グリーンITと言われるIT機器全体の低消費電力化のためには、コンピュータ内部のCPU On-chipで光変調器を集積化した光回路によるサーバ等低消費電力化が必要である。消費電力は駆動電圧の2乗に比例して減少するので、光変調器の低電圧駆動化はグリーンITのために大きく貢献できる。

2 共同研究体制と分担内容

海外共同研究者ワシントン大学Jenは広島大学で行う光変調器に適した高性能有機分子クロモフォアを研究開発し広島大学に送付する。研究代表者は広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所内でポリマ光変調器を作製する。榎波は考案した多層薄膜スロット導波路を用いてポリマ光変調器デバイスを作製する。また、これら光変調器の半波長電圧測定を行い、デバイス作製設計と作製にフィードバックする。榎波は垂直型多層薄膜スロットポリマ光変調器の上部電極をマイクロストリップ線とした高周波電極計算及び設計を行う。これらの実験結果を経て、ポリマ光変調器の低消費電力化、集積化及び高速化を行う。

3 事業の成果

(1) 23年度

ワシントン大学は新規理論の基づき高い光安定性に優れ、高い E0 係数を有する E0 ポリマ SE0100 を開発した。さらにゲスト・ホスト型を採用しているため、E0 ポリマのポーリングの際の温度及び印加電圧のスケジュールが容易であり、高い再現性で高い E0 係数を得ることを可能とした。広島大学において SE0100 の UV 光に対する屈折率変化を測定した。12mW/cm² のコリメートした UV 光を 1 μ m 膜厚の SE0100 に連続的照射し、屈折率変化を測定した。SE0100 の屈折率変化は 7x10⁻⁷/h であり、従来の E0 ポリマに比べて 2 桁以上屈折率が変化しないことを実証した。

広島大学は高屈折率材料 TiO₂ (屈折率 n=2.4) を使用し垂直閉込型多層薄膜スロット導波路を作製した。本スロット導波路に対し通常の誘電体導波路と同様の単一モードに近い出力を得ることができるため光ファイバとの結合損失を低減することができた。グレーティング結合やモード変換器を使用することなく、ブットカップリングにより光ファイバとの結合が可能とした。本導波路と光ファイバの結合損失は 6dB 程度であり、5mm 長の変調器に対し全挿入損失を 12dB まで低減できた。伝搬損失は 12dB/cm であり、シリコンを用いたスロット導波路より 23dB/cm 導波損失を低減した。集積化のためにリング共振器を用いたポリマ光変調器の高速化のための光導波路設計を行った。フィードバックループアームをリング共振に付加し、提案する新規方法 (time-dependent dynamic 法) を用い振幅と位相を正確に計算した。

(2) 24年度

ワシントン大学が開発した従来の SE0100 は光安定性に優れており、広島大学において新規方向性結合器型光スイッチを用いて高い E0 係数 160pm/V をデバイス環境下で実証してきた。23年度は本 SE0100 をスロット導波路に用い光変調器作製を試みた。しかしながら、SE0100 の屈折率は 1.705 と比較的従来の E0 ポリマより高いため、スロット間の E0 ポリマに対する光閉じ込めが十分でないことが、光挿入損失の実験結果から解った。そこで 24年度は比較的 E0 係数は低い、スロット間への光閉じ込め効率が増加する屈折率が 1.621 である低屈折率 E0 ポリマ SE0125 を開発した。本 E0 ポリマの多層薄膜スロット導波路への採用により、光変調を初めて実証することを目的とした。

広島大学は多層薄膜スロット導波路を用いた光変調器としては初めての変調結果を得た。半波長電圧は 5mm の電極長に対し 6.5V で、 $V\pi$ と電極長 L の積は 3.25Vcm であった。デバイス内部での E0 係数は 60pm/V で、更なるポーリング効率向上のためのデバイス材料や光導波路構造の改良が必要であることが解った。ゾルゲル TiO₂ 市販材料を用いてデバイス作製を試みたが、膜厚が均一でなくクラック発生頻度が高かった。今後はゾルゲル TiO₂ 材料研究や他の高屈折率材料の採用に重点を置いて研究を進める。

実証した多層薄膜スロット光導波路型ポリマ光変調器の半波長電圧を低減するために、スロット層間に存在する E0 ポリマへの光閉じ込め効率向上と E0 ポリマのポーリング効率向上の実験を行った。低屈折率多孔性メソポーラスゾルゲルシリカを下部クラッド層の一部に使用してデバイス作製を行うとともに、E0 ポリマに対するポーリング効率向上のため多孔性メソポーラスゾルゲルシリカに UV 照射を行い、ポーリング電流を 10 倍以上増加することに成功した。スロット層の膜厚を非対称とすることにより光閉じ込め効率が向上することを理論解析した。これら組み合わせることにより更なる半波長電圧低減を行う。