

令和 3 年度研究開発成果概要書

採択番号 02101
研究開発課題名 超低消費電力・大容量データ伝送を実現する革新的
EO ポリマー/Si ハイブリッド変調技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、超高速・大容量伝送のコアとなる光変調技術について、高性能 EO ポリマーを用いた Si ハイブリッド集積型光変調器(SPH: Si polymer hybrid modulator)を開発し、将来、超高速光データ伝送のトランスミッタ技術に展開することを目的とする。B5G が普及する 2030 年には、光ファイバ網および移動通信の大容量化が加速するため、情報通信のシームレス化・高速化とともに、カーボンニュートラルに向けた低消費電力化が重要になると予想される。光通信トラフィックをけん引する光コンポーネントとして、SPH は小型・高効率変調器として期待ができ、光・電気融合集積化へも対応できる。SPH 応用の最終目標は、B5G の「超高速・大容量化を実現する技術」および「超低消費電力を実現する技術」に貢献し、実用的な光インターフェースへの実装が可能な集積小型 SPH 技術を構築することである。

令和 3 年度は、Si 導波路と EO ポリマーのハイブリッド構造を設計し、ナノリソグラフィー技術を活用してデバイス作製を進めた。特に変調の低電圧化のため構造の最適化と位相変調部の低光損失化のため作製技術の検討を進め、「高効率 SPH の研究開発」課題では基本的な光学特性の評価と変調特性の解析を進め変調電圧の低減を目的とした。SPH の広帯域化を目指して、Si に代わる新しいハイブリッド構造の検討も進めた。「化合物半導体応用 SPH の研究開発」では、光導波路デバイスを作製するための基板選択やその作製方法、およびナノリソグラフィー条件や EO ポリマーとの適合性について検討を行った。高速変調の信号処理を目的とする「100Gbaud 変調解析の研究開発」では、デバイスを駆動させる高速信号プログラムの作成や得られた信号精度などの解析を行うオフライン復調の高速信号解析プログラムを作成し、SPH の超高速・高精度な信号生成を目指した。本技術は Beyond5G(6G)時代の超大容量光伝送および低消費電力化に有望であると考えられ、世界最高性能の EO ポリマー材料とシリコンフォトリソグラフィ技術を応用することで、100 ボーレートの高性能な光信号生成の実現と光変調デバイスの低消費電力化を目指す。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

国立大学法人徳島大学 <代表研究者>
国立大学法人九州大学
公立大学法人会津大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 290 百万円 (令和 3 年度 77 百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 集積小型 SPH 技術の研究開発
1-a 高効率 SPH の研究開発 (九州大学)
1-b InP 応用 SPH の研究開発 (徳島大学、九州大学)
1-c) 100Gbaud 変調解析の研究開発 (会津大学、九州大学)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	5	5
	その他研究発表	7	7
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 集積小型 SPH 技術の研究開発

EO ポリマーを応用した高効率 SPH の研究開発、化合物半導体応用 SPH の研究開発、および 100Gbaud を目指した変調解析の研究開発を行った。サイズ規定された光トランシーバモジュールでは、光変調器の小型化は必須となるため、シリコン導波路と EO ポリマーをハイブリッド化することで変調器の小型化と効率化を実現することが重要となる。将来的には、シリコンの物理的性質によって制限される帯域限界が予測されるため、この問題を解決する化合物半導体基板を応用した導波路とハイブリッド化技術についても検討を行った。本年度、本研究開発項目で得られた研究成果は、下記の通りである。

1-a 高効率 SPH の研究開発：光伝搬計算法により Si 導波路と EO ポリマーのハイブリッド構造を設計し、ナノリソグラフィ技術を活用して SPH の作製検討を進めた。特に変調の低電圧化のため Si 導波路の最適化と位相変調部の低光損失化のため高精度デバイス作製の検討を行った。開発する SPH の最終的な変調効率の目標は動作電圧特性で 0.1Vcm である。これは、最先端のトランスミッタの性能と比べても優位性が高く、EO ポリマー応用の特徴となる。シリコン光導波路内では、光伝搬モードの集中特性により光電場の増強が期待される。従って、最適化したシリコン導波路内で EO ポリマーを変調させることによって目標値の到達が期待できる。最終目標値の達成まで段階的に SPH の最適化を進めるため、本年度は、動作電圧特性を指標として 0.2 Vcm を目指した。その結果、0.18 Vcm の SPH の作製に成功した。今後、得られた課題を考察しさらなる効率化を目指す。

1-b InP 応用 SPH の研究開発：SPH の設計では、シリコン光導波路内の高い光電場強度と EO ポリマーの電気光学特性を組み合わせ、小フットプリント、低電圧動作、および高速変調の機能を付与することができる。本課題では、Si より高い電気移動度を持つ化合物半導体の応用に着眼して、光変調の高効率化につながる SPH の検討を行った。本年度は、SPH 応用が可能な基板作製とナノ加工技術の条件検討、およびポリマーハイブリッド化の検討を行い世界初の InP 薄膜基板を用いたナノ導波路構造および低損失導波路の作製プロセスを開発した。また、SPH の高効率化につながることを期待できる電極構造を設計・作製し光学損失などの基本性能を解析した。その結果、ナノ導波路内へのポリマーの充填や高い導電率と低光損失を実現可能な構造パラメータなどの諸条件を得ることができた。新たな電極構造に関しては、特許出願を行った。

1-c 100Gbaud 変調解析の研究開発：本課題では、SPH を低電圧動作で光変調・信号生成し高効率 100Gbaud 伝送を実現することが目標となる。100Gbaud レベルの信号制御技術では、パルス振幅や波形形成を高精度に制御した後に電気信号を SPH に入力する必要がある。また、SPH から発生する変調信号についても、適切なオフライン復調によってデジタルシグナル処理が必要となる。本年度は、まず送信側のイコライザとして OOK 信号と PAM4 信号に適応

可能な線形及び非線形 FFE の制御プログラムを作成した。作成したプログラムの実験的な検証を行い、70GHz 帯域の信号処理とビット誤り率の計測を行った。また、受信側イコライザとなる DFE のプログラム作成にも着手し、高速動作のポリマー変調器を用いた信号解析試験を行い、作製プログラムの検証を行った。

(8) 今後の研究開発計画

Beyond 5G おける高速・大容量通信に向けて、SPH 技術でチャンネル当たり 100Gbaud 以上の高速光信号伝送を実現する。EO ポリマーと Si ハイブリッド導波路の融合技術によって高効率変調器を応用し、産業的にも有用な光トランシーバの超高速化と低消費電力化に貢献する。将来的に、多並列化した大容量データ伝送技術を活用し、100 テラビット級の超高速伝送技術の開発につなげることが目標となる。

研究開発する SPH が持つデバイス性能の最終目標は、以下の通りである。

- 動作波長 : C 帯および O 帯
- シンボルレート : 100Gbaud
- 損失 : 1dB 以下
- 動作電圧 : 1V_{pp} 台
- 信号精度 : 誤り率 10⁻⁵未満

目標の達成と社会実装協力企業による実用化への移行に向けて、「高効率 SPH の研究開発」では、材料とデバイスの両側面から SPH の高性能化を進める。特に光変調の高速化では RF 動作特性の向上は重要である。このため「半導体応用 SPH の研究開発」を進め、Si では原理的に困難なデバイス特性の制限を解決し、SPH に応用する。100Gbaud を超える高速変調では、FFE 及び DFE の信号補正技術の活用は必須である。「100Gbaud 変調解析の研究開発」では、大容量の信号処理に対応するイコライザ機能を活用して、高精度な高速信号伝送を実証する。目標を確実に達成させるため、研究開発では段階的に SPH の効率化を進めていく予定である。令和 4 年度、「高効率 SPH の研究開発」では高速変調の動作電圧を 2.0V_{pp} 以下として 100Gbaud の光変調実験を進める。特にここでは、SPH の RF 応答性が重要となるため、高周波数デバイス設計も取り入れたデバイス作製に取り組む。デバイス特性面では、シリコンに代わりより優れた帯域特性が見込まれる半導体基板の応用が有効である。「高性能半導体応用 SPH の研究開発」では、シリコンハイブリッド技術で得られた知見をもとに高性能半導体基板の応用について検討を進め、SPH のさらなる広帯域化・低電力化を狙う。また、高速データ伝送で必須となる FFE 及び DFE の信号補正技術については、「100Gbaud 変調解析の研究開発」に取り組み、イコライザ機能を高めるため機械学習を応用した方式についても検討を進める。