

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 03601
研究開発課題名 空間並列チャネル伝送に向けた垂直入射型ナノハイブリッド光変調器・受信器の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、最先端のナノハイブリッド基盤技術を活用することで、2次元アレイ化が可能な垂直入射型の光変調器とコヒーレント受信器の実現を目指す。有機/無機、誘電体/金属を融合したナノフォトニック構造を駆使することで、垂直入射型にも関わらず十分な効率を達成し、高密度集積化を図る。これにより、これまで長距離メトロ・コア網を主としてきた大容量空間多重光送受信器の小型化、低コスト化、低消費電力化を推し進め、Beyond 5G の光アクセス網において大量に必要となるテラビット級光トランシーバを実現するための基盤技術を確立することを目的とする。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 5 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東京大学<代表研究者>
浜松ホトニクス株式会社
株式会社 KDDI 総合研究所
国立大学法人静岡大学

(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 129 百万円 (令和 4 年度 80 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 ナノハイブリッド光送受信素子開発

- 1-a) 垂直入射型光変調器・受信器の開発 (国立大学法人東京大学)
- 1-b) プラズモニック偏光フィルタ技術の開発 (国立大学法人静岡大学)
- 1-c) 大面積・高集積化技術の開発 (浜松ホトニクス株式会社)

研究開発項目 2 空間並列コヒーレント伝送システム実証

- 2-a) 垂直入射型コヒーレント受信器実証 (国立大学法人東京大学)
- 2-b) 空間並列コヒーレント伝送システム実証 (株式会社 KDDI 総合研究所)

(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	2	1
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	23	21
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	1
	展示会	0	0
	受賞・表彰	4	4

(7) 具体的な実施内容と成果

1-a) 垂直入射型光変調器・受信器の開発 (国立大学法人東京大学)

変調器に関しては、二量格子構造を導入することで、3dB帯域>20 GHz、Q値>100、消光比10 dB以上の共振が得られる条件を見出した。さらに原理検証用素子を試作し、二量格子構造による共振機能が得られることを実験的に実証した。受信器に関しては、昨年度試作した原理検証用素子の評価を行い、1300~1600 nm以上の広い波長範囲において動作することを実験的に実証した。

1-b) プラズモニック偏光フィルタ技術の開発 (国立大学法人静岡大学)

金属-半導体-金属 (MSM) 型受信器に対して、1.55 μm 波長帯における吸収効率が最大となるよう、櫛歯電極型プラズモニック回折格子の金属種類、構造周期、線幅、厚さの各パラメータをFDTDシミュレーションにより最適化した。解析の結果、表面プラズモンの波数と半導体層内導波路モードの波数とが一致するとき、吸収効率が極大値を示すことを明らかにした。回折格子周期470nm、InGaAs層厚さ300nmのとき、表面プラズモン共鳴と導波路 TM_0 モードとの結合により吸収率が42%となることを解析的に示した。

1-c) 大面積・高集積化技術の開発 (浜松ホトニクス株式会社)

垂直入射型光素子に用いるSOQ基板上に、ナノインプリント法によりサブ波長グレーティング構造をダメージなく転写できることを実証した。同時にナノインプリント法を用いた良好なSiエッチング条件を見出した。また、プロセス条件の最適化により垂直性の高いSi格子構造の形成、グレーティング構造への良好なEOポリマーの埋め込みを実現した。さらにEOポリマーのポーリングに必要な環境を構築した。以上のプロセス条件に基づいて垂直入射型光素子の構造設計を開始した。

研究開発項目2 空間並列コヒーレント伝送システム実証

2-a) 垂直入射型コヒーレント受信器実証 (国立大学法人東京大学)

研究開発項目1-aで試作した受信素子を用いてコヒーレント受信器を構成し、4つのフォトディテクタの光電流信号から差動増幅した信号を取り出すことで、光信号のIQ成分を抽出できることを実証した。さらに、1280~1630 nmの波長範囲において、12.5 GBd QPSK信号の受信実験に成功した。

2-b) 空間並列コヒーレント伝送システム実証 (株式会社KDDI 総合研究所)

研究開発項目1-a)で開発した素子を用いて空間並列伝送を行うための検証を行い、当初目標(100 Gbps)を上回る単一偏波、単一チャネルあたり最大200 Gbps(50 Gbaud 16QAM)の伝送レートを達成した。また回路規模削減・低消費電力化のための新規信号処理技術に関する基礎検討を完了した。さらに1台のレーザのみで周波数・空間の全チャネルを賄う究極的なコヒーレント伝送システムの実現可能性を実証し、本構成を用いて10 Tbps以上の伝送を達成した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目1：ナノハイブリッド光送受信素子開発

1-a) 垂直入射型光変調器・受信器の開発 (国立大学法人東京大学)

変調器について、前年度に検討した二量格子構造を導入することで、安定して高いQ値の共振が得られることを実証する。また、アレイ化に適した裏面照射型素子を試作実証する。一方、受信器については、前年度に実証した垂直入射型ホモンダイン受信器の改良を図る。偏光子、エビ構造、及び、電極パターンの設計と作製プロセスの最適化を行い、高性能化を図る。

1-b) プラズモニック偏光フィルタ技術の開発 (国立大学法人静岡大学)

超高速・高感度な金属-半導体-金属 (MSM) 型受信器の実現に向けて、1.55 μm 波長帯に

おける吸収効率を最大化するプラズモニック偏光フィルタを開発する。前年度の(1)金属下面増強型、(2)半導体層内導波路結合型の2つの観点から取り組んだ FDTD シミュレーション解析結果をもとに、InP 基板上に楕円電極型プラズモニック回折格子を試作する。試作構造の反射スペクトルを計測し、表面プラズモン共鳴特性を実証する。並行して、FDTD シミュレーションにより(3)集光型のプラズモニック偏光フィルタの構造パラメータを最適化する。局所的増強効果を最大限活用し、高速化・高感度化・低消費電力化を同時に達成する新規プラズモニック偏光フィルタ集積光受信器の基盤技術を確立する。

1-c) 大面積・高集積化技術の開発（浜松ホトニクス株式会社）

量産に最適なナノインプリント法を用いて、これまでの研究で最適化された周期約 800nm、デューティ比約 50%の Si サブ波長グレーティングをデバイス用 SOQ 基板上に作り込み、所望のナノ構造が得られることを確認する。その後、プロセス工程の最適化・条件出しを図り、垂直入射型光変調器を作製する。さらに、デバイスの大面積・高集積化に向けてこれまでに開発した垂直性の高いグレーティング構造、良好な EO ポリマーの塗布・ポーリング条件に基づいて、10 チャンネル以上に集積化された垂直入射型サブ波長グレーティング光変調器を開発する。

研究開発項目 2 空間並列コヒーレント伝送システム実証

2-a) 垂直入射型コヒーレント受信器実証（国立大学法人東京大学）

前年度に実証した単一チャンネル素子に基づき、4アレイ素子への拡張を目指す。GSGSG 電極を両側に配置したアレイ化素子のレイアウトを設計し、素子の試作と実装を行う。まずはチャンネル毎に基本特性を評価し、全ての受光素子が適切に動作することを確認する。その上で、項目 2-b)と連携し、マルチコアファイバとの一括光結合に向けた最適な実装手法を検討する。並行して、偏波分離素子を適用した偏波多重コヒーレント受信器の構成を検討し、最適な構成を見出す。

2-b) 空間並列コヒーレント伝送システム実証（株式会社 KDDI 総合研究所）

垂直入射コヒーレント受信器のアレイ化を検討することで、10 以上の並列空間チャンネルの実現性を検討する。具体的には、配線なども考慮した上で最適な PD アレイの構造を検討すると同時に、商用で実現されている PD アレイなどの流用についても検討し、多チャンネル垂直システムに、より最適な PD アレイ構造の検討を行う。また PD アレイとファイバとの結合のためのレンズ系も試作し、マルチコアファイバを含む、垂直受信器をサブシステムとして評価する。加えて、回路構成の簡素化・低消費電力化のため、並列空間受信の特性を活かした新規信号処理技術の検討も行う。具体的には、位相雑音補償部・分散補償部などの電力の試算をもとに、これら機能を削減した際の電力への寄与について検討する。さらに、注入同期などの光領域での信号処理についても、その電力削減への寄与について調査し、両者の比較を行う。