

令和 5 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な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 5 年度までの総額 185 百万円 (令和 5 年度 56 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	7	5
	外国出願	1	0
外部発表等	研究論文	4	2
	その他研究発表	45	22
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	2	1
	展示会	0	0
	受賞・表彰	4	0

## (7) 具体的な実施内容と最終成果

### 研究開発項目 1 :

#### 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)

高屈折率格子型変調器に関しては、偏波モードの最適化等を行うことで、従来設計に比べて変調効率が 1.7 倍に増長されることを発見し、10dB 以上の消光比が得られることを数値的に実証した。さらに、素子を試作し、400 以上の Q 値、15% 以上の変調を実験的に実証した。また、シリコンの代わりにインジウムリンを用いることで、光損失 0.6 dB 以下、3dB 変調帯域 17.5 GHz が達成できることを実証した。プラズモニック格子型強度変調器に関しては、二量格子構造を導入することで、格子内に入射光が強く閉じ込められ、Q 値 > 100、消光比 10 dB 以上の共振、100 GHz 以上の変調帯域が得られる条件を見出した。さらに素子を試作し、二量格子構造による共振効果と変調機能を実験的に実証した。偏光子集積型ホモダイン受信器に関しては、単一アレイ素子の設計を行い、偏光特性が最大となる格子構造、及び、RC 変調帯域が 20GHz 以上となる構造を見出した。さらに、原理検証用素子の試作を行い、当初目標を上回る、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。また、4 チャンネルアレイ化素子を試作実証し、空間並列化に向けた拡張性を示した。

#### 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  $\mu\text{m}$  波長帯における吸収効率を最大化するための櫛歯電極型プラズモニック格子の設計手法を確立した。伝搬型表面プラズモン共鳴の分散関係を Au/InP 界面に適用した解析モデルを構築し、プラズモニック格子の構造パラメータの最適化により 1.55  $\mu\text{m}$  波長帯において表面プラズモン共鳴の定在波が励起されることを新たに見出した。さらに、InGaAs 吸収層を InP/InGaAs/InP 導波路と見立て、導波路モード伝搬波長と Au/InP 界面に励起される表面プラズモン共鳴の伝搬波長とを一致させることにより、約 8 倍の吸収効率向上、偏波弁別性 54.4dB を解析的に達成した。その結果、InGaAs 吸収層を 300 nm まで薄膜化されることで 100GHz 以上の応答速度が達成できることを明らかにした。

#### 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)

ナノインプリント法を用いて、各種条件の最適化を行うことで、ナノサイズ構造を樹脂レジストに転写し、素子基板にダメージを与えることなくリソグラフィ可能であることを実証した。その上で、研究開発項目 1-a) において実証した垂直入射型光変調器の作製方法を確立した。また、垂直入射型光送受信素子の高集積化に向けて、垂直性の高い格子構造を形成し、格子内に EO ポリマーを埋め込むための手法を確立した。さらに、4 コアファイバに適合した 4 チャンネルデバイスと、バンドルファイバに適合した 16 (4×4 アレイ) チャンネルデバイスを作製し、高集積化したナノハイブリッド光変調器の実現性を示した。

### 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。また、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。さらに、誘電体メタサーフェスを用いた垂直入射型の 4 チャンネル偏波多重コヒーレント受信器の実証に成功した。

#### 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、単一チャンネルあたり最大 200 Gbps (50Gbaud 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。1 台のレーザのみで周波数・空間の全チャン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 10Tbps 以上の伝送を達成した。さ

らに、マルチコアファイバと垂直結合可能な小型な多チャンネル並列受信器の試作を完了させ、伝送特性の評価を通して本方式のマルチコアファイバとの親和性並びに面方向への拡張性を示した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究課題では、空間並列性に優れ、チャンネル数の拡張性が期待できる垂直入射型光送受信デバイスの基本技術を確立し、そのための基本特許を取得した。今後も引き続き、国際会議や論文誌による外部発表と各種プレスリリースを通じて成果発信を積極的に行うことで、本方式の優位性を国内外にアピールするとともに、日本のみならずグローバルな視点で MSA や標準化につながる仲間づくりを加速させる。特に、2次元空間への拡張性が利点となる本デバイスは、日本が先導するマルチコアファイバ技術との親和性が高いことから、ファイバメーカーや光実装関連の企業・研究機関と強力で連携しながら、マルチコアファイバとの接続性やチャンネル数の拡張性を先行して実証する。このように、中核となる技術の知財獲得（クローズ戦略）を徹底した上で、日本が得意とする技術と融合させながら本方式の優位性を広く共有（オープン戦略）することで、本成果の展開・普及を強力で押し進める。

また、本課題期間中に革新的な垂直入射型送受信器の原理検証と基本的な性能実証に成功した一方で、実際の実用化に向けては諸特性の改善が必要となる。そのために、素子構造、材料、作製・実装プロセス等の最適化を繰り返して性能向上を図る。これらの開発と並行して市場調査を行うことで、B5G 通信分野はもとより、有望な応用分野を幅広く探索し、各用途において求められる素子特性を明らかにする。これらの結果を通して事業化への見込みを判断した後に、スピーディーに実用化を進める。