

研究成果概要書

助成対象事業名	高次機能半導体フォトニックデバイスを用いた全光型パケットスイッチノードに関する研究
助成対象事業者 (研究代表者名)	奈良先端科学技術大学院大学 河口 仁司
1 事業の概要 <p>光信号のまま IP パケットごとにルーティング処理を行うフォトニックパケットルータをベースとしたオールオプティカルネットワークの実現が期待される。ルータには、ヘッダーの識別、IP パケット単位でのスイッチ機能、パケットの衝突防止のためのメモリ機能が不可欠であり、これらをフォトニック技術によって実現することが課題である。</p> <p>研究代表者の奈良先端大研究グループは、これまで、偏光双安定面発光半導体レーザ及びこれを用いた全光型高速光バッファメモリの研究を行ってきた。これまでに、半導体レーザをベースにした光双安定素子では世界最小バイアス電流である約 1 mA での動作、シフトレジスタ機能、世界最大容量の 4 ビットメモリ動作、世界最高速の 40 Gbit/s NRZ 信号のメモリ動作などを実現し、世界を大きくリードしてきた。</p> <p>光パケット通信及びそのためのネットワークの全光化はヨーロッパを中心に盛んに検討されている。ケンブリッジ大学 (英国) の Prof. White は、光通信およびそのための光デバイスの研究開発においてヨーロッパで中心的な役割を果たしており、将来の光ネットワーク構築のための光パケットスイッチングに関する共同研究をヨーロッパ内で活発に行っている。一方、デンマーク工科大学 (デンマーク国) の Prof. Mørk は半導体光デバイス理論の第一人者であり、スローライトの起源と応用で先駆的な研究成果を上げるとともに、半導体レーザなどの光デバイスの特性を理論・実験の両面から深く研究している。</p> <p>本研究開発では、以上の様に大きな実績を持つ 3 つの研究グループが共同し、パケット通信用全光型ルータに必要な機能や性能を総合的に明らかにするとともに、研究代表者らが研究開発してきた偏光双安定 VCSEL の高速偏光スイッチ機能とメモリ機能を用い、ヘッダーの識別回路を構成する。4 ビット 40 Gbit/s のヘッダー信号の全光型信号処理を行い、その光出力で光スイッチを切り替えることにより、パケット信号の行き先を決める。ヘッダーの付け替えを可能にするとともに、本研究開発の中でビット数の拡張性を明らかにする。又、基本デバイスである偏光双安定 VCSEL 自体の一層の高速化・省電力化も検討する。</p> 2 共同研究体制と分担内容 <p>奈良先端科学技術大学院大学河口を研究代表者として、奈良先端科学技術大学院大学、University of Cambridge、Technical University of Denmark の 3 大学が共同で研究を行った。研究代表者及び共同研究者は以下のとおりである。</p> <p>研究代表者：河口仁司 (奈良先端科学技術大学院大学) 共同研究者：片山健夫 (奈良先端科学技術大学院大学) 池田和浩 (奈良先端科学技術大学院大学) Ian Hugh White (University of Cambridge) Jesper Mørk (Technical University of Denmark)</p> <p>[分担内容]</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 光ルータの検討：奈良先端大、ケンブリッジ大、デンマーク工科大(2) ヘッダー識別、ノード技術：奈良先端大、ケンブリッジ大(3) 偏光双安定半導体レーザの高速化：奈良先端大、デンマーク工科大(4) 偏光双安定半導体レーザの低消費電力化：奈良先端大、デンマーク工科大	

3 事業の成果

助成対象期間（平成 23・24 年度）の 3 つの主要な研究成果について述べる。

(1) 全光型ヘッダ識別による光パケットスイッチング(3 研究機関の共同研究の成果)

全光型パケットスイッチングの実現に向けて、種々の全光型信号処理技術が提案されている。本研究では、1.55 μm 帯偏光双安定 VCSEL の高速光 AND ゲート機能とメモリ機能を用い、全光型パケットヘッダ識別に基づく光パケットスイッチングを検討した。AND ゲート動作により、4 ビットのヘッダ中の 1 ビットを識別し、 2^4-1 ビット、疑似ランダム (PRBS) 40 Gb/s NRZ 信号のペイロードのスイッチングを実現した。光パケット中の識別したいヘッダビットに時間を合わせてセット光を合波し、90° 偏光で発振している VCSEL に対して 0° 偏光で入射する。‘1’ のヘッダビットとセット光を合波した時に VCSEL の偏光スイッチング閾値を超えるように光強度を設定することで、ヘッダビットの ‘1’ か ‘0’ かに応じて VCSEL の発振偏光が 0° か 90° に定まり、AND ゲート動作によるヘッダ識別が実現する。VCSEL の出力光を偏光子を通して 0° 偏光発振時（ヘッダビットが ‘1’ のとき）にのみ光出力が得られるようにし、これを光パケットが通過する光スイッチの制御信号とすることで、ヘッダ識別の結果にもとづく光パケットスイッチングを実現した。

(2) 偏光双安定面発光半導体レーザーの省電力化・高速化(奈良先端大の成果)

偏光双安定 VCSEL に酸化狭窄構造を導入し、消費電力の低減をはかった。980 nm 帯偏光双安定 VCSEL に酸化狭窄構造を導入することにより、レーザー発振しきい値電流を 0.22 mA と極めて小さくした。半導体レーザーをベースとした光双安定素子としては世界最小である 0.85 mA のバイアス電流で駆動し、光パルスを入力して全光型フリップフロップ動作を実現した。この結果は、1.7 mW の消費電力で 1 ビットの光メモリが実現できることを示している。

又、一層の高速動作をめざし、通常の VCSEL に比べ共振器の反射率を下げるとともに、活性層の光学利得を増加した VCSEL を試作した。偏光双安定 VCSEL を高速メモリ動作させるためには、大きな周波数離調（注入光周波数の VCSEL 発振周波数からのずれ）をもつ光入力を用いても、偏光スイッチングのために必要な光入力強度が大きく上昇しないようにする必要がある。このため、本研究では共振器の反射率を下げた。試作の結果、1 mA でレーザー発振し、偏光双安定特性も得られた。スイッチングパワーの離調特性測定の結果から、より一層の高速動作が期待できることがわかった。

(3) 偏光無依存高屈折率差サブ波長回折格子構造反射器(奈良先端大とデンマーク工科大の成果)

本研究を実施する中で、偏光無依存高屈折率差サブ波長回折格子(HCG)と、これを光共振器として用いる光導波路結合型 HCG-VCSEL を着想した。デンマーク工科大と共同で、偏光双安定 VCSEL のスイッチングの高速化に向けて、偏光無依存な反射特性をもつ HCG 構造とその作製トレランスを数値計算により検討した。その結果、波長 0.97 μm を中心として 80 nm 程度の高反射率帯が存在しており、これは DBR の高反射率帯の幅と同程度であり、また、その帯域での反射率は 99.5 % を超えており、VCSEL 用の反射器として十分な反射特性を有していることがわかった。この結果は、奈良先端大とデンマーク工科大の共著論文・K. Ikeda, K. Takeuchi, K. Takayose, I-S. Chung, J. Mørk, and H. Kawaguchi, “A polarization independent high index contrast grating and its fabrication tolerances,” Appl. Optics 誌 52 (2013.2) 1049-1053 で発表した。

又、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用いて、1.55 μm 帯の偏光無依存 HCG を作製し、偏光に依存しない高反射率特性を得た。さらに、HCG を共振器用鏡として用いた VCSEL の光導波路への光結合率を数値計算で見積り、VCSEL の発振偏光を切り換えることにより、出力導波路を切り換えるスイッチとしても用いることができることを明らかにした。従って、光導波路結合型 HCG-VCSEL は高速偏光双安定 VCSEL の実現とその Si 基板上への集積化に有望であることが明らかとなった。

本研究の成果をもとに、平成 25 年度以降は以下の事項を検討する。

- (1) 高速・多ビットヘッダ信号の識別およびこれに基づく光パケットスイッチの実現
- (2) Q 値の低い VCSEL を用い、40 Gb/s RZ 信号に対するメモリ動作実現
- (3) 光導波路結合型 HCG-VCSEL の多機能性の実証と Si フォトニクス集積光源への応用