

長波長偏光双安定面発光半導体レーザを用いた全光パケット スイッチノードに関する研究開発 (071507001)

研究代表者

河 口 仁 司 奈良先端科学技術大学院大学

Hitoshi Kawaguchi Nara Institute of Science and Technology

研究分担者

片 山 健 夫[†] 坂 口 淳[†]

Takeo Katayama[†] Jun Sakaguchi[†]

[†]奈良先端科学技術大学院大学

[†]Nara Institute of Science and Technology

研究期間 平成 19 年度～平成 21 年度

概要

オールオプティカルネットワークの実現のために不可欠な、ルータに用いられるパケットの衝突防止のためのメモリ機能を偏光双安定性を用いて実現した。各レーザに光信号を 1 ビットずつ偏光状態として記録し、必要なタイミングにあわせ記録信号を読み出すことができる。信号の一括転送可能なシフトレジスタ機能を検討し、2 ビット並列×シフトレジスタ機能の 4 ビット動作を実現した。又、バッファメモリのプロトタイプモジュールを作製した。

Abstract

We created a novel optical buffer memory with a shift register function using polarization bistable vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs). The optical buffer memory will become a key device which can handle the contention of output ports at an optical packet-switching node. A bit state of optical digital signals, "0" or "1", is stored as a lasing liner polarization state of the VCSEL, 0° or 90°, and can be read out at an arbitrary timing. We have demonstrated a 4-bit optical buffer memory which is constructed with parallel connected two sets of shift register memory. We have also realized a prototype module of the optical buffer memory.

1. まえがき

高速、低消費電力、低コストかつ急増するトラフィックにフレキシブルに対応できる超高速フォトリックネットワークの実現が不可欠である。信号の収束分配を行うノードにおける信号処理量の増大が問題になっている。現状のネットワークにおける、IP パケットのルーティング等の信号処理は電気的に行われており、その速度限界によって大容量化が難しいこと、中継のたびに電気-光信号変換が必要になるため消費電力が大きくなり、又コスト増を招く等の欠点がある。超高速フォトリックネットワーク実現のためには、ノードにおいて光信号を電気信号に変換することなしに中継信号処理を行う技術が必要となる。フォトリックパケットルータの主要部であるフォトリックパケットスイッチには、短時間でのスイッチ機能と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、これらをフォトリック技術によって実現することが課題である。とりわ

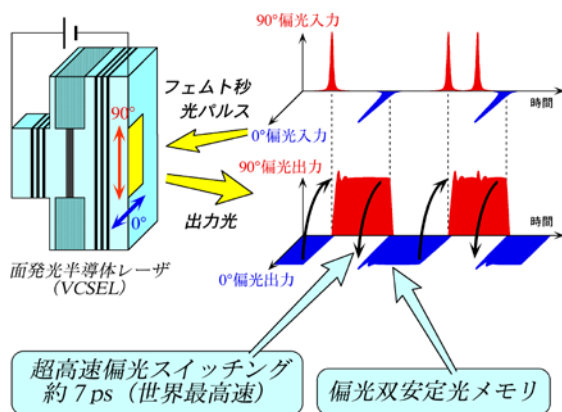


図 1 偏光双安定面発光半導体レーザ

け実現が困難とされているのが光バッファメモリである。

本研究開発では、光通信波長帯(1.55 μm 帯)の偏光双安定面発光半導体レーザ(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser: VCSEL)とこれを用いた全光型フォトリックメモリを実現した。

2. 研究内容及び成果

光バッファメモリの基本となる素子は偏光双安定 VCSEL である。図 1 に示すように、光導波路が正方形の断面形状をもつ VCSEL には、電界方向が正方形の辺に沿う 2 つの固有モードが存在する。この 2 つのモードは利得飽和を通して強結合し、双安定性が生じる。光パルスを外部から入射すると、入射パルス光と同一偏光のモードにスイッチし、入射パルスがなくなった後もスイッチした偏光を保持する偏光双安定光メモリが実現できる。

研究代表者は、この偏光双安定 VCSEL を用いた光バッファメモリを考案した。動作原理を図 2 に示す。VCSEL には、電界方向が正方形の辺に沿う 0°と 90°の 2 つの発振

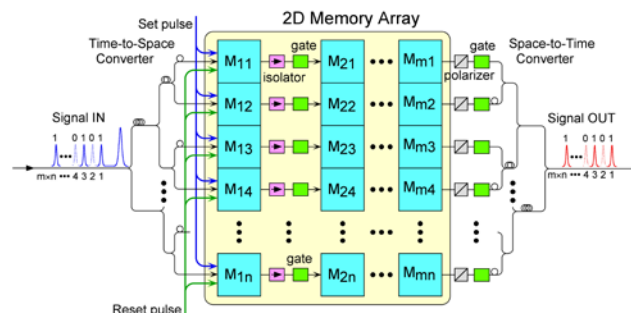


図 2 光バッファメモリの概念図

偏光が存在する。90°偏光の入力データ信号と 90°偏光の Set パルスを VCSEL (M_{1x}) に注入すると、データ信号と Set パルスが同時に注入された時のみ VCSEL の発振偏光が 90°に切り替わり、Set パルスと同時に入射されたデータ信号の情報が発振偏光状態として記録される。VCSEL 出力光を 90°方向の偏光子を通してゲートをかけると、記録された情報が再生される。この光信号を隣の VCSEL (M_{2x}) に入力すると、M_{1x}が記録していた情報が M_{2x}に転送される。その後 Reset パルスを VCSEL M_{1x}に注入し、VCSEL の発振偏光を 0°に戻す。転送動作をくり返すことにより M_{mx}から信号が再生される。

光通信の中で用いるには、波長を 1.55 μm にすることが望ましい。正方形メサ構造を有する 1.55 μm 帯 VCSEL を試作し、偏光双安定特性と全光型フリップ・フロップ動作を実現した。さらに、この 1.55 μm 帯偏光双安定 VCSEL を用いて、光デジタル信号の“0”と“1”を VCSEL の 2 つの偏光状態として記録し、任意のタイミングで読み出すことのできる全光型バッファメモリ動作を実現した。

メモリ動作の高速化も合わせて検討し、1.55 μm 帯では 12.5 Gbit/s RZ 信号の光メモリ動作を実現した。一方、980 nm 帯では、データ光とセット光の波長と VCSEL の発振波長との差（離調という）を最適に設定することにより、これまでに、20 Gbit/s、2⁶-1 ビット PRBS RZ 信号、および 40 Gbit/s、6 ビット NRZ 信号の記録を実現した。この 980 nm 帯で得られた知見は今後 1.55 μm 帯の高速化においても有用である。いずれも光フリップ・フロップ型としては世界最高速のメモリ動作である。

信号を保持している第1の偏光双安定 VCSEL の光出力を第2の偏光双安定 VCSEL の注入し、第2の VCSEL の発振偏光をスイッチし、情報を転送するシフトレジスタ機能を実現した。又、シフトレジスタ機能を持つ光メモリを2個並列に接続することにより、4 bit のデータの記録と任意のタイミングでの再生が行える、シフトレジスタ機能付き 4 ビット光バッファメモリを初めて実現した。実験構

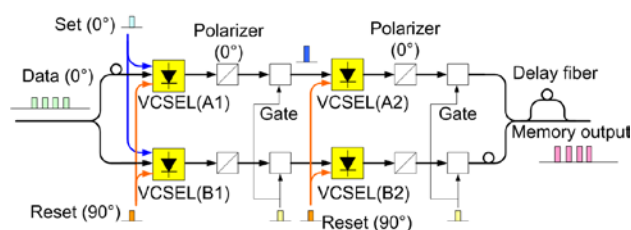


図3 4ビット光バッファメモリの構成

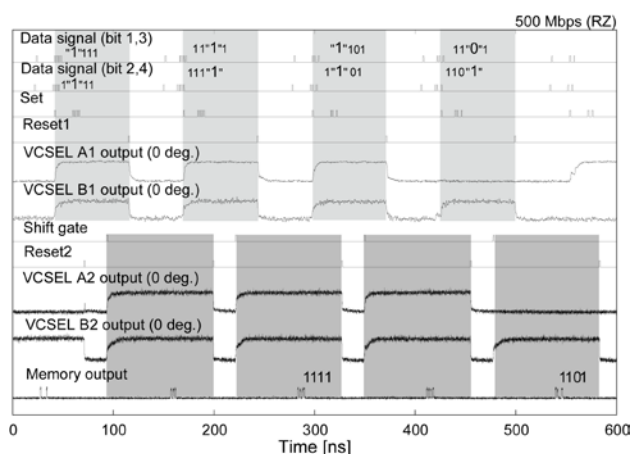


図4 4ビット光バッファメモリの実験結果

成を図3に、実験結果を図4に示す。データ信号“1”とセット信号を同時に VCSEL に入力したとき、注入光のパワーが偏光スイッチングの閾値を上回るANDゲート動作により、1列目の VCSEL (A1,B1) の発振偏光が 0°に切り替わる。これにより、4 bit のデータの中から 1, 2 bit 目の情報が VCSEL の偏光状態として記録される。そして 1列目の VCSEL 発振光(0°)を2列目の VCSEL (A2,B2)へ入力することにより、2列目の VCSEL の偏光が 0°に切り替わり、情報が転送される。さらに1列目の情報が 90°偏光のリセット信号により消去された後、VCSEL に新たに 4 bit のデータの中から 3, 4 bit 目のデータを記録することにより、光メモリに 4 bit の情報が記録される。この実験では並列化の規模が小さいため、4 bit のデータを2回に分けて読み込み、さらに出力信号を出力直前の遅延ファイバで1周期遅延して合波することにより 4 bit のデータの記録と再生を行った。その結果、図4に示すようにビットレート 500 Mbit/s の RZ 光入力信号に対しシフトレジスタ機能付き 4 ビット光バッファメモリ動作を実現した。

1.55 μm 帯偏光双安定 VCSEL を用いて、光ファイバ出力が可能なモジュールを作製した。ピグテール光ファイバ付きモジュールは、直径約 7 mm、長さ約 21.5 mm であり、VCSEL と偏波保持光ファイバがマイクロレンズによって光学的に結合されており、FC 型光コネクタにより直接他の光学機器と接続できる。又、外部からの温度調節により VCSEL の発振波長や双安定状態を制御することが出来る。このモジュール型 VCSEL において、20 dB 以上の良好な消光比で偏光双安定スイッチングが実現された。

3. むすび

今後、一層の高速化・多ビット化、モジュール化、およびサブシステムでの評価などが必要である。また、多ビット化のためには二次元アレイ VCSEL を用いた空間並列型の検討が必要と考えられる。モジュール化によりサブシステムでの検証実験も可能になり、光パケットシステムの開発上最大の課題である、光バッファメモリの実現を加速できるものと期待している。

【誌上発表リスト】

- [1] T. Katayama, Y. Sato, T. Mori, and H. Kawaguchi, “Polarization bistable characteristics of 1.55 μm vertical-cavity surface-emitting lasers”, Japanese J. Appl. Phys. Vol. 46 No. 49 pp L1231-L1233 (2007 年 12 月)
- [2] 河口仁司, “偏光双安定 VCSEL と光バッファメモリへの応用”, レーザ研究, Vol. 37, No. 8, pp.608-613 (2009 年 8 月)
- [3] T. Katayama, T. Ooi, and H. Kawaguchi, “Experimental demonstration of multi-bit optical buffer memory using 1.55- μm polarization bistable vertical-cavity surface-emitting lasers”, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 45, No. 11, pp. 1495-1504 (2009 年 11 月)

【報道発表リスト】

- [1] “次世代光通信のための超高速光メモリーを初めて実現 ～「全光型」通信の実現に突破口開く～”, 日刊工業新聞、日経産業新聞、科学新聞、2009 年 3 月 16 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://mswebs.naist.jp/LABs/kawaguchi/index-j.html>