

高次機能半導体ナノフォトニックデバイスとその光RAM への応用

Highly functional semiconductor nanophotonic
devices and their applications for photonic RAM

河口 仁司 (KAWAGUCHI HITOSHI)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授



研究の概要

グリーンテクノロジーの中で重要な技術の一つは、省エネルギー化のための通信の全光化である。本研究では、新しい半導体レーザ構造により高次機能化・省電力化をはかる。又、偏光双安定 VCSEL の省電力化・高速化の極限を追求する。多ビットメモリ動作を偏光双安定 VCSEL 二次元アレイにより実現し、光 RAM の有力な候補となり得るデバイスとして完成する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス・光回路、光制御、レーザ、スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

急速な情報量の増大に応えるため、より一層高速の光ファイバ通信システムの開発が望まれている。現状のネットワークでは 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、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い。最終的には、光信号のまま IP パケット毎にルーティング処理を行うルータの実現が期待され、パケット単位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、これらをフォトニック技術によって実現することが課題である。

2. 研究の目的

省電力光 RAM の実現をめざし、高次機能半導体ナノフォトニックデバイス、および偏光双安定 VCSEL 二次元アレイの実現技術を研究し、光 RAM の有力な候補となり得るデバイスを完成する。

3. 研究の方法

- (1) 極微小領域に光とキャリアの閉じ込めが可能で、極めて小さなしきい値電流が期待できる半導体マイクロレーザを作製し、双安定性を実現する。
- (2) 偏光双安定 VCSEL の低消費電力化と高速化の極限を追求する。
- (3) 多ビット光メモリの実現をめざし、メモリ動作特性の均一化の新しい手法および、2次元アレイ化について研究する。

4. これまでの成果

(1) 高次機能ナノ半導体レーザ

① 高屈折率差サブ波長回折格子 VCSEL

偏光双安定 VCSEL と、我々が考案した偏光無依存高屈折率差サブ波長回折格子(HCG: High-Index-Contrast Subwavelength Grating)を組み合わせることにより、図1に示すような、発振偏光によって出力する光導波路を切り換え可能なデバイスを考案した。SOI基板のSi層にHCGおよび出力光導波路を形成し、その上に活性層とDBRを配置している。数値解析の結果、VCSELのレーザ発振偏光によって出力する光導波路を切り換えることができる新しい機能素子を実現できることがわかった。SOI基板上に偏光無依存HCGと導波路を作製し、外部から直線偏光をもつ光を入射し、偏光により出力導波路を切り換えることを実証した。又、偏光無依存HCG-VCSELを作製し、室温で光励起レーザ発振に成功した。

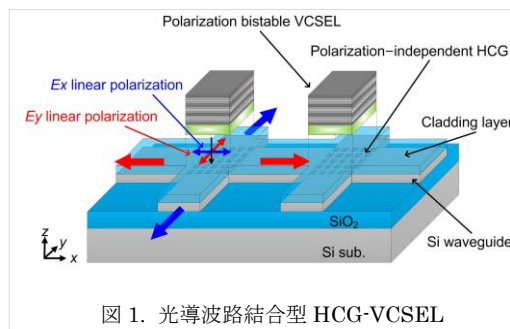


図1. 光導波路結合型 HCG-VCSEL

② スピン注入 LED と円偏光高速スイッチ
 スピン VCSEL では半導体への電気的スピン注入が必要であり、特にレーザ発振を得るために大きな電流密度が求められる。電子スピン緩和時間が長い (110)GaAs/AlGaAs 量子井戸(QW)への電気的スピン注入をめざし、Fe/AlO_x トンネル電極をもつ LED を作製し、1 kA/cm² の高電流密度においてスピン注入を実現し、40 K で 7% 程度の注入スピン偏極率を実現した。又、(110)MQW に微小なメサ構造を導入することにより、長いスピン緩和時間を保ったままキャリア寿命を短くでき、20~30 GHz の円偏光スイッチングが可能なことを示した。

さらに、スピン VCSEL 実現のために必要となる、スピン偏極電子の半導体中の輸送について検討し、(110)GaAs/AlGaAs QW に電界を引加し、室温で 37 μm とデバイスで用いるのに十分な距離の輸送に初めて成功した。

(2) 偏光双安定 VCSEL とその応用

① 光フリップ・フロップ動作のビット誤り率評価

偏光双安定特性を用い、全光型フリップ・フロップ動作や AND ゲート動作が可能であるが、システムへの応用にはこれらの動作のビット誤り率の評価が必要であり、初めて測定した。全光型フリップ・フロップ動作で 1 Gb/s まで、ほぼデジタル信号エラーのない 10⁻¹⁰ オーダーの誤り率を実現した。又、AND ゲート動作を含む全光型フリップ・フロップ動作のビット誤り率を評価した。図 2 にアイダイアグラムを示す。誤り率は 6×10⁻⁷ であり、アイが十分開いている。セット光パルスパワーがデータ光パルスパワーと同程度の場合最もよいビット誤り率を得た。

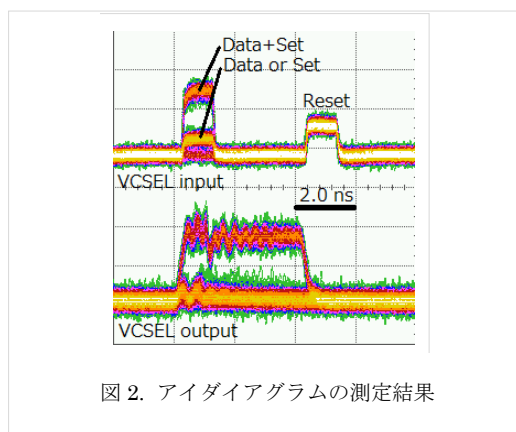


図 2. アイダイアグラムの測定結果

② 光パケットスイッチへの応用

偏光双安定 VCSEL による、全光型フリップ・フロップ動作を利用して、全光型ヘッダ識別を実現した。光パケットのヘッダ部を 4 ビット 500 Mb/s RZ 信号、ペイロード部を 40 Gb/s 2¹¹-1 ビット PRBS NRZ 信号とし、ヘッダの 2 ビット目の信号によりペイロードの出力先を切り換えることに成功した。

5. 今後の計画

SOI 基板上に導波路結合型 HCG-VCSEL を作製し、VCSEL の発振偏光が切り換わることにより、出力導波路がスイッチすることを実証する。又、VCSEL の共振器の反射率を系統的に変化し、偏光双安定スイッチの高速化をはかる。さらに、ビット拡張性のある偏光双安定 VCSEL を用いた全光型ヘッダ識別による光パケットスイッチングを実現する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- (1) Y. Tsunemi, N. Yokota, S. Majima, K. Ikeda, T. Katayama, and H. Kawaguchi, "1.55 μm-VCSEL with a polarization-independent HCG mirror on SOI," *Optics Express*, Vol. 21, pp. 28685-28692, 2013.
- (2) Y. Tsunemi, K. Ikeda, and H. Kawaguchi, "Lasing-Polarization-Dependent Output from Orthogonal Waveguides in High-Index-Contrast Subwavelength Grating Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser," *Applied Physics Express*, Vol. 6, pp. 092106-1~4, 2013.
- (3) K. Ikeda and H. Kawaguchi, "Metallic nanowire lasers," *Journal of the Optical Society of America B*, Vol. 30, pp. 1981-1986, 2013.
- (4) N. Yokota, Y. Tsunemi, K. Ikeda, and H. Kawaguchi, "Pump probe measurement of electron spin relaxation time in (110)-oriented GaAs/AlGaAs multiple quantum well microposts," *Applied Physics Express*, Vol. 5, pp. 122401-1~3, 2012.
- (5) T. Katayama, T. Okamoto, and H. Kawaguchi, "Optical Packet Switching by All-Optical Header Recognition Using 1.55-μm Polarization Bistable VCSEL," *The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-IQEC 2013)*, CI-5.1, Munich, Germany, May 15, 2013.

【他 43 件】

ホームページ等

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

khitoshi@ms.naist.jp