

「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製」
平成14年度採択研究代表者

河口 仁司

(山形大学工学部 教授)

「シフトレジスタ機能付超高速光メモリの創製」

1. 研究実施の概要

今後の情報量の増大に応えるため、より一層高速な光通信システムの開発が望まれている。その超高速化のためには信号処理も光が行う全光化、とりわけ、全光型でのパケット単位のルーティング技術の実現が期待されている。本研究では、これまで必要とされながらも、その実現が困難とされていた全光型超高速光パケットメモリを研究する。時系列の光信号を空間光並列信号に変換し、二次元アレイ偏光双安定面発光半導体レーザの各レーザに1ビットずつ記録し、必要なタイミングにあわせ時系列信号として記録信号を読み出すことができる全光型超高速光パケットメモリを実現する。時系列光信号の空間光並列信号への変換および逆の変換は、ビット数が多くなると構成が大がかりになるが、これを解決するため、本研究では特に偏光双安定面発光半導体レーザの二次元アレイ内で信号を転送・記録できるシフトレジスタ機能付光パケットメモリに重点において開発する。さらに、時間多重における光信号のタイミング調整用光バッファメモリも研究する。

2. 研究実施内容

- (1) 0.98 μm 帯面発光半導体レーザ (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser: VCSEL) の全光型フリップ・フロップ動作の実現 (山形大学)

光バッファメモリを実現するため、偏光双安定VCSELの2次元アレイを自作した。図1に示すように、一方のDBR共振器を正方形のメサ構造に高密度プラズマ反応性イオンエッチング (Inductively-Coupled-Plasma Reactive-Ion-Etching: ICP RIE) を用いて加工し、このメサをポリイミドで埋め込む簡単な構造である。偏光分解電流-光出力特性に双安定スイッチング特性を得るとともに、光入力によるフリップ・フロップ動作も実現した (図2)。自作が可能になったことから、将来一層の高速化や低消費電力化の検討が可能になった。又、偏光双安定性はVCSELでは極めて一般性のあることが実験的にも明らかになった。

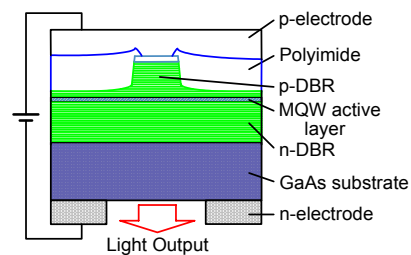


図1 メサ構造VCSELの概略図

(2) 小さな光入力および高くり返し全光型フリップ・フロップ動作(山形大学)

VCSELにおいて、偏光が直交する2つのモードは発振周波数が数GHz異なるのが一般的である。従って、0°モードから90°モードへスイッチする場合と、90°モードから0°モードへスイッチする場合、注入光の波長をそれぞれ最適化することにより、極めて小さな光入力でフリップ・フロップ動作を実現することができる。図3に一例を示すように、540 MHzのくり返しでは、0.2~0.3 fJという極めて小さな光入力で安定なフリップ・フロップ動作が可能である。この値は、我々の知る限り、双安定半導体レーザでの最小スイッチングパワーである。又、双安定半導体レーザでは最高速であるくり返し10 GHzまでの動作を確認した。図4に示すように、くり返し周波数を上げていくとスイッチングパワーは上昇する。

(3) 双安定面発光半導体レーザを用いた全光型信号処理(山形大学)

偏光双安定VCSELを用いた全光型信号再生を検討した。90°偏光のデータ信号とセットパルスを、同じタイミングでVCSELに入射し、両者が同時に入射したときに、VCSELの発振偏光が90°にスイッチする強度に設定する。又、0°偏光のリセットパルスをパルス幅分の時間遅延を与えてVCSELに入射する。この結果、VCSEL出力光の90°偏光成分は、データ信号と同じビット符号をもつ光再生信号となる。

図5に実験結果を示す。最も小さな入力パワーで偏光スイッチするように入射光の波長を最適化し、セットパルスの波長をリセットパルスの波長よりも約0.015 nm (5 GHz) 長波長に設定してVCSELに入射した。VCSELの90°偏光出力光を観測した結果、データ信号と同じビット符号 "0111 0111" をもつ比較的安定な光再生信号が得られた。データ信号、セットパルスおよびリセットパルスの入射平均パワ

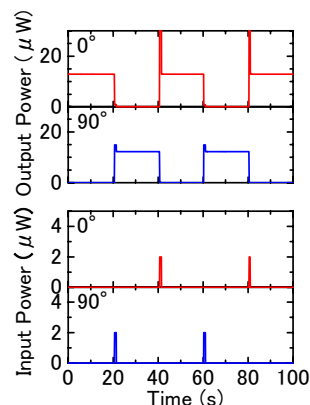


図2 全光型フリップ・フロップ動作

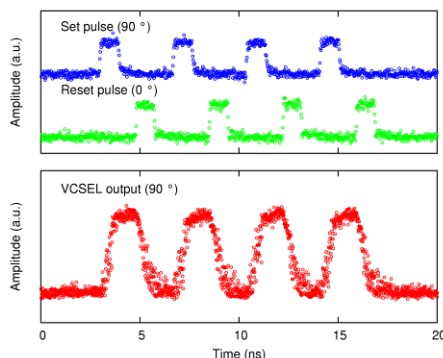


図3 小さな光入力による全光型フリップ・フロップ動作の実験結果(セットパルス: 0.2 fJ、リセットパルス: 0.3 fJ)

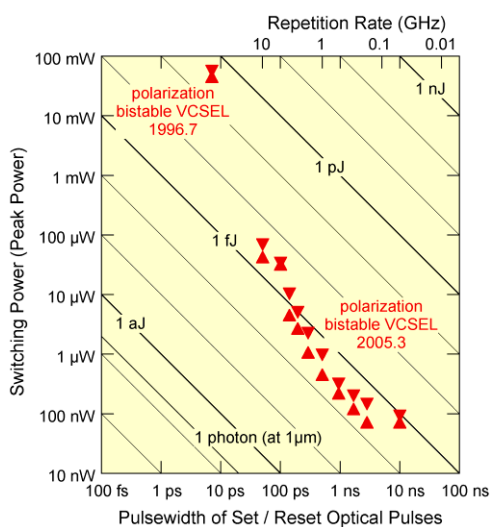


図4 最小スイッチング光入力パワーと注入光パルス幅(くり返し周波数)の関

一は、それぞれ0.08 μ W、0.1 μ W、0.6 μ Wであり、極めて小さな光パワーで動作していることがわかる。又、出力の平均パワーは140 μ Wであり、大きな利得が得られた。

(4) 光ヘッダ識別回路の研究 (東京工業大学 精密工学研究所)

超高速・大容量の光パケットを高効率にルーティングが可能なパケット・バイ・パケット型光ルータ (光パケットスイッチ) の実現のため、高速光ヘッダ識別器の実現と半導体集積化を目的とした。本年度は光デジタル・アナログ変換器 (ODAC) の半導体集積化を実現するプロセス工程の改善を行い、DA変換動作の実現を目指した。またDA変換に必須のパワー等化、また構造として偏波制御を用いた場合に要求される偏波制御方式の導入により、ODACの安定動作と特性改善 (入力ダイナミック・レンジの拡大) を目的とした

半導体ODACのプロセス工程改善に対しては、結晶品質改善と導波路のドライエッチング形成工程改善の両面に取り組んだ。その結果、単一モードでの導波と損失2.7dB/cmの損失低減を実現した。また10Gbps 2ビットでの基本的なDA変換動作を確認した。

偏波制御とパワー等化については、全光処理が最終目標ではあるが、DA変換に求められる特性を得るにはまだ不十分な構成であると判断し、第一段階として光電変換を介する方式について検討を行った。入力ダイナミックレンジ7.6dBの特性改善を得ることができた。

(5) 光信号スペクトル制御回路の高性能化と機能化 (慶應義塾大学)

波形整形・パケット生成に利用するAWG光信号スペクトル制御回路の高性能化及び機能化を行った。アレイ部に微小ミラーによる曲げ構造を用いたアローヘッド型AWGは、前年度試作素子の周波数分解能40GHz \sim 25GHzに対して、今年度試作素子の分解能を12.5GHzに向上させることに成功した。同様のAWGを利用し、出力導波路内のスペクトル分光位置にパラボリックな位相差を与えるミラーを集積し、120 ps/nmの分散を有する分散補償素子を構成した。分散補償素子は、チャープして広がったRZ及びNRZ40 Gbit/s信号を有効に波形整形できることを実証した。また、スラブ導波路中にレンズ形状の多段の細溝を形成し、各種の屈折率の樹脂を充填する構造の、低損失導波路内レンズの設計・作製技術を確立した。このレンズ構造をAWGの出力スラブ導波路中に形成して、円弧状のスペクトル分光の等位相線を直線に変換し、空間光変調器の集積を容易にすることに成功した。

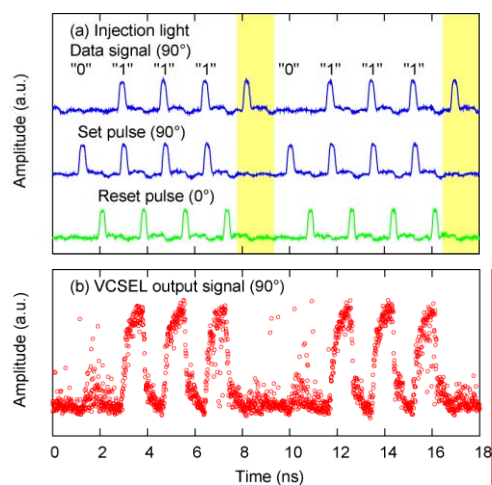


図5 全光型信号再生の実験結果 (570 Mbps)

(6) 長波長系InGaAsSbN量子井戸ダイオードの作製と評価 (大阪府立大学)

MBE法により、長波長帯の材料であるGaAs基板上及びInP基板上のInGaAsSbN量子井戸レーザを作製し、その発光特性を評価した。まずGaAs基板上の $1.3\mu\text{m}$ 帯量子井戸レーザを作製した。InGaAsSbN量子井戸層のIn組成は30%、N組成は1.4%、Sb組成は1.4%とした。この素子において150Kで波長 $1.13\mu\text{m}$ のレーザ動作を実現した。次にInP基板上の $2\mu\text{m}$ 帯量子井戸レーザを作製した。InGaAsSbN量子井戸層のIn組成は80%、N組成は1.4%、Sb組成は14%とした。この素子において、90Kで波長 $2.07\mu\text{m}$ のレーザ動作を実現することが出来た。

3. 研究実施体制

超高速光メモリ研究グループ

- ① 研究分担グループ長：河口 仁司 (山形大学工学部、教授)
- ② 研究項目：超高速光パケットメモリ構成法の研究と全体のとりまとめ

- ① 研究分担者：高橋 豊 (山形大学工学部、助教授)
- ② 研究項目：偏光双安定性の理論的解明

- ① 研究分担者：片山 健夫 (山形大学工学部、助手)
- ② 研究項目：超高速光ゲート素子の研究

- ① 研究分担者：山吉 康弘 (山形大学工学部、技術職員)
- ② 研究項目：半導体レーザ用結晶成長

- ① 研究分担者：佐藤 祐喜 (科学技術振興機構、研究員)
- ② 研究項目：結晶成長および面発光半導体レーザ作製

- ① 研究分担者：森 隆 (科学技術振興機構、研究員)
- ② 研究項目：偏光双安定面発光半導体レーザの特性測定

光データ処理研究グループ

- ① 研究分担グループ長：植之原 裕行 (東京工業大学精密工学研究所、助教授)
- ② 研究項目：
 - ・光DA変換器の基本動作確認
 - ・デューティ変換器の基本構成の検討

時空間変換光制御方式研究グループ

- ① 研究分担グループ長：津田 裕之 (慶應義塾大学、助教授)
- ② 研究項目：時空間変換型光パケット生成・転送方式の研究

結晶成長研究グループ

- ① 研究分担グループ長：河村 裕一（大阪府立大学、助教授）
- ② 研究項目：分子線結晶成長

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

山形大学

(1) 論文発表

- T. Mori and H. Kawaguchi, "Characteristics of nondegenerate four-wave mixing in electroabsorption modulator," Applied Physics Letters, Vol. 85, No. 6, pp. 869-871, August, 2004.
- T. Mori and H. Kawaguchi, "Ultrafast all-optical switching of OTDM signal for wavelength routing using FWM in SOA," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E87-C, No. 12, pp. 2189-2192, December, 2004.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：2件）

東京工業大学精密工学研究所

(1) 論文発表

- T. Seki and H. Uenohara, "Study on stable operation condition and multi-level recognition of optical digital-to-analog conversion-type header processor for optical packet switch," Jpn. J. Appl. Phys., Part2, Vol. 43, No. 8B, pp. L1051-L1053, 2004.
- H. Uenohara, T. Seki, and K. Kobayashi, "High-speed optical packet switch with an optical digital-to-analog conversion-type header processor," optical review, Vol. 11, No. 2, pp. 113-118, 2004.
- H. Uenohara, T. Seki, and K. Kobayashi, "Four-bit optical header processing and wavelength routing performance of optical packet switch with optical digital-to-analogue conversion-type header processor," Electron. Lett., Vol. 40, No. 9, pp. 558-560, 2004.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：2件）

慶応義塾大学

(1) 論文発表

- Y. Shibata, T. Suzuki, and H. Tsuda, "Design and evaluation of an N:N optical coupler using an integrated waveguide mirror," Optical Review, Vol. 11, No. 3, pp. 182-187, 2004.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：2件）

大阪府立大学

(1) 論文発表

○ Y. Kawamura, T. Nalagawa, K. Ouchi, M. Amano, and N. Inoue, “2.43 μ m light emission of InGaAsSbN quantum well diodes grown on InP substrates,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol.43, No. 4B, p. L530, 2004.

○ Y. Kawamura, T. Nakagawa, and N. Inoue, “Annealing effect on electroluminescence and laser operation of InGaAsSbN quantum well diodes grown on InP substrates,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 43, No. 10A, p. L1320, 2004.

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：1件）