

「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。平成 17 年度、この光パケットメモリを実現する上で最も基本となる、1 ビットの光信号のメモリ動作を実現した。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) 双安定面発光半導体レーザ (VCSEL) を用いた全光型信号再生 (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°偏光の入力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 1 に実験結果を示す。入力信号には 2 ns 幅のジッタを付加した。VCSEL の 90°偏光出力光を観測した結果、入力信号と同じビット符号 "1011" をもつ比較的安定な光再生信号が得られた。偏光が切り替るタイミングはセット光とリセット光によって決まるため、リタイミング機能を持つ。実験の結果、入力信号よりもジッタの少ない出

力信号（ジッタ 0.7 ns 幅）が得られた。

(2) バッファメモリ動作の実現 (山形大学)

偏光双安定面発光半導体レーザを用いた光バッファメモリ動作を 1 ビットの光信号に対し実験的に確認した。光バッファメモリの動作原理を図 2 に示す。90°偏光の入力データ信号と 90°偏光のセットパルスを VCSEL に注入すると、データ信号とセットパルスが同時に注入された時にのみ VCSEL の発振偏光が 90°に切り替わり、入力データ信号列の中から  $b_1$  の情報が選択的に発振偏光状態として記録される。VCSEL 出力光を 90°方向の偏光子に通してゲートをかけると、記録された情報が再生される。再生後にリセットパルスを VCSEL に注入すると、VCSEL の発振偏光が 0°に戻る。

外部共振器付半導体レーザの出力光を LN 変調器でパルス化し、90°および 0°偏光に調整して VCSEL に注入した。VCSEL 出力光の 90°偏光成分を抽出し、LN 変調器でパルス化したメモリ出力光の波形を測定した。実験結果を図 3 に示す。注入光のピークパワーは、7.1  $\mu\text{W}$  (データ信号)、7.3  $\mu\text{W}$  (セットパルス)、14  $\mu\text{W}$  (リセットパルス)である。入力データは前半が “1111” 後半が “1011” であり、2 ビット目にセットパルスのタイミングを合わせた。前半は VCSEL の発振偏光が 90°に切り替わり、メモリ出力 “1” のパルス光が得られているのに

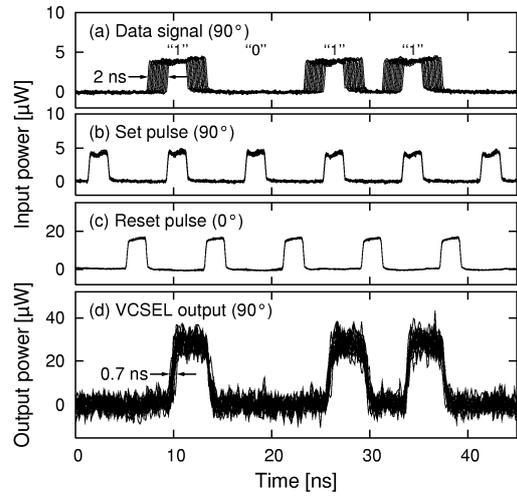


図 1 全光型信号再生による時間ジッタの低減

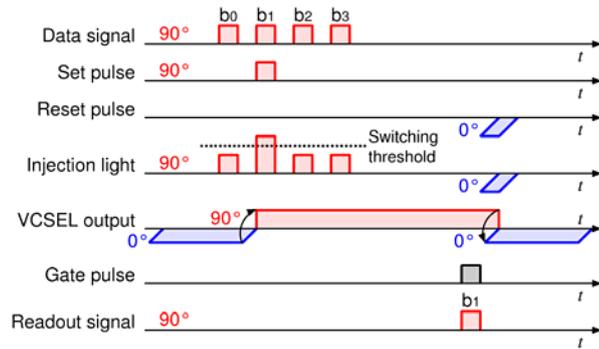


図 2 光信号の書き込み・読み出しの原理

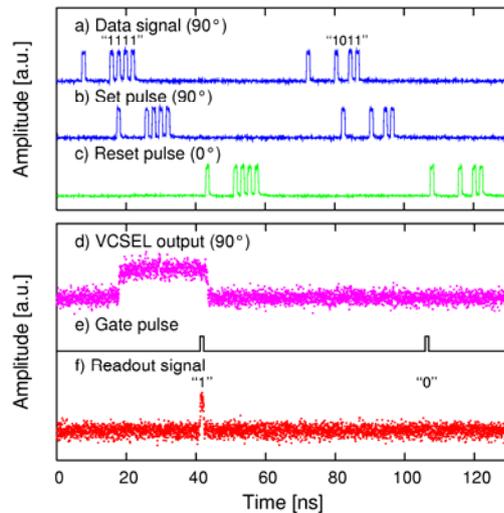


図 3 光信号の書き込み・読み出しの実験結果

対して、後半は発振偏光が $0^\circ$ のままであり入力“0”に対応してパルス光が出力されない。

上記のように偏光双安定 VCSEL を用いた光バッファメモリの実験を行ない、4 ビットの入力信号から 1 ビットを抽出し記録/再生する基本動作を確認した。

### (3) 通信波長帯 VCSEL の作製 (山形大学)

異種結晶接着法を用いて InP/InGaAsP 系 MQW 活性層と GaAs/AlGaAs DBR をはり合せ、 $1.55\ \mu\text{m}$  帯面発光半導体レーザの作製を試みている。これまでに、LED 構造による発光、および VCSEL 構造による光励起レーザ発振を確認しており、近い将来電流注入によるレーザ発振が実現できるものと期待している。

### (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)

平成 17 年度は、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光パケットスイッチの実現のため、光 DA 変換型ヘッダ識別器の特性向上と半導体集積素子の動作特性の検証を目的とした。

まず光 DA 変換器 (ODAC) にパワー等化とゲートパルス生成機能の両方を導入し、ODAC の自律動作の実現を目指した。パワー等化には前年度に取り組んだ OEO 型パワー等化器を用い、またゲートパルス生成機能には先頭ビットの強度を OE 変換後の振幅を認識する方式を用いることによって入力ダイナミックレンジ 3 dB の自律動作を実現した。

また半導体 ODAC の波長・偏波依存性を実験的に検討し、消光比・チャープの影響を考慮しなければいけないことと、信号光のチャープを低減する送信方法を用いることによって DA 変換出力の安定性が改善できることを実証した。

### (5) 時空間変換光制御方式の研究 (慶應義塾大学)

光パケット生成のための時空間変換処理を行うキーデバイスであるアレイ導波路回折格子の性能向上に努め、従来のアレイ導波路回折格子と同程度の性能を持つアレイ導波路回折格子を約 1/10 のチップ面積で実現可能にした。超高分解能アレイ導波路回折格子のスペクトル分光部に曲率を制御した導波路内ミラーを集積した分散補償デバイスを試作し、40 Gbit/s 信号の分散制御を行うことに成功した。モノリシック分散補償回路としては、世界的に他に例を見ない構成である。固定光符号化/復号化回路として、アレイ導波路回折格子外部に空間光フィルタをハイブリッド集積するデバイス、導波路に溝を形成し屈折率調整された樹脂を充填して光スペクトルの位相を制御するデバイスを試作した。

### (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、GaAs 基板上及び InP 基板上の長波長帯 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  $1.3\ \mu\text{m}$  帯量子井戸レーザに関しては、InGaAsSbN 量子井戸層の In 組成が 30%と 36%の 2 種類を作製し、特性を比較した (N 組成は 1.4%、Sb 組成は 1.4%)。In=30%の素子において 200 K で波長  $1.15\ \mu\text{m}$  のレーザ動作を実現した。他方 In=36%の素子においては 20 K で  $1.16\ \mu\text{m}$  のレーザ動作を実現した。次に InP 基板上の  $2\ \mu\text{m}$  帯量子井戸レーザに関しては、InGaAsSbN 量子井戸層の Sb 組成が 1.4%と 14%の 2 種類を作製し、特性を比較した (In 組成は 80%、N 組成は 1.4%)。その結果、Sb 組成を増大した方が特性が向上することが実験的に明らかとなり、Sb=14%で 90K で  $2.07\ \mu\text{m}$  のレーザ動作が得られた。

### 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：二次元アレイ偏光双安定面発光半導体レーザの各々のレーザに光信号を1ビットずつ記録し、必要なタイミングで読み出すことにより、これまで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の実現を目指す。

「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：パケット・バイ・パケット型光ルータに必須な高速光ヘッダ識別器を実現する。

「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：時空間変換光信号処理技術を用いることによってシリアルーパラレル変換を行い、超短パルスで構成される光パケットの生成、光パケットヘッダーのアドレス情報の解析、及びアダプティブなルーティング処理のための基本技術を確立することを目的とする。

「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：波長  $1.3\sim 1.5\ \mu\text{m}$  帯の高性能面発光レーザを実現することを目的とする。具体的には、窒素ラジカルセル用いた分子線成長法により GaAs 基板の上に高品質の InGaAsSbN 系面発光レーザを作製する。

#### 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（原著論文）発表

- Y. Sato, Y. Takahashi, Y. Kawamura, and H. Kawaguchi, “Electron spin relaxations in the electric-field applied GaAs/ InGaAs heterostructure,” *Journal of Superconductivity : Incorporating Novel Magnetism*, Vol. 18, No. 2, pp. 201-205, 2005.
- T. Katayama and H. Kawaguchi, “Measurements of self- and cross-gain saturation dynamics using two-color heterodyne pump-probe technique,” *IEEE Photonics Technology Lett.*, Vol. 17, No. 6, pp. 1244-1246, June, 2005.
- V. V. Lysak, H. Kawaguchi, I. A. Sukhoivanov, T. Katayama, and A. V. Shulika, “Ultrafast gain dynamics in asymmetrical multiple quantum well semiconductor optical amplifiers,” *IEEE J. Quantum Electron*, Vol. 41, No. 6, pp. 797-807, June, 2005.
- V. V. Lysak, H. Kawaguchi, and I. A. Sukhoivanov, “Gain spectra and saturation power of asymmetrical multiple quantum well semiconductor optical amplifiers,” *IEE Proc. -Optoelectronics*, Vol. 152, No. 2, pp. 131-139, April, 2005.
- T. Mori, Y. Yamayoshi, and H. Kawaguchi, “Low switching-energy and high-repetition-frequency all optical flip-flop operations of a polarization bistable vertical-cavity surface-emitting laser,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 88, 101102-1~3, March, 2006.

##### (2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積 : 2 件)

東京工業大学精密工学研究所

##### (1) 論文（原著論文）発表

- H. Uenohara and R. Kurosawa, “Semiconductor optical digital-to-analogue converter,” *Electron. Lett.*, vol.41, No.23, pp.1299-1300, 2005.

##### (2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積 : 2 件)

慶應義塾大学

##### (1) 論文（原著論文）発表

- T. Suzuki and H. Tsuda, “Dispersion Compensator Using a Compact Arrayed-Waveguide Grating with a Dispersion-Adjusting Structure,” *IEICE Electronics Express*, Vol. 3, No. 3, pp. 58-63, 2006.
- T. Suzuki and H. Tsuda, “Planar lightwave circuit dispersion compensator using a compact

arrowhead arrayed-waveguide grating,” IEICE Electronics Express, Vol. 2, No. 23, pp. 572-577, 2005.

- Y. Kobayashi and H. Tsuda, “Crosstalk reduction using tapered intersecting waveguides,” Opt. Rev. Vol. 12, No. 5, pp. 387-390, Sept., 2005.
- 津田裕之、「超高速光信号処理用アレー導波路回折格子」、電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J88-C, No. 6, pp. 421-427, 2005.
- T. Suzuki and H. Tsuda, “Ultra Small Arrowhead Arrayed-Waveguide Grating With V-shaped Bend Waveguides,” IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 17, No. 4, pp. 810-812, 2005.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積 : 2 件)

大阪府立大学

(1) 論文 (原著論文) 発表

- Y. Kawamura, T. Nakagawa, and N. Inoue, “InAsSbN quantum well laser diodes operating at 2mm wavelength region grown on InP,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol.44, No.35, p.L1112.
- Y. Kawamura, T. Nalagawa, and N. Inoue, “Lasing characteristics of InGaAsSbN quantum well diodes tat  $2\mu$  m wavelength region grown on InP substrates,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44, No.8, p.6000.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積 : 1 件)