

「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

(奈良先端科学技術大学院大学 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 2 ビット光メモリ動作の実現 (奈良先端科学技術大学院大学)

前年度に、VCSEL の偏光双安定特性を用い 1 ビットの光信号のバッファメモリ動作を実現した。平成 18 年度は VCSEL を 2 個用い、同一波長の注入光により 2 つの VCSEL の並列スイッチング動作を行うことにより、2 ビットの光バッファメモリ動作を実現した。0°および 90°偏光の注入光波長は、それぞれ 0°および 90°偏光の VCSEL 発振波長に数 GHz の精度で合わせる必要がある。従って、2 つの VCSEL の発振波長を数 GHz 以内に合わせる必要があり、今回は素子の温度調整による発振波長調整を行った。実験結果から、4 ビットの入力信号から 2 ビットを抽出し、記録/再生する基本動作を確認した。

(2) シフトレジスタ機能の実現 (奈良先端科学技術大学院大学)

偏光双安定 VCSEL を用いた光バッファメモリでは、光入力信号の“1”又は“0”は VCSEL の発振偏光として記録される。この VCSEL (VCSEL1) の発振光を 2 番目の VCSEL (VCSEL2) へ注入することにより、VCSEL2 の偏光をスイッチし、情報を転送することができる。この機能を我々はシフトレジスタ機能と呼んでいる。今回、2 つの方式によりシフトレジスタ機能を実現した。1 つは、VCSEL1 の発振光を VCSEL2 へ注入することにより情報を転送した後、VCSEL2 から信号を読み出し、その後、リセット光で VCSEL2 の偏光を  $0^\circ$  にリセットする方法である。もう 1 つは、VCSEL2 に VCSEL1 の発振光を注入することにより、VCSEL1 の情報を VCSEL2 に重ね書きする方式であり、VCSEL2 から信号を読み出した後もリセット動作を行なわない。両方式を実験的に実証したが、本報告では「重ね書き方式」につ

いて詳しく述べる。図 1 に重ね書き方式光シフトレジスタの構成法とタイミングチャートを示す。前半ではセットパルスのタイミングを  $b_1$  に合わせている。この場合  $b_1$  が“1”であるので、VCSEL1 は  $90^\circ$  偏光にスイッチし、 $b_1$  が VCSEL1 の  $90^\circ$  偏光として記録される。ゲート 1 を開くことにより、VCSEL1 の光出力を切り出し、VCSEL2 の光入力とする。この光入力により、VCSEL2 の偏光は  $90^\circ$  にスイッチし、VCSEL1 の情報が VCSEL2 に転送され記録される。VCSEL2 の光出力を  $90^\circ$  偏光が通過する偏光子を通し、ゲート 2 を開く

ことによりメモリ出力が得られる。一方、後半では、セットパルスを  $b_5$  に合わせている。 $b_5$  は“0”であるから VCSEL1 の偏光はスイッチせず  $0^\circ$  偏光のままである。ゲート 1 を開くと  $0^\circ$  偏光の VCSEL1 出力が VCSEL2 に注入され、VCSEL2 の偏光が  $0^\circ$  にスイッチされる。VCSEL2 の光出力を  $90^\circ$  偏光が通過する偏光子を通し、ゲート 2 を開くことによりメモリ出力を得るが、VCSEL2 の偏光は  $0^\circ$  のため出力は“0”となり、 $b_5$  が読み出されたことになる。実験により、重ね書きのすべての組み合わせ、つまり、“0”→“1”、“1”→“1”、“1”→“0”、および“0”→“0”が実現できることを示した (図 2)。

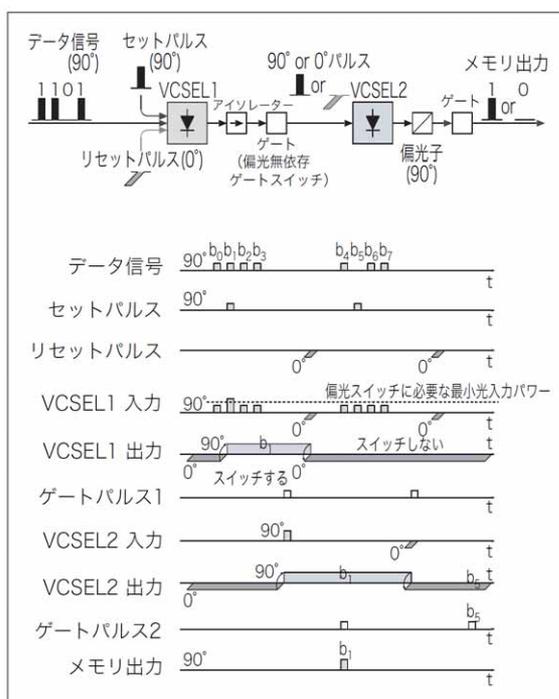


図 1 重ね書き方式光シフトレジスタの構成法とタイミングチャート

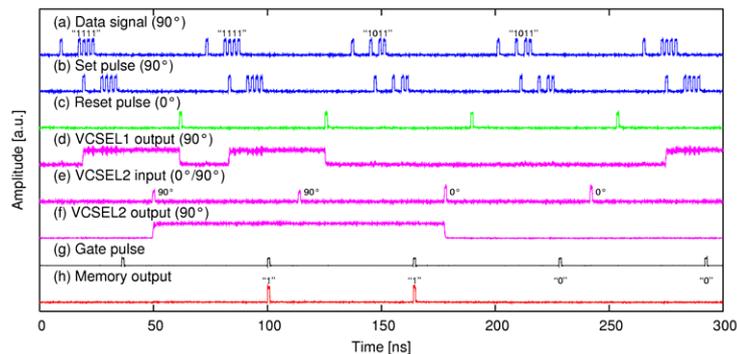


図2 重ね書き方式光シフトレジスタの実験結果

(3) 光ヘッダ識別回路の研究（東京工業大学 精密工学研究所 マイクロシステム研究センター）

平成18年度は、光パケットスイッチ用ラベル識別器実現のため、光DA変換型ヘッダ識別器の処理用同期ゲートパルスを入力光パケットから自律的に生成する技術と、光DA変換型ヘッダ識別器の10Gbpsへの高速化を目指した。

同期用ゲートパルス生成器は2ビットのプリアンプルを追加し、その先頭ビットの $\pi/2$ 位相シフトと合波部分の位相条件を $\pi/2$ シフトした受信側の1ビット遅延干渉計・バランス型PDによる差分検知から構成する。位相差のあるビットの並びのみ出力パルスが生成される。ゲートパルスを用いた光DA変換器の自律動作を実証した。

10 Gbps 高速化に対しては、光DA変換器は半導体光DA変換器を用い、光DA変換出力を帯域467MHzのベッセル・フィルタを透過してパルス幅を1 nsに太くする手法を導入した。この操作によりアドレステーブルの処理速度に整合することが可能となった。10 Gbps 2ビットラベルに対して4値のアドレス認識を確認することができた。

(4) 時空間変換光制御方式の研究（慶應義塾大学）

固定光符号化／復号化回路として、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、超短パルスの符号化実験を実施し、設計通りの符号化が来ていることを確認した。また、チャンネル数を8から12に増やした固定符号化／複合化回路の設計、試作を実施した。PLZT位相変調器アレイの設計と試作を実施し、各変調器の位相変調を確認することが出来た。アレイ導波路回折格子の小型化のために、局所的に光閉じこめを増大させる構造を提案し、本構造を採用したアレイ導波路回折格子の設計、試作を行った。偏波依存性が少なく、損失及びクロストーク特性にも優れる素子特性が得られた。

(5) 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 産学官連携機構 先端科学イノベーションセンター)

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 Sb 組成を 1.4%と 4%の 2 種類を作製し、特性を比較した (N組成は 1.4%、In 組成は 36%で固定)。Sb=1.4%の素子においては発振閾値が高く、10K で波長  $1.15\ \mu\text{m}$  のレーザ動作しか得られなかった。他方 Sb=4%の素子においては発振閾値が低下し、150K で  $1.2\ \mu\text{m}$  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、InAsSbN 量子井戸層 (Sb=14%、N=1.4%) を活性層とし、InGaAs 層をバリア層とする構造を用いることにより、190K で  $2.3\ \mu\text{m}$  のレーザ動作を実現した。また  $600^\circ\text{C}$  でアニールすることにより 210K でのレーザ動作を実現した。

### 3. 研究実施体制

(1)「超高速光メモリ研究」グループ

①研究者名

河口 仁司(奈良先端科学技術大学院大学 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。

(2)「光データ処理研究」グループ

①研究者名

植之原 裕行(東京工業大学・精密工学研究所・マイクロシステム研究センター 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。

(3)「時空間変換光制御方式研究」グループ

①研究者名

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。

(4)「結晶成長研究」グループ

①研究者名

河村 裕一(大阪府立大学・産学官連携機構・先端科学イノベーションセンター 助教授)

②研究項目

波長 1.3~1.5  $\mu$  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 基板上に高品質の InGaAsSbN 系面発光レーザを作製する。

## 4. 研究成果の発表等

### (4-1) 原著論文発表

・奈良先端科学技術大学院大学

(1) 論文詳細情報

- Y. Sato, T. Mori, Y. Yamayoshi, and H. Kawaguchi, "Polarization bistable characteristics of mesa structure 980 nm vertical-cavity surface-emitting lasers," Japanese J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 16, pp. L438-L440, April, 2006.
- H. Kawaguchi, T. Mori, Y. Sato, and Y. Yamayoshi, "Optical buffer memory using polarization-bistable vertical-cavity surface-emitting lasers," Japanese J. Appl. Phys., Express Lett., Vol. 45, No. 34, pp. L894-L897, August, 2006.

(2) 特許出願

平成 18年度特許出願: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 マイクロシステム研究センター

(1) 論文詳細情報

- S. Shimizu, K. Kobayashi, and H. Uenohara, "Start-bit detection and gate-pulse generation using phase-modulated preamble for asynchronous packet processing," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.19, No.4 pp.236-238, 2007.

(2) 特許出願

平成 18年度特許出願:0件(CREST 研究期間累積件数:2件)

・慶應義塾大学

(1) 論文詳細情報

- K. Masuda, A. Tate, and H. Tsuda, "A novel 2 x 2 multi-arm type of optical switch using multimode interference couplers," IEICE Electronics Express, Vol. 3, No. 9, pp.191-196, 2006.
- M. Yasumoto, T. Suzuki, A. Tate and H. Tsuda, "Arrayed-Waveguide Grating with Wavefront Compensation Lenses for Spatial Filter Integration," IEICE Electronics Express, Vol. 3, No. 11,

pp. 221-226, 2006.

- T. Suzuki and H. Tsuda, "Compact Arrayed-Waveguide Grating with Multiple-Arrowhead Structures," Jpn. J. Appl. Phys., PT1, Vol. 45, No. 7, pp. 5775-5781, 2006.
- A. Tate, T. Suzuki and H. Tsuda, "Multistage Polymeric Lens Structures Integrated into Silica Waveguides," Jpn. J. Appl. Phys., PT1, Vol. 45, No. 8A, pp. 6288-6293, 2006.
- K. Masuda, A. Tate, M. Ishida, T. Suzuki and H. Tsuda, "Beam Steering Type 1:4 Optical Switch Using Thermo-Optic Effect," Opt. Rev., Vol. 13, No. 4, pp. 184-188, 2006.
- J. Ito, T. Y. Fan, T. Suzuki, and H. Tsuda, "Compact silica arrayed-waveguide grating with small bend radius utilizing trenches filled with low-refractive index material," IEICE Electronics Express Vol. 3, No. 23 pp.499-503, 2006.
- M. Ishida, Y. Ikuma, T. Suzuki, and H. Tsuda, "180 Degree-Bend Structures Using Light Reflection at a Double Elliptic Mirror in a Slab Waveguide," Jpn. J. Appl. Phys., PT1, Vol. 46, No. 1, pp. 168-174, 2007.

(2) 特許出願

平成 18年度特許出願:0件 (CREST 研究期間累積件数:2件)

・大阪府立大学 産学官連携機構 先端科学イノベーションセンター

(1) 論文詳細情報

- Y. Kawamura, T. Nakagawa, and N. Inoue, "Emission properties of InGaAsSbN Quantum well Laser Diodes in  $2\ \mu\text{m}$  wavelength region on InP substrates," Jpn.J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 4B, pp.3453-3456, 2006.
- Y. Kawamura and N. Inoue, "properties of InAsSbN Quantum well Laser Diodes at  $2\ \mu\text{m}$  wavelength region on InP substrates," J. Crystal Growth, Vol. 301-302, pp.963-966, April 2007 (2007年2月7日から web 公開).

(2) 特許出願

平成 18年度特許出願:0件 (CREST 研究期間累積件数:1件)