

「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) の偏光双安定動作の実現 (山形大学)

一方のDBRミラーをメサ構造にし、ポリイミドで埋め込んだ構造のVCSELを作製し、そのレーザ発振偏光のメサ形状依存性を検討し、偏光双安定性を得た。図1に作製したVCSELの構造を示す。活性層に $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}/\text{GaAs}$ MQWをもつ0.98 μm 帯VCSELである。AlGaAs系のp型DBRミラーをICP-RIEを用いて2~3ペア残すようにメサ構造に加工し(図2)、ポリイミドで埋め込むことにより電流閉じ込めと発振横モード制御を行った。室温・連続動作(CW)でレーザ発振し(しきい値電流約3mA)、単一横モード、単一波長動作が得られた。図3にメサ構造が正方形に近い素子(5×4.5 μm)の偏光分解電流-光出力特性を示す。40℃では5mAで偏光スイッチングが観測され、30℃では6mAで生ずる偏光スイッチングにヒステリシス特性が見られた。一方、6×4 μm のような長方形の素子では直線偏光で発振し、偏光スイッチングは観測されなかった。現在、発振偏光のメサ形状依存性を系統的に調べるとともに、光入力による偏光双安定

スイッチを目指して研究を続けている。

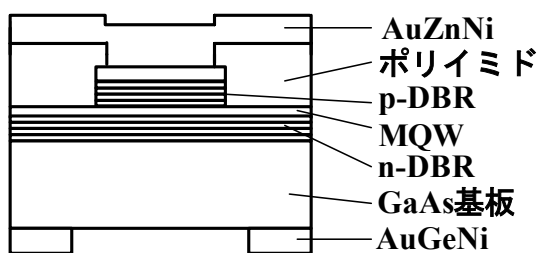


図1 VCSELの構造

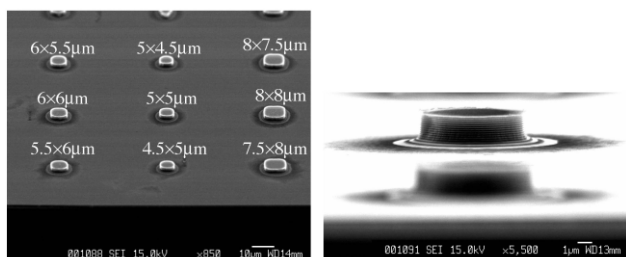


図2 メサ構造のSEM写真

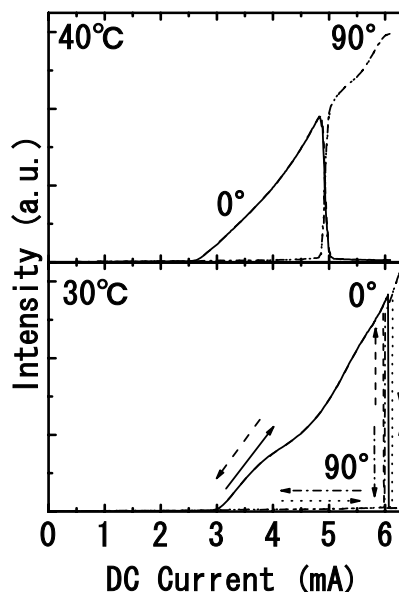


図3 DC電流－光出力特性

(2) 1.55 μm帯VCSEL作製のための異種結晶接着法の検討 (山形大学)

0.98 μm帯VCSELの偏光双安定動作が自作の素子により実現できたことから、光通信波長帯である1.55 μm帯VCSELでの偏光双安定動作を目指して研究を開始した。長波長VCSEL用材料はすでに阪府大グループでInGaAsSbN系材料を用いて行っているが、山形大グループではGaAs系材料とInGaAsP系材料のウエハ接着法による実現を目指している。まず基礎検討として、平成15年度CREST予算で購入した、赤外線ランプ加熱装置を用いて、ウエハ接着法によりn-GaAs/ n-InPおよびp-GaAs/ p-InP接合を形成し、図4の構造のサンプルを作製し、電圧－電流 (V-I) 特性を検討した。その結果、十分な機械的強度をもつ接合が実現できたが、現在のところ、一例として図5にn-GaAs/ n-InP接合のV-I特性を示すように、素子間のばらつきが大きい。現在再現性を含め作製条件をつめている。

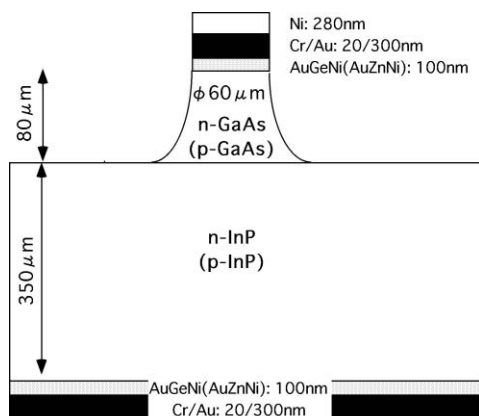


図4 ウエハ接着で作製したGaAs/ InP接合を評価するためのサンプル構造

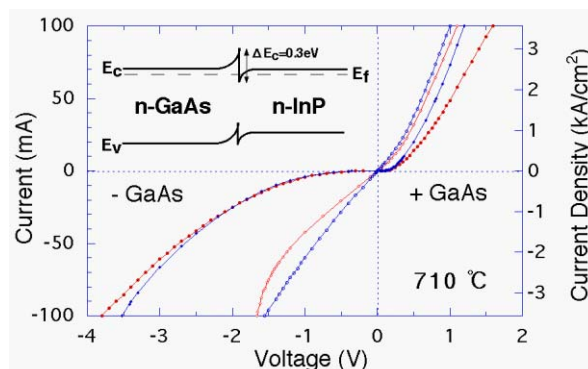


図5 n-GaAs/ n-InPの電圧－電流特性

(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)

高速光ヘッダ識別器として光DA変換器による低遅延処理・素子数削減を目指している。平成15年度は光DA変換型ヘッダ識別器の多ビット化とその半導体集積化実現を目的とした。また光DA変換器の安定動作のために必要な偏波制御回路の確立を検討した。

多ビット化については4ビットの光ヘッダを前半2ビットと後半2ビットに分けて並列に処理を行う手法を提案し、4ビット識別と光パケットスイッチの基本動作を実現することができた。光DA変換器の半導体集積化に関しては、InGaAsP/InP構造のハイメサ導波路を用い、大きな屈折率差を利用した小型化を目指した。その結果、10Gbps 4ビット対応のものが数mm角で収まる可能性があること、作製上はメサ側壁の平滑度向上が重要であることがわかった。偏波制御回路に関しては、偏波ビームスプリッタで2つの直交な直線偏波に分離し、光強度の大きな成分を2×2光スイッチで選択する機構の考案に至った。

(4) 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)

光信号を周波数スペクトルに分解し、振幅位相制御を行って波形整形・パケット生成に適用できるAWG光信号スペクトル制御回路の高性能化及び機能化を目指して、導波路内にミラー設けた回路の設計及び試作を実施した。昨年度試作導波路の導波路内ミラーの損失は、4-5dBであったが、今年度試作導波路では、損失が1-2dB以下まで低減された。AWGのアレイ部に微小ミラーによる曲げ構造を用いて従来よりも寸法を1/10以下にすることに成功した。同じ面積の基板に対して分解能を10倍に上げることが可能になる。また、AWGのスラブ導波路部にミラーを形成してスペクトル分解される焦点位置を円弧状から直線状に変換した。これによって、光信号スペクトル制御用の空間光変調器の集積が容易になる。

(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)

MBE法により、新材料系であるInP基板上的InGaAsSbN量子井戸を有するダイオードを作製し、その光学的特性を評価した。まずSb組成及びN組成をX線回折スペクトルの測定により評価し、Sb組成及びN組成の高精度の制御が可能であることを示した。またSb及びNの導入によりバンドギャップが減少することを明らかにした。特にNに関しては1%の導入で100meV近いバンドギャップの減少が得られることを明らかにした。さらにGaAs基板上及びInP基板上にInGaAsSbN量子井戸層を有する発光ダイオードを作製し、室温でそれぞれ波長1.25 μ m、及び波長2.43 μ mの電流注入発光を観測することに成功した。

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：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）

(1) 論文発表

山形大学

- Y. Sato, Y. Takahashi, Y. Kawamura, and H. Kawaguchi, "Field dependence of electron spin relaxation during transport in GaAs," Japanese Journal Applied Physics, Vol. 43, No. 2A, pp. L230-L232, Feb., 2004.

東京工業大学精密工学研究所

- H. Uenohara, T. Seki, and K. Kobayashi, " Investigation of high-speed wavelength routing and bit error rate performance of an optical packet switch with an optical digital-to-analog conversion-based header processor", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.16, No.3, pp.951-953 (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).

慶應義塾大学

該当なし

大阪府立大学

- Y. Kawamura, M. Amano, K. Ouchi, and N. Inoue, "Photoreflectance Characterization of Ordered/Disordered GaAs_{0.5}Sb_{0.5} layers Grown on InP Substrates by Molecular Beam Epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. vol.42, 7A, p.4288 (2003)
- Y. Kawamura, T. Nakagawa, M. Amano, K. Ouchi, and N. Inoue, "2.43 μ m light emission of InGaAsSbN quantum well diodes grown on InP substrates," Jpn. J. Appl. Phys. Vol43, 4B, p.L530 (2004)

(2) 特許出願

山形大学

H15年度特許出願件数：1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

H15年度特許出願件数：2件（CREST研究期間累積件数：2件）

慶應義塾大学

H15年度特許出願件数：2件（CREST研究期間累積件数：2件）

大阪府立大学

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：1件）