

氏名 小坂英男  
 学位(専攻分野) 博士(工学)  
 学位記番号 論工博第3465号  
 学位授与の日付 平成11年9月24日  
 学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当  
 学位論文題目 面発光機能素子の開発とその応用に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 藤田茂夫 教授 松波弘之 助教授 野田 進

### 論文内容の要旨

コンピュータのネットワーク化、並列処理化に伴い、データ伝送の大容量化が望まれている。垂直共振器型面発光レーザ (Vertical-Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL) は、面に垂直方向に発光するため、現状の端面発光レーザに対して二次元集積性に優れ、大容量データの並列伝送を可能とする素子として期待されている。また小型で電子デバイスとの面内集積が可能のため、情報処理に不可欠な様々な機能を融合することができる点でも優れている。しかしながら、これらの利点を有する VCSEL においては、解決すべきいくつかの問題点があった。すなわち、従来技術では、レーザの高性能化に必要な発振しきい電流の低減化は素子抵抗及び駆動電圧の上昇が付随し、変調特性の劣化や温度上昇を招くことなどの難点があった。このため、VCSEL の機能集積化を実際に実現した例はなかった。

本論文では、以上のような技術的な背景を踏まえて、光情報処理に必要な発光、受光、スイッチ、メモリ、光増幅機能などの諸機能を集積一体化した面発光機能素子を実現して高性能化・多機能化を達成するために、駆動電圧上昇の問題をメサ光閉じ込め構造の導入により克服し、これを基に並列データ伝送への応用を目指した二次元 VCSEL 伝送モジュールとその並列性を生かした分散型光スイッチの開発を行った研究結果を纏めたものである。

第1章は序論であり、研究の背景と従来技術の問題点を明確にして、本論文の目的と位置付けを行うとともに、論文全体の構成について述べている。

第2章では、従来の VCSEL の性能上の問題点を克服するため考案したメサ光閉じ込め型 VCSEL の設計論と作製について述べている。本設計には、従来の端面発光レーザの設計に用いられる実効屈折率近似を用いた疑似次元解析が通用せず、三次元的な共振器モード解析手段を独自に開発している。この設計に基づく素子を実際に作製した結果、代表的には、1 mA 以下の発振しきい値と安定した基本横モードを持ち、3 V 以下で 1 mW 以上の光出力を持つ VCSEL が作製可能となり、変調特性でも 7 GHz の遮断周波数と、5.0 GHz/mA<sup>1/2</sup> の変調効率を示す良好な結果を得ている。

第3章では、この VCSEL を応用して、光情報処理の基本要素となる発光、受光、スイッチ、メモリ、光増幅等の機能を一体化させた面発光機能素子の提案と実証を行っている。量子系における二重量子井戸の電子準位分裂現象に着想を得て VCSEL に新しい二重光共振器構造を導入した素子により、従来比 50 倍以上の受光帯域を確保している。またサイリスタ構造の導入によりスイッチング機能とともに、フォトトランジスタ動作を伴う 50 倍以上の光増幅機能を実現している。これらのモノリシックな機能集積化において技術的に要求される発光波長と受光波長の一致を図るために量子閉じ込めシュタルク効果を利用するとともに、発光と受光部の層構造に部分的な位相変化を導入するため、独自に考案した結晶再成長法を用いている。そして実際に作製した面発光機能素子の各機能は光情報処理の実現に十分な特性を有することを示している。

第4章では VCSEL を実際に並列光データ伝送に応用した結果について述べている。微細な位置合わせの必要なく二次元配列された光ファイバとの一括接続が可能な構造を考案し、量産性に優れたモジュールを開発している。2×8 の 16 チャンネルを有する 2 次元並列伝送モジュールで 16 Gbps の伝送容量を実現し、さらに、イメージファイバを用いた高密度並列伝送や大口径ファイバを用いた簡易伝送の提案と実証を行い、VCSEL の持つ並列光データ伝送における大きな可能性を明示している。

第5章ではコンピュータの並列処理化やネットワーク化に欠かせないルーティングスイッチの実現について述べている。集積化された VCSEL からなる送信側チャンネルを切り替えることにより光路選択を可能としている。16 ch×16 ch 単純マトリックス型の伝送網構成を試作し、良好なスイッチング特性と1 Gbps/ch の伝送容量を実現している。

第6章は結論であり、本論文で得られた結果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、垂直共振器型面発光レーザにおいて、光情報処理や並列データ伝送等への応用上不可欠な発振しきい電流の低減化、低電圧駆動化、発振モードの安定化と高速変調化などの高性能化とともに機能の集積化を図ること、さらにこの種の面発光素子を二次元並列データ伝送や分散型光スイッチへの応用を目的として研究した結果を纏めたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 面発光レーザの発振しきい値と駆動電圧の低減化および光のモード制御を、新しいメサ型光閉じこめ構造の採用によって実現するとともに、三次元有限要素法による構造解析によって構造の最適化を図っている。また、これらの結果を基に良好な高周波変調特性を有する面発光レーザを得ている。

2. 光情報処理の基本要素となる発光、受光、スイッチ、メモリ、光増幅などの機能を一体化させたモノリシック機能集積面発光素子の提案を行うとともに、新たに考案した結晶再成長法によって二重光共振器を内包する素子を作製し、実際に応用する上で十分な特性を有することを実証している。

3. 作製した面発光レーザを短距離並列光データ伝送に応用して、二次元的に配列された光ファイバーと微細な位置合わせなしに一括接続が可能な構造を提示するとともに、量産性にすぐれた二次元アレイ並列伝送モジュールを開発している。

4. 面発光レーザの集積性を活かした分散型の光スイッチ網を提案するとともに、実際に16 ch×16 ch 単純マトリックス型の伝送網構成を試作し、良好なスイッチング特性と1 Gbps/ch の伝送容量を実現している。

以上を要するに本論文は、垂直共振器型面発光レーザの発振しきい値の低減化、低電圧駆動化、モードの安定化、高速変調駆動化などの高性能化をはじめ、光情報処理に要求される機能の集積化を実現するとともに、集積性を活かした二次元並列伝送モジュール、分散型光スイッチへの応用を図ったものであり、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成11年8月11日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。