



Title	量子井戸の選択的無秩序化技術とその集積半導体レーザへの応用に関する研究
Author(s)	島田, 尚往
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44271
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	しま だ なお ひさ
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17853 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	量子井戸の選択的無秩序化技術とその集積半導体レーザへの応用に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 栖原 敏明 (副査) 教授 吉野 勝美 教授 八木 哲也 教授 尾浦憲治郎 教授 森田 清三 教授 谷口 研二

論文内容の要旨

本論文は量子井戸の選択的無秩序化技術とその集積半導体レーザへの応用に関する研究の成果をまとめたもので、5 章で構成した。

第 1 章は研究の背景、目的を述べた。モノリシック集積により高機能を実現する集積半導体レーザは光応用分野で発展が要求され、そのためにバンドギャップ制御技術が重要である。その技術のひとつとして不純物を用いない空孔拡散による選択的無秩序化が期待されている。そこで本研究はこの技術の InGaAs 量子井戸における検討、この技術を応用した集積半導体レーザの作製、評価を目的とした。

第 2 章は無秩序化技術の理論的、実験的検討について述べた。無秩序化によるバンドギャップ変化を理論的に調べ、吸収変化について検討した。選択的無秩序化に必要な抑制キャップとして種々の物質を実験し、薄い SiO₂ を用いられることを新たに見出した。そして厚さの異なる SiO₂ を用いて選択的無秩序化に成功しレーザ発振波長差 23 nm を得た。さらに受動導波路を集積したレーザを評価して受動損失を決定し無秩序化なしの場合の 40 cm⁻¹ に対して 3 cm⁻¹ と大幅な低減を達成した。

第 3 章は前章の技術で低損失化した分布ブラッグ反射器 (DBR) を用いた DBR レーザについて述べた。前章の実験結果から DBR を設計し、選択的無秩序化を組み込んだ作製プロセスでデバイスを作製した。DBR 反射率は 70% と高く、しきい値は 3.5 mA と無秩序化なしの場合の約半分にでき、最大出力パワーは 60 mW で約 2 倍に増大できた。サイドモード抑圧比も 40 dB と改善を得た。

第 4 章は新規デバイスである外部共振器型波長可変レーザについて述べた。レーザは半導体チップと外部ハーフミラーで構成され、グレーティング結合器により平行ビーム出力が得られ、チップを回転させ発振波長を変えられる。結合器は低損失化を考慮し設計した。注入電流 1.5 A から発振し、最大出力パワー 105 mW、0.16° × 0.18° の良好なビーム平行度を得た。また 21.1 nm の広い波長可変範囲を達成した。

第 5 章では研究成果を総括した。本研究では厚さの異なる SiO₂ を用いた選択的無秩序化の手法を新たに見出し、受動損失を顕著に低減した。また DBR レーザにこの手法を応用して性能改善を達成し、新規デバイスの集積化外部共振器波長可変レーザを作製して良好な特性を得た。検討した技術の集積デバイス応用の有用性を実証できた。

論文審査の結果の要旨

半導体レーザは小型・安定・高性能で経済的なコヒーレント光源として光通信や光ディスクなどの情報処理の分野で広く利用されているが、この半導体レーザと各種の受動光学素子を同一基板上に集積化することにより、機能や性能を高めた集積半導体レーザやモノリシック光集積回路を実現できる。このような集積化上の問題点は、集積デバイス中の受動領域では、同材料で構成されたレーザの発振波長における光損失が極めて大きいためレーザ光は十分な距離を伝搬できることである。そこで受動領域での光損失低減の技術が必要である。いくつかの方法が研究されているが、それぞれ利点と欠点がある。一方として知られている量子井戸構造の選択的無秩序化は、顕著な損失低減、多種材料への適用可能性、結晶再成長過程が不要、比較的簡便な装置で実施可能などの利点を有する有望な方法と考えられるが、限られた材料で報告があるので各種材料での技術確立はなされていない。この技術を集積半導体レーザに応用することにより性能の改善や高機能化が可能で種々の新規なデバイスが実現できると期待される。しかし具体的デバイス応用については少数の基礎的応用の報告例があるが、まだ十分な研究は行われておらず、多くの可能性と課題が残されている。

本論文の研究は、量子井戸選択的無秩序化技術の確立と、応用の開拓のため新規な集積半導体レーザのデバイス構成を提案し実現可能性を実証することを目的としたものであり、理論的実験的検討を行って以下のような成果を得ている。

- (1) 量子井戸選択的無秩序化の過程を理論的に取り扱うモデルを整理し、受動光損失の実質的な低減を実現するための条件を見積もる手法と具体的数値例を明らかにしている。
- (2) InGaAs 量子井戸導波路構造において、厚さの異なる SiO_2 層と高速熱処理を用いた選択的量子井戸無秩序化技術を確立し、また受動光損失の実験的評価の方法を確立している。これにより、この技術の応用および集積半導体レーザの設計に有用な多くの基礎データを得ている。
- (3) 曲線分布プラグ反射 (DBR) グレーティングとリッジ構造からなる半導体 DBR レーザに本研究の量子井戸選択的無秩序化技術を適用している。具体的な設計例を示し、複雑な作製プロセスを一貫して実行できるよう調整して実際の作製を可能にしている。実際にこの集積半導体レーザを作製して性能を測定し、無秩序化技術を利用しない同型のレーザに比べて顕著な特性改善を達成している。本技術の有効性を実証した成果として評価できる。
- (4) 高機能な集積半導体レーザ実現への応用の具体例として、集積外部共振器型波長可変レーザを提案している。このレーザは波長可変であるだけでなく、高出力で小型でレンズなしで平行ビームを出力できるなどの特長を持つ。実際に同レーザを設計し、本研究の無秩序化を組み入れた作製プロセスにより試作を行っている。実験により波長可変機能を確認するとともに、実用的なレーザ性能を得ている。量子井戸選択的無秩序化技術の半導体レーザ高機能化上の有用性を実証し、新規で実用的な集積半導体レーザの開発に発展させた例として評価できる。

以上のように、本論文の研究は、厚さの異なる SiO_2 膜をキャップ層として用いる高速熱処理による量子井戸の選択的無秩序化の技術を確立し、この無秩序化技術により光損失の顕著な低減を達成し、集積半導体レーザの顕著な特性改善と新規な集積半導体レーザの実現により、この技術の有効性を実証したものである。集積半導体レーザおよび半導体レーザを中心とするモノリシック光集積回路の実現と特性改善に関する多くの有用な知見を得ており、集積光電子工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値のあるものと認める。