

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	レンズ集積型面出射半導体レーザに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	足立光一郎
Author(English)	Koichiro Adachi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10535号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小山 二三夫,淺田 雅洋,植之原 裕行,渡辺 正裕,宮本 智之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10535号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 足立 光一郎
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 小山 二三夫 教授
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「レンズ集積型面出射半導体レーザに関する研究」と題し、7章から構成されている。

第1章「序論」では、まず、光通信用モジュールにおいて、大容量化と共に、小型化、低コスト化が必要となっている背景について説明し、次いで、光源として従来型の半導体レーザを用いた場合の課題を整理し、本研究の目的、本論文の構成について述べている。

第2章「レンズ集積型面出射半導体レーザの提案及び作製方法」では、新たに提案したレンズ集積型面出射半導体レーザ (LISEL) の構造及び作製方法について説明し、LISEL の試作結果について述べている。まず、シングルモードファイバ(SMF)との光結合に外部レンズを必要としない新型光源として、従来の分布帰還型(DBF)レーザに光路変換ミラーとレンズを集積した LISEL を提案し、集積によるレーザ特性の劣化を極めて小さく抑える構造の机上検討を行っている。次に、ミラーの作製方法を検討し、ウェットエッチング速度を最適化することで、角度バラツキの標準偏差値が $\pm 0.3^\circ$ と高精度となる制御技術を実現したと述べている。また、レンズの作製方法を検討し、エッチングの進行に伴い形状変化が小さくなる領域が存在すること、この時の曲率半径がレンズ直径に依存することを見出し、高精度なレンズ作製技術を実現したと述べている。さらに、これらの検討に基づいて LISEL を作製し、併せて作製した DBF レーザとの光出力、レーザ遠視像(FFP)の比較結果から、LISEL により、レーザ特性の劣化無く、出射ビーム幅の精密制御を実現したと述べている。

第3章「レンズ集積型面出射レーザと光ファイバの結合特性」では、LISEL と SMF の直接光結合技術について述べている。まず、シミュレーションにより LISEL の出射ビームを集光型とすることで、SMF と良好な結合効率を得られることを確認し、これに好適なレンズの設計を行っている。次いで、設計したレンズを集積した LISEL を作製し、SMF との直接光結合実験を行い、結合効率の LISEL, SMF 間距離依存性の評価結果より、集光型の出射ビームを実現したと述べている。さらに、集光型ビームを有する LISEL と SMF のピーク結合効率-3.8dB を実現したと述べている。

第4章「レンズ集積型面出射レーザの高速化検討」では、LISEL の 25Gbps 高速動作検討の結果について述べている。まず、短共振器構造の採用による LISEL の高速特性改善を提案し、共振器長 $150\mu\text{m}$ の LISEL を作製し、共振器長 $200\mu\text{m}$ の DBF レーザとの緩和振動周波数の比較結果から、LISEL において短共振器構造が高速特性改善に有効であることを確認している。さらに、作製した共振器長 $150\mu\text{m}$ の LISEL を用いた 25Gbps での変調実験を行い、動作温度 100°C において、アイ開口を確認したと述べている。

第5章「高温高速動作特性改善に向けた新活性層材料 GaInNAs の検討」では、高温下における高速動作特性のさらなる改善に向けた新活性層材料として有望な、GaInNAs 量子井戸結晶の高品質化検討の結果について述べている。結晶欠陥の原因となる Al 混入の防止と、結晶成長温度の最適化による結晶品質改善を提案し、作製した GaInNAs 結晶と従来の GaInNAs 結晶とのフォトルミネッセンス強度の比較から、提案手法が結晶品質改善に有効であることを実証したと述べている。さらに、結晶品質を改善した GaInNAs 単一量子井戸結晶を活性層に用いた半導体レーザを作製し、発振しきい電流の評価結果から、実用レベルの低しきい電流発振を実現したと述べている。

第6章「端面フリー型 LISEL の基礎検討」では、LISEL の製造コスト低減に向けた、端面フリー化構造の基礎検討結果について述べている。端面フリー化のため、LISEL の劈開端面に分布ブラッグ反射(DBR)ミラー、光吸収体、InP 結晶からなる窓構造を集積した構造を提案し、提案構造を有する DBF レーザを作製し、併せて作製した劈開端面を有するレーザと、光出力特性、発振スペクトル特性を比較し、提案した端面フリー構造が、従来の劈開端面と同等の性能を有することを実証したと述べている。さらに、端面フリー構造を適用した LISEL を作製し、ウェハ状態での光出力特性評価結果から、端面フリー型 LISEL が製造コスト低減に有効な構造であると実証したと述べている。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果を総括している。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻
Department of
学生氏名： 足立 光一朗
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 小山 二三夫 教授
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this thesis, we describe the study on a lens-integrated surface-emitting semiconductor laser for a low-cost and compact optical module.

In the first chapter, we explain about the demand for low-cost and small-size optical modules in high-capacity networks. We discuss on the issues in the case that we use the conventional semiconductor laser, such as distributed feedback (DFB) lasers.

In the second chapter, we propose a novel lens-integrated surface-emitting DFB laser (LISEL), which consists of DFB cavity, integrated mirror, and integrated lens, to solve issues discussed in the first chapter. And we show its fabrication process and evaluated characteristics. Integration processes of the mirror and the lens with very high accuracy were developed by optimizing each etching process. The fabricated LISEL showed the same output power as the conventional DFB laser, with very narrow far-field patterns due to the integrated lens.

In the third chapter, we discuss on the optical coupling between the LISEL and a single-mode fiber (SMF). A theoretical calculation showed the LISEL with focused beam could achieve high-coupling efficiency, and the fabricated LISEL based on the calculation showed the coupling efficiency of -3.8 dB.

In the fourth chapter, we discuss on the high-speed operation of the LISEL. By adopting the short cavity of 150 μ m, a high-speed characteristic, namely, a relaxation-oscillation frequency, was improved as compared to the conventional DFB laser with longer cavity. The fabricated LISEL showed clear eye opening at 25 Gb/s up to 100 $^{\circ}$ C.

In the fifth chapter, we discuss on a novel material GaInNAs as a laser active layer to improve the high-speed characteristic at higher temperature. By removing Al contamination from GaInNAs, we improved its crystallinity, and achieved enough threshold current for practical use.

In the sixth chapter, we discuss on a facet-free structure, which consists of the distributed Bragg reflector mirror, absorption layer, and window structure, to reduce the fabrication cost of the LISEL. The same laser characteristics as the conventional laser with facets were obtained by the laser with the proposed facet-free structure.

In the seventh chapter, we summarize this study and give some future prospects.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).