

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ーに関する研究
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, 学位の種類: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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	足立 光一郎		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小山二三夫	教授	審査員	渡辺 正裕	准教授
	審査員	浅田 雅洋	教授		宮本 智之	准教授
		植之原裕行	教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「レンズ集積型面出射半導体レーザの研究」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するとともに、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(DFB)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 $\pm 0.3^\circ$ の高精度な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。これらの検討に基づいて LISEL を作製し、通常の DFB レーザとの光出力、遠視像(FFP)の比較結果から、提案構造により、レーザ特性の劣化が無く、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 と良好な結合効率が得られることを確認し、これに好適な集積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 の最大結合効率 -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 高速直接変調動作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 の高速応答特性の改善方法を提案し、共振器長 150 $\mu\text{m}$  の LISEL を作製して、共振器長 200 $\mu\text{m}$  の DFB 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実証している。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 $^\circ\text{C}$ において、良好な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ている。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、発振しきい値電流の評価結果から、実用レベルの低しきい値電流動作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、端面フリー型 LISEL 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鏡、光吸収層、InP 層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 DFB 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、従来の劈開端面構造と同等の性能を有することを実証している。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。

以上を要するに、本論文は、レンズ集積によるモジュールの小型化と高温下での 25Gbps 動作特性を可能とする新たな半導体レーザ LISEL を実現するとともに、素子製造コストが低減可能な端面フリー構造の有効性を実証し、大容量光通信モジュールの小型化、低コスト化の可能性を示したものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。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られる。