

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	チップ上光配線に向けた薄膜分布反射型レーザに関する研究
Title(English)	Study of Membrane Distributed-Reflector Lasers for On-Chip Optical Interconnection
著者(和文)	平谷拓生
Author(English)	Takuo Hiratani
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10472号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:荒井 滋久,水本 哲弥,宮本 恭幸,西山 伸彦,庄司 雄哉,松尾 慎治
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10472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	平谷 拓生	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	荒井 滋久	教授	庄司 雄哉	准教授
	審査員	水本 哲弥	教授	松尾 慎治	NTT 物性基礎 研究所 (学外審査員)
		宮本 恭幸	教授		
		西山 伸彦	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study of Membrane Distributed-Reflector Lasers for On-Chip Optical Interconnection (チップ上光配線に向けた薄膜分布反射型レーザに関する研究)」と題し、英文 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction (序論)」では本研究の背景について説明し、その目的および本論文の構成を述べている。まず、長距離通信用光通信技術のこれまでの歴史および、近年の短距離光通信への応用に関する動向を述べている。短距離通信の中でも特に、チップ上配線の代替技術についてまとめ、光配線の有利性を示している。チップ上光配線を実現するために、極低消費電力動作が可能な光源について動作エネルギーや集積性の観点から比較検討を行い、高効率かつ低消費電力動作が可能な薄膜分布反射型(DR)レーザを提案している。また、これまでの薄膜レーザの問題点として、動作エネルギーに対する見積もりが不十分であり、回折格子構造導入による低しきい値電流動作が実現されていなかったと述べている。そこで、本研究ではチップ上光配線に向けた高性能な薄膜レーザを実現することを目的としたと述べている。

第 2 章「Theoretical Analysis of Membrane Lasers (薄膜レーザの理論解析)」では、チップ上光配線に向けた薄膜レーザの構造設計について述べている。まず、チップ上光配線用光源に求められる動作エネルギーおよび光出力、変調速度などを理論的に明らかにしている。次に、薄膜分布反射型レーザにおける動作エネルギーの解析手法を述べ、解析により得られた消費電力の共振器長依存性から、短共振器構造においては抵抗値の増大により消費電力が増大し、最適な共振器長が存在することを明らかにしたと述べている。さらに、動作エネルギー低減に向け、*p*-InP クラッド層の高不純物濃度化および電極と活性層端の距離を短縮することにより、短共振器においても動作要求を満たし 100 fJ/bit を下回る極低消費電力動作が実現可能であることを理論的に明らかにしたと述べている。

第 3 章「Fabrication Techniques for Membrane Lasers (薄膜レーザの作製技術)」では、薄膜レーザを実現するために求められる作製技術および課題である低電圧動作に向けた作製プロセスについて述べている。まず、表面回折格子を有する薄膜分布帰還(DFB)レーザを作製し、しきい値電流 0.39 mA の低電流動作を実現したと述べている。この素子では微分抵抗が高いという課題があり、2 次イオン質量分析法を用いた解析から、*p*-InP クラッド層中に *n* 型となりうる元素の含まれる領域が存在することを明らかにしたと述べている。この解決策として、Au/Zn/Au 電極の導入および再成長プロセスの変更を導入し、伝送長法(TLM/Transfer length method : TLM 法)による測定から低電圧動作が可能であることを示している。最後に、Au/Zn/Au 電極を導入したファブリ・ペロー共振器レーザを作製し、従来の 15%程度の低微分抵抗および 40%程度の低しきい値電圧特性を実現したと述べている。

第 4 章「Membrane Distributed-Reflector Lasers (薄膜分布反射型レーザ)」では、片側に分布ブラッグ反射器(DBR)を導入した薄膜分布反射型レーザを作製し、外部微分量子効率の大幅な改善に成功したと述べている。活性領域長 80 μm の薄膜 DBR レーザにおいて、これまでに比べて倍以上の高い外部微分量子効率 35%を実現している。次に、DFB 領域長 30 μm を有する薄膜 DR レーザにおいてしきい値電流 0.42 mA の低しきい値電流動作を、DFB 領域長 61 μm を有する素子において外部微分量子効率 26%の高効率動作を実現したと述べている。また、前者の小信号応答特性から、最大 3dB 帯域として 12.8 GHz が得られ、10 Gb/s 信号伝送には十分な帯域を得られたと述べている。最後に、DFB 領域長 61 μm の素子を用いて 10 Gb/s 信号伝送を行い、980 fJ/bit の動作エネルギーを実現したと述べている。

第 5 章「Design for On-Chip Application (チップ上応用に向けた設計)」では、チップ上光配線への応用に向けて、しきい値電流の低減に向けた構造検討および薄膜レーザの温度特性について述べている。まず、受動導波路部での漏れ電流を低減するため、導波路領域の両脇に溝を形成した電流狭窄構造を導入し、DFB 領域長 30 μm の素子においてしきい値電流 0.29 mA の低しきい値電流動作を実現したと述べている。また、今後前面にも反射鏡を設けた低屈折率結合構造とすることで、低エネルギー動作が実現可能であることを示している。次に、薄膜レーザの温度特性について理論解析を行い、薄膜 DR レーザは通常の光ファイバ通信用レーザに比べて非常に高い熱抵抗特性を有するが、その半面、動作電流範囲は非常に低いため、自己発熱の影響は非常に小さいことを明らかにしている。また、作製した薄膜 DR レーザにおいて、DFB 領域のブラッグ波長に対して光利得ピーク波長を室温域で短波長側に設定するブラッグ波長デチューニング構造を用いることにより、90 $^{\circ}\text{C}$ においてもしきい値電流を 1 mA 以下での連続動作を実現したと述べている。

第 6 章「Conclusion (結論)」では、本研究で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本論文はチップ上光配線用光源である薄膜レーザの高性能化を目的としており、分布反射(DR)構造導入による低しきい値電流、高効率動作を実現し、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」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。