

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	薄膜分布反射型レーザの低消費電力動作構造および作製プロセスに関する研究
Title(English)	Study of Low-Power Consumption Structure and Fabrication Process of Membrane Distributed Reflector Lasers
著者(和文)	高橋直樹
Author(English)	Naoki Takahashi
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12699号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西山 伸彦,中川 茂,宮本 智之,庄司 雄哉,雨宮 智宏,松尾 慎治
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12699号, Conferred date:2024/3/26, 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

(博士課程)

## 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	高橋 直樹	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	西山 伸彦	教授	雨宮 智宏	准教授
	審査員	中川 茂	教授	松尾 慎治	外部審査員
		宮本 智之	准教授		
		庄司 雄哉	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study of Low-Power Consumption Structure and Fabrication Process of Membrane Distributed Reflector Lasers (薄膜分布反射型レーザの低消費電力動作構造および作製プロセスに関する研究)」と題し、英文 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction(序論)」では、光通信の歴史を紐解くとともに、低消費電力レーザに関して概説している。その中で、半導体薄膜レーザについて、その低消費電力レーザとしての優位性を述べている。そして、どれを選択し、どのように設計するかは、アプリケーションに依存することを指摘し、またその際のレーザ設計にはトレードオフが多く存在することを述べている。特に、データ伝送用のレーザを考えた場合、前述したトレードオフを含む設計論が十分でないことを指摘し、それを確立し、実証することが本論文の目的であると述べている。

第 2 章「Theoretical analysis of membrane laser for low-power consumption operation (低消費電力動作のための半導体薄膜レーザの理論的解析)」では、半導体薄膜レーザの低消費電力設計について、議論している。まず、横方向の閉じ込めを強化する方法として、埋め込みリッジ導波路を提案している。埋め込みリッジ導波路は、光閉じ込め係数も増加することができるため、電極をより活性層に近づけることができ、内部損失を増加させず電気抵抗を下げることもできる適切な設計が存在することを指摘している。次に、共振軸方向の閉じ込めとして、従来利用されている  $\lambda/4$  シフト構造では、半導体薄膜レーザへ適用すると、閉じ込めが強すぎるため空間ホールバーニングが発生することを指摘、これを緩和するために ACPM(Asymmetric corrugation-pitch-modulation) 回折格子の導入を提案し、軸方向に対するキャリア密度の不均一性が解消されることを示している。以上の理論計算を利用して、データ伝送を想定した場合の、要求光出力および伝送速度から最適なレーザ構造を導くことに成功したと述べている。

第 3 章「Fabrication technologies for membrane photonic devices (半導体薄膜光デバイスのための作製技術)」では、Si 基板上に第 2 章で設計した化合物半導体薄膜構造を形成するための作製技術について述べている。特に有機金属気相成長法による選択再成長を利用した横クラッド層膜厚制御について、成長過程を明確にし、成長時間と膜厚の関係を導きだしたと述べている。また、回折格子の波長設計と実際の特性の関係を明確にするとともに、再現性を向上するための新たなプロセスシーケンスを確立したと述べている。

第 4 章「Characteristics of membrane distributed-reflector lasers (半導体薄膜分布反射型レーザの特性)」では、実際に半導体薄膜レーザを作製し、その特性を明らかにしている。まず、量子井戸層厚やドーピングプロファイルを調整することによって、高温特性を改善し、電気抵抗を下げることもできたことと述べている。そのうえで、第 2 章で提案した埋め込みリッジ構造や ACPM 回折格子を実際に導入し、従来の研究に比べ低いしきい値電流を達成できたと述べている。また、20Gbps でのアイダイアグラムを確認したと述べている。

第 5 章「Future prospects: extension of applications of membrane lasers (将来展望：半導体薄膜レーザのアプリケーション拡大)」では、複数のアプリケーションへの応用例を示している。オンチップ光インターコネクションでは、2 章での検討に加え、データ伝送エネルギーコストの観点からの、さらなる新構造導入について議論している。また、InP 導波路との集積手法について議論している。光ニューラルネットワークとしては、半導体薄膜レーザが、光 ReLU 関数として利用できることを指摘し、その動作実証を行ったと述べている。Radio-over-fiber では、光子-光子共鳴構造を新たに導入することで、変調帯域を拡大し、30GHz 帯で 64QAM の無線信号を 3GPP 規格値内の EVM(Error Vector Magnitude)で信号伝送をできたと述べている。

第 6 章「Conclusion(総括)」では、これまでの議論を総括している。

以上を要するに、本論文は、低消費電力半導体薄膜レーザの設計指針を確立し、実証したものであり、工学上貢献するところが大きい。よって、博士(工学)の学位を与えるに十分資すると認められる。

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。