T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	GaInAsP/InP Membrane Integrated Lasers for On-chip Optical Interconnection
著者(和文)	井上大輔
Author(English)	Daisuke Inoue
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10639号, 授与年月日:2017年9月20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,硴塚 孝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10639号, Conferred date:2017/9/20, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	井上　大輔	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	荒井　滋久
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	西山　伸彦

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「GaInAsP/InP Membrane Integrated Lasers for On-chip Optical Interconnection (チップ上光配線に向けた GaInAsP/InP 薄膜集積レーザ)」と題し、英文 7 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、集積回路技術の発展の歴史を通じて、限られた電力消費の中で性能向上が必要であることを述べている。特にチップ上配線に関する新規技術についてまとめ、1 cm を超える距離と高速な領域において光配線が有望であることを示している。チップ上光配線に向けて 100 fJ/bit 以下の極低消費電力動作が可能なレーザ光源が必要であり、代表的な光源の低消費電力・高速動作性能の比較を行っている。

本論文では薄膜分布帰還形(DFB)レーザを極低消費電力光源として提案し、これまでの薄膜レーザの問題点として、集積方法、および低しきい値電流・高速変調動作を挙げ、チップ上光配線に向けて薄膜レーザを用いた光配線の有用性を実証することを目的とすると述べている。

第 2 章「Theoretical analysis of membrane devices for on-chip optical interconnection (オンチップ光配線に向けた薄膜素子の理論解析)」では、光リンク構造の特性が及ぼす影響、薄膜レーザの高速特性の見積もりについて述べている。高効率なリンク構造として結合損失 0.1dB、伝搬損失 1 dB/cm の構造が実現できれば長さ 2 cm のリンクにおいて光源の光出力は 83 μW となることを明らかにしている。次に、薄膜 DFB レーザにおけるしきい値電流と変調効率を理論解析から明らかにしている。屈折率結合係数 2000 cm^{-1} の構造において、しきい値電流 0.17 mA が共振器長 60 μm で得られる。バイアス電流に対する緩和振動周波数上昇の傾きである変調効率は、バイアス電流 1 mA において動作速度 10 Gbit/s または 20 Gbit/s を得るためには少なくとも 5 GHz/$mA^{1/2}$ または 10 GHz/$mA^{1/2}$ 以上が必要であると述べている。活性層体積の微小化による高微分利得構造が実現できれば、10 Gbit/s において 38 fJ/bit のエネルギーコストが可能であることを明らかにしている。

第 3 章「Design and fabrication of membrane butt-jointed built-in structure (薄膜 Butt-jointed built-in 構造の設計と作製)」では、薄膜レーザを集積するために必要な構造に関する数値解析と結晶成長技術ついて述べている。まず、薄膜 BJB 構造の解析を行い、受動導波路領域の膜厚誤差±20 nm に対する結合損失増加は 0.09dB(2%)、反射戻り光強度は-42dB 以下となることを示している。次に有機金属気相成長法を用いた薄膜 BJB 構造の形成プロセスについて述べている。結晶成長前におけるエッチング深さと露出した活性領域メサの角度制御を行い、エッチング深さ 165 nm、メサ角度 50°のときに平坦に埋め込まれた集積構造を実現したと述べている。

第 4 章「Lasing characteristics of membrane DFB lasers (薄膜 DFB レーザの発振特性)」では、BJB 構造によって受動導波路を集積した薄膜 DFB レーザの特性を述べている。共振器長 50 μm の薄膜 DFB レーザにおいて、DFB レーザとして最も低いしきい値電流 0.21 mA を実現すると共に、その初期寿命特性測定から、信頼性ある動作を確認している。次に、動特性の評価を行い、バイアス電流 0.98 mA において 3dB 帯域 12.8 GHz を観測し、活性層体積の低減に伴い変調効率が上昇することを確認し、最大変調効率 12 GHz/$mA^{1/2}$ を得ている。さらに、10 Gbit/s の大信号変調を行い、バイアス電流 1 mA においてエネルギーコスト 230 fJ/bit の信号伝送を実現したと述べている。

第 5 章「Integration of membrane DFB laser and p-i-n photodiode (薄膜 DFB レーザと p-i-n 光検出器の集積)」では、薄膜 DFB レーザ、受動導波路、p-i-n 光検出器をモノリシック集積した光リンク構造を試作し、光/電気/光変換の動作を実現している。小信号変調から光リンク全体の 3dB 帯域として 11.3 GHz が得られ、10 Gbit/s の信号伝送に十分な帯域を有していることが明らかにしている。次に、10 Gbit/s における大信号伝送を行い、レーザバイアス電流 2.5 mA においてビット誤り率 10^{-7} 台を実現したと述べている。

第 6 章「Future prospects of membrane optical link (薄膜光リンクに関する将来展望)」では、本研究の将来展望を述べている。光リンク素子において cm 程度の接続を行うための低損失導波路構造として undoped-InP をコアとした rib 導波路構造を提案している。また、薄膜レーザの高効率動作を実現するために、DFB レーザの片側に高反射分布ブラッグ反射器を集積した薄膜分布反射型(DR)レーザの大信号変調動作について述べている。外部微分量子効率 32%、しきい値電流 0.21 mA が得られた素子において大信号変調を行い、バイアス電流 1.06 mA で 20 Gbit/s の高速変調動作に成功し、エネルギーコストとして 93 fJ/bit が得られたと述べている。最後に、極低消費電力動作に向けた指針を述べている。

第 7 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に向けた薄膜レーザの高性能化と集積化を目的とし、薄膜 DFB および DR レーザによる低しきい値電流動作および低消費電力高速動作を実現すると共に、薄膜構造光集積リンクを試作して低消費電力高速信号伝送を実現したものであり、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。

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).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	井上　大輔	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	荒井　滋久
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	西山　伸彦

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In chapter 1, the role of on-chip optical interconnection in a LSI was mentioned. Ultra-low power consumption semiconductor laser is a key device to realize on-chip optical interconnection. Our group proposed membrane DFB laser for a directly modulated light source of on-chip optical interconnection. After brief introduction of our research history, the problems still remaining were clarified and the objectives of this thesis were given.

In chapter 2, the theoretical analysis of performances of membrane optical devices and their integration properties were described. The need for high efficient link structure and laser performance with respect to the threshold current and modulation efficiency were mentioned.

In chapter 3, the calculation and experimental results of a membrane BJB structure for the integration of membrane optical devices were described. The experimental investigation for the membrane BJB structure was conducted through the selective regrowth process. The efficient coupling structure of membrane BJB structure was realized for numerical and experimental approaches.

In chapter 4, the development of fabrication process and characterization of membrane DFB laser integrated with BJB passive waveguide were described. The device with the cavity length of 50 μm showed a record low-threshold current of 0.23 mA under RT-CW condition. The highest modulation efficiency of f_r was 12 GHz/mA$^{1/2}$. The energy cost of 230 fJ/bit was successfully realized for 10 Gbit/s direct modulation.

In chapter 5, the experimental results of integrated membrane optical link consisting of a DFB laser, a passive waveguide and a p-i-n PD were described. The integrated p-i-n PD successfully detected the transmitted light output from the DFB laser. 10 Gbit/s data-transmission through the optical link was achieved with the BER of 6×10^{-7} at a DFB laser bias current of 2.5 mA and a p-i-n PD bias voltage of -3 V.

In chapter 6, brief future prospects of membrane optical link were discussed. As a low-propagation loss waveguide for the membrane optical link, InP membrane rib waveguide was proposed. For the higher efficiency operation of a membrane laser, our group fabricated membrane distributed-reflector (DR) lasers. For the direct modulation results of membrane DR laser, a 93 fJ/bit 20 Gbit/s operation was obtained at the bias current of 1.06 mA.

In chapter 7, the results of this thesis were summarized.

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).