

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	Si基板上薄膜光集積回路の高温高効率動作に関する研究
Title(English)	Study of High Temperature and High Efficiency Operation of Membrane Photonic Integrated Circuits on Si Substrate
著者(和文)	方 偉成
Author(English)	Weicheng Fang
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12242号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種類:課程博士, 審査員:西山 伸彦,小山 二三夫,植之原 裕行,宮本 智之,庄司 雄哉,松尾 慎治,荒井 滋久
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12242号, Conferred date:2022/9/22, 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

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 学術 )
学生氏名： Student's Name	方 偉成		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	西山伸彦 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「Study of High Temperature and High Efficiency Operation of Membrane Photonic Integrated Circuits on Si Substrate (Si 基板上薄膜光集積回路の高温高効率動作に関する研究)」は、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、LSI (大規模集積回路) 上のインターコネクションに関して概説し、電気インターコネクションに比べ光インターコネクションの適用が LSI の性能を向上させるために有用であると述べている。次に光インターコネクションのためのデバイス構成を述べ、それらを実現するための異種材料接合技術について概説している。そして、種々の光インターコネクション用光デバイスの中で薄膜構造を利用したデバイスおよびその光集積回路が効率と消費電力の観点から優れている可能性があるかと述べている。ただし、これまでの研究では、実際の光集積回路で、特に高温化での効率が問題であることを指摘し、これを解決することが本論文の目的であると述べている。

第 2 章「Thermal characteristics analysis for membrane semiconductor laser (薄膜半導体レーザの温度特性解析)」では、薄膜半導体レーザの熱特性について、理論的に議論している。3 次元熱解析モデルを作成し、薄膜半導体レーザの設計パラメータを探索し、熱抵抗がどのように変化するかを明らかにしている。特に従来接合のために利用されていた BCB (ベンゾシクロブテン) の厚みを 0 とすることによって、従来の半分以下の熱抵抗とすることができると述べている。また、LSI 上にレーザを形成した場合の LSI 発熱の影響について解析している。その結果、LSI の温度上昇が、そのままレーザの温度上昇に加算されることとなると明らかにしている。最後に熱抵抗がどの程度レーザ特性に影響を与えるかを解析し、熱抵抗の低減が高い光出力、変調帯域の実現のためには重要であると述べている。

第 3 章「Investigation of wafer bonding technology for membrane platform on Si (Si 基板上薄膜プラットフォームのためのウェハ接合技術の探索)」では、Si 基板上に半導体薄膜を形成するための接合技術について述べている。100 nm 程度の BCB を利用した接合、酸素プラズマを利用した接合、a-Si (アモルファス Si) ナノフィルムを利用した表面活性化接合の 3 つを比較している。その中で、接合強度、接合面積やプロセス時間、そしてフォトルミネッセンスへの影響など、全ての観点から a-Si ナノフィルムを利用した表面活性化接合が優れていると述べている。

第 4 章「Membrane laser for low thermal resistance and high temperature operation (低熱抵抗高温動作のための薄膜レーザ)」では、2 章および 3 章で設計、プロセス検討を行った技術を利用して薄膜半導体レーザを作製し、その特性を明らかにしている。薄膜半導体レーザウェハ作製工程で生じる凹凸を削減するため CMP(化学機械研磨)技術を導入することによって、表面活性化接合を適応させ、実際にレーザを作製している。ファブリペロー型において、従来の熱抵抗の 50%以上の削減を達成し、分布帰還型レーザにおいて、従来に比べ最も低い熱抵抗 510K/W を実現したと述べている。

第 5 章「Membrane photonic integrated circuits fabricated by surface activated bonding (表面活性化接合を利用した薄膜光集積回路)」では、薄膜レーザ、導波路、受光器を集積した光集積回路の特性について述べている。前章までに確立した作製プロセスを利用し、従来に比べ高い光出力効率と速度を実現し、120°Cの高温での動作も実現したと述べている。また、将来への期待として、cm オーダーの伝送を実現するための低損失 InP リブ導波路の利用を提案している。デバイス構造としては、分布反射型構造を有する半導体レーザとバルク受光層を有する受光器を採用することで、より帯域を向上することができると述べている。

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

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

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 学術 )
学生氏名： Student's Name	方 偉成		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	西山伸彦 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

In this thesis, high temperature and high efficiency operation of membrane photonic integrated circuit (MPIC) was investigated for on-chip optical interconnection on LSIs (large-scale integrated circuits).

Chapter 1 describes the history of optical communication and outlines of interconnection on LSIs. The application of optical interconnection is useful for improving the performance of LSI compared with electrical interconnection was stated. Next, the device configuration for optical interconnection is described, and the heterogeneous bonding technology for realizing such devices is discussed. Subsequently, among various optical devices, the superiority of membrane structure based optical devices in terms of efficiency and power consumption was described, however, the worse efficiency in high temperature operation should be solved. To this end, objectives of this thesis which includes high temperature and high efficiency operation of MPIC was indicated.

Chapter 2 provides a theoretical discussion of the thermal characteristics of membrane semiconductor lasers. A three-dimensional thermal analysis model was constructed, and the device structure dependence of thermal resistance was clarified. In particular, by reducing the thickness of BCB (benzocyclobutene), which used in conventional structure, the thermal resistance can be reduced by 52%. In addition, the temperature rise of the LSI is added directly to that of the laser was theoretically confirmed. Finally, how thermal resistance affects laser characteristics was calculated.

Chapter 3 describes bonding technology for MPIC on Si substrate. Three bonding methods were compared: 100 nm ultra-thin BCB bonding, O<sub>2</sub> plasma activated bonding, and surface activated bonding using a-Si (amorphous Si) nanofilm. The results showed that surface activated bonding using a-Si nanofilm is superior from all viewpoints such as bonding strength, bonding area, process time and photoluminescence.

Chapter 4 discussed the fabrication and characterization of low thermal resistance membrane laser using the technology designed and processed in chapter 2 and 3. By introducing the CMP (chemical mechanical polishing) technology to reduce the unevenness that occurs in the membrane laser fabrication process, the BCB-free membrane laser was successfully fabricated using surface activated bonding. A reduction of 50% thermal resistance was experimentally confirmed using the Fabry-Perot laser and the lowest thermal resistance of 510 K/W was achieved in DFB (distributed feedback) laser compared with conventional structure.

Chapter 5 described the characteristics of MPIC including laser, waveguide and photodetector. Using the fabrication process established in the previous chapter, higher light output efficiency and speed than conventional devices were achieved, and high temperature operation up to 120°C was recorded. In addition, for achieving cm-order transmission, low-loss InP rib waveguide was proposed. For higher speed and lower power consumption operation, a (DR) distributed reflection laser and GaInAs bulk photodiode should be introduced in the future.

Chapter 6 summarized results of this thesis.

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).