

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	プラズマ活性化接合を用いた III-V/Siハイブリッド光アクティブデバイスの研究
Title(English)	Study of III-V/Si Hybrid Photonic Active Devices using Plasma Activated Bonding
著者(和文)	林侑介
Author(English)	Yuusuke Hayashi
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10563号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西山 伸彦,荒井 滋久,水本 哲弥,宮本 恭幸,庄司 雄哉,田辺 克明
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10563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	林 侑介	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	西山 伸彦	准教授	庄司 雄哉	准教授
	審査員	荒井 滋久	教授	田辺 克明	京都大学 (学外審査員)
		水本 哲弥	教授		
	宮本 恭幸	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study of III-V/Si Hybrid Photonic Active Devices using Plasma Activated Bonding (プラズマ活性化接合を用いた III-V/Si ハイブリッド光アクティブデバイスの研究)」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、目的および構成を述べている。光通信の歴史と現状について説明した後、光電融合ルータへの応用が期待されるシリコン(Si)フォトニクス、および III-V/Si ハイブリッド集積について述べている。Si は間接遷移半導体であることから、発光素子として不十分であることを指摘し、Si フォトニクス上で機能する光源として III-V/Si ハイブリッド集積が有用であるとしている。それを受けて III-V/Si ハイブリッド集積上で高効率な光源を作製するため、III-V 族半導体と Si を直接接合する際の温度に着目し、窒素プラズマ活性化接合法(N₂ PAB)を用いることによるレーザ特性の向上可能性について述べている。そこで、本研究の目的として、N₂ PAB 用いた高効率な III-V/Si ハイブリッドレーザの実現を挙げ、理論面および実験面からの研究方針を示している。

第 2 章「Design of III-V/Si Hybrid Devices (III-V/Si ハイブリッドデバイスの設計)」では、主にレーザの全体図を示し、その構成要素について設計を行っている。まず、レーザの反射鏡として用いる Si リング共振器の設計を行い、次に、Si 導波路のみで構成される素子と III-V/Si の利得領域を接続するため、モード変換器として利用する III-V/Si テーパの設計指針を述べている。2 段階のテーパ構造とすることで、光学的な吸収を抑えながらテーパの短尺化を実現できる設計を提案している。次に、ハイブリッドレーザで懸念される低い放熱性について言及し、20 K/W 程度の低熱抵抗を実現できる構造を明らかにしている。最後に、モンテカルロ法による絶縁領域形成のためのイオン注入条件の見積りを含めた、レーザ特性の向上に必要な電流狭窄構造の設計を行っている。

第 3 章「Low Temperature Direct Bonding Technique (低温直接接合技術)」では、N₂ PAB の有用性を示した後、接合面積の大口径化およびハイブリッドレーザへの応用について述べている。従来の手法では水分残留により接合面積が低下することを指摘し、デハイドレーションおよび疎水表面の露出により Si 導波路が形成された 2 インチ SOI 基板上においても、ほぼ全域での貼り付け面積を実現している。III-V 族半導体を貼り合わせた後の Si 導波路特性を評価し、BHF による表面処理をすることで通常の Si 導波路と同等の伝搬損失を達成できるとしている。

第 4 章「Fabrication Techniques for III-V/Si Hybrid Devices (III-V/Si ハイブリッドデバイスに向けた作製技術)」では、ハイブリッドレーザを作製するにあたり、必要となる要素技術の確立について述べている。まず、InP 基板上ブロードエリアレーザ構造にイオン注入することで電流狭窄を行い、設計通りの絶縁特性が得られていることを遠視野像測定および SIMS 測定を用いて示している。次に、Si 導波路を用いてリング共振器を作製し、その共振特性が理論計算と一致することを示している。さらに、レーザの発振波長制御を目指し、熱光学効果を用いてリング共振器の共振波長制御を行い、並列化した 2 つのリングで 50 nm 以上の波長シフトが可能であることを示している。

第 5 章「Fabrication and Characterization of III-V/Si Hybrid Devices (III-V/Si ハイブリッドデバイスの作製とその特性)」では、N₂ PAB を用いたハイブリッドレーザの作製と評価について述べている。まず、N₂ PAB が III-V 族活性層に与える影響を評価することを目的とした、ベア SOI 基板上ファブリペロ(FP)レーザの作製について述べている。パルス電流励起により発振動作を達成し、しきい値電流密度 850 A/cm² は 1550 nm 帯のハイブリッドレーザとしては良好な値であると述べている。続いて、イオン注入による電流狭窄構造と低熱抵抗構造を導入して FP レーザを作製し、室温連続発振を達成し、32 K/W という従来に比べ低い熱抵抗を実現したと述べている。最後に、リング共振器を反射鏡として利用したレーザを作製し、リング共振器に起因した発振スペクトルを確認している。電流-光出力(I-L)特性のしきい値近傍に現れたキックについて考察し、テーパ領域への電流注入が不十分なことによる可飽和吸収が原因であることを明らかにし、その解決法を指摘している。

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、本論文は低温直接接合技術を確立し、それを利用してハイブリッドレーザを実現し、低しきい値電流、高効率動作を実現しており、学術上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(学術)の学位に十分資す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。