

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	磁気光学結晶のマイクロトランスファープリンティングを用いた導波路型光アイソレータの研究
Title(English)	
著者(和文)	峰村大輝
Author(English)	Daiki Minemura
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12701号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:庄司 雄哉,植之原 裕行,中川 茂,西山 伸彦,雨宮 智宏,太田 泰友
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12701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)	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	(工学)
学生氏名： Student's Name	峰村 大輝		審査員主査： Chief Examiner	庄司 雄哉	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

急増する通信トラフィックに対応するために、低消費電力動作や高密度集積が可能で半導体製造プロセスとの互換性もあるシリコン (Si) を用いた光集積回路が注目されている。特に磁気光学デバイスは揮発性や非相反性などの特性から、光アイソレータとしての活用が期待されている。光アイソレータは反射光によるレーザの不安定動作を防ぐ機能を持っており、現在はデータセンター間などの中長距離光通信で必要とされている。さらに今後はネットワークの高速化や大容量化などによって、反射による悪影響が大きくなっていくと考えられ、光アイソレータの需要はますます高まっていくと考えられる。特に短～中距離通信では集積可能な導波路型の光アイソレータが求められる。磁気光学アイソレータを動作させるためには、Si 導波路上或いは導波路横に高品質な磁気光学材料を集積する技術が必要である。本研究では、磁気光学材料の中でも波長 1550 nm 帯での性能が高い Ce:YIG を Si 導波路上に集積する技術に着目した。

現在報告されている磁気光学アイソレータの集積方法には、主に堆積法とダイボンディング法の 2 つである。Si 導波路上に磁気光学材料を結晶成長させる堆積法は高密度集積が可能だが、Si と Ce:YIG の格子定数の違いから Ce:YIG は単結晶ではなく多結晶となる。一般に多結晶の場合、単結晶と比較して磁気光学効果が小さくなり、デバイス長の長大化や挿入損失の増大を引き起こす。さらに、Ce:YIG の結晶化のためには 900°C 程度の高温プロセスが必要となり、半導体製造プロセスにおける金属配線プロセスに組み込むことが困難である。一方、Ce:YIG を単結晶成長させた基板 (SGGG) を数 mm 角に切り出し、Si 導波路上に貼りつける方法がダイボンディング法である。この方法は 200°C 程度の低温で貼り付けることが可能だが、厚さが 300 μm で面積化 1 mm^2 以上もある SGGG がデバイス上に残ることで、高密度集積の妨げになる。さらに SGGG は加工が困難な材料であるため、貼り付け後に薄膜化や小型化を施すことは困難である。このように現在報告されている導波路型磁気光学アイソレータはプロセス温度や集積性に問題がある。

そこで本研究では、高密度集積と低温プロセスが可能な μ -トランスファープリンティング (μ -TP) に着目した。この技術を磁気光学材料に応用するのは本研究が世界初となり、本研究では μ -TP 法による小型の SGGG/Ce:YIG を Si 導波路上に貼り付けるプロセスの確立及びこの手法による小型なマッハ・ツェンダー干渉型の磁気光学アイソレータを実現することを研究目的とする。

Ce:YIG を単結晶成長させた SGGG を高密度集積が可能なサイズまで事前に薄膜化及び小型化し、これを 200°C 程度の低温で Si 導波路上にシールのように貼り付ける方法を提案する。条件検討の結果、ダイボンディング法と比較して SGGG のサイズを厚さは 300 分の 1、面積は 56 分の 1 程度となる厚さ 1 μm 及び面積 50 $\mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$ まで小型化し、これを 140°C という低温で Si 回路上に貼り付けることに成功した。さらに確立した μ -TP 法を用いてマッハ・ツェンダー干渉型の磁気光学アイソレータの作製と動作実証を行った。デバイスは磁気光学効果による非相反動作を示し、波長 1567.1 nm でアイソレーション比 14 dB を達成した。SGGG/Ce:YIG の μ -TP によって発生した追加の損失は 11 dB と測定された。また、ダイボンディング法と比較してデバイスサイズは 10 分の 1 程度の 0.25 mm^2 を達成した。さらに、SGGG/Ce:YIG はその形状を工夫することで接合損失を低減することや Si 導波路の構造を工夫することでさらなる小型化をすることが可能であることをシミュレーションによって解析した。その結果、挿入損失は 1.5 dB 程度まで低減が可能であり、デバイスサイズは 70 $\mu\text{m} \times 350 \mu\text{m}^2$ まで小型化できることを示した。

磁気光学アイソレータを低温で高密度集積が可能な μ -TP 法で確立したという本研究の成果は、光受信機のための光トランシーバチップの小型化や高性能化につながることを期待される。さらに、磁気光学デバイスは光アイソレータだけでなく、光メモリや光スイッチ、ニューラルネットワークなど様々な応用が研究されており、本研究成果は磁気光学デバイスの発展に向けた大きな進捗である。

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 1 copy 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： 電気電子 系
Department of, Graduate major in 電気電子 コース
学生氏名： 峰村 大輝
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
審査員主査： 庄司 雄哉
Chief Examiner

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Recently, communication traffic and power consumption are rapidly increasing with growth of smartphones and social networks. For construction of next-generation photonic network systems, optical integrated circuits using silicon (Si) have attracted much attention because of low power consumption, high-density integration, low-cost and compatibility with semiconductor manufacturing processes. In particular, magneto-optical (MO) devices are expected to be used as optical isolators due to their properties such as non-volatility and nonreciprocity. Optical isolators provide one-way propagation and protect laser diodes from unstable operation by reflected light. In the future, it is expected that waveguide-type optical isolators that can be integrated at high-density are necessary for short and medium range communication. In order to realize waveguide-type MO isolators, integration technologies are required to integrate MO materials on or beside Si waveguides. However, currently reported waveguide-type MO isolators have problems with process temperature and integration.

We focus on the μ -transfer printing (μ -TP) technology, which enables high-density integration and low-temperature bonding. Our research is the first in the world to apply μ -TP technology to MO materials. We adopted Ce:YIG as MO material and SGGG as its growth substrate. We succeeded in bonding a miniaturized SGGG/Ce:YIG with a thickness of 1 μm and an area of 50 $\mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$ onto Si waveguides at 140°C. Compared to the die bonding method, the thickness of SGGG/Ce:YIG was 1/300th and the area was 1/56th. Furthermore, we fabricated a compact Mach-Zehnder interference type MO isolator and demonstrated its operation. An isolation ratio of 14 dB was achieved at a wavelength of 1567.1 nm. The results of our research, which established the integration method of compact MO devices at low temperature, are expected to lead to the miniaturization and higher performance of optical transceiver chips for optical transmitters and receivers.

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 1 copy 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).