

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study of optical coupling between silicon and topological waveguides for on-chip optical angular momentum multiplexing
著者(和文)	各務響
Author(English)	Hibiki Kagami
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12373号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西山 伸彦,植之原 裕行,中川 茂,廣川 二郎,庄司 雄哉,岩本 敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12373号, Conferred date:2023/3/26, 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	各務 響		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	西山 伸彦	
			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 optical coupling between silicon and topological waveguides for on-chip optical angular momentum multiplexing」と題し、英文 7 章から構成されており、次世代多重化技術である光渦多重化に不可欠な要素であるデマルチプレクサの実現に向けた研究結果を報告する。本研究の光渦デマルチプレクサは、トポロジカルフォトニクスの特徴を生かし、小型、パッシブ、無電源動作が期待される。

第 1 章「Introduction」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た。まず、近年の光通信に要求される通信容量がますます増大しているなかで、既存の通信方式のみでは限界が迫っていることに触れ、その解決方法として光の新たな自由度を用いた多重化が有効であり、中でも光渦多重方式を導入することが有望であることを述べた。光渦多重方式を実用化していくにあたって、MUX/DEMUX 素子が必要となり、その素子の消費電力を低く抑えることが望ましく、このような素子を実現するには、トポロジカルフォトニクスの技術を用いることが望ましいことを示した。

第 2 章「Requirement of Performance of OAM MUX/DEMUX」では、光渦多重伝送およびトポロジカル光渦デマルチプレクサの概要を説明し、実用化する場合に要求されるトポロジカル光渦デマルチプレクサに必要な仕様を算出した。その結果、短距離通信かつ IM-DD 方式で使用するために、-20.50dB 以下のクロストークと、10.00dB 以下の挿入損失が必要であることを示した。

第 3 章「Horizontal coupling of Si wire waveguide and topological waveguide」では、トポロジカルフォトニクスについて説明し、トポロジカルフォトニクス全体から見た本研究の位置づけについて述べた。既存の細線導波路型光回路においてトポロジカルフォトニック結晶を一つのデバイスとして扱う際に、必ず発生するモード不整合に起因する結合損失を抑制するためのトポロジカルモードカプラーの設計・作製を行った。結果として、トポロジカルモードカプラーを利用した場合、5.12dB 結合効率を上昇させられることを確認した。さらに、トポロジカルフォトニック結晶を作製する際に極めて重要な ICP-RIE について詳細な条件を設定し、新たな作製レシピを作成した。その結果は 4 章に記載しており、トポロジカルフォトニック結晶の伝搬損失を波長 1550 nm において -0.20dB/cell まで低減したことを確認し、トポロジカルモードカプラーの結合損失についても波長 1550 nm において -2.3dB/taper まで低減できることを示した。

第 4 章「Vertical coupling of free space and topological waveguide」では、トポロジカル光渦分波器として動作させる場合のトポロジカルフォトニック結晶への垂直方向からの入射光の必要性について検討した。理論解析により、欠陥構造が結合効率の向上に有効であることを示し、16.18dB から 16.49dB (波長 1520-1530 nm) の向上が確認された。また、円偏光の回転方向によって伝搬方向が変化することを確認し、この伝搬方向の一方方向性を欠陥構造の導入により 13.65dB 上昇できることを示した。実際に欠陥構造を用いてトポロジカル導波路を作製し、円偏光を垂直方向から入射させたときの結合効率は -16.46dB、最大の方方向性は 12.64dB と見積もられた。また、解析において、欠陥構造の動作波長を変化させるために、欠陥の周辺環境を変化させることを提案した。

第 5 章「Optical vortex demultiplexer design with band-tuned topological waveguide」では、トポロジカルフォトニック結晶のフォトニックバンドを意図的にシフトさせるバンドチューニングを施し、単一光渦モードを持つトポロジカル導波路を提案した。モード分布を確認し、単一光渦モードを持つトポロジカル導波路を構築した。また、バンドチューニングを行ったトポロジカルフォトニック結晶を集積化したトポロジカル光渦デマルチプレクサを設計した。波長 1530nm において、-5.42dB の最小クロストークを確認した。

第 6 章「Evaluation of optical vortex demultiplexers」では、これまでに得られた成果を合わせて、トポロジカル光渦デマルチプレクサの作製および評価を行った。円偏光光渦 ($m = |1|$) を波長 1490 nm で入射させた場合のクロストークを評価したところ、最小のクロストークは -4.78dB となることを示した。

第 7 章「Conclusion (結論)」では、本研究で得られた結果を総括した。

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	(工学)
学生氏名： Student's Name	各務 響		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	西山 伸彦	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The title of this thesis is "Study of optical coupling between silicon and topological waveguides for on-chip optical angular momentum multiplexing", which consists of seven chapters in English. This thesis presents the results of a study conducted to realize a demultiplexer, an essential element for optical vortex multiplexing as a next-generation multiplexing technology. The optical vortex demultiplexer in this study is based on the characteristics of topological photonics and is expected to be able to be miniaturized, passive, and operate without power. In this respect, the optical vortex demultiplexer research reported by other institutions used large-scale space optical systems or required power input for phase adjustment, so the optical vortex demultiplexer in this study is superior. The main results of this study are the proposal and experimental verification of a mode coupler that suppresses the light coupling loss between the topological photonics system and the existing fine line waveguide system. This made it easier to numerically measure the topological photonics system and is the most advanced point. Additionally, a theoretical analysis of a vertical coupler designed to enhance the coupling efficiency of light incident vertically on topological photonic crystals from free space was performed, and it was confirmed that its coupling efficiency was -16.46 dB. Experimentally, the circular polarization splitting ratio was confirmed through the use of a vertically-coupled splitter and it was established that the highest value was 12.64 dB. Subsequently, a theoretical analysis of a single vortex mode waveguide, a key component of the topological vortex demultiplexer, was conducted and the design of a topological vortex demultiplexer using the waveguide group was carried out. As a result, it was possible to obtain results such that crosstalk was less than -3.09 dB at a wavelength of 1535 nm. In the experimental demonstration of a topological vortex demultiplexer performed at a wavelength of 1490 nm utilizing this design, it was confirmed that the minimum crosstalk was -4.78 dB when circularly polarized light with orbital angular momentum of ± 2 was incident. The partial, yet successful accomplishment of the experimental demonstration of a topological vortex demultiplexer constitutes a milestone in the current research.

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).