

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | シリコンリング共振器を用いた導波路磁気光学メモリに関する研究                                                                                                                                                                   |
| Title(English)    | Study of Waveguide Magneto-optical Memory with Silicon Microring Resonator                                                                                                                       |
| 著者(和文)            | 村井俊哉                                                                                                                                                                                             |
| Author(English)   | Toshiya Murai                                                                                                                                                                                    |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第11753号,<br>授与年月日:2022年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:庄司 雄哉,水本 哲弥,中川 茂樹,植之原 裕行,西山 伸彦,ファム ナムハイ,清水 大雅                                                          |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第11753号,<br>Conferred date:2022/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>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：<br>Department of, Graduate major in | 電気電子<br>電気電子 | 系<br>コース | 申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)<br>Academic Degree Requested Doctor of |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 村井 俊哉        |          | 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)                      |
|                                            |              |          | 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)                       |

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「Study of Waveguide Magneto-optical Memory with Silicon Microring Resonator (シリコンリング共振器を用いた導波路磁気光学メモリに関する研究)」と題し、英文 5 章から構成される。

第 1 章「Introduction (序論)」では、本論文の研究背景を概観し、研究目的と構成を述べている。近年、CMOS プロセスを用いてシリコン上に光集積回路を形成するシリコンフォトリソグラフィの様々な分野への応用が注目を集めている。そのため、多種多様な機能をもつ光集積回路が要求される。そして、シリコンだけでは光回路に付与できる機能に限界があることから異種材料集積技術を利用した研究開発が盛んになっている。しかし、将来の光集積回路において重要な役割を担うデバイスである光メモリは未だに実用化には至っていない。そこで本論文では、異種材料として磁気光学材料に注目した新しいタイプの光メモリを提案する。

第 2 章「Design of Waveguide Magneto-optical Memory (導波路型磁気光学メモリの設計)」では、提案する磁気光学メモリの設計についてまとめている。まず磁気光学クラッドを有する導波路における磁気光学移相効果に関する理論解析を行った。続いて、提案した磁気光学メモリを構成する重要な要素のひとつであるリング共振器の特性について議論した。続いて、磁気光学メモリの構造及び動作原理を記した。提案するメモリはリング共振器と磁気光学層により構成され、磁気光学層は再生層、記録層から成る。本デバイスは、記録層の磁化方向に対応させて光情報を保持し、磁気光学位相シフトとリング共振器の共振状態の変化を利用して情報を再生する。光情報の記録には、光導波路を介した光熱磁気記録を用いる。記録層の磁気記録媒体の磁気不揮発性により、定常的な電力供給不要でメモリ状態を保持可能であり、磁性メモリの強みである非常に大きな書き換え可能回数を持つ点が提案するメモリの重要な特徴である。最後に、磁気光学メモリの設計及び特性解析を行った。メモリの特性は、光システムの要求によって決まり、MO 層の磁化特性の改善に伴い大きく性能向上できることを示した。

第 3 章「Reading Operation for Waveguide Magneto-optical Memory (導波路型磁気光学メモリの再生動作に関する検討)」では、導波路型磁気光学メモリの再生動作実現に向けて行った実験結果についてまとめている。まず、再生動作を実現するためのプラットフォームとして、磁気光学材料 Ce:YIG 上に水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)導波路を形成する構造を提案し、その設計を行った。続いて、Ce:YIG/a-Si:H 導波路を用いた 2 種類のリング共振器を作製しその特性を評価した。一つ目のリング共振器は記録層を持たず再生層のみを有する。集積した電磁コイルから発生する外部磁界により再生層 Ce:YIG の磁化を動的に制御し、直接磁化反転させることで、磁気光学移相効果によるリング共振器の光出力強度の変化を観測した。二つ目のリング共振器は記録層と再生層の双方を有する。外部磁界により薄膜磁石の記録層の磁化を反転させることで、残留磁化を用いた磁気光学移相効果によるリング共振器の光出力強度の変化を観測した。さらに、記録層の残留磁化により定常的な電流印加無しで出力状態が保持できることを確認し、不揮発動作を実証した。上記の検討から、メモリの再生動作の実証に成功した。

第 4 章「Writing Operation for Waveguide Magneto-optical Memory (導波路型磁気光学メモリの記録動作に関する検討)」では、導波路型磁気光学メモリの記録動作実現に向けて行った二つの実験結果についてまとめている。一つ目の実験では、導波路上の金属発熱層によるエバネッセント場を介した光吸収に基づく発熱である光熱変化を解析するために金属発熱層を有する Si リング共振器を作製し、光入力パワーを変化させながら共振特性を測定した。その結果を詳細に分析することで、光熱磁気記録に要求される金属発熱層の昇温 (200~300 K 程度) を実現し、効率的な金属層の発熱層を実現するリング共振器の設計手法を確立した。二つ目の実験では、光導波路を伝搬する光を介した記録層の光熱磁気記録の実証するために、薄膜磁石の記録層を装荷した Si 導波路サンプルを作製した。800e の磁界印加時、12.5mW の光を Si 導波路に入力することで、MOKE 顕微鏡での観察により記録層の磁化反転を確認した。この結果により Si 導波路を介したエバネッセント場による光熱変換に基づく記録層の光熱磁気記録を世界に先駆けて実証した。上記の検討から、メモリの記録動作の実証に成功した。

第 5 章「Conclusions and Future Perspectives (結論及び将来の展望)」では、本論文で得られた結果を総括し、研究の将来の課題と展望を述べている。将来展望として、記録と再生動作を両立したメモリ構造の検討、SOI 基板上に形成された導波路型磁気光学メモリの構成、そして全光磁気記録を用いたメモリの提案を行った。

以上を要約すると、導波路型磁気光学メモリを実現するために再生動作と記録動作を個別に検証し、それらの実証に成功した。そして、双方の成果からリング共振器と光熱磁気記録を用いた導波路型磁気光学メモリが実現可能であることを明らかにした。

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).

## 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：                            | 村井 俊哉 |     |
| Student's Name                   |       |     |

|                           |           |      |
|---------------------------|-----------|------|
| 申請学位 (専攻分野)：              | 博士        | (工学) |
| Academic Degree Requested | Doctor of |      |

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| 指導教員 (主)：                 | 庄司雄哉 准教授 |
| Academic Supervisor(main) |          |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 指導教員 (副)：                | 水本哲弥 教授 |
| Academic Supervisor(sub) |         |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

Optical memories capable of bit-level storage play an important role in the next-generation optical communication systems. In this dissertation, a novel optical memory, magneto-optical (MO) memory, was proposed and several results of experimental investigations to realize the MO memory were summarized.

First the reading operation of the MO memory was demonstrated. Two types of microring resonator (MRR) switch with MO garnet Ce:YIG/a-Si:H were fabricated as prototypes of the MO memory. In the first MRR, a datum was electrically written as the magnetization direction of Ce:YIG by a current-induced external magnetic field applied through the integrated electromagnet. The electrically written datum was read out owing to the MO phase shift. In the second MRR, the stripes array of thin-film magnet CoFeB were integrated as the storage layer. A datum was electrically written as the magnetization direction of CoFeB similar to the first switch and was hold due to its nonvolatile remanence without any external power supply once CoFeB was magnetized. Ce:YIG was magnetized by applying the remanent magnetization of CoFeB and the stored datum was read out owing to the MO phase shift.

Then the writing operation of the MO memory was demonstrated. The light-to-heat conversion in a metal heating layer deposited on Si MRRs was investigated both theoretically and experimentally. The design method of MRRs to achieve efficient light-to-heat conversion was described. In the result, temperature was raised over 300 K with input power of 6.8 mW. Then, for the first time, thermomagnetic recording of the storage layer CoFeB placed on the Si waveguide using guiding light was demonstrated. The coercive force of the magnetic storage film was reduced due to light-to-heat conversion by virtue of absorption of light guiding in the waveguide. When 12.5-mW CW light was coupled to the waveguide, magnetization was easily flipped along the direction of the applied external magnetic field of ~80 Oe, which was experimentally observed with the use of the MO Kerr microscope.

Finally, future prospects to realize the MO memory were described. Device structure compatible with reading and writing operations, integration with silicon platform and all-optical magnetic recording were discussed.

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).