

Title	低電力再構成可能フォトニックネットワークに向けた相変化光スイッチの研究
Sub Title	Study on a phase-change optical switch for low-power-consumption reconfigurable photonic networks
Author	津田, 裕之(Tsuda, Hiroyuki) 斎木, 敏治(Saiki, Toshiharu) 桑原, 正史(Kuwahara, Masashi) 河島, 整(Kawashima, Hitoshi)
Publisher	
Publication year	2025
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2024.)
JaLC DOI	
Abstract	シリコン光導波路上にGST、GSSTおよびMnTe等の相変化材料を積層した光スイッチについて、相変化に伴う伝搬光の位相変化から必要な相変化材料薄膜の構造を明らかにした。相変化光スイッチの相変化材料装荷部として、pin加熱型、導波路加熱型、TiNヒータ加熱型の伝熱シミュレーションを実施した。相変化材料装荷用シリコン光回路の設計を行い、試作した回路の損失波長特性を評価して、過剰損失が1.0～1.8 dBであることが分かった。GeSbTe薄膜に対して、サブナノ秒光パルスによる2次元的に均一な熱的アモルファス化を試みた。フルエンスと試料走査速度を最適化し、膜厚50 nmに対して目標を達成した。 When phase change materials such as GST, GSST, and MnTe were deposited onto a silicon waveguide, the structure of the phase change material thin film required for the phase change-induced phase change of the propagating light was clarified. We conducted heat transfer simulations of three phase-change material loading structures for electrically driven phase-change switches. The pin heating type was found to be the most efficient at heating the phase change material. We designed a silicon optical circuit for loading phase-change materials and evaluated the loss wavelength characteristics of the prototype circuit. We found that the additional loss due to the loading section was 1.0 to 1.8 dB. We attempted to achieve two-dimensional uniform thermal amorphization of GeSbTe thin films using sub-nanosecond optical pulses and found that, by optimizing the fluence and sample scanning speed, this could be achieved for a film thickness of 50 nm.
Notes	研究種目：基盤研究 (B) (一般) 研究期間：2021～2024 課題番号：21H01398 研究分野：光素子
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_21H01398seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 7 年 5 月 29 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2024

課題番号：21H01398

研究課題名（和文）低電力再構成可能フォトニックネットワークに向けた相変化光スイッチの研究

研究課題名（英文）Study on a phase-change optical switch for low-power-consumption reconfigurable photonic networks

研究代表者

津田 裕之 (TSUDA, HIROYUKI)

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：90327677

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,100,000 円

研究成果の概要（和文）：シリコン光導波路上にGST、GSSTおよびMnTe等の相変化材料を積層した光スイッチについて、相変化に伴う伝搬光の位相変化から必要な相変化材料薄膜の構造を明らかにした。相変化光スイッチの相変化材料装荷部として、pin加熱型、導波路加熱型、TiNヒータ加熱型の伝熱シミュレーションを実施した。相変化材料装荷用シリコン光回路の設計を行い、試作した回路の損失波長特性を評価して、過剰損失が1.0～1.8 dBであることが分かった。GeSbTe薄膜に対して、サブナノ秒光パルスによる2次元的に均一な熱的アモルファス化を試みた。フルエンスと試料走査速度を最適化し、膜厚50 nmに対して目標を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者は、相変化材料を用いた光スイッチを世界で初めて提案している。光スイッチに適用する場合の相変化材料の最適化設計と製造に関する先駆け研究である。本研究で実現される光スイッチを利用することで、現代社会の礎である光ネットワークの低コスト化と省電力化を達成することができる。また、プログラマブル光回路は、光電融合素子の性能を飛躍的に向上させることが期待される。本研究では、研究分担者が相変化材料の物性評価を行い材料設計にフィードバックするが、物性物理学に関する基礎的知見も得られている。

研究成果の概要（英文）：When phase change materials such as GST, GSST, and MnTe were deposited onto a silicon waveguide, the structure of the phase change material thin film required for the phase change-induced phase change of the propagating light was clarified. We conducted heat transfer simulations of three phase-change material loading structures for electrically driven phase-change switches. The pin heating type was found to be the most efficient at heating the phase change material. We designed a silicon optical circuit for loading phase-change materials and evaluated the loss wavelength characteristics of the prototype circuit. We found that the additional loss due to the loading section was 1.0 to 1.8 dB. We attempted to achieve two-dimensional uniform thermal amorphization of GeSbTe thin films using sub-nanosecond optical pulses and found that, by optimizing the fluence and sample scanning speed, this could be achieved for a film thickness of 50 nm.

研究分野：光素子

キーワード：光導波路 光スイッチ 相変化材料 シリコンフォトニクス 光回路

1. 研究開始当初の背景

$\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 等の相変化材料は、書き換え可能 DVD や相変化 RAM に適用された実績のある材料である。我々のグループは、世界で初めて相変化材料を用いた超小型省電力光スイッチを動作実証し、相変化のメカニズム解明、フェムト秒パルスによる超高速相変化の観測などを行ってきた。我々の試作した相変化光ゲートスイッチの構造とスイッチング過渡応答を図 1 に示す。我々の発表に追従して、Muenster 大の Pernice 等のグループが同様の構造で導波路型多値光メモリを発表するなど、世界的に注目を浴びている研究である。図 2 に本研究の全体構想を示す。本研究における「問い」、即ち、目標達成のために解くべき課題は、相変化材料の相変化物性解明、低損失化と耐久性向上のための材料開発、光ネットワーク構成を意識した光スイッチの電気／光学最適化設計法の確立である。

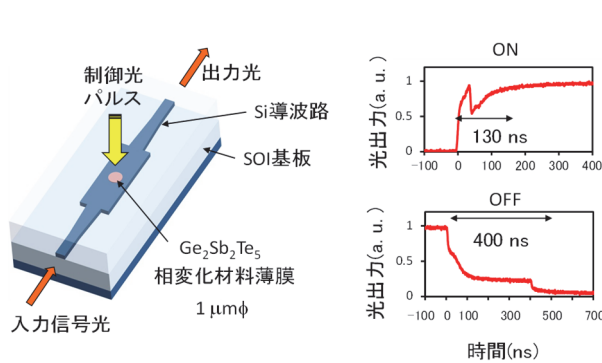


図 1：相変化ゲートスイッチの構造と応答特性

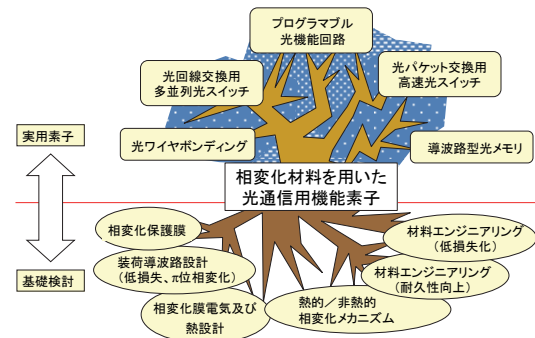


図 2：研究構想、本研究における「問い」

2. 研究の目的

我々は、相変化材料とシリコン導波路を用いた相変化光スイッチを考案し、光パルス駆動、電気パルス駆動の二種類の光スイッチを作製して、世界で初めて動作実験に成功し、フェムト秒パルスによる非熱的高速相変化現象を観測した。相変化光スイッチは、相変化材料の屈折率変化が非常に大きいため素子の専有面積を従来型スイッチの $1/100 \sim 1/1000$ 以下にできること、スイッチング速度が数百 ns と比較的高速であること、また、スイッチに自己保持性があり、スイッチング頻度が少ない場合は極めて低消費電力となることが特長である。これらの特性は、既存の材料を用いた光スイッチでは、材料の屈折率変化が小さく、メモリ性も無いので実現不可能である。また、フェムト秒パルスによる超高速相変化過程の研究によって、新しい光物性分野の開拓が期待される。このような背景の下で、本研究の目的は、本研究は、省電力化、再構成可能なフォトニックネットワークの実現に向けて以下の課題を解決することを目的とする。

- (1) 相変化光スイッチの最適化設計法の確立と性能改善
- (2) 相変化材料の相変化メカニズムの解明と光スイッチ用材料最適化設計
- (3) 相変化光スイッチをベースとする再構成可能光ノード構成法の確立

3. 研究の方法

(1) 相変化光スイッチの最適化設計法の確立と性能改善

目標：シリコン細線導波路上に相変化材料と電極を装荷し、光スイッチ全長を $20 \mu\text{m}$ 以下として、損失 3dB 以下、動作帯域 100nm 以上を目標とする。

2021–2022 年度) $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 薄膜において ITO ヒータによる相変化構造の電流及び熱伝搬解析を行い、最適化構造を明らかにする。基板の熱伝導率が高いと温度が上昇しにくく、部分的な相変化となる可能性があるため、光パルス照射によるダイナミックな温度変化シミュレーションによる確認と、基板材料の選択を行う。

2023–2024 年度) 各種材料について光スイッチを試作し、損失、消光比、波長依存性、スイッチング過渡応答の計測、高繰り返し動作の評価を実施する。多数回の繰り返しスイッチングで劣化した光スイッチについて、電子顕微鏡や原子間顕微鏡による観察、SIMS による相変化膜の組成などを計測し、光スイッチの劣化メカニズムを検討する。この結果を材料設計と素子設計に反映させて、性能向上を図る。また、ヒータ材料として、高温で劣化せず吸収が少ない、カーボンナノチューブの利用を検討する。カーボンナノチューブ薄膜は、産業技術総合研究所内で作成可能である。

(2) 相変化メカニズムの解明と光スイッチ用材料最適化設計

目標：各材料系の相変化メカニズムを明らかにし、光スイッチに適した材料設計、相変化薄膜の成膜方法を確立する。

2021–2022 年度) GST ($\text{Ge}_x\text{Sb}_y\text{Te}_z$) 薄膜及び GSST ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5-x\text{Te}_x$) 薄膜の組成、膜厚を変えて系統的に相変化特性を評価する。また、これらの材料系において第一原理計算を行ってアモルファス相と結晶相のバンド構造、光吸収特性を計算し材料組成にフィードバックする。低損失化のために窒素ドーピング GST 薄膜及び GSST 薄膜を作成し、窒素ドーピング濃度、組成、成膜条件を変えて、

低損失かつ長寿命な相変化膜を探索する。また、別の物性解明アプローチとして、フェムト秒レーザパルスによる非熱的アモルファス化（電子励起トリガー）を誘起して結晶化速度の評価を実施し、相変化メカニズムを検討する。

2023-2024 年度）引き続き材料特性改善のために、シリコン、酸素ドーピングによる薄膜作製と物性評価を行い、光スイッチの設計に反映させる。相変化膜を多数回相変化させて組成分布、結晶構造を評価し、相変化材料の劣化メカニズムを検討し、耐久性向上方法を明らかにする。また、相変化膜は相変化に伴って体積も変化するため、相変化膜上下に柔軟い保護膜（例えば、 ZnS-SiO_2 ）が必要である。保護膜が相変化耐久性に大きく影響するので、保護膜の探索と耐久性評価も実施する。

4. 研究成果

(1) 相変化材料による光位相制御の検討

シリコン光導波路上で GST、GSST および MnTe 等の相変化材料を装荷する部分は、作製に利用するステッパ分解能を考慮して、長さ $100\mu\text{m}$ のテーパ導波路により、 $2.0\mu\text{m}$ まで幅を広げる。相変化材料の幅は $1.0\mu\text{m}$ と仮定する。シミュレーションに利用したモデルを図 3 に示す。波長 1550nm における GST の屈折率は、結晶状態の場合に $7.27+1.27i$ 、アモルファス状態の場合に、 $4.33+0.129i$ 、GSST の波長 1550nm における屈折率は、結晶状態の場合に $5.35+0.366i$ 、アモルファス状態の場合に、 $3.19+0.10012i$ 、MnTe の α 相の屈折率は、 2.78 、 β 相の屈折率は、 $2.71+0.065i$ と仮定した。

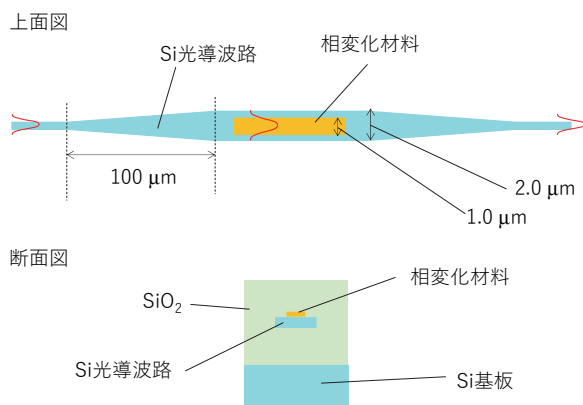


図 3 相変化材料の装荷構造モデル

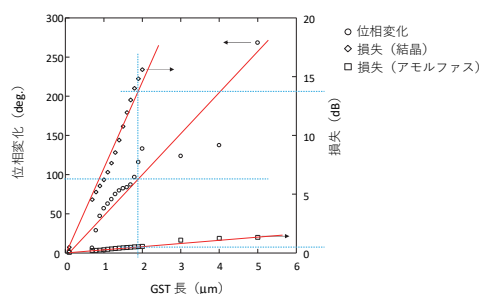


図 4 透過損失の GST 長依存性

図 4 には、GST 膜厚が 15nm の場合に、GST 膜が結晶状態からアモルファスに変化した場合の透過光の位相変化、結晶状態とアモルファス状態の透過損失の GST 長依存性を示す。マッハツェンダー型光スイッチをプッシュプル動作させる場合に 90 度の位相変化が必要である。約 $1.8\mu\text{m}$ の GST 長が必要であり、アモルファス状態での損失が約 1dB 、結晶状態での損失が約 14dB となる。結晶状態での損失が大きいのので高性能なマッハツェンダー型光スイッチを構成することは困難である。透過状態を制御するゲートスイッチに適している。図 5 には、GSST 膜厚が 15nm の場合に、GSST 膜が結晶状態からアモルファスに変化した場合の透過光の位相変化、結晶状態とアモルファス状態の透過損失の GSST 長依存性を示す。90 度の位相変化が得られるとき、約 $1.7\mu\text{m}$ の GSST 長が必要であり、アモルファス状態での損失が 1dB 未満、結晶状態での損失が約 5dB となる。GST よりも高性能なマッハツェンダー型光スイッチを構成できることを示している。図 6

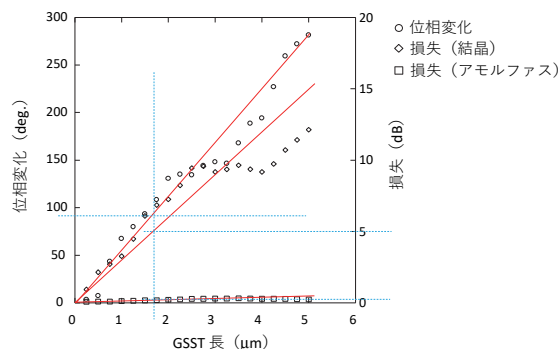


図 5 透過損失の GSST 長依存性

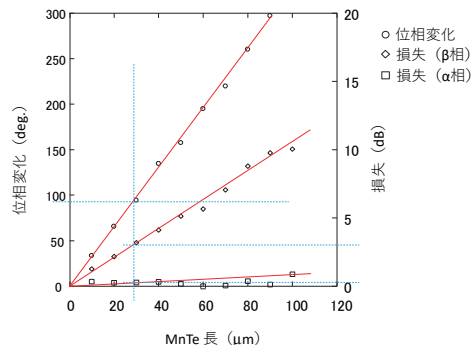


図 6 透過損失の MnTe 長依存性

は、MnTe 膜厚が 30nm の場合に、 α 相から β 相に変化した場合の透過光の位相変化、 α 相と β 相の透過損失の MnTe 長依存性を示す。GST/GSST 系に比較して相変化に伴う屈折率変化が小さいので長い装荷構造が必要である。90 度の位相変化が得られるとき、約 $28\mu\text{m}$ の GSST 長が必要であ

り、 α 相状態での損失が 1dB 未満、 β 相状態での損失が約 3dB となる。GSST よりもさらに高性能なマッハツェンダー型光スイッチを構成できることを示している。

(2) 電気駆動型相変化光スイッチ熱設計

電気駆動型相変化光スイッチの相変化材料装荷部として、pin 加熱型、導波路加熱型、TiN ヒータ加熱型を検討した。pin 加熱型は、導波路垂直方向に pin 構造を設け、順方向電流を流して加熱する構造である。構成を図 7(a)に示す。導波路加熱型は、導波路平行に加熱用導波路を設け、電流を流して加熱する構造である。構成を図 7(b)に示す。TiN ヒータ加熱型は、導波路平行に加熱用ヒータを設け、電流を流して加熱する構造である。細線導波路を利用する場合とリブ導波路を利用する構成を図 8(a)と 8(b)に示す。

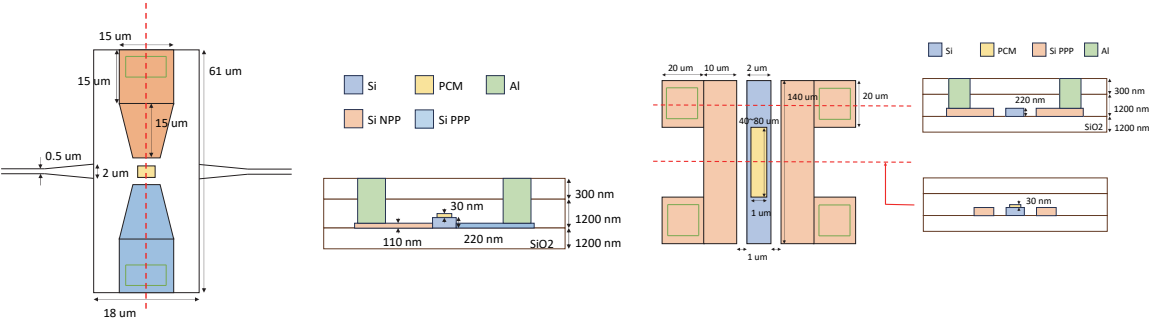


図 7 (a) pin 加熱構造、(b) 導波路加熱型構造

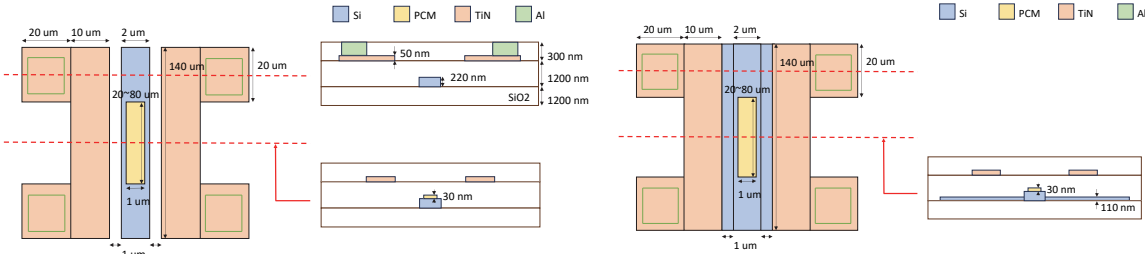


図 8 (a) pin 加熱構造、(b) 導波路加熱型構造

pin 加熱構造の伝熱シミュレーション結果を図 9 に示す。加熱部分の耐熱特性、耐電圧特性の検討が必要であるが、高温まで昇温することが分かる。

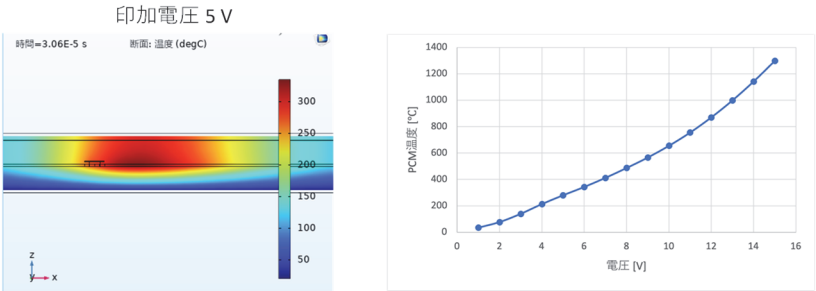


図 9 pin 加熱構造の伝熱シミュレーション

導波路加熱構造の伝熱シミュレーション結果を図 10 に示す。500°C以上に加熱することが困難である。

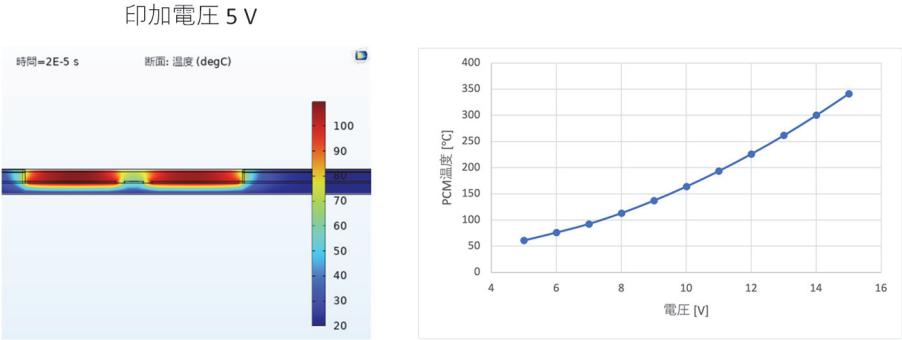


図 10 pin 加熱構造の伝熱シミュレーション

(3) サブナノ秒パルスによる $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ の熱的アモルファス化

サブナノ秒パルス照射によって $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (以下 GST) を溶融、急冷することにより、結晶相からアモルファス相へ相変化させた。集光スポット中心部のフルエンスがアモルファス化閾値 (GST の融点) を超えるようレーザーパワーを設定し、スポットを2次的に走査することにより広域をアモルファス化した。スポット外縁部で照射された領域では、アニーリングによって再結晶化が起こってしまうという点に留意し、この再結晶化を回避するよう、走査速度を慎重に設定した。測定用試料として、ガラス基板上に厚さ 50nm の GST、その上に保護膜として厚さ 10 nm の SiO_2 をスパッタ成膜した (保護膜に関しては以下の試料も同様)。さらに本試料を電気炉でアニーリングすることにより、GST 膜全体を結晶相に初期化した。アモルファス化のためのサブナノ秒パルス光源として、Q スイッチ Nd:YAG レーザーの第二高調波を使用した。主な仕様は、波長 532nm、パルス幅 750ps、繰り返し周波数 19kHz である。レーザー光を開口数 0.75 の対物レンズで集光し、試料に照射した。図 11 は①表面から帯状にアモルファス化した後、②その一部を低フルエンス・低速走査により結晶化した結果である。さらに③裏面から帯状にアモルファス化した後、④その一部を結晶化している。帯状アモルファスの交差領域とそれ以外の領域でコントラストの差は見られず、片面からのレーザー光照射のみで膜厚全体にわたってアモルファス化されていることがわかる。また、交差領域の結晶化もできており、アブレーションが生じていないことも確認した。

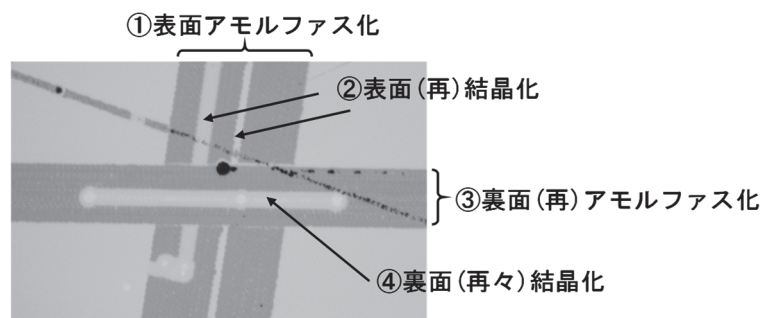


図 11 厚さ 50 nm の GST 膜に対する表面・裏面からのアモルファス化と結晶化

膜厚 150nm の GST のアモルファス化を試みた。上記の膜厚 50nm の場合と同様に両面からのアモルファス化を実施したが、光の透過 (膜厚全体にわたるアモルファス化) は確認されなかった。表面側レーザー照射時にアモルファス化が膜厚中央部まで達していなかった、あるいは裏面側レーザー照射時に表面側を再結晶化してしまった可能性が考えられる。そこで、膜厚中央部においても融点に達するように、上下両側から同時にレーザー光を照射することを試みた。図 12(a) は反射像であり、片面照射と両面照射によるコントラストの違いが明瞭に確認できる。図 12(b) は透過像であり、部分的に明るい箇所が見られ (白い箇所はアブレーション)、ほぼ膜厚全体にわたってアモルファス化が生じていると考えられる。また、レーザー光強度を弱めて同様の走査を行うと、再結晶化することも確認された (図 12(c))。

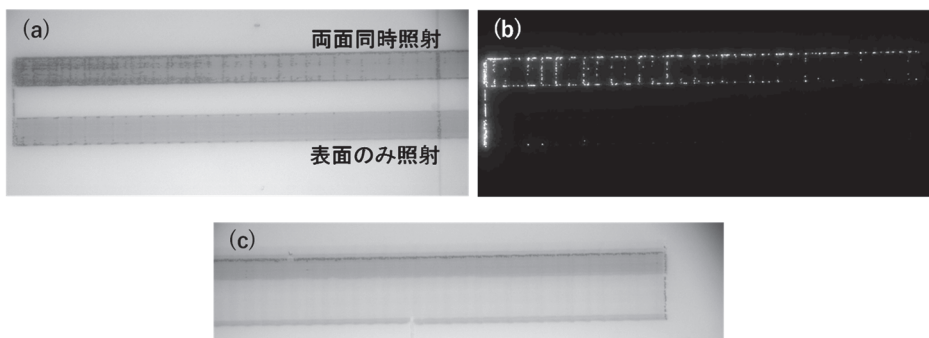


図 12 厚さ 150nm の GST 膜に対する両面同時レーザー照射によるアモルファス化. (a) 反射像, (b) 透過像, (c) 両面照射後、一部を結晶化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Moriya Yuki, Yagi Yuta, Mizoguchi Yuta, Tsuda Hiroyuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Silicon Monolithic Wavelength Selective Switch Utilizing Arrayed Waveguide Gratings and Bragg Grating Filters	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 20240193～0193
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.21.20240193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —
1. 著者名 Takamatsu Yuka, Yamato Chizuru, Kuwahara Masashi, Saito Yuta, Saiki Toshiharu	4. 巻 14
2. 論文標題 All-Optical Rapid Formation, Transport, and Sustenance of a Sessile Droplet in a Two-Dimensional Slit with Few-Micrometer Separation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1460～1460
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi14071460	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —
1. 著者名 Kenta Sakamoto, Hiroyuki Tsuda	4. 巻 19
2. 論文標題 Design of an Optical Triode Switch using Phase-Change Material	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.19.20220155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —
1. 著者名 Nakayama Bokusui, Nagase Hikaru, Takahashi Hiromori, Saito Yuta, Hatayama Shogo, Makino Kotaro, Yamamoto Eiji, Saiki Toshiharu	4. 巻 120
2. 論文標題 Tunable pheromone interactions among microswimmers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2213713120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Takamatsu Yuka, Yamato Chizuru, Kuwahara Masashi, Saito Yuta, Saiki Toshiharu	4. 巻 14
2. 論文標題 All-Optical Rapid Formation, Transport, and Sustenance of a Sessile Droplet in a Two-Dimensional Slit with Few-Micrometer Separation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1460~1460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi14071460	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

[学会発表] 計20件 (うち招待講演 0件／うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yuta Yagi, Yuta Takai, and Hiroyuki Tsuda
2. 発表標題 An optical wavelength filter with reduced crosstalk consisting of a Si arrayed-waveguide grating and Bragg tunable grating filters,
3. 学会等名 International Conference on Photonics in Switching and Computing 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hayato Sasazawa, Daisuke Nakagawa, and Hiroyuki Tsuda
2. 発表標題 Novel coupling structure with an angled cut fiber and a tapered silicon waveguide suitable for surface mount large port count applications
3. 学会等名 International Conference on Photonics in Switching and Computing 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢崎智也、津田裕之
2. 発表標題 相変化材料を用いた電気および光駆動型光スイッチの設計
3. 学会等名 情報フォトニクス研究会 第 18 回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Paul Fons, Keisuke Hamano, Toshiharu Saiki, and Hiroyuki Tsuda
2. 発表標題 Density-functional theory study of the thermodynamic and Dynamic Properties of the stable and metastable phases of MnTe
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Bokusui Nakayama, Hikaru Nagase, Hiromori Takahashi, Yuta Saito, Shogo Hatayama, Kotaro Makino, Eiji Yamamoto, Masatoshi Ichikawa, Akira Kakugo and Toshiharu Saiki
2. 発表標題 Phase-change-assisted Stigmergy in an Active Colloidal System
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Eto, Kotaro Makino, Shogo Hatayama, Yuta Saito, and Toshiharu Saiki
2. 発表標題 Focusing of microparticles in fluid by induced-charge electroosmosis flow using a phasechange material
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安谷 錦之介, 長瀬 暉, 畑山 祥吾, 牧野 孝太郎, 斎木 敏治
2. 発表標題 相変化基板上の交流電界誘起流によるサイズ選択的微粒子収集
3. 学会等名 第23回レーザー学会東京支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuta Yagi, Hiroyuki Tsuda
2. 発表標題 A low crosstalk optical wavelength filter consisting of a Si arrayed-waveguide grating and Bragg grating tunable filters
3. 学会等名 The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木勇太、津田裕之
2. 発表標題 シリコンアレイ導波路回折格子とブラッググレーティングフィルタを接続した低クロストーク光フィルタの特性
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木勇太、津田裕之
2. 発表標題 シリコンアレイ導波路回折格子とブラッググレーティングフィルタを接続した低クロストーク光フィルタの設計
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川大輔、津田裕之
2. 発表標題 シリコン光導波路によるグレーティングカプラ特性の入射角度依存性の検討
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野陽之、桑原正史
2. 発表標題 相変化材料を用いた光スイッチ動作の連成物理シミュレーション
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Paul Fons, Keisuke Hamano, Toshiharu Saiki, Hiroyuki Tsuda, Mihyeon Kim, Yi Shuang, Yuji Sutou, Shogo Hatayama, Kotaro Makino, and Yuta Saito
2. 発表標題 Theoretical Investigation of the properties of the Stable and Metastable phases of MnTe
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bokusui Nakayama, Hikaru Nagase, Hiromori Takahashi, Yuta Saito, Shogo Hatayama, Kotaro Makino, Eiji Yamamoto, and Toshiharu Saiki
2. 発表標題 Tunable Pheromone Interactions among Microswimmers selfpropelling on a PCM Substrate
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitoshi KAWASHIMA
2. 発表標題 Silicon Photonics for Multiport Optical Switches
3. 学会等名 The 35th Symposium on Phase Change Oriented Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Paul Fons, Keisuke Hamano, Toshiharu Saiki, Hiroyuki Tsuda, Mihyeon Kim, Yi Shuang, Yuji Sutou, Shogo Hatayama, Kotaro Makino, and Yuta Saito
2. 発表標題 ab-Initio Calculations of the Electronic Properties of the Metastable β' -MnTe Phase for Terahertz Optical Switching Applications
3. 学会等名 Materials Research Society Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋木敏治、中山牧水、遠藤博紀、高橋廣守、長瀬暉、山本詠士、齊藤雄太、畑山祥吾、牧野孝太郎
2. 発表標題 光熱流体効果を利用したコロイド粒子・相変化材料系への群知能の実装
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山牧水、長瀬暉、高橋廣守、齊藤雄太、畑山祥吾、牧野孝太郎、山本詠士、齋木敏治
2. 発表標題 アクティブコロイド間の調節可能なフェロモン相互作用
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山 牧水, 長瀬 暉, 高橋 廣守, 齊藤 雄太, 畑山 祥吾, 牧野 孝太郎, 山本 詠士, 齋木 敏治
2. 発表標題 群知能理解・活用に向けたコロイド系へのスティグマジー実装
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 桑原 正史、金 美賢、森 竣祐、双 逸、須藤 祐司、河島 整
2. 発表標題 光スイッチ材料としてのMnTe評価
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋木 敏治 (Saiki Toshiharu) (70261196)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授 (32612)	
研究分担者	桑原 正史 (Kuwahara Masashi) (60356954)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・上級主任研究員 (82626)	
研究分担者	河島 整 (Kawashima Hitoshi) (90356840)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・総括研究主幹 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------