

超低消費電力光ノード実現に向けた超小型高速相変化光スイッチの研究開発 (091503002)

Research and development of ultra-small high-speed phase-change optical switches
for a low-power consumption photonic network node

研究代表者

津田裕之 慶應義塾大学理工学部

Hiroyuki Tsuda Faculty of Science and Technology, Keio University

研究分担者

斎木敏治[†] 河島整^{††} 桑原正史^{††} 王 曉民^{††} 金高健二^{††} 庄司雄哉^{††}
Toshiharu Saiki[†] Hitoshi Kawashima^{††} Masashi Kuwahara^{††} Wang Xiaomin^{††}
Kenji Kintaka^{††} Masaya Shoji^{††}

[†]慶應義塾大学理工学部 ^{††}産業技術総合研究所

[†]Faculty of Science and Technology, Keio University

^{††}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

超大容量省電力光ノードを構築するために、Si フォトニクス技術と GeSbTe 等の相変化材料を組み合わせた新規の光スイッチを実現する。相変化材料の非常に大きい複素屈折率変化を活用し、スイッチを小型化し、スイッチングに自己保持性を持たせる。フォトニックネットワークの光ノードにおいて、自己保持機能による省電力化、高速性によるバッファメモリ削減を可能とする。

Abstract

We have proposed a novel optical switch in combination with phase-change material such as GeSbTe alloy and Si waveguides for use in high-capacity, low-power consumption photonic network nodes. The phase-change material has large refractive index change between amorphous and crystalline states; therefore, the size of an optical switch can be reduced and it has self-holding characteristics. The proposed optical switch is useful because it reduce the power consumption in photonic network nodes by its memory function and it has high-speed switching characteristics.

1. まえがき

Si フォトニクス技術によって、細線導波路による超小型の受動光回路（合分波回路、導波路型回折格子、リング共振器など）が構成され、毎年、特性が向上している。また、SOI (Si on Insulator) 基板上に作製されたフォトニック結晶を用いた各種光機能回路に関する多数の報告がある。これらの光回路では、光閉じ込めが非常に強く、従来の石英光回路の 1/100～1/1000 の寸法で同等の機能を実現することが可能である。一方、GeSbTe 系相変化材料は、DVD 用メモリ媒体として実用化されている材料であり、近年は、次世代 DRAM 技術の一つである、PRAM (Phase Change RAM) への適用も検討されている。光材料として特徴的なことは、相変化に伴う屈折率変化が数十%以上と非常に大きいこと、相変化に要する時間が μs 以下であり高速であることである。また、屈折率自体も大きいので、Si 導波路との整合も取りやすい。これらの特長を融合することによって、100 ns 以下の高速スイッチング特性、全長 20 μm 以下の超小型構成、メモリ性/自己保持機能を利用した省電力性を有する新規の光スイッチを実現することが可能である。

2. 研究内容及び成果

(1) 2x2 スイッチ

相変化材料 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST225) を用いる場合について、2x2 スイッチの設計を行った。図 1 (a) に光スイッチ構造の概念図を示す。光照射スポットが直径 1 μm であるので、

GST 薄膜は複数に分割している。図 1 (b) および (c) に、GST 薄膜がアモルファス状態の場合と結晶状態の場合の 3D-FDTD 伝搬シミュレーション結果を示す。相変化導波路長 9.8 μm で消光することが示されている。アモルファス状態の場合、OUT2 ポートへの透過損失は 0.48 dB、OUT1 ポートへの透過損失は 19.0 dB でありスイッチはクロス状態である。結晶状態の場合、OUT1 ポートへの透過損失は 2.2 dB、OUT2 ポートへの透過損失は 32.6 dB でありスイッチはバー状態である。GST 薄膜の位置ずれは ± 50 nm まで許容できることを確認している。

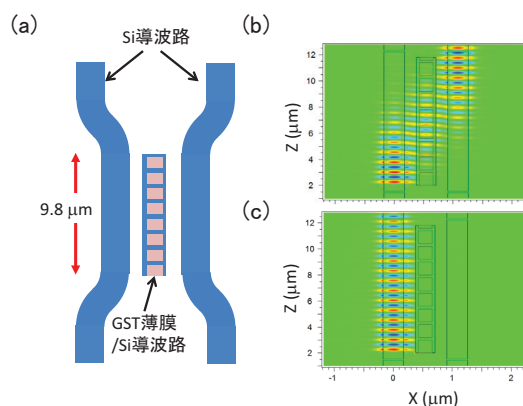


図 1 (a) 光スイッチ構造、(b) アモルファス状態の光伝搬、(c) 結晶状態の光伝搬

(2) MMI 型光ゲートスイッチ

高繰り返し動作には、相変化部周囲の熱抵抗を下げる必要がある。また、スイッチングに寄与しない不要な相変化材料があると損失や消光比の劣化につながる。これらの課題を解決するために、相変化材料部寸法を光制御用のスポットサイズである $1\ \mu\text{m}$ として、 1×1 MMI 構造の上部に集積する、新規の光ゲートスイッチを考案、試作、動作検証を行った。スイッチ構造を図 2 (a) に、SEM 写真を図 2 (b) に示す。MMI 導波路長は、 $15.3\ \mu\text{m}$ である。通常の光スイッチでは、材料の屈折率変化が小さいため、相互作用長を $100\ \mu\text{m}$ 以上としたり、共振構造を用いたりすることが必要であるが、素子が大型化したり、透過帯域幅が減少したりする。これに対して、本研究の光スイッチは広帯域でかつ超小型である点が優位である。

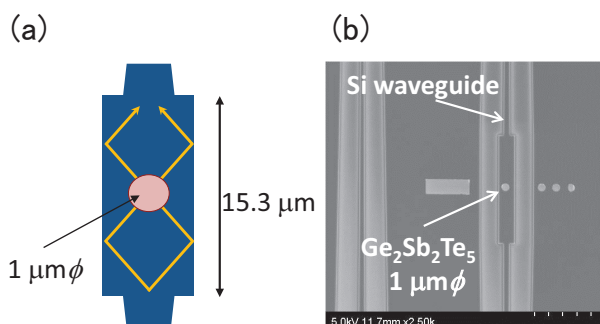


図 2 (a) MMI 型光ゲートスイッチ構造図、
(b) MMI 型光ゲートスイッチ SEM 写真

本素子にパルス幅 $40\ \text{ns}$ 、ピークパワ $160\ \text{mW}$ のアモルファス化パルスとパルス幅 $400\ \text{ns}$ 、ピークパワ $50\ \text{mW}$ の結晶化パルスを $1\ \mu\text{s}$ 間隔で交互に照射した。スイッチング時間を図 3 に示すが、立ち上がり時間（アモルファス化）が $130\ \text{ns}$ 、立ち下がり時間（結晶化）が $400\ \text{ns}$ であり、高速動作が確認された。

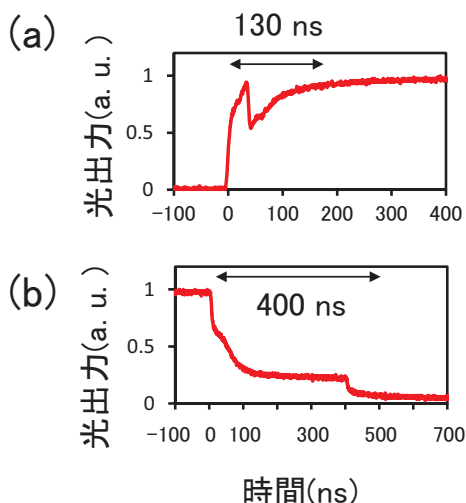


図 3 (a) 立ち上がり時間、(b) 立ち下がり時間

繰り返して光パルスを照射したところ、 2000 回以上の繰り返しスイッチングを実現した。消光特性を図 4 に示す。平均消光比は、 $1800\sim 2000$ 回のスイッチングにおいて $9.2\ \text{dB}$ であり安定した動作を行うことが出来た。

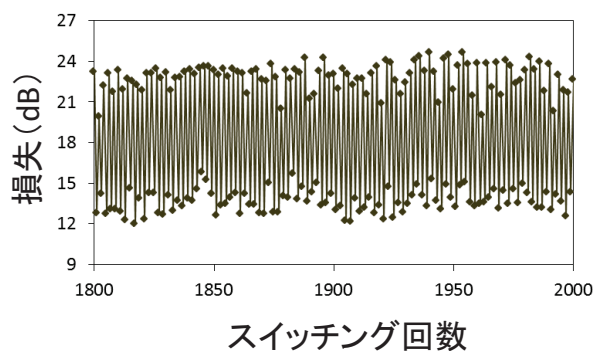


図 4 MMI 型光ゲートスイッチの繰り返し動作

3. むすび

Si 光導波路と相変化材料による光スイッチを提案し、光パルスによるスイッチングを実証した。紙面の都合で省いているが、GST225 と異なる組成の材料の相変化特性の評価、フェムト秒～ナノ秒に至る様々な光パルス照射による相変化メカニズムの検討、電気駆動スイッチ作製のための熱解析とプロセスの検討、フォトニック結晶構造の利用などの検討も進めることができた。

【誌上発表リスト】

- [1] Y. Ikuma, Y. Shoji, M. Kuwahara, X. Wang, K. Kintaka, H. Kawashima, D. Tanaka, and H. Tsuda, “Small-sized optical gate switch using $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ phase-change material integrated with a silicon waveguide,” Electron. Lett., Vol. 46, No. 5, pp. 368-369(2010.3).
- [2] Y. Ikuma, Y. Shoji, M. Kuwahara, X. Wang, K. Kintaka, H. Kawashima, D. Tanaka, and H. Tsuda, “Reversible optical gate switching in a Si wire waveguide integrated with a $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ thin film,” Electron. Lett., Vol. 46, No. 21, pp. 1460-1462(2010.11).
- [3] Daiki Tanaka, Yuya Shoji, Masashi Kuwahara, Xiaomin Wang, Kenji Kintaka, Hitoshi Kawashima, Tatsuya Toyosaki, Yuichiro Ikuma, and Hiroyuki Tsuda, “Ultra-small, self-holding, optical gate switch using $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ with a multi-mode Si waveguide,” Optics Express Vol. 20, Iss. 9, pp. 10283-10294 (2012.4).

【申請特許リスト】

- [1] 津田、斎木、伊熊、河島、金高、「導波路型光ゲートスイッチ及び多段導波路型光ゲートスイッチ」、日本、平成 21 年 8 月 5 日
- [2] 津田、伊熊、斎木、河島、金高、「導波路型光ゲートスイッチ」、日本、平成 21 年 12 月 25 日
- [3] 津田、伊熊、田中、豊崎、庄司、金高、桑原、王、河島、「導波路型光ゲートスイッチ」、日本、平成 22 年 11 月 29 日

【報道発表リスト】

- [1] “省電力フォトニックネットワーク用超小型光スイッチを開発”、慶應義塾大学ホームページ、平成 24 年 4 月 24 日（その後、日刊工業新聞等に掲載）

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.tsud.elec.keio.ac.jp/research/scope.html>