

Title	超大容量フォトニックネットワーク用光機能回路の研究
Sub Title	Study on optical functional devices for high-capacity photonic network
Author	津田, 裕之(Tsuda, Hiroyuki) 神成, 文彦(Kannari, Fumihiko) 小原, 實(Obara, Minoru) 河島, 整(Kawashima, Hitoshi)
Publisher	
Publication year	2011
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2010.)
JaLC DOI	
Abstract	DVD等に利用される相変化材料を用いて、メモリ性があり高速動作可能な光スイッチを提案し、光ゲートスイッチを試作した。スイッチの寸法は5ミクロンであり、100ナノ秒以下でスイッチングすることを実証した。可変分散補償回路を設計、試作して約50kmの光ファイバの分散を補償し、劣化した波形を再生することに成功した。任意の光スペクトル制御が可能な光回路を提案し、試作した。光変調信号の操作に適した凹凸のない透過特性を得ることが出来た。
Notes	研究種目：基盤研究(B) 研究期間：2008～2010 課題番号：20360162 研究分野：光通信用機能デバイス 科研費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20360162seika

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.

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360162

研究課題名（和文） 超大容量フォトニックネットワーク用光機能回路の研究

研究課題名（英文） Study on optical functional devices for high-capacity photonic network

研究代表者

津田 裕之 (TSUDA HIROYUKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90327677

研究成果の概要（和文）： DVD 等に利用される相変化材料を用いて、メモリ性があり高速動作可能な光スイッチを提案し、光ゲートスイッチを試作した。スイッチの寸法は 5 ミクロンであり、100 ナノ秒以下でスイッチングすることを実証した。可変分散補償回路を設計、試作して約 50km の光ファイバの分散を補償し、劣化した波形を再生することに成功した。任意の光スペクトル制御が可能な光回路を提案し、試作した。光変調信号の操作に適した凹凸のない透過特性を得ることが出来た。

研究成果の概要（英文）： A fast and self-holding optical gate switch that use phase-change material, which is usually used for DVD media, was proposed and fabricated. The length of the switch was only 10 microns and the switching time was less than 100 ns. We developed a tunable dispersion compensator, successfully demonstrated dispersion compensation of about a 50-km standard optical fiber, and regenerated the degraded transmitted optical signal. We also proposed and fabricated an arbitrary optical spectrum controller, which had a grid-less transmission characteristics suitable for controlling an optical modulated signal.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2008 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総 計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野： 光通信用機能デバイス

科研費の分科・細目： 電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード： 光導波路、平面光回路、光信号処理、フォトニックネットワーク、光通信

1. 研究開始当初の背景

波長分割多重技術を核とする次世代フォトニックネットワークの大容量化には、高速・低消費電力光スイッチと、伝送方式の高度化が必須である。高速光スイッチを利用すれば、ノードにおける消費電力を減らし、伝送信号の遅延を少なくすることが出来る。特に、自己保持型光スイッチは、スイッチング時のみ電力を消費するので、光ネットワーク

の省電力化に有効である。また、アダプティブなネットワークにおいて、可変分散補償回路による伝送路の分散補償が必須である。

2. 研究の目的

本研究では、相変化材料の利用とアレイ導波路回折格子フィルタの高度化によって、超大容量フォトニックネットワーク用光機能回路を実現することを目的とする。そのため

に、年限内に以下の目標の達成を目指す。ノード処理用 Si 光機能回路として、相変化材料を用いた自己保持型光スイッチの構造を提案して最適化する。超高速伝送用石英光機能回路を利用してスペクトル整形機能を有する高分解能光合分波回路を実現する。

3. 研究の方法

(1) 研究体制

慶應義塾大学では、素子設計、樹脂注入プロセス、素子評価及びシステム実証実験を行う。素子作製は、産業技術総合研究所の試作ラインを利用する。

(2) 研究計画

①相変化材料を用いた自己保持型光スイッチ（担当：津田裕之、神成文彦、河島整）

Si 細線プロセス及び相変化材料プロセスに適合する素子構造の設計を実施する。また、光スイッチにおける相変化材料（GeSbTe）の屈折率、吸収係数に関する性能指数を明確にし、材料設計に反映させる。

短波長光パルスによる結晶状態、アモルファス状態間の相変化を可逆的に行い、1.55 μm 帯における複素屈折率の評価を行い、性能指数の高い材料組成を明らかにする。

相変化材料薄膜線両端に電気パルスを印加できる配線を施し、電気パルスによる結晶状態、アモルファス状態間の相変化条件を明確にする。

②スペクトル整形機能を有する高分解能光合分波回路（担当：津田裕之、小原實）

AWG のアレイ導波路の各導波路に、約 10 μm 幅 (L) の溝を設け、スラブ導波路の有効屈折率 ($n = 1.453$) とほぼ等しく屈折率調整した樹脂を充填、硬化させて位相調整を行う。光導波路の位相誤差補償精度を高めるために、導波路溝に充填された樹脂屈折率の正確な評価、及び、レーザトリミング法（紫外レーザ光を導波路に照射し、屈折率を微調する）の適用を検討する。送信光スペクトルを制御するプリエンファシス型光回路を設計、試作する。伝送測定系に導入して伝送特性改善を実証する。

4. 研究成果

(1) 相変化材料を用いた光スイッチ

①材料評価

波長 0.25~1.75 μm の波長帯で $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_3$ を $\text{Ge}_1\text{Sb}_4\text{Te}_7$ 、 $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ 等の複素屈折率評価を行った。エリプソメータによる $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ の結晶状態の複素屈折率 (n, k) 測定結果を図1に示す。試料は、スパッタ装置を用いて、Si基板上に成膜(厚さ数 10nm)されたものである。これらの値を利用して光スイッチを設計し、試作・評価した。

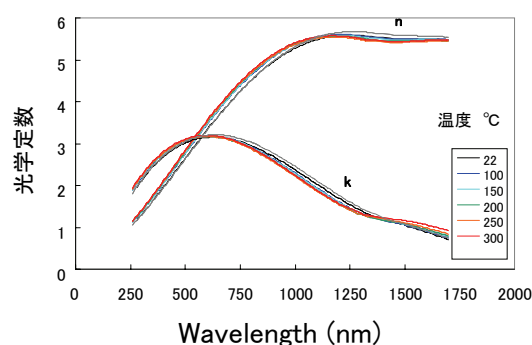


図1：結晶 $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ の複素屈折率

②薄膜相変化実験

SOI(Silicon on Insulator)基板上にスパッタによって $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 薄膜を成膜し、保護膜として $\text{ZnS}\cdot\text{SiO}_2$ 薄膜を上部に積層した。波長660nmの半導体レーザを直接変調して、光パルスを生成し、対物レンズでスポット直径約1.2 μm に集光し、相変化薄膜に照射した。結晶化とアモルファス化に適する条件を図2(a)及び(b)に示す。領域IIが結晶化、領域Vがアモルファス化に適している。領域Iはパワー不足で変化が起こらず、領域IIIはパワーが強すぎて結晶化しない。また、領域IVは、パワー不足でアモルファス化しない。

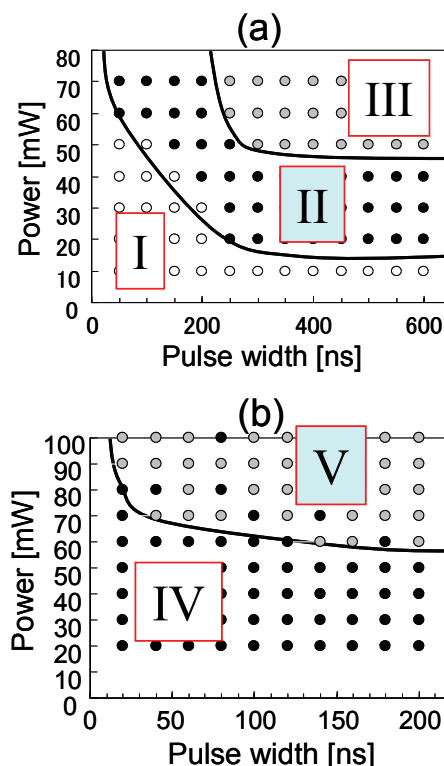


図2：(a)結晶化、(b)アモルファス化

③相変化材料を用いた光ゲートスイッチ

Si 細線導波路の一部の上部クラッド層をエッチングして取り除き、GST 薄膜と保護層をスパッタで成膜し、光ゲートスイッチを作

製した。光ゲートスイッチの模式図を図3に示す。Si 細線は幅 520nm、高さ 200nm で SOI 基板上に形成されている。光ゲート部長さは 5 μ m、GST 膜厚は 25nm、保護層膜厚は 50nm である。GST 薄膜の初期状態は、アモルファス相である。また、GST の複素屈折率は、アモルファス相で $4.4+0.098i$ 、結晶相で $7.1+0.78i$ である。

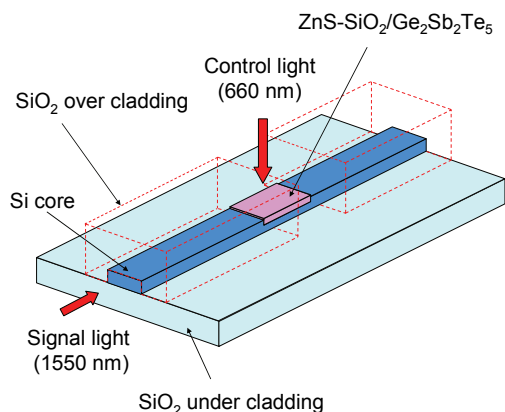


図3：光ゲートスイッチ模式図

波長 660nm の光パルス、スポット直径約 1.2 μ m に集光してゲート部に照射し、光ゲートスイッチ動作を行った。結晶化パルスは、パルス幅 400ns、ピークパワ 15mW であり、アモルファス化パルスは、パルス幅 12ns、ピークパワ 80mW である。

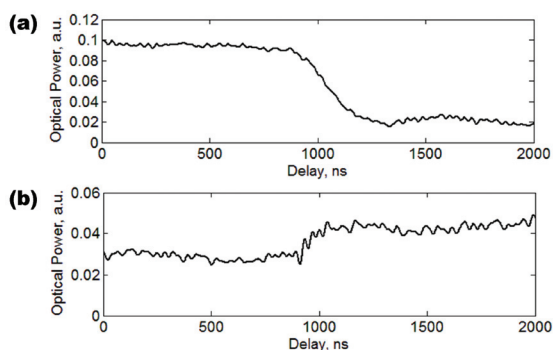


図4： (a)アモルファス化応答波形、
(b)結晶化応答波形

図4 (a) 及び (b) に、結晶化及びアモルファス化応答波形を示すが、どちらも 100ns 程度の高速応答を示している。

(2) スペクトル整形機能を有する高分解能光合分波回路

①分散補償回路

図5に反射構成のアレイ導波路2段型分散補償器の構成図を示す。入射信号は第1のアレイ導波路回折格子で分光され、スラブ導波路内に設けられた位相シフトによってフーリエ位相を制御される。位相シフトは、石

英スラブ導波路中に溝を形成し、樹脂が注入され、近傍の薄膜ヒータによって屈折率が制御される。2段型構成では、分散補償量変化に伴う透過帯域幅の変化が少ない特徴がある。これは、1段型構成の場合、分散補償量を大きくすると、中心周波数からずれるに従って入出力導波路に斜めに光が入射するようになり結果として透過帯域が狭まるのに対して、2段型構成では、中心周波数から離れた周波数成分も入出力導波路に平行に入射するからである。

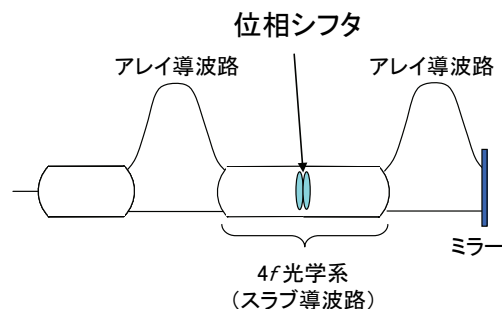


図5：2段型分散補償器の構成

本デバイスを試作し、142ps/nm~1148ps/nm の可変分散補償動作を確認した。図6に可変分散特性を示す。

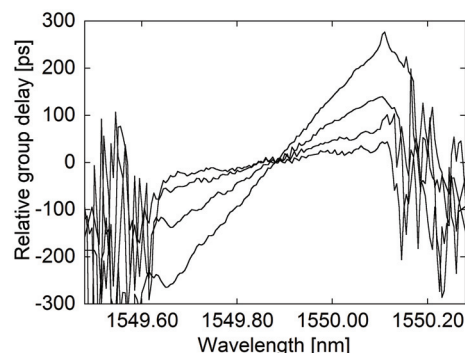


図6：可変分散特性

②スペクトル制御回路

従来、AWGを利用する光パルスシンセサイザは、チャンネル間隔毎に離散的に光スペクトルを制御することしか出来なかった。図7に新規に考案したチャンネル型光スペクトル制御回路の構成を示す。従来と異なる点は、位相シフトのあるチャンネル導波路本数がアレイ導波路本数の2倍以上であるところである。チャンネル導波路密度を高めることによって、凹凸のない平坦な透過特性を得ることが可能になる。

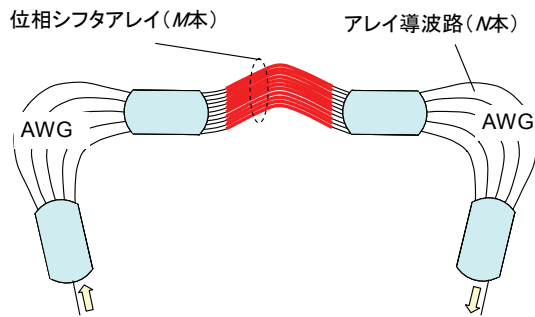


図7：スペクトル制御回路

本デバイスを試作し、平坦な透過スペクトルが得られることを確認している。透過特性を図8に示す。

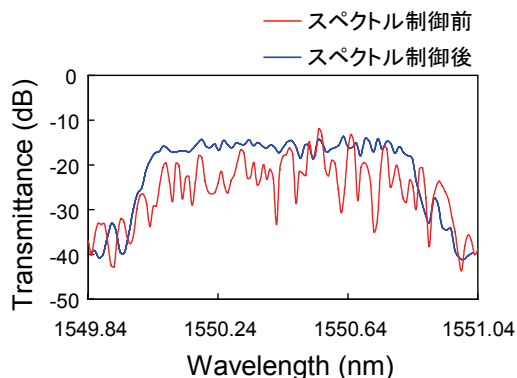


図8：スペクトル制御回路の透過特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計12件)

(1) K. Sorimoto, K. Kintaka, H. Kawashima, M. Mori, T. Hasama, H. Ishikawa, H. Tsuda, and H. Uetsuka, “Fast Aberration-Correcting Algorithm for an SLM-based Optical Switch,” 査読有り、IEICE Electron. Express Vol. 7, No. 23, pp. 1728-1734(2010).

(2) T. Sakamaki, Y. Narita, H. Tsuda, S. Nakajima, and T. Kawanishi, “LiNbO₃ optical switch using asymmetric X-junction waveguide for broadband optical network node,” 査読有り、IEICE Electronics Express Vol. 7, No. 5, pp. 360-364(2010).

(3) K. Iwamoto, J. Ito, and H. Tsuda, “An

athermal delay interference circuit using trenches filled with low-refractive index material,” 査読有り、IEICE Electronics Express Vol. 6, No. 24, pp.1769-1773(2009).

(4) J. Ito, and H. Tsuda, “Novel Silica-based Waveguide Type Polarization Beam Splitters Using Trenches Filled with Low-refractive Index Material,” 査読有り、IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 27, No. 24, pp. 5668-5674(2009).

(5) Y. Ikuma, and H. Tsuda, “AWG-Based Tunable Optical Dispersion Compensator With Multiple Lens Structure,” 査読有り、IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 27, No. 22, pp. 5202-5207(2009).

(6) J. Ito, M. Yasumoto, K. Nashimoto, and H. Tsuda, “High-speed photonic functional circuits using electrically controllable PLZT waveguides,” 査読有り、IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E92-C, No.5, pp.713-718(2009).

(7) J. Ito, and H. Tsuda, “Small bend structures using trenches filled with low-refractive index material for miniaturizing silica planar lightwave circuits,” 査読有り、IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 27, No. 6, pp. 786-790(2009).

(8) D. Tanaka, Y. Ikuma, and H. Tsuda, “Low loss, small crosstalk offset crossing structure for large-scale planar lightwave circuits,” 査読有り、IEICE Electron. Express Vol. 6, No. 7 pp.407-411(2009).

(9) Y. Ikuma, T. Saiki, and H. Tsuda, “Proposal of a small self-holding 2×2 optical switch using phase-change material,” 査読有り、IEICE Electron. Express Vol. 5, No. 12 pp.442-445(2008).

〔学会発表〕(計33件)

(1) H. Tsuda, “Ultra-Compact Optical Switch Using Phase-Change Material,” Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition 2010, SE-3, Dec. 9, Shanghai, China(2010).

(2) H. Tsuda, “Photonic functional devices for future communication systems,” 12th International Conference

on Transparent Optical Networks (ICTON) 2010, Mo.D2.1, June 27, Munich, Germany (2010).

(3) H. Tsuda, “Photonic signal processing using arrayed-waveguide gratings,” 11th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON) 2009, We.A2.3, June 29, Island of São Miguel, Azores, Portugal (2009).

(4) 津田裕之、「フットニックネットワーク用導波路型光機能デバイス」、第9回レーザー学会東京支部大会、第5講、東海大学、東京、2009年3月4日

○出願状況（計3件）

名称：導波路型分光光度計

発明者：津田裕之、反本啓介、河島整、森雅彦、上塚尚登

権利者：慶應義塾大学、産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特願 2010-150045

出願年月日：平成 22 年 6 月 30 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津田 裕之 (TSUDA HIROYUKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90327677

(2) 研究分担者

神成 文彦 (KANNARI FUMIHIKO)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：40204804

小原 實 (OBARA MINORU)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90101998

(3) 連携研究者

河島 整 (KAWASHIMA HITOSHI)

産業技術総合研究所・ネットワークフォトニクス研究センター・主任研究員

研究者番号：90356840