

学位論文 博士（工学）

相変化材料を用いた自己保持型
光スイッチに関する研究

平成 24 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

田中 大輝

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	田中 大輝
主 論 文 題 目 :			
相変化材料を用いた自己保持型光スイッチに関する研究			
(内容の要旨)			
<p>光通信ネットワークにおいて、波長多重と多値変復調による大容量伝送が進展している。このため、光ノードで処理される信号の波長数とビットレートが増大し、光ノードの大規模化、高速化、低消費電力化が求められている。特に光電気変換を要せずに光信号のルーティングが可能な、光スイッチ技術を光ノードに適用することが強く期待されている。この要請に応えるために、小型で高速に動作し、低損失な光スイッチが求められている。本研究では相変化材料を用いた自己保持型光スイッチ（相変化光スイッチ）を提案し、その有用性を明らかにすることを目的とした。</p> <p>第1章では、本研究の背景、先行研究、光通信技術などについてその概要を述べた。また、相変化材料および相変化スイッチの特徴について述べた。超小型、高速応答性、自己保持機能、といった相変化光スイッチの利点について説明した。</p> <p>第2章では、光マトリクススイッチなどの集積光回路に必要な Si 交差導波路について述べた。オフセット交差構造を提案し、損失およびクロストークの低減に有効であることを明らかにした。有限差分時間領域 (FDTD: Finite-Difference Time-Domain) 法を用いたシミュレーション結果、試作チップの測定結果について報告した。Ey モードにおけるクロストークは -45 dB まで低減された。</p> <p>第3章では、三種類の相変化光ゲートスイッチについて述べた。薄膜型、リブ型、多モード干渉 (MMI: Multi-mode Interference) 型のそれぞれについてチップの試作を行い、そのスイッチング動作に成功した。これらの実験結果により、相変化材料を用いた安定な光スイッチングが可能であることを明らかにした。薄膜型ではおよそ 10 dB の消光比が得られ、1000 回のスイッチング動作に成功した。</p> <p>光マトリクススイッチを構成するためには、2×2 スwitchの実現が強く求められる。第4章では、方向性結合器 (DC: Directional Coupler) をベースとした 2×2 相変化光スイッチの設計法について述べた。平行導波路におけるスーパーモードを有限要素法 (FEM: Finite Element Method) により解析し、その等価屈折率から結合長を算出した。デバイス長が 10 μm の極めて微小な 2×2 スwitchを設計することができた。</p> <p>第5章では、マッハ・ツェンダ干渉器 (MZI: Mach-Zehnder Interferometer) をベースとした 2×2 相変化光スイッチの設計法について述べた。アーム導波路の長さを対称にすると空間スイッチを、非対称にすると波長スイッチを実現することができる。必要な相変化材料が短くて済むこと、作製トレランスがよいことが利点である。</p> <p>第6章では、本論文の成果をまとめ、今後の課題や将来の展望を述べた。</p>			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number 81045913	SURNAME, First name TANAKA, Daiki
Title Self-holding Optical Switch Using Phase-change Material		
Abstract <p>To increase transmission capacity of optical networks, a wavelength division multiplexing (WDM) technique and multilevel modulation scheme are developing. High-speed, low-power consumption, and large-scale optical transmission systems are required. An optical switch technology is highly expected to be applied for optical nodes because it can select optical signal paths without optical-to-electrical (OE) conversion. Compact, fast, and low-loss optical switch is necessary. In this work, self-holding optical switches using phase-change material (PCM) were proposed and investigated in order to demonstrate their performance.</p> <p>Chapter 1 summarized background, previous researches, and fundamental topics in optical communications, related to this research. PCMs and self-holding phase-change optical switches were also introduced. Ultra-small, high-speed, and self-holding characteristics of the phase-change optical switches were explained.</p> <p>Chapter 2 described Si waveguide crossings which are necessary for highly-integrated optical circuits such as optical matrix switch. An offset crossing structure was proposed in order to suppress transmission loss and crosstalk. Simulation results by finite-difference time-domain (FDTD) method and experimental results were reported. The low crosstalk of -45 dB was achieved for Ey mode.</p> <p>Chapter 3 described three-types of phase-change optical gate switch. Thin-film, rib, and multi-mode interference (MMI) -type switches were fabricated. Switching operation was successfully demonstrated and it revealed that the stable, optical switching based on phase-change is possible. For the thin-film-type optical gate switch, the extinction ratio of about 10 dB was achieved and 1,000 cycles of switching operation were performed.</p> <p>To design optical matrix switch, a 2×2 switch is indispensable. In Chapter 4, How to design a 2×2 phase-change switch based on directional coupling (DC) was described. Supermodes in parallel waveguides were analyzed by finite-element method (FEM) and coupling length was calculated from effective refractive indices of supermodes. Ultra-small 2×2 switch with 10-μm-length could be designed.</p> <p>Chapter 5 described how to design a 2×2 phase-change switch based on Mach-Zehnder interferometer (MZI). Spatial and wavelength switches could be realized with symmetric and asymmetric arm waveguide configurations. The MZI-type 2×2 switch had a short length of PCM and good fabrication tolerance.</p> <p>Chapter 6 summarized results of each Chapter and concluded this work.</p>		