

強誘電体結晶の電気光学効果を利用した光通信用光
スイッチの研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 充和 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1718

氏名・(本籍)	近 藤 充 和 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 44 号
学位授与の日付	平成 4 年 10 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	強誘電体結晶の電気光学効果を利用した光通信用光スイッチの研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授 萩 野 實		
	教授 岡 本 尚 道	教授 塩 川 祥 子	
	教授 山 口 十 六 夫		
	助教授 石 川 賢 司	助教授 小 楠 和 彦	

論 文 内 容 の 要 旨

光通信分野において、2点間から多点間へとネットワークが拡大するのに伴い、ネットワーク内の光信号伝送路の制御が益々重要になっている。特に、光信号の高速化や異なる速度の光信号の多重化、さらには波長多重化がこれからの流れであることを考えると、光信号速度に依存せず、かつ、波長情報等を保存したまま光信号経路を切り替える光スイッチの役割は今後益々重要となる。

本論文では、上述のような様々な光通信システムに応用することが可能な光スイッチを、強誘電体結晶の電気光学効果を利用して実現することを目的とし、多モード光ファイバ系に適したバルク型光スイッチ及び単一モード光ファイバ系に適した導波路型光スイッチの研究を行った。

先ず、第1章では光通信システムにおける光スイッチの役割や一般的に構成方法及び本研究の位置付けを述べ、第2章では本研究の光スイッチの基本となる電気光学効果の概略と、その光変調器や光スイッチへの応用について述べた。

第3章では、多モード光ファイバ用スイッチの構成要素として、従来のバルク型光変調器に比べて温度依存性が小さく、かつ、低クロストーク特性が得られる LiTaO_3 結晶を用いた位相整合型偏光変換器を新たに提案した。本素子は常光と異常光間の位相速度差を補償するような周期のすだれ状電極を結晶上に設けて偏光変換を行うものである。複屈折の温度変化による特性劣化を改善するため、電極の周期をテーパ状に変化させ、かつ、電極指の幅を変化させて変換効率に重み付けを施すことにより、5～40℃の広い温度範囲でスイッチング動作が可能であることを示した。さらに、実用上不可

欠な偏光に依存しないスイッチ動作を得るため、入射側で偏光を分離し、出射側で合成する構成方法と低クロストーク特性を得るための反射型構成を提案した。この結果、広い動作温度幅と挿入損失 3.6dB 以下、クロストーク -20dB 以下の実用に供し得る性能を合わせ持つ光スイッチを実現した。また、周期電極構造により得られる波長依存性を利用し、波長多重光通信システムで必要となる特定の波長を選択的に切り替える光スイッチの検討を行い、いくつかのデバイス構成を示した。

次に第 4 章において、光交換機等のスイッチングネットワークの構築に不可欠なマトリクス光スイッチの構成要素となる導波路型光スイッチの構成法を検討した。まず、大きな電気光学効果、低損失、製作の容易さ等の特長を持つ LiNbO₃ 結晶基板の Ti 拡散光導波路を対象とした。光スイッチ方式としては、スイッチング電圧、クロストーク特性の点で優れた方向性結合器型光スイッチを取り上げ、実際に素子を試作して、良好な動作を確認した。

第 5 章ではマトリクス光スイッチを実現するため、スイッチ回路の構成法や光スイッチ素子を集積化する上での基本的な問題点、すなわち、素子長の減少によるスイッチング電圧の増加、光導波路の曲がりによる放射損失、光スイッチ素子の高密度配置による相互干渉効果の影響等について数値解析を行った。光導波路の曲がりによる放射損失の計算結果では、直線的に S 字状に折れ曲がる光導波路構造ではその降り曲げ角度を 5 mrad 以下に、曲線状光導波路ではその曲率半径を 40mm 以上とすれば、低損失が得られることを示した。複数の光スイッチ素子の近接によるクロストーク劣化は、スイッチ素子間の光波の直接的な分布結合よりも基板中への印加電界分布が及ぼす影響の方が大きいことを示し、光スイッチ素子間隔を 30 μm 以上離す必要があることを明らかにした。また、光ファイバとの結合損失について検討し、その低減方法として、光スイッチング電圧とのトレードオフを解決する Ti 膜テーパ拡散法を提案し、有効性を示した。さらに、導波路伝搬光の深さ方向の界分布を対称に近付ける MgO 追拡散法を提案し、大幅な結合損失の低減を実現した。

第 6 章では、前章の設計指針に基づいて、5 個のスイッチ素子からなる 4 × 4 光スイッチ、高集積化を計った 64 スwitch素子からなる非閉塞型 8 × 8 光スイッチ及び低クロストーク化のためスイッチ素子を 2 重化した 4 × 4 光スイッチ等のマトリクス光スイッチの設計、試作を行った。この結果、ほぼ設計通り波長 1.3 μm において、8 × 8 スwitchでは挿入損失 8 dB 以下、動作電圧は 39V 以下の特性が、後者の 4 × 4 スwitchでは -35dB 以下の低クロストーク特性がそれぞれ得られた。さらに、この試作したマトリクス光スイッチを用い、32Mb/s 光信号の時分割光交換実験や 32 回線空間分割光交換機による 800 Mb/s 光信号の交換実験を行い、その有用性を実証した。これらの結果より、Ti 拡散 LiNbO₃ 光導波路による方向性結合器型光スイッチを本研究の設計指針に基づいて基板上に集積化することにより、様々な光スイッチングネットワークへの応用に対して十分な性能を持つマトリクス光スイッチが実現できることを実験的に示した。

第 7 章では光スイッチを実用する上で重要な偏光依存性の除去について検討し、TE、TM モードの完全結合長を一致させ、 $\Delta\beta$ 同相駆動を行う新しい光スイッチ方式を提案した。他の方式に比べ、スイッチ電圧の増加も最も小さくでき、かつ、構成が簡単で制御も容易であるという特長を素子の試作、評価により実証した。本方式の光スイッチ素子は OTDR (光パルス試験器) 用光スイッチに応

用され、導波路型光スイッチとしては世界で初めて実用装置に使用されている。また、 8×8 マトリクス光スイッチにも適用され、実用レベルの性能が示されている。

以上の結果により、本論文に述べた強誘電体結晶の電気光学効果を利用したバルク型および導波路型の光スイッチにより、光通信分野で重要な役割を果たすことが期待されている光スイッチを実現できることが示された。

論文審査結果の要旨

本論文は、強誘電体結晶を用い、その電気光学効果を利用して、多様な光通信システムへ適用することができる光スイッチを開発することを目的として行った研究の成果をまとめたもので、全8章から成る。

第1章では、光通信システムにおける光スイッチの役割や構成法を解説し、本研究の位置付けを示している。

第2章では、光スイッチや光変調器の基本となる強誘電体の電気光学効果を概説している。

第3章では、多モード光ファイバ通信用として新しい動作原理による偏光変調器を利用した光スイッチを提案している。実験には、 LiTaO_3 結晶を用いてデバイスを試作し、複屈折の温度依存性による特性の劣化の問題を取り上げ、電極の周期と電極指の幅を変化させて変換効率に重みを施すことにより改善を計っている。更に実用上不可欠な偏光無依存性のスイッチ動作を得るための構成法を提案し、又、低クロストーク特性を得るための反射型構成を提案し、実験している。この結果、 $5\sim 40^\circ\text{C}$ の温度範囲で挿入損失 3.6dB 以下、クロストークが -20dB 以下の実用的な光スイッチを実現している。

第4章では、光交換機等の光スイッチングネットワークの構築に不可欠なマトリクス回路の構成要素として Ti 拡散 LiNbO_3 光導波路による方向性結合器型光スイッチを試作している。

第5章では、マトリクス光スイッチの実現に当たっての基本的な問題点、即ち、素子長の減少によるスイッチング電圧の増加、光導波路の曲りによる放射損失、光スイッチ素子の高密度配置による相互干渉効果の影響について数値解析を行い設計の指針を与えている。又、光ファイバとの結合損失を低減するために、 Ti 膜テーパ拡散法を提案し有効性を確認し、更に、導波路伝搬光の深さ方向の界分布の非対称性を改善する MgO 追拡散法を提案し、大幅な結合損失の低減を実現している。

第6章では、マトリクス光スイッチの試作を行っている。本研究で得られた設計指針に基づいて、64個のスイッチ素子から成る非閉塞型 8×8 光スイッチや低クロストーク 4×4 光スイッチ等の設計、試作を行い、ほぼ設計通りの良好な特性を得ている。上記試作デバイスを用いて空間分割や時分割の光交換機の基礎実験を行い、その有用性を確認している。

第7章では、 LiNbO_3 光スイッチの偏光無依存性の検討を行い、TE, TM モードの完全結合長を一致させる方式を提案している。この結果、他に比べて低電圧で動作する新しい方式の偏光無依存性光スイッチを実現し、導波路型光スイッチとして始めて実用化に成功している。

第8章は総括と結論である。

以上、本研究の成果は光通信システムの基礎技術の開発と実用化に大きく貢献しており、本論文は博士(工学)の学位を授与するに十分な価値を持つものと認定される。