

超高速フォトニックネットワーク用光スイッチデバイスに関わる研究開発 (031103015)

Optical Switching Devices for Ultra High-Speed Photonic Network

武藤 真三 山梨大学大学院医学工学総合研究部

Shinzo Muto University of Yamanashi

中川 恭彦[†] 垣尾 省司[†] 本間 聡[†] 工藤 裕之^{††} 奥山 芳郎^{††} 渡辺 正行^{†††}小林 哲也^{†††} 都沢 雅見^{†††} 遠藤 弘之^{††††} 近藤 健^{††††} 牧野 州哲^{†††††}Yasuhiko Nakagawa[†], Shoji Kakio[†], Satoshi Honma[†], Hiroyuki Kudo^{††}, Yoshiro Okuyama^{††},Masayuki Watanabe^{†††},Tetsuya Kobayashi^{†††}, Masami Miyakozawa^{†††}, Hiroyuki Endo^{††††}, Ken Kondo^{††††}, and Kunitetsu Makino^{†††††}[†]山梨大学大学院医学工学総合研究部 ^{††}日本電気通信システム株式会社 (NCOS)^{†††}株式会社オプトクエスト ^{††††}中央コリドー情報通信研究所 ^{†††††}株式会社グローブリンク[†]University of Yamanashi ^{††}NEC Communication Systems (NCOS)^{†††}Optoquest Corp. ^{††††}Central Corridor Communications ^{†††††}Globelink Corp.

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

本研究では、弾性表面波を用いた導波路型音響光学(AO)スイッチを提案し、約 85%の最大回折効率を有する 1×2 スイッチ、及び 1×4 スイッチを試作した。30nsec の応答速度を有していること、ブラッグ回折された光路において光チャープ特性は全く影響を受けないことを明らかにした。これを超高速フォトニックネットワークに適用した際の伝送特性を解析し、デバイスに要求される仕様を求めた。また、KNbO₃ 薄膜光導波路の大きなフォトリフレクティブ効果を利用した光-光制御によるスイッチング特性を解析し、光波長フィルタや Add/Drop マルチプレクサに適用した際の諸特性を明らかにした。さらに、実際に高周波スパッタを用いて良好な配向性を有する KNbO₃ 薄膜を作製した。

Abstract

The waveguide-type acoustooptic (AO) switch in a tapered crossed-channel proton-exchanged optical waveguide on a LiNbO₃ substrate was fabricated for application to optical matrix switch. According to the simulated properties, diffraction efficiency of about 85%, extinction ratio of 10 dB, and response time of 30 nsec were obtained. The transmission characteristics in ultra high-speed photonic networks using the AO switch devices were also simulated. Furthermore, photorefractive properties in bulk crystal or thin-film optical waveguide of potassium niobate were investigated for a basic study of all-optical switching, and a highly oriented potassium niobate thin-film was fabricated by rf-sputtering.

1. まえがき

超高速フォトニックネットワークの光基盤技術において、高速、低挿入損失の光スイッチングデバイスの実用化、次世代のオール光ネットワークに向けた光-光スイッチング技術の確立が強く求められている。本研究課題では、プロトン交換 LiNbO₃ 光導波路、または KNbO₃ 薄膜光導波路上の音響光学効果、あるいはフォトリフレクティブ効果を利用することにより、これらのターゲットデバイスを構築することを目標として研究を遂行した。

2. 研究内容及び成果

2.1 導波路型 AO スwitch の作製

図 1 に提案するプロトン交換導波路型音響光学 (Acoustooptic: AO) スwitch を示す。テーパ導波路で幅を拡大した導波路をブラッグ角度で交差させ、AO 相互作用長を確保した。弾性表面波 (Surface Acoustic Wave: SAW) 励振用電極 (IDT) に RF 信号が印加されると、AO 相互作用を介して SAW ビームによって導波光は回折される。ビーム伝搬法を用いて導波光伝搬を解析した結果、導波路交差幅 L よりも SAW ビーム幅 L_g を狭くすると、回折された導波光の複雑な干渉が緩和され、光回折特性が改善されることを見出した。この結果に従い、作製した試

料 ($L=4\text{mm}$, $L_g=2\text{mm}$) の光回折特性 (測定光波長 $1.55\mu\text{m}$ 、駆動周波数 195MHz) を図 2 に示す。改善前よりも約 20%

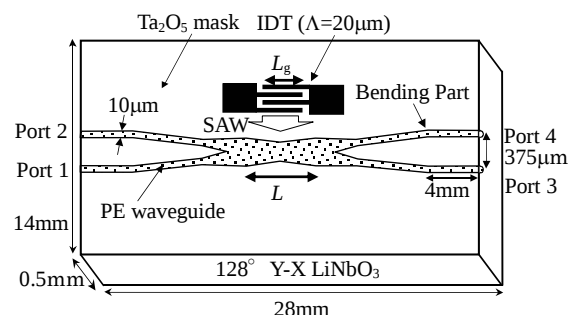


図 1 導波路型 AO スwitch の概観

大きな 84%の最大回折効率を得られたが、消光比に相当する非回折光パワーの最小値は 10%(10dB)であった。導波路をレンズで光ファイバと結合させた状態でモジュール (1×2 AO スwitch) を作製した。高速の PD を使用して応答速度を測定したところ、導波路までの SAW 伝搬時間を除き、SAW が光回折部を横切る所要時間に相当する 30nsec であることがわかった。

さらに、1×2 AO スイッチを同一基板上で従属に接続させた 1×4 AO スイッチを設計、試作した。導波路型 AO スイッチを多段に接続する場合には、テーパ導波路を介さず、幅の広い直線導波路で直接接合した方が良好な特性が得られることを見出し、125MHz 駆動の試料において、2 段のスイッチング後に 64% の回折効率を得た。

2.2 ネットワークへの適用評価

光チャープ測定器を用いて、1×2 AO スイッチモジュールの光 Bit データを 2.5Gbps 帯で実測した。変調信号光を AO スイッチに通過させても、チャープ特性は全く影響を受けないことがわかった。この実測データを用いて、光ノードシステムへの適用を想定した光伝送特性を解析した。特に、SMF 480~720km 伝送を行った場合のビット誤り率と受光感度劣化を評価し、要求される消光比特性を明確化した。光スイッチの DWDM 実システムへの適用には、同一波長の信号光をスイッチングする場合には 30dB 以上の消光比が必要、0.4nm 離れた信号光のスイッチングでは 40Gbps で 20dB 以上要求される。一方、波長管理が緩いメトロ領域の光路切り替えシステムでは、消光比を 16dB まで改善されれば、クロストークの影響のみの劣化量は 0.24dB であり、充分に実システムへ適用できる。

2.3 フォトリフラクティブ効果を利用した光-光制御スイッチングデバイス

図 3 に提案する Add/drop 型光制御光スイッチを示す。LiNbO₃ 基板上で交差した KNbO₃ 薄膜導波路より形成される。KNbO₃ は大きなフォトリフラクティブ効果を有し、比較的応答が速いことから、低強度の光で制御可能な光スイッチの構築が期待される。上部から照射される制御光によって光誘起屈折率格子が形成される。信号光 1 の Bragg 回折条件を満たす波長成分は取り出されるが、条件を満たさない波長は透過する。回折条件を満たす角度から信号 2 を入射すると、信号光を追加することができる。制御光の波長もしくは入射角度等を変化させ、回折格子の周期を調整することによって、Add/drop 動作させる波長成分を選択することが可能である。

フォトリフラクティブ媒質中を伝搬する光波は、その光波自身により発生する屈折率分布の変化と連動しながら伝搬状態が変化する。そこで、一般的な有限差分ビーム伝搬法に加え、フォトリフラクティブ効果を介して変化する誘電率分布の計算を交互に行うことにより、媒質中の伝搬光を 2 次元的に計算する方法を開発した。

このシミュレータを用いて Add/drop 動作の評価を行った。光波の伝搬方向と c 軸との成す角を 45° とし、信号光の 2 倍程度の強度を有する制御光を 3mm×1.2mm の範囲に照射した場合の光伝搬を計算した。信号光を c 軸方向に回折させた場合は約 90% の回折効率を得られた。媒質中では、制御光が誘起する屈折率格子の他に、信号光と自身の回折光が誘起する格子が存在する。これは、特定方向の伝搬光にエネルギー移動させるように作用し、効率のばらつきの要因となる。導波路形状の最適化により、不必要な回折格子を抑制する必要がある。

2.4 KNbO₃ 薄膜光導波路の作製

KNbO₃ を構成する元素の蒸気圧が大きく異なるために、ターゲットと薄膜の組成ずれが顕著に現れ、特に K が不足するという問題点が指摘されている。そこで、KNbO₃ ターゲットと、カリウムの不足を補う K₂CO₃ ターゲットを用いる 2 元同時スパッタ法を採用した。KNbO₃ ターゲットのみの成膜における K/Nb 比は 0.13 であった。K₂CO₃ ターゲットへの RF 電力を増加させると、K/Nb 比は 0.65 まで向上するが配向性が劣化した。そこで、KNbO₃ と K₂CO₃ を 75:25mol% 比で混合したターゲットを用いて成膜した結果、極めて良好な配向性と 0.3 程度の K/Nb 比が

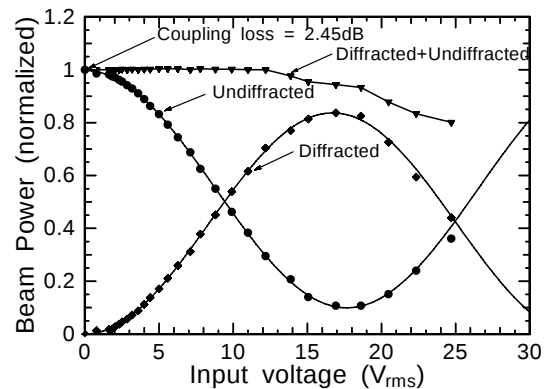


図 2 導波路型 AO スイッチの光回折特性

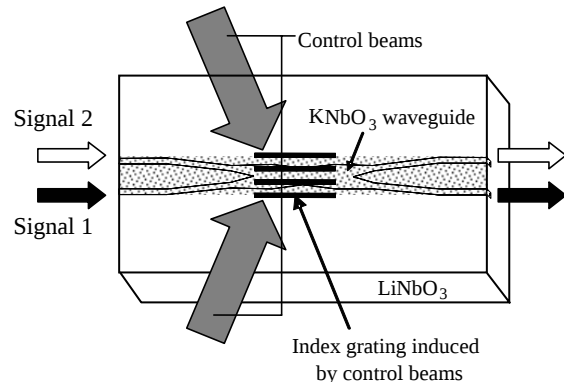


図 3 Add/drop 型光制御光スイッチ

得られた。この薄膜に電界を加え分極処理を行った。転移点付近で変位電流が流れたが圧電性の発現は観測されなかった。K/Nb 比の向上が必要と考えられる。また、薄膜の光導波測定により薄膜の屈折率を測定した結果、わずかな面内異方性が観測された。さらに LiNbO₃ 基板の Li₂O 外拡散により、KNbO₃ に近い面間隔をもつ層が形成され、エピタキシャル成長面として期待できることを示した。

3. むすび

AO 効果、フォトリフラクティブ効果を用いたスイッチングデバイスを検討した。低駆動パワー化、消光比の改善、KNbO₃ 薄膜作製条件の確立により、超高速フォトニックネットワーク、将来のオール光ネットワークにおけるキーデバイスの構築が期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] 本間 聡、天野 高志、植村 俊介、舟越 久敏、岡本 淳、武藤 真三、“相互励起型 4 波混合を用いた位相共役発生に関する入射強度比の最適化と位相共役変換効率の多値特性”、電子情報通信学会論文誌 C、Vol. J88-C、No.2、pp. 91-98 (2005, 2, 1)
- [2] Shoji Kakio, Shinji Uotani, Yasuhiko Nakagawa, Takefumi Hara, Hiromasa Ito, Tetsuya Kobayashi and Masayuki Watanabe, “Diffraction properties and beam-propagation analysis of waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, No.6B, pp.4472-4476. (2005, 6, 30)
- [3] Tatsushi Okamoto, Satoshi Honma, Shunsuke Uemura, Terumasa Ito, “Mutually Pumped Phase Conjugate Mirror using Cross Polarized Photorefractive Coupling”, Optics and Laser Technology (採録決定)

他 2 件、国際会議報告論文 6 件、口頭発表 30 件