

低クロストーク・低駆動電力 X 型光導波路スイッチ

(日本ガイシ(株) R&D センター) ○水野 誠一、一木 武典、奥村 淳、山下 正孝、浜島 章、大島 正嗣、三富 修

Abstract

We propose a new type X-intersecting 2X2 waveguide TO (Thermo-Optic) switch, which realize the low switching loss and the low driving power operation with the low crosstalk. The switch is composed of the wide and thin core, which expands the optical mode field size under the single mode propagation. The expanded mode field size reduces the crosstalk with narrow X-intersection angles. The narrow angle reduces the driving power. And the switch is composed of the sub-cladding structure, which prevent a light from scattering toward substrate. The switch was fabricated in the fluorinated polyimide. This switch showed the crosstalk of less than -40 dB and the extinction ratio of greater than 30 dB when the driving power of approximately 100 mW was applied.

1. 緒言

近年、インターネットの普及などによる通信の大容量化要求により、従来主要幹線に用いられていた光ファイバ通信が地域内通信(メトロ系)やユーザー端末への接続(アクセス系, FTTH)のようなより下流においても使用されるようになってきている。下流部、特にメトロ系においては、多対多の接続や故障確率の増大とそれに対応する回線多重化などのためネットワークが複雑化してくる。このため、故障点や混雑部を回避し回線を効率的に利用するためのトラフィックマネジメント技術が必須となってくる。

トラフィックマネジメントにおいて、回線経路を切り替えるスイッチングは主要な役割を果たしネットワーク上の多くの点に配置される。よって、スイッチングに用いられる装置の動作に対しては、高信頼性と高速性および低エネルギー消費が求められる。従来、光回線のスイッチングは、信号を一度光から電気に変換し電気スイッチにより行われてきた。この方法は、信頼性に関しては電気通信が始まって以来の実績がある。しかしながら、光⇄電気変換の工程が入ることにより様々なロスが生じる。また、光通信の特性を生かした複数の信号を伝送波長を変えることにより同時に同じ回線で送信する WDM 信号に対しては、スイッチの前後で合分波をする必要があるため更なるロスの発生と信頼性の低下が引き起こされる。

このような欠点を解消するためには、電気信号に変換せずに光のままにスイッチングする光スイッチの開発が必須となる。中でも、高分子の大きな熱光学効果(TO 効果)を利用した低駆動電力の光導波路型スイッチは、小型で高速かつ安定性に優れていることから盛んに開発が進められている⁽¹⁾。光導波路型スイッチには(1)Mach-Zehnder 干渉光学系と方向性結合器を組み合わせたスイッチ⁽²⁾、(2)Y 型スイッチ⁽³⁾、(3)X 型スイッチ⁽⁴⁾(⁽⁵⁾)等がある。

この中で X 型スイッチは図 1 に示したような構成であり、図中の薄膜ヒーターを ON にした時の熱により導波路交差部に低屈折率領域を作りそこで信号光を全反射させることに

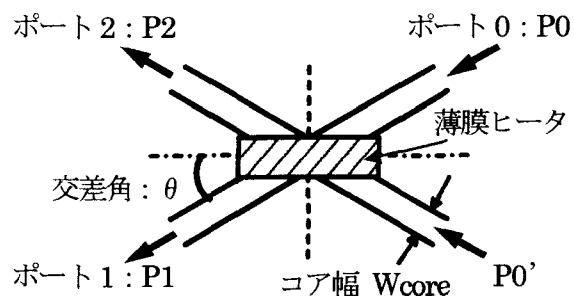


図 1 スイッチ上面図

より P0 から入った信号光の出力先を P1 から P2 に切り替えることができる。このスイッチは、構成が単純でありながら 2つの入力ポートからの信号を 2つの出力ポートへ振り分ける 2×2 動作が実現できる。また、信号が OFF されている出力ポートに誤って漏れ出すクロストークも二つの導波路がなす交差角を大きくしてやることにより低く抑えることができる。ただし、交差角を大きく取ると全反射条件を満たすためにより屈折率を大きく下げることが必要があり、動作電力が大きくなるという欠点がある。これ以外の X 型スイッチの欠点として、ヒーター ON 時の過剰損失が大きいという点がある。これは、低屈折率領域がヒーターを中心とした同心球状の屈折率分布を持つため、信号光がヒーターから離れる方向へ押しやられることにより生じる現象である(図 2 参照)。

当社ではこれら X 型スイッチの利点を生かし欠点を改善するため、高い TO 効果により低駆動電力での動作が期待できるフッ素化ポリイミド材料⁶⁾を用いた試作検討を進めてきた。その結果、扁平導波路とサブクラッド構造を採用することにより、これらの欠点を改善した低駆動電力かつ低クロストークのスイッチを実現できたので報告する⁷⁾。

2. 実験

(1)扁平導波路

クロストークは、信号光の直進性が不十分なために回折光が OFF ポートに漏れ出すことに起因している。これを防ぐためには信号光のスポットサイズを大きくすることにより直進性を高める手法があるが、単にコアサイズを大きくすることによりスポットを広げるとマルチモード伝搬となり信号光の損失が大きくなる。よって、大きなスポットサイズとシングルモード伝搬を両立させるため、コア幅を広げてスポットサイズ大きくすると同時にコア厚を薄くしてマルチモードが発生することを防止した扁平コアを採用した。

(2)サブクラッド構造

ヒーター ON 時における過剰損失は、図 2 に示したような屈折率分布が生じることにより基板方向への光がコアに閉じこめられにくくなるために生じる。そこで、基板近くにクラッドよりさらに屈折率の低い層(サブクラッド層)を設け、基板方向へ漏れる光がコアに戻るようにした。

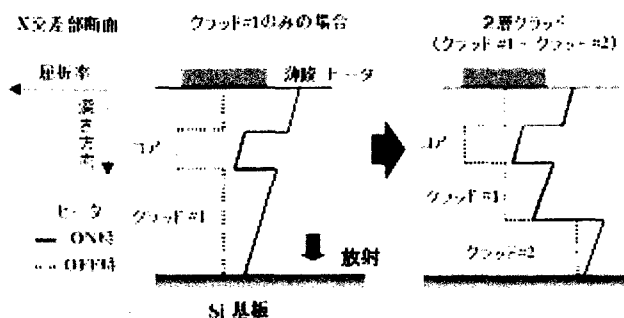


図 2 ヒーター ON 時の基板方向への光散乱

(3)導波路の作成

導波路は、6FDA/TFDB と 6FDA/ODA の共重合ポリイミド材料⁶⁾により作成した(図 3 参照)。この材料は、高分子特有の高い熱光学効果定数($1.5 \times 10^{-4} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$)を示す。また、導波路材料として従来使用されてきたポリイミド材料に比べ、複屈折に由来する損失が小さいという特徴がある。

導波路は TFDB と ODA の比率を変えることによ

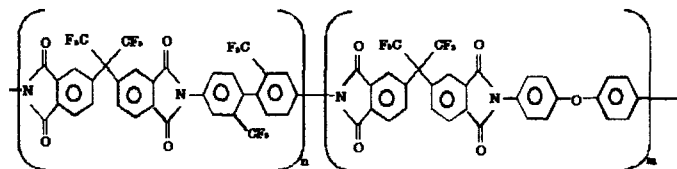


図 3 フッ素化ポリイミドの化学構造

り屈折率を任意に調整した材料を積層させることにより作った。各層は、ポリアミック酸をスピコーターにより塗布し、350°C窒素雰囲気中でイミド化することにより形成した。コア部は、フォトリソグラフにより作ったマスクを用いて高屈折率層を酸素による反応性イオンエッチング(RIE)によりパターンニングすることにより形成した。薄膜ヒーターは、ポリイミド層の上に真空蒸着により積層した Ti 薄膜を塩素による RIE でパターンニングして形成した。ヒーターの位置は、交差部の中心線から横にずらしたもの(1×2 動作)と中心線の真上に置いたもの(2×2 動作)の二種類制作した。

3. 結果と考察

図4に試作した扁平コアと標準的な正方コアのそれぞれを通過した光のニアフィールドパターン(NFP)を示す。(a)の扁平コアを通過した光は、(b)の正方コアよりスポットサイズが大きいにもかかわらずフィールドの中心のみに光の強度が強い点が見られるシングルモード伝播の特徴を維持している。なお、NFPの形状はコア形状の影響により横方向が広がっている。しかし、偏波依存損失は長さ 20mm で 0.1dB 程度であり、NFPの変形は導波路性能に特に大きな影響は与えていないと推定される。

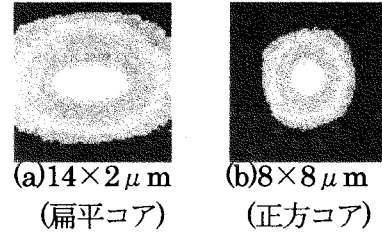


図4 導波路通過光のNFP

試作した1×2動作スイッチのクロストークは、ヒーターに通電していない状態でのP2出力を40dB以下に抑えられていた(ポート名称は図1と同じ)。ヒーター通電時にはP1への出力が低下しP2への出力が増加する。この出力変化は、ヒーターの熱がSi基板より放熱さ

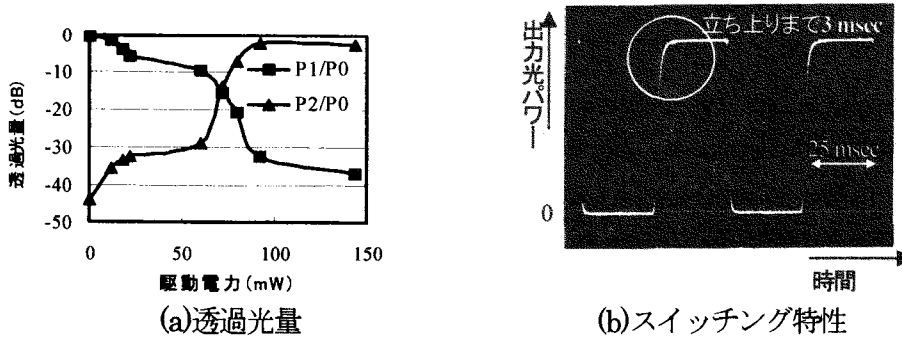
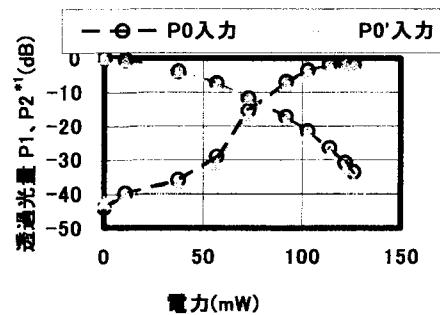


図5 X型スイッチの動作特性(1×2動作)

れ温度分布が速やかに定常状態に至ることにより通電から約3msecで安定する(図5(b)参照)。安定後の各ポートの出力を駆動電力に対してプロットしたグラフを図5(a)に示す。P2出力に対するP1出力の比(消光比)は、駆動電力100mWで30dB以上に達した。この時の駆動による過剰損失(未通電時のP1出力と通電時のP2出力の差)は2dB以内であった。

2×2動作スイッチも、二つの入力それぞれに対して1×2動作スイッチと同様の動作をした。駆動電力はやや大きくなり、消光比30dBに達するために130mW必要となった。



4. 結論

- ・導波路の断面形状を扁平とすることにより、駆動電力 100mW の低駆動電力動作が可能な小交差角の構造においても OFF ポート出力 -40 dB 以下の低クロストークを実現できた。また、通電時における消光比も 30dB 以上を確保できた。
- ・サブクラッド構造により、スイッチ動作時における過剰損失を 2dB 以下に抑えることができた。
- ・ヒーターの位置を最適化することにより、同様の構造で 2×2 動作も可能であることが確認できた。

5. 参考文献

- (1) 岡山秀彰, “導波路型光スイッチ,” 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.7, pp760-767, Jul.1999
- (2) T. Goh, M. Yasu, K. Hattori, A. Himeno, M. Okuno, and Y. Ohmori, “Low Loss and High Extinction Ratio Strictly Nonblocking 16 X 16 Thermo-optic Matrix Switch on 6-in Wafer Using Silica-Based Planer Lightwave Circuit Technology,” *J. Lightwave Technol.*, vol. 19, no. 3, pp. 371-379, March 2001.
- (3) U. Siebel, R. Hauffe, and K. Petermann, “Crosstalk-Enhanced Polymer Digital Optical Switch Based on a W-Shape,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 1, pp. 40-41, January 2000.
- (4) B. Li, and S. Chua, “Reflection-Type Optical Waveguide Switch With Bow-Tie Electrode,” *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, no. 1, 65-70, January 2002
- (5) T. Sakata, H. Togo, M. Mikiyama, F. Shimokawa, and K. Kaneko, “Improvement of switching time in a thermocapillarity optical switch,” in *Proc. OFC*, 2001, WX3.
- (6) J. Kobayashi, T. Matsuura, Y. Hida, S. Sasaki, T. Maruno, “Fluorinated Polyimide Waveguides with Low Polarization-Dependent Loss and Their Applications to Thermo-optic Switches,” *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, no. 6, 1024-1029, June 1998.
- (7) 一木武典, 奥村淳, 山下正孝, 浜島章, 大島正嗣, 三富修, 「低クロストーク・低駆動電力 X 型 2×2 光導波路スイッチ」, 信学技報 OME2002-70 OPE2002-71, pp23-28