

液晶を用いた光WDM通信用アド・ドロップ素子の研究 (042103012)

Study of optical add/drop multiplexers using ferro-electric liquid crystal cladding

研究代表者

中津原克己 神奈川工科大学 工学部
Katsumi Nakatsuhara Kanagawa Institute of Technology

研究分担者

工藤嗣友
Tsugutomo Kudo
神奈川工科大学 工学部
Kanagawa Institute of Technology

研究期間 平成16年度～平成18年度

本研究開発の概要

本研究開発では、強誘電性液晶の大きな屈折率変化を効果的に利用し、小形化、低動作電力化、低コスト化に有利な光通信用デバイスの開発を行った。これらの素子は集積化に適した導波路形構造であるため、他の光通信用デバイスとの集積化により光回路の高機能化を図ることができる。本研究開発では、グレーティング導波路の鋭い波長選択性を利用した液晶装荷グレーティング導波路をはじめ、強誘電性液晶の屈折率変化を利用した種々の光機能素子の製作プロセスの確立とその動作実証に成功し、将来のフレキシブルな波長多重通信ネットワークを実現する光-電気変換を用いない光アド・ドロップ回路への適用可能性を示した。

Abstract

We proposed and studied optical waveguide devices using ferro-electric liquid crystal (FLC) cladding for various applications in optical WDM networks. The FLCs in the cladding layer change their effective refractive index corresponding to the applied voltage polarity. We fabricated a TiO_2 -grating waveguide filter having a ferro-electric liquid crystal cladding to apply for optical switching devices. In a preliminary experiment, a bistable wavelength tuning operation was successfully demonstrated in the fabricated device at a wavelength of 1530nm. We also proposed optical switching devices using Si-waveguides having FLC cladding. The switching operations were successfully demonstrated by the experimental devices designed by 1550nm wavelength.

1. まえがき

光スイッチや可変の光波長選択素子を用いて光信号の合成分波を制御することにより、フレキシブルな光波長多重通信ネットワークを実現することが可能となる。本研究では、強誘電性液晶 (FLC=ferro electric liquid crystal) を用いた導波路形光機能素子の提案および素子試作、動作実証を行った。他の光デバイスとの集積化に適した導波路構造に液晶を適用する機能素子は、液晶の大きな屈折率変化が利用でき、素子の小形化が可能である。特にFLC材料は、自己保持性を有し、低消費電力化にも有利である。本研究は従来にない新規なアイデアに基づくものである。そのため、光導波路の屈折率制御技術およびFLCの配向技術等の個々の要素技術の向上とそれらの積み上げによる素子製作プロセスの確立を行った。

特に、グレーティング導波路と液晶の屈折率変化を組み合わせた液晶装荷グレーティング導波路では、鋭い波長選択性を利用したスイッチング機能が実現できる。本研究では、 TiO_2 をコアに用いたグレーティング導波路に強誘電性液晶をクラッドとして装荷した構造を検討し、試作した素子において、印加電圧の極性変化により素子の波長特性がシフトし、FLC装荷グレーティング導波路では初となるスイッチング動作を実証した。また、本研究の遂行過程において、基本要素技術を応用した新規の光機能素子の着想を得て、それらの基本動作の実証に成功した。

2. 研究内容及び成果

2.1 液晶装荷グレーティング導波路

グレーティングの波長阻止帯域の中心波長であるブラッグ波長は、液晶を装荷したグレーティング導波路の等価屈折率を変化させることでシフトする。液晶に染み出した導波光のエバネッセント成分は、印加電圧の極性による液晶の屈折率変化の影響を受け、等価屈折率が変化し、ブラッグ波長のシフトが可能となる。

干渉露光とRIEを用いて下部クラッドとなる SiO_2 上にグレーティングを形成した後、本研究で導入したスパッタリング装置によりコア層となる TiO_2 層を成膜し、導波路加工を行った。

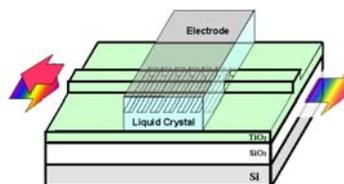


図1 液晶装荷グレーティング導波路

これまで積み上げてきた基礎要素技術を用いて、グレーティング導波路の鋭い波長選択性と強誘電性液晶 (FLC) の大きな屈折率変化を利用した液晶装荷グレーティング導波路を試作した。液晶装荷グレーティング導波路の概要図を図1に示す。試作した素子のコア層には400nm厚の TiO_2 を用いた。導波路幅 $4.0\mu\text{m}$ 、導波路リブ高さ150nm、グレーティング周期 $\Lambda 352.4\text{nm}$ の素子の波長特性(図2)におい

て、約3nmのストップバンド(光信号素子帯域)を得た。さらに、印加電圧の極性変化により、素子の波長特性が0.75nmシフトが得られた。また、波長1530nmの単一波長の光を用いて、素子の出力特性を観測した結果、印加電圧の極性変化により、図3に示すように導波光の出力強度の変化(消光比14dB)が得られた。

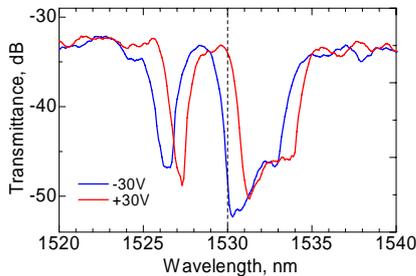


図2 液晶装荷TiO₂グレーティング導波路のスイッチング特性例

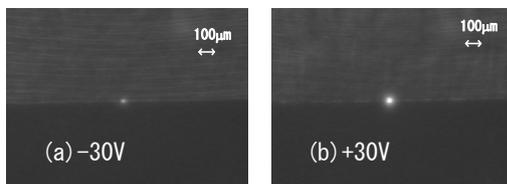


図3 出射光近視野像($\lambda=1530\text{nm}$)

2.2 FLC装荷導波路形Fabry-Perot光共振器

本研究の遂行過程において、FLC装荷Fabry-Perot共振器の着想を得て、素子の試作・動作実証を行った。本素子は、FLC装荷グレーティング導波路と同じく、FLCと光共振器とを組み合わせた構造である。Si光導波路を用いたFLC装荷Fabry-Perot共振器の構造を図4に示す。リブ型光導波路にRIEを用いてFabry-Perot共振器の端面を形成し、その共振器導波路上に直接FLCを装荷した構造である。共振器長は360 μm 、導波路幅3 μm 。図5に測定した共振波長特性を示す。透過光ピーク波長間隔(FSR)は0.86nmであり、 $\pm 15\text{V}$ の印加電圧の極性変化により、共振波長特性が約0.24nmシフトした。また、1547nmの波長では消光比6dBの変化が得られた。

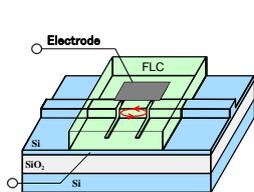


図4 FLC装荷導波路形 Fabry-Perot光共振器

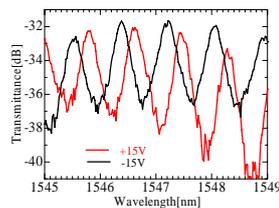


図5 FLC装荷導波路形 Fabry-Perot光共振器のスイッチング特性

2.3 非対称Mach-Zehnder干渉計導波路形光スイッチ

本研究の遂行過程において、図5に示すFLC装荷非対称Mach-Zehnder干渉計(MZI)導波路形光スイッチの着想を得て、素子の試作・動作実証を行った。素子の動作の原理実証のために、導波層としてSiを用いた。スイッチング動作はFLCクラッドアーム部における位相変化によって実現される。光波の受ける実効的な光路差 ΔL が変化し、透過スペクトルがシフトするためスイッチング動作が可能となる。MZI導波路にFLCを装荷した光スイッチを試作し、波長1525-1575nm帯の波長特性を測定した。図6にポート1か

ら光波を入射させたときのポート3での波長特性を示す。約7.3nmの波長チャンネル間隔(FSR)に対し、 $\pm 11\text{V}$ の印加電圧の極性変化により波長特性が約4nmシフトした。これにより、光アド・ドロップ回路へ応用可能なスイッチング動作を得ることができた。なお、印加電圧の極性変化により、1551.2nmの波長では消光比18.2dBが得られた。

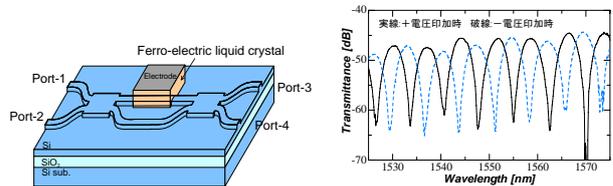
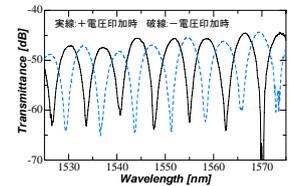


図6 FLC装荷非対称MZI形光スイッチ 図7ポート3での出力特性



3. むすび

これらのスイッチング動作の実証は、FLC装荷導波路では初の報告例である。本研究の成果により、FLCに染み出した導波光のエバネッセント成分が印加電圧の極性によるFLCの屈折率変化の影響を受け、導波路の等価屈折率が変化し、素子特性が制御可能であることが実証された。これにより、光-電気変換を用いない光アド・ドロップ回路への適用可能性が示された。また、FLCの効果増大とそれに伴う素子の小型化の効果を旨し、導波路コア層の材料の検討を行った。コア層としてHfO₂を用いた素子の場合、Siを用いた場合に比べて約14倍、TiO₂を用いた場合に比べて約7倍の効果が得られ、素子のさらなる小型化の可能性も得ている。

【誌上发表リスト】

- [1] K. Nakatsuhara, T. Sasaki, H. Sato, T. Nakagami, "Si-waveguide with ferro-electric liquid crystal cladding for use in optical switching devices", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E90-C, No.5, pp. 1055 - 1060, (2007.05).
- [2] R. Hoshi, K. Nakatsuhara, and T. Nakagami, "Optical switching characteristics in Si-waveguide asymmetric Mach-Zehnder interferometer having a ferro-electric liquid crystal cladding", IEE Electronics Letters, Volume 42, No. 11, pp.635-636, (2006.05).
- [3] K. Nakatsuhara, H. Kubo, T. Nakagami, "Bistable tuning operation of a Si-waveguide Fabry-Perot resonator having a ferro-electric liquid crystal cladding", ECOC 2006(The 32st European Conference on Optical Communications), OWI65, Cannes, France, (2006.09).

【申請特許リスト】

- [1] 中津原克己、中神隆清、佐藤宏樹、佐々木豊和、光スイッチ、日本、2007.3.27. 特願2007-80774.
- [2] 中津原克己、中神隆清、星隆太、光スイッチおよび光スイッチの製造方法、日本、2005.12.26, 特願2005-371514
- [3] 中津原克己、中神隆清、久保博義、光フィルタおよび光フィルタの製造方法、日本、2005.12.26, 特願2005-371515

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.ele.kanagawa-it.ac.jp/~naka2/SCOPE/>