

平成21年 5月15日現在

研究種目： 基盤研究（B）
 研究期間： 2006～2008
 課題番号： 18360172
 研究課題名（和文） 電気光学効果を用いた超高速偏光変調・偏光操作デバイスの研究
 研究課題名（英文） Study on ultra-fast optical polarization modulators/polarization-manipulation devices using electro-optic effects
 研究代表者
 村田 博司（MURATA HIROSHI）
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
 研究者番号：20239528

研究成果の概要：

光の偏光状態の制御は、光通信・計測・分光等さまざまな分野において重要な技術である。高速に偏光状態を制御するためには、2つの偏光成分間の位相整合と、光波と高速変調信号の速度整合とを同時に取らねばならない。本研究では、2偏光成分間の位相整合のための短周期分極反転構造と、光波と変調信号の速度整合のための長周期分極反転構造を組み合わせた二重周期分極反転構造を用いた新しい高速偏光制御デバイスを提案した。試作の結果、15GHz帯における基本動作実験に成功し、その有用性を実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2007年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード： 偏光変調器、電気光学効果、分極反転、光導波路、光集積回路、タンタル酸リチウム

1. 研究開始当初の背景

光波の偏光状態の制御は、光ファイバー通信や光計測、光記録や分光、分析などのさまざまな分野において基本的かつ重要な技術である。ポッケルス効果（1次電気光学効果）を利用すると、非常に高速な（～100GHz）偏光状態制御が可能である。このとき、偏光状態の制御を効率良く行うためには、直交する2偏光モード間の位相整合が重要である。これまでに、楕型電極と光導波路を用いて直交2偏光モード間の擬似位相整合を取るタイ

プのデバイスや、両モード間の位相速度差が小さくなる構成を用いたデバイスなどが報告されている。しかし、やや特殊なデバイス構成を用いるために、高速な偏光変調動作を検討したものはあまりないようである。

一方、次世代の高速大容量光通信技術として、光波における偏光状態を積極的に利用した光伝送方式が検討されている。将来の超光ファイバー通信システムにおいては、偏光状態を高速に自由自在に制御する技術が非常に重要となることが考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者がかねてから研究を進めてきた“強誘電体分極反転構造を用いた電気光学変調技術”を用いて、DCからマイクロ波・ミリ波帯において動作可能な新しい小型高性能偏光変調・偏光操作デバイスを開発することを目的とする。分極反転構造を巧みに利用することにより、2つの偏光成分間の位相整合と高速偏光変調・操作のための速度整合を同時に得ることが可能となる。この技術を利用することで、これまでにない高速偏光変調・偏光操作デバイスを実現できると考えられる。さらに、偏光変調素子を導波型偏光分離素子や通常の変調素子と融合・集積化して、偏光状態の任意制御・操作デバイス、単一変調信号駆動光 DSB-SC 変調器（搬送波除去両側波帯光変調器）、光 SSB-SC 変調器（搬送波除去単一側波帯光変調器）などの特長ある有用な光制御デバイスを得ることも期待できる。このような新しい光制御デバイスの開発に挑戦して、光エレクトロニクス技術、マイクロ波フォトニクス技術の開拓に寄与することを目指す。

3. 研究の方法

(1) 基本偏光変調・操作デバイスの試作

10GHz以上の高速信号で動作する偏光変調・操作デバイスを構成するためには、直交2偏光成分間の位相速度、電気光学結晶の誘電率などの基礎データが不可欠である。これらのデータを得るために、低周波信号で動作する基本偏光・操作デバイスの設計・試作実験を行う。電気光学結晶基板、光導波路作製方法による特性の差異を調べ、高速偏光変調・操作デバイス設計のためのデータを得る。

(2) 高速偏光変調・操作デバイスの試作

基本偏光変調デバイスの試作データを基にして、15GHz級高速偏光変調・操作デバイスの試作・動作実験を行う。試作においては、高速偏光変調された光波群の速度を正確に見積もることが鍵となる。直交2偏光成分間の擬似位相整合と、変調光と進行波変調信号の擬似速度整合を同時に実現するための2重周期分極反転構造を用いる。

(3) 偏光変調を用いた高性能デバイスの考究

導波路型高速偏光変調・操作デバイスと導波路型偏光分離素子を集積させた高速高性能光変調デバイスの構成を考究して、得られる特性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 基本偏光変調・操作デバイスの試作

周期分極反転構造を用いた基本偏光変

調・操作デバイスを提案して、動作解析・設計・試作実験を行った。図1に提案したデバイスの基本構成を示す。まず、直交する2偏光成分間の擬似位相整合を取るための条件を解析により明らかにした。解析の結果、電気光学結晶基板として、タンタル酸リチウムを用いた場合には、通常良く用いられるニオブ酸リチウムを用いた場合に比べて、動作波長範囲を格段に大きく取れることを見出した。（図2）

解析に基づいてプロトタイプ偏光操作デバイスの設計・試作を行った。さらに、タンタル酸リチウムとニッケル拡散光導波路を用いた試作したデバイスの動作実験を行ったところ、ほぼ設計どおりの基本偏光変調特性を確認することに成功した。これは、分極反転構造を用いた偏光変調の世界初の実証実験であると考えられる。

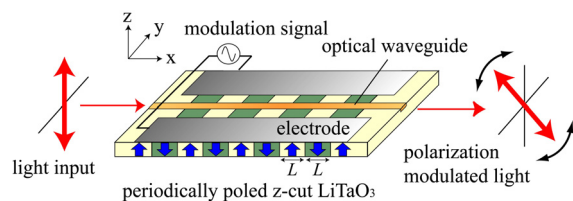


図1 基本偏光変調・操作デバイスの構成

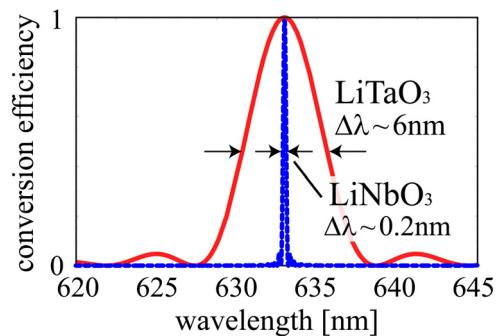


図2 基本偏光変調・操作デバイスの波長特性の解析結果
(z-cut基板・x伝搬、電極長10mm)

(2) 高速偏光変調・操作デバイスの試作

プロトタイプ偏光操作デバイスの試作・実験により得られたデータを基にして、高速偏光変調を行うための2重周期分極反転構造を考究して、15GHz帯高速偏光変調・偏光操作デバイスの動作解析・設計を行った。図3に提案したデバイスの基本構成を示す。周期2Lの分極反転構造（2偏光成分間の擬似位相整合のための構造）と周期2L'の分極反転構造（偏光変調光波群と変調マイクロ波信号との擬似速度整合のための構造）を組み合わせた構造となっている。プロトタイプ偏光操作

デバイスと異なり、高速変調のために進行波形の電極構成を用いている。

設計におけるキーパラメータである高速偏光変調された光波の群速度を求めるために、直交2偏光成分それぞれの群速度から偏光変調光の群速度を求める方法を提案して、デバイスの詳細な解析を行った。この2重周期分極反転構造高速偏光変調器と、高速偏光変調光の群速度解析方法は、どちらも世界で初めてのものであると考えられる。

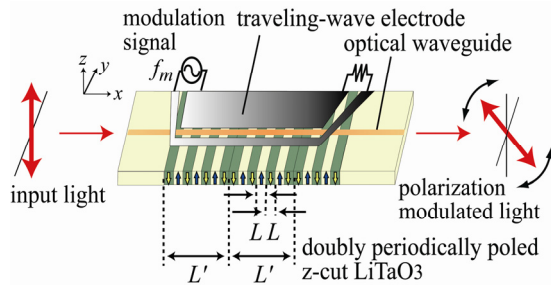


図3 2重周期分極反転構造を用いた高速偏光変調・操作デバイスの基本構成

設計した15GHz帯偏光変調デバイスの試作・実験を行った。タンタル酸リチウム基板上にニッケル拡散導波路と2重周期分極反転構造を形成した後、進行波型変調電極をバッファ層を介して作製した。試作した高速偏光変調デバイスの動作実験を行ったところ、設計周波数15GHz帯での変調動作を確認した。図4に試作変調器から出力された変調光スペクトルの一例を示す。また、図5には変調周波数特性の測定結果を示す。これらの結果は、設計とほぼ一致した。これらの結果も、分極反転高速偏光変調技術に関する世界初の実証データであると考えられる。



図4 変調光スペクトルの一例 (変調信号周波数15GHz)

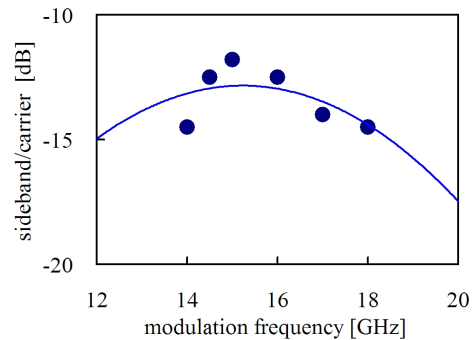


図5 変調周波数特性

(3) 偏光変調を用いた高機能デバイス

高速偏光変調デバイスを導波路Y分岐型の偏光分離素子と組み合わせて用いることにより、単一変調信号駆動光 SC-DSB 変調器 (搬送波除去両側波帯光変調器) を実現できること明らかにして、その特性を求めた。(図6) また、高速偏光変調デバイスを Mach-Zehnder 型干涉計導波路と導波路X分岐素子を用いて構成することにより、単一変調信号駆動光 SC-SSB 変調器 (搬送波除去単一側波帯光変調器) を実現できることも示し、その特性を求めた。

これらの高機能デバイスを実現するために不可欠である導波路型偏光分離素子の設計・試作実験を行い、高い偏光分離比を得るための条件を明らかにした。

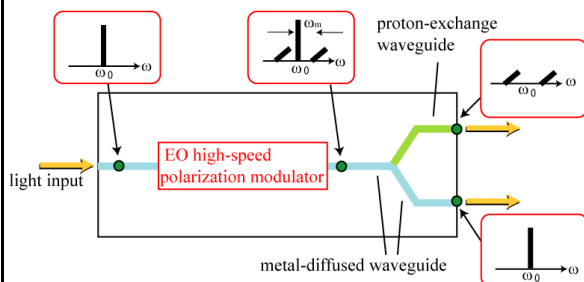


図6 高速偏光変調と導波路Y分岐型偏光分離素子を用いた光 SC-DSB 変調器

以上、3年間の研究により、分極反転技術を用いた新しい高速偏光変調技術の可能性を明らかにすることに成功した。

今後は、提案した光 SC-DSB 変調器および光 SC-SSB 変調器の開発を進めることが重要である。長距離光ファイバー通信分野をはじめ、マイクロ波・ミリ波フォトニクス分野における応用が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- ① H. Murata, A. Takahashi, and Y. Okamura, "High-speed LiTaO₃ optical polarization modulator using travelling-wave electrode and double periodic poling structure," *IEICE Transaction on electronics*, vol.E92-C, no.2, pp.212-216, 2009. 査読有
- ② H. Murata, and Y. Okamura, "Fabrication of proton-exchange waveguide using stoichiometric LiTaO₃ for guided-wave electro-optic modulators with polarization-reversed structure," *Advances in OptoElectronics*, vol.2008, Article ID 654280, pp.1-4, 2008. 査読有
- ③ H. Murata, and Y. Okamura, "Detection of an optical signal using difference frequency generation in a periodically poled LiTaO₃ microwave waveguide," *Advances in OptoElectronics*, vol.2008, Article ID 587091, pp.1-6, 2008. 査読有
- ④ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, "Electrooptic modulators with controlled frequency responses by using non-periodically polarization-reversed structure," *Advances in OptoElectronics*, vol.2008, Article ID 948294, pp.1-8, 2008. 査読有
- ⑤ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, "Traveling-wave electrooptic modulators with arbitrary frequency response utilizing non-periodic polarization reversal," *Electron. Lett.*, vol.43, no.24, pp.1379-1381, 2007. 査読有
- ⑥ A. Enokihara, H. Yajima, H. Murata, and Y. Okamura, "Guided-wave EO intensity modulator using coupled microstrip line electrode of higher-order harmonic resonance combined with polarization-reversed structure," *IEICE Transaction on electronics*, vol.E90-C, no.5, pp.1096-1104, 2007. 査読有
- ⑦ S. Matsunaga, H. Murata, and Y. Okamura, "Optical pulse generation using guided-wave electrooptic modulator with resonant electrodes and polarization reversal," *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, vol.24, no.9, pp.3334-3340, 2006. 査読有
- ⑧ H. Murata, and Y. Okamura, "Electro-optic single-sideband modulator with resonant electrodes and polarization-reversed structures," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.45, pp.6643-6647, 2006. 査読有
- ⑨ H. Murata, and Y. Okamura, "Electrooptic modulator with polarization reversal and its application," (invited talk) The 19th annual meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS2006), TuU3, October 31, 2006, Montreal, Canada.
- ⑩ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, "Proposal for optical FSK modulator utilizing polarization-reversed structure," The 1st international conference on communications and electronics (HUT-ICCE2006), 93, pp.494-496, October 11, 2006, Hanoi, Vietnam.
- ⑪ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, "Novel duobinary modulator utilizing non-periodically polarization-reversed structure," 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会, no.3, 28a-ZG-6, p.1223, 日本大学, 船橋市 2008 年 3 月 28 日.
- ⑫ 村田博司, 高橋明日香, 井上剛, 岡村康行, "二重周期分極反転 LiTaO₃ を用いた高速電気光学偏光変調器", 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol.107, OPE2007-168, pp.129-133, 大阪電気通信大学, 寝屋川市, 2008 年 1 月 29 日.
- ⑬ N. T. T. Huong, 村田博司, 岡村康行, "高性能電気光学変調器のための対称構造共振型電極の解析", OPJ2007, P46, pp.298-299, 大阪大学, 吹田市 2007 年 11 月 26 日.
- ⑭ H. Murata, A. Takahashi and Y. Okamura, "High-speed electro-optic polarization modulator using a double periodic poling structure," The 13th Microoptics Conference (MOC '07), C5, pp.58-59, October 29, 2007, Takamatsu, Kagawa, Japan.
- ⑮ 村田博司, 高橋明日香, 岡村康行, "二重周期分極反転構造を用いた進行波型電極高速電気光学偏光変調器", 2007 年秋季第 68 回応用物理学学会学術講演会, no.3, 4a-P1-26, p.1187, 北海道工業大学, 札幌市 2007 年 9 月 4 日.
- ⑯ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, "Enlargement of frequency deviation range in optical FSK modulator with polarization reversal," 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, no.3, 29a-ZS-8, p.1254, 青山学院大学, 相模原市, 2007 年 3 月 29 日.
- ⑰ A. Takahashi, H. Murata, and Y. Okamura, "New electro-optic polarization modulators utilizing periodically poled structure," The 10th international symposium on contemporary photonics technology (CPT2007), LM-8, January 11, 2007, Tokyo, Japan.

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 村田博司, 岡村康行, "分極反転構造を用いた高性能光変調器", 2009 年春季第 56 回応用物理学関係連合講演会シンポジウ

- ⑪ H. Murata, M. Anjiki, and Y. Okamura, “Optical suppressed-carrier single side-band modulator/optical frequency shifter utilizing three-branch waveguide interferometer and polarization-reversed structure,” The 36th European Microwave Conference 2006 (EuMC2006), EuMC33-1, September 13, 2006, Manchester, UK.
- ⑫ 高橋明日香, 村田博司, 岡村康行, “分極反転構造を用いた電気光学偏光変調器,” 2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会, no.3, 31a-ZX-7, p.1088, 立命館大学, 草津市, 2006年8月31日.
- ⑬ H. V. Pham, H. Murata, and Y. Okamura, “Novel optical FSK modulator utilizing polarization-reversed structure,” 2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会講演予稿集, no.3, 31a-ZX-6, p.1088, 立命館大学, 草津市, 2006年8月31日.
- ⑭ 村田博司, 岡村康行, “分極反転構造光変調が拓く新領域” (招待講演), 電子情報通信学会 OCS 第2種研究会, 東レ研修センター, 三島市 2006年6月15日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 博司 (HIROSHI MURATA)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：20239528

(2) 研究分担者

塩見 英久 (SHIOMI HIDEHISA)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号：00324822