

機関番号：32660
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20760247
 研究課題名（和文） 分極反転周期変化ニオブ酸リチウムの高次非線形効果を用いた全光超高速広帯域信号処理
 研究課題名（英文） Ultra-fast and ultra-wideband all-optical signal processing using higher order nonlinear effect in periodically poled lithium niobate devices
 研究代表者
 福地 裕 (FUKUCHI YUTAKA)
 東京理科大学・工学部・准教授
 研究者番号：70366433

研究成果の概要（和文）：本研究では、理論と実験の両面から、分極反転周期変化ニオブ酸リチウムデバイスの高次非線形光学効果を用いた超高速かつ超広帯域の様々な全光信号処理の実現可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：In this research, a possibility of ultra-fast and ultra-wideband operation of all-optical signal processing employing higher order nonlinear effect in periodically poled lithium niobate devices has been shown.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：光通信工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：フォトニックネットワーク，超高速情報処理，先端機能デバイス，非線形光学，光スイッチ，光波長変換，擬似位相整合，ニオブ酸リチウム

1. 研究開始当初の背景

インターネットの急速な拡大に伴い、本格的なIT(information technology)時代が到来した。インターネット利用者は爆発的に増加し、光ファイバ伝送技術を用いたブロードバンドアクセスネットワークも近年急速に普及している。また、インターネットで実現される情報空間の巨大性、瞬時性、同時性、経済性などは、これまでの物質に基づいた我々の価値観に、新たなあり方をもたらしている。このように、多様化し発展し続けるIT社会を継続して支えていくには、そのバックボーンを形成するフォトニックネットワークに、近い将来サブペタビット毎秒(Pbit/s)級の超大容量性が要求され、用いる光パルスの幅

もピコ秒からサブピコ秒の領域に達すると考えられる。

超大容量のフォトニックネットワークを構築するには、光領域における時分割多重(OTDM)や高密度波長分割多重(DWDM)、光符号分割多重(OCDM)などの様々な多重化技術を駆使する必要がある。現在、最も単純な点と点を繋ぐ通信に関しては、実験室レベルで10テラビット毎秒(Tbit/s)以上の超大容量伝送実験が報告されている。この実験では、搬送波周波数約200テラヘルツを用いて10Tbit/s以上の伝送を行っており、光の持つ超高周波性が通信の大容量化に結びつき始めていると考えられる。また実用レベルにおいても、1Tbit/s級の光通信システムが実現

されている。

一方、ネットワーク上のノードにおいては、経路制御などの様々な信号処理が必要である。現在、ノード信号処理は、全ての光信号を電気信号に変換し、電気段で電子回路を用いて行われている。このため、既存のネットワークは、この電子回路によって律速されているのが現状である。電子回路の動作速度は、本質的には回路の容量と半導体中のキャリアの移動度により制限される。これら2つの制限要因と装置規模や製造コストの面から考えると、半導体電子デバイスを用いた現在の電子回路技術では、100 ギガビット毎秒 (Gbit/s) を超える超高速動作は実現困難と考えられる。

信号処理速度 100Gbit/s 以上を達成するには、超高速の非線形光学効果を用いた、電気を介することのない全光学的な信号処理が有効である。これまでに、光ファイバや半導体光増幅器における三次非線形光学効果を用いた全光ゲートスイッチや、全光再生 (3R: reamplification, reshaping, retiming) 中継器、全光波長変換器、全光時分割アドドロップマルチプレクサなどの様々な全光信号処理デバイスが提案されており、160Gbit/s 以上の超高速動作が実証されているものも少なくない。しかしながらこれらの非線形光学デバイスは、動作安定性や雑音特性、効率などの改善すべき多くの問題を抱えており、実用レベルの段階には至っていない。

これらに対して近年、擬似位相整合ニオブ酸リチウム (QPM-LN) 光導波路における第二高調波発生と差周波混合の縦続二次非線形光学効果を用いると、実効的に大きな三次非線形性が得られることが報告された。QPM-LN 光導波路は、大きな非線形性により数センチメートル長で十分な効率を引き出し、極めて高速に動作する。さらに、LN 結晶の分極反転周期を調節することにより、位相整合波長を任意に制御できるという大きな利点を持つ。しかしながら、これまでの研究では主に所望の1つのQPM波長を有するよう分極反転周期が固定されたQPM-LNを対象としていた。もし分極反転周期を長さ方向に連続的または離散的に変化できれば、分布定数的にQPM波長を変化させることが可能となり、応用の自由度が格段に増す。これまでに、周期チャープ化QPM-LNを用いて、中心波長1560nmでパルス幅17psの基本波チャープパルスの各波長成分を、結晶中の各位置で基本波より群速度の遅い第二高調波に変換させることにより、見かけ上QPM帯域を広げ、パルス幅110fsでトランスフォームリミットに近い第二高調波パルスの生成に成功した例が報告されている。現時点では、このような分極反転周期を変化させたQPM-LNを対象とした萌芽的研究はいくつか報告されているが、分極反転

周期の自在な設計を活かした全光信号処理の高機能化や多機能化の可能性については十分検討されていない。特に、複数のQPM波長を有することにより誘起される高次非線形光学効果の有用性については明らかになっていない。

2. 研究の目的

以上より本研究の全体構想は、将来の真に高速大容量かつ柔軟なフォトニックネットワークの構築を目指して、そのボトルネックとなる電子回路の速度限界を打破することである。具体的目的は、これまでの研究経緯や申請者の研究実績などを踏まえて、QPM-LN光導波路の分極反転周期を変化させ、分布定数的に複数のQPM波長を持たせることにより誘起される高次非線形光学効果を用いた光信号処理の高機能性と多機能性に着目し、理論と実験の両面から、Tbit/s級の様々な全光超高速・超広帯域信号処理デバイスを提案することである。

3. 研究の方法

(1) 高速の並列計算機および申請者の所属研究機関で所有する大型計算機を駆使した数値解析を行う。具体的には、異常光導波型および常光・異常光両導波型の分極反転周期変化QPM-LN光導波路の高次非線形光学効果を用いた、Tbit/s級の全光超高速再生中継器や全光超広帯域波長変換器などの様々な全光超高速・超広帯域信号処理デバイスについての詳細な特性解析を行う。

(2) 数値解析結果を踏まえて、異常光導波型および常光・異常光両導波型の分極反転周期変化QPM-LN光導波路における高次非線形光学効果を用いた全光信号処理の、超高速・超広帯域性や、高機能性、多機能性などを実証する。

(3) 本研究の問題点とその改善法を検討し、研究をさらに発展させる。これらの内容を踏まえて、異常光導波型および常光・異常光両導波型QPM-LN光導波路を用いて実現された全光超高速・超広帯域ノード信号処理デバイスをベースとして、真に高速大容量かつ柔軟な次世代フォトニックネットワークの構築を目指す。

4. 研究成果

(1) 異常光導波型および常光・異常光両導波型の分極反転周期変化QPM-LN光導波路の高次非線形光学効果を用いた全光超高速再生中継器、および各種全光超広帯域波長変換器についての詳細な特性解析を行った。これにより、分極反転周期の自在な設計を活かした高次非線形光学効果による全光信号処理の

超高速性、超広帯域性、高機能性、多機能性などが示された。

(2) 各種光学実験やシステム実験を行うには、光通信波長帯全域の波長可変レンジをもち、さらにパルス幅や繰返し周波数も自在に制御できる高機能パルス光源が必須である。そこで、ビスマス系エルビウム添加ファイバおよびビスマス系高非線形ファイバを用いた広帯域波長可変、広レンジパルス幅可変、繰返し周波数可変の全く新しい短共振器型高安定高調波・有理高調波モード同期ファイバリングレーザを作製し、光通信用光源としての有効性も実証した。これは申請者の知る限り世界唯一の画期的高性能パルス光源である。現在は、本レーザのさらなる高安定化、波長可変レンジの拡大、短パルス化、高繰返し周波数化、低消費電力化などに着手している。

(3) 異常光導波型および常光・異常光両導波型の分極反転周期変化 QPM-LN 光導波路の高次非線形光学効果を用いた全光超高速再生中継器や、2波長ポンプ型全光超広帯域波長変換器、ポンプフリー型全光超広帯域波長変換器などの実現可能性を示した。

(4) QPM-LN ベース光信号処理デバイスを用いた真に高速大容量の新世代高度フォトニックネットワークの構築を目指して、本研究の問題点とその改善法を検討し、研究をさらに発展させた。この結果、デバイス研究から大規模システム研究への技術的波及効果が得られた。本ネットワークノードに必須となる全ての超高速・超広帯域信号処理デバイスを、同種の素子を用いて実現することにより低コスト化と同時に高性能化を図る試みは、国内外の他の研究開発機関ではなされておらず、極めて独創的で学術的重要性も高いと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Joji Maeda, Kazutoyo Kusama, and Yutaka Fukuchi, “Mitigation of signal fading in radio over fiber transmission using fiber nonlinearity,” *Optics Express*, vol. 17, no. 6, pp. 4518-4525, March 2009. (査読有)

[学会発表] (計 27 件)

- ① Yutaka Fukuchi and Shun Tasaki, “All-optical decision gate circuit employing cascaded quasi-phase matched lithium niobate device,” *Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP 2010)*, Paper P-28, pp. 174-175, Shanghai, China, December 9, 2010. (査読有)
- ② Yutaka Fukuchi and Shun Tasaki, “Characteristics of all-optical ultra-fast 3R circuit using cascaded second-order nonlinear effect in periodically poled lithium niobate waveguide,” *OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2010)*, Paper 7P-60, pp. 376-377, Sapporo, Japan, July 7, 2010. (査読有)
- ③ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Stable and wavelength-tunable high-speed short pulse generation from a rational harmonic mode-locked short-cavity fiber laser using a bismuth-based erbium-doped fiber and a bismuth-based nonlinear fiber,” *The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2010) and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS 2010)*, Paper JTuD41, San Jose, California, USA, May 18, 2010. (査読有)
- ④ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Widely wavelength-tunable and pulsewidth-variable harmonically mode-locked short-cavity fiber ring laser using a bismuth-oxide-based highly nonlinear erbium-doped fiber,” *European Conference and*

Exhibition on Optical Communication (ECOC 2009), Paper P1.07, Vienna, Austria, September 23, 2009. (査読有)

- ⑤ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Wavelength and pulsewidth-tunable actively mode-locked fiber ring laser using a short length bismuth-based highly nonlinear erbium-doped fiber,” *Nonlinear Optics (NLO 2009)*, Paper JTUB15, Honolulu, Hawaii, USA, July 14, 2009. (査読有)
- ⑥ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Ultra-stable and ultra-wideband wavelength-tunable actively mode-locked short-cavity fiber ring laser using a bismuth-based highly nonlinear erbium-doped fiber,” *The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2009) and the International Quantum Electronics Conference (IQEC 2009)*, Paper JThE68, Baltimore, Maryland, USA, June 4, 2009. (査読有)
- ⑦ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Stable and ultra-wideband wavelength-tunable harmonically mode-locked short-cavity fiber ring laser using a bismuth-oxide-based highly nonlinear erbium-doped fiber,” *The Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC 2009) and the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC 2009)*, Paper JThA9, San Diego, California, USA, March 26, 2009. (査読有)
- ⑧ Yutaka Fukuchi, Masahiro Matsukawa, and Joji Maeda, “Stable and

ultra-wideband wavelength-tunable actively mode-locked fiber ring laser using a short length bismuth-oxide-based highly nonlinear erbium-doped fiber,” *European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2008)*, Paper Tu.1.B.3, vol. 2, pp. 9-10, Brussels, Belgium, September 23, 2008. (査読有)

- ⑨ Yutaka Fukuchi and Joji Maeda, “Ultra-wideband wavelength-tunable actively and harmonically mode-locked fiber ring laser using a bismuth-oxide-based erbium-doped fiber and a bismuth-oxide-based highly nonlinear fiber,” *The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2008) and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS 2008)*, Paper JTUA72, San Jose, California, USA, May 6, 2008. (査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福地 裕 (FUKUCHI YUTAKA)
東京理科大学・工学部・准教授
研究者番号：70366433

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：