

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：53701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860068

研究課題名(和文) 複屈折光ファイバーにおけるパルス捕捉現象を用いた非線形光ループミラーの開発

研究課題名(英文) Development of nonlinear optical loop mirror using pulse trapping phenomenon

研究代表者

白木 英二 (Shiraki, Eiji)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・助教

研究者番号：70633147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光ファイバー中の非線形光学現象であるパルス捕捉現象を用いた非線形光ループミラー(NOLM)の開発を行った。NOLMを偏波保持ファイバーデバイスを用いて作成した。実験において、開発したNOLMを用いることにより全光型のスイッチング動作が得られることを実証した。また、実験と数値解析によりNOLMの入出力特性の解析を行った。今回開発したパルス捕捉現象によるNOLMは超高速な全光型の光制御技術に有用である。

研究成果の概要(英文)：The nonlinear optical loop mirror (NOLM) using a nonlinear fiber phenomenon of pulse trapping has been suggested. The NOLM consists of polarization maintaining fiber devices. In the experiment, all-optical switching using the NOLM has been demonstrated. Additionally, the input-output characteristics have been analyzed both experimentally and numerically. The NOLM using the pulse trapping phenomenon is useful for the ultrafast all-optical control technique.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用光学・量子光工学

キーワード：光スイッチ 超短パルス光 光ファイバー

1. 研究開始当初の背景

(1) 光量子エレクトロニクス分野で先端の領域である、非線形光学現象の研究は、近年の超短パルスレーザーや光ファイバー技術などの発展に伴い、急速に進展してきた。特に、非線形光ループミラー(以下、NOLM)は、高機能な全光制御技術に有用である。NOLMはサニャック干渉計に基づいている。ループ内を時計回りに伝播する信号光に対して制御光により非線形位相変調を行うことで、出力強度を制御することができる。

(2) 2002年に、パルス捕捉現象という、新しい光ファイバー中の非線形光学現象を見出された。パルス捕捉現象では、2つの超短パルス光は非線形光学効果を介して互いに捕まえ合い、同じ群速度・時間的に重なって共に伝播する。

(3) 本研究では、NOLM内でこのパルス捕捉現象を誘起することを新しく提案する。これにより、超短パルス光を制御光により制御する、超高速・高機能な光制御技術を実現する。なお、これまでNOLMにおいてパルス捕捉現象が利用された報告例はない。

2. 研究の目的

次世代の超高速な光通信分野で有用となる、THz級の超高速な全光型の光スイッチを開発することを目的とする。具体的には、パルス捕捉現象を用いた非線形光ループミラーの開発を行う。これまでの非線形光ループミラーにおいては、光ファイバー中での信号光と制御光の間の群速度差がデバイスの動作速度の低下を招いていた。本研究においては、複屈折光ファイバーにおけるパルス捕捉現象という、新しい非線形光学現象を用いることによって、群速度差のない非線形光ループミラーを新しく提案する。実際にデバイスを作成し、超短パルス光に対するスイッチング動作の実証及び解析を行う。また、数値解析によるデバイスの基礎特性の解析を行う。

3. 研究の方法

(1) 提案するパルス捕捉によるNOLMの概略図を図1に示す。NOLMは、すべて偏波保持型のファイバーデバイスで構成した。偏波保

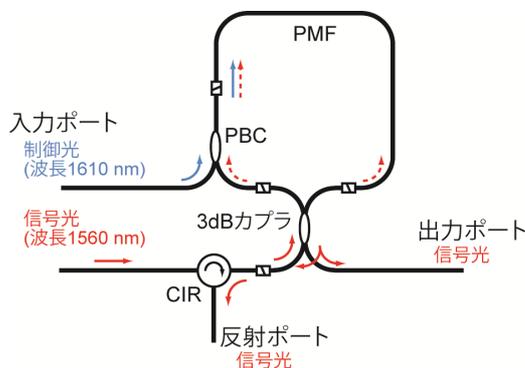


図1 パルス捕捉によるNOLMの概略図 (PMF: 偏波保持光ファイバー、PBC: 偏波合成カプラ、CIR: 光サーキュレータ)

持光ファイバー及び偏波保持型 3dB カプラ、偏波合波カプラ(PBC)をコネクタ接続した。信号光の入力ポートには反射光を除去するためにサーキュレータ(CIR)を設置した。

信号光が制御光により制御される原理は以下のものである。入射された信号光は、3dBカプラで分岐されて、ファイバーループを反時計回りおよび時計回りに伝播する。制御光は、時計回りの信号光と時間的に重なるようにPBCを用いて入射する。反時計回りに伝播する信号光は、光ファイバーの波長分散の効果のみを受ける。一方、時計回りに伝播する信号光は、波長分散の効果に加えて制御光による非線形位相変調も受ける。このとき、時計回りに伝播する信号光は、制御光に捕捉されて制御光と同じ群速度・時間的に重なって伝播するため、大きな非線形位相変調の効果を受けることになる。時計回り・反時計回りの信号光はファイバーループを伝播したのち3dBカプラにおいて干渉するが、2パルス光の間に位相変化量の差が生じた場合にNOLMの出力ポートから信号光が出力される。

(2) まず数値解析により、パルス捕捉現象によるNOLMの動作の解析とデバイスの設計を行った。数値解析は、連立非線形シュレディンガー方程式をスプリットステップフーリエ法により解析した。

(3) 次に、数値解析結果をもとに提案するNOLMを実際に作成し、その動作を実証した。

測定用の光源として2波長2パルスを出力する波長可変超短パルス光源を作成した。制御光と信号光を各入力ポートからNOLMへ入射した。入射する制御光と信号光は、NOLM中で群速度整合条件を満たすように、それぞれ長波長(1610 nm)と短波長(1560 nm)に波長を設定し、偏光方向をPMF高速軸と低速軸に合わせた。出力端において、PBSを用いて制御光を除去し、信号光の光強度と光スペクトルを測定した。

(4) 実験と数値解析により入出力特性を解析した。入力制御光や信号光の強度、ファイバーループ長を変化させて出力強度やスペクトルを測定した。

4. 研究成果

(1) まず、数値解析により提案するデバイスの動作を解析した。入力信号光には時間幅 300 fs, 1THz のパルス列を用いた。入力制御光には時間幅 300 fs, エネルギー 300 pJ を使用し、中央の信号パルス光と時間的に重ねた。NOLMのファイバーループ長を 5 m とした。NOLMの入力と出力での信号光の時間波形を図2に示す。出力においては、1 THz の信号パルス列から制御光を重ねた中央のパルスのみが抜き出せている。このとき、入出力効率は 60% であった。また、出力信号光の時間幅は 360 fs であった。これらのことより、提案するパルス捕捉によるNOLMを用いて、1THzの超高速なスイッチングを行うことができる。

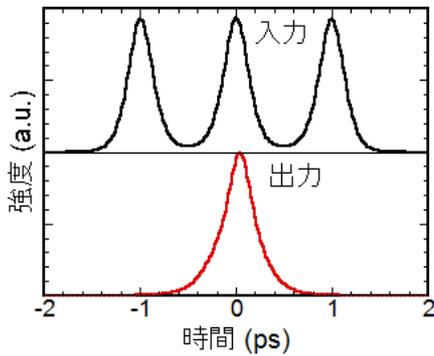


図2 信号光の入出力時間波形(数値解析)

(2)次に実験により、開発した NOLM のスイッチング動作を実証した。ファイバーループ長 L は 19 m とした。入力する制御光と信号光が時間的に重なったとき、出力ポートにおいて信号光出力が得られた。図3に入力信号光と出力信号光のスペクトルを示す。入力信号光のうち 1560 nm 付近のスペクトル成分のみが出力され、残りは除去された。これは、制御光が時間的に重なった信号光成分のみを位相変調するためである。入力信号光は波長可変用 PMF 内での波長分散により 20 ps まで広がり、チャープしている。このチャープした信号光のうち 1560 nm の成分と制御光が NOLM 内で時間的に重なったと考えられる。つまり、制御光により時間的に重なった信号光成分のみをスイッチングできており、パルス捕捉による NOLM の動作を実証したといえる。

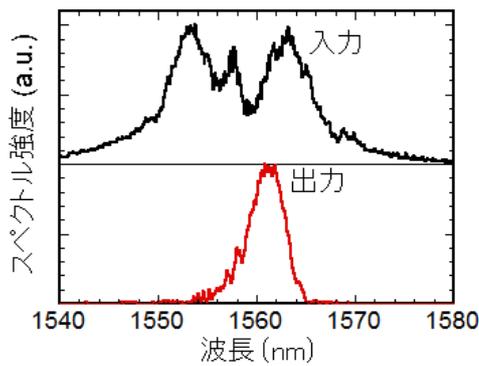


図3 入力信号と出力信号のスペクトル

(3)実験と数値解析により入出力特性を解析した。入力制御光エネルギーを変化させたときの出力信号光のエネルギーの特性を図4に示す。実験において、制御光エネルギー 150 pJ と信号光エネルギー 18 pJ を入力したとき最大で、0.24 pJ の信号光出力を得た。入出力効率 は 1.2% と低くなっている。これは前述したように、入力信号光が時間幅 20 ps と広がっており、その一部を 220 fs の制御光によって捕捉したためである。出力特性においては、制御光のエネルギーを大きくするにつれ、出力信号光のエネルギーは大きくなった。これ

は、制御光の相互位相変調により信号光の位相がシフトされたためである。実験で得られた出力特性は、数値解析の結果と良く一致している。数値解析において、さらに制御光のエネルギーを増加すると位相がさらに回転するため、干渉出力は振動的になる。

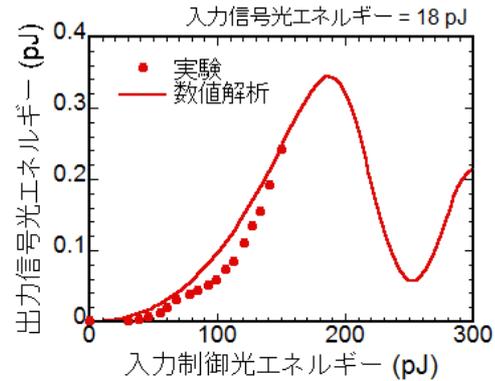


図4 出力信号光エネルギーの入力制御光エネルギー依存性

ファイバーループ長を変化させて、出力信号光エネルギーを測定した結果を図5に示す。ファイバーループ長を長くしていくと、出力信号光のエネルギーも増えていく。非線形光学効果における位相変調は、強度だけでなく長さにも関係するためである。ここでは、信号光は、制御光によって捕捉されるため、制御光による相互位相変調をファイバーループの伝播の間中受け続けることになる。制御光の強度や長さを適切に設定することにより、より大きな信号光出力を得られと考えられる。

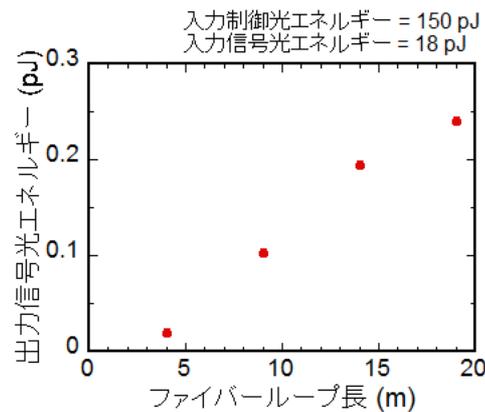


図5 出力信号光エネルギーのファイバーループ長依存性

本研究で提案する NOLM では、19 m という非常に短い一般的な複屈折ファイバを用いて、超短パルス光により信号光のうち数百 fs の範囲の成分のみをスイッチング可能である。したがって、今回提案するパルス捕捉現象による NOLM を用いることにより、短尺で超高速な全光型の光制御技術が実現できると期待される。

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)

〔学会発表〕(計 3件)

白木英二、西澤典彦、パルス捕捉現象による非線形光ループミラーを用いた全光スイッチ、Optics & Photonics Japan 2013, 2013年11月12日、奈良県新公会堂

相磯直志、白木英二、西澤典彦、パルス捕捉現象による非線形光ループミラーを用いた全光スイッチの開発、電気関係学会東海支部連合大会、2013年9月24日、静岡大学

白木英二、西澤典彦、複屈折光ファイバーにおけるパルス捕捉現象を用いた非線形光ループミラーの解析、Optics & Photonics Japan 2012, 2012年10月23日、タワーホール船堀

6．研究組織

(1)研究代表者

白木 英二 (SHIRAKI Eiji)
岐阜高専・電気情報工学科・助教
研究者番号：70633147