

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：53701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26790060

研究課題名(和文)パルス捕捉現象による非線形光ループミラーを用いた光サンプリング技術の開発

研究課題名(英文)Development of optical sampling technique by 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) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非線形光ループミラー(NOLM)を用いた光サンプリング技術の開発を行った。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NOLM中で誘起することにより、時間幅の広いパルス光からフェムト秒領域の光を抜き出す、光サンプリング技術を実現した。NOLMを偏波保持ファイバーデバイスを用いて作成し、実験と数値解析により光サンプリングデバイスの入出力特性の解析を行った。開発したNOLMを用いることにより3.6psの信号光の波形の再構築に成功した。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といえる。

研究成果の概要(英文)：An optical sampling technique using the nonlinear optical loop mirror (NOLM) has been suggested. By inducing a nonlinear fiber phenomenon of pulse trapping in the NOLM, a femto-second pulse is extracted from an input pico-second pulse. In the experiment, the NOLM consists of polarization maintaining fiber devices. The input-output characteristics have been analyzed both experimentally and numerically. A 3.6 ps pulse waveform was reconstructed by using the optical sampling technique. The NOLM using the pulse trapping phenomenon is useful for the ultrafast all-optical control technique.

研究分野：工学

キーワード：超短パルス 光ファイバー 光スイッチ

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が見出された。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) 2013年にNOLM内でこのパルス捕捉現象を誘起することにより超短パルス光を超短パルス光により制御する、全光スイッチング技術が実現された。これにより、十数mという非常に短いファイバーループでの動作が可能となった。

(4) 本研究では、パルス捕捉現象によるNOLMを用いた全光サンプリング技術を新しく提案する。時間幅の広いパルス光からフェムト秒領域の光を超短パルス光により抜き出すファイバー型のデバイスを実現することができる。

2. 研究の目的

次世代の超高速な光通信や光計測分野で有用となる、全ファイバー型で超高速な全光型の光サンプリング技術を開発することを目的とする。具体的には、パルス捕捉現象によるNOLMを用いた光サンプリング技術の開発を行う。研究代表者らは2013年に、パルス捕捉現象という非線形光学現象を用いた非線形光ループミラーを新しく提案し、その開発に成功した。ここでは、超短パルス光により超短パルス光のスイッチングを実現した。本研究では、このパルス捕捉現象による非線形光ループミラーを用いた、時間幅の広いパルス光からフェムト秒領域の光を抜き出す、超高速な光サンプリング技術の開発を行う。実験と数値解析より、広いパルス光と超短パルス光を用いたサンプリング動作の実証及び解析を行う。

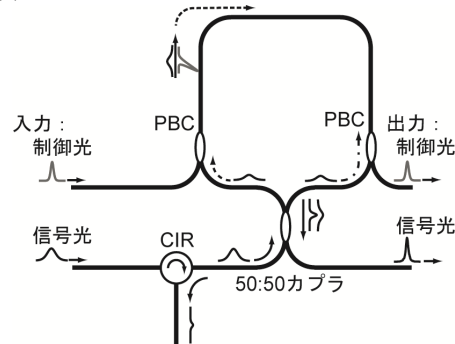
3. 研究の方法

(1) 提案するパルス捕捉によるNOLMを用いた光サンプリングの概略図を図1に示す。図1(a)に示すように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。信号光の入力ポートの前端にミラーによる遅延線を設置した。

信号光が制御光によりサンプリングされる原理は以下のようである。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。特に、信号光が制御光より広いパルスの場合、信号光のうち制御光と時間的に重なった成分に対して位相変調が誘起される。そのため、その成分のみを抜き出すことができる。

(a) パルス捕捉によるNOLM



(b) 波長可変・超短パルス光源

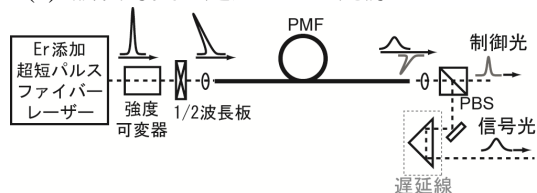


図1 パルス捕捉によるNOLMを用いた光サンプリングの概略図

(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、PBS: 偏光ビームスプリッター)

(2) まず数値解析により、パルス捕捉現象によるNOLMを用いた光サンプリング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光サンプリングデバイスを実際に作成し、その動作を実証した。

図1(b)に波長可変・超短パルス光源を示す。測定用の光源として、2波長・2超短パルス光を出力する光源を構築した。超短パルスレーザー光源(中心波長 1556 nm)から出力され

る超短パルス光を波長可変用の偏波保持光ファイバー(PMF, 50 m)に入射した。このPMFへの入力強度や偏光方向を調整して、制御光の中心波長を長波長(1610 nm)に設定した。波長変換されなかった1556 nmの成分を信号光とした。この波長関係はNOLM中で群速度整合条件を満たす。生成された制御光と信号光を偏光ビームスプリッタ(PBS)によって分波した。二つの光のタイミングを遅延線により調整した。その後、各入力ポートからNOLMへ入射した。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、信号光の光強度と光スペクトルを測定した。

また、サンプリング計測の自動化を行った。ここでは、遅延線(ステージに固定したミラー)と測定器をコンピュータプログラムによって制御した。

(4)実験により入出力特性を解析した。入力制御光と信号光に時間差を与えて、光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サンプリング動作を解析した。入力信号光には時間幅7.5 ps、中心波長1556 nm、パルスエネルギー0.1 pJを用いた。入力制御光には時間幅220 fs、中心波長1606 nm、エネルギー140 pJを使用した。NOLMのファイバーループ長を10 mとした。

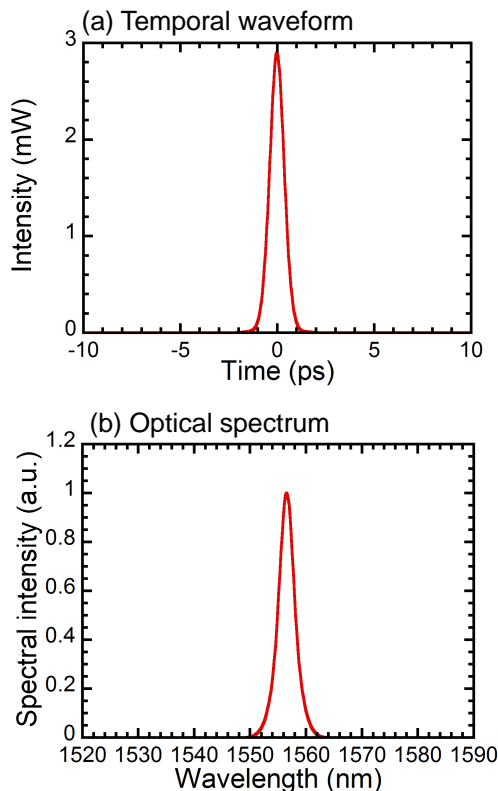


図2 出力信号光(数値解析)

信号光と制御光の時間差を0としたときの出力信号光の時間波形を図2(a)に示す。時間幅950 fsの単峰な超短パルスが得られた。出力信号光の光スペクトルを図2(b)に示す。中

心波長1556 nmの単峰な光スペクトルが得られた。この中心波長は入力した信号光と同じ波長帯に得られた。

次に信号光と制御光の時間差を変化させて、出力信号光の強度を測定した。この結果から時間差ごとに強度を並べて波形の再構築を行った。再構築波形と入力信号光の時間波形を図3に示す。入力信号光の時間波形と再構築波形はよく一致している。これらのことより、パルス捕捉によるNOLMを用いて、広いパルスから超短パルス領域を抜き出す、光サンプリングを行うことができる。

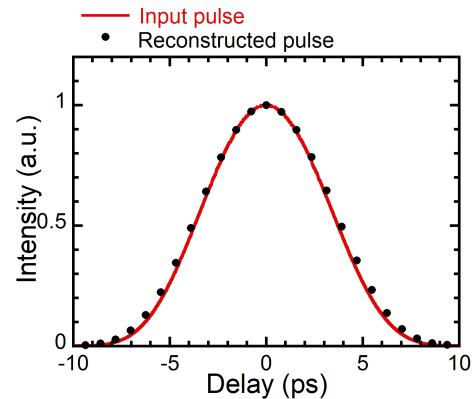


図3 入力信号光と再構築波形(数値解析)

(2)次に実験により、開発したNOLMのサンプリング動作を実証した。ファイバーループ長Lは14 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。入力信号光と出力信号光の光スペクトルを図4に示す。図4(a)の入力信号光と図4(b)の出力信号光を比較すると、入力のうち一部の波長成分のみが出力され、その他は除去された。制御光と時間的に重なった成分が抜き出されたと考えられる。次に、出力信号光の光スペクトルから強度を測定した。時間差を与えると出力強度に変化が見られた。

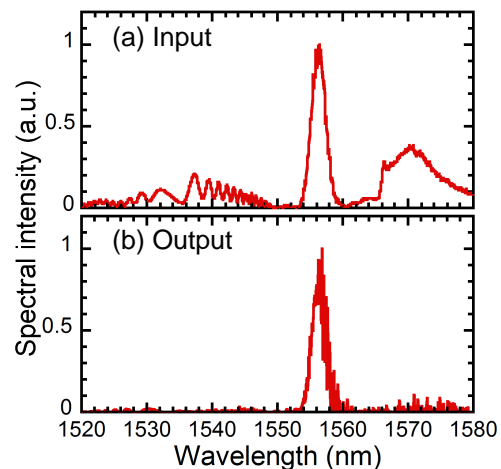


図4 光スペクトル(実験結果)

(3)前述した測定は、遅延線(ステージに固定

したミラー)を手動で変化させて時間差を与えた。ここでは、時間差に対する出力強度の変化をより正確に測定するために、サンプリング計測の自動化を行った。遅延線と測定器をコンピュータプログラムによって制御した。遅延線に用いた自動ステージは $1\ \mu\text{m}$ ごと動かすことができる。光はミラーで往復するため、光路は最小で $2\ \mu\text{m}$ 変えることができる。これは $6.7\ \text{fs}$ の時間差に相当する。(4)信号光と制御光の時間差を変化させて、出力信号光の強度を測定した。信号光の制御光に対する遅延時間を $667\ \text{fs}$ ずつ変化させた。遅延時間に対する出力信号光の強度特性を図5に示す。 $3.6\ \text{ps}$ の信号光の波形の再構築に成功した。これは各時間での信号光の強度に応じて出力光強度が変化したといえる。つまり、パルス捕捉による NOLM での信号光(ps パルス)うち制御光(数百 fs パルス)と時間的に重なった成分のみ抜き出せており、サンプリングできたといえる。したがって、パルス捕捉による NOLM を用いた光サンプリング技術の開発に成功したといえる。

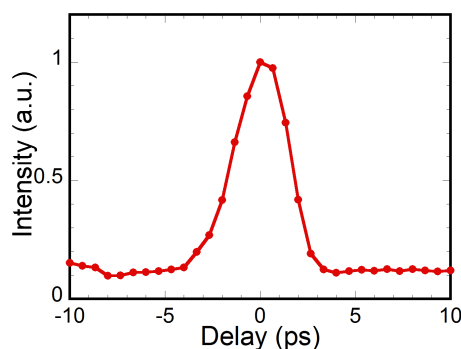


図5 再構築波形(実験結果)

(5)本研究で提案する NOLM では、 $14\ \text{m}$ という非常に短い一般的な複屈折光ファイバー用いて、信号光のうち数百 fs の範囲の成分のみを超短パルス光によりサンプリング可能である。また、NOLM 内では位相変調を与えるだけであるため、サンプリングされた光の波長は $1556\ \text{nm}$ から変化しない。そのため、他のファイバー型のデバイスに容易に接続できると考えられる。したがって、開発したパルス捕捉現象による NOLM を用いた光サンプリング技術はファイバー型の全光制御技術に有用であるといえる。

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 2 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サンプリングの解析、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、2015 年 9 月 15 日、名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)

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サンプリング、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、2015 年 3 月 12 日、東海大学(神奈川県・平塚市)

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