

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23656047

研究課題名（和文）

パルス捕捉・増幅を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザーの開発

研究課題名（英文）

Development of two-color synchronized ultrashort pulse fiber laser using trapped pulse amplification

研究代表者

西澤 典彦 (NISHIZAWA NORIHIKO)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30273288

研究成果の概要（和文）：本研究では、複屈折光ファイバ中で生じるパルス捕捉増幅現象を用いた2波長同期型の超短パルスファイバレーザーの開発に取り組んだ。まず、パルス捕捉増幅の特性を数値解析と実験の両面から解析し、レーザー発振に必要な、インコヒーレントな雑音成分からコヒーレントなパルス生成が出来ることを実証した。次に、励起レーザーとして、カーボンナノチューブと複屈折ファイバを用いた超短パルスファイバレーザーを開発した。更に、開発したレーザーに複合共振器を組み合わせ、パルス光の増幅を実験的に確認した。次に、数値解析により2波長同期レーザーの発振を確認した。今後、共振器長の安定化制御を行うことで、レーザー発振が実現できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this work, we investigated passively synchronized two color ultrashort pulse fiber laser using trapped pulse amplification in birefringent fibers. First, the characteristics of trapped pulse amplification were investigated both numerically and experimentally. The coherent ultrashort pulse generation from ASE noise was successfully confirmed. Then, an ultrashort pulse fiber laser using carbon nanotube was developed as pump pulse source. An additional cavity was combined with the developed fiber laser and optical pulse amplification was confirmed. In the developed cavity, two color synchronized pulse oscillation was confirmed numerically. It is expected that the two color synchronized pulse laser would be demonstrated using the cavity stabilization technique.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎，応用光学・量子光工学

キーワード：光制御，超短パルス，ファイバレーザー，非線形光学

1. 研究開始当初の背景

光ファイバは非線形係数自体はそれほど大きくないものの、微小な断面内に長距離に渡って光を閉じ込めることができるため、有効な非線形光学デバイスの一つである。又、近年、フォトニック結晶ファイバや高非線形ファイバなどの高機能な光ファイバの開発によって、低い光強度でも大きな非線形効果を得ることができるようになってきた。

近年、申請者は光ファイバにおいてパルス光がパルス光を捕まえるパルス捕捉という現象を世界で初めて見出した。パルス捕捉の一つである直交偏光パルス間のパルス捕捉では、長波長側のパルス光が短波長側のパルス光のラマン利得を受けて増幅されるため、パルスでパルスを捕まえ、整形・増幅することができる。このパルス捕捉におけるラマン

利得では、超短パルスによってラマン増幅が行われるため、短いファイバ長でも大きな利得が得られることが期待される。そこで、今回、このパルス捕捉・増幅現象を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザー光源の開発を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、パルス捕捉・増幅現象の高度化を図り、この現象を光増幅器として用いた、新規な高機能超短パルスファイバレーザー光源を開発することにある。この光源では、2波長の超短パルス光を時間的に安定に重ね合わせて発振させ、出力することができる。本研究では開発した新規レーザー光源の諸特性を評価し、議論する。

3. 研究の方法

(1) 複屈折ファイバにおけるパルス捕捉の増幅特性の実験解析

Er 添加超短パルスファイバレーザーと非線形ファイバを用いて波長可変超短パルス光を生成し、cw レーザーと重ね合わせて複屈折ファイバに入射する。そして、2つの光の波長を群速度整合を満たすよう調整し、パルス捕捉を誘起する。これまでに、申請者はcw光のパルス捕捉において、40dBもの大きな利得を得ることに成功した。(Optics Express **18**, 7323(2010)参照)今回は、非線形係数や複屈折率、波長分散の特性の異なるファイバを用いて、レーザー発振に必要な、波長シフトを抑えて利得が得られる条件を探索する。

(2) 複屈折ファイバにおけるパルス捕捉の増幅特性の数値解析

1の実験的な解析と並行し、光ファイバにおけるパルス光の伝搬を表す非線形シュレディンガー方程式を用いて、パルス捕捉現象の数値シミュレーションを行い、パルス捕捉現象の特性の数値解析を行う。ここでは、各種ファイバの非線形係数や分散特性、複屈折性などのパラメータを用いてパルス捕捉現象の振る舞いの変化を解析する。また、非線形性の高い特殊ガラスによるファイバなども対象として解析を行い、レーザー発振を得るための最適条件を探索する。

(3) 全偏波保持超短パルスファイバレーザーの開発

申請者のこれまでの研究成果を活用し、単層カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いた、全偏波保持 Er 添加超短パルスファイバレーザーを開発する。ナノチューブ

をポリイミドに分散させたフィルムをファイバコネクタ間に挿入し、受動モード同期を実現する。

(4) パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザーの開発

パルス捕捉による増幅現象を利得に用いた、超短パルスファイバレーザーの開発に取り組む。3で開発した全偏波保持超短パルスファイバレーザー光源の共振器中に、パルス捕捉を誘起するための偏波保持ファイバを配置する。ここでは、先の研究成果を活用し、大きな波長シフトを誘起せずにパルス捕捉による利得が得られる条件を満たすファイバを用いる。そして、図のように8の字型の構成のファイバレーザーを構築し、下側のリングで受動モード同期発振を実現し、上側のリングで捕捉パルスを発振させる。二つの共振器の長さを合わせることで、受動的に同期した2波長パルスのモード同期発振を実現する。パルス捕捉の利得を用いて発振させるレーザーでは、種光としてcwレーザーを注入する。

(5) パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザーの特性解析

ここでは、開発した2波長同期発振超短パルスファイバレーザーの諸特性を解析する。単層カーボンナノチューブ超短パルスファイバレーザー発振器の発振波長をフィルタを用いて調整し、2波長同期発振の波長依存性を評価する。また、パルス捕捉には、時間的に重なった成分のみを引き込み、増幅する特性がある。ここでは、2つの共振器の共振器長を調整し、受動的な同期特性を解析する。また、出力パルスの同期特性や、2波長の合成による極短パルス化の評価も合わせて行う。

(6) パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザーの高度化

二つのパルス光の出力を高非線形ファイバに入力し、自己位相変調によってスペクトルを広げる。そして、スペクトルの重なった成分のビート信号を観測し、繰り返し周波数、及びキャリアエンベロープオフセット周波数間のビート信号を観測し、その特性を評価する。

(7) まとめ

本研究の結果の解析と考察を行う。そして、本研究の総括を行う。

4. 研究成果

(1) 複屈折ファイバにおけるパルス捕捉の増幅特性の実験解析

本研究の目的である2波長同期超短パルスファイバレーザの開発を実現するために、複屈折ファイバにおけるパルス捕捉の増幅特性を実験的に解析した。今回は、特にレーザ発振において重要になる、増幅自然放

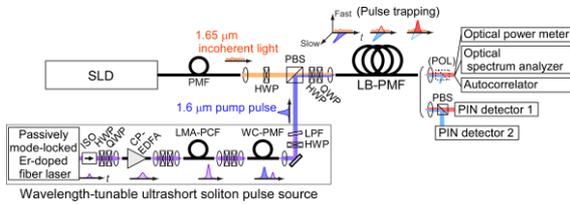


図1 パルス捕捉増幅の実験系

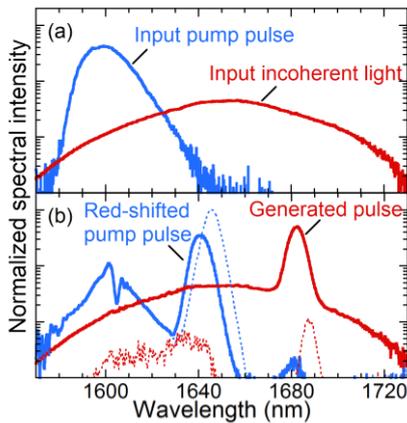


図2 実験結果 (スペクトルの変化)

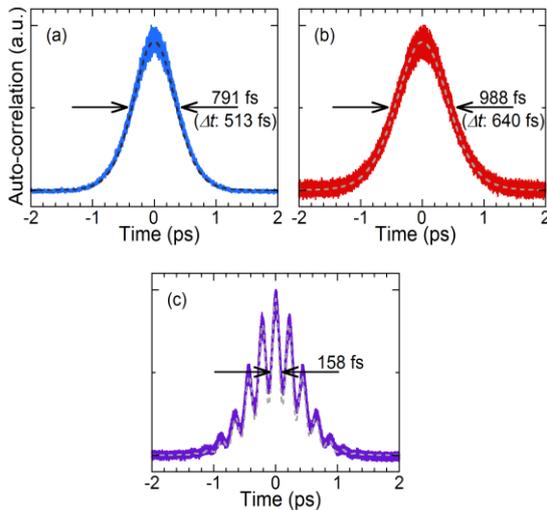


図3 実験結果 (時間波形) : (a) 制御光, (b) パルス捕捉によって生成された信号光, (c) (a) と (b) の重なりによるパルス対

出光(ASE)の捕捉・増幅の特性を評価した。その結果、スーパーluminescentダイオードから出力されたインコヒーレント光が制御パルスによって捕捉され、伝搬に伴う増幅によって、コヒーレントな超短パルス光を生

成することに成功した。

(2) 複屈折ファイバにおけるパルス捕捉の増幅特性の数値解析

上記の実験と並行して、数値解析によってパルス捕捉の増幅特性の解析を行った。そして、位相に関わらず、相互位相変調によって群速度整合が取れる光の成分が制御パルスによって捕捉され、ラマン利得によって増幅されて、位相の揃ったコヒーレントなパルスが生成されることが明らかになった。

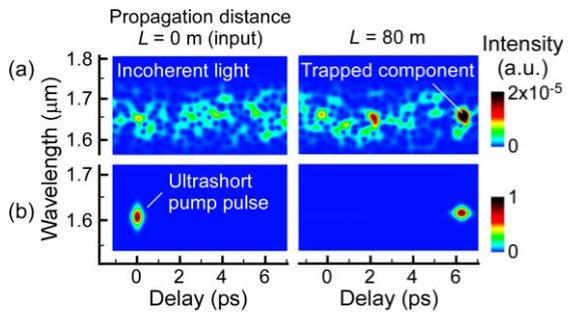


図4 パルス捕捉によるインコヒーレント光からのコヒーレント超短パルス光の生成 (スペクトログラムの計算結果), (a) 被制御光, (b) 制御パルス

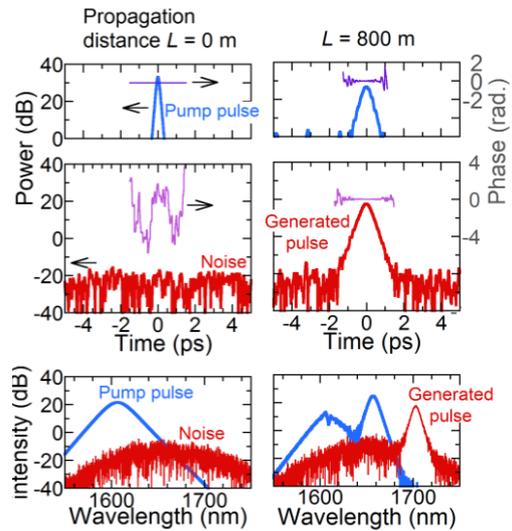


図5 パルス捕捉によるインコヒーレント光からのコヒーレント超短パルス光の生成 (時間波形とスペクトル波形の計算結果), (a) 制御パルスの時間波形, (b) 被制御パルスの時間波形, (c) スペクトル波形

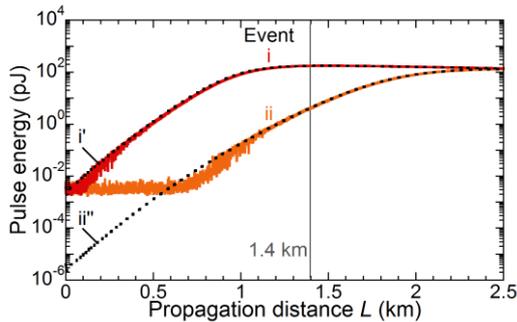


図6 パルス捕捉によるインコヒーレント光からのコヒーレント超短パルス光の生成（ファイバ長に対するパルスエネルギーの変化，最小値と最大値の場合）

(3) 全偏波保持超短パルスファイバレーザの開発

パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザの励起パルスを生成する親レーザとして，全偏波保持型の超短パルスファイバレーザを開発した。モード同期を掛けるための可飽和吸収体には，ポリイミドフィルムに分散させた単層カーボンナノチューブを用いた。また，ファイバレーザは，波長1.55 μm 帯で発振する，Erを添加したファイバ増幅器を用いて構成した。全偏波保持型の構成と異常分散の特性により，sech2型のソリトンパルスの安定な発振を得た。

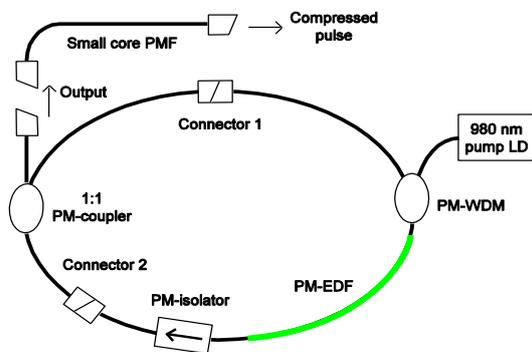


図7 カーボンナノチューブを用いた全偏波保持Er添加超短パルスファイバレーザの構成

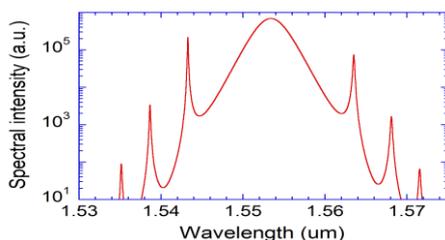


図8 カーボンナノチューブを用いたEr添加ファイバレーザの出力パルスのスペクトル

(4) パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザの数値解析

これまでの研究成果を考慮し，実際のパルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザについて数値解析モデルを構築し，レーザ発振動作の数値解析を行った。その結果，共振器の安定化が図られた状態では，パルス捕捉によって同期・増幅された，2波長同期超短パルスファイバレーザの発振が確認された。

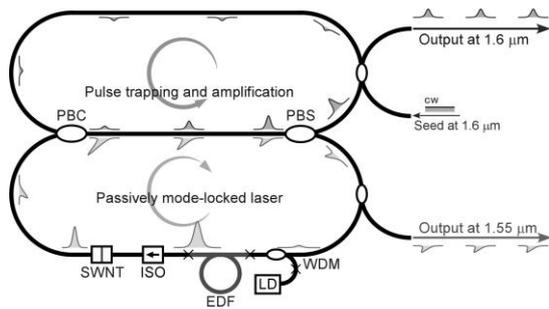


図9 パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザの構成

(5) パルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザの動作実験

上記の数値解析をベースに，実際にパルス捕捉を用いた2波長同期超短パルスファイバレーザを構築し，動作実験を行った。その結果，捕捉パルス増幅によるパルスの生成が確認された。今後更に，フィードバック制御等の活用で共振器の安定化を図ることができれば，安定な2波長同期超短パルスファイバレーザの発振が実現できると考えられる。

(6) まとめ

本研究の考察と総括を行った。

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5件)

① N. Nishizawa, "Generation and application of high-quality supercontinuum sources," Optical Fiber Technology, vol.18, pp.394-402 (2012) (Invited paper)(査読有)

② E. Shiraki and N. Nishizawa, "Coherent ultrashort pulse generation from incoherent light by pulse trapping in birefringent fibers," Optics Express, vol.20, pp.11073-11082 (2012) (査読有)

有)

③西澤典彦, “高機能受動モード同期超短パルスファイバレーザー光源の開発と応用展開,” 電子情報通信学会, vol.94, pp.801-805, 2011. (査読有)

④白木英二, 西澤典彦, “パルス捕捉現象を用いた超短ソリトンパルスによる cw 光からの超短パルス光生成,” レーザー研究, vol.39, pp.550-556, 2011. (査読有)

⑤ E. Shiraki, N. Nishizawa, and K. Itoh, “Ultrafast all-optical signal regenerator using pulse trapping in birefringent fibers,” Journal of Optical Society of America B, vol.28, pp.2643-2649 (2011) (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

① N. Nishizawa and S. Ishida, “Ultra-high resolution optical coherence tomography using supercontinuum sources,” 第 73 回応用物理学学会学術講演会・JSAP-OSA Joint Symposia, 2012 年 9 月 10~14 日, 松山. (招待講演)

②西澤典彦, “高機能超短パルスファイバレーザー光源の開発と超高分解能 OCT への応用,” 第 4 回超高速光エレクトロニクス研究会, 2012 年 6 月 8 日, 慶応大学, 神奈川. (招待講演)

③N. Nishizawa, “Modeling and power scaling of carbon-nanotube mode-locked fiber lasers,” CLEO2012, JW3G.7, May 6-11, 2012, San Jose, USA. (Invited talk)

④白木英二, 西澤典彦, “パルス捕捉・増幅現象を用いたインコヒーレント光からの超短パルス光生成,” Optics & Photonics Japan 2011, 2011 年 11 月 28-30 日, 大阪大学, 吹田市.

⑤E. Shiraki and N. Nishizawa, “Characteristics of ultrashort pulse generation from incoherent light by trapped pulse amplification in birefringent fibers,” IQEC/CLEO Pacific Rim

2011, 5250-CT-1, Aug.28-Sept.1, 2011, Sydney, Australia.

⑥西澤典彦, “高機能超短パルスファイバレーザー光源の開発と応用展開,” 強光子場科学研究懇談会, 2011 年 4 月 22 日, パシフィコ横浜, 横浜市. (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/optel1lab/nishizawagroup.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西澤 典彦 (NISHIZAWA NORIHIKO)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 30273288

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし