

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17541

研究課題名(和文) 高安定光パラメトリックチャープパルス増幅のための低ジッター励起光の開発

研究課題名(英文) Development of low-jitter pump source for stable optical parametric chirped-pulse amplification

研究代表者

宮坂 泰弘 (Miyasaka, Yasuhiro)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 光量子科学研究部・研究員(任常)

研究者番号：20761464

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：光パラメトリックチャープパルス増幅における信号光と励起光のタイミングジッターを低減して出力安定性を向上するために、光同期励起光の開発を行った。信号光の一部から励起光の種光を作り出し、種光の波長を長時間安定に制御する手法を確立した。ファイバブラッググレーティングによるパルス伸長を行い、半導体レーザー励起のファイバ増幅器とバルク増幅器を組み合わせ安定にエネルギーをした後に第二高調波発生を行うことで、光パラメトリックチャープパルス増幅に利用可能な光同期励起光を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Optically synchronized pump source is developed for stable optical parametric chirped-pulse amplification by reducing timing jitters between signal and pump pulses. Seed pulses for pump pulses are generated from a part of signal pulses. The wavelength of the seed pulses is stabilized by original feedback control system. The seed pulses are stretched by a fiber Bragg grating, and amplified by laser-diode pumped fiber amplifiers and bulk amplifiers. By the second harmonics generation, optically synchronized pump pulses are obtained for the optical parametric chirped-pulse amplification.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：光パラメトリックチャープパルス増幅 光同期 ファイバ ナノ秒レーザー

1. 研究開始当初の背景

近年の高強度レーザー技術の発達にともなってレーザー生成量子ビームの高エネルギー化が進んでいるが、将来の粒子線治療や様々な診断などを実現するためにはレーザーの高強度化だけでなく、メインパルスに付随する背景光の抑制とレーザー出力の高安定化が重要であることが明らかになってきた。申請者の所属する機関では、PW 級レーザーのフロントエンドに光パラメトリックチャープパルス増幅法 (OPCPA) を用いることで背景光の抑制を世界に先駆けて成功している。一方、信号光と励起光にナノ秒程度の電氣的タイミングジッターがあるため、増幅後のエネルギーやスペクトル形状の安定性に課題が残っている。

信号光と励起光のタイミングジッターを解消するために、1 台の発振器から励起光を生成する光同期手法が提案され、OPCPA での超短パルス発生が近年報告されている。しかし、これらの光同期式励起光はパルス幅が数十ピコ秒と短くまた広帯域であるため、既存の光同期式励起光は PW 級レーザーの OPCPA 励起光として適していない。PW 級レーザーはリアエンドで数十ジュールにまで増幅されるので、光学素子へのダメージを回避するために、信号光をナノ秒以上のパルス幅にチャープする必要がある。そのため、励起光のパルス幅もナノ秒以上でなくてはならない。また、励起光の波長がわずかにずれただけでも増幅率に大きな差が現れるため、効率よく励起光を使うためには狭帯域であることが望ましい。これらの要求を満たし、BBO 結晶で位相整合がとれることから、現在は Q スイッチ Nd:YAG レーザーが励起光として使われている。

2. 研究の目的

本研究では、Q スイッチ Nd:YAG レーザーに取って代わる光同期式励起光を開発することで、今まで実現されていなかった PW 級超高強度レーザーに適用可能な、OPCPA 用高安定励起レーザーの最適設計・増幅手法の確立を目的とした。

3. 研究の方法

(1) チタンサファイアレーザー発振器から得られる信号光をフォトニック結晶ファイバーに入射し、ソリトン自己周波数シフトにより波長 1064 nm を含んだ種光を得た。得られた種光をファイバーブラッググレーティングによりパルス伸長し、Yb 添加ファイバー増幅器の増幅率や段数を最適化することで 1064 nm のナノ秒パルスを安定に増幅した。
(2) ファイバーから種光を取り出したあと、LD 励起再生増幅器と後段増幅器を設置してさらにエネルギーを増幅した後、第二高調波を発生して OPCPA に利用可能な光同期励起光を作り出した。

4. 研究成果

(1) チタンサファイアレーザー発振器からの出力パルス(800 nm、7 fs、80 MHz、300 mW)の一部をフォトニック結晶ファイバー(PCF)に入射することで波長 1064 nm を含んだ広いスペクトルの種光を得た。PCF のコア系は 2 μm と小さいため、種光のスペクトルは入射レーザーのポインティングに依存して中心波長のドリフトが見られた。中心波長は PCF に入射するレーザーの偏光にも依存することに着目し、波長 1064 nm の出力を安定にするために、自動回転ステージに取り付けた $\lambda/2$ 板とスペクトロメーターで構成した独自のフィードバック機構を開発し、中心波長のふらつきを 0.2 nm (RMS)以下に押さえることに成功した(図 1)。パルス幅の伸長にはファイバーブラッググレーティング(FBG)を用いた。4 段の Yb 添加ファイバー増幅器の増幅率とバンドパスフィルターの帯域、FBG の挿入位置を最適化することで、波長 1064 nm、出力パワー 150 mW、パルス幅 1.0 ns、80 MHz のパルスを得た。

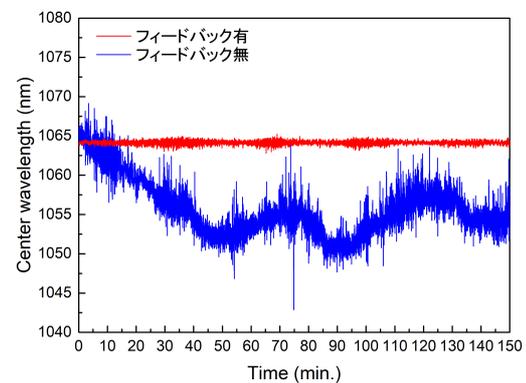


図 1. PCF 出射後のスペクトルの中心波長の時間依存性。

(2) ファイバーから取り出してポッケルセルで 10 Hz に切り出し、LD 励起パルック増幅器で増幅することでエネルギーを高めた。Nd:YAG ロッドの大きさから最適なビーム系になるように直線型 LD 励起再生増幅器を設計し増幅を行った。再生増幅器の途中に適切

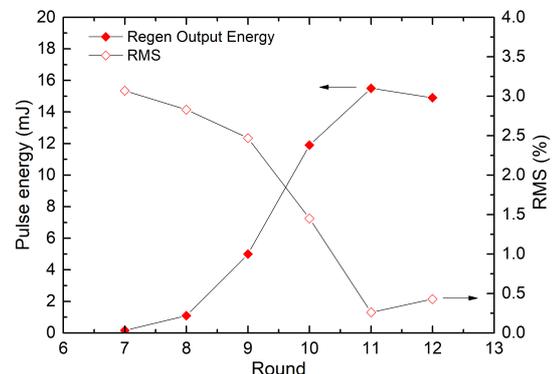


図 2. LD 励起再生増幅器による増幅後のパルスエネルギーと RMS

な開口のアーチャーを挿入することで、ビームのパターンを大幅に改善することに成功した。再生増幅器への入射、再生増幅器の周回数、LD の励起のタイミングを調整することで、パルスエネルギー16 mJ (RMS: <0.5%) の安定な出力が得られた(図2)。ビーム系を拡大して後段増幅器でさらにエネルギー増幅を行い、パルスエネルギー120 mJ (RMS: ~0.3%) を得た後に、LBO 結晶による第二高調波発生を行った結果、波長 532 nm、パルスエネルギー64 mJ (RMS: ~1%) を得た。OPCPA の励起光として利用可能なエネルギーと安定性を兼ね備えた光同期励起光を開発することができた。今後はビーム系の最適化などにより励起光のエネルギーをさらに増やすとともに、開発した励起光を用いてOPCPA を行い、OPCPA の安定性改善やタイミングジッターの評価を行いたい。

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)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Development of stable seed pulses for optically synchronized optical parametric chirped-pulse amplifier pumping, The Review of Laser Engineering, 査読有, Vol. 45, No. 2, 2017, pp.108-111

[学会発表](計 11 件)

宮坂泰弘, 桐山博光, 岸本牧, 森道昭, 神門正城, 近藤公伯, 高安定 OPCPA のための光同期ナノ秒励起光源の開発, レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 2018 年 1 月 26 日, 勤業会館みやこめっせ(京都府京都市)

宮坂泰弘, 桐山博光, 岸本牧, 森道昭, 神門正城, 近藤公伯, 光同期 OPCPA のための高エネルギーグリーンレーザーの開発, レーザー・量子エレクトロニクス研究会, 2017 年 5 月 25 日, 山代温泉葉渡莉(石川県加賀市)

宮坂泰弘, 桐山博光, 岸本牧, 森道昭, 神門正城, 近藤公伯, 光同期 OPCPA のための高エネルギー励起レーザーの開発, 光・量子ビーム科学合同シンポジウム 2017, 2017 年 5 月 10 日, 大阪大学銀杏会館(大阪府吹田市)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Recent Progress on Development of an Optically Synchronized Green Laser for OPCPA Pumping, The 6th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS'17), April 20, 2017, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya,

Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Development of a Diode-Pumped Stable Pump Laser for Low-Jitter OPCPA, SPIE Photonic West 2017, January 31, 2017, Moscone Center (San Francisco, United States)

宮坂泰弘, 桐山博光, 岸本牧, 森道昭, 神門正城, 近藤公伯, 低ジッターOPCPA のための光同期ポンプ光源の開発, レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会, 2017 年 1 月 9 日, 徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)

宮坂泰弘, 桐山博光, 岸本牧, 森道昭, 神門正城, 近藤公伯, 高安定 OPCPA のためのナノ秒光同期ポンプ光源の開発, 光・量子ビーム科学合同シンポジウム 2016, 2016 年 11 月 24 日, 千里ライフサイエンスセンター(大阪府豊中市)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Development of Diode-Pumped Green Laser for Low-Jitter OPCPA Pumping, Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL2016), November 3, 2016, The Westin Boston Waterfront (Boston, United States)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, High-Energy, Jitter-Free, Diode-Pumped Green-Laser for OPCPA pumping, The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2016), June 7, 2016, San Jose Convention Center(San Jose, United States)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Development of an optically synchronized stable pump source for OPCPA, International Conference on High Energy Density Science 2016 (HEDS'16), May 20, 2016, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

Yasuhiro Miyasaka, Hiromitsu Kiriya, Maki Kishimoto, Michiaki Mori, Masaki Kando, and Kiminori Kondo, Development of a highly stable, optically synchronized pump laser for OPCPA, The 10th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2016), May 12, 2016, Seogwipo KAL Hotel (Jeju island, Korea)

[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

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮坂 泰弘 (MIYASAKA, Yasuhiro)
国立研究開発法人量子科学技術研究開発
機構・関西光科学研究所 光量子科学研究
部・研究員 (定常)
研究者番号：20761464

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし