

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22740180

研究課題名（和文） 大強度逆コンプトンガンマ線源のための 2 集光点レーザー発振器の開発

研究課題名（英文） Development of laser oscillator with two focal points for intense Compton backscattered gamma-ray source

研究代表者

川瀬 啓悟 (KAWASE KEIGO)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：60455277

研究成果の概要（和文）：本研究では、大強度逆コンプトン散乱ガンマ線源を構築するための基礎研究として、チタンサファイアを用いた 2 集光点モードロックレーザー発振器の開発研究を実施した。本研究を通して、レーザー発振器の基礎的な研究だけでなく、レーザー診断のためのシステム構築も実施した。本研究期間においては、モードロック動作には至らなかったが、単集光点配置のリングレーザー発振器構成および 2 集光点単方向リングレーザー発振器配置において、周回強度の増大を確認し、今後、CW レーザーの飽和発振とモードロック動作の達成を目指す。本研究で整備・開発したレーザー診断システムは本研究だけでなく、他のレーザー開発にも利用することができる。

研究成果の概要（英文）：As the basic studies for the construction of the intense Compton backscattered gamma-ray source, we made the developments of the 2 focal points mod-lock laser oscillator with a Ti:Sapphire. Through these studies, we performed not only the basic studies of the laser oscillator itself, but the constructions of the laser diagnostics system. In this study period, it was not reached to the mode-lock operation, but the enhancements of the circulating power in both cases of the single focal point arrangement and the 2 focal points arrangement. We will make the saturating oscillation in the CW operation and the mode-lock operation in near future. This diagnostics system is capable to use other laser developments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器、逆コンプトン散乱ガンマ線源、レーザー

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、原子核物理研究(N. Pietralla et al., Phys. Rev. Lett. 88 (2002))や天体核

物理研究(H. Utsunomiya et al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008))等で MeV 領域の大強度逆コンプトン散乱ガンマ線が求められており、

世界でもいくつかのグループが開発・運用している。MeV 領域の逆コンプトン散乱ガンマ線源としては、デューク大学(M. W. Ahmed et al., in TUNL Progress Report XLVII (2008))、産業技術総合研究所(H. Ohgaki et al., NIMA 455 (2000))、兵庫県立大学(S. Miyamoto et al., Rad. Meas. 41 (2007))におけるガンマ線源等があるが、世界的に見ても多くない。デューク大学では最大ガンマ線強度 10^7 photon/秒以上を発生させているが、ミラー損傷などの問題が残っている。また、産業技術総合研究所、兵庫県立大学ではともに外部入力型の連続発振(CW)レーザーを用いており、ガンマ線強度としては $10^5 - 10^6$ photon/秒程度である。

しかしながら原子核物理研究における高い統計量を必要とする稀現象の探索などでは、 10^{10} photon/秒以上のこれまでにない長時間安定な大強度ガンマ線源が必要とされており、このような逆コンプトン散乱ガンマ線源は世界的に見てもまだ存在しない。大強度逆コンプトン散乱ガンマ線源の開発としては、高エネルギー加速器研究機構を中心として、レーザー外部共振器(エンハンスメント共振器)を用いたガンマ線源開発が進められている。このような情勢の中で、本研究では、大強度ガンマ線源構築のために新しい方式を提案し、その基礎研究を実施した。

(2) 研究代表者はこれまでに遠赤外 CW レーザーを用いた電子蓄積リングにおける MeV 領域の逆コンプトン散乱ガンマ線の発生研究を実施した(K. Kawase et al., NIMA 592 (2008))。また、ともに 10 Hz で駆動するパルスレーザーと電子加速器とを用いた sub-MeV 領域の逆コンプトン散乱 X 線の発生研究も実施した(K. Kawase et al., RSI 79 (2008))。CW レーザーの場合、電子ビームとの衝突の効率が悪い。一方、低繰り返しパルスレーザーとパルス電子ビームとを用いた場合には 1 回の衝突でのガンマ線強度は高いが、繰り返しが低いため平均強度は低い。従って、大強度ガンマ線発生のためには大強度パルスレーザーを蓄積リングタイプの電子ビームのパンチと同期させて逆コンプトン散乱をおこなう以外にない。そのためには、高繰り返し大強度レーザーを開発することが必要である、ということが本研究の背景である。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、以下のような新しい特徴を持つモードロックチタンサファイアレーザー発振器を開発することである。

① レーザー発振器内に電子ビームと相互作用するための $30 \mu\text{m}$ 径程度の集光点を持つ。

② 大強度レーザー発振に対応できるように、熱負荷低減のために発振器ミラー上で 1 cm 程度のビーム径を持つ。

③ 高繰り返しで繰り返し数可変なレーザー発振のためのシードレーザー入力型発振器とする。

(2) 上のような特徴を持つレーザー発振器の設計・構築と特性評価試験およびそれらに必要な周辺技術の構築を実施し、実際に電子蓄積リング等へ導入する時に必要な技術的な検討を実施することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 本研究の目的であるモードロックチタンサファイアレーザー発振器の設計、出力特性診断のための周辺技術の設計・構築を実施した。

(2) 設計段階においてまず、ゲイン媒質であるチタンサファイア結晶の領域でのみ集光点を持つリングレーザー発振器を設計し(図1)、続いて、別の集光点を持つ発振器を設計し(図2)、その安定性について数値的に検討した。

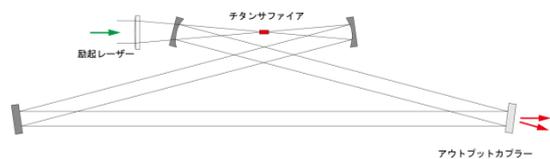


図1：単集光点 CW リングレーザー発振器の概要図。

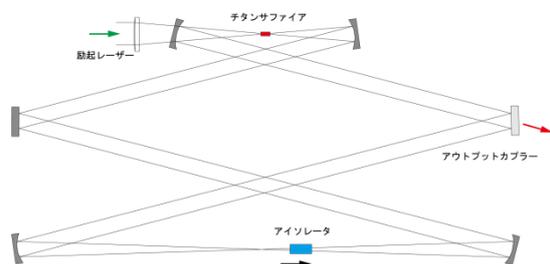


図2：2集光点単方向リングレーザー発振器の概要図。

(3) 単集光点の CW リングレーザー発振器の構築を実施し、調整と出力される波長やビームプロファイルなどの測定を実施した。チタ

ンサファイア結晶を励起するレーザーとしては、5 W の Nd:YVO₄ レーザー (Spectra Physics 製 Millennia) を利用し、チタンサファイアレーザー発振器と同軸に導入した。図 1 に記されているように、結晶は 2 つの反射波長 800 nm を中心とした高反射凹面鏡で挟まれており、そのうち 1 つの凹面鏡は軸方向に可動するステージに取り付けられ、これによりビームの共振器長調整を可能としている。リング共振器は X 型配置で構成されており、集光点の無い長手の方は 1 枚の高反射平面鏡と、出力確認のための 7% アウトプットカプラーから構成されている。

調整のためのレーザー診断システムとしては、小型分光器や CCD カメラによるプロファイル診断モニターを利用している。プロファイル測定には、LabVIEW を用いた測定プログラムを構築し、これはレーザー調整と出力プロファイル特性評価等に利用できる。

(4) 2 集光点発振器の構築と、光アイソレーザを発振器中に挿入した単方向リングレーザー発振器によるモードロック動作の構築を試みた。

4. 研究成果

(1) 出力レーザービームのプロファイルを測定するために、CCD カメラで受光したプロファイルイメージを LabVIEW を用いた処理系により測定・解析するためのプログラムを構築した。本システムは、本研究だけに限らず、他のレーザー開発のための診断システムとして利用することが可能で、今後、平行して進めているモードロックファイバーレーザーの開発にも利用する。

(2) 計画当初の簡易設計から進めて、実際のチタンサファイア結晶、リング共振器とするための凹面鏡の有限角度を持った場合などを考慮した詳細設計について ReZonator プログラムを用いて検討した。まず、図 1 の単集光点レーザー共振器配置について、共振器の安定領域の中心付近と安定領域の端部付近での共振器内ビーム半径の変化を確認した。その結果、安定領域の中心付近において、ミラー上で半径 0.6 mm 程度のビームプロファイルとなることを確認し、安定領域の端部では 100 ミクロンの精度で周回距離を検討することで、プロファイルがミラー上で半径 1 mm 程度となることを確認した。図 4 に計算結果を記す。本計算結果をもとに、実際にレーザー発振器の構築を試みた。

(3) 同様に、2 集光点リングレーザー発振器の詳細な設計も実施した。これは単集光点配置を拡張して、2 つの凹面鏡を追加したものである。安定領域中心付近でのビーム半径の変化を図 5 に記す。本計算結果をもとに、上記の単集光点配置試験に引き続き、それを拡張して、試験を実施した。

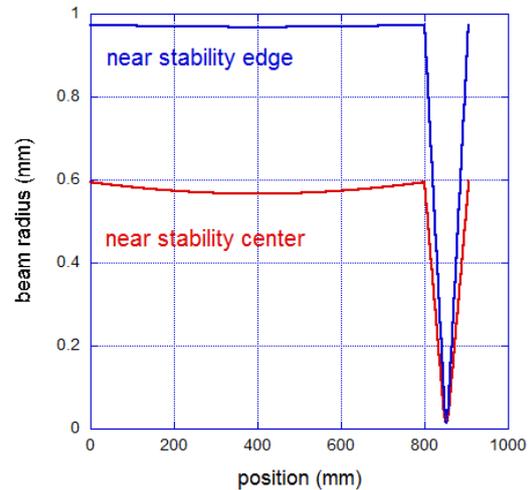


図 3 : 計算による単集光点リングレーザー発振器のビーム半径の変化

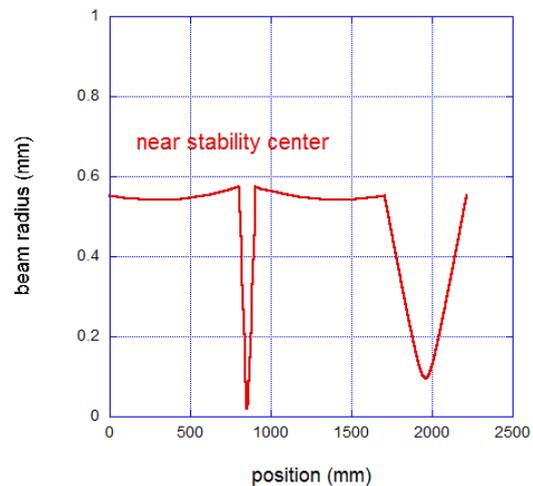


図 4 : 計算による 2 集光点リングレーザー発振器のビーム半径の変化。

(4) 計算による設計結果をもとに、実際に単集光点リングレーザー発振器の構築を実施した。構築した発振器の写真を図 5 に記す。調整方法は、ビーム進行方向に可動するステージ上に設置した凹面鏡で共振器長を調整し、それにともない各ミラーのあおりを調整

するというものである。モニターとしては、構築したプロファイル測定システムを用いて、周回光の重なりと、小型分光器によるスペクトル強度観測を用いた。図6に単一パスの光スペクトルと周回光スペクトルの強度比較を記す。

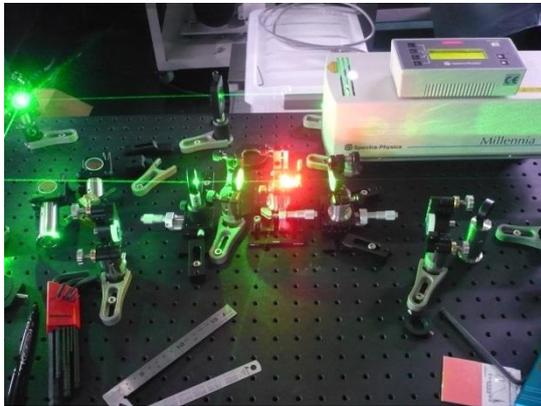


図5：構築した単集光点レーザー発振器。

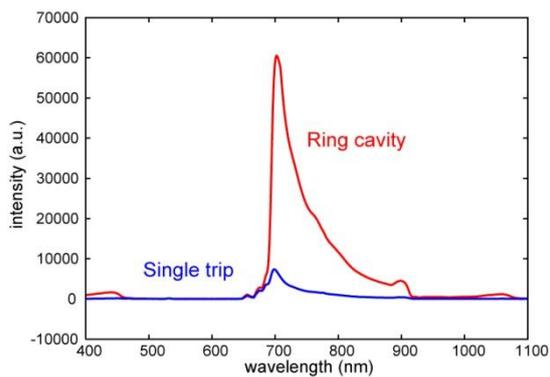


図6：単集光点リングレーザー共振器配置における単一パス（自発放射）スペクトルと周回光スペクトルの強度比較。

(5) 本研究の主要な目的である2集光点配置の試験も実施した。飽和発振、モードロック動作にはまだ至ってはいないが、単集光点配置の場合と同様に周回させることによる光の強度増大を確認し、2集光点でも発振器動作することが期待できることを確認した。図7に本配置実施時の写真を記す。

(6) 本研究と平行して実施している 100 MHz モードロックファイバーレーザー発振器については、現在 100 mW 程度の出力で安定にモードロック動作している。今後本研究で得られた知見と開発した診断システムを組み

合わせることで、ファイバーレーザーシステムの開発も進める。

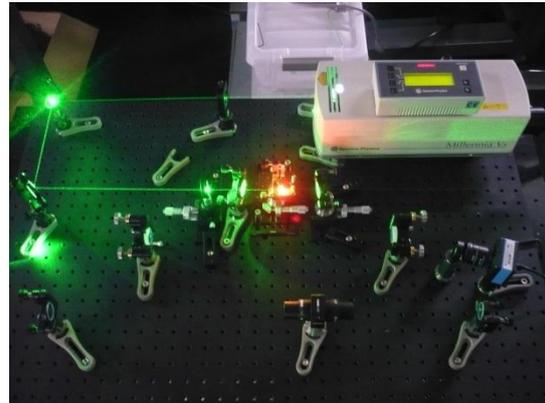


図7：アイソレータを挿入し単方向周回の2集光点リングレーザー発振器。

以上、本研究の成果をまとめると、大強度逆コンプトン散乱ガンマ線源構築を目指した大強度レーザー発振器構築のために必要な共振器内に集光点を持ち、ミラー上で比較的大きなビーム径を持つ発振器の設計を実施した。この設計をもとに、リング共振器を構成し、光の周回が可能であることを確認した。また、本研究で構築した診断システムはファイバーレーザー開発等、他のレーザー開発にも柔軟に適用可能であることを確認した。今回構築したチタンサファイア発振器の飽和発振とモードロック動作の確認と、さらにシード入力型2集光点発振器の詳細な設計検討、アウトプットカプラーを高反射鏡に変更することによる共振器内のハイパワー化の検討が今後の課題である。

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)

- ① 川瀬 啓悟、LバンドフォトカソードRF電子銃の開発(VI)、日本加速器学会第9回年会、2012年8月8日～11日、大阪大学(大阪府豊中市)
- ② 川瀬 啓悟、LバンドフォトカソードRF電子銃の開発(V)、日本物理学会第67回年次大会、2012年3月24日～27日、関西学院大学(兵庫県西宮市)

③川瀬 啓悟、Recent progress in development of the THz FEL at ISIR, Osaka University、Asian Joint Workshop on electron/photon sources and applications、2012年2月22日～25日、Korea Atomic Energy Research Institute (Daejon, Korea)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川瀬 啓悟 (KAWASE KEIGO)
大阪大学・産業科学研究所・助教
研究者番号：60455277

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし