

< 1・1 > LD を用いた高強度フェムト秒レーザーの開発

サブテーマ： < 1-1-b > フェムト秒レーザーの開発

小テーマ： レーザーシステムの小型化の検討 (フェーズ , )

サブテーマリーダー： 光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 岡田康光

研究従事者： 光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 中野文彦 松岡伸一 瀧口義浩

研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

< 1・1 > において作製するフェムト秒レーザーシステムは、フェムト秒光パルスを発生し、それを光学増幅器を用いて TW のピークパワーまで増幅する装置である。その際に重要であるフェムト秒の種光を発生させるために、本事業では < 1-1-a > で開発している CW で駆動する YAG-SHG レーザーで励起した Ti:Sapphire レーザーを立ち上げている。この種光となるフェムト秒パルスが発生させるための産業用次期フェムト秒光源としては、LD 直接励起によってフェムト秒パルスが発生する Cr:LiSAF を採用するか、あるいはフェムト秒パルスを直接発生する LD であると考え。後者は、本事業における研究範囲を越えているため、前者を本事業において、将来に向けて開発する光源として検討した。Cr:LiSAF は高効率であるために、670nm の 1W 出力の単一 LD によってフェムト秒パルス発振するものと考え。

研究の独自性・新規性

本事業の参画企業である浜松ホトニクス株式会社は 670nm において 1W を越える LD を開発しており、これを用いることで 1 つの LD によって励起された Cr:LiSAF 結晶から、共振器の波長分散を制御してフェムト秒レーザーパルスを直接得ることができるようになる。これにより、将来の TW フェムト秒レーザーシステムの主発振器の構造が小型化され、高効率での動作が可能となる。その際のレーザー結晶も、本事業で検討を進めている高効率の冷却が可能な金属導波路を用いることで、より熱的に安定した動作が可能となる。

研究の目標

本テーマは、本事業のフェーズ II で開発するフェムト秒レーザー B などの産業用 TW フェムト秒レーザーの将来における主発振器を開発することを目的としている。

フェーズ I: 高出力の単一 LD チップにより Cr:LiSAF を励起し、高効率の CW レーザー発振をさせる実験を介して、信頼性の高い共振器構造の設計を行う。

フェーズ II: このレーザーに過飽和吸収による非線形モード同期、あるいはカー効果を用いたモード同期をかけ、共振器内の分散補正を小型のプリズムあるいは分散補正ミラーなどを用いて達成し、少なくとも 30mW 程度の出力で、時間幅にして 50 フェムト秒程度のフェムト秒パルス動作の LD 励起小型レーザーを提供する。

研究の進め方及び進捗状況

始めに、Cr:LiSAF 結晶の光励起における励起光の偏光依存特性をするために、偏光依存蛍光励起スペクトルを計測し、励起波長である 670nm における励起軸の決定を行った。蛍光波長である 800nm に検出器の波長を設定し、結晶を励起する波長を連続的に変えて、800nm における蛍光強度をモニターすることで、結晶の光吸収スペクトルの励起光偏光依存性を評価した。その結果、今回の結晶の配置に対して p 偏光が結晶を 650~670nm の領域で効率良く励起することが明らかとなった。さらに 670nm にて結晶を励起した際に得られる蛍光の偏光依存性も同時に評価を行った。ここでも、上記と同様に p 偏光の励起に対応した蛍光強度の増大が観測された。その際の蛍光スペクトル幅も、100nm 以上あることから、モード同期ができれば、理論的には 10 フェムト秒程度の光パルスの発生も可能であることがわかった。そこで、初期実験としてこれらの特性考慮し、最大出力 15mW の CW の He-Ne レーザーを用いて Cr:LiSAF 結晶をエンドポンプ励起することで低閾値のレーザー発振を達成した。励起強度を変化させて、レーザー発振の最低励起強度を確認したところ 9mW であり、観測された蛍光スペクトル幅と励起閾値とから、Cr:LiSAF 結晶を用いることで、コンパクトで高効率のフェムト秒レーザーが提供可能であることを確認した。

フェーズ II では、半導体過飽和吸収体 SESAM を浜松ホトニクス株式会社の協力により導入し、これによる非線形吸収によるモード同期を用いて、フェムト秒レーザー発振を達成する。事前に、YAG-SHG を用いた通常の Ti:S レーザーを用いて、SESAM の動作領域を確認し、それと同程度の共振器内エネルギーを Cr:LiSAF にて達成することが不可欠で、これの達成の如何は、Cr:LiSAF 結晶の吸収・散乱特性に依存する。まずは、安定したモード同期の達成が先決である。系の構築は行なえたものの、実際にモード同期するに至らなかった。モード同期には、共振器内の蓄積エネルギーと共振器内の損失が重要なファクターであり、今回は、特に結晶そのものの損失が大きかったものと考えられた。そこで、本事業における本テーマでの将来のフェムト秒レーザー主発信機の開発は、励起用の高出力 LD の開発と、よりよい Cr:LiSAF 結晶の導入が可能になるまで休止することとした。

## 主な成果

具体的な成果内容：

導入した Cr:LiSAF 結晶に対して、偏光蛍光励起スペクトルおよび蛍光分布を計測することで、このレーザー結晶においては、650～670nm の励起光において偏光によって倍の蛍光発光特性に差があることが明らかとなったほか、632.8nm のヘリウムネオンレーザーの偏光をこの特性に合わせて用いることで、励起光 9mW にても連続レーザー発振することを確認した。また、得られた蛍光スペクトルの半値幅が 100nm 以上あり、十分なフェムト秒パルス発生の可能性を再確認した。従来の方法では、2つの LD からの出力光を偏光ビームスプリッターにて結合してエンドポンプをしていたが、今回行おうとしている系では、1つで 1W 程度の出力を達成できる LD を用いるため、系のさらなる小型化を図ることができる。

特許件数： 0

論文数： 0

口頭発表件数： 0

## 研究成果に関する評価

### 1. 国内外における水準との対比

Cr:LiSAF 結晶は中央フロリダ大学で開発され、すでに 10 年ほどの研究がなされており、コンパクトな LD 励起フェムト秒レーザー用の結晶として確認されている。しかしながら、実際の産業用の種光源としての性能までには至っていない。国内では、浜松ホトニクス株式会社でも、すでに 30 フェムト秒のパルスを達成しており、産業化のための基盤は育っている。結晶の性能を最適化することにより、低閾発振値を得たことは重要である。

### 2. 実用化に向けた波及効果

小型の LD で直接励起できるフェムト秒レーザーは、本事業の TW レーザーの種パルス光発生における将来の基本ユニットであることは間違いがない。しかしながら、それのみではなく、100～200mW の出力を達成した超小型フェムト秒レーザーができれば、科学分野・産業分野で大変有効である。

## 今後の課題と研究開発方針について

将来の高輝度レーザーによる産業化を目指す小型フェムト秒レーザー開発には、上記のように、高輝度の励起用 LD の開発と、より結晶純度の高い Cr:LiSAF レーザー媒質の開発を待つしかない。ただ、その一方で、モード同期を行うために一般的に用いられている SESAM (半導体過飽和吸収体) と、共振器内の分散を補正する分散補正ミラーの開発も重要である。これらの素子の大きいなる発展に期待するところである。

	JST 負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合 計
	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	
人件費	30	151	169	737	1,016	0	2,103	30	151	169	462	455	0	1,267	3,370
設備費	6,353	3,022	775	0	0	0	10,150	0	0	0	0	0	0	0	10,150
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	621	6,536	1,436	1,934	1,273	0	11,800	0	0	0	0	0	0	0	11,800
旅費	22	105	0	57	91	0	275	0	0	0	0	0	0	0	275
その他	53	146	341	304	400	0	1,244	0	0	0	0	0	0	0	1,244
小 計	7,079	9,960	2,721	3,032	2,780	0	25,572	30	151	169	462	455	0	1,267	26,839

代表的な設備名と仕様 [ 既存 (事業開始前) の設備含む ]

JST 負担による設備：

地域負担による設備：