

<p>サブテーマ名：高輝度Yb:YAG固体レーザー技術に関する研究          小テーマ名：小型ナノ秒パルスYb系レーザーの開発（フェーズ）          高出力超短パルスレーザー増幅器の開発（フェーズ）</p>
<p>サブテマリーダー（所属、役職、氏名）分子科学研究所 助教授 平等拓範          研究従事者（所属、役職、氏名）福井大学工学研究科、助教授、川戸 栄          ふくい産業支援センター 末田 敬一          ふくい産業支援センター 楊 鴻儒（H13退職）</p>
<p>研究の概要、新規性及び目標          研究の概要          (フェーズ)          量子効率が高く蛍光寿命が長いこと、高出力パルスレーザーに適したレーザー材料であるYb:YAGを用いて、高平均出力パルスレーザーの実用化に向けた研究開発を行う。この高出力パルスYb:YAGレーザーを、主発振器 - 増幅器システム(MOPA)の構成により達成する。このために必要な開発要素は、a) 小型ナノ秒パルス発振器の開発、b) 高出力微細ロッドレーザー増幅器の開発、c) 高出力微細スラブレーザー増幅器の開発、である。          (フェーズ)          高出力・高効率連続光発振(CW)および超短パルスレーザー光源への利用が期待される、LD励起薄型スラブYb:YAG超短パルスレーザーの増幅器開発を目的として、高密度励起および高冷却効率が可能な薄型スラブYb:YAGレーザー増幅モジュールを試作し、高出力かつ高効率CWおよびパルス動作を実現する。          研究の独自性・新規性          (フェーズ)          高出力・高輝度の超短パルスレーザーとして、実用性、汎用性、スケラビリティなどの観点からMOPA構成が有効である。とくに、従来に比べて増幅効率及び冷却効率が優れた新しい励起構成の微細ロッド型レーザー増幅器及び熱的安定度に優れた微細スラブ型レーザー増幅器の設計と試作を行っている。          (フェーズ)          高平均出力超短パルスレーザーの増幅にYb:YAG結晶を用いているが、Yb:YAG結晶は準4準位下準位吸収損失の問題を解決することが重要である。これらの問題を解決するために、独自の方法として結晶を薄型の微細スラブ構造とすることで、結晶の高密度励起と高冷却効率を同時に実現し、これまでになく変換効率での発振を達成した。          また断面積が大きいため、従来の超短パルスファイバーレーザーでは困難な1パルスあたりのエネルギーを高めることが可能であり、Yb:YAG結晶を用いたLDによる直接励起であるため、従来のチタンサファイアレーザーに比べ平均出力が高く、高繰り返し動作が可能であり、システムの小型化も見込める。          研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に）          フェーズ：平均出力25W、ビーム品質TEM00、ナノ秒パルス動作          フェーズ：MOPA型Yb:YAG超短パルスレーザーの実用化：発振波長：1.03μm、パルス幅：数100fs、パルスE：0.1mJ以上、平均出力：10～20W、繰り返し周波数：1k～100kHz、ビーム広がり角：1mrad以下          フェーズ：研究成果の実用化を目的として、これまで得られた研究成果をベースに残された研究課題の解決を図る。</p>
<p>研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）          フェーズでは連続光動作(CW発振)、フェーズではパルス動作(ナノ秒増幅、ピコ秒増幅)を行った。          フェーズ：微細スラブ型増幅モジュールを製作。CW発振実験を行った。CW出力243W、ビーム品質2、光変換効率42%を達成した。目標達成          フェーズ：フェーズで製作した微細スラブ型増幅モジュールを用い、パルス増幅試験を行った。フェムト秒動作の基礎的知見を得るためにナノ秒での増幅試験を行い、最大出力18.1W、パルス幅11ns、スローブ効率26.4%、光-光変換効率12.3%が得られた。          フェーズで得られたナノ秒増幅試験の結果に基づいてMOPA設計・製作を行い、フェムト秒動作試験を行った。その結果、パルスエネルギー：100μJ、平均出力：10W、繰り返し周波数：100kHz、ビーム広がり角：1mradを達成したが、パルス幅は最短で3.3psで目標には至らず。パルス幅以外は目標</p>

達成をした。

**主な成果**

具体的な成果内容：高密度励起および高冷却効率が可能な薄型スラブおよび微細ロッド型Yb:YAGレーザー増幅モジュールを試作し、高出力かつ高効率CWおよびパルス動作を達成した。

特許出願：固体レーザー装置「微細スラブ型レーザー」

特許出願：固体レーザー装置「端面励起微細ロッド型レーザーモジュール」

特許出願：レーザー装置「薄型スラブ・ロッドレーザーの直接水冷冷却」

特許出願：固体レーザー装置「非線形材料を用いた準4準位レーザーの超短パルス発生、高効率化および出力の安定化に関する技術」

特許出願：レーザー装置「薄型スラブ・ロッドレーザーの熱レンズ補償方法」

特許出願：レーザー装置「薄型スラブ・ロッドレーザーの寄生発振抑制技術」

特許件数：8

論文数：3

口頭発表件数：50

**研究成果に関する評価**

1 国内外における水準との対比

市販フェムト秒レーザーと比較した場合

- ・ファイバレーザーに比べて1パルスあたりのエネルギーが100倍：100μJ
- ・チタンサファイアレーザーに比べて繰り返し周波数が10倍：100kHz
- ・平均出力はファイバレーザー、チタンサファイアレーザーの10倍：10W

2 実用化に向けた波及効果

パルスエネルギーが高く、繰り返し周波数が大きいいため、従来は不可能だった高速なフェムト秒レーザー加工が可能であり、微細加工等における生産性の向上が見込める。

**残された課題と対応方針について**

SESAMの性能の安定化、共振器の小型化、ファイバレーザーの導入により発振器のフェムト秒化を進め、MOPAからの最終出力のパルス幅を数百フェムト秒まで縮める。また、加工効率の向上を目的としてMOPA出力高出力化を行う。

	JST負担分(千円)							地域負担分(千円)							合計
	H12	H13	H14	H15	H16	H17	小計	H12	H13	H14	H15	H16	H17	小計	
人件費	965	4,073	3,423	6,958	7,098	5,294	27,811	0	0	0	0	0	0	0	27,811
設備費	9,085	8,813	6,727	8,925	53,351	0	86,901	0	0	0	0	0	0	0	86,901
その他研究費 (消耗品費、 材料費等)	8,859	28,440	19,132	6,080	9,705	5,984	78,200	0	0	0	0	0	0	0	78,200
旅費	4	52	257	623	472	10	1,418	0	0	0	0	0	0	0	1,418
その他	5	199	299	417	401	294	1,615	0	0	0	0	0	0	0	1,615
小計	18,918	41,577	29,838	23,003	71,027	11,582	195,945	0	0	0	0	0	0	0	195,945

**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：MOPA型Yb:YAG超短パルスレーザー発振器

地域負担による設備：なし

複数の研究課題に共通した経費については按分する