

(3) 研究成果

本研究におけるサブテーマ及び小テーマ毎の開発内容、進捗状況、研究開発費及び主な成果について、様式6に示す。また、技術移転展開に向けた主な研究成果については、添付研究成果集を参照のこと。

[様式 6]

<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：超短パルスマイクロチップレーザーおよび超短パルス増幅器の開発（フェーズ） 超短パルスYb:YAGレーザーの開発（フェーズ）</p>	
サブテマリーダー	分子科学研究所 助教授 平等拓範
研究従事者	分子科学研究所 助教授 平等拓範 ふくい産業支援センター 研究員 常包正樹 ふくい産業支援センター 研究員 トライアン・ダスカル（平成16年度末退職） 分子科学研究所 助手 石月秀貴（平成14年度末まで同センター 研究員） 分子科学研究所 JSPS外国人招聘研究者 パベル・ニコライ
<p>研究の概要、新規性及び目標</p> <p>研究の概要 高出力・超短パルスYb:YAGレーザーを目指し、主に(1)超短パルス発生法と(2)高出力・高効率動作法の開発を中心にYb:YAGマイクロチップレーザーの研究を進めた。</p> <p>研究の独自性・新規性 レーザ光源として独自かつ新規のエッジ励起型Yb:YAG/YAGコンポジット構造を採用、超短パルス発生可能なYb:YAGの高効率発振特性を損なうことなく小型化・高出力化を図った。</p> <p>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：(1)平均出力1W、パルス幅1ps以下、(2)CW出力100W、TEM₀₀モード、光-光変換効率40% フェーズ：(1) CW出力300W、TEM₀₀モード、光-光変換効率40%、(2) 数100fs、10kHz、平均出力20W フェーズ：CW出力500W以上、M²値3以下</p>	
<p>研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）</p> <p>フェーズ：【進め方】Yb:YAGマイクロチップを用い、(1)超短パルスレーザー発振器の開発と(2)超短パルス増幅システムの要素技術の開発、さらに(3)波長可変OP0の開発を行った。</p> <p>【進捗状況】(1)Yb:YAGマイクロチップレーザー発振器ではLDエッジ励起の採用により準CW出力41W、スロープ効率38%を達成した。発振器の短パルス化についてはQスイッチ-モード同期方式で最小パルス幅6.5psを得た。SESAM（半導体可飽和吸収体）を用いた受動モード同期方式により780fsの超短パルスの発生に成功した。別のYb系固体材料では同種の構成で490fsを得た。LBO結晶を用いたカイツーモードロック方式では9psまでパルス幅を短くできた。(2)エッジ励起Yb:YAGマイクロチップレーザーに必要な高機能コンポジット構造の試作や形状の最適化、高効率レーザー発振のための熱抵抗低減メタルハイブリッド高反射コーティング、マイクロチャネルクーリングヘッドを開発し、準CW動作において出力112W、スロープ効率63%を達成した。さらにマイクロチップとヒートシンクの接合方法としてAu-Snハンダを用い、初期的なレーザー特性としてCW出力90W、M²=5、光-光変換効率27%を得た。また従来の固体レーザーの熱複屈折理論に間違いがあったことを見出し、高出力化の際に問題となる熱複屈折を低減できるYAG結晶方位を発見した。(3)中赤外波長可変OP0の開発ではMgO:LiNbO₃結晶の加熱条件や電極構造の最適化により3mm厚の試料のQPMデバイス作成に成功した。これにより目標の85%が達成できた。</p> <p>フェーズ：【進め方】得られた知見を元に(1)エッジ励起Yb:YAGマイクロチップレーザーのCW動作での実用化研究と加工性能検証のための試作機の製作を行った。また(2)高出力動作に適したカイツーモードロック方式による発振器の超短パルス化技術の研究開発を進めた。</p> <p>【進捗状況】(1)超小型高性能水冷ヒートシンクや独自機構の高均一加重、低熱負荷Au-Snハンダダイボンド装置の設計開発、さらに小型高出力LD励起モジュール（ヘッド）の試作により、5mmφ×0.3mmtのレーザー媒質（マイクロチップYb:YAGコア）から、発振波長1.03μmでCW光出力300WとM²<17の高輝度ビームを得ることに成功した。実際に製作した試作機をフォトンマシニングセンター（金属光造形複合加工装置）に搭載して加工実験を行い良好な加工性能を実証した。これにより高出力超短パルス光源の基本技術を確認、検証することが出来た。(2)LBO結晶を用いたカイツーモードロック方式による超短パルス化ではピーク出力1Wで9psの短パルス動作、さらにエッジ励起構成によりピーク出力40WのQCW動作でTEM₀₀モード発振とパルス幅200ps以下の短パルス動作を確認した。これによりフェーズの目標の80%が達成できた。</p> <p>フェーズ：【進め方】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>	

主な成果

具体的な成果内容：

(1)エッジ励起用コンポジットYb:YAGマイクロチップの構築：量産性やコスト、納期の点から、国内メーカーにおいて開発された、透明なセラミックYAGを用いたコンポジットロッドを評価し、マイクロチップ用の母材として適用可能であることを検証した。(特願2004-087361)

(2)励起光伝搬、Au-Sn接合のための誘電体、金属膜の材料、膜厚の最適化：励起光がガイド内で全反射で透過するための誘電体膜構造、ヒートシンクへのAu-Sn接合の際に金属と誘電体が反応しないための誘電体、金属膜の材料、膜厚の最適化をおこない、Au-Sn接合のプロセス温度(280)においても誘電体に損傷の生じない条件を確立した。(特願2003-154092)

(3)小型高性能水冷ヒートシンクの開発：ヒートシンク裏面に設けたマイクロチャンネルに向かって冷却水を吹き付ける構造を考案、噴流衝突効果により熱抵抗として0.3 /Wという優れた冷却性能を得ることに成功した。(特願2003-375057)

(4)マイクロチップ用Au-Snダイボンド装置：チップ内で均一に加重をかけるために、独立動作可能な多点加重方式のダイボンド装置を考案、試作し、チップとヒートシンク間で薄く均一で欠陥のない接合を再現よく製作することが可能になった。(特願2004-221243)

(5)高出力エッジ励起マイクロチップ Yb:YAG レーザ(ヘッド)：高出力 LD の励起光を高効率に集光する光学系を構築し、1kW の励起モジュール(レーザーヘッド、サイズ W19xL19xH7cm)として小型一体化した。発振特性として最大 CW 出力 340W と光-光変換効率 36%、M²<17 の高輝度動作が得られ、エッジ励起 Yb:YAG マイクロチップの小型で高出力、高効率、高輝度の基本性能が実証された。

特許件数：19 論文数：7 口頭発表件数：28

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

市販の加工用固体(Nd:YAG)レーザーと比較した場合、製作したYb:YAGレーザー試作機はCW200WでM²<25は市販のNd:YAG加工用レーザー(M²≈50)に比べ約1桁高い集光強度を得ることが出来た。またレーザー装置(ヘッド)のサイズも1/5以下と大幅に小型になり高効率動作を検証することが出来た。

2 実用化に向けた波及効果

光源としてCWから超短パルス動作にいたるまで、小型、高出力、高輝度である特徴を生かし、各種理化学計測用組み込み光源を始め一般の産業用レーザー加工機光源から印刷機やディスプレイ光源、次世代の大容量ホログラムメモリー用光源、さらには将来の自動車エンジンの点火光源までを応用の視野に入れた、既存市場における性能向上のみならず小型化を生かした、まったく新しい市場での広範囲な適用、展開が期待できる。具体的な企業からの引き合いとしては(株)トヨタ自動車から自動車部品の加工用光源として使用したいという提案と(株)レミが微細穴明け加工用光源として引き合いがあった。

残された課題と対応方針について

波長、出力に関しては目標を達成したが、M²については市販レーザーに比べ高輝度性能が大きく上回るものの目標値はまだ達成されていない。これについてはマイクロチップのコアサイズの最適化や共振器構成の最適化が今後必要である。またYb:YAGを用いた高出力・超短パルス用増幅システムの基本要素としては技術確立したが、最終的に超短波パルス動作での高出力動作あるいは増幅実験まで至っていない。今後フェーズ においてこれらの課題の解決、性能検証を行う。

事業化に関してはヒートシンク一体型Yb:YAGマイクロチップを経済産業省のコンソーシアム事業として採択を受け事業化を進めており、フェーズ でも継続的に技術サポートを行う予定である。また実用化への課題(確認事項)としては長時間動作での信頼性が残されており、技術移管先と協力して検証を進めていく。

	J S T 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	45	7,069	7,645	11,289	15,530	6,215	47,793	0	0	0	0	0	0	0	47,793
設備費	16,075	8,854	3,268	48,830	865	622	78,514	0	0	0	0	0	0	0	78,514
その他研究費(消耗品費、材料費等)	4,981	18,027	24,065	23,523	9,129	12,350	92,075	0	0	0	0	0	0	0	92,075
旅費	4	730	164	1,029	873	682	3,482	0	0	0	0	0	0	0	3,482
その他	5	415	599	741	927	678	3,365	0	0	0	0	0	0	0	3,365
小計	21,110	35,095	35,741	85,412	27,324	20,547	225,229	0	0	0	0	0	0	0	225,229

代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む]

J S T 負担による設備 : 高速ストレージオシロスコープ、スペクトル時分解特性装置、分光器用冷凍器
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