

Title	低温冷却型Yb : YAGレーザーに関する研究
Author(s)	時田, 茂樹
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46920
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	とき た しげ き 時 田 茂 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 20364 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科原子力工学専攻
学位論文名	低温冷却型高出力 Yb : YAG レーザーに関する研究
論文審査委員	(主査) 助教授 河仲 準二 (副査) 教授 堀池 寛 教授 乗松 孝好 教授 中塚 正大 教授 宮永 憲明

論 文 内 容 の 要 旨

半導体レーザーの高出力化により、キロワットを超える平均出力を有する半導体レーザー励起固体レーザーが小型装置で実現されるようになってきた。応用分野における生産性や便利性の要求を満たすために、より高い平均出力、より高いビーム品質を有するレーザー装置が求められている。高平均出力固体レーザーには従来から主にネオジウム系固体材料が用いられてきた。しかしながら、材料の性質上、多量に発生する熱が平均出力やビーム品質に制限を与えている。

著者は、ネオジウム系材料を超える次世代のレーザー材料として低温冷却した Yb : YAG 結晶に着目し、基礎特性の評価と高出力化に関する要素技術の開発を行った。

本論文は緒論、本論 6 章、結論で構成されている。

第 1 章は緒論であり、高平均出力固体レーザーの現状および問題点について述べ、本研究の意義を明らかにしている。

第 2 章では、レーザー設計に不可欠な分光特性の評価を行った。10~293 K における Yb : YAG の吸収スペクトル、蛍光スペクトル、蛍光寿命を測定し、吸収断面積と誘導放出断面積の温度依存性を明らかにした。

第 3 章では、高平均出力レーザーの設計に不可欠な熱特性の評価を行った。4~300 K おける Yb : YAG 単結晶とセラミックの熱伝導率を測定し、熱伝導率の温度依存性及び Yb 濃度依存性を明らかにした。

第 4 章では、低温における Yb : YAG の CW 発振特性及びモードロック発振特性の評価を行った。低温冷却型 CW 発振器を開発し、10~180 K における発振特性の温度依存性を調べ、低温における高効率動作を実証した。また、液体窒素冷却のモードロック発振器を開発し、低温におけるピコ秒動作を実証した。

第 5 章では、低温冷却 Yb : YAG の優れた熱特性に着目し、高平均出力動作時の特性を評価した。液体窒素冷却の高平均出力 Q スイッチ Yb : YAG レーザーを開発し、高効率、高ビーム品質動作を実証した。

第 6 章では、低温 Yb : YAG の短パルス増幅特性を評価した。液体窒素冷却のピコ秒再生増幅システムを開発し、ミリジュール級の高効率ピコ秒増幅を実証した。

第 7 章では、新しい高出力化技術として、スケールリング可能なサファイア冷却型ディスクレーザーを考案し、CW 発振実験により高出力、高ビーム品質動作を実証した。

第8章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめて、本論文の総括を行った。

以上の研究により、Yb:YAGを低温冷却することで優れた分光特性と熱特性を持つ全く新しいレーザー材料が実現できることを明らかにし、これを用いてこれまでにない高い性能を有する高平均出力固体レーザーを実現できる見通しを得た。

論文審査の結果の要旨

本論文は、計測や加工等の産業分野で急速に広がりつつあるレーザー装置の高出力化において、イッテルビウム系固体レーザー材料を低温冷却することにより物性値の制御を行い、従来になく高いビーム品質の半導体レーザー(LD)励起高出力レーザーを開発することを目的とした研究をまとめたものであり、主な成果は以下の通りである。

(1) イッテルビウムヤグ(Yb:YAG)結晶の分光測定から吸収断面積、誘導放出断面積の温度依存性(10~300 K)を定量的に求め、加えてボルツマン分布に基づくレーザー利得の理論計算を行い、半導体レーザー(LD)励起におけるYb:YAG結晶の最適な動作温度が100 K以下であることを明示している。

(2) 高出力動作時に問題となるレーザー結晶の熱破壊や光学的な熱歪みを評価するためにYb:YAG結晶の熱伝導率の温度依存性を高精度に測定し、低温で熱伝導率が急激に向上することを定量的に明らかにしている。Ybイオン添加量の依存性やYb:YAGセラミクスについても測定し、熱伝導率の温度依存性がフォノン散乱で説明できることを示している。さらに、熱膨張率や屈折率の温度係数についても改善されることを指摘し、低温冷却時のYb:YAG結晶の熱耐力は室温時に比べ極めて高くなることを明示している。

(3) 開発したLD励起Yb:YAGレーザー発振器の出力特性を測定し、(1)の分光測定と理論計算から示唆された最適結晶温度(<100 K)において最大出力が得られることを実証している。励起入力に対するレーザー出力の変化率を表すスロープ効率の世界最高効率90%(理論限界)を達成し、わずか10%の熱損失は(2)の熱耐力の向上と合わせて従来になく高出力化の実現可能性を示唆している。

(4) 種々の増幅構成を有するレーザー発振器を開発し、100 Wレベルの高出力レーザー動作と100 kW/cm²の高エネルギー密度動作を高ビーム品質で実現している。レーザー特性と結晶内温度分布についての詳細な理論解析は結晶温度とレーザー出力の関係を明らかにしている。さらに、出力のスケールリングにより、液体窒素冷却したYb:YAGロッドを用いた10 kW出力のレーザーシステムの概念設計を詳細に行ない高い実現性を示している。

(5) 超短パルス発振器および増幅器の開発を行い、3.4 mJの高パルスエネルギー、31%の高効率を有するピコ秒パルスの発生に成功している。500 Hzの繰り返し周波数はシステム内で使用しているポッケルスセルの熱複屈折が制限を与えており、この点の改善の必要性を指摘している。

以上のように、本論文は従来LD励起では高出力・高効率動作が難しいとされてきたYb:YAG結晶に対して同結晶を低温に冷却することにより、レーザー出力特性が格段に向上することを示したものであり、開発されたレーザー技術は広く産業応用に新しいツールを提供するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。