

Title	低温冷却型高出力レーザーに関する研究
Author(s)	竹内, 康樹
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/58363">https://hdl.handle.net/11094/58363</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

【119】

氏名	竹内康樹
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第24604号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学位論文名	低温冷却型高出力レーザーに関する研究
論文審査委員	(主査) 准教授 河中 準二 (副査) 教授 乗松 孝好 教授 猿倉 信彦 教授 宮永 憲明

### 論文内容の要旨

本論文は著者が大阪大学大学院工学研究科博士後期過程において行った、低温冷却型Yb:YAGレーザー及び低温冷却型DKDPポッケルスセルに関する研究の成果をまとめたものである。

大阪大学では、光学材料を低温冷却することによって材料の様々な物性値を広範囲にわたって連続的に制御し目的に合わせた値に最適化することで、従来のレーザーシステムでは実現が困難であった高パルスエネルギー・高繰り返しを同時に達成する次世代高出力レーザーシステムの可能性を示唆してきた。これらの技術を用いて次世代高出力レーザー開発のための要素技術開発を行い、さらにプロトタイプとなるレーザーシステムを独自開発し従来にない高性能化を実現した。

本論文は緒論、本論5章、結論で構成されている。

第1章は緒論であり、レーザーの現状および今後期待されるレーザー応用について述べた。

第2章では、高出力レーザー開発の現状と開発過程における技術課題について検討し、次世代高出力レーザーのマイルストーンとして1kJ, 100Hz半導体レーザー励起固体レーザーシステム概念設計について述べた。

第3章では、高出力レーザーのための新しい増幅器として液体窒素直接冷却TRAMレーザーを提案し、その特徴について述べ、発振実験・再生増幅実験・熱解析を通して高平均出力動作の可能性を検証した。

第4章では、次世代高出力レーザーにおける主増幅器の要素技術開発として、また同時に原理実証実験器である1J, 100Hz半導体レーザー励起固体レーザーのフロントエンドシステムとして、液体窒素直接冷却型TRAMを用いた

チャープパルス再生増幅システムを構築し、その増幅特性・ビーム品質について評価した。

第5章では、玄武-Kidレーザーの主増幅器として、液体窒素直接冷却型TRAMを採用した1J、100Hzを目指した設計を行うと共に、次世代高出力レーザー応用を目指して開発した超短パルスレーザー計測技術及び波長変換技術について述べた。

第6章では、次世代のレーザーシステムの光学素子として、低電圧駆動安定動作が期待される低温冷却DKDPポッケルセルを提案し、冷却した際の電気光学特性について評価した。

第7章は結論であり、得られた結果をまとめ、本論文の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

慣性核融合炉用レーザーにはメガジュール級の高いパルスエネルギーのみならず、10Hz以上の繰り返し動作が求められる。高いパルスエネルギーを発生できるのは大口径のレーザー材料が実現できるガラスレーザーであるが、レーザー材料内に蓄積される熱による光学歪みのために数時間に1回のレーザー動作しかできない。一方、高い繰り返し動作に対応できる高熱耐力の結晶型レーザーは育成できる結晶サイズの制限により得られるパルスエネルギーは100Jに満たない。いずれのレーザー材料を使用してもパルスレーザーの最大平均出力は現在のところ1kW程度である。これを超える次世代高出力レーザーの実現は慣性核融合や宇宙デブリ除去、新しい中性子源、PETなど様々な研究・産業分野において強く切望されている。次世代高出力レーザー実現に必要な要素技術は従来にない光学材料の研究開発であり、特にレーザー材料や機能性光学材料の研究開発が不可欠である。本研究は高パルスエネルギーと高繰り返し動作を同時に実現する次世代高出力レーザーに必要な光学材料の高性能化に関する一連の研究をまとめたものであり、その成果は以下のように要約できる。

- (1) 優れた物性値を有する光学材料を得るために既存材料の温度制御により連続的に物性値を制御することに着目し、理論・実験の両面から定量的な評価を行うことで用途に合わせた最適化により高性能化が実現できることを示唆している。
- (2) 次世代高出力レーザーの最も重要な開発項目であるレーザー材料について、イッテルビウムヤグ結晶の誘導放出断面積や熱伝導率について極低温から室温にいたる温度依存性を測定し、低温冷却型イッテルビウムヤグ結晶が最も優れたレーザー材料になり得ることを示唆している。
- (3) 次世代高出力レーザー増幅器について種々の増幅形態を検討しアクティブミラー型増幅器の高いスケラビリティと高い熱耐力の利点を生かしながら低い光学的ダメージ閾値という欠点を補った全反射型アクティブミラー増幅器を独自に考案し、コンポジット型セラミクスにより実現した同増幅器の実機を開発して小出力ながら高い効率と2J/cm<sup>2</sup>を超える高いパルスエネルギーフルーエンスによる繰り返し動作を実証している。
- (4) 光スイッチや光アイソレータ用材料であるDKDP結晶の電気光学定数の温度依存性を測定し、236Kにおいて室温時の8倍に当たる192pm/Vの高い電気光学定数を得ている。室温時の約8分の1の低電圧動作と約4分の1の消費電力は、従来駆動用電気スイッチング素子として利用されてきたサイラトロンから高い繰り返し動作が可能で高い動作信頼性を持つ半導体素子への移行の可能性を示唆している。
- (5) 一連の基礎実験を通して得た物性値や原理実証から低温冷却型光学材料を利用した1kJ、100Hz級高出力レーザーを概念設計している。これは現在考えられる最も高性能な高出力レーザーシステムであり、コヒーレントビーム結合技術を利用する更なる高出力化により数多くの既存分野の発展と新規産業分野の開拓が期待される。

以上のように、本論文は既存のレーザー材料や能動光学素子を低温冷却型光学素子の観点から新規レーザー材料として研究開発し、レーザー動作に必要なパラメータの取得および実証実験を通して次世代高出力レーザーの概念設計を理論的・実験的な根拠に基づいて行ったことは同分野の発展に寄与するところが大きいと思われる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。