

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高効率・高出力太陽光励起固体レーザーの開発
Title(English)	
著者(和文)	チンタンフン
Author(English)	Thanh Hung Dinh
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9448号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:矢部 孝,大竹 尚登,井上 剛良,野崎 智洋,青木 尊之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9448号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	11D10049	号	学位申請者氏名	DINH, Thanh Hung	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	矢部 孝	教授	審査員	青木 尊之	教授
	審査員	大竹 尚登	教授			
		井上 剛良	教授			
野崎 智洋		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「高効率・高出力太陽光励起固体レーザーの開発」と題し、6章より構成されている。太陽光はクリーンで無尽蔵なエネルギー源であるが、エネルギー密度が低く、広帯域スペクトル光であるため、有効利用に課題がある。このような太陽光エネルギーをより価値の高いエネルギー形態へと変換する必要がある、その一つとして注目されている太陽光励起レーザーの新しいシステムを考案し、高効率・高出力化を図ることを目的としている。

第1章「緒言」では、宇宙開発用のエネルギー伝搬やレーザーによる高温発生など付加価値の高い応用を提供することができる、太陽光励起レーザーに関する従来の研究の動向を調査している。特に、太陽光エネルギーをマグネシウムの化学エネルギーに貯蔵するための、酸化マグネシウムの還元技術に注目し、それに必要なレーザーの要件を求め、従来型のレーザー技術では開発されていない太陽光励起レーザーの励起光集光光学システム及びレーザー材料の開発が必要であることを述べている。

第2章「太陽光励起レーザーの基礎理論」では、固体レーザーの最も基本的な原理について説明している。まず、太陽光励起レーザーにおける各パラメータとレーザー出力を関連づけて、太陽光励起レーザーの高効率化・高出力化への課題とその対策について論じている。その結果、レーザー媒質に対し、熱破壊の限界を超えないように励起パワー密度を高めるためには、励起パワー分布を均一にする励起光集光技術の開発が重要であることを指摘している。

第3章「励起光の三次集光系の考案」では、太陽光励起レーザーの高効率・高出力化のために、従来の二段階での励起光集光系のハイブリッド励起チャンパーに“Liquid Light-Guide Lens”と呼ばれる新たな第三段階目の集光器を設置し、レーザー媒質の一様励起を行うという独創的な集光系の提案を行っている。この三次集光系は、冷却剤の屈折率と空気の屈折率の差を利用することで、集光レンズのように働くよう設計されている。この設計のために光線追跡計算手法を開発し、実験との比較により計算モデルの検証を行っている。この光線追跡計算を用いて三次集光系の集光性能を比較した結果、 $\Phi 6 \times 100$ mm Nd:YAG レーザー媒質に対しては、外径14 mm 円柱三次集光系が最適であり、媒質の吸収分布は一様となり、総吸収量も三次集光系のない場合に比べて1.2倍に向上することを見出している。

第4章「実験による三次励起光集光系の性能評価」では、太陽光を用いたレーザー発振実験により第3章で設計した三次集光系の性能を評価している。三次集光のない場合に比べ、三次集光系を採用することで、連続発振レーザー出力が2倍の120 W、太陽光励起レーザーのスロープ効率が1.6倍の4.3%となっている。また、集光器の受光面積に対するレーザー出力の割合が、従来の最高記録の1.5倍である30 W/m²を達成している。また、レーザーの変換効率は3.2%であり、通常の商用ランプ励起レーザーと同程度の高い性能を持つことを明らかにしている。レーザー媒質への熱の影響については、レーザー出力の時間変化を測定し、熱の影響による出力の低下がほとんどみられなかったとしている。実際、レーザー媒質内部の温度分布と熱破壊について熱解析を行い、これを確認している。今後、フレネルレンズと二次集光系の製造過程による集光損失の問題を解決すれば、レーザー出力240 Wが可能であることを予測している。

第5章「レーザー媒質の評価」では、太陽光励起レーザーに用いるレーザー媒質について検討している。レーザー媒質として開発途上であるCr/Nd:YAGセラミックスと、従来から用いられているNd:YAG結晶とを比較するため、光学特性である飽和強度 I_s と散乱係数 α_s を測定し、連続発振における熱の影響を評価している。実験結果から、Cr/Nd:YAGセラミックスについては、 $I_s = 2.20 \times 10^7$ W/m²と $\alpha_s = 4.0$ m⁻¹となり、Nd:YAGの飽和強度 I_s の0.77倍と小さいが、散乱係数は2倍大きいために、Cr/Nd:YAGレーザーの出力がNd:YAGの0.5倍と小さくなったのであると結論づけている。また、共振器長によるレーザー出力の変化を測定し、Cr/Nd:YAGセラミックスはNd:YAGより、熱の影響を受けやすいことも明らかにしている。

第6章「太陽光励起レーザーによるMgの生成」では、光ファイバーにより伝送された太陽光励起レーザーを用いて、酸化マグネシウムからマグネシウムへの還元実験を行い、世界で初めて太陽光励起レーザーを用いたマグネシウムの生成に成功している。レーザー出力が低いため、マグネシウムエネルギーサイクルの総合効率は0.05%であったが、更なる太陽光励起レーザーの高効率・高出力化により、マグネシウムエネルギーサイクルを実現できる可能性を示している。

第7章「結言」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の課題と展望について述べている。

以上、要するに本論文は、三次集光系というまったく新しい太陽光励起レーザーシステムの提案を行っており、従来の2倍の出力を実現し、太陽光励起レーザーの高効率化への指針を与えたものであり、工学上・工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)論文として十分な価値があるものと認められる。