

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)

Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	DINH, Thanh Hung		指導教員 (主)： 矢部 孝 教授
			指導教員 (副)：
			Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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、広帯域なスペクトルを持つ光であるため、有効に利用するためには多くの課題がある。このような太陽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。

太陽光励起レーザーは、インコヒーレントである太陽光を励起光源としてコヒーレントなレーザー光に変換することで、その直進性を生かした宇宙から地球へのエネルギー伝搬や、その集光性を生かした高パワー密度が必要な化学反応の実現など価値の高い応用を提供することができる。例えば、太陽エネルギーをマグネシウムの化学エネルギーとして貯蔵するために、太陽光励起レーザーによる酸化マグネシウムの還元技術が提案されている。しかし、これらの技術を実用化するには、太陽光励起レーザーの高性能化が必須となる。そこで、本研究では、太陽光励起レーザーの励起光の集光系の光学システム及びレーザー媒質の材料に着目し、太陽光励起レーザーの高効率・高出力化を目的とする。本論文は6章からなり、その構成は次の通りである。

第1章「緒言」では、本研究の背景、従来の研究の動向、本研究の範囲と目的、本論文の構成について述べている。

第2章「太陽光励起レーザーの原理と構成」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ー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る。その結果、レーザー媒質に対して熱破壊の限界を超えないように励起パワー密度を高め、なおかつ励起パワーの分布を均一にする励起光の集光技術の開発の重要性を示した。

第3章「励起光の三次集光系の設計と解析」では、独創的な励起光の集光系の開発を行っている。従来の円錐型の二次集光系内部に“Liquid Light-Guide Lens”(LLGL)と呼ばれる新たな第三段階目の集光器を設置することで、励起光の集光効率の向上とレーザー媒質の励起が同時に実現可能となる。この三次集光系は冷却水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集光器である。まず、励起光の集光系を設計するための光線追跡法によるシミュレーターを開発し、実験による計算モデルの検証を行い、計算と実験との一致を確認した。その後、シミュレーターを用いて三次集光系の集光性能を明らかにし、三次集光系の形状を適当に選ぶことで媒質の励起が実現できる可能性を示した。実際に、Φ6×100-mmのNd:YAGのレーザー媒質に対し、外径14mmの円柱の三次集光系(LLGL_D14)を利用することで、均一な吸収分布が実現できることを計算により確認した。その時、媒質による励起光の総吸収量は、三次集光系を採用しない場合と比べて1.2倍に向上した。また、三次集光系の冷却効果に関して、レーザー媒質の内部の温度分布と熱応力について議論を行い、レーザー媒質の破壊の危険性が小さくなることを示した。

第4章「三次集光系を用いたレーザーの性能評価」では、レーザー発振の実験により第3章で設計した三次集光系の性能を評価している。三次集光系を採用することで、三次集光のない場合に比べて連続発振での出力が2倍の120W、スロープ効率が1.6倍の4.3%へとそれぞれ向上した。また、一次集光器の受光面積に対するレーザー出力の割合が30W/m²を達成した。これは従来の研究で得られている最大値の1.5倍である。また、太陽光からレーザーへの総合変換効率が3.2%であり、通常の商用のランプ励起のレーザーと競争できる高い性能を持つ。さらに、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について確認する。その結果、三次集光系を用いた場合は熱の影響による出力の低下がほとんどみられなかった。Φ6×100-mmのNd:YAGとLLGL_D14を利用することで、レーザー発振効率は0.062、ビームオーバーラップ効率は0.88、ビーム品質M²は137、ビームメリットファクターBは6.3×10⁻³Wと、実験の中で最も高い結果を得た。最後に、フレネルレンズと二次集光系の製造過程による集光ロスの問題を解決すれば、レーザー出力が240Wを達成できることを示した。

第5章「レーザー媒質の評価」では高効率・高出力な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。比較検討するレーザー媒質は、開発途上であるCr/Nd:YAGのセラミックスと、従来の研究で用いられたNd:YAGの結晶とである。まず、Cr/Nd:YAGのセラミックスの光学特性である飽和強度I_Sと散乱係数α_{sca}を測定し、連続発振におけるレーザーに対する熱の影響を評価している。レーザーの出力ミラーを変化させた出力特性を測定した実験結果から、Cr/Nd:YAGのセラミックスのI_S=2.20×10³W/cm²とα_{sca}=0.004cm⁻¹を求めた。この結果、Nd:YAGの結晶の値と比べ、飽和強度I_Sは1.3倍小さくなっているが、散乱係数は2倍高くなっているため、Cr/Nd:YAGレーザーの出力は0.5倍と小さかった。また、共振器長を変化させた時のレーザー出力の変化を測定した結果から、Cr/Nd:YAGのセラミックスはNd:YAGの結晶より、熱の影響を受けやすいことを明らかにした。

第6章「太陽光励起レーザーによるマグネシウムの生成」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の実験を行っている。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た。この結果、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。

第7章「結言」では、本研究から得られる結果を要約し、結言とする。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	機械物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	DINH, Thanh Hung		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	矢部 孝 教授	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

There is no doubt that natural sunlight is an ultimate energy resource for future. Solar-pumped laser (SPL), that converts incoherent and broad-band sunlight to coherent and narrow-band laser radiation, can provide more additional value for solar energy usage. Improving lasing output performance and conversion efficiency of solar-pumped solid-state laser are the main concern of this thesis.

Firstly, a unique pumping scheme for high power SPL is proposed. The natural sunlight is collected by a primary concentrator which is a 2×2-m Fresnel lens, and confined by a cone-shaped hybrid concentrator. Such solar power is coupled to a laser rod by a cylinder of coolant surrounding called a liquid light-guide lens (LLGL). Performance of cylindrical LLGL has been characterized analytically and experimentally. Since, a 14-mm diameter LLGL generates an efficient and uniform pumping along 6-mm diameter and 100-mm length Nd:YAG rod, 120 W cw laser output is achieved with beam quality factor M^2 of 137 and overall slope efficiency of 4.3%. The collection efficiency is 30.0 W/m² which is 1.5 times larger than the previous record. The overall conversion efficiency is more than 3.2 % that can be comparable to electrically powered solid-state laser.

Secondly, the author raises a question about superiority of Cr/Nd:YAG ceramics which has got the best lasing results in recent progress. Saturation gain and scattering coefficient of Cr/Nd:YAG ceramics are measured in comparison with common Nd:YAG crystal. These values are 2.20×10^3 W/cm² and 0.004 cm⁻¹, respectively. In contrast, the saturation gain of Cr/Nd:YAG ceramics is slightly smaller than that of Nd:YAG crystal. However, the 2 times larger scattering loss of Cr/Nd:YAG ceramics leads to strong decrease of the laser output power. Therefore, Nd:YAG crystal is currently the best laser medium for SLP.

Finally, the concept design of SPL system for future is pointed out. Furthermore, the reduction of magnesium from magnesium oxide is successfully demonstrated by SPL.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).