

Title	半導体レーザー励起ロッド型固体レーザーの高性能化に関する研究
Author(s)	平野, 嘉仁
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42720
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	平野嘉仁
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第16383号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	半導体レーザー励起ロッド型固体レーザーの高性能化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中井 貞雄
	(副査) 教授 井澤 靖和 教授 西川 雅弘 教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行 教授 三間 罔興 教授 西原 功修 教授 粟津 邦男 助教授 山中 正宣

論文内容の要旨

本論文は、半導体レーザー(LD)励起固体レーザーにおいて、構造が簡単なことから実用上多くの利点があるロッド型固体レーザーの高性能化に関する技術の体系化を行うと共に、ロッド型固体レーザーが実用上の観点からも高性能レーザーとして適していることを出力200Wクラスのレーザー動作実証を通して初めて示した成果をまとめたもので、全7章より構成されている。

第1章は、緒論であり、本研究の背景と意義についてまとめている。

第2章では、本研究の核となるLD励起ロッド型固体レーザーの高性能化において、キーとなる構成要素の課題を抽出し、レーザー動作の基礎に基づき、それらの課題の解決法、要素毎の高性能化方策を新たに提案している。

第3章では、小型レーザー構成に有効なLD端面励起方式に関し、励起光学系を要せずレーザーロッド自身を励起光学系として用いる簡単な構成で、長尺のロッドの中で励起分布の制御可能な独自の極細ロッド励起方式を提案し、高いビーム結合効率と高励起効率を同時に実現している。

第4章では、大出力化に向くが、高ビーム品質での高出力化が困難であったLD側面励起方式に関し、これまでのロッド型固体レーザーで高輝度発振を妨げてきたレーザーロッド内の熱収差を発生させない励起分布形状であるトップハット形の励起分布を形成できる新しいLD側面励起方式を提案し、熱収差の無いレーザーロッド増幅器を世界で初めて実証している。

第5章では、本研究の最大の成果となる、ロッド型固体レーザー発振器の高性能化を図っている。熱収差の発生が無い励起方式と、これまで熱複屈折補償構成として知られて来た構成を対称型共振器に適用しレーザーロッドで発生する熱複レンズ効果を平均化する手法と、この平均化された熱レンズ効果を共振器内に挿入されたレンズにより補償する3つの熱歪み補償から構成される独自の共振器構成手法により、回折限界のビーム品質で世界最大となる208Wの平均出力動作を達成している。

第6章では、高ピークパワーレーザーの実現で一般的な手法であるMOPA(Master Oscillator-Power Amplifier)方式のロッド型固体レーザーの高性能化を図っている。ここでは、往復型共振器における往路と復路のパルス重なりによる取り出し効率の劣化について計算を行い、パルス重なりの有無により効率が最大20%も異なることを明らかにしている。また、非線型結晶KTPを用いた第2高調波発生を行い、世界トップクラスの性能となる緑色光平均出力132W、ピークパワー1.38MWの高平均、高ピーク波長変換動作を波長変換効率65.2%で達成している。

第7章は結論であり、得られた成果をまとめ、本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

固体レーザーの中で、構造が簡単なことから実用上最も多く用いられてきたロッド型固体レーザーにおいて、特に半導体レーザー（LD）励起ロッド型固体レーザーの高性能化を目的とし、高効率化、高平均出力化、高ピーク出力化、高ビーム品質化、高信頼化などの高性能化に関する研究を行っている。本研究の各章で得られた主な成果は以下の通りである。

第2章ではLD励起ロッド型固体レーザーの高性能化におけるキーとなる構成要素の課題を抽出し、本研究の基本となる構成要素ごとの高性能化方策を提案している。LD励起部においては、細径で長尺のロッドを高効率で均一に励起するとともに、側面を有効に使う排熱する構成が有効であることを明らかにしている。出力結合部では高ピーク動作時の高信頼化を図るため、共振器内エネルギー密度を損傷閾値以下に保つ条件で最大効率を得るための出力鏡反射率の最適化を新たに行っている。発振器構成に関しては、これまで熱複屈折補償構成として知られてきた構成を対称型共振器構成に適用することによりレーザーロッドの持つ熱複レンズを平均化し、共振器内に挿入しているレンズによりTEM₀₀モードにおける安定動作領域を高励起パワー領域にシフトする高輝度化手法を、初めて体系化している。増幅器構成においては、共振器構成と同様に熱複屈折補償構成を用いるのに加え、リレー光学系を用いることで非点収差を最小に抑えられることを示している。

第3章では、LD励起方式の中で、端面励起方式について第2章の方策をさらに展開して独自の励起方式を提案するとともに、実証によりその有効性を示している。長尺ロッドで発生熱を分散させる端面励起固体レーザーの高輝度化に繋がる新方式として、レーザーロッド自身を励起光学系として用い、長尺のロッドの中で励起分布の制御可能な独自の極細ロッド励起方式を初めて提案し、実験により、励起分布制御性と高効率性を確認している。

第4章では、LD励起方式の中で、大出力化には向く側面励起方式について独自の励起方式を提案するとともに、実証によりその有効性を示している。スタック型のLDで発生している励起光を高密度にビーム合成し、小さい穴から拡散型励起キャビティーに導入することで、細径のレーザーロッドを高密度励起するとともに、熱収差が発生しない唯一の励起分布であるトップハット型の励起分布を形成できる2つの拡散型キャビティー励起方式として、LDのスタック方向とレーザーロッドの軸方向を垂直としたDPAD方式及び、LDのスタック方向とレーザーロッドの軸方向を垂直としたHiDiCAD方式を提案している。DPAD方式において、直径3mmの細径のレーザーロッドを励起することでトップハット型の励起分布が形成できることを実証し、透過波面収差を測定することにより、熱収差の無いレーザーロッド増巾器を実現できることを世界で初めて実証している。HiDiCAD方式においてトップハット型の励起分布に不均一が発生しないことを計算と実測において検証している。側面励起型のロッド型固体レーザーにおけるもう一つの課題である伝導冷却の困難性に対し、熱伝導率の高い材料で作った固体励起キャビティー内にレーザーロッドを配置し、励起キャビティーを励起光の閉じ込めとロッドに対する熱拡散器として利用することで、側面からの高い排熱効率と高い励起効率を同時に実現する万華鏡キャビティー励起方式を提案し、励起キャビティーにMgF₂を用いた実験により0.2°C/Wと低い熱抵抗値、72Wという伝導冷却方式ロッド型固体レーザーでの世界最大出力を励起効率85%で実証し、文字通りの全固体ロッド型固体レーザーを世界で初めて実証している。

第5章では、高輝度、高効率Qスイッチ動作について実証を行った結果について述べている。高輝度動作では、第4章で述べたDPAD方式により初めて実証された熱収差の無いレーザーロッドと、これまで熱複屈折補償構成として知られて来た構成を対称型共振器に適用しレーザーロッドで発生する熱複レンズ効果を補償する手法と、平均化された熱レンズ効果を共振器に挿入されたレンズで補償する3つの熱歪み補償を有する高輝度共振器構成を用いて、世界最大となる208WのTEM₀₀モード動作を実証している。高輝度化手法をQスイッチ動作にも適用し、これまで、位相共役鏡を用いた発振器-増幅器構成でしか実現出来ていなかった、回折限界のビーム品質、偏光出力での1MW以上のピークパワーを高繰り返し（5kpps）で発生している。

第6章では、これまでの高ピークパワーレーザーの実現で一般的な手法である固体レーザー発振器-増幅器構成に

において新しく開発した手法により高信頼化を図ることを検証している。4章で述べた HiDiCAD 方式による熱収差の無いレーザーロッドと、これまで熱複屈折補償構成として知られて来た構成を像転送光学系と組み合わせレーザーロッドで発生する熱複レンズ効果を補償する手法と、平均化された熱レンズ効果を焦点可変鏡で補償する3つの熱歪み補償を有する往復型増幅器構成で、世界トップレベルの性能として繰り返し2.4kHzで220Wの平均パワーで高いビーム品質を得、本方式が高信頼な高ピークパワー、高平均パワー発生に有効な方式であることを実証している。往復型増幅器の取り出し効率に関して、往路と復路のパルスの時間重なりが生じることで、取り出し効率が劣化することを実験と計算により初めて示している。固体レーザー発振器-固体レーザー増幅器構成を用いた第2高調波発生実証を行い、世界トップレベルとなる平均出力132W、ピークパワー1.38MWの緑色光を、高い波長変換効率65.2%で達成するとともに、世界で初めて100時間の連続動作により 8.6×10^8 ショットの高信頼動作を実証している。

以上のように本論文は、半導体レーザーの高性能化を総合的かつ体系的に行い、平均出力200W級の半導体レーザー励起ロッド型固体レーザーが真の意味での固体レーザー高性能化の一翼を担えることを初めて示している。本研究成果はレーザー工学領域に新しい知見を与えており、電磁エネルギー工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。