

Title	半導体レーザー励起固体レーザーの開発に関する研究
Author(s)	内藤, 健太
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/38215">https://hdl.handle.net/11094/38215</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

氏名	内藤健太
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第10764号
学位授与年月日	平成5年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電磁エネルギー工学専攻
学位論文名	半導体レーザー励起固体レーザーの開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中井 貞雄 (副査) 教授 権田 俊一 教授 佐々木孝友 教授 西川 雅弘 教授 三間 罔興 教授 青木 亮三 教授 三宅 正宣 教授 井澤 靖和 教授 西原 功修

### 論文内容の要旨

本論文は、半導体レーザー(LD)励起の大出力固体レーザーの開発に関する研究の成果をまとめたものであり、8章より構成されている。

第1章は緒論であり、レーザー核融合炉実現計画における炉用レーザードライバ開発の重要性について述べ、さらに炉用レーザードライバ開発におけるLD励起固体レーザードライバの位置づけを行い、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、新たに開発した概念設計手法を用いて、波長350nm、出力4MJ、総合効率12%、繰り返し率12HzのLD励起固体レーザードライバについて概念設計を行い、技術的・経済的実現性を十分に有することを示すとともに、実現に向けての研究開発課題を明らかにしている。

第3章では、ディスク型固体レーザー増幅器のガス冷却技術に関する一考察として、冷却ガス流方向におけるディスク内の温度分布を熱流解析コードを用いて評価し、ディスクの両面に流す冷却ガス流の方向を対向させる方式を提案している。この方式は、LD励起固体レーザードライバに必要な大面積ディスクのガス冷却に有用な方法であることを示している。

第4章では、LD励起固体レーザードライバに必要なピーク光出力強度と駆動パルス幅を有し、現在入手可能で且つ標準的なパルス駆動高出力2次元LDアレイの出力光の波長チャープ量を測定するとともに、2次元LDアレイの熱解析を行い、その原因を明確にしている。また、新たに開発した手法を用いて、2次元LDアレイの波長チャープも含めた出力光スペクトル特性を測定している。これらの結果から、LD励起固体レーザードライバ用には5nm程度の励起波長帯幅をもつ固体レーザー材料が有望であることを示している。

第5章では、励起波長帯幅の広いLD励起固体レーザーとして、LD励起Nd:YVO<sub>4</sub>レーザーとLD励起Nd:CNGGレーザーの分光学的特性とレーザー特性について述べている。Nd:YVO<sub>4</sub>レーザーはその結晶の誘導放出断面積がNd:YAGの3.3倍も大きく、高効率なCWレーザーとして有望であることを示している。またNd:CNGGレーザーはCNGG結晶のディスオーダー性により励起光吸収帯幅が広く、LDアレイ励起に適した高ピークパワー・高繰り返しレーザーとして有望であることを示している。

第6章ではLD励起Nd:YAGレーザー再生増幅システムを設計・試作し、再生増幅器のエネルギー抽出特性について検討している。増幅度71dBと抽出効率50%を同時達成し、再生増幅器の高増幅度、高エネルギー抽出特性を

初めて実証するとともに、概念設計に用いた理論モデルの有用性を示している。

第7章では、固体レーザー材料の透過スペクトル・蛍光スペクトル・蛍光寿命の測定値から、レーザー性能を評価する Judd-Ofelt 解析システムを構築し、この解析システムは固体レーザー材料の開発研究を効率よく進めていくのに有用であることを示している。

第8章は結論であり、得られた成果をまとめ、本論文の総括を与えている。

## 論文審査の結果の要旨

レーザー核融合炉用レーザードライバーとして、高効率、高繰り返し率、大出力の紫外光を発生できる半導体レーザー励起固体レーザーを開発する必要がある。

本論文は、半導体レーザー (LD) 励起固体レーザーによる核融合炉用レーザードライバーの開発を目的として行った研究をまとめたものであり、主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) LD励起固体レーザードライバーの実現可能性を技術的に評価し、今後の研究開発課題を明かにする上で有用な概念設計手法を新たに開発している。

開発した概念設計手法により、5種 (LHG 8 ガラス, HAP ガラス, Nd : シリカガラス, Nd : YAG 結晶, Nd : Y : CaF<sub>2</sub> の結晶) の典型的な固体レーザー材料による LD励起固体レーザードライバーの概念設計を行っている。設計の仕様は波長350nm でレーザー出力4 MJ, レーザー総合効率12%, 繰り返し率12Hz であり、その結果、3種の固体レーザー材料 (HAP 4 ガラス, Nd : シリカガラス, Nd : Y : CaF<sub>2</sub> 結晶) で設計されたドライバーは、技術的、経済的に実現可能なレベルにあることが示されている。

開発した概念設計手法を応用して、LD励起固体レーザードライバーに望まれる固体レーザー材料の物性値について検討を行い、その結果、飽和パラメーターとして4~10J/cm<sup>2</sup>, 熱ショック定数として3 W/cm<sup>2</sup>以上, 蛍光寿命として200 μs 以上の物性値を持つ固体レーザー材料を用いれば実現性の高いLD励起固体レーザードライバーが設計できることを明らかにしている。

- (2) ディスク型固体レーザー増幅器のガス冷却技術に関する一考察として、冷却ガス流の方向とディスク内の温度分布との関係を熱流解析コードを用いて評価し、ディスクの両面に流れる冷却ガス流の方向を対向させる方式を提案している。この方式は、ガス流を対向させない方式に比べてガス流方向のディスク温度勾配、即ち増幅ビーム断面内における光路長変化を低減でき、LD励起固体レーザードライバーに必要な大面積ディスクのガス冷却に有用な方法であることを示している。

- (3) LD励起固体レーザードライバーに必要な出力特性をほぼ有し、現在のところ比較的入手が容易で標準的なパルス駆動高出力2次元LDアレイ (ピーク光出力強度2.5kW/cm<sup>2</sup> 駆動パルス幅数100 μs, 繰り返し率10Hz) について、発振波長が時間的に変化する現象 (チャージング) の測定と発生機構の解明を中心に出力光スペクトルの検討を行っている。

まず、波長チャージング量を実測し、そしてLDアレイの熱解析を行い、このチャージングが駆動パルス中のLDアレイの過渡的溫度上昇によるものであることを初めて定量的に明らかにしている。また、この波長チャージング量は外部装置の熱除去能力にはよらないものであること、駆動パルス幅によらずパルス中の熱負荷エネルギーでほぼ決定されると考えて良いことを示している。

次にNd : YAGの吸収線を利用した新たな測定手法により2次元LDアレイの波長チャージング量を含めた出力光スペクトルを評価し、この測定手法によって波長チャージング量のみならず、複雑なスペクトル形状をもつ2次元LDアレイの実効的な発振スペクトル幅と発振波長も簡単に評価することが出来ることを示している。そして、大面積ディスクの均一励起を必要とするLD励起固体レーザードライバーとして、励起光吸収スペクトルがなだらかで且つ約5 nm のスペクトル幅を有している固体レーザーが必要であることが示されている。

- (4) 励起波長帯の広いLD励起Nd : YVO<sub>4</sub> レーザーとLD励起Nd : CNGG レーザーを開発し、その分光学的特性とレーザー特性について明らかにしている。

Nd : YVO<sub>4</sub>レーザーは、実効誘導放出断面積がNd : YAGの3.3倍も大きく、Nd : YAGよりも高効率で小型化が可能なCWレーザーとして有望であることを示し、また、Nd : YVO<sub>4</sub>はLD励起波長に対する吸収係数がNd : YAGの6倍以上も大きいので、LD励起波長の変化に対する励起光吸収長の変化が小さく、結果としてLD励起発振出力の励起波長依存性が小さいことを明らかにしている。

ディスオーダード結晶を宿主とする新しいタイプの固体レーザーであるNd : CNGGレーザーについて発振実験を行い、LD励起ディスオーダード結晶レーザーとしては、世界最高のスロープ効率(24.2%)と光-光エネルギー変換効率(19.3%)を達成している。Nd : CNGGレーザーはCNGG結晶のディスオーダード性により励起光吸収帯幅がNd : YAGの4倍も広く、このためLD励起発振出力の励起波長依存性が小さいことを明らかにしている。また、LDアレイで励起した場合にはNd : YAGよりも高い励起密度を達成でき、LDアレイ励起による高ピークパワー、高繰り返しレーザーとして有用であることを示している。

- (5) LD励起Nd : YAG再生増幅器を設計・試作し、再生増幅器のエネルギー抽出特性について実験的検討を行っている。

まず試作した再生増幅器は繰り返し率50Hzで動作させることができ、初期小信号利得3.2において増幅出力として6.0mJが得られており、このとき増幅度は71dB、エネルギー抽出効率は50%であり、再生増幅器による高増幅度と高エネルギー抽出効率の同時達成を初めて実証している。また、これらの値は、LD励起の固体レーザー再生増幅器としては世界最高の値である。

次に再生増幅器におけるエネルギー抽出効率と初期小信号利得の関係を測定し、概念設計で再生増幅器のエネルギー抽出特性の評価に用いたLowdermilkとMurrayの理論モデル(LMモデル)の検証を行っている。その結果、LMモデルによって得られるエネルギー抽出特性が実験値と良く一致することを初めて明らかにし、LMモデルによる再生増幅器のエネルギー抽出特性の評価の有効性を実証している。

- (6) 固体レーザー材料の透過スペクトル・蛍光スペクトル・蛍光寿命の測定値から、レーザー性能を評価するJudd-Ofelt解析システムを構築し、このシステムをNd : 燐酸塩ガラスに適用して、その有用性を示している。この解析システムは固体レーザー材料の開発研究の能率向上に有用であると考えられる。

以上のように、本論文はレーザー核融合炉用のLD励起固体レーザードライバの概念設計手法を新たに開発し、LD励起固体レーザーは炉用レーザードライバとして技術的・経済的な実現可能性を十分に有することを明らかにしている。次にディスクの大面积均一冷却に有用な冷却方式の考案、2次元LDアレイの発振光スペクトル特性の測定、励起波長帯の広いLD励起固体レーザーの開発、再生増幅器の高エネルギー抽出効率の実証、固体レーザー材料の性能評価システムの構築など、基礎的検討を行い、LD励起固体レーザードライバの開発に関して有用な知見を得ている。これらの知見は、LD励起固体レーザーによるレーザー核融合炉用ドライバの開発に寄与するのみならず、LD励起大出力固体レーザーの性能・実用性・生産性の向上、応用分野の拡大などにも有用であり、核融合工学に寄与する所大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。