The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	半導体レーザー励起高効率ハイパワー固体レーザーの開発に関する研究
Author(s)	近江, 雅人
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3081464
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【45】

氏　　名	近　江　雅　人（おうみ まさと）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　11891　号
学位授与年月日	平成7年3月23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高効率ハイパワー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 教　授　権田　俊一　　教　授　中塚　正大　　教　授　西川　雅弘 教　授　三間　圀興　　教　授　青木　亮三　　教　授　桂　　正弘 教　授　井澤　靖和　　教　授　西原　功修

論文内容の要旨

本論文はハイパワーレーザーの産業応用に必要とされる諸特性に着目し，且つ将来の慣性核融合炉用ドライバーとしての評価を行うための基礎的データの取得を目的として行った半導体レーザー（ＬＤ）励起高効率ハイパワー固体レーザーシステムの開発に関する研究結果についてまとめたものであり，７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に向けてのＬＤ励起固体レーザードライバーの重要性について述べ，本研究の目的と意義を明らかにしている。

第２章では，本論文の主テーマである核融合炉用レーザーの概念設計を行い，それに基づいてＬＤ励起高効率ハイパワーNd：YAGレーザーシステムの設計，及び技術的な問題点を明らかにしている。

第３章では，ＬＤ励起強制モード同期ＱスイッチNd：YAGレーザーを製作し，これによりＡＢＣＤ光学マトリックスを用いたスポットサイズ解析による熱レンズ効果の補償と非点収差の補償を行い，モード同期特性を明らかにしている。

第４章では，ＬＤ励起再生増幅器を設計・製作し，高利得，高エネルギー抽出効率を同時達成し，実験結果との比較により理論モデルの有用性を示している。

第５章では，ＬＤ表面励起ディスク型増幅器を設計・製作し，高エネルギー抽出特性を得ている。また，この増幅器において高励起時に熱複屈折による透過損失が生じることを明らかにしている。また，高繰返し動作時の波長変換特性を評価している。

第６章では，熱複屈折効果に関して新たに高感度の測定装置を開発し，２次元的に表示することに成功している。それを第５章のディスク型増幅器の複屈折の評価に適用し，複屈折による損失を考慮したディスク型増幅器の増幅特性が理論と良く一致していることを明らかにしている。また，能動波長板を初めて考案し，その動作特性を明らかにしている。

第７章は結論であり，得られた結果をまとめ，本論文の総括を与えている。

論文審査の結果の要旨

レーザーの広範な科学技術分野への応用は近年急速に広がっており，それに伴ってレーザー及びレーザーシステムも格段に進歩してきている。特に，半導体分野の技術進歩を受けて半導体レーザー（ＬＤ）の長寿命化，高出力化等の高性能化が進み，これを励起源としたＬＤ励起固体レーザーがこれまでにない高効率，高繰返し動作の可能性を持つ高性能レーザーとして世界的に注目されている。さらに，核融合研究用として用いられてきた従来のフラッシュランプ励起固体レーザーでは炉用ドライバーとして必要な高効率，高繰返し動作の達成が困難とされているため，この問題を解決できるＬＤ励起固体レーザーが期待されている。

本論文は，産業への応用も視点に入れ，且つ将来のレーザー核融合炉用ドライバーの基礎的データの取得もできる高効率，ハイパワー，高繰返しのテーブルトップサイズのＬＤ励起Nd：YAGレーザーシステムの開発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励起高効率ハイパワーNd：YAGレーザーシステムの概念設計を行い，技術的な問題点を明らかにし，かつ小型装置を製作し，実際に動作させることにより，高効率，高繰返し特性，これに伴う種々の熱的な特性を評価するなど将来の核融合炉用ドライバーに必要な要素技術の開発を行っている。これらの成果は産業応用に直ちに役立つとともに将来の炉用ドライバーとしてのＬＤ励起固体レーザーの有効性を示すものである。

(2) ＬＤ励起Nd:YAGレーザーＭＯＰＡシステムの発振器部であるＣＷ・ＬＤ励起強制モード同期Ｑスイッチ発振器の設計，製作，動作特性の評価により以下の知見を得ている。

(a) 励起時のレーザー結晶内の熱レンズの焦点距離を実測し，熱レンズ焦点距離 f_r は局所的な強い熱レンズ効果を平均化しているためメートルオーダーの比較的弱い熱レンズとなることを明らかにしている。このロッド端面近傍の局所的な強い熱レンズ効果と平均化されたマクロな熱レンズ効果は共振器長の長いモード同期レーザー等を組む際に大きな問題となってくることを明らかにしている。

(b) ＬＤ非点収差補償型共振器を用い，基本モードのスポットサイズに関するＡＢＣＤマトリックス法による解析により，凹面鏡をレーザー発振器内に用いる熱レンズ補償法を開発している。次に，ＬＤ励起下でのスポットサイズを実測し，それが理論値と測定誤差の範囲内で一致し，また励起パワーを上げてもスポットサイズは変化しないことから熱レンズ効果の補償が行われていることを確認している。

(c) ＬＤ励起強制モード同期Ｑスイッチレーザーを試作し，その動作特性を評価している。パルス幅はＳＨＧ相関法によって測定し，７㎜厚エタロン板（溶融石英製）を挿入することにより，計算された値とほぼ等しい910psのパルス幅となることを明らかにしている。

(3) ＬＤ励起Nd：YAGレーザーＭＯＰＡシステムの高効率，高利得前置増幅器としてＬＤ励起Nd：YAG再生増幅器の開発を行い，エネルギー抽出特性について実験的検討を行い次の結果を得ている。

(a) 再生増幅器は繰返し率50Hzで動作させることができ，増幅出力として小信号利得3.2で6.0mJを得ている。このときの増幅度は71dBであり，抽出効率としては約50％を達成している。これらの増幅出力，エネルギー出力効率の値はＬＤ励起固体レーザーの再生増幅器で世界最高の値である。

(b) 抽出効率をLowdermilkとMurrayのモデル（ＬＭモデル）によって評価し，実験値から算出した抽出効率は利得回復のない場合のLMモデルと一致しており，ＬＭモデルの有用性が実証でき，大型の再生増幅器設計の指針が得られている。

(4) ＬＤ励起Nd：YAGディスク型主増幅器を試作・評価し，以下の知見を得ている。

(a) ディスク型増幅器のレーザー励起のためＬＤアレイ光の集光光学系を設計・試作し集光サイズとして3.5×3.3㎟（ＦＷＨＭ），伝達効率として80％以上を達成し，ＬＤ励起強度としては2.7kW／㎠を得ている。これにより各種新レーザー材料のＬＤ励起に関する特性評価を可能としている。

(b) ディスク内部の温度上昇について熱流体解析コード“STREAM”を用いて解析を行い，固体媒質中の温度分布による熱歪み，熱レンズ効果等の評価技術を開発している。

(c) ディスク型増幅器５台の増幅実験においてダブルパス後の出力として66.7mJ（多モード動作時）を達成して

いる。このときの光・光変換効率は12.3%（システム効率8.3%）であり，炉用ドライバーの条件である高効率特性を実証している。また，ディスク型増幅器のエネルギー抽出効率は65%であり。Frantz-Nodvik の理論計算より得られる効率（82%）より小さいものとなっている。これは熱複屈折損失によるものであることを明らかにしている。

(5) 従来のコノスコープ法より高感度且つ簡便に複屈折の２次元分布を測定できる新しい回転検光子法に基づく画像処理装置の開発を行い，以下の結果を得ている。

(a) ＬＤ励起状態でのレーザー材料中に生じた熱複屈折の測定を行い，ＣＷ動作，出力３ＷのＬＤで励起することによってロッドの中心部では殆ど複屈折は無く，周辺部に相対位相差 $\delta \sim 12^\circ$ 程度の複屈折が生じること，また，複屈折の主軸方向は励起の長軸方向に一致していることを示している。

(b) この測定装置を用いてＬＤ励起ディスク型増幅器の熱複屈折の測定を行い，この結果をもとにジョーンズ行列の解析により，損失の評価を行っている。この結果，５台の主増幅器構成においてシングルパスで11.1%の熱複屈折損失が生じることを示している。これを Frantz-Nodvik の理論式に導入したディスク型増幅器の出力特性は実験値に良く一致している。

(c) 光弾性現象の理論に基づいてレーザー媒質に機械的な荷重をかけたときの相対位相差と主軸方向の分布の測定を行なっている。また，レーザー媒質と波長板の両方の役割を持った能動波長板を新たに考案し，その基本特性を評価している。実験により，それが波長板として動作し，同時に利得を持つことを確認している。

以上のように，本論文はＬＤ励起固体レーザーの技術的，物理的な特徴を明らかにし，電気・光変換効率が約10%と高く，長寿命であり，高繰り返し動作が期待できるために，加工をはじめとする産業応用レーザーとしてのみならずＳＯＲに替わる軟Ｘ線発生用レーザーとして極めて有用であることを示している。また，ＬＤ励起の特徴により将来の核融合炉用ドライバーとしての可能性をもつものであることを明らかにしている。このように本研究は核融合理工学に寄与するところ大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。