



Title	液体冷却型大口径YAGスプリットディスク増幅器の開発に関する研究
Author(s)	岡田, 大
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48583
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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	おかだ はじめ
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 2 0 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻
学 位 論 文 名	液体冷却型大口径 YAG スプリットディスク増幅器の開発に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中塚 正大 (副査) 教 授 佐々木孝友 教 授 辻 毅一郎 教 授 熊谷 貞俊 教 授 伊藤 利道 教 授 伊瀬 敏史 教 授 杉野 隆 教 授 西村 博明 教 授 斗内 政吉 助教授 藤田 尚徳

論 文 内 容 の 要 旨

本論文には著者が大阪大学大学院工学研究科博士後期課程において行った“液体冷却型大口径 YAG スプリットディスク増幅器の開発に関する研究”の成果をまとめた。

著者はレーザー核融合炉用ドライバの高出力レーザー開発において大きな課題の一つである熱問題について検討した。内容は、①レーザー媒質の効率的な熱除去技術、②レーザー光の波面擾乱の抑制、且つ冷却能力向上のための設計と技術、③利得・蓄積エネルギーを制限する寄生発振の抑制技術、④レーザー出力の比例増大則の基礎技術、⑤これら4つの諸技術の確立を行うとともに、これらの技術を取り入れた、高品質ビーム・高出力・高繰り返し固体レーザーシステムの開発を行った。

第1章は緒論であり、各国の核融合研究の現状と問題点を述べ、本研究の意義を明らかにした。

第2章では、固体レーザー材料内に於けるレーザー媒質の形状と熱レンズ効果、熱複屈折効果、熱破壊限界特性について熱拡散方程式等から理論的に評価した。

第3章では、固体レーザーシステムの概要について述べた。各種固体レーザー増幅器の形状と特徴、パルス増幅の原理、レーザー材料の物性値比較、冷却剤の熱伝達係数評価、励起源であるフラッシュランプの放電回路設計等について述べた。また、炉用レーザーシステムなどの大型レーザー媒質内で利得や蓄積エネルギーを制限する寄生発振とその抑制方法について述べた。

第4章では、レーザー媒質の直接水冷によって、冷却剤の水圧に起因する光学素子の形状変化による波面収差を、干渉測定と遠視野像測定によって評価した。水冷による増幅器内の波面歪みは、誘導ブリルアン散乱位相共役鏡による補償を行い、高ビーム品質動作を実証した。

第5章では、高出力動作実証のため単発動作 Nd : YAG スプリットディスク増幅器の利得特性及び飽和増幅特性を測定した。大型レーザーディスクへのエッジクラッドによる寄生発振の抑制技術の検証と、YAG 増幅器の飽和増幅出力で 10 ジュールを越える高出力パルス・高品質動作を実証した。

第6章では、表面液体冷却・大型 YAG 媒質による増幅・位相共役鏡による波面補償技術を融合させ、10 Hz 動作アクティブミラー Nd : YAG レーザーを開発し、高品質・高繰り返し動作を実証した。

第7章では、新規の高出力化技術として高効率動作が期待できる共添加 Nd:Cr:YAG セラミックスに着目し、10 Hz 動作の飽和増幅特性評価を行った。従来の Nd : YAG よりも高効率動作を実証した。

第8章は結論であり、得られた結果をまとめ、本論文の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が課程在学中に行った液体冷却型大口径 YAG スプリットディスク増幅器の開発に関する研究成果をまとめたものである。将来のレーザー核融合炉を考えると、①レーザー媒質の効率的な熱除去技術、②熱効果によるレーザー波面の劣化に対する補償技術、③利得・蓄積エネルギーを制限する寄生発振の抑制技術、④レーザー出力の比例増大則の確立の4点は重要な課題である。これらの課題に着目し、水などの液体冷却剤が直接ディスク表面を冷却する大型スプリットディスク増幅器と、波面補償可能な位相共役鏡の組み合わせにより、高出力かつ高ビーム品質を実現できる液体冷却型大口径 YAG スプリットディスク増幅器の開発を行った結果を示している。

第1章は緒論であり、本研究の背景と研究目的を示し、研究の価値を位置づけている。

第2章では、固体レーザー材料内におけるレーザー媒質の形状と熱レンズ効果、熱複屈折効果、熱破壊限界特性について熱拡散方程式等から理論的に評価している。ロッド型とディスク型増幅器について熱特性の観点から比較し、熱レンズ効果や熱複屈折効果はレーザー媒質をディスク型にすることで軽減可能であり、熱破壊限界値の比較からもディスク型が優れていることを明らかにしている。

第3章では、固体レーザーシステムの概要について、各種固体レーザー増幅器の形状と特徴、パルス増幅の原理、大型レーザー媒質内で利得や蓄積エネルギーを制限する寄生発振とその抑制方法、レーザー材料の物性値比較、冷却剤の熱伝達係数評価、および励起源であるフラッシュランプの放電回路設計について述べている。高出力固体レーザーシステムのレーザー媒質として良く用いられるガラス、GSGG 結晶、YAG について各々の物性パラメータや熱破壊限界を比較し、YAG が高い耐熱性により高平均出力レーザー媒質として優れていることを示し、近年開発が進んだセラミックス YAG が、媒質の大型化が容易で高濃度のレーザー活性イオン添加が可能なことより特に優れていることを示している。

第4章では、レーザー媒質の直接水冷によって、冷却剤の水圧に起因する光学素子の形状変化による波面収差を、干渉測定と遠視野像測定によって評価している。通常の高反射率ミラーで反射した遠視野像 (FFP) は、水平と垂直方向で異なる焦点を有する2焦点波面歪みとなっているのに対し、位相共役鏡による波面補償を行った場合は、単一焦点の FFP を実現している。誘導ブリルアン散乱位相共役鏡を用いて直接水冷による増幅器内の波面歪みの補償が可能であることを実験的に明らかにしている。

第5章では、大型セラミック YAG における、強励起条件下での寄生発振の問題を、側面を低反射化すること（水ガラスと HA ガラスによるエッジクラッド技術の開発）により抑制し、小信号利得係数 0.20 cm^{-1} を実現している。最大口径 $3.7 \text{ cm} \times 3.7 \text{ cm}$ の単発動作大型セラミックス Nd : YAG スプリットディスク増幅器の飽和増幅特性を測定し、飽和増幅出力で 10.4 J の高出力パルス・高ビーム品質動作を実証している。寄生発振の閾値を解析的に導き出し、実験結果と比較し良い一致を得ている。この成果は、広く固体レーザー増幅器に適用可能なものであり有用である。ガラス媒質よりも3倍程度大きい非線形屈折率を有している YAG 媒質における自己収束の影響を評価し、Nd:YAG においては比較的低い入射エネルギーで効率の良い飽和増幅ができるため、自己収束がガラスに比較して起こりにくいことを明らかにしている。将来の高出力化の観点から、レーザービーム断面積 30 cm^2 の 10 Hz 動作 100 J 出力 (平均出力 1 kW) のパルスレーザーシステム設計案を示している。

第6章では、表面液体冷却型大口径 YAG 媒質による増幅・位相共役鏡による波面補償技術を融合させ、10 Hz 動作アクティブミラーNd : YAG レーザーを開発し、高ビーム品質・高平均出力動作を実証している。10 Hz 動作において 1.71 J/Pulse (平均出力 17.1 W) を実現している。位相共役鏡によるレーザー波面補償を行うことで、回折限界の1.3倍の良好な集光が得られ、集光強度は、レーザー波面補償を行わない場合の約90倍増加している。

第7章では、新規の高出力化技術として高効率動作が期待できる共添加 Nd : Cr : YAG セラミックスに着目し、10

Hz 動作の飽和増幅特性評価を行っている。フラッシュランプの発光スペクトルは広く、Nd イオンによって吸収される成分は必ずしも大きくない。Cr を Nd とともに添加することで、吸収量を 3 倍高められることを示している。従来の Nd : YAG と蓄積エネルギー密度を実験的に比較し、Cr 添加による 34% の上昇を明らかにしている。10 Hz 動作の Nd : Cr : YAG スプリットディスクレーザシステムを構築し、小信号利得特性、飽和増幅特性、ビーム品質の評価を行っている。小信号利得測定では、4 パス増幅により最大 3.37 の利得が得られ、蓄積エネルギーは 4.23 J であり、比較的少ない励起により高い蓄積エネルギーが得られている。Nd : Cr : YAG 増幅器の 2 パス飽和増幅特性測定では、1.04 J/Pulse の出力パルスエネルギーが、高いビーム品質で得られている。共添加 Nd : Cr : YAG セラミックスにより従来の Nd : YAG よりも高い動作効率が得られることを実証している。

第 8 章は結論であり、得られた結果をまとめ、本論文の総括を行っている。

以上のように、本論文は液体表面冷却と誘導ブリルアン散乱を用いた位相共役鏡によるレーザー波面補償を組み合わせることで、高ビーム品質の高平均出力レーザーを実証している。また、寄生発振抑制技術の開発および Nd と Cr の共添加等画期的であるとともに幅広い応用が期待できる手法を開発している。これらの成果はレーザー核融合炉用レーザー開発に貢献するとともに高平均出力固体レーザーの進展に寄与するものと考えられる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。