

Title	高平均出力固体レーザーの高性能化に関する研究
Author(s)	吉田, 英次
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43003
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	吉 田 英 次
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 8 0 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 1 1 年 4 月 2 3 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	高平均出力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 塚 正 大 (副査) 教 授 佐 々 木 孝 友 教 授 山 中 龍 彦 教 授 辻 毅 一 郎 教 授 熊 谷 貞 俊 教 授 平 尾 孝

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高平均出力固体レーザーの高性能化に関し、レーザーを構成する各種光学素子の開発に努め、固体レーザー励起用 Xe および Kr ランプの長寿命化、高平均出力用高変調度音響光学素子と電気光学素子の開発、高平均出力固体レーザー結晶材料の性能評価と媒質への熱負荷軽減方法の開発、ランプ励起高効率固体レーザー媒質の開発、レーザー波面制御法として高平均出力レーザー用誘導ブリルアン散乱(SBS)位相共役鏡の開発、および光学材料と光学薄膜のレーザー耐力向上とデータベースの構築を行っている。本論文は、11章から構成されている。

第1章は緒論で、高平均出力固体レーザーの現状および問題点を明らかにし、本論文の価値を明確にすると共に、固体レーザー開発の重要性について述べている。

第2章では、高平均出力固体レーザーシステムの構成要素を解析し、要素技術の機能とそれぞれの研究課題について述べている。

第3章では、高平均出力固体レーザー用励起光源として、Kr アークランプおよび Xe フラッシュランプの寿命制限要因を解明し、市販ランプに比べ長寿命化法を提案し予想通りの結果を得ている。

第4章では、高平均出力短パルスレーザー発生用に使用される高変調度音響光学素子と電気光学素子の開発について述べている。従来の音響光学素子は連続励起用であったが、パルス励起短パルス発生が可能な高変調度素子を開発している。屈折率整合液循環型の電気光学素子を開発し、従来の封じ切り型に比べ、高繰り返し動作が可能となっている。

第5章では、高出力固体レーザー用結晶材料の性能評価を行っている。結晶への熱負荷の軽減対策として、ランプ紫外光を吸収するフィルターの採用やランプ放電波形制御を行った結果について述べ、固体レーザーの高性能、高平均出力動作実験を行った結果について述べている。

第6章では、ランプ励起用の高効率、高出力固体レーザーとして Nd と Cr を共添加した結晶材料のレーザー特性の測定と、高効率性について述べている。

第7章では、高出力レーザーの励起光による熱問題から発生する波面歪補償の方法として、誘導ブリルアン散乱

(SBS)による位相共役鏡の検討を行っている。位相共役鏡に使用される気体、液体、固体のSBS媒質のSBS利得、忠実度、反射率などの基本特性について述べている。

第8章では、高エネルギー用SBS位相共役鏡の諸特性の解析結果と、高繰り返し固体レーザーにSBS位相共役鏡を採用し、出力ビームの高性能化を実証した結果について述べている。

第9章では、紫外から近赤外域の高出力固体レーザーに使用される光学材料、光学フィルター、非線形光学結晶など数多くのバルク材料のソラリゼーション現象とレーザー損傷閾値の測定を行い、性能評価データベースの構築について述べている。

第10章では、反射防止膜、高反射膜、偏光膜などの誘電体多層蒸着膜のレーザー損傷閾値測定を行い、性能評価とレーザー耐力データベースの構築について述べている。

第11章は結論であり、以上で述べた研究成果を総括し、今後の高平均出力固体レーザーの可能性と見通しについて述べている。

論文審査の結果の要旨

高平均出力固体レーザーの高性能化を目的とし、レーザー装置を構成する各種光学要素のレーザー特性の高性能化とレーザー耐力向上の開発を行っている。本研究の各章で得られた主な成果は以下のとおりである。

第3章では、高繰り返し固体レーザー用励起光源の開発結果をまとめている。Krアークランプの長寿命化のために自己加熱型熱陰極を提案し、放電による電極スパッターの防止によりランプ寿命を3～10倍向上させ、固体レーザーの長時間動作と出力安定度の向上を実証している。Xeフラッシュランプを構成する石英管や電極材料の種類、電極形状の最適選択によってランプを格段に長寿命化できることを示している。

第4章では高繰り返しレーザー用の高変調度音響光学Qスイッチ素子を設計試作し、従来達成し得なかった高い変調度90%を得て、Qスイッチパルス光を安定に発生させている。液循環型ポッケルスセルを提案し、スラブ型レーザー共振器で15%の出力の向上を実現している。

第5章では高平均出力固体レーザーの開発結果を示している。熱伝導率の優れた一軸性のGGG、GSAGおよびYAG結晶、二軸性のYLFやYAP結晶など各種レーザー結晶の熱レンズ効果、熱複屈折を調べまとめている。熱負荷の軽減法として500 nm以下の励起光を遮断し、レーザー出力の低下なく熱効果を約30～40%も軽減可能なことを示している。またランプ放電波形制御による熱負荷の約50%軽減の可能性を実証している。

以上の対策を行った高平均出力Nd:YAGQスイッチシステムを開発し、繰り返し数80 Hz、最大出力80 W、ビーム発散角2 mradの優れたビーム性能を達成している。大型Nd:GGG結晶を用いた高平均出力スラブ型レーザーの開発を行い、最大平均出力440 Wを達成し、MOPAシステムでのQスイッチ動作においては、繰り返し数50 Hzの時最大出力50 Wを得ている。

第6章ではエネルギー効率の改善に関する研究結果をまとめている。ランプ励起の高効率、高出力固体レーザーとしてCrとNdの共添加の増感効果を検討し、高効率性を実証している。Nd、Cr:GSAG結晶では、単一ショット動作で最大総合効率4.9%、微分効率5.6%を達成し、Nd:YAG結晶に比べ優位性を示している。繰り返し動作では最大出力61 W、最大総合効率4.4%、ビーム発散角12 mradを得てその特徴を明確にしている。

第7章では位相共役鏡の材料的課題について研究し、各種SBS媒質の諸特性についての評価を与えている。気体、特にSF₆ガスは高圧力下で低い反射閾値と高い反射率をもち、レーザー耐力も高く有望であり、常温液体の蒸気ガス、特にフロン系蒸気ガスは反射率が90%以上と高く、レーザー耐力も100 GW/cm²と高いことを示している。液体では、フロン系で優れたSBS特性が得られ、高平均出力レーザーに有利な媒質であることを示している。固体では、非線形光学結晶LAPやDLAP結晶は高いSBS利得係数とレーザー耐力をもち、小型高出力固体レーザーに利用可能であることを示している。新規に非晶質の石英ガラスも集光条件やパルス幅の選択により、レーザー損傷もなく高出

カレーザーへの使用が可能であることを示している。

さらに SBS 反射特性の励起レーザー波長依存性を明らかにし、低吸収媒質の重要性を示唆している。フロン系化合物は広い波長域において高入力動作が可能であり最も有望な SBS 液体であることを提案している。

第 8 章では SBS 位相共役鏡を各種高繰り返し固体レーザーに採用し、出力ビームの高性能化を実証している。レーザーのコヒーレント長と SBS 相互作用長の関係を調べ、集光レーザー長よりもコヒーレント長及び媒質長が大きい場合、SBS 反射率特性は最大位相差 5 波長でも、集光レンズの焦点距離に依存しないことを実証している。

SBS セルの熱的影響の改善法として短セル長による反射率の向上、液体循環による熱的問題のほぼ完全な除去とビーム忠実度の大幅改善を実証している。高出力用 SBS 位相共役鏡として提案した高精度ろ過フッ素液体では、ブレイクダウン発生や過渡的熱影響は発生せず、入力 20 J で最大反射率 98% 以上を達成している。さらに発生器と増幅器の分離法により、レーザーエネルギーが数 100 J 以上でも高耐力位相共役鏡が可能であることを確認している。

第 9 章では光学材料のレーザー耐力に関する系統的なデータを与えている。紫外から近赤外域にわたって数多くの光学材料、光学フィルター、非線形光学結晶等のソラリゼーション現象とレーザー損傷閾値を測定し有用なデータベースを与えている。

第 10 章では、紫外から近赤外域で使用されている各種の誘電体多層蒸着膜(反射防止膜、高反射膜、偏光膜等)のレーザー損傷閾値測定を行い、レーザー耐力の向上法の提案およびデータベースを与えている。

以上のように本論文は、高平均出力固体レーザーの高性能化に関し、レーザー用各種素子の開発に努め、その長寿命化、高効率化、高品質化などに数多くの手法を提案し、光学材料と光学薄膜の耐力データベース構築をもおこなっている。その結果レーザービーム性能の格段の向上と高出力動作の方策を明らかにした。これらの研究成果はレーザー工学領域に新しい知見を与え、研究の将来動向をも示しており、レーザー工学、電気工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。