



Title	Studies on the All-Solid-State Tunable Optical Parametric Oscillator Amplifier System and its Applications
Author(s)	Narayanan, Srinivasan
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39744">https://hdl.handle.net/11094/39744</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">大阪大学の博士論文について</a>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	ナーラヤナン スリニバーサン Narayanan SRINIVASAN
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 12518 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 8 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	Studies on the All-Solid-State Tunable Optical Parametric Oscillator Amplifier System and its Applications (全固体波長可変光パラメトリック発振器増幅器システムとその応用に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 中井 貞雄 教授 井澤 靖和 教授 青木 亮三 教授 岡田 成文 教授 西原 功修 教授 山中 龍彦 教授 桂 正弘 教授 権田 俊一 教授 西川 雅弘 教授 三間 圭興 教授 中塚 正大

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は産業用の応用も期待され、且つ慣性核融合炉用ドライバーの材料評価にも有用な、全固体で波長可変の光パラメトリック発振器増幅器システムの開発に関する研究と、そのシステムの応用について行った研究について、得られた成果をまとめたものである。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、半導体レーザー励起 1064nm Nd : YAG レーザーの第 2 高調波光 (532nm) をポンプ光として用いる全固体波長可変光パラメトリック発振器増幅器の特長を明らかにし、産業への応用やレーザー核融合炉用ドライバーの材料評価への応用について述べ、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全固体で波長可変の光パラメトリック発振器増幅器システムの設計を非線形光学結晶 KTP を用いて行い、実際にシステムを構築する際の最適化条件及び技術的課題を明らかにしている。

第 3 章では、結晶 KTP を用いた全固体波長可変光パラメトリック発振器増幅器システムを試作し、750–1830nm にわたり波長可変の近赤外コヒーレント光源を 27% の高効率で動作させることに成功し、繰り返し 50Hz でパルス幅 4–5 ns の短パルス全固体波長可変コヒーレント光源としてレーザー材料評価に充分実用できることを明らかにしている。

第 4 章では、種光として CW 半導体レーザー励起 1064nm Nd : YAG レーザーと、CW 960nm InGaAs 半導体レーザーを開発し、それぞれの発振周波数幅として <8 MHz を得ている。次に、これらの種光を同時に注入して、960nm 信号光の発振周波数幅 <150MHz を達成し、4 ns のパルス幅で決まるフーリエ変換限界 (110MHz) 近くまで狭くできることを示している。

第 5 章では、開発した光パラメトリック発振器増幅器からの信号光 (820–1030nm) とアイドラー光 (1098–1500nm) の出力を非線形光学結晶 BBO と KTP でそれぞれ 410–515nm と 549–750nm の可視光に 10% の高効率で変換している。その波長可変可視光 (565–600nm) を用いて Nd : YAG 結晶の微細吸収スペクトルを測定し、この可視波長可変コヒーレント光の分光学的分野への応用性を評価している。

第 6 章では、全固体波長可変光パラメトリック発振器増幅器からの近赤外 (930–980nm) パルス (約 5 ns) 光を用いて蛍光寿命が 1~3 ms と長く、従ってエネルギー蓄積効果が大きいためレーザー核融合炉用ドライバー材料として経済性の向上に寄与することが期待される、Yb をドープした固体レーザー材料 (ガラスと YAG) の蛍光寿命

を測定している。特に、Yb:YAGにおいて蛍光寿命が941nmと968nmの吸収スペクトルの中心で再吸収のために30%も長くなる現象を見い出し、これがエネルギー蓄積効果に有用であることを示している。

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

高効率・高出力・長寿命の半導体レーザー(LD)励起の固体レーザーの進展に伴って、このLD励起固体レーザーの第2高調波光をポンプ光として用いる光パラメトリック発振器が高耐力の非線形光学結晶の開発にも支えられ急速に開発研究されるようになり、全固体の波長可変コヒーレント光源として注目されている。しかし、従来の光パラメトリック発振器においてポンプ光エネルギーは数百mJと大きく、非線形光学結晶へのレーザー損傷が問題であった。本論文では1.5mJ程度の小さなポンプ光エネルギーを用いても光パラメトリック増幅器で増幅するため、信号光への変換効率を27%と大きくでき、近赤外域で波長可変にできるために固体レーザー材料等の分光学的研究に有用であることを示したものであり、主な成果を要約すると次の通りである。

(1) 小出力(0.5mJ程度)で高効率(27%)の波長可変(750–1830nm)の、KTP結晶を用いた光パラメトリック発振器増幅器(OPOA)を設計・試作し、その際、共振器構成方法と、ウォーク・オフのためにポンプ光の集光が重要なことを明らかにしている。この設計・試作に対して次の結果を得ている。

(a) KTP非線形光学結晶は非線形係数が3.1pm/voltと大きいために小出力(0.5mJ程度)の近赤外OPOAを構成するのに適していることを示している。

(b) 波長532nmポンプ光に対して $5 \times 5 \times 10$ (長)mmのKTP結晶を用いた場合750–1870nmの波長可変コヒーレント光を得るために $\theta = 69^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$ でKTPを研磨する必要があることを明らかにしている。

(c) 4.5cmと短い共振器長の光パラメトリック発振器(OPO)を用いるとパルスの立上がり時間が短くなり、従って閾値を低減するのに有効であることを示している。

(d) 10mm長のKTPに対して信号光のウォーク・オフを小さく保ち信号光への変換効率を下げないためには、ポンプ光の集光直径を0.3mmに選ぶべきであることを示している。

(2) 全固体OPOAシステムとその特性を以下のようにまとめている。

(a) LD励起キャビティーダンプ1064nm Nd:YAGレーザーから4mJの出力エネルギーを10nsのパルス幅で50Hzの繰り返し率で発生し、それを15mm長のKTP結晶により効率65%で532nmコヒーレント光に変換し、8nsパルス幅で50Hzの繰り返し率のポンプ光を得て、本研究を行っている。

(b) 採用しているKTPOPOAは2個のKTP結晶( $5 \times 5 \times 10$ mm)を一直線に並べた強結合型であるためにコンパクトな構成となっている。非共鳴型のOPOの共振器長は4.5cmと短く低閾値を実現している。

(c) KTPOPOAの信号光は750から1830nmまで波長可変である。但し、縮退のために1040から1089nmの49nmの間は信号光を発生できないが、本論文の目的のためには支障となっていない。OPOAの出力パルス幅は4–6ns(50Hz)であり、種光注入前の線幅は0.8nm以下であった。

(d) OPOAの920nm信号光におけるエネルギー変換効率は27%にも達し、532nmポンプ光の閾値は0.44mJであることを測定している。920nm信号光の最大出力エネルギーは532nmポンプ光のエネルギーが1.6mJのとき0.45mJであったが、これはKTP結晶への反射防止膜が損傷したために制限されているのにすぎないことを示している。

(e) OPOにおいて、ポンプ光から信号光とアイドラー光へのパワー変換効率は、ポンプ光エネルギーが閾値の3.5倍のとき72%に達し、これはガウス型光束に対する理論限界にほぼ一致することを示している。

(3) OPOAのスペクトル線幅を狭くするために種レーザー光を注入する方式を採用し、フーリエ変換限界までの狭帯域化を実現した結果を次のようにまとめている。

(a) 線幅8MHz以下の単一縦モード発振のCWエタロン同調1064nm種レーザー光をLD励起1064nm Nd:YAGレーザーに注入することにより、10nsのパルス幅で決まるフーリエ変換限界に近い約50MHzの線幅を達成して

いる。KTP によって 532nm の第 2 高調波光に変換した後の線幅は 200MHz と広がっていたが、これは (i) 第 2 高調波への変換が飽和領域近くで行われ、(ii) パルス幅が 8 ns と短くなり、(iii) フリーランニング動作のために外的振動により、広がったためであることを明らかにしている。

(b) OPOA の信号光へも同時に種レーザー光を注入し、100GHz から 150MHz までの狭帯域化を実現している。

OPOA への種光注入のために、線幅が 8 MHz 以下である外部共振器の反射型回析折子を用いた CW920nm InGaAs 半導体レーザーが使用されている。この 150MHz の線幅は 4 ns OPOA パルス幅のフーリエ変換限界幅 110MHz に近いことを示している。狭帯域後の 1 MHz 当たりの出力パワーが 50Hz で 600W/MHz にも達し、狭帯域でなお且つ高出力の全固体波長可変コヒーレント光源を達成している。

(4) OPOA の信号光とアイドラー光を第 2 高調波（可視光）へ変換し、可視域での分光学的応用に適用できることを示した結果を以下のようにまとめている。

(a) OPOA の信号光をタイプ I BBO ( $\theta = 0^\circ$ ) で 410–515nm の青–緑色へ、OPOA のアイドラー光をタイプ II KTP ( $\theta = 0^\circ$ ) で 549–750nm の緑–赤色へ、10% の光–光変換効率で波長変換している。

(b) 分光学的応用性を示すために、予備的ではあるが、565–600nm の範囲で Nd : YAG の透過スペクトルの微細構造を測定するのに成功している。

(5) 長蛍光寿命（1–3 ms）のためにエネルギー蓄積効果が大きく、LD 励起大出力固体レーザー用媒質として有望である Yb : ガラスと Yb : YAG の蛍光寿命測定に OPOA からの 4–5 ns 信号光（930–975nm）を応用し、再吸収による蛍光寿命の伸長を新たに見出した結果を以下のようにまとめている。

(a) 入射パルス光の波長に応じて蛍光寿命が長くなる場合は吸収バンドのピークに一致して長くなることを見出している。

(b) Yb : ガラスに Er 不純物が含まれている場合には、975nm 吸収バンドで蛍光寿命が 20% 減少することを観測している。また、場所的な蛍光寿命の変化も観測され、不純物分布測定にこの測定方法が有効的なことを示している。

(c)  $10 \times 6 \times 5$  mm の Yb : YAG サンプルに対して、重直入射のとき、941nm と 968nm の吸収ピークにおいて、3.3ms まで蛍光寿命が著しく長くなる現象を初めて見出している。このサンプルにブルースター角 ( $61.2^\circ$ ) で P 偏光を入射させた場合、蛍光寿命の波長依存性が消失し、2.45ms の平坦な蛍光寿命を示すことより、蛍光寿命の伸長現象はフルネル反射によって入射光がトラップされた再吸収によるものであることを示している。

(d) 0.8mm と薄い Yb : YAG サンプルに対しては蛍光寿命の波長依存性は再吸収が小さいために現れず、濃度によって 1.3ms (7 at. % Yb) から 2 ms (20 at. % Yb) まで長くなることを測定している。

(f) 軐射トラッピングによる蛍光寿命の伸長は、LD 励起固体レーザーにおいて、エネルギー蓄積に寄与するものであり、LD 励起大出力 Yb 固体レーザーの低価格化を実現しうることを示している。

以上のように、本論文は高効率全固体波長可変光パラメトリック発振器增幅器を開発し、これが固体レーザー材料の蛍光寿命測定に極めて有用であることを示している。また、狭帯域で高出力の波長可変赤外コヒーレント光源はレーザー同位体分離を含む分光学的応用に理想的である。フーリエ変換限界まで狭帯域な波長可変 OPOA は他の高出力固体レーザーの種光としても今後利用可能である。このように本研究はレーザー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。