

Title	Development of a high energy 2 $\mu\text{m}$ laser source based on nonlinear parametric conversion
Author(s)	ラヴィ, ブシャン
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49536">https://hdl.handle.net/11094/49536</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	ラヴィ ブシャン RAVI BHUSHAN
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22483 号
学位授与年月日	平成20年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	Development of a high energy 2 $\mu$ m laser source based on nonlinear parametric conversion (非線形パラメトリック波長変換による高エネルギー2ミクロンレーザーの開発)
論文審査委員	(主査) 准教授 藤田 尚徳 (副査) 教授 伊瀬 敏史 教授 谷野 哲三 教授 舟木 剛 教授 森 勇介 教授 白神 宏之

## 論文内容の要旨

This thesis is submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering. The study concerns the design and development of a high energy optical parametric oscillator for the generation of 2  $\mu$ m nanosecond laser pulse. An efficient scheme for the compensation of thermal distortions, both thermally induced birefringence and thermal lensing effect in a high power 1  $\mu$ m laser system has also been investigated to improve the performance and beam quality of the pump laser system.

This work was performed over a period of three years at the Institute of Laser Engineering in the Course of System, Control and Power Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University.

Chapter 1 outlines the objective of this study which includes the development of a high energy nanosecond quasi-phase matched optical parametric oscillator (OPO) operating near 2  $\mu$ m region. The system is based on a 5 mol % MgO doped periodically poled LiNbO<sub>3</sub> (PPMgLN) crystal with 36 mm long and 5  $\times$  5 mm<sup>2</sup> poled aperture. Doping of MgO in LiNbO<sub>3</sub> increases its conductivity which consequently makes it less sensitive to the photorefractive damage. Also low coercive field value of MgO doped LiNbO<sub>3</sub> allows the fabrication and poling of a large aperture crystal of good optical quality. This chapter also discusses some basic ideas of OPO and nonlinear optical materials.

Chapter 2 presents a brief introduction to different types of nonlinear optical phenomena. This chapter also presents some ideas about second order nonlinear polarization factor which is responsible for nonlinear optical behavior of an optical material subject to an intense field.

Chapter 3 discusses the theory of quasi phase matching (QPM) and fabrication technique of QPM grating structure in ferroelectric optical materials. Also outlines the advantages of QPM interactions over the conventional phase matching technique.

Chapter 4 discusses the design aspects of an optical parametric oscillator system, such as phase matching, parametric gain, oscillation threshold, conversion efficiency etc. The emphasis is to design an efficient high energy system. PPMgLN crystal was chosen for its high effective nonlinear coefficient of 25.0 pm/V value near 1

$\mu\text{m}$  and wide transparency from UV to mid-infrared region.

Chapter 5 describes an efficient technique for the compensation of thermal distortions (thermal lensing and thermally induced birefringence) in a high power Nd:YAG rod amplifier system. The proposed scheme constitutes of three independent image relaying elements and an in-cavity  $90^\circ$  polarization rotator. Both the effects were simultaneously compensated in the twin rod amplifier system. A near diffraction limited amplified output beam was recorded at the output plane. Maximum of 2.8 % single pass birefringence loss was measured at 580 W of pump power per rod in contrast with 20 % without any compensating element between the rods.

Chapter 6 presents experimental details and performance characteristics of the high energy nanosecond pulse OPO system based on 5 mol % MgO doped periodically poled LiNbO<sub>3</sub> (PPMgLN). The key feature of the system is the use of an image relaying element for uniform pumping in a compact linear arrangement. A high power Q-switched Nd:YAG laser is used to excite the OPO. The pump laser generates 5 J of single longitudinal TEM<sub>00</sub> mode energy at 1.064  $\mu\text{m}$  in 10 ns pulse at 10 Hz repetition rate. The pump energy can be controlled by changing the Pockels cell timing. Two PPMgLN crystal with 36 mm long and  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  poled aperture of 32.0 and 32.1  $\mu\text{m}$  QPM grating period was used. The system delivers a total output energy of 126 mJ at 2  $\mu\text{m}$  with more than 55 % conversion efficiency. This energy was scaled upto 186 mJ at an average pump irradiance of less than 90 MW/cm<sup>2</sup>.

Chapter 7 presents the summary and conclusions of the present study.

## 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非線形パラメトリック波長変換による高エネルギー2マイクロンレーザーの開発に関する研究成果をまとめたものである。2マイクロン領域のレーザーは、アイセーフ（人間の目へのダメージが少ない）レーザーであり、近年 EUV 光発生・環境計測等への応用で注目を浴びている。本論文は、2マイクロン領域のナノ秒パルス発生のため、MgO 添加ニオブ酸リチウムを用いた高エネルギー光パラメトリック発振器の設計・開発に関して述べている。また、励起光源である高出力 1 ミクロンレーザーにおける、熱複屈折や熱レンズ効果といった熱効果の有効な補償方法についても述べている。

第 1 章は結論であり、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。研究に用いる非線形光学結晶を比較し、高エネルギーナノ秒パルスの発生には、MgO 添加周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPMgLN) 結晶が特に優れていることを示している。

第 2 章では、強電磁場中での数種類の 2 次の非線形現象についてまとめ、位相整合の重要性および光パラメトリック発生 (OPO) について概説している。

第 3 章では、擬位相整合 (QPM) の理論、および QPM グレーティング構造の生成技術について述べている。また、従来の位相整合技術に対する、QPM 相互作用の利点について概説している。

第 4 章では、位相整合、パラメトリックゲイン、発振閾値、変換効率など、OPO システムの重要なパラメータの導出を行い、ナノ秒パルス用の OPO システムの設計を行っている。断面が  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  で長さが 36 mm の 5 % MgO 添加ニオブ酸リチウム結晶内に 32  $\mu\text{m}$  周期の分極反転を作成することで、縮退温度 100°C で 2.12  $\mu\text{m}$  が、60・100°C の間で 1.87・2.50  $\mu\text{m}$  の波長が得られることを示している。OPO システム内の損失を低減することで効率 50 % 以上が得られることを示している。

第 5 章では、励起光源である高平均出力 Nd:YAG ロッド増幅システムにおける熱効果（熱レンズ効果および熱複屈折効果）補償に対する有効な新技術について述べている。3つの独立した像伝送光学系と増幅器間に設置した 90 度偏光回転器により、2本の 4 mmφロッド内に生じた熱レンズ効果と熱複屈折効果を同時に補償できることを実証している。ロッドに対する励起入力 580 W において、シングルパスの複屈折損失は、ロッド間に 90 度偏光回転器がない場合には 20 % であるのに対し、90 度偏光回転器がある場合には 2.8 % を得ている。また出力ビームのビーム品質は、1.2

倍の回折限界を得ている。

第 6 章では、5 mol % MgO 添加周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPMgLN)結晶を用いた高出力ナノ秒パルス OPO システムの実験結果について述べている。システムの重要な特徴は、簡潔な直線的配置の採用と像伝送光学系を用いた一様励起である。OPO の励起には 10 Hz 動作の高出力 Q スイッチ Nd:YAG レーザーを用いている。励起用レーザーは、パルス幅 10 ns、最大パルスエネルギーは 5 J である。PPMgLN 結晶は、長さ 36 mm、開口  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  であり、QPM グレーティング周期が 32.0 ミクロン、32.1 ミクロンの 2 種類を使用している。このシステムで、2 ミクロンにおいて総合出力エネルギー126 mJ、変換効率 57 % が得られている。用いた 90 MW/cm<sup>2</sup>の励起光強度は、従来の同様の研究において用いられていた 110 MW/cm<sup>2</sup>に比べ低いのが、QPM の体積を有効に利用することで従来の世界最高エネルギー77 mJ を上回るエネルギーを達成している。可変波長は、ほぼ理論予測どおりの 1.88・2.51  $\mu\text{m}$  の波長が得られている。横長の結晶内に QPM を 2 つ作成し 2 ビーム動作を実施し、出力エネルギーを 186 mJ まで増大することができている。

第 7 章は結論であり、得られた結果をまとめ、本論文の総括を行っている。

以上のように、本論文は MgO 添加周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPMgLN) を用いた光パラメトリック発生 (OPO) により、1 ミクロンの励起光から高効率 (57 %) で 2 ミクロンの出力光を得ている。特に、従来の世界最高エネルギー77 mJ を上回る 186 mJ の出力を達成している点は特筆できる。実験結果は、ほぼ OPO システム設計と一致しており、開発された設計手法は信頼性が高く、広く適用可能と考えられる。提案されたマルチビーム方式は、ビーム品質において改善の必要があるものの、出力エネルギーのスケールアップが可能であり有望である。励起光源である Nd:YAG 増幅システム中の熱効果補償は、提案手法により熱レンズ効果と熱複屈折効果を同時に補償することで、高励起状態においてさえ熱複屈折損失を 3 % 以下におさえている。これらの成果は、高平均出力固体レーザーに広く適用可能であり、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。