

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0934-04

# 光参量产生器泵浦源的优化设计与实验研究

刁述妍<sup>1,2</sup>, 刘 强<sup>1</sup>, 徐龙浩<sup>1</sup>, 姚建铨<sup>3</sup>, 郑 义<sup>1</sup>

(1. 郑州大学河南省激光与光电信息技术重点实验室, 河南 郑州 450052; 2. 临沂师范学院, 山东 临沂 276005;  
3. 天津大学精密仪器与光电子工程学院激光与光电子研究所, 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)

**摘 要:**研究了作为光参量产生器的泵浦源的 1064nm Nd YAG 激光器输出特性和运转特性。通过调  $Q$  脉冲的速率方程的数值计算得到脉冲形状, 分析了脉冲形状对光参量振荡的影响。在泵浦功率为 9.3W,  $Q$  开关重复频率为 20kHz 时, 输出 TEM<sub>00</sub> 模 1064nm 激光平均功率为 3.20W, 光光转换效率 34.4%, 峰值功率为 60kW。高功率、窄脉宽的泵浦源为产生高质量、宽调谐、高转换效率的光参量产生器创造了条件。

**关键词:**光参量产生器; 泵浦源; 脉冲激光器; Nd YAG 晶体; 声光  $Q$  开关

**中图分类号:** TN248.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A

## Optimal Design and Experimental Research on the Pumping Source of Optical Parametric Generator

DAO Shu-yan<sup>1,2</sup>, LU Qiang<sup>1</sup>, XU Long-hao<sup>1</sup>, YAO Jian-quan<sup>3</sup>, ZHENG Yi<sup>1</sup>

(1. Henan Key Laboratory of Laser and Optoelectronics Information Technology of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 2. Linyi Normal University, Linyi 276005, China; 3. Optoelectronics Information Science and Technology Lab, Institute of Lasers and Optoelectronics, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The output and running characteristics of the 1064nm Nd YAG laser for the pumping source of the optical parametric generator (OPG) are demonstrated. The pulse-shapes were obtained by numerical calculating the  $Q$ -switched rate equations and the influence of the pulse-shapes on OPG were analysed. 3.20W of average output power at TEM<sub>00</sub> 1064nm was achieved at incident pump power of 9.3W with pulse repetition rate of 20kHz, corresponding to a optical conversion efficiency of 34.4%. The peak power of 60kW was obtained. The pump source with high peak power and narrow pulse width has created the condition for the OPG with high beam quality, broad tuning and high conversion efficiency.

**Key words:** pump source; OPG; pulse laser; Nd YAG crystal; acousto-optically  $Q$ -switch

### 1 前 言

1.5~1.7 $\mu$ m 波段激光是对人眼安全激光, 处于光通讯低损耗区域, 在光电对抗、激光测距、光通讯等方面有广泛的应用。光参量产生器 (OPG) 通过非线性光学频率变换, 可以将单一波长的激光转换成红外人眼安全波段的可调谐激光, 具有宽调谐、高转换效率、结构简单、调谐方便等特点, 在军事、科研、医疗、环境监测等领域都发挥着不可替代的作用, 光学参量产生器以其独特的优良特性吸引了国

内外众多研究者的兴趣<sup>[1-4]</sup>。光参量产生器的泵浦源的性能与质量直接影响到 OPG 的阈值高低、光谱质量、转换效率高低, 高性能的光参量产生器需要单模、窄线宽、高功率的泵浦源<sup>[5]</sup>, 所以泵浦源的

基金项目: 河南省重点科技攻关计划项目基金 (0223024900)。

作者简介: 刁述妍 (1965 - ), 女, 临沂师范学院副教授, 郑州大学在读博士, 从事全固态激光技术及非线性光学频率变换的研究。  
E-mail: dszyxy@163.com

收稿日期: 2006-03-31; 修订日期: 2006-05-24

优化设计是至关重要的。本文重点分析了 1064nm Nd YAG激光器输出特性和运转特性,通过调 Q 脉冲的速率方程的数值计算得到脉冲形状,非对称的陡前沿、缓后沿脉冲有利于尽快建立参量振荡,维持高增益系数,降低单共振 OPG 的阈值,为产生高质量、宽调谐、高转换效率的光参量产生器创造了条件。

### 2 泵浦源的优化设计

1064nm Nd YAG<sup>[6]</sup>激光器的输出功率为:

$$P = \frac{1}{2} AT I_s \left( \frac{2g_0 l}{L_1 + T} - 1 \right) \tag{1}$$

式中,  $T$  为输出镜透过率;  $I_s$  为饱和光强;  $g_0$  为小信号增益系数;  $A$  为激光棒的截面;  $l$  为激光棒的长度;  $L_1$  为谐振腔内往返损耗。从公式 (1) 看出, 输出功率与泵浦光斑半径、晶体长度、腔内损耗以及饱和光强有关。晶体越长输出功率越大, 但如果晶体太长, 吸收损耗增大, 泵浦阈值升高, 输出功率降低, 所以晶体长度存在一个最佳值; 当输出耦合增大时, 一方面提高了透射光的比例, 有利于提高输出功率, 同时又使阈值增加, 导致腔内光强下降, 因此, 存在一个使输出功率达到极大值的最佳透过率如图 1 所示。对 (1) 式推导可得最佳透过率为:

$$T_{out} = \left( \sqrt{2g_0 l / L_1} - 1 \right) L_1 \tag{2}$$

此时最大输出功率为:

$$P_{out} = g_0 I_s A \left( 1 - \sqrt{L_1 / 2g_0 l} \right)^2 \tag{3}$$

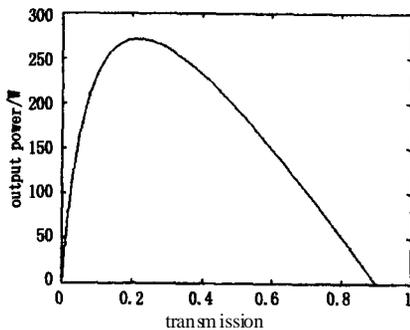


图 1 输出功率随输出镜透过率变化曲线

Fig 1 1064 output power as a function of transmission of output coupler

声光 Q 开关具有插入损耗小, 调制电压低, 易与连续激光器配合获得 1 ~ 50kHz 的高重复率巨脉冲, 稳定性好等优点, 通过调节 Q 开关和谐振腔结构可获得高峰值功率、窄脉宽激光输出。调 Q 激光器的速率方程为<sup>[6]</sup>:

$$\frac{d\phi}{dt} = n c \phi \frac{l}{L} - \frac{\phi}{\tau_r} \tag{4}$$

$$\frac{dn}{dt} = - n c \phi \tag{5}$$

通过四阶龙格库塔法数值计算可得光子密度随时间的变化曲线, 如图 2 所示, 图中给出了初始反转粒子数密度与阈值反转粒子数密度的比值分别为 5, 3, 1.8 时的脉冲形状, 从图中可看出, 脉宽和初始反转粒子数密度与阈值反转粒子数密度比值有关, 二者比值越大脉宽越窄, 前沿越陡后沿越缓。二者比值越接近 1 脉宽越宽, 脉冲形状越对称。峰值功率大小决定光参量产生器能否形成有效振荡, 短脉冲泵浦因其峰值功率高, 增益系数大, 参量光经较少的往返次数就能够获得达到准稳态所需要的功率。利用非对称脉冲的陡前沿, 使参量振荡快速达到阈值峰值功率, 克服参量噪声, 形成自持脉动; 利用缓后沿保持较高增益系数, 对已形成的自持脉动信号脉冲有效放大。非对称的陡前沿、缓后沿脉冲有利于尽快建立参量振荡, 维持高增益系数, 从而降低单共振 OPG 的阈值。

实验中应精确调整光路, 使 Q 开关处于“关闭”状态时得到尽量大的初始反转粒子数密度, 通过选择效率高的工作物质以及合理的腔结构, 使 Q 开关“打开”时阈值反转粒子数最小, 从而增加初始粒子数密度, 降低阈值反转粒子数密度, 获得窄脉宽、高峰值功率激光输出。

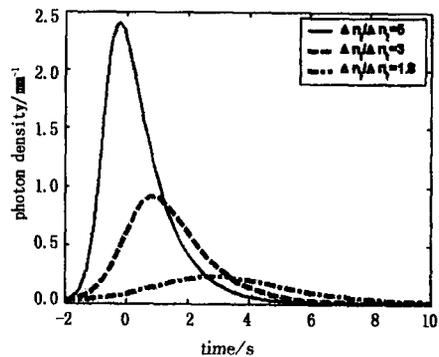
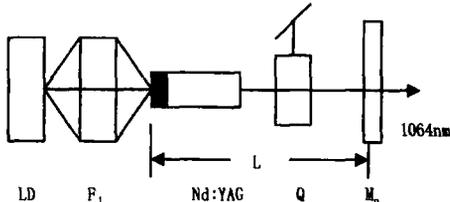


图 2 归一化光子数密度与时间的关系

### 3 实验研究

实验装置如图 3 所示, 采用激光二极管 (LD, FAP-System, Coherent) 端面泵浦, 室温下中心波长为 808nm, 数值孔径为 0.2, 最大输出功率为 16W, 光纤输出光束经 1:1 耦合系统注入晶体, 耦合效率为 90%, 泵浦光斑直径为 800μm。Nd YAG 晶体尺寸为 φ4mm × 9mm, 输入端镀 808nm 高透膜, 1064nm 高反膜, 输出端镀 808nm 高透膜, 用铝箔包裹置于紫铜块内用水冷却, 水冷设置为 18℃。输出镜对 1064nm 透过率为 10%, 声光 Q 开关 (原信息产业部

电子二十六所生产的 QSGSU-10/Q 型)重复频率 1 ~ 50kHz 可调,谐振腔采用平 - 平腔结构。



LD diode laser; F<sub>1</sub>: 808nm coupling system; Q: acousto-optically Q-switch; M<sub>2</sub>: output coupler

图 3 1064nm 激光器的结构示意图

Fig 3 schematic diagram of the 1064nm laser

平平腔为临界腔,光束方向性好(发散角小),模体积大,比较容易获得单模振荡。声光 Q 开关提高了峰值功率,在端面泵浦光作用下,激光晶体内部产生温度梯度和折射率变化,可等效为焦距为 f 的薄凸透镜,谐振腔可等效为平凹腔结构,等效凹面镜(输入镜)的曲率半径 R 等于热透镜焦距 f。由谐振腔稳定性条件可得,当谐振腔的长度 L < f 时,谐振腔为稳定腔;L > f 时,谐振腔为非稳腔;L = f 时,谐振腔为半共心腔(临界腔)。在所有谐振腔结构中,接近半共心腔的对准稳定性是最好的,实验中选取腔长应略小于 f。

使用设计合理的耦合系统 F<sub>1</sub>,调整耦合系统与 Nd YAG 晶体的位置,使聚焦光斑大致落在 Nd YAG 晶体的前端面上,且在增益介质内有一个最佳位置,纵向微调耦合系统 F<sub>1</sub> 与 Nd YAG 晶体的位置,使输出功率最大;泵浦光要与振荡光同轴,这样才能得到好的光束质量。

谐振腔中不加声光 Q 开关, F<sub>1</sub> 到 Nd YAG 晶体前端面的距离为 11mm,腔长 L 为 56mm,激光二极管注入电流为 20A 时,获得 TEM<sub>00</sub> 模 1064nm 连续激光输出,用功率计(LP-3P 型)测量光纤尾端输出功率为 10.5W,通过耦合系统 F<sub>1</sub> 后,功率下降到 9.3W,耦合效率为 88.6%,输出 1064nm 光功率为 4.18W,光光转换效率 45%,输出光斑大小约为 560μm。谐振腔中加入 Q 开关,腔长增加为 90mm,调整腔镜与声光 Q 开关,随着电流的增加,使 Q 开关可靠“关闭”,当 Q 开关打开时,获得 TEM<sub>00</sub> 模 1064nm 准连续激光输出。当入射泵浦功率为 9.3W 时,测量静态输出功率为 3.60W,重复频率为 20kHz,脉宽为 30ns,准连续输出 1064nm 平均功率为 3.20W,光 - 光转换效率 34.4%,峰值功率为 60kW。改变 LD 泵浦电流,分别测量连续功率、静态功率和准连续输出平均功率如图 4 所示。

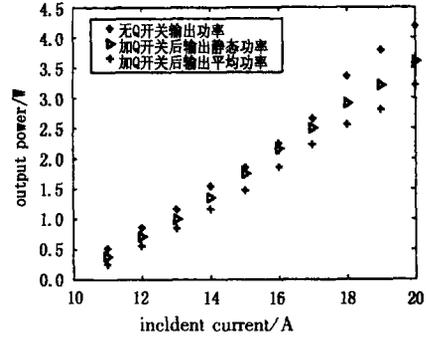


图 4 输出功率与 LD 电流的关系

Fig 4 dependence different output powers on LD current

LD 电流为 15A,改变 Q 开关的重复频率,测量输出功率如图 5 所示。从图中看出,随着重复频率的增大,输出平均功率增大,当重复频率较高时,输出平均功率不再增大;当重复频率较低时,由于自发辐射跃迁,部分反转粒子数被消耗,影响了激光的功率;当重复频率过大时,脉冲没有足够的时间使激光上能级的反转粒子数达到最大,激光输出的峰值功率变小,而且由于增益减小,脉冲宽度与脉冲形成时间都增加。实验中用 Aglient 的 86142B 型光纤光谱仪,观测到 1064nm 激光的光谱如图 6 所示。

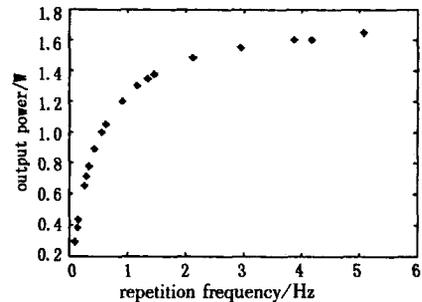


图 5 输出平均功率与 Q 开关重复频率的关系

Fig 5 output power as a function of the pulse repetition frequency

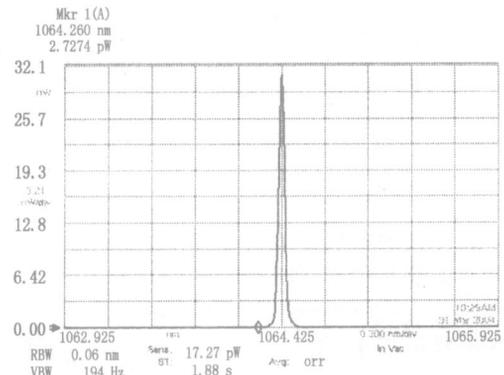


图 6 1064nm 激光的光谱图

Fig 6 spectrum of 1064nm laser emission

4 结论

理论上分析了腔长、输出镜透过率与泵浦源输出功率的关系,通过对调 Q 脉冲速率方程数值计算,得到输出脉冲形状,分析了脉冲形状对光参量产

生器的阈值和对参量光形成的影响。当 LD 电流为 20A 时,获得 TEM<sub>00</sub> 模 1064nm 连续激光功率为 4.18W,光-光转换效率 45%,当 Q 开关重复频率为 20kHz 时,输出 1064nm 平均功率为 3.20W,光-光转换效率 34.4%,峰值功率为 60kW。通过实验获得了窄脉宽、高峰值功率的泵浦源,为得到高光束质量、高转换效率的光参量产生做好了准备。

#### 参考文献:

- [1] Lionel Carrion, Jean-Pierre Girardeau-Montaut Development of a simple model for optical parametric generation [J]. J. Opt Soc Am. B, 2000, 17(1): 78 - 83.
- [2] A Y H Chen, G K L Wong, S G Murdoch, et al Widely tunable optical parametric generation in a photonic crystal fiber[J]. Opt Lett, 2005, 30(7): 762 - 764.
- [3] Chih-Wei Hsu, C C Yang Broadband infrared generation with noncollinear optical parametric processes on periodically poled LNbO<sub>3</sub> [J]. Opt Lett, 2001, 26(18): 1412 - 1414.
- [4] Zhang Bai-gang, Yao Jian-quan, Lu Yang, et al High-average-power nanosecond quas-phase-matched single-pass optical parametric generator in periodically poled lithium niobate [J]. Chin Phys Lett, 2005, 22(7): 1691 - 1693.
- [5] Gerald T Moore, Karl Koch Efficient High-Gain Two-Crystal Optical Parametric Oscillator [J]. IEEE J. Quantum Electron, 1995, 31(5): 761 - 768.
- [6] Koechner W. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. (Koechner W. Solid-state laser engineering Beijing: Science Press, 2002).

团结行业力量 提升行业影响 展示行业成果 促进行业发展

## 欢迎订阅《现代显示》杂志

(月刊) 邮发代号: 82 - 585

- 光电子、IT、广播电视行业著名显示专业技术期刊,国内外公开发行,全国各地邮局均可订阅
- 支持协办单位: 信息显示学会(SD)中国分会 中国光协 LCD 分会 中国光协 LED 显示屏分会  
中国视协大屏幕投影显示设备分会 北京市通信信息协会

《现代显示》是我国光电子、IT、广电行业著名显示专业技术期刊,中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊,入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统(China Info)数字化期刊群”,国际 SD 显示学会《Information Display》独家简体中文版;每期 12 万字,汇聚液晶、发光二极管、大屏幕和投影、数字电视、OLED、ELD、FED、VFD、PDP、微显示、CRT 等所有显示技术,以及相关的上游技术,其发行范围覆盖全国各地,并远至美国、日本、韩国、新加坡和港、台等地区。

《现代显示》1994 年创刊,一直立足于显示市场与技术前沿,以其专业性、权威性、实用性,及时为产业界提供最新技术动态、解决方案、市场趋势等资讯。搜集了世界各地的优秀论文以及开设专栏邀请国际著名专家介绍最新科技动态,其翔实的内容不仅是显示业界掌握第一手材料和了解理论实际应用情况的窗口,更是显示行业技术、管理、市场人员和专家学者以及显示技术应用者的理想参考工具。

《现代显示》为大 16 开本,铜板纸彩色印刷,国内订价 10.0 元/期,全年订价 120.0 元(含邮资),全国各地邮局和本刊杂志社均可订阅,邮发代号: 82 - 585。

本刊杂志社联系订阅方式:

邮局汇款: (100070) 北京市丰台区科技园海鹰路 9 号金汤大厦南二层 《现代显示》杂志社(收)

银行汇款: 中国农业银行北京市丰台支行科学城分理处

账户名称: 北京《现代显示》杂志社有限公司 账号: 11 - 062501040005391

联系人: 杜志宏 电话: (010) 83681155 80666603 传真: (010) 83681009

网 址: <http://xdys.chinajournal.net.cn> E-mail: [dzh19730714@163.com](mailto:dzh19730714@163.com)

- 我刊还剩少量过刊,可参考 <http://xdys.chinajournal.net.cn> 上所登目录,与杂志社联系订阅。