

文章编号: 1001-5078 (2006) 07-0537-02

调 Q 脉冲紫外光 Nd YAG 激光器的研究

王旭, 刘磊, 刘娟, 段宇程, 肖磊, 刘朗, 张世文
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要: 研制了一种大能量紫外光脉冲 Nd YAG 激光器。由漫反射聚光腔、VRM 非稳腔、电光调 Q 输出高光束质量基频激光; 采用 类 KTP 晶体倍频与 类 LBO 晶体混频, 获得紫外 355nm 激光输出; 单脉冲能量达 140mJ, 光束发散角 1.5mrad, 1064 ~ 355nm 光 - 光转换效率达 22.2%, 重复频率 5Hz, 脉宽 9.7ns, 光束直径 6.5mm。

关键词: LBO 晶体; 三倍频; Nd YAG 激光器

中图分类号: TN248.1+3 **文献标识码:** A

Study of Q-switching Ultraviolet Light Nd YAG Laser

WANG Xu, LIU Lei, LIU Juan, DUAN Yu-cheng, XIAO Lei, LIU Lang, ZHANG Shi-wen
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: A high energy ultraviolet laser is studied. High quality fundamental frequency laser of high quality is generated through diffuse-reflective cavity, varied reflectivity mirror (VRM) unstable resonator and electro-optic (E-O) Q-switching. With 5Hz repetition rate, ultraviolet light pulse energy of 140mJ/pulse at 355nm is achieved using phase-match of type I for KTP and phase-match of type I for LBO, that the divergency angle is 1.5mrad, and the beam diameter is 6.5mm.

Key words: LBO crystal; third harmonic generation; Nd YAG laser

1 引言

紫外激光由于波长短、衍射效应小、分辨率高、单光子能量大等优点,在光化学、光生物学、高分辨光谱学、材料科学、微电子学、微加工等众多领域有着广泛的应用前景。传统的紫外激光光源,如准分子激光器、 N_2 激光器等存在结构繁杂、体积庞大、稳定性差诸缺点。随着众多性能优良的非线性晶体 (BBO、LBO、CLBO 等) 的不断出现,通过非线性频率变换技术获得大功率、高稳定性、高效率、小体积的紫外固体激光器成为当前的研究重点。因此,研究紫外光固体激光器具有非常重要的实用意义。

2 基本原理及实验装置

实验光路原理简图如图 1 所示。

2.1 本振级谐振腔的设计

本激光器谐振腔采用高斯变反射率输出镜 (VRM 膜) 的凹凸非稳腔, VRM 膜非稳谐振腔具有较强的横模选择能力,在提高模式稳定性、扩大模体积和改善场图均匀性等方面具有独特的优势,凹凸

非稳腔本身能够实现准直输出,亮度也比稳定腔要高,因此可以显著提高基频激光的峰值功率密度,为腔外二次、三次谐波产生提供好的基频光。聚光腔采用漫反射 MgO 石英腔,这种聚光腔具有制作简便、成本低、照明均匀、性能稳定、灯和棒能方便地同时冷却等众多优点。

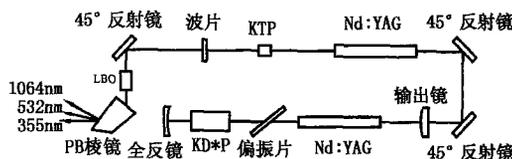


图 1 光路原理简图

2.2 调 Q 方式的设计

传统的电光调 Q 方法中, $\text{KD}^* \text{P}$ 晶体的半波电压随温度变化而变化,须对 $\text{KD}^* \text{P}$ 晶体进行温度控制,但温控系统很难准确反映晶体内部的温度,而且

作者简介:王旭 (1978-),男,助工,学士,主要从事全固态激光器及非线性频率变换的研究。E-mail: 010wangxu@sina.com
收稿日期: 2006-02-20; 修订日期: 2006-03-15

控温系统本身易受强电信号干扰,所以很难保证激光的稳定性,我们采用升压调 Q 方式,通过对调 Q 高压脉冲波形的设计,来适应半波电压的变化,克服上述方法的缺点。选用介质膜偏振片作为偏振器,主要是考虑到其抗损伤阈值较高,且插入损耗较小,以布儒斯特角放置在光路中,其作用是使在本振级谐振腔中振荡的基频激光成为适合倍频要求的线偏振光,在这里兼有起偏器和检偏器的作用。

2.3 放大级 Nd YAG 晶体的选取

放大级 Nd YAG 晶体在光泵浦作用下,产生粒子数反转,当本振级激光信号通过时,处于激发态的粒子在外来信号作用下产生受激辐射,得到放大的激光输出。设放大级 Nd YAG 晶体的长度为 l ,在四能级系统中, $\eta = 1$,则放大器的能量增益 G 可表示为^[6]:

$$G = \frac{E_s}{E_m} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{E_m}{E_s} \right) - 1 \right] G_0 \right\} \quad (1)$$

式中, E_s 为饱和能量密度; E_m 为单位面积的输入能量;其中小信号单程增益为:

$$G_0 = \exp(g_0 l) \quad (2)$$

根据上述公式^[6]的计算和实践经验,在放大级的设计中考虑到激光器的技术指标和工作可靠性,把放大级的放大倍率定为 2.5 倍,根据本振级的输出能量和光束质量,放大级 YAG 棒选取 $\phi 8 \times 118 \text{mm}$,端面磨斜 0.5° 加强隔离防止激光器产生自激。

2.4 二、三倍频晶体的选取

钛氧磷酸钾 (KTP) 晶体早已被广泛地应用于 $1\mu\text{m}$ 左右波长的 Nd 激光器二次谐波发生, KTP 晶体作为成熟的倍频晶体,除了具有大的有效非线性系数外,还具有大的接收角、大的温度带宽、较好的热特性和高的损伤阈值,这些优良的特性在我们长期大量的倍频激光器的研制和生产过程中也得到了很有力的验证。在激光器的实际应用中,环境温度的变化通常比在实验室时大得多,空气质量也差的多,连续工作的时间也都较长, KTP 晶体的上述特性恰好能适应这些较为恶劣的条件,因此本台激光器的研制过程中,我们选取 KTP 晶体作为二倍频晶体。

由于紫外光波长短,单光子能量大,因此紫外光的破坏能力更强,在选用三倍频晶体时(尤其在研制作为产品的紫外激光器中)具有较强的抗光学损伤能力就是一个很关键因素,而且晶体还必须具有较高的机械硬度和不易潮解,综合这几项因素,我们选取了三硼酸锂 (LBO) 晶体。LBO 晶体是可用于 Nd YAG 激光的三次谐波产生的优良非线性型晶体,

它具有紫外透光性好、光学损伤阈值高和非线性光学系数适中特点,此外, LBO 晶体性能稳定、机械硬度高、不潮解^[6-7],对于提高紫外光激光器的稳定性、可靠性也很有帮助。

2.5 混频方案的设计

三倍频激光的产生实际上是一个混频过程,是由频率为 ω 的激光束和频率为 2ω 的激光束在非线性晶体中通过三波相互作用进行混频,转换为 3ω 频率的激光^[6],即:

$$\omega + 2\omega = 3\omega \quad (3)$$

利用波耦合方程

$$\frac{dE_1}{dz} = i \frac{1}{k_1 c^2} \chi_{\text{eff}} E_3 E_2^* \exp(-i k z)$$

$$\frac{dE_2}{dz} = i \frac{2}{k_1 c^2} \chi_{\text{eff}} E_3 E_1^* \exp(-i k z) \quad (4)$$

$$\frac{dE_3}{dz} = i \frac{3}{k_1 c^2} \chi_{\text{eff}} E_3 E_2^* \exp(-i k z)$$

忽略泵浦光的损耗,经过推导可得到三倍频激光的输出光强表达式^[4]为:

$$I_3 = \frac{8^2 L^2 \chi_{\text{eff}}^2}{n_1 n_2 n_3^2 c^2} I_1 I_2 \frac{\sin^2(k \cdot L/2)}{(k \cdot L/2)^2} \quad (5)$$

式中, L 为晶体长度; χ_{eff} 为二阶有效非线性极化系数; I_1 、 I_2 和 I_3 分别为 3 支光束的光强; n_1 、 n_2 和 n_3 分别为 3 支光束在晶体中的折射率; k 为相位匹配系数, $k = k_3 - k_1 - k_2$ 。

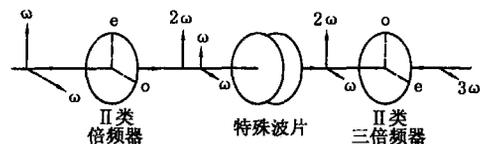


图 2 角度失谐方案原理图

如图 2 所示,本激光器中选取角度失谐方案^[1-2],采用常规的 II 类 KTP 晶体,入射的基波频率 ω 上有相同的 e 光子和 o 光子,通过适当选择 θ_d (偏离相位匹配的方向角) 和倍频晶体的长度,使每三个入射光子中的两个输出混合形成一个 e 方向上的 2ω 光子,剩余的基波光在 e、o 方向上产生具有相同振幅的两个线性极化量。但是由于倍频器的双折射,将引起一个相对的位相差,这个相位差可以通过温度调谐倍频器消除,或是将剩余的基频光通过一个特殊的波片(此波片既是 ω 的 $1/4$ 波片,又是 2ω 的全波片),利用第二块波片将 ω 与 2ω 电矢量正交入射到 II 类三倍频晶体上^[3]。

3 实验结果及讨论

根据上述理论分析,我们成功地研制出一台紫
(下转第 541 页)

3.3 实验数据

在腔内未加入凹透镜时,最大输出功率下的电流为 19A,最高输出功率为 16W;腔内加入凹透镜后,最大输出功率下的电流为 23A,最高输出功率为 22.3W,并且此时测得远场发散角 \times 束腰直径为 2.47mm mrad, M^2 因子为 1.8 的激光输出。腔内插入凹透镜前后输出功率随注入电流的变化如图 5 所示。

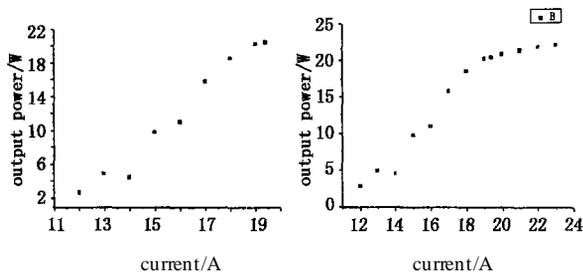


图 5 输出功率随注入电流的输出曲线

Fig 5 the curve of output power varying with the pumping power

4 结论

本文利用长腔方式对腔内振荡激光束进行选

(上接第 538 页)

外激光器,当本振级氙灯注入 31.2J,放大级氙灯注入 30.4J,重复频率 5Hz 条件下,获得脉宽 10ns,单脉冲能量 630mJ 的 1064nm 基频激光,经过 KTP 晶体倍频, LBO 晶体混频,得到单脉冲能量 140mJ 的紫外 355nm 激光输出,其脉宽为 9.7ns,光束发散角 1.5mrad,能量不稳定性 2%,光束直径 6.5mm。图 3 为单脉冲波形采样,图 4 为 355nm 激光近场(距出光口 200mm 处)光斑图样。

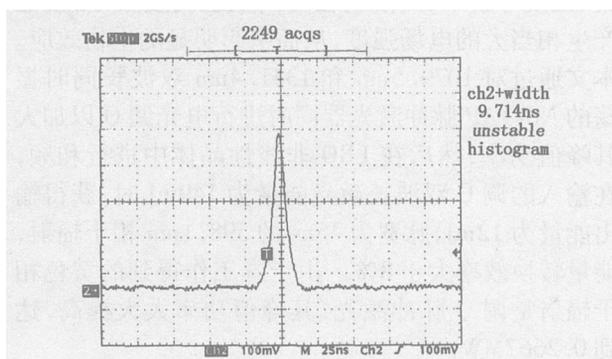


图 3 激光单脉冲波形



图 4 激光近场光斑

已获得较高的紫外 355nm 激光转换效率(22.2%),主要是由于采用了漫反射聚光腔、高斯

模,同时利用腔内插入凹透镜来补偿激光晶体的热透镜焦距,保证高功率、高光束质量的激光输出,实验中获得了最大输出功率为 22.3W、输出模式为 TEM₀₀模的激光输出。

参考文献:

- [1] Koechner W. Solid-State Laser Engineering[M]. Beijing: Science Press, 1999, 367 - 375.
- [2] Feng Yan, Bi Yong. 20 W Diode Dumped External Frequency-Doubled Nd:YAG Green Laser[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2003, 23(4): 469.
- [3] Chen Yuqing, Wang Jinghuan. Laser Principle[M]. Zhejiang Hangzhou University Press, 2002, 200 - 216.
- [4] D Welford, D M Rines, B J Ddinean. Efficient TEM₀₀-mode operation of a laser-diode side-pumped Nd:YAG laser[J]. OPTICAL LETTERS, 1991, 16(23).
- [5] Toomas H Alik. Efficient diode-array-pumped Nd:YAG and Nd:Lu:YAG lasers[J]. OPTICAL LETTERS, 1989, 14(2).

变反射率输出镜(VRM膜)的凹凸非稳腔和 KD*P 电光开关调 Q,从而获得了高峰值功率密度、高偏振度、光场能量分布均匀的基频激光,另外在产生三次谐波时选取角度失谐方案中加入特殊波片,也使得混频过程中 355nm 激光转换效率得到提高。能量不稳定性还可以进一步提高,其主要措施是提高三倍频晶体温控系统的控温精度。

参考文献:

- [1] R S Craxton. High Efficiency Frequency Tripling Schemes for High-Power Nd:Glass Lasers[J]. IEEE J. Quant Electron, 1981, 17: 1771 - 1781.
- [2] W Seka, S D Jacobs, J E Rizzo, et al. Demonstration of High Efficiency Third Harmonic Conversion of High Power Nd-glass Laser Radiation[J]. Opt Commun, 1980, 34: 469 - 473.
- [3] 郑万国,等. 高功率激光的三倍频高效转换实验[J]. 强激光与粒子束, 1995, 7(3): 417 - 421.
- [4] 宁继平,等. 全固态调 Q 紫外光 Nd:YAG 激光器的研究[J]. 光电子·激光, 2002, 13(8): 777 - 780.
- [5] 袁晓东,等. 高强度大动态范围高效率三倍频转换的数值模拟[J]. 强激光与粒子束, 2000, 12(1): 122 - 126.
- [6] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [7] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术[M]. 北京:科学出版社, 1995.