

LiB₃O₅ 参量调谐蓝紫光单脉冲皮秒激光器

黄 钊

(美国路易斯维尔大学物理系, KY40292)

殷宝璐 华有年 黄骊

(北京工业大学应用物理系, 北京 100022)

提 要

利用 Nd³⁺:YAG 主被动锁模加晶体管雪崩吸收单选,再放大、倍频、混频,产生 30 ps, 355 nm 激光单脉冲,用它泵浦 I 类非临界相应匹配的 LiB₃O₅ 光参量发生器,在精密温度控制下,获得 415.9~482.6 nm 的蓝紫光可调谐输出,线宽 0.15 nm,最高参量转换效率 37.6%,可输出能量为 6.33 mJ,峰值功率为 211 MW 的皮秒激光单脉冲。

关键词 LiB₃O₅ 晶体(LBO),光参量发生,非临界相位匹配。

1 引 言

光参量过程是人们熟知的产生高功率、波长可调谐激光的重要手段。随着新型优质非线性光学材料,如 β -BaB₂O₄(BBO)^[1]和 LiB₃O₅(LBO)^[2]等的出现,以及高峰值功率(GW)相干辐射源的发展,进行光参量研究的实验环境越来越有利,研制可调谐激光器的物质条件也越来越成熟。

用 355 nm 纳秒(ns)激光脉冲泵浦 LBO 光参量振荡器(OPO)已经获得有价值的实验结果^[3,4]。这些结果充分证明了 LBO 的许多特性。但,LBO 的高参量阈值和 OPO 谐振腔宽带膜的低破坏阈值仍成为目前很难克服的矛盾,它使得 LBO-OPO 系统只能工作在低效运行状态。显然,目前的 LBO-OPO 实验结果并未象 BBO-OPO 那样充分发挥晶体的效力,所以还不能提供研制实用样机的充分根据。

与此同时,没有谐振腔的光参量发生(OPG)与放大(OPA)系统则成为引人注目的运行方案。这种方案不仅结构简单,而且由于直接用 ps 激光单脉冲进行泵浦,所以可释放出波长可调谐的 ps 单脉冲,而不是 OPO 输出的脉冲列。利用主被动锁模加晶体管雪崩吸收式单脉冲选取,然后进行放大和谐波发生,能产生高稳定度高功率密度的皮秒激光单脉冲,这就为 LBO-OPG 方案的实施提供了充分的条件。本文实现这一方案。

2 系统描述

本文研制的宽频带参量调谐 ps 激光器分两大部分:第一部分是 Nd³⁺:YAG 主被动锁模

收稿日期:1992年3月20日;收到修改稿日期:1992年6月3日

* 关于这部分的详细原理及系统实验,已在文献[5,6]中讨论。

加雪崩晶体管吸收单选,再利用倍频与混频,产生波长 355 nm,脉宽 30 ps、能量 17 mJ 的高功率密度激光单脉冲,能量不稳定性小于 $\pm 3\%$,光束直径 8 mm. 横截面光强为近似高斯分布,远场发散角 0.7 mrad^* ;第二部分为非临界相位匹配温度调谐 LBO 光参量发生系统,如图 1 所示,泵浦光经一焦距 $f = 1 \text{ m}$ 的石英透镜聚焦后入射到 LBO 晶体上,该晶体距焦点的距离随运行条件进行调整,以获得 OPG 运行的最佳增益,一块经抛光但未镀膜的 x、y、z 切($3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$)二类非临界相位匹配 LBO 晶体($\theta = 0^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, NCPM)放在一加热炉中. 该加热炉的温度由精密控制仪控制,控制精度为 $1250 \pm 0.5^\circ\text{C}$. 毫伏给定长期稳定性在满量输出时的漂移 $\leq 3 \mu\text{V}/\text{day}$ 该加热炉的温度被一带单片机的热电偶反馈系统以 0.5% 的精度进行调节和控制. 泵浦光通过二类非临界相位匹配 LBO 晶体产生的信号光经 Pellin-Broca 棱镜而与剩余的泵浦光分离. 然后由一台中科院物理所生产的高灵敏度数字式功率/能量计测量输出功率,其波长与线宽用北京光学仪器厂生产的 WDG-30 型高分辨率光栅单色仪进行检测,其波长测量范围在用一块 1200 1/mm 光栅时为 $380 \text{ nm} \sim 760 \text{ nm}$,正好覆盖所要测量的蓝紫光波段,波长准确度在用 1200 1/mm 光栅时为 0.2 nm ,波长重复性为 0.1 nm ,波长分辨率 $\leq 0.1 \text{ nm}$. 所有这些过程及反馈信息均由单片机智能化系统控制和处理,并与温度精密调节的实施部分构成闭环,从而形成初步的智能化实用样机.

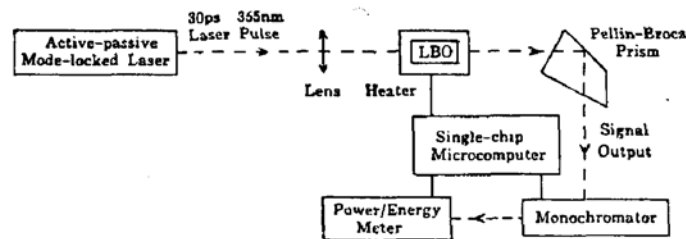


Fig. 1 Schematic of automatic blue-violet ps laser

3 结果与分析

在 $21^\circ\text{C} \sim 480^\circ\text{C}$ 温度范围内对 LBO 晶体进行研究时,首先发现,二类非临界相位匹配 LBO 具有 $482.6 \text{ nm} \sim 415.9 \text{ nm}$ 的波长调谐范围. 且在这个范围内保持 0.15 nm 的窄线宽和 $-0.15 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 的近似线性的大温度调谐系数. 由于温控系统精度很高,温度场均匀稳定,而所用 LBO 晶体截面仅 $3 \times 3 \text{ mm}^2$,很容易达到热平衡而使晶体受热均匀,所以减少了输出的误差. 在 $21^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 温度调谐范围内,波长随温度改变的线性度非常好,只是到了 450°C 以后,已接近 LBO 晶体的一个相变点(约 500°C),波长不随温度改变而保持在 415.9 nm^* ,如图 2 所示. 由于 LBO 对泵浦光的接收角很大,对匹配角的要求不像一类匹配角调谐那么严格,而输出参量光的线宽又窄. 所以能量转换效率高达 47.6% . 由于参量光输出波长在 $482.6 \text{ nm} \sim 415.9 \text{ nm}$ 范围内,其线宽随波长的变化非常小,实验仅考虑蓝紫光的输出而不采用红外部分的闲频光,所以在整个蓝紫光输出范围内线宽小于 0.15 nm ,有较大的实际应用价值.

这个实验结果与我们根据相位匹配条件、Sellmeier 色散函数以陈创天教授提供的晶体折射率实测数据^[2],所进行的理论计算结果很好地相符.

* 在所研究的温度范围内,晶体的性能没有受到破坏,说明 LBO 具有很好的温度稳定性.

从文献[4]中还可知,通过把 LBO 的温度降低到 -35°C ,可获得 487 nm 波长的信号光.另外,从理论上讲,这个将近 70 mm 的调谐范围还是可能(以不同方式切割的晶体所)拓宽实际效果如何,还有待实验验证.

实验在 13.5 mJ 的泵浦能量下,对于不同波长的信号光,测量其输出能量及泵浦光到信号光的转换效率,从图 3 看,随着波长的增加,信号光(可见部分)与闲频光(红外部分)的波长乘积越来越大,其能量转换效率也越来越高.到了 471 nm 以上,基本达到饱和.

最后,实验还研究了室温下(21°C)泵浦强度对 LBO—OPG 的影响(如图 4 所示),实验检测到二类非临界相位匹配 LBO 光参量发生的阈值为 2.17 mJ($2.4\text{ GW}/\text{cm}^2$),随着泵浦强度的加大,信号光能量也逐渐增加,直到泵浦强度为 16.8 mJ($17.8\text{ GW}/\text{cm}^2$),信号光单脉冲的峰值功率达到最高点 211mW,此时,整个系统的信号光输出为 6.33 mJ,泵浦光到信号光的能量转换效率为 37.6%.

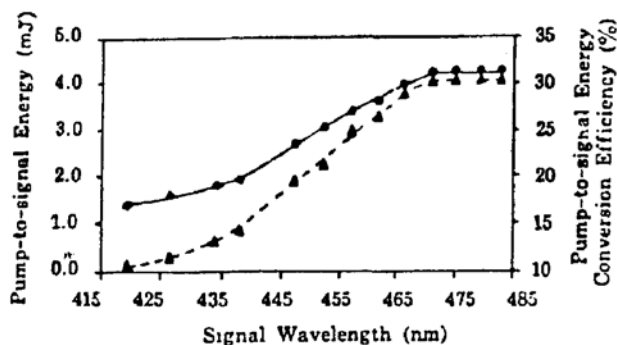


Fig. 3 Pump-to—signal energy (spot) and its conversion efficiency (triangle) as functions of wavelengths for type I LBO (NCPM) OPG

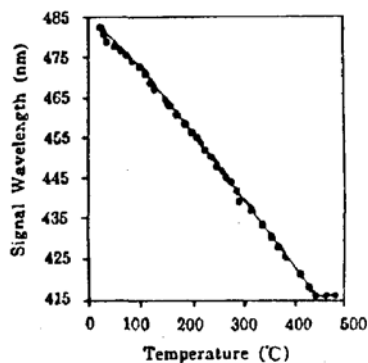


Fig. 2 Experimental temperature tuning curve of the signal wavelength for type II LBO (NCPM) OPG

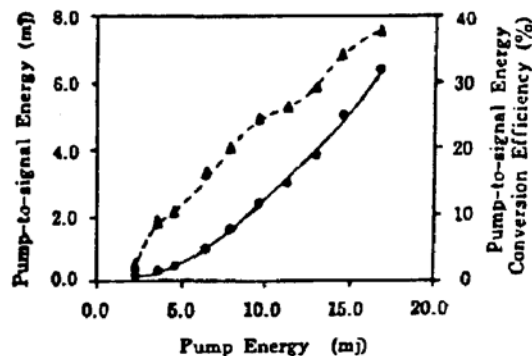


Fig. 4 Pump-to-signal energy (spot) and its conversion efficiency (triangle) versus to pump energy for type II LBO (NCPM) OPG at room temperature

从图 4 还可以看到,能量转换效率曲线有几个平缓区,这是和频振荡带来的结果.该过程为参量振荡过程的逆过程,它将信号波及闲频波的能量传递给泵浦波,从而降低了参量过程中能量总体转换效率.这种三波耦合产生的能量转换变化足以使晶体介质内周期性发生^[7].然而由于泵浦强度的高斯分布、在同一光束横截面上,各点强度不同,产生和频的时间也不同,所以,观察不到明显的总体信号光能量下降,但是,如果泵浦强度被改善得更为均匀、和频过程将在横截面的不同位置同步发生使能量减弱,从而会在某些泵浦强度下,明显地看到输出信号光的降低.但重要的是,与此同时,在其它一些导致和频作用较弱的泵浦强度下,将会出现更高的信号光总体输出,这正是我们要寻找的最佳输出功率点.

通过研究二类非临界相位匹配 LiB_3O_5 晶体的特性,作者设计了一个高转换效率 LBO 光参

量发生系统. 以它为重要组成部分研制成功的 LiB₃O₅ 参量调谐蓝紫光单脉冲皮秒激光器, 可产生高能量、窄线宽, 蓝紫光波段的皮秒激光单脉冲, 它可能在激光化学、激光生物遗传工程、激光医疗、激光探测和铯原子谐振波等领域中得到进一步应用.

衷心感谢中国科学院福建物构所福晶公司为本文提供了出色的 LiB₃O₅ 晶体.

参 考 文 献

- [1] H. Vanherzeele, C. Chen, Widely tunable parametric generation in beta barium borate. *Appl. Opt.*, 1988, 27 (13):2634~2636
- [2] C. chen, Y. Wu, A. Jiang *et al.*, New nonlinear-optical crystal; LiB₃O₅. *J. O. S. A. (B)*, 1989, 6(4):616~621
- [3] F. Hanson, D. Disk. Blue parametric generation from temperature-tuned LiB₃O₅. *Opt. Lett.*, 1991, 16(4):205~207
- [4] Y. Wang, Z. Xu, D. Deng *et al.*, Visible optical parametric oscillation in LiB₃O₅. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, 59 (5):531~533
- [5] F. Huang, B. Yin, L. Huang *et al.*, Generation of high-stability intense picosecond pulses by active-passive mode-locked Nd:YAG laser. *Proc. 89 Topical Meeting on Solid State/Semiconductor Laser*. Beijing; 1989;1322~1324
- [6] L. Huang, X. Li, M. Chai *et al.*, All home-made avalanche transistor driven single pulse selector for Nd:YAG mode locking lasers. *Proc. SPIE*, 1990, 1230:354~356
- [7] R. A. Baumgartner, R. L. Byer, Optical parametric Amplification. *IEEE J. Quant Electron*, 1979, QE-15(6):432~439

Blue-violet tunable LiB₃O₅ single pulse ps laser

HUANG Fang

(Department of Physics, University of Louisville, Louisville, Kentucky 40292, USA)

YIN Baolu HUA Younian HUANG Liu

(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

(Received 20 March 1992; revised 3 June 1992)

Abstract

By using an active-passive mode looked Nd³⁺:YAG laser and avalanche transistor absorption single pulse slicer, amplifier, frequency doubler, and a frequency mixer, 30 ps single laser pulse at 355 nm was obtained. It was used as the pump source of a type II noncritically phase-matched LiB₃O₅ optical parametric generator.

Under the precise control of crystal temperature, 415.9-482.6 nm tunable blue-violet laser with 0.15 nm linewidth has been achieved. The highest parametric energy conversion efficiency has been up to 37.6%, which leads to the picosecond laser output with energy of 6.33 mJ and peak-power of 211 MW.

Key words LBO crystal, optical parametric generation, noncritically phase-matching.