

文章编号: 1001-3806(2003)03-0245-03

## 双 BBO 腔内倍频消除走离效应对激光器的影响

高兰兰 檀慧明 陈颖新

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春, 130022)

**摘要:** LD 泵浦的 Nd:YAG/BBO 腔内倍频蓝激光器中的第 2 个 BBO 倍频晶体的光轴相对于第 1 个 BBO 倍频晶体的光轴成两倍位相匹配角放置时,可补偿倍频光束在晶体内的走离效应,能有效地改善倍频光输出激光光斑质量。在每个 BBO 晶体的长度为 1.5 倍的有效作用长度时,仍获得了椭圆度为 0.99 的圆形光斑。

**关键词:** 双倍频晶体;走离角;光斑质量

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A

## To eliminate the walk-off effect in intracavity doubling blue laser with two BBO crystals

Gao Lanlan, Tan Huiming, Chen Yingxin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun, 130022)

**Abstract:** With the optical axis of the second BBO crystal twice the phase matching angle relative to the first one in LD-pumped intracavity doubling solid-state Nd:YAG/BBO blue laser, walk-off effect has been compensated and the beam quality has been improved. When each BBO crystal is 1.5 times longer than the effective interaction length, the output beam of the Nd:YAG/BBO/BBO laser is still circular and the ellipticity is 0.99.

**Key words:** two doubling crystal; walk-off; facula

### 引言

全固化固体激光器具有效率高、光束质量好、寿命长、体积小、可靠性高、结构牢固、使用方便等特点,在激光光谱技术、精密测量、信息存储、彩色打印、激光雷达、激光医学等方面有广泛应用。选用 Nd:YAG 或 Nd:YVO<sub>4</sub> 作为激光工作物质,采用 LBO, KNbO<sub>3</sub> 晶体进行腔内倍频,得到波长为 473nm 的蓝光激光输出,关于这样的 LD 泵浦的全固体蓝光激光器的报道有很多<sup>[1~4]</sup>。而有关有效非线性系数较大的 BBO 晶体作为倍频晶体的报道却很少。其主要原因就是 BBO 晶体具有较大的走离角,使得基频光与倍频光的相互作用距离短,倍频效率低,光束质量差,因此制约了此类激光器的使用。作者首次提出在 LD 泵浦的腔内倍频蓝激光器中采用两个 BBO 倍频晶体,使两个倍频晶体的光轴成 2 倍位相匹配角放置,利用后一块晶体补偿前一块晶体的倍频光走离效应,改善输出光斑质量,提

高了 BBO 晶体在 LD 泵浦的腔内倍频蓝激光器中应用的可能性。

### 1 实验原理分析

BBO 是一种新型非线性晶体,属 3 晶类;它的透明区为 0.19 $\mu$ m ~ 3 $\mu$ m,非线性系数  $d_{11}$  约为 KDP 晶体  $d_{36}$  的 4 倍;它的化学性质稳定,易于加工镀膜;而且光损伤阈值很高,是用于腔内倍频的一种性质最优良的倍频晶体之一。

BBO 是负单轴晶体。在 946nm 处,它可以通过类位相匹配方式  $o(\theta) + o(\theta) = e(2\theta)$  产生 473nm 的蓝激光输出。匹配角  $\theta = 25^\circ$ ,  $\phi = 0$  时,它的有效非线性系数最大。BBO 与 LBO 晶体都可以用类位相匹配方式经腔内倍频产生 473nm 的蓝激光输出,其中主要参数比较如表 1。

从表 1 可以看出,BBO 晶体类位相匹配的有效非线性系数是 LBO 晶体的 2.5 倍。对于腔内倍频激光器,在未达到最佳优化倍频效率时,它的倍频效率近似与有效非线性系数的平方成正比<sup>[5]</sup>。因此,利用 BBO 腔内倍频,倍频效率会提高 6 倍。而且 BBO 对温度的控制精度要求不严格,从某种程度

作者简介:高兰兰,女,1975 年 1 月出生。博士研究生。现主要从事全固体单频蓝绿激光器的研究。  
收稿日期:2002-05-20;收到修改稿日期:2002-07-28

上来说这可以弥补它角度调节范围小的缺点。

Table 1 The principal specifications comparison between LBO and BBO crystals

crystal	walk-off angle/ mrad	phase matching angle / (°)		$d_{eff}/$ ( $\text{pm} \cdot \text{V}^{-1}$ )	temperature range/ (K cm)	max. acceptance angle/ (mrad cm)
		$/ (^\circ)$	$/ (^\circ)$			
LBO	11.29	90	19.3	0.799	7.29	5.21 5.21
BBO	60.18	25	0	2.01	30.75	0.95 0.95

但是,由于 BBO 晶体走离角比较大 (60.18mrad),取激光器的基频光束腰半径为  $w = 100\mu\text{m}$ ,根据晶体中基频光与倍频光的相互作用长度公式:  $L = 1.16 w / \theta$  可知,BBO 晶体中基频光与倍频光的相互作用长度只有 2mm,超过这个数值,倍频光的光斑被明显的拉长<sup>[6]</sup>,光束质量变差。如图 1,图 4,图 5 所示。

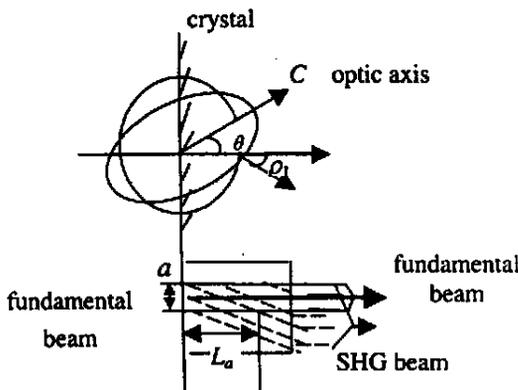


Fig. 1 The walk-off effect

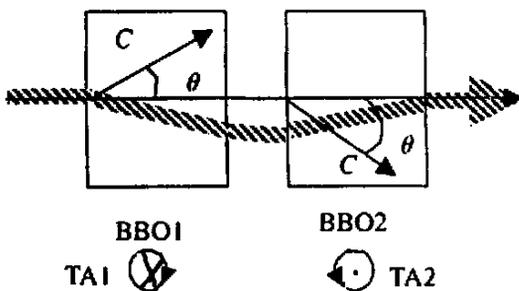


Fig. 2 Two crystals walk-off compensation arrangement

为了避免走离效应对倍频效率和光斑质量的影响,作者采用两个倍频晶体成 180° 放置。图 2 是该种放置方式的侧视图。两个倍频晶体的光轴之间的夹角为  $2\theta$ 。在第 1 个倍频晶体中倍频光的能量传播方向与基频光的走离角为  $\theta_1$ ,在第 2 个倍频晶体中产生的走离角为  $\theta_2$ ,它们大小相同,但却分布在基频光传播方向的完全相对的两侧。因此,基频光

通过两个倍频晶体时,倍频光首先在第 1 个倍频晶体中向下发生偏移,在第 2 个倍频晶体时又向上发生偏移,获得了补偿。这样,基频光通过两个倍频晶体后,不仅增大了基频光和倍频光的相互作用长度,还改善了倍频光斑的质量。

## 2 试验装置

实验装置如图 3 所示。国产 LD 最大输出功率为 2W,中心波长为 808nm;Nd:YAG 晶体厚度为 1.5mm,掺杂浓度为 1%,Nd:YAG 晶体的一个端面和输出镜构成平凹腔结构。Nd:YAG 晶体的输入端镀 808nm 增透和 946nm 高反,另一端镀 946nm 增透;输出镜的镀膜要求为 946nm 高反,1064nm 和 473nm 增透。两块 BBO 晶体的尺寸都为 3mm × 3mm × 3mm,类型相匹配切割,双面镀 473nm 和 946nm 双波长增透。

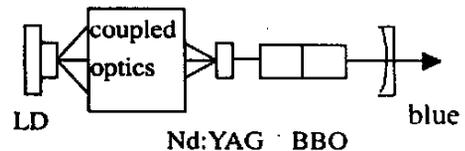


Fig. 3 Schematic of the plane-curved cavity of 473nm blue laser

## 3 实验结果与分析

图 4a 和图 4b 分别为谐振腔中放一个 BBO 倍频晶体和放两个 BBO 倍频晶体时光斑轮廓仪测得的光斑形状。从图 4 中可以很明显看出光斑的上端有一个彗星状的尾巴,这是 BBO 倍频晶体的走离效应对光斑产生影响的结果。与此相对照,图 4b 基本为圆形光斑。其中光斑的椭圆度分别为 0.78 和 0.99,这说明利用两个 BBO 倍频晶体补偿走离效应的方法具有一定的可行性。

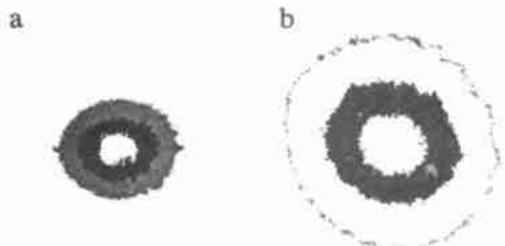


Fig. 4 a—the beam shape with one BBO  
b—the beam shape with two BBO

图 5a 和图 5b 分别为上述两种情况下用数码相机拍摄到的光斑情况。图 6 是 LD 的泵浦功率与 473nm SHG 功率输出的变化关系曲线。当 LD 泵浦功率为 1700mW 时,谐振腔中放两个 BBO 倍频晶体,最大输出功率达到 1mW。功率偏低的主要原

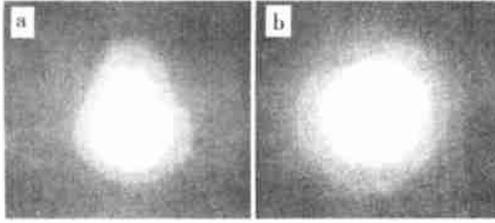


Fig. 5 a—the beam shape with one BBO  
b—the beam shape with two BBO

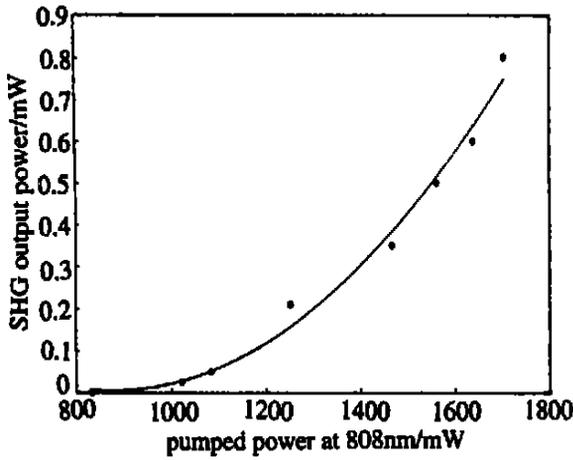


Fig. 6 The SHG output power at 473nm with two BBO crystals via the pump power at 808nm

因是在谐振器内放入两个 BBO 倍频晶体,增加了谐

振腔内的插入损耗,阈值功率也随之增加,LD 的泵浦功率接近于激光器运行的阈值功率,因此,造成倍频光输出功率偏低。如果采用大功率 LD 作为泵浦源,精确控制倍频晶体的温度,则倍频光输出功率应迅速增加。

从上述理论和实验可以看出,对于 LD 泵浦的腔内倍频激光器,可以利用两个倍频晶体成 180° 放置的方法,使走离效应在两个倍频晶体中抵消或得到补偿,从而改善 BBO 晶体的走离效应对倍频过程的影响。这种方法不仅增加了 BBO 晶体的有效相互作用长度并提高了光斑质量,为 BBO 晶体在腔内倍频激光器中应用开拓了前景。

参 考 文 献

[1] Gaebler V, Liu B N, Eichler H J. Opt Lett, 2000, 25(18): 1343 ~ 1345.  
 [2] Matthews D G, Conroy R S, Sinclair B D. Opt Lett, 1996, 21(3): 198 ~ 200.  
 [3] Zeller P, Peuser P. Opt Lett, 2000, 25(1): 34 ~ 36.  
 [4] Du G G, Ruan S Ch, Zhu Q. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(11): 1392 ~ 1394.  
 [5] 亚里夫 A. 量子电子学. 上海: 科学技术出版社, 1983: 443 ~ 447.  
 [6] 蓝信钜. 激光技术. 北京: 科学出版社, 2000: 231 ~ 236.

(上接第 244 页)

的焦距  $f_1 = 12.5733\text{mm}$ , 正柱面透镜的焦距  $f_2 = 24.343\text{mm}$ 。这样得到的准直光束腰粗为  $0.325\text{mm}$ , 发散角为  $1.48\text{mrad}$ 。对于不同发散角的激光器, 得到的准直光束的腰粗、发散角虽然各不相同, 但是它们的指标基本上都能满足实验的需要。

采用的脉冲高峰值功率半导体激光器的发射波长为  $0.910\mu\text{m}$ , 驱动电流小于  $35\text{A}$ , 发散角为  $40^\circ \times 10^\circ$ , 发光功率为  $30\text{W}$ , 脉冲宽度为  $100\text{ns} \sim 200\text{ns}$ , 重复频率小于  $5\text{kHz}$ , 体积为  $120\text{mm}^3$ , 直径为  $10\text{mm}$ , 峰值功率为  $50\text{W}$ 。

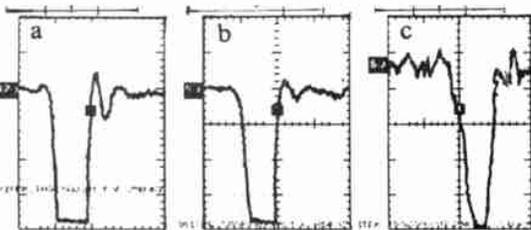


Fig. 5 Detected echo signal when the background is concrete at the detected range of a—100m b—150m c—200m

图5是利用该光学系统进行实验的结果。从

实验结果采集的回波信号可分析到, 该系统的光学准直性能很高, 在探测到  $200\text{m}$  时, 得到的回波信号还是很强的, 但该系统的体积却随之增大。一般情况下, 探测距离增加是以体积的增大和系统的复杂作为牺牲的。该光学系统一般可用于中距离的探测。

2 结 论

根据半导体激光器的光束的特点, 在精度允许的情况下, 用单透镜实现准直, 既简单、方便又经济实用; 在探测距离远时, 利用柱面透镜进行准直, 可以做到准直性能很高的系统。

参 考 文 献

[1] 张登臣, 郁道银. 实用光学设计方法与现代光学系统. 北京: 机械工业出版社, 1995.  
 [2] 黄德修, 刘雪峰. Semiconductor lasers and their application. 北京: 国防工业出版社, 1999.  
 [3] Housand B J. Combined laser/optics system. United States Patent: 6359681, 1997-04-01.  
 [4] Buus J. Semiconductor lasers for WDM systems. IEEE 17th International Conference. Toronto, 2000.  
 [5] 杨志文. 光学测量. 北京: 北京理工大学出版社, 1992.