

# 新型非线性晶体——CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>的倍频效应\*

张秀荣 张顺兴 柴 耀

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 介绍了新型非线性晶体——CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>(CLBO)的非线性光学(NLO)特性。用 CLBO 单晶在调 Q Nd: YAG 激光器上实现了 2 $\omega$ , 3 $\omega$ , 4 $\omega$  和 5 $\omega$  谐波激光输出, 转换效率分别为 60%, 5%, 43% 和 8%。对影响倍频光转换效率的因素进行了讨论。

**关键词** 新型非线性晶体, NLO 特性, 转换效率, 谐波激光输出。

## 1 引 言

由于用 LD 抽运的全固态 UV 激光器体积小、结构简单、应用方便, 对它的研究越来越受到人们重视。所产生的紫外光波长短, 穿透力强, 应用非常广泛, 比如机械探伤、制作高密度光盘、光刻技术、微型手术刀等, 尤其是可用 UV 波长的 PLD 技术制作碳化氮膜(CN), 碳化硼氮(CBN)薄膜, 以及制造其他重要的材料。

现有的非线性晶体材料  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(BBO) 已经用于紫外激光器, 但是, BBO 晶体的离散角大, 接收带宽窄, 它的吸收边是 189 nm, 影响了 Nd: YAG 激光器产生 UV 倍频光的转换效率。

近几年来研究的非线性晶体 CLBO 的非线性光学(NLO)性能好, 离散角小, 接收带宽, 光谱和温度带宽都很宽, 破坏阈值高, 很适合高功率 Nd: YAG 激光器产生紫外倍频光。我们用 CLBO 晶体在调 Q 的 Nd: YAG 激光器上获得 2 $\omega$ , 3 $\omega$ , 4 $\omega$  和 5 $\omega$  倍频光输出。

## 2 CLBO 单晶的 NLO 特性

CLBO 晶体具有四方结构, 空间群为  $\bar{1}42d$ , 晶胞尺寸为:  $a = 1.0494(1)$  nm,  $c = 0.8939(2)$  nm, 对称性  $Z = 4$ , 透光范围为 175~2750 nm, 非线性系数  $d_{36}$ (CLBO) = 2.2d(KDP)  $\cong$  0.95 pm/V(1064 nm),  $d_{\text{eff}} = 1.01$  pm/V(530 nm), CLBO 的 NLO 特性和其他非线性晶体的比较见表 1。

## 3 激光实验

1) 在脉宽为 50 ps 的锁模 Nd: YAG 激光器上用尺寸为 10 mm  $\times$  10 mm  $\times$  10 mm 的 I 类匹配 CLBO 单晶腔外倍频, 获得 532 nm 波长的激光输出。当基波(1064 nm) 输出能量为 28 mJ

\* 国家自然科学基金(编号: 69788001) 和 863-416-2 资助项目。

收稿日期: 1999-08-23; 收到修改稿日期: 1999-09-29

表 1 CLBO 与 KDP, BBO, LBO, CBO 晶体的非线性光学特性比较

Table 1 The NLO properties of CLBO,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (KDP), BBO,  $\text{LiB}_3\text{O}_5$ (LBO) and  $\text{CsB}_3\text{O}_5$ (CBO)<sup>[1,2]</sup>

Crystal nature transparent	$\lambda / \text{nm}$	CLBO	KDP	BBO	LBO	CBO
Region/ $\mu\text{m}$		0.175~ 2.8	0.25~ 1.7	0.198~ 3.5	0.165~ 3.2	0.160~ 3.0
$\Delta\theta / \text{mrad}\cdot\text{cm}$	1064 532	1.7 0.49	3.4 1.7	0.51 0.17	9.5	1
$\Delta\lambda / \text{nm}\cdot\text{cm}$	1064 532	5.6~ 7.3 0.13	11.5 0.13	2.11 0.07	0.07~ 0.1	
$\Delta T / ^\circ\text{C}\cdot\text{cm}$	1064 532	43.1 8.3	19.1 1.2	37.1 4.5	~ 0.07	5 18.7
Walk-off angle/deg	1064 532	1.78 1.83		3.2 4.8	1.7	1.76
Birefringence coefficient	532	0.052		0.12	0.046	
Damage threshold / $\text{GW}/\text{cm}^2$	1064	26	~ 20	13.5	6	26
NOL ( $d_{\text{eff}}$ ) / $\text{pm}/\text{V}$	1064 532	0.95 1.01	0.38 0.51	2.06 1.32	1.1	0.48
Absorption efficiency/ $\text{cm}^{-1}$	1064	0.025	0.03~ 0.05	0.01	0.02	

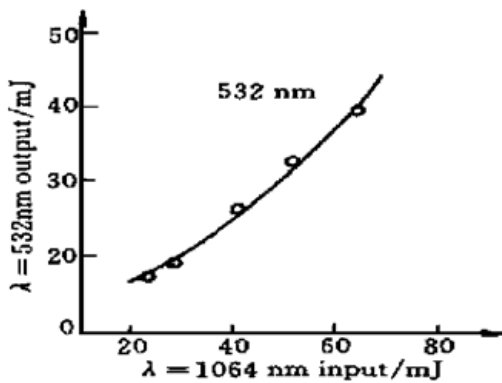


图 1 CLBO 单晶在调  $Q$ 、锁模 Nd:YAG 激光器上产生的 2 次谐波的输出特性  
Fig. 1 Second harmonic output characters of a  $Q$ -switched and mode-locked Nd:YAG laser with CLBO crystal

时,单模单脉冲(532 nm)输出为 18.5 mJ,转换效率 60% 以上,输出特性如图 1 所示。

2) 用 CLBO 晶体在调  $Q$  Nd:YAG 激光器上实现倍频激光输出,必须满足相位匹配条件,表 2 给出 CLBO 晶体的相位匹配角、折射率及激光波长的关系。

在脉宽为 20 ns 的调  $Q$  Nd:YAG 激光器上用 10 mm  $\times$  10 mm  $\times$  10 mm CLBO 单晶腔外倍频,实现了  $2\omega$ ,  $4\omega$  和  $5\omega$  倍频光输出,实验装置如图 2(3 倍频实验是单独做的)。倍频光的输出特性如表 3。

Y. K. Yap 等<sup>[3]</sup>利用 CLBO 单晶在调  $Q$  的 Nd:YAG 激光器上实现  $2\omega$ ,  $4\omega$  和  $5\omega$  倍频光输出,获得较高的输出能量。

## 4 讨 论

1) 影响倍频转换效率的因素很多,从倍频转换效率公式中可以看出

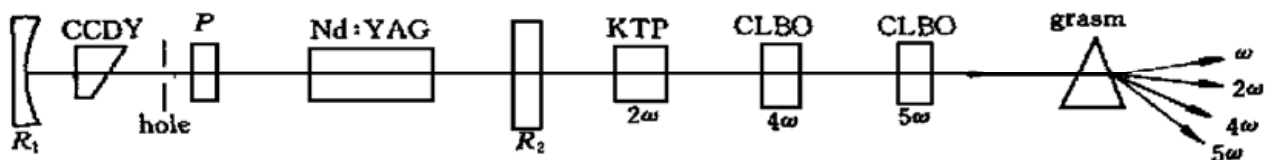


图 2 用 CLBO 单晶在调  $Q$  Nd:YAG 激光器上产生 2 次、4 次和 5 次谐波的实验装置  
Fig. 2 Experimental setup for  $2\omega$ ,  $4\omega$  and  $5\omega$  generation of Nd:YAG laser with CLBO crystal

$$\eta = \frac{I(2\omega)}{I(\omega)} \propto I(\omega) \times \left[ \frac{\sin \frac{1}{2} l \Delta k}{\frac{1}{2} l \Delta k} \right]^2$$

$\Delta k = 0$  时, 倍频光转换效率高, 相位因子达到最大值, 即倍频晶体的切割相位角要准确, 晶体尺寸要适当。

表 2 CLBO 单晶的相位匹配角和折射率随波长的变化

Table 2 The change of PM and refractive index with laser wavelength in CLBO crystal

$\lambda / \text{nm}$	$n$		PM		$\lambda / \text{nm}$	$n$		PM		
			$\theta$	$\varphi$				$\theta$	$\varphi$	
1064	$n_o$	1.4852			266	$n_o$	1.5449	61°	45°	
	$n_e$	1.4356				$n_e$	1.4845			
532	$n_o$	1.4985	1	30°	45°	213	$n_o$	1.5950	67°	45°
	$n_e$	1.4449	2	43°	0°		$n_e$	1.5150		
355	$n_o$	1.5190	1	48°	45°					
	$n_e$	1.4635	2	63°	0°					

表 3 CLBO 在调 Q Nd:YAG 激光器上产生 2 次, 3 次, 4 次和 5 次谐波的输出结果

Table 3 The experimental results of  $2\omega$ ,  $3\omega$ ,  $4\omega$  and  $5\omega$  generation of a Q-switched Nd:YAG laser with CLBO crystal

CLBO length/mm	Wavelength / nm	Input peak power/mW	Double way	Wavelength / nm	Output peak power/mW	Conversion efficiency/%
10	1064	248	$2\omega$	530	107	40
10	1064	248	$3\omega$	355	12.7	5
10	530	107	$4\omega$	266	46.3	43
6	266	121	$5\omega$	213	9.3	8
	1064					

2) 晶体的非线性要大, 对基波光的吸收小, 热传导率高。为了实现  $4\omega$  和  $5\omega$  谐波输出, 要求非线性晶体的离散角小, 接收角宽, 光谱和温度带宽都要宽。

3) 晶体的不均匀性和缺陷对倍频光输出功率有很大影响。晶体光学质量要好, 折射率均匀才会提高倍频光的输出稳定性。目前, CLBO 单晶的光学质量已接近玻璃水平, 折射率的变化  $\Delta N = 1.2 \times 10^{-5}$ , 如图 3。

4) 在室温下, 用 CLBO 单晶在调 Q 的 Nd:YAG 激光器上产生谐波输出是稳定的, 激光烧的斑点也很圆。但做 4 倍频实验时, Y. K. Yap<sup>[1]</sup> 认为, 若是峰值功率过高, 容易引起晶体吸收 266 nm 波长的光, 形成自加热, 也会引起折射率变化, 导致输出下降。K. Deki<sup>[4]</sup> 认为, 在峰值功率低于  $2 \text{ kW/cm}^2$  的条件下, 运转 1000 多个小时  $4\omega$  输出不下降。

#### 5) CLBO 晶体的防潮问题

(1) 保持 CLBO 晶体周围环境干燥。

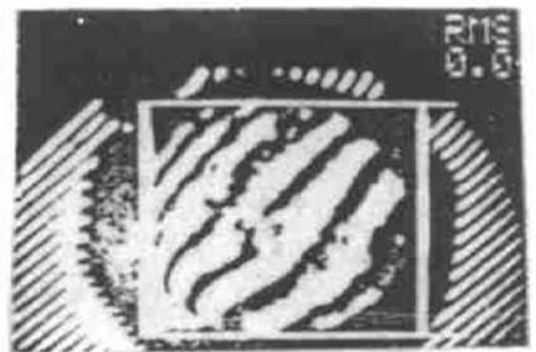


图 3 尺寸为  $\varnothing 70 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  CLBO 单晶的干涉图

Fig. 3 Interference diagram of CLBO crystal,  $\varnothing 70 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$

CLBO 晶体相对其他非线性晶体的吸潮性小。但是,长期放在空气中吸潮容易风化(裂开)。可采用密封盒,或给晶体加热  $120^{\circ}\text{C}$  左右。

Y. K. Yap<sup>[3]</sup>把晶体放在一个未封闭的加热器中,温度保持  $120\sim 160^{\circ}\text{C}$ ,经过一个多月后,在室温下用 CLBO 单晶在调  $Q$  Nd: YAG 激光器上产生  $4\omega$  倍频光,输出未下降,稳定性很好。

(2) 从根本上解决 CLBO 单晶的潮解问题,实行掺杂生长。

因为 CLBO 晶体的结构较松散,容易吸水。CLBO 晶体吸潮后,用 X 射线衍射仪分析探测,发现有  $5\text{B}_2\text{O}_3\cdot\text{Cs}_2\text{O}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$  存在。我们对 CLBO 进行掺杂生长试验,已取得初步成效,还在继续研究。掺杂后晶体既可防潮,又可以提高它的硬度。

(3) 退火试验

由于机械加工(切割,抛光,镀膜)和吸潮产生的应力,会影响晶体的折射率变化,只要对晶体进行退火(温度  $200^{\circ}\text{C}$ , 3 天即可)就可以消除应力。

**致谢** 华北光电技术研究所姚广涛教授和张韶光工程师以及中国科学院上海光机所孙占鳌和杨香春教授做了激光实验,复旦大学陈明勤教授测量了 CLBO 晶体结构,在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Y. K. Yap, M. Inagaki, S. Nakajima *et al.*. High-power fourth and fifth harmonic generation of a Nd: YAG laser by means of a  $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ . *Opt. Lett.*, 1996, **21**(17): 1348~ 1350
- 2 Zhang Xiurong, Zhang Shunxin, Chai Yao. Study new nonlinear optical crystal—cesium lithium borate. *J. Synthetic Crystals* (人工晶体学报), 1998, **27**(1): 26~ 30 (in Chinese)
- 3 Y. K. Yap, T. Inoue, H. Sakai *et al.*. Long-term operation of  $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  at elevated crystal temperature. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(1): 34~ 36
- 4 K. Deki, Y. Kagebayashi, N. Kitatochi *et al.*. Long-term operation of  $\text{CsLiBO}$  crystal in fourth harmonic generation of Nd: YAG laser. FRIDAY MORNING/ CLEO' 98/ 521

## Harmonic Generation in a New Nonlinear Crystal— $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$

Zhang Xiurong Zhang Shunxin Chai Yao

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** The NLO characters of new nonlinear crystal— $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) are introduced. The  $2\omega$ ,  $3\omega$ ,  $4\omega$  and  $5\omega$  harmonic generation of a  $Q$ -switched Nd: YAG laser were obtained with a CLBO crystal and the conversion efficiency was 60%, 5%, 43% and 8%, respectively. The factors which have an effect on conversion efficiency were discussed.

**Key words** new nonlinear crystal, NLO properties, conversion efficiency, harmonic generation