

文章编号: 0258-7025(2003)05-0441-04

非线性光学晶体 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ 的角度调谐分析

门艳彬, 王丽, 陈少华, 薛建华, 韩秀友, 赵曼, 宋春荣, 温芳

(河北师范大学物理系, 河北石家庄 050016)

摘要 利用 Sellmeier 方程和计算机数值模拟计算, 得出了 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 晶体 I 类和 II 类相位匹配的调谐曲线及其调谐范围, 并与 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO) 晶体进行了比较, 从而得出 CLBO 晶体是一种优质的紫外透光波段宽的非线性晶体。

关键词 人工晶体; $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ 晶体; 角度调谐; 相位匹配

中图分类号 O 734 文献标识码 A

Analysis of Angle Tuning on Optical Nonlinear Crystal $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$

MEN Yan-bin, WANG Li, CHEN Shao-hua, XUE Jian-hua,
HAN Xiu-you, ZHAO Man, SONG Chun-rong, WEN Fang

(Department of Physics, Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei 050016, China)

Abstract Angle tuning curves and the ranges of wavelength were obtained by using Sellmeier equations and numerical simulation of type-I and type-II on crystal $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$, compared with those of $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$. And it can be seen that $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ is an excellent nonlinear crystal in ultraviolet wave-band.

Key words synthetic crystal; crystal $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$; angle tuning; phase match

1 引言

由于全固态紫外(UV)激光器具有体积小、应用方便、产生的紫外光波长短、穿透力强等优点而获得广泛的应用。如机械探伤、制作高密度光盘、光刻技术、用脉冲激光沉积(PLD)技术制作碳化氮膜(CN)和碳化硼氮薄膜(CBN)等方面^[1]。现有的用于非线性频率变换的晶体 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO), 由于离散角大、接收带窄、吸收边缘长(189 nm)等缺点, 而限制了其应用。1995年, 日本的 Y. Mori 等研制成功了一种新的非线性晶体 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO), 与同类的 BBO, LBO 等相比, 它具有有效非线性系数大、抗损伤阈值高、离散角小、透光波段宽、易于生成大体积的单晶等突出优点。目前, 对它的研究主要围绕倍频及混频领域展开。实验上用调 Q Nd:YAG

激光器实现 $2\omega, 3\omega, 4\omega, 5\omega$ 谐波等激光输出, 其转换效率分别为 60%, 5%, 43%, 8%^[1]; 用 YAG 激光器抽运 CLBO 晶体, 获得 4 倍频输出 500 mJ, 转换效率 50%, 5 倍频输出 230 mJ, 转换效率 10.4%^[2]; 用高亮度、高功率全固态绿光激光器抽运 CLBO 晶体, 4 倍频产生 20.5 W 的紫外波段功率输出, 转换效率 19.4%^[3]; 用全固态激光器抽运 CLBO 晶体, 通过和频产生波长为 175~180 nm, 功率 200 nJ, 脉宽 100 fs, 重复率 1 kHz 的紫外激光输出^[4]。理论上报道了倍频和混频过程允许参量的数值范围^[5]。而对于 CLBO 光学晶体的光参量放大、光参量振荡理论和实验研究, 未见有关报道。本文利用计算机数值模拟, 做出了 CLBO 晶体的角度调谐曲线, 并与文献中 BBO 晶体进行了比较, 从而确认 CLBO 的确是一种优质的紫外波段非线性晶体。

收稿日期: 2002-03-18; 收到修改稿日期: 2002-05-10

基金项目: 河北省科技厅资助项目(01547006D)。

作者简介: 门艳彬(1975—), 男, 河北师范大学物理学院研究生, 主要从事非线性光学及强激光研究。E-mail: mcnyanbin1995@163.com

2 理论分析和数值计算

2.1 CLBO 晶体 I 类相位匹配的调谐曲线

设参与非线性作用的三个光波的圆频率分别为 ω_1, ω_2 和 ω_3 , 其相应的波矢分别为 \vec{K}_1, \vec{K}_2 和 \vec{K}_3 , 对于三波共线作用, 当完全相位匹配时, 根据动量守恒和能量守恒有

$$\omega_1 n_1 + \omega_2 n_2 = \omega_3 n_3 \quad (1)$$

$$\text{由于} \quad \omega = 2\pi c/\lambda \quad (2)$$

当忽略 n_1, n_2 和 n_3 的差别时, (2) 式可表示为

$$1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3 \quad (3)$$

对于 I 类相位匹配, 由于 n_1 和 n_2 皆为 o 光, 其折射率与波长有关, 而与角度无关, 而 n_3 为 e 光, 其折射率不但与波长有关, 而且与角度有关, 故对于 I 类相位匹配(1) 式可以改写为

$$\omega_1 n_1(\omega_1) + \omega_2 n_2(\omega_2) = \omega_3 n_3(\omega_3, \theta) \quad (4)$$

且 $n_3(\omega_3, \theta) = n_e(\omega_3, \theta) =$

$$\sqrt{\frac{n_o^2(\omega_3)n_e^2(\omega_3)}{n_o^2(\omega_3)\sin^2\theta + n_e^2(\omega_3)\cos^2\theta}} \quad (5)$$

当温度为 20° 时, CLBO 的色散方程为^[6]

$$n_o^2(\lambda) = 2.2145 + \frac{0.00890}{\lambda^2 - 0.02051} - 0.01413\lambda^2 \quad (6)$$

$$n_e^2(\lambda) = 2.0588 + \frac{0.00866}{\lambda^2 - 0.01202} - 0.00607\lambda^2 \quad (7)$$

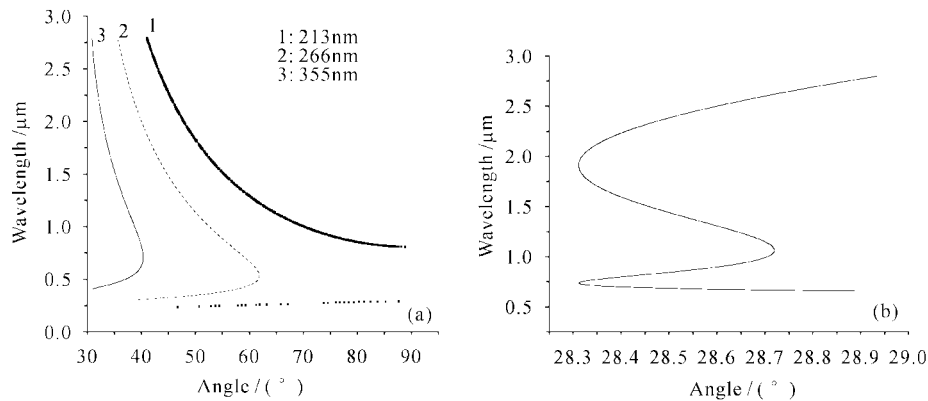


图 1 I 类匹配时 CLBO 晶体的角度调谐曲线

Fig. 1 Angle tuning curves of CLBO for type-I pumped by (a) 213, 266, 355 nm; (b) 532 nm

2.2 CLBO 晶体 II 类相位匹配的调谐曲线

假设参与三波相互作用的信号光为 o 光, 闲频光和抽运光为 e 光, 则

$$n_2(\omega_2, \theta) = n_e(\omega_2, \theta) =$$

$$\sqrt{\frac{n_o^2(\omega_2)n_e^2(\omega_2)}{n_o^2(\omega_2)\sin^2\theta + n_e^2(\omega_2)\cos^2\theta}} \quad (8)$$

联立(3)~(7)式, 进行计算机数值模拟计算, 分别得到 213 nm, 266 nm, 355 nm 和 532 nm 做抽运源时, CLBO 晶体的角度调谐曲线, 分别如图 1(a), (b) 所示。从图 1(a) 可以看出, 在 I 类相位匹配条件下, 当抽运波长为 213 nm 时, 角度调谐范围为 $46.68^\circ \sim 87.64^\circ$ 及 $41.14^\circ \sim 88.85^\circ$, 相应的信号光的波长调谐范围为 237~289 nm, 闲频光的波长调谐范围为 808~2774 nm, 但是角度调谐曲线不存在简并点(即不可连续调谐); 当抽运波长为 266 nm 时, 角度调谐范围为 $35.69^\circ \sim 61.85^\circ$, 波长调谐范围为 300.5~2775 nm, 简并点在 524 nm; 355 nm 的角度调谐范围为 $30.84^\circ \sim 40.35^\circ$, 波长调谐范围为 409~2789 nm, 简并点在 699 nm; 从图 1(b) 可以看出, 当抽运波长为 532 nm 时, 角度调谐范围为 $28.31^\circ \sim 28.93^\circ$, 波长调谐范围为 658~2798 nm, 但存在多个简并点, 因此, 实验时可以只取其中的一部分, 如角度范围为 $28.31^\circ \sim 28.73^\circ$, 波长范围为 738~1888 nm, 此时的简并点在 1078 nm。综合图 1(a) 和 (b) 可以看出, I 类相位匹配时, 213 nm 抽运时短波紫外波段只可取波长中的一部分, 无法实现连续调谐, 532 nm 抽运时由于存在多个简并点, 实验时也应取波长中的一部分, 266 nm 和 355 nm 抽运时的调谐性能较好。

联立(3), (4), (6), (7), (8), 进行计算机数值模拟计算, 便可以得到 II 类相位匹配时, CLBO 的角度调谐曲线, 分别如图 2(a), (b) 所示。从图 2(a) 可以看出, 当抽运波长为 213 nm 时, 角度调谐范围为 $16.32^\circ \sim 30.26^\circ$, 波长调谐范围为 230~2760 nm, 简并点在 394 nm; 当抽运波长为 266 nm 时, 角度调谐

范围为 $12.86^\circ \sim 20.59^\circ$, 波长调谐范围为 $401 \sim 2796$ nm, 简并点在 494 nm; 当抽运波长为 355 nm 时, 角度调谐范围为 $10.85^\circ \sim 14.23^\circ$, 波长调谐范围为 $410 \sim 2793$ nm, 简并点在 673 nm。从图 2(b) 可以看出, 当抽运波长为 532 nm 时, 角度调谐范围为 $10.00^\circ \sim 10.66^\circ$, 波长调谐范围为 $657 \sim 2800$ nm, 同样存在多个简并点, 因此实验时也应取调谐波长中

的一部分, 如角度范围取 $10.00^\circ \sim 10.34^\circ$, 波长范围取 $1023 \sim 2798$ nm, 此范围内简并点在 2073 nm。

比较 CLBO 晶体 I, II 类相位匹配的角度调谐曲线, 认为在紫外波段以 II 类相位匹配为好。无论是 I 类相位匹配, 还是 II 类相位匹配, 如果抽运条件允许, 应避免采用 532 nm 做抽运光。

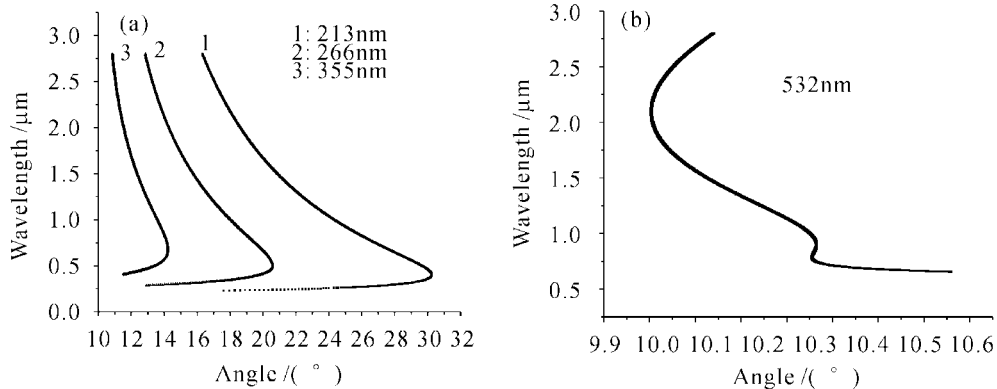


图 2 II 类匹配时 CLBO 晶体的角度调谐曲线

Fig. 2 Angle tuning curves of CLBO for type-II pumped by (a) 213, 266, 355 nm; (b) 532 nm

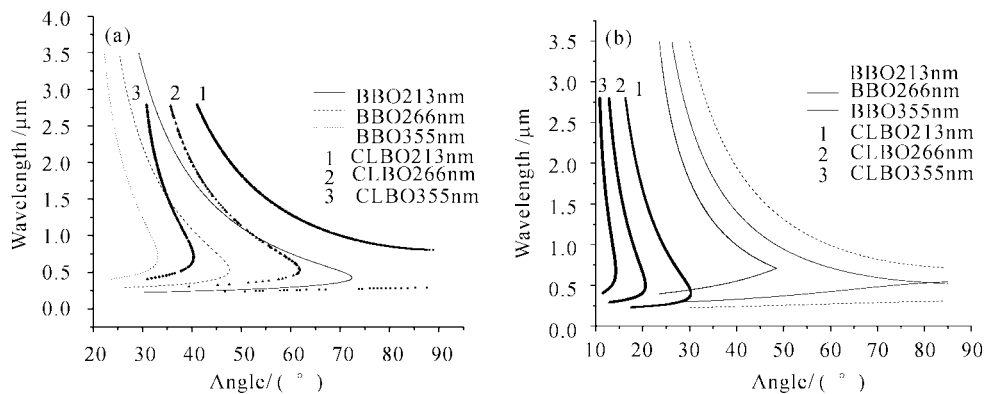


图 3 I 类匹配(a)和 II 类匹配(b)时 CLBO, BBO 晶体的角度调谐曲线(抽运光为 213, 266, 355 nm)

Fig. 3 Angle tuning curves of CLBO, BBO for type-I (a) and type-II (b) (pumped by 213, 266, 355 nm)

2.3 CLBO 晶体与 BBO 晶体 I, II 类相位匹配的调谐曲线的比较

把上面做出的 CLBO 角度调谐曲线与文献[7]中 BBO 的角度调谐曲线进行比较, 如图 3(a), (b) 所示。从图 3(a), (b) 中可以看出, 在 I 类相位匹配角度调谐曲线中, BBO 晶体 213 nm 可连续调谐, 而 CLBO 不可连续调谐, 但 CLBO 可在一个比较宽的范围内实现角度调谐; 在 II 类相位匹配角度调谐曲线中, BBO 213 nm 不可连续调谐, 而 CLBO 可连续

调谐, 且 CLBO 在很小的角度范围内即可实现宽的调谐。比较 CLBO 和 BBO 晶体的角度调谐曲线可得在 I 类相位匹配下, BBO 晶体较 CLBO 晶体合适; 在 II 类相位匹配下, CLBO 晶体较 BBO 晶体合适。并且对于 CLBO 晶体来说, 在短波波段 II 类相位匹配比 I 类相位匹配更加适合。

3 结 论

通过计算机数值模拟计算, 得出了 CLBO 晶体

的 I, II 类匹配的角度调谐曲线。将 CLBO 与 BBO 晶体比较,可看出 CLBO 是一种优质的紫外波段的非线性晶体,尤其在短波时的 II 类相位匹配。

参 考 文 献

1 Zhang Xiurong, Zhang Shunxin, Chai Yao. Harmonic generation in a new nonlinear crystal—CsLiB₆O₁₀ [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(7):669~672 (in Chinese)

2 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 CsLiB₆O₁₀ [J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(17):1348~1350

3 Tetsuo Kojima, Susumu Konno, Shuichi Fujikawa *et al.*. 20-W ultraviolet-beam generation by fourth-

harmonic generation of an all-solid-state laser [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(1):58~60

4 Valentin Petrov, Frank Noack, Fabian Rotermund *et al.*. Sum-frequency generation of femtosecond pulses in CsLiB₆O₁₀ down to 175 nm [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(27):5076~5079

5 Wang Li, Chen Shaohua. Theoretical treatment, simulation of new UV crystal CLBO on third-harmonic generation [J]. *JETP Lett.*, 2001, **74**(12):578~582

6 Nobuhiro Umcmura, Kiyoshi Kato. Ultraviolet generation tunable to 0.185 μm in CsLiB₆O₁₀ [J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(27):6794~6796

7 Yao Jianquan. *Nonlinear Optical Frequency Conversion and Turning Technique of Lasers* [M]. Beijing: Beijing Science Press, 1995. 9~10 (in Chinese)



CO₂ 激光在难愈性伤口中的应用

伤口处理是临床上最常遇到的问题之一,当然,许多伤口经局部换药后都可以很快愈合。然而,也有少数伤口却久治不愈,其原因之一就是伤口有过度增生的肉芽组织。为此,我们采用 CO₂ 激光对久治不愈的伤口进行清创处理,再配合抗感染治疗,取得了较好的效果。

临床资料 本组治疗 36 例患者,其中男 21 例,女 15 例。年龄 18 岁~52 岁,平均为 37.4 岁。病程最短为 47 天,最长为 7 个月,平均约为 63 天。伤口均为各种外伤引起。伤口最小为 2 cm×3 cm,最大为 5 cm×6 cm。发生在小腿 15 例,大腿 8 例,前臂 6 例,上臂 4 例,躯干 3 例。局部创面出现过度增生肉芽组织,创面干净、湿润,为暗红色,有渗液。采用可调式 CO₂ 激光治疗仪治疗,波长为 10.6 μm,功率为 0~20 W 可调,光斑直径为 0.2 cm。患者取仰卧或坐位(以舒适为主)。常规病灶及其周围皮肤消毒。麻醉方法可根据创面大小及部位采用 2%利多卡因进行病灶基底部或病灶周围局部浸润麻醉。先调大 CO₂ 激光治疗仪输出量,清除局部过度增生的肉芽组织,直致出现新鲜正常组织。然后调低 CO₂ 激光治疗仪的输出量进行局部碳化,形成人为结痂状态。治疗后主要是创面的保护,以防止感染。当然,为了使患者伤口能尽快并彻底愈合,可继续口服抗感染药物配合治疗。

观察结果 36 例患者经一次 CO₂ 激光治疗均愈合,其中 25 例患者局部伤口不需再特殊处理,7~10 天

痂皮脱落,伤口即可愈合。其余 11 例患者需继续配合局部换药,但在 9~12 天后也可以痊愈。所有患者伤口均愈合良好,未出现局部感染、后遗症和其他不良反应。

讨论 遇到不容易愈合的伤口,首先要排除全身性因素(如糖尿病、营养不良等)引起的伤口不愈。也要注意局部伤口情况,排除霉菌等感染,如有以上原因,要针对病因治疗。本文讨论的患者局部创面肉芽组织增生过度也是影响伤口愈合的重要原因之一,应及时处理。本组治疗的 36 例患者在接受 CO₂ 激光治疗前,都经过一段时间的抗感染及局部伤口换药治疗,虽然感染都基本控制了,但伤口愈合不彻底。创面反复出现渗液,迁延不愈。采用 CO₂ 激光治疗仪治疗后,由于 CO₂ 激光的气化或碳化作用,不但可以即刻清除伤口的肉芽组织,净化创面,也可以形成人为的结痂状态,使伤口干燥,并且愈合也快,术中也极少出血。治疗后多数创面不用特殊处理,局部常规消毒后盖上无菌纱布即可。综上所述,本文认为采用 CO₂ 激光治疗由于肉芽组织增生过度造成迁延不愈的伤口确是一个简便、安全、有效的方法。

广州军区广州总医院康复理疗科,
广东 广州 510010
宁俊忠, 廖军锋, 范绣华
收稿日期:2003-04-03