

文章编号: 0258-7025(2003)12-1087-03

新型 BiB_3O_6 晶体高效和频 产生 355 nm 紫外激光

张少军¹, 董圣明¹, 李福奇¹, 翟仲军¹, 徐现刚¹, 王继扬¹, 王青圃², 张福军², 张行愚², 李 平²
(山东大学¹ 晶体材料研究所晶体材料国家重点实验室, ² 光学系, 山东 济南 250100)

摘要 报道了新型高效 BiB_3O_6 晶体优良的非线性光学性能, 给出了蓝紫外波段的相位匹配曲线。将该晶体用于纳秒电光调 Q 的 Nd:YAG 激光器中, 对基波(1064 nm)及其倍频光(532 nm)进行和频得到了转换效率为 19.2% 的 355 nm 紫外激光输出, 高于相同条件下用 BBO 晶体作为三倍频晶体的结果。

关键词 非线性光学; 三次谐波; BiB_3O_6 晶体; 相位匹配角

中图分类号 O 437.1; O 734⁺.1 **文献标识码** A

Efficient Third-harmonic-generation of 1064 nm Laser with BiB_3O_6 Crystal

ZHANG Shao-jun¹, DONG Sheng-ming¹, LI Fu-qi¹, ZHAI Zhong-jun¹, XU Xian-gang¹,
WANG Ji-yang¹, WANG Qing-pu², ZHANG Fu-jun², ZHANG Xing-yu², LI Ping²

(¹ Institute of Crystal Materials, State Key Laboratory of Crystal Materials,

² Optics Department, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract A new BiB_3O_6 (BIBO) crystal and its optical properties were reported. This article presents the phase-matching-angles of third-harmonic-generation (THG) of Nd:YAG laser (1064 nm) and second-harmonic-generation (SHG) of 946 nm. The THG experiments of BIBO crystal with length of 6 mm were performed using Q-switched Nd:YAG laser and the conversion efficiency of this crystal from 1064 nm to 355 nm was 19.2%.

Key words nonlinear optics; third harmonic generation; BiB_3O_6 crystal; phase matching angle

1 引 言

紫外激光光源在光学信息记录、原子吸收光谱、医学光动力学疗法和材料处理等方面有着广泛的用途。目前比较简单又方便地获得紫外激光光源的方法是利用和频技术和非线性晶体(如 BBO 晶体)得到 YAG 激光的三次谐波(1064 nm + 532 nm → 355 nm)。现在广泛使用的 BBO 晶体存在潮解和难以生长出制造较大尺寸器件的晶体原晶的问题, 而且价格较贵, 不宜广泛应用。

近年来, BiB_3O_6 (BIBO)^[1,2]作为一种新型的非线性光学晶体受到人们的广泛关注。BIBO 晶体具有较大的非线性光学系数, 紫外透光性好, 抗光损伤阈

值高, 而且容易生长出高光学质量的大体块单晶, 晶体的机械性能良好, 易抛光, 抗潮解。本文报道了我们研究生长的新型高效 BiB_3O_6 晶体优良的非线性光学性能, 给出了蓝紫外波段的相位匹配曲线, 以及和频产生 1064 nm 三次谐波 355 nm 紫外激光输出的实验结果。

2 BIBO 晶体的光学性能

BiB_3O_6 晶体采用顶部籽晶法生长, 为单斜双轴晶系, 空间群为 C_2 , 点群为 2, 晶胞参数为: $a = 0.71162$ nm, $b = 0.49932$ nm, $c = 0.65083$ nm, $\beta = 105.62^\circ$ 。结晶学晶轴与晶体光学主轴的相对取向如

收稿日期: 2002-05-29; 收到修改稿日期: 2002-08-11

基金项目: 教育部骨干教师计划项目和国家自然科学基金(No. 69978009)资助项目。

作者简介: 张少军(1961—), 男, 山东大学晶体材料研究所高级工程师, 博士, 主要从事晶体材料的非线性光学性能和激光技术研究。E-mail: sjzhang@icm.sdu.edu.cn

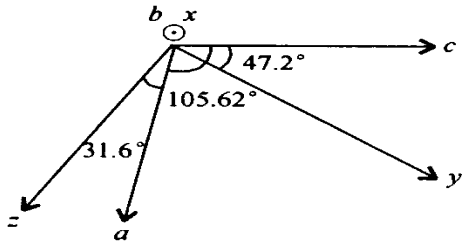


图1 BiB₃O₆ 晶体的光学主轴 (x, y, z) 与结晶学主轴 (a, b, c) 的相对取向

Fig. 1 Relative orientation of optical main axes (x, y, z) with regard to crystallographic axes (a, b, c) of BiB₃O₆

图1所示。

BIBO 晶体无吸收峰的透光波段为 290~2800 nm。BIBO 晶体光学主轴折射率的 Sellmeier 方程为^[2]

$$n_x^2 = 3.07403 + \frac{0.03231}{\lambda^2 - 0.03163} - 1.3376 \times 10^{-2} \lambda^2$$

$$n_y^2 = 3.16853 + \frac{0.03731}{\lambda^2 - 0.03463} - 1.7508 \times 10^{-2} \lambda^2$$

$$n_z^2 = 3.65454 + \frac{0.05112}{\lambda^2 - 0.03713} - 2.261 \times 10^{-2} \lambda^2 \quad (1)$$

式中 λ 的单位为 μm 。

首先计算了 BIBO 晶体位相匹配曲线。双轴晶的折射率面是 $n_1(\theta, \phi)$, $n_1'(\theta, \phi)$ 和 $n_2(\theta, \phi)$, $n_2'(\theta, \phi)$ 共同决定的复杂曲面。在波法线方向 k 上的两个折射率 n' 和 n'' 可根据下面方程解出^[3]

$$\frac{\sin^2 \theta \cos^2 \phi}{(n'^{-2} - n_x^{-2})} + \frac{\sin^2 \theta \sin^2 \phi}{(n'^{-2} - n_y^{-2})} + \frac{\cos^2 \theta}{(n'^{-2} - n_z^{-2})} = 0 \quad (2)$$

式中, n_x, n_y, n_z 为双轴晶的三个主折射率, 且 $n_x < n_y < n_z$ 。

由(1) 式和(2) 式可以求出 k 方向上基频光和倍频光的折射率 $n_1(\theta, \phi)$, $n_1'(\theta, \phi)$ 和 $n_2(\theta, \phi)$, $n_2'(\theta, \phi)$, 而且 $n_i(\theta, \phi) > n_i'(\theta, \phi)$ 。对于满足条件 $n_1(\theta, \phi) = n_2'(\theta, \phi)$ 的所有 (θ, ϕ) 构成了 I 类位相匹配曲线, 对于满足条件 $\frac{1}{2}[n_1(\theta, \phi) + n_2'(\theta, \phi)] = n_2'(\theta, \phi)$ 的所有 (θ, ϕ) 构成了 II 类位相匹配曲线。

双轴晶系的 I 类和 II 类位相匹配曲线的计算过程相对复杂, 至今未发现有位相匹配角的解析解, 必须借助计算机计算。因此编制了计算机程序计算了 BIBO 晶体对 1064 nm 激光进行三次谐波和 946 nm 倍频的位相匹配曲线。计算结果如图 2 所示。

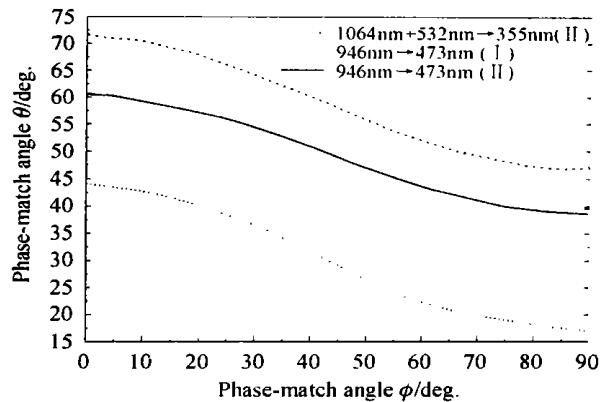


图2 BIBO 晶体 1064 nm 三次谐波相位匹配角和 946 nm 倍频相位匹配角

Fig. 2 PM angles of THG of 1064 nm and SHG of 946 nm in BIBO

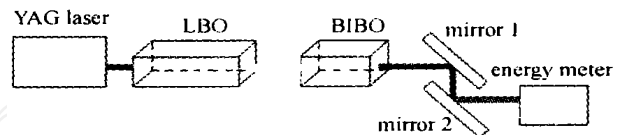


图3 产生三次谐波的实验装置

Fig. 3 Experimental setup of third-harmonic-generation of BIBO

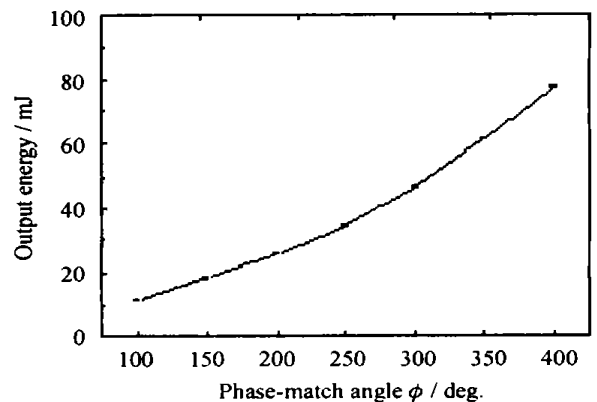


图4 BIBO 三次谐波 355 nm 输出能量随 1064 nm + 532 nm 输入能量的变化关系

Fig. 4 Output energy at 355 nm as a function of input energy at 1064 nm + 532 nm in the BIBO

3 激光和频产生 355 nm 紫外光实验

为了从实验上表征 BIBO 晶体的非线性性能, 加工制作了一块 1064 nm + 532 nm 和频产生 355 nm 激光的三倍频器件。按照图 2 的理论计算, 在 (x, z) 主平面内的相位匹配角 $\theta = 71.8^\circ$; $\phi = 0^\circ$ 。在室温 25 °C 时, 实际测量的相位匹配角为 $\theta = 71.9^\circ$; ϕ

$= 0^\circ$, 与理论计算吻合得很好。在晶体加工时, 还按照理论计算的 (x, z) 主平面内的相位匹配角 $\theta = 47.2^\circ$, $\phi = 90^\circ$ 切割抛光了一块 BBO 晶体, 实验未观测到 355 nm 激光输出。这个结果说明, 在此方向上有效非线性系数为零。为了研究 BBO 晶体输入能量与和频输出能量的变化规律, 采用如图 3 所示的实验装置测量输出能量和转换效率。图中所用激光器为 PIANO-2000 型 Nd:YAG 激光器, 输出波长为 1064 nm, 最大输出能量为 2000 mJ, 发散角为 2 mrad, 脉冲宽度为 10 ns, 重复率为 10 Hz。测量用的能量计为 EPM-1000 智能型能量/功率计。被测晶体的尺寸为 6 mm $\times$ 6 mm $\times$ 6 mm, 端面未镀增透膜。激光束经过直径为 $\phi 5$ mm 的光阑入射到 BBO 晶体上。图 4 所示为 355 nm 紫外光的能量随注入到晶体上的 1064 nm + 532 nm 能量的变化关系。在注入的总能量为 400 mJ 时, 经过分光棱镜分光以后, 能量计测得 355 nm 激光的能量为 55 mJ。已知分光棱镜对

355 nm 的透过率为 75%, 再考虑到未镀增透膜的晶体表面菲涅耳反射损耗, 计算得到转换效率为 19.2%。为了比较, 在同样条件下, 还测量了一块同样长度 I 类相位匹配不镀膜的 BBO 晶体混频产生三次谐波的转换效率, 结果为 18.4%。

通过实验研究表明 BiB_3O_6 晶体具有比 BBO 晶体更好的非线性性能和更高的转换效率, 而且具有易生长出高质量的大体块单晶、不潮解等优点, 因而在紫外光和蓝光激光器中有着广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 P. Becker, J. Liebertz, L. Bohaty. Top-seeded growth of bismuth triborate, BiB_3O_6 [J]. *J. Cryst. Growth*, 1999, **203** (1-2): 149~155
- 2 H. Hellwig, J. Liebertz, L. Bohaty. Linear optical properties of the monoclinic bismuth borate BiB_3O_6 [J]. *J. Appl. Phys.*, 2000, **88** (1): 240~244
- 3 Jiang Minhua. *Crystal Physics* [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1980. 480 (in Chinese)

本刊增页及更改出版日期启事

近年来, 由于来稿量较多, 而本刊的容量又有限, 为了缩短论文的发表周期, 故从 2004 年第 1 期起, 经上级有关部门批准, 本刊将从原来的 96 面增至 128 面, 出版日期从每月 20 日提前为每月 10 日。特此通知。

《中国激光》编辑部

2003 年 12 月