

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0440-03

# 块状 Nb:KTP 晶体及其蓝色激光器

刘 文, 沈鸿元, 史宏声, 张国芳, 张 戈

(中国科学院福建物质结构研究所, 福建 福州 350002)

**摘要** 在改性的  $K_6$  体系中,用顶部籽晶熔盐法得到了重约 60 g,透明区达 15 mm×17 mm×14 mm 的块状 Nb:KTP 晶体。在使用波段,透过率为 85%。实现了 1064 nm 的非临界相位匹配。晶体的 II 型相位匹配的截止波长蓝移至 937 nm。用不同掺杂浓度的 Nb:KTP 晶体倍频,分别获得了波长为 468.5 nm,473 nm 和 480 nm 的蓝色激光。测量了 7.5 mol.-% Nb:KTP 晶体的折射率,计算和测定了该晶体的截止波长,得到了该晶体的角度、温度和光谱接收带宽,结果表明它们分别约为  $\text{KNbO}_3$  的 2.6, 24 和 3.4 倍,因而在实现频率转换时将放宽对使用条件的要求,并改善输出蓝光的质量。

**关键词** Nb:KTP 晶体; 光学性能; 非线性性能; 蓝色激光器

中图分类号 O782.4; O734 文献标识码 A

## Nb:KTP Bulk Crystal and It's Blue Lasers

LIU Wen, SHEN Hong-yuan, SHI Hong-sheng, ZHANG Guo-fang, ZHANG ge

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences Fuzhou, Fujian 350002, China)

**Abstract** The Nb:KTP crystal was grown from the raw material containing different concentrations  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  by top-seed flux method in improved  $K_6$  melt. The largest one weight 60 grams and the transparent area is 15 mm×17 mm×14 mm dimension. Their transmission are more than 85% at the applied wave range. The cut-off wavelength has blue-shifted to 937 nm. The 468.5 nm and 473 nm as well as 480 nm blue lasers were obtained by different Nb doped KTP crystals. The principle refractive indices of 7.5 mol.-% Nb:KTP were measured. The angle, temperature and spectral acceptance bandwidth were calculated for the crystal and then compared those with KTP and  $\text{KNbO}_3$ . The results show that they are 2.6, 24 and 3.4 times those of  $\text{KNbO}_3$  crystal. Therefore, the applied condition will be relaxed and the frequency doubled performance will be improved.

**Key words** Nb:KTP crystal; properties of non-linear optic; blue laser

## 1 引 言

蓝色激光是当前小型激光器的重要发展方向。众所周知,  $\text{KTiOPO}_4$  (简称 KTP) 是一种优良的非线性光学晶体, 但是它的 II 型相位匹配的截止波长为 994 nm, 限制了它在蓝色激光方面的应用, 另一方面, 它对重要的 1064 nm Nd:YAG 激光的 II 型相位匹配角是  $\theta_m=90^\circ, \phi_m=22.81^\circ$ , 无法利用非临界相位匹配来提高转换效率。利用掺杂增加晶体的双折射率是解决上述问题的一种途径<sup>[1,2]</sup>。在磷酸盐  $K_6$  体系中生长 Nb:KTP 晶体来解决上述问题的研究工作早有报道<sup>[3-5]</sup>, 但所得晶体多为片状, 难于实用。本文目的是研究块状 Nb:KTP 晶体的生长条件与工艺, Nb:KTP 晶体的光学与非线性性能以及相关器件。

## 2 实验与结果

### 2.1 块状 Nb:KTP 晶体的生长

在  $K_6$  磷酸盐助熔剂体系中, 得到了尺寸为

4 mm×70 mm×20 mm( $a \times b \times c$ ) 的优质透明晶体。由于 Nb:KTP 在  $K_6$  磷酸盐助熔剂体系中固有的生长习性,  $V_b > V_c \gg V_a$ , 所得晶体多为薄片状。改变熔体配方和生长工艺, 在  $K_6$  体系中添加活性物, 改变生长习性, 用顶部籽晶熔盐法得到了重约 60 g, 透明区达 15 mm×17 mm×14 mm 的块状晶体。在使用波段, 透过率优于 85%。

### 2.2 掺铌 KTP 晶体光学性能的研究

#### 2.2.1 晶体折射率的测量

加工棱镜, 采用自准直法测量 Nb:KTP 晶体在 539.8 nm, 632.8 nm, 1079.5 nm 和 1341.4 nm 的主折射率(表 1)及其温度系数(表 2)。

#### 2.2.2 最佳相位匹配角和截止波长的测量

分别测量了原料中掺  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  量为 3, 5, 7.5, 10 和 13 mol.-% 的 Nb:KTP 晶体对 1064 nm 和 1079.5 nm 激光的最佳相位匹配角, 结果见表 3。表 4 给出了 7.5 mol.-% Nb:KTP 晶体的最佳相位匹配角和截止波长的计算值和测量值, 两者符合良好。

表 1 室温下 7.5 mol.-% Nb:KTP 晶体的主折射率

Tab.1 Principle refractive indices of 7.5 mol.-% Nb:KTP crystal at room temperature

Wavelength /nm	No.1 prism		No.2 prism	
	$N_x$	$N_y$	$N_x$	$N_z$
539.8	1.7791	1.7918	1.7791	1.9024
632.8	1.7640	1.7751	1.7640	1.8790
1079.5	1.7390	1.7479	1.7388	1.8409
1341.4	1.7326	1.7412	1.7326	1.8318

表 2 7.5 mol.-% Nb:KTP 晶体折射率的温度系数

Tab.2 Thermal refractive index coefficientsof 7.5 mol.-% Nb:KTP crystal

$\lambda=539.75\text{nm}$	$dN_x/dT=1.45\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_y/dT=2.57\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_z/dT=4.86\times 10^{-6}/\text{C}$
$\lambda=632.8\text{nm}$	$dN_x/dT=1.35\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_y/dT=2.22\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_z/dT=4.03\times 10^{-6}/\text{C}$
$\lambda=1079.5\text{nm}$	$dN_x/dT=1.01\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_y/dT=1.75\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_z/dT=3.09\times 10^{-6}/\text{C}$
$\lambda=1341.4\text{nm}$	$dN_x/dT=1.06\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_y/dT=1.75\times 10^{-6}/\text{C}$ , $dN_z/dT=3.43\times 10^{-6}/\text{C}$

表 3 不同掺铌量 Nb:KTP 晶体中 1064 nm 和 1079.5 nm 谱线最佳相位匹配角的测量结果

Table 3 Measured results of the optimal PM angle at 1064 nm and 1079.5 nm lines for different mol.-% Nb:KTP crystals

Nb/mol.-%		0	3	5	7.5	10	13
	$\theta_m$	90.0	88.3	84.1	81.4	79.2	78.3
1064 nm	$\phi_m$	22.81	0	0	0	0	0
	$\theta_m$	86.7	82.2	78.9	77.5	75.9	75.5
1079.5 nm	$\phi_m$	0	0	0	0	0	0

表 4 mol.-% Nb:KTP 晶体最佳相位匹配角和截止波长的计算和测量值

Table 4 Measured and calculated results of optimal PM angle and cut-off wavelength for 7.5 mol.-% Nb:KTP crystal

	1064nm SHG		1079.5nm SHG		$\lambda_c$
	$\theta_m$	$\phi_m$	$\theta_m$	$\phi_m$	
Calculated values	81.5°	0°	77.7°	0°	965nm
Measured values	81.4°	0°	77.5°	0°	960nm

## 2.2.3 Nb:KTP 晶体的角度、温度和光谱接收带宽

计算了 KTP, 7.5 mol.-% Nb:KTP 和 KNbO<sub>3</sub> 晶体非临界相位匹配条件下角度、温度和光谱接收带宽, 结果列于表 5。从表可见, 在蓝紫波段, Nb:KTP 晶体的温度和光谱接收带宽约为 KNbO<sub>3</sub> 的 24 倍和 3.4 倍。因而在实现频率转换时将放宽对使用条件的要求, 并改善输出蓝光的质量。

表 5 KTP, 7.5 mol.-% Nb:KTP 和 KNbO<sub>3</sub> 晶体在非临界相位匹配条件下角度、温度和光谱接收带宽的计算结果Table 5 Calculated results of angle, temperature and spectral acceptance bandwidth for KTP, 7.5 mol.-% Nb:KTP and KNbO<sub>3</sub> crystals at noncritical PM condition

	PM angle/deg		$\lambda$ /nm	$\Delta\theta\times l^2/\text{mrad}\cdot\text{cm}^2$		$\Delta T\times l$ /°C·cm	$\Delta\lambda\times l$ /nm·cm
	$\theta$	$\varphi$		$\theta$	$\varphi$		
	90	0	1077.6	58.9	158.9	20.0	0.29
KTP	90	90	994	58.9	144.3	176.7	0.22
7.5/mol.-% Nb:KTP	90	0	1051.1	55.1	139.5	18.3	0.23
	90	90	965.6	55.1	125.9	6.60	0.17
KNbO <sub>3</sub>			860	48		0.27	0.05

## 2.2.4 Nb:KTP 倍频蓝色激光器

用所得的 Nb:KTP 晶体, 实验组合了三种类型倍频蓝色激光器, 均获得了蓝色相干辐射:

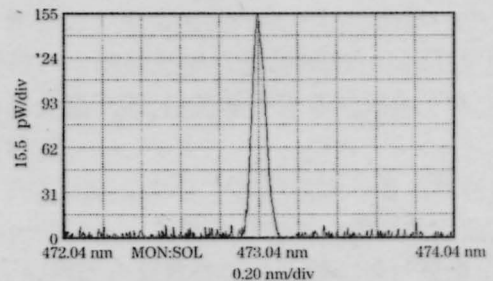
1) Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Nb:KTP 蓝色倍频激光器。用钛宝石可调谐激光器与两种不同掺 Nb 量的 Nb:KTP 晶体组合, 得到了 480 nm 和 468.5 nm 蓝色相干辐射(表 6)。

表 6 7.5 mol.-% 和 13 mol.-% Nb:KTP 晶体的截止波长

Table 6 Cut-off wavelength of 7.5 mol.-% and 13 mol.-% Nb:KTP crystal

	mol.-%	0	7.5	13
Cut-off wavelength /nm	Measured values	994	960	937
	Calculated Values	994	965	—

2) LD 抽运 Nd:YAG+Nb:KTP 蓝色倍频激光器。用 LD 抽运的 946 nm Nd:YAG 晶体激光器, 通过 Nb:KTP 晶体倍频, 得到了 473 nm 的蓝色相干辐射(图 1)。

图 1 LD 抽运 Nd:YAG+Nb:KTP 蓝色倍频激光  
Fig.1 LD pumped Nd:YAG+Nb:KTP blue laser

3) LD+Nb:KTP 蓝色倍频激光器。用 960 nm 的 LD, 经准直、聚焦在 7.5 mol.-% 的 Nb:KTP 的晶体上, 得到了 480 nm 的蓝色相干辐射。令人鼓舞的是, LD 输出功率从 100 mW 降至几毫瓦时, 仍能观

察到蓝光。也就是说 960 nm 的 LD 产生蓝光的阈值只有不到 10 mW。

### 3 结 论

1) 在改性的  $K_6$  体系中,选择适当的工艺,可获得块状 Nb:KTP 晶体。

2) 用约 3 mol.-% 掺铌量的 Nb:KTP 晶体,可以对 1064 nm 激光实现非临界相位匹配。

3) 已组合成三种固体蓝色激光器,获得了 480, 473 和 468.5 nm 的蓝色激光。

综上,可以认为 Nb:KTP 是非常优秀的非线性光学晶体,在蓝色激光方面有着明朗的应用前景。

#### 参 考 文 献

- 1 P. A. Thomas, B. E. Watts. An Nb-doped analogue of  $\text{KTiOPO}_4$ , structural and nonlinear optical properties [J]. *Solid State Commun.*, 1990, **73**(2): 97-100
- 2 L. T. Cheng, L. K. Cheng, R. L. Harlow *et al.*. Blue light generation using bulk single crystals of niobium-doped  $\text{KTiOPO}_4$ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(2): 155-157
- 3 Wei Jingqian, Wang Jiyang, Liu Yaogang *et al.*. Research on the growth and some properties of niobium doped  $\text{KTiOPO}_4$  crystals[J]. *J. Synthetic Crystals*, 1995, **24** (4): 291-296  
魏景谦,王继扬,刘耀岗等. 掺铌 KTP 晶体的生长和性能研究[J]. 人工晶体学报, 1995, **24** (4): 291-296
- 4 Liu Yaogang, Wang Jiyang, Wei Jingqian *et al.*. Defects and second harmonic generation of Nb doped KTP crystals[J]. *J. Synthetic Crystals*, 1997, **26**(1):1-5  
刘耀岗,王继扬,魏景谦等. 掺铌 KTP 晶体的缺陷和非线性光学性质[J]. 人工晶体学报, 1997, **26**(1):1-5
- 5 Wang Ximin, Chen Lifang, Zhang Kecong. Effect of different solvents on the growth and property of KTP crystal [J]. *J. Synthetic Crystals*, 1994, **23**(2):140-145  
王希敏,陈立舫,张克从等. 不同溶剂对 KTP 晶体生长及其性能的影响[J]. 人工晶体学报, 1994, **23**(2):140-145