

# 1341.4 nm Nd:YAP 激光在 KTP 晶体中三倍 频得到 447.1 nm 蓝色相干辐射\*

林文雄 曾政东 沈鸿元

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

**提要:** 本文报道用  $\text{LiIO}_3$  晶体将 1341.4 nm Nd:YAP 脉冲激光倍频产生的 670.7 nm 辐射和 1341.4 nm 激光在 KTP 晶体中和频得到 447.1 nm 蓝色相干辐射。计算了上述非线性过程的相位匹配条件和有效非线性系数, 计算与实验结果相当吻合。

**关键词:** 1341.4 nm Nd:YAP 激光三倍频。

## Frequency tripling of 1341.4 nm Nd:YAP laser for obtaining 447.1 nm blue coherent radiation

*Lin Wenxiong, Zeng Zhengdong, Shen Hongyuan*

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou)

**Abstract:** The 670.7 nm coherent radiation was obtained by SHG of 1341.4 nm Nd:YAP laser in  $\text{LiIO}_3$  crystal and 447.1 nm blue coherent radiation was obtained by frequency summing in the KTP crystal. The values of phase matching angle and effective nonlinear coefficient were calculated for the mentioned nonlinear optical processes. The experimental results are in good agreement with calculation.

**Key words:** 1341.4 nm Nd:YAP laser THG

### 一、引 言

近年来, 蓝色相干辐射引起了人们广泛的兴趣, 已经发展了几种技术得到蓝色相干辐射<sup>[1~4]</sup>。此外, 钕离子的  ${}^4F_{3/2}$ - ${}^4I_{13/2}$  跃迁处在 1300 nm 波段, 它的三倍频也能产生蓝色相干辐射。我们测量了钕离子在 YAP 晶体中  ${}^4F_{3/2}$ - ${}^4I_{13/2}$  跃迁的截面  $\sigma = 2.2 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ <sup>[5]</sup>, 它比 Nd:YAG, Nd:YLF 和 Nd:BEL 等晶体同一波段跃迁截面大 2.4 倍以上<sup>[6]</sup>。另外, 我们已经在 1341.4 nm Nd:YAP 连续激光器中得到 82.8 W 的输出功率<sup>[7]</sup>, 在脉冲激光器中已得到 4.88 J 输出能量, 这意味着 Nd:YAP 晶体是一种优良的 1300 nm 波段的激光晶体。因此, 它将成为一种通过三倍频获得 447.1 nm 蓝色相干辐射的有用光源。

收稿日期: 1990年12月26日; 修改稿收到日期: 1991年2月11日。

\* 本工作由中国科学院资助。

本文报道用 I 型  $\text{LiIO}_3$  晶体将 1341.4 nm Nd:YAP 脉冲激光倍频到 670.7 nm 红色相干辐射, 然后它在 II 型 KTP 晶体中与 1341.4 nm 激光和频得到 447.1 nm 蓝色相干辐射。

## 二、计 算

利用文献[8]报道的折射率数据,  $\text{LiIO}_3$  晶体的 Sellmeier 方程可以写为

$$N_o^2 = 3.4142 + \frac{4.6877 \times 10^{-2}}{\lambda^2 - 3.7378 \times 10^{-2}} - 7.6766 \times 10^{-3} \lambda^2, \quad (1)$$

$$N_e^2 = 2.1916 + \frac{3.6650 \times 10^{-2}}{\lambda^2 - 2.1170 \times 10^{-2}} - 2.3194 \times 10^{-3} \lambda^2. \quad (2)$$

式中  $\lambda$  单位为  $\mu\text{m}$ , 从(1)和(2)可以得到 1.3414  $\mu\text{m}$  和 0.6707  $\mu\text{m}$  波长的折射率, 然后可求得相位匹配角和有效非线性系数的值;  $\theta_m = 23.79^\circ$ ,  $d_{\text{eff}} = 5.28 \times 10^{-9} \text{esu}$ 。

为了计算 KTP 晶体中 1341.4 nm 和 670.7 nm 辐射和频相位匹配条件必须精确地测量 KTP 晶体折射率的值, 因为相位匹配条件的计算发现折射率差万分之几得到的相位匹配角将产生明显的变化。为了提高 KTP 晶体折射率的测得精度, 利用光强稳定的  $\text{TEM}_{00}$  模激光作为测量光源来确保自准直法测量折射率时自准直位置的精度是非常重要的<sup>[9]</sup>。表 1 给出了熔盐法生长 KTP 晶体在 1341.4 nm, 1079.5 nm, 632.8 nm 和 539.75 nm 四个波长测得的折射率值, 利用这些折射率, 得到熔盐法生长 KTP 晶体的 Sellmeier 方程为

$$N_x^2 = 2.9971 + \frac{0.041030}{\lambda^2 - 0.038368} - 0.012568 \lambda^2, \quad (3)$$

$$N_y^2 = 3.0197 + \frac{0.044090}{\lambda^2 - 0.042035} - 0.012046 \lambda^2, \quad (4)$$

$$N_z^2 = 3.3055 + \frac{0.063289}{\lambda^2 - 0.044783} - 0.013987 \lambda^2 \quad (5)$$

式中  $\lambda$  的单位为  $\mu\text{m}$ , 利用(3)~(5)式可计算有关波长的折射率, 这也在表 1 中给出。

双轴晶倍频过程相位匹配角  $\theta_m$  和有效非线性系数  $d_{\text{eff}}$  的计算文献[10]中已给出, 把上述计算扩展到和频过程, 我们可以用来计算 670.7 nm 和 1341.4 nm 辐射在 KTP 晶体中和频过程的  $\theta_m$  和  $d_{\text{eff}}$ 。

计算结果表明 670.7 nm 和 1341.4 nm 辐射在 KTP 晶体中可以实现 I 型和 II 型相位

Table 1 Refractive indices of KTP crystal

$\lambda (\mu\text{m})$	$N_x$		$N_y$		$N_z$	
	Cal.	Exp.	Cal.	Exp.	Cal.	Exp.
1.3414	1.7314	1.7314	1.7387	1.7387	1.8211	1.8211
1.0795	1.7375	1.7375	1.7450	1.7450	1.8291	1.8291
0.6328	1.7622	1.7622	1.7714	1.7714	1.8649	1.8649
0.53975	1.7764	1.7764	1.7869	1.7869	1.8863	1.8863
0.6707	1.7582		1.7670		1.8589	
0.4471	1.8024		1.8156		1.9263	

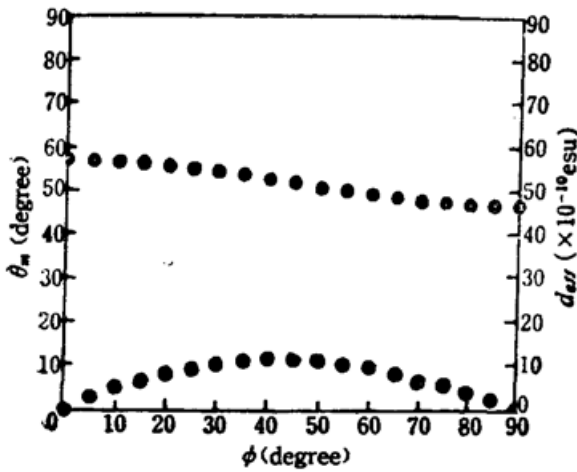


Fig. 1

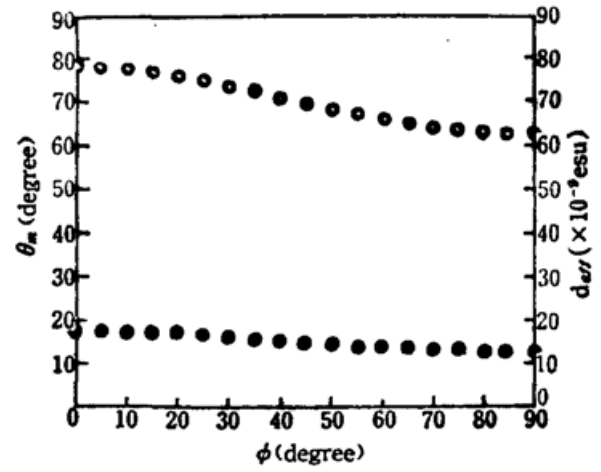


Fig. 2

匹配的和频作用,但 II 型和频作用只有在 1341.4 nm 和 670.7 nm 辐射在 KTP 晶体中作为寻常光和异常光时才能实现相位匹配,在相反状态不能实现相位匹配。计算结果在图 1 和 2 中给出,从图中看到 II 型相位匹配过程的有效非线性系数比 I 型相位匹配过程大一个数量级,这与 1064.2 nm 倍频的情况相似<sup>[10]</sup>,当 1341.4 nm 和 670.7 nm 辐射在 KTP 晶体中作为寻常光和异常光时,最佳相位匹配角  $\theta_m = 78.1^\circ$ ,  $\phi_m = 0^\circ$ ,此时  $d_{eff} = 17.62 \times 10^{-9}$  esu。

### 三、实验结果

为了检验上述结果,1341.4 nmNd:YAP 自由运转脉冲激光器产生的 2 J 的相干辐射用焦距为 8.5 cm 的透镜聚焦在 LiIO<sub>3</sub> 晶体上, LiIO<sub>3</sub> 晶体面法线与 z 轴成 24° 角,由于 1341.4 nm 激光是偏振方向平行于 Nd:YAP 晶体 c 轴的线偏振光,为了实现 I 型倍频作用, Nd:YAP 晶体的 c 轴必须垂直 LiIO<sub>3</sub> 晶体面法线和 z 轴组成的平面,这样安排当入射脉冲激光垂直于 LiIO<sub>3</sub> 晶体表面时就能观察到红色辐射,仔细调整 LiIO<sub>3</sub> 晶体,让红色辐射达到最强,此时  $\theta_m = 24.50^\circ$ ,它与计算仅差 0.71°。为了实现 1341.4 nm 和 670.7 nm 辐射的和频,用另一个焦距为 10 cm 的透镜将 1341.4 nm 辐射和通过 LiIO<sub>3</sub> 晶体倍频产生的 670.7 nm 红光聚焦在 KTP 晶体上,熔盐法生长的 KTP 晶体的面法线在 xz 平面内并与 z 轴成 76° 角,为了实现 II 型和频作用并使 1341.4 nm 和 670.7 nm 辐射在 KTP 晶体中为寻常光和异常光,必须让 KTP 晶体的 y 轴平行于 Nd:YAP 晶体的 c 轴。当二束入射光垂直于 KTP 晶体表面时能够观察到蓝色辐射,仔细调整 KTP 使蓝色辐射最强,此时  $\theta_m = 79.1^\circ$ ,它与计算值仅差 1°。

上述实验结果证实了计算结果的正确性。

### 参 考 文 献

- 1 W. P. Risk, W. Lenth, *Opt. Lett.*, **12**(12), 993(1987)
- 2 W. P. Risk, J. C. Baumert *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **52**(2), 85(1988)
- 3 W. P. Risk, W. Lenth, *Appl. Phys. Lett.*, **54**(9), 789(1988)
- 4 Tom Baer, Mark Keirstead, David Welch, OLEO'89-THM5
- 5 H. Y. Shen, T. Q. Lian *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-25**(2), 144(1989)
- 6 H. Y. Shen, R. R. Zeng *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **56**(20), 1937(1990)
- 7 H. Y. Shen, Y. P. Zhou *et al.*, *Opt. and Laser Technology*, **18**, 193(1986)
- 8 S. Umegaki, S. I. Tanake *et al.*, *Opt. Commun.*, **3**, 244(1971)
- 9 Z. D. Zong, H. Y. Shen *et al.*, *Appl. Opt.*, **29**(9), 1281(1990)
- 10 Yao J. Q., Fahlen T. S., *J. Appl. Phys.*, **55**, 65(1984)