

MgO · LiNbO₃ 晶体中双波长 Nd · YAP 激光的和频作用

沈 磊

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

明 海

(中国科学技术大学 合肥 230018)

周玉平

(中国科学院福建物质结构研究所 福州 350002)

提要 基于 MgO · LiNbO₃ (Mg · LN) 晶体的 Sellmeier 方程, 计算了 1079.5 nm 和 1341.4 nm 激光在该晶体中和频的相位匹配条件和容承角, 计算结果用 1079.5 nm 和 1341.4 nm 双波长 Nd · YAlO₃ (Nd · YAP) 连续激光在 MgO · LiNbO₃ 晶体中的和频进行了实验论证, 两者相当符合, 并得到了连续的 598.1 nm 橙色相干辐射。讨论了 1064 nm 和 1318 nm 双波长 Nd · YAG 激光在 MgO · LiNbO₃ 晶体中实现双波长和频获得 588.7 nm 橙色相干辐射的可能性。

关键词 和频, 双波长激光, MgO · LiNbO₃ 晶体

双波长激光是非线性频率转换的有用光源, 文献中先后在 KDP^[1], KD*P^[2], LiIO₃^[3] 和 KTP^[4] 晶体中用双波长 Nd · YAG 和 Nd · YAlO₃ (Nd · YAP) 激光器得到了 588.7 nm 和 582.5 nm 脉冲以及 598.1 nm 连续橙色和频辐射。我国发展的高掺镁铌酸锂 (MgO · LiNbO₃-Mg · LN)^[5] 晶体不仅保持了 LiNbO₃ 的非线性性能, 而且显著地改善了这种晶体的抗光损伤能力。但这种晶体在双波长激光中的和频作用还未见报道。本文利用文献[6]给出的掺杂 5 mol-% MgO 的 MgO · LiNbO₃ 晶体的 Sellmeier 方程得到了有关波长的折射率, 计算了 1079.5 nm 和 1341.4 nm 辐射在这种晶体中和频的相位匹配条件和容承角, 并用两块不同取向的掺杂 5 mol-% MgO 的 MgO · LiNbO₃ 晶体验证了相位匹配条件的正确性。结果表明计算结果与实验结果的差异在 1° 以内。实验中使用 1079.5 nm 和 1341.4 nm 的双波长 Nd · YAP 连续激光器在这种晶体中得到了连续的 598.1 nm 橙色和频辐射。讨论了 1064 nm 和 1318 nm 双波长 Nd · YAG 激光在这种晶体中通过和频获得 588.7 nm 橙色相干辐射的可能性。

1 理论分析

MgO · LiNbO₃ 晶体(掺镁铌酸锂)属三方晶系, 空间群为 R3C (C_{3v}), 光学上属负单轴晶体, 对 π -类相位匹配情况, 三波相互作用的和频过程满足

$$\vec{K}_{\omega_3}^e = \vec{K}_{\omega_1}^o + \vec{K}_{\omega_2}^o \quad (1)$$

简单计算, 得到相位匹配角 θ_m 和容承角 $\Delta\theta$ 分别为

$$\sin^2\theta_m = \frac{(n_{\omega_3}^e)^2 \left[\frac{n_{\omega_3}^o}{\frac{\lambda_{\omega_3}}{\lambda_{\omega_1}} n_{\omega_1}^o + \frac{\lambda_{\omega_3}}{\lambda_{\omega_2}} n_{\omega_2}^o} - 1 \right]}{(n_{\omega_3}^o)^2 - (n_{\omega_3}^e)^2} \quad (2)$$

$$\Delta\theta = \frac{2\pi [n_{\omega_3}(\theta_m)]^{-3}}{\left[\frac{1}{\lambda_{\omega_1}} + \frac{1}{\lambda_{\omega_2}} \right] [(n_{\omega_3}^e)^{-2} - (n_{\omega_3}^o)^{-2}] \sin 2\theta_m}$$

其中
$$n_{\omega_3}^e(\theta_m) = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} n_{\omega_1}^o + \frac{\lambda_3}{\lambda_2} n_{\omega_2}^o \quad (3)$$

文献[6]给出的掺杂 5 mol-% MgO 的 MgO·LiNbO₃ 晶体的 Sellmeier 方程为

$$n_o^2 = 4.8881 + \frac{0.110312}{\lambda^2 - 5.47884 \times 10^{-2}} - 3.12103 \times 10^{-2} \lambda^2 \quad (4a)$$

$$n_e^2 = 4.54302 + \frac{0.095117}{\lambda^2 - 4.65648 \times 10^{-2}} - 2.17155 \times 10^{-2} \lambda^2 \quad (4b)$$

式中波长 λ 单位为 μm 。由式(4a)和(4b)得到的 1079.5 nm, 1341.4 nm 和 598.1 nm 的折射率见表 1。

表 1 MgO·LiNbO₃ 晶体不同波长的折射率

Table 1 The related refractive indices of MgO·LiNbO₃ crystal at different wavelengths

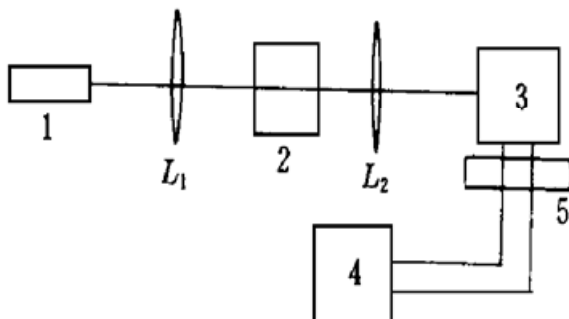
wavelength/nm	n_o	n_e
1341.4	2.2125	2.1350
1318	2.2135	2.1358
1079.5	2.2251	2.1454
1064	2.2260	2.1462
598.1	2.2893	2.2002
588.7	2.2925	2.2028

由表 1 和(2), (3) 式得到对 1079.5 nm 和 1341.4 nm 辐射和频的相位匹配角 θ_m 为 $63^\circ 26' 12''$, 容承角 $\Delta\theta$ 为 $7' 24''$ 。

2 实验与结果

实验装置如图 1 所示, 利用双波长连续 Nd·YAP 激光器输出的 1079.5 nm 和 1341.4 nm 激光作为两个基波辐射, 处在同一光束中的两个不同波长的激光经焦距 8.5cm 的透镜聚焦到 MgO·LiNbO₃ 晶体上产生和频辐射。利用设计用于 1079.5 nm 和 1341.4 nm 倍频的两块 MgO·LiNbO₃ 晶体作和频实验。两块晶体的方位角均为 30° 。对 1079.5 nm 倍频的晶体, 面法

图 1 测量和频辐射波长的实验设备



1: 双波长 Nd·YAP CW 激光器; 2: MgO·LiNbO₃ 晶体; 3: 44W 型平面光栅单色仪; 4: X-Y 记录仪; L₁, L₂: 透镜; 5: 光电倍增管
Fig. 1 The experimental setup for measuring wavelength of a sum-frequency radiation
1: dual wavelength Nd·YAP CW laser; 2: MgO·LiNbO₃ crystal; 3: model 44W grating monochromator; 4: X-Y recorder; L₁, L₂: lens; 5: photoelectric electron multiplier tube

线与光轴夹角为 75.3° , 晶体的尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 12.65\text{ mm}$ 。对 1341.4 nm 倍频的晶体, 面法线与光轴夹角为 54.9° , 晶体的尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 。由于 b 轴 Nd·YAP 晶体棒产生的 1079.5 nm 和 1341.4 nm 激光都是偏振方向平行于结晶 c 轴的线偏振光^[7,8], 为了在 MgO·LiNbO₃ 晶体中实现 $o+o \rightarrow e$ 的 π 类和频作用, Nd·YAP 晶体的结晶 c 轴必须垂直于 MgO·LiNbO₃ 晶体面法线和该晶体结晶 c 轴构成的平面。MgO·LiNbO₃ 晶体放在测角精度为 0.1° 的 5 轴旋转台上, 测量晶体面法线与产生最大 598.1 nm 橙色相干辐射时的夹角, 然后算出 MgO·LiNbO₃ 晶体中二个波长辐射和频的相位匹配角。实验结果测得上述两块晶体的相位匹配角分别为 $63^\circ 18' 48'' \pm 38''$ 和 $63^\circ 21' 48'' \pm 43''$ 。与计算结果的差异小于 1° 。

得到的和频相干辐射用 44W 平面光栅单色仪分光后, 经光电倍增管接收在 X-Y 记录仪上记录, 以确定其波长。实验中所用双波长 Nd·YAP 连续激光器在 1079.5 nm 和 1341.4 nm 的输出功率分别为 8.73 W 和 5.58 W , 得到的和频辐射的功率约为 6 mW , 测得的橙色和频相干辐射的波长为 $598.1 \pm 0.2\text{ nm}$ 。

3 讨 论

上述工作表明利用 MgO·LiNbO₃ 晶体将 Nd³⁺ 激光晶体的 $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ 和 $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$ 跃迁相应波长的辐射和频是可行的。由于和频后产生的橙色辐射与钠原子的特征谱线 589.0 nm 和 589.6 nm 很接近, 在很多场合可作为钠灯的取代光源。特别是 Nd·YAG 晶体中产生的 588.7 nm 辐射仅与 589.0 nm 相差 1.3 nm , 因而在天文望远镜中可成为钠导信的理想取代光源。由表 1 给出的数据和(2), (3)式可以得到对于 1064 nm 和 1318 nm 在 MgO·LiNbO₃ 晶体中和频的相位匹配角 θ_m 为 $63^\circ 12' 48''$, 容承角 $\Delta\theta$ 为 $7' 36''$, 它们与 1079.5 nm 和 1341.4 nm 和频的结果非常接近, 因而用 MgO·LiNbO₃ 晶体将 1064 nm 和 1318 nm 双波长 Nd·YAG 激光和频获得 588.7 nm 橙色相干辐射是完全可行的。

参 考 文 献

- 1 C. G. Bethea. Megawatt power at $1.318\text{ }\mu\text{m}$ in Nd³⁺·YAG and simultaneous oscillation at both $1.06\text{ }\mu\text{m}$ and $1.318\text{ }\mu\text{m}$. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1973, **QE-9**(2): 254
- 2 W. Volmar, M. G. Knights *et al.*. Conference on Laser and Electro-optics. *Digest of Technical Papers*, 1983. 188
- 3 Zhou Yuping, Shen Hongyuan, Huang Miaoliang *et al.*. Sum frequency generation of dual wavelength Nd³⁺·YAP laser in LiIO₃ crystal. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1992, **19**(6): 448~ 450 (in Chinese)
- 4 Shen Hongyuan, Zhou Yuping Zhou, Lin Wenxiong *et al.*. $0.5981\text{ }\mu\text{m}$ sum frequency mixing in KTP crystal. *Chinese Physics Letter*, 1991, **8**(4): 215~ 217
- 5 Zong Jiguo, Xu Guanfeng, Wang Tingfu *et al.*. The growth and the frequency doubling characters of heavily doped Mg·LiNbO₃ crystal. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1983, **32**(6): 795~ 798 (in Chinese)
- 6 Xu Hao, Zeng Zengdong, Lin Wenxiong *et al.*. Measurements of principal refractive indices and their thermal coefficients of LiNbO₃ crystal heavily doped with magnesium. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1992, **12**(10): 925 (in Chinese)
- 7 Shen Hongyuan, Zhou Yuping, Yu Guifang *et al.*. Influence of thermal effects on high power cw laser output of b -axis Nd·YAP. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 1982, **31**(9): 1235~ 1242 (in Chinese)
- 8 Shen Hongyuan, Zhou Yuping, Zeng Ruirong *et al.*. High power $1.3414\text{ }\mu\text{m}$ Nd·YAP CW laser. *Science in China (A)* (中国科学 A 辑), 1986, **16**(7): 760~ 766 (in Chinese)

Sum-frequency Action for Dual Wavelength Nd ·YAP Laser in MgO ·LiNbO₃ Crystal

Shen Lei

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

Ming Hai

(University of Science and Technology of China, Hefei 230018)

Zhou Yuping

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

Abstract Based on Sellmeier equations for MgO ·LiNbO₃(Mg ·LN) crystal, the phase-matched condition and acceptance angle for sum-frequency generation of a radiation at wavelengths of 1079.5 nm and 1341.4 nm have been calculated. The calculated results were verified by the sum-frequency generation in MgO ·LiNbO₃ crystal with a 1079.5 nm and 1341.4 nm dual wavelength Nd ·YAlO₃(Nd ·YAP) CW laser. A CW coherent orange radiation at wavelength of 598.1 nm has been achieved. The possibility to obtain the 588.7 nm coherent orange radiation using a 1064 nm and 1318 nm dual wavelength Nd ·YAG laser in MgO ·LiNbO₃ crystal was also discussed.

Key words sum-frequency generation, dual wavelength laser, MgO ·LiNbO₃ crystal