

## 掺 Mn 钾钠铈酸锶钡晶体光折变研究\*

张曰理 谢祥寿 朱德瑞 莫 党

(中山大学物理学系, 广州 510275)

**摘 要** 实验中,生长、极化、制备出了掺 0.02% 和 0.04% Mn 钾钠铈酸锶钡晶体样品,并对其二波耦合、二波耦合响应时间及自泵浦相位共轭进行了测量.研究发现:掺 Mn 可以有效地增加钾钠铈酸锶钡晶体的吸收,在波长 632.8 nm, 0.02% Mn 晶体样品的二波耦合增益系数大于  $7 \text{ cm}^{-1}$  而 0.04% Mn 晶体样品的二波耦合增益系数大于  $9 \text{ cm}^{-1}$ , 0.04% Mn 晶体样品二波耦合增益时间响应比 0.02% Mn 晶体样品二波耦合增益时间响应快近 4 倍; 0.04% Mn 晶体样品有很高自泵浦相位共轭反射率,高达 70%. 实验研究表明:掺 Mn 可以提高钾钠铈酸锶钡晶体在长光波段的光折变性能.

**关键词** 光折变,二波耦合,自泵浦相位共轭

**分类号** O 782, O 439

光折变晶体由于其光束能量耦合,图象放大,光存储,光学逻辑运算和光学相位共轭等方面具有潜在的应用前景而备受人们注意.钾钠铈酸锶钡晶体具有好的非线性和优良的光折变性能,是一类很有应用研究前景的光折变晶体材料.近些年来,人们对掺 Ce, Cu, Cr 钾钠铈酸<sup>3</sup>锶钡晶体进行了研究<sup>[1~4]</sup>.

实验中,我们生长、制备出了掺 Mn 分别为 0.02% 和 0.04% 的钾钠铈酸锶钡晶体,再经极化、切割加工、抛光成  $5.4 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$  和  $4.8 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$  的测试晶体样品.晶体生长、极化条件见文献 [5]. 实验发现 Mn 离子很容易进入钾钠铈酸锶钡晶体,晶体样品的吸收光谱见图 1. 由图 1 可以看出 Mn 的掺入明显增加了钾钠铈酸锶钡晶体的吸收并使晶体吸收波长向长波方向移动, 0.04% Mn 晶体样品比 0.02% Mn 晶体样品的吸收波长向长波移动约 50 nm.

### 1 二波耦合实验及结果

二波耦合实验装置如图 2 所示. 其中 F 为衰减片, BS 为分光镜, M1 M2 为反射镜, S 为晶体样品. 由 He-Ne 激光器发射的一束单模 e 偏振激光 (波长 632.8 nm) 被分光镜分成泵浦光和探测光. 泵浦光和探测光对称地入射到晶体样品 a 面, 并在 a 面相交. 由文献 [6] 给出了耦合增益计算公式:

$$\Gamma = (1/l) \ln[(I_1' I_2') / (I_1 I_2)] \approx (1/l) \ln(I_1' / I_1) \quad (1)$$

其中,  $l$  为作用长度,  $I_1'$  ( $I_1$ ) 是有 (无) 耦合时探测束透射光强,  $I_2'$  ( $I_2$ ) 是有 (无) 耦合时泵浦束

\* 广东省自然科学基金 (940151) 资助项目

收稿日期: 1995-10-18 张曰理, 男, 32 岁, 讲师

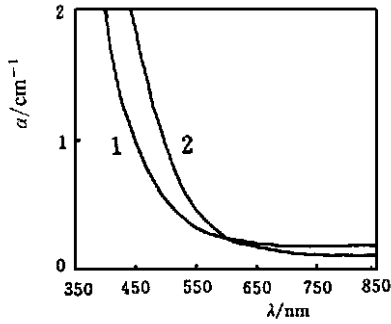


图 1 Mn 掺杂 KNSBN 吸收光谱

Fig. 1 The absorption spectra of Mn-doped KNSBN. Curves 1 and 2 are for 0.02% and 0.04% Mn-doped KNSBN samples with thicknesses of 5.4 mm and 4.8 mm, respectively.

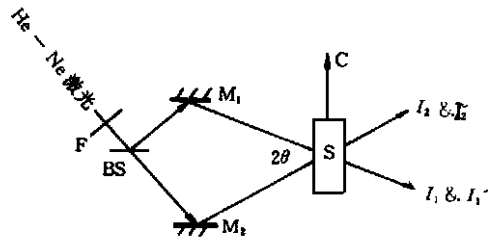


图 2 二波耦合实验装置图

Fig. 2 Experimental arrangement of measuring two-wave coupling

透射光强, 泵浦束入射光强远大于探测束入射光强, 其光强比:  $I_p/I_s = 510$ . 图 3 给出了二波耦合增益系数随  $\theta$  的变化关系. 图 3 中的圆点为实验测试值而实线为用最小二乘法由实验值满足公式 (2) 所得到的理论拟合曲线<sup>[6]</sup>. 由图 3 我们可以看出 0.04% Mn 晶体样品的二波耦合增益系数比 0.02% Mn 晶体样品的二波耦合增益系数要大, 在  $\theta$  约为  $50^\circ$  时, 二波耦合增益系数值较大, 其中, 0.04% Mn 晶体样品的最大二波耦合增益系数为  $9.4 \text{ cm}^{-1}$  而 0.02% Mn 晶体样品的最大二波耦合增益系数为  $7.5 \text{ cm}^{-1}$ .

$$\Gamma = \frac{A \sin\theta \cos 2\theta_i}{(1 + B^2 \sin^2\theta) \cos\theta_i} \quad (2)$$

其中,  $\theta_i$  是两入射光束在晶体内的半夹角, 而

$$A = \gamma_{\text{eff}} \zeta(\theta) \frac{8\pi^2 n^3 k_B T}{e \lambda^2} \quad (3)$$

$$B = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{N_{\text{eff}}}{\epsilon_0 \epsilon \cdot k_B T} \quad (4)$$

$\gamma_{\text{eff}}$  为有效电光系数,  $\zeta(\theta)$  是电子-空穴竞争因子,  $n$  是晶体的折射率,  $k_B T$  是热能,  $e$  是电荷,  $\lambda$  是波长,  $\epsilon_0 \epsilon$  是沿光栅方向的静态介电常数,  $N_{\text{eff}}$  是有效载流子数密度.

实验中, 固定光束入射角  $\theta \approx 50^\circ$ , 测量了不同入射光强下的二波耦合响应时间. 图 4 给出了二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  (定义为探测束透射光强达到最大值的  $(1 - e^{-1})$  的时间的倒数) 随入射总光强  $I_p$  的变化关系. 由图 4 可以看出: 二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  随着总光强  $I_p$  的增加而线性增加. 0.04% Mn 晶体样品二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  是 0.02% Mn 样品二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  的 4 倍, 也就是说 0.04% Mn 晶体样品二波耦合增益响应比 0.02% Mn 晶体样品二波耦合增益响应要快的多, 这主要是由于 0.04% Mn 晶体样品的有效载流子数密度比 0.02% Mn 晶体样品要多. 二波耦合响应时间和光折变响应时间 (光折变响应时间定义为光束耦合时的空间电荷场的建立时间) 之间的关系复杂, 但一般地说来, 二波耦合响应时间和光折变响应时间要慢一个因子. 为了简单起见, 我们可以把二波耦合响应时间和光折变响应时间近似地看作相等<sup>[7]</sup>. 二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  与总光强的关系满足<sup>[6]</sup>:

$$\tau_{2bc}^{-1} \approx \tau_{PR}^{-1} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} (\sigma_d + \sigma_{ph}) = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \left( \sigma_d + \frac{e \mu \tau_R I_p}{hc} \right) \quad (5)$$

其中,  $\sigma_d$  为暗电导,  $\sigma_{ph}$  为光电导,  $\mu \tau_R$  为迁移率与时间的乘积. 0.02% 和 0.04% Mn 晶体样品

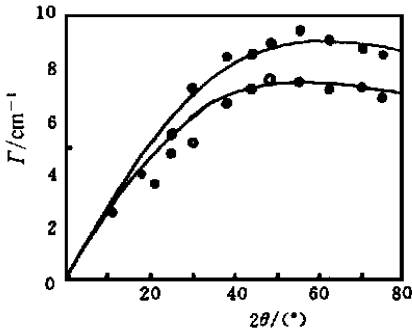


图 3 Mn:KNSBN 晶体二波耦合增益系数与  $\vartheta$  之间的关系

Fig. 3 The two-wave coupling gain versus external angle for Mn:KNSBN

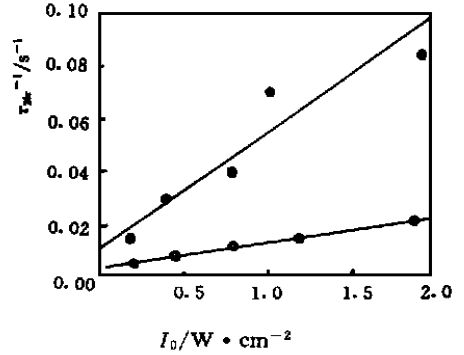


图 4  $\tau_{2bc}^{-1}$  与  $I_0$  的关系

Fig. 4 The two-wave mixing response rate versus input laser intensity for Mn:KNSBN

° 掺 Mn 0.04%; o 掺 Mn 0.02%

在 632.8 nm 的吸收系数分别为 0.76 和 0.66  $cm^{-1}$ 。

用最小二乘法, 根据公式 (3)~(5), 由实验值得到了  $\gamma_{eff} \zeta(\vartheta)$ ,  $N_{eff}$ ,  $\mu\tau_R$  的理论拟合值, 其结果如表 1 所示. 我们可以看出 0.04% Mn 晶体样品的  $N_{eff}$ ,  $\sigma_d$ ,  $\mu\tau_R$  值比 0.02% Mn 晶体样品要大. 这可以说明为何 0.04% Mn 晶体样品的光折变性能比 0.02% Mn 晶体样品的光折变性能要好.

表 1 Mn:KNSBN 晶体在 632.8 nm 的光折变特性

Tab. 1 photorefractive parameters of Mn:KNSBN crystals at 632.8 nm

掺 Mn %	$\gamma_{eff} \zeta(\vartheta)$ ( $\times 10^{-6} / V$ )	$N_{eff}$ $\times 10^6 cm^{-3}$	$\sigma_d /$ $\times 10^{12} (Kcm)^{-1}$	$\mu\tau_R /$ $\times 10^{10} cm^2 / V$
0.02	49.98	8.36	0.17	0.034
0.04	55.00	10.26	0.49	0.137

## 2 自泵浦相位共轭

我们分别对 0.02% 和 0.04% Mn 晶体样品进行了自泵浦相位共轭实验研究, 实验发现: 0.04% Mn 样品上能够实现了自泵浦相位共轭, 并且具有很高的自泵浦相位共轭反射率, 其值高达 70%<sup>[5]</sup>; 但, 在 0.02% Mn 晶体样品上却没有观测到自泵浦相位共轭, 这可能是由于 0.02% Mn 晶体样品有效载流子数密度较小及光折变耦合增益较弱所致.

## 3 结论

我们实验中生长制备出了掺 Mn 钾铈钽酸锶钡晶体样品, 测量了二波耦合增益系数与入射光束外夹角之间的关系. 实验发现二波耦合增益系数在  $\vartheta \sim 50^\circ$  左右较大, 0.04% Mn 晶体样品的最大二波耦合增益系数大于  $9 cm^{-1}$  而 0.02% Mn 晶体样品的最大二波耦合增益系数大于  $7 cm^{-1}$ , 0.04% Mn 晶体样品二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  比 0.02% Mn 晶体样品二波耦合增益响应率  $\tau_{2bc}^{-1}$  大 4 倍; 0.04% Mn 晶体样品的  $N_{eff}$ ,  $\sigma_d$ ,  $\mu\tau_R$  值比 0.02% Mn 晶体样品大; 这可以说明为何 0.04% Mn 晶体样品的光折变性能比 0.02% Mn 晶体样品的光折变性能要好以及为何在 0.04% Mn 晶体样品中观测到了很高自泵浦相位共轭反射率, 而

0.02% Mn 晶体样品中却没有观测到自泵浦相位共轭. 实验研究表明: Mn 很容易进入钾钠铌酸锶钡晶体, 掺 Mn 可以有效增加钾钠铌酸锶钡晶体的吸收, 提高钾钠铌酸锶钡晶体在长光波段的光折变性能. 在长波区, 特别是在 He-Ne 激光波长, 掺 Mn 钾钠铌酸锶钡晶体是一种很有前途的光折变材料.

### 参 考 文 献

- 1 Montgomery S R, Jan Yarrison-Rice, Pederson D O et al. Self-pumped phase conjugation in the red in photorefractive  $Ba_{0.5}Sr_{1.5}K_{0.25}Na_{0.75}Nb_5O_{15}$  and  $Sr_{0.6}Ba_{0.4}Nb_2O_6$  with cerium in 9-fold co-ordinated sites. *J Opt Soc Am, B*, 1988, 5(8): 1775- 1780
- 2 Bergquist J, Tomita Y, Shibata M. Near-infrared photorefractivity in Cr-doped potassium sodium strontium barium niobate single crystal. *Appl Phys A*, 1993, 55: 61- 64
- 3 王韧, 莫党. 光折变晶体中与光强有关的二波耦合及能量转移, 中山大学学报 (自然科学版), 1992, 31(1): 1- 7
- 4 Yue X F, Lu X L, Song Y Y, et al. Studies on self-pumped phase conjugation in Cu-doped  $(K_{0.5}Na_{0.5})_{0.2}(Sr_{0.61}Ba_{0.39})_{0.9}Nb_2O_6$  crystals. *Appl Phys, B*, 1991, 53: 319- 322
- 5 张曰理, 谢祥寿, 周长师, 等. KN SBN 掺 Mn 光折变晶体生长和自泵浦相位共轭. 中山大学学报 (自然科学版), 1995, 34(3): 125- 128
- 6 Ewbank M D, Neurgaonkar R R, Cory W K, et al. Photorefractive properties of Strontium Barium Niobate. *J Appl Phys*, 1987, 62: 374- 377
- 7 Vazquez R A, Neurgaonkar R R, Ewbank M D. Photorefractive properties of SBN: 60 systematically doped with rhodium. *J Opt Soc Am B*, 1992, 9(8): 1416- 1427

## Photorefractive Properties of Mn-Doped Potassium Sodium Strontium Barium Niobate Crystals

Zhang Yueli\* Xie Xiangshou Zhu Derui Mo Dang

**Abstract** The Mn-doped potassium sodium strontium barium niobate crystals are grown, poled and polished and their two-wave coupling, two-wave coupling time response and self-pumped phase conjugation at 632.8 nm are studied in the experiment. The two-wave coupling gain are larger than  $7\text{ cm}^{-1}$  and  $9\text{ cm}^{-1}$  for 0.02% and 0.04% samples respectively and the two-wave coupling time response of 0.04% sample is four times faster than that of 0.02% sample. Self-pumped phase conjugate reflectivity of 0.04% sample is as high as 70%. It is shown that Mn dopants can effectively increase absorption coefficient and enhance photorefractive properties of potassium sodium strontium barium niobate crystals at red wavelength.

**Keywords** photorefractive effect, two-wave coupling, self-pumped phase conjugation

\* Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275