

文章编号: 0529-6579 (2000) 04-0043-04

双掺(V,Cr):KNSBN 晶体光诱导吸收研究^{*}

张曰理, 李辉道, 阳生红, 莫 党

(中山大学凝聚态物理研究所/物理学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 成功地生长、制备出了双掺(V, Cr) 钾钠铌酸锆钽晶体样品. 测量了不同光强和光偏振下的光诱导吸收变化. 实验结果显示, 双掺(V, Cr) 钾钠铌酸锆钽晶体具有很高的光诱导吸收系数, 其值高达 3 cm^{-1} , 且光诱导吸收依赖于泵浦束光强和探测束光偏振. 对实验结果用两中心电荷传输模型进行了解释.

关键词: 光折变晶体; 钾钠铌酸锆钽; 光诱导吸收

中图分类号: O734; O782 **文献标识码:** A

光折变晶体由于在图像处理, 光存储, 光信号放大和光学相位共轭等方面潜在的应用前景, 从而引起人们对其广泛研究. 钾钠铌酸锆钽 (KNSBN) 晶体是一种重要的光折变晶体. 它具有电光和非线性系数大, 性能稳定, 无室温相变和 90° 畴, 易于生长、极化, 内部有 3 种类型结构空位, 易于引入其它离子进行掺杂改性等优点; 因此, 对钾钠铌酸锆钽 (KNSBN) 晶体的研究越来越受到人们的重视^[1~3].

近些年来, 人们相继在铁电、光折变晶体 LiNbO_3 , Fe , KNbO_3 , BaTiO_3 和 SBN 中发现了光诱导吸收现象^[4~8], 并导致了光折变两中心模型的发展. 本文将研究新型双掺(V, Cr) 钾钠铌酸锆钽晶体生长、制备及在不同光强和光偏振下的光诱导吸收现象.

1 晶体生长

实验中, 我们采用中频感应加热、熔体提拉法成功地生长出了双掺(V, Cr) 钾钠铌酸锆钽晶体. 晶体生长原料均采用光谱的 BaCO_3 , SrCO_3 , K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Nb_2O_5 和 V_2O_5 , 按分子式 $(\text{KNa})_{0.1}(\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25})_{0.9}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 进行称量配料, 并在熔体中加 $w(\text{V}_2\text{O}_5) 0.24\%$ 和 $w(\text{Cr}_2\text{O}_3) 0.08\%$. KNSBN: (V, Cr) 晶体生长是在大气中进行, 生长温度约 1500°C , 提拉速度为 3 mm/h , 转速为 20 r/min . 生长出的 KNSBN: (V, Cr) 晶体还需高温退火和极化. 晶体退火条件为: 温度约 1160°C , 时间约 12 h , 降温速率为 60°C/h . 晶体极化条件为: 温度约 170°C , 电场约 800 V/mm , 时间约 20 min . 最后, 经切割、抛光加工成 KNSBN: (V, Cr) 晶体样品. 双掺(V, Cr): KNSBN 晶体吸收谱见图 1 实线部分. 为了便于比较, 我们同时

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (980364)

收稿日期: 1999-08-01; 作者简介: 张曰理 (1964~), 男, 副教授.

也给出了纯 KNSBN 晶体的吸收谱，见图 1 虚线部分。从图 1 可以看出：双掺(V, Cr)使 KNSBN 晶体产生了明显的吸收带，这也说明杂质确实掺入了 KNSBN 晶体。

2 光诱导吸收测量

图 2 给出了测量光诱导吸收实验示意图。实验中，我们用扩束后的氩离子激光（λ=488 nm，偏振方向平行晶体 C 轴）作泵浦光，使其均匀照射到晶体样品；用低能 He-Ne 激光（λ=633 nm）作探测光，使其在垂直于泵浦光方向上，沿着晶体内表面通过晶体，并记录透射的变化。

光诱导吸收系数 α₁ 定义为^[5, 9]

α₁ = 1/d ln (I_s(with I_p off) / I_s(with I_p on))

I_s 和 I_p 分别为探测光和泵浦光的光强，d 为探测光通过的晶体厚度(本实验中 d = 3.66 mm)。

图 3a 给出了在光强 I_p = 1.26 mW/cm² 时，晶体样品在泵浦光打开时的光诱导吸收响应上升曲线；图 3b 给出了晶体样品的稳态光诱导吸收系数随泵浦光强的变化。由图 3a, b 可以看出：晶体样品的光诱导吸收系

数依赖于泵浦光强，且随着泵浦束光强增加而增大，并最终趋于一饱和值；晶体在泵浦光打开时的光诱导吸收响应上升过程呈现非指数关系；光诱导吸收依赖于探测束偏振方向，探测束偏振方向平行晶体 C 轴时的光诱导吸收系数比探测束偏振方向垂直于晶体 C 轴时的光诱导吸收系数大很多，前者最大值可达 3 cm⁻¹，后者只有 1 cm⁻¹，其比值约为 3。

光诱导吸收时间响应率定义为：光诱导吸收系数达到稳态光诱导吸收系数值的 (1 - 1/e) 时所需时间的倒数。图 3c 给出了 KNSBN : (V, Cr) 晶体光诱导吸收时间响应率随着泵浦光强的变化关系。从图 3c 中可以看出：随着泵浦光强的增加光诱导吸收时间响应率近线性地增加，亦即随着泵浦光强的增加光诱导吸收时间响应加快。探测束光偏振对光诱导吸收时间响应率影响不是很大。探测束偏振方向平行于晶体 C 轴比探测束偏振方向垂直于晶体 C 轴的光诱导吸收时间响应率大，亦即探测束偏振方向平行于晶体 C 轴比探测束偏振方向垂直于晶体 C 轴的诱导吸收时间响应稍快。

3 讨 论

为了解释 KNSBN : (V, Cr) 晶体光诱导吸收现象，我们可以引入两中心电荷传输模型^[4]，我们可以考虑 2 个不同光折变中心 C₁ 和 C₂ (记为 C_i, i = 1, 2)，相对价带边缘 C₁

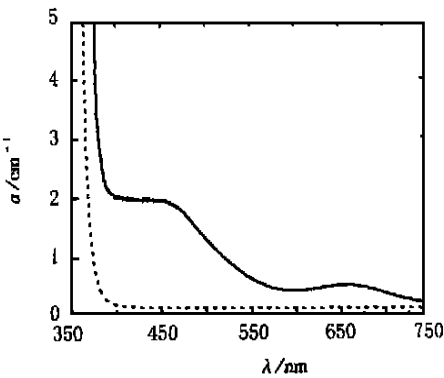
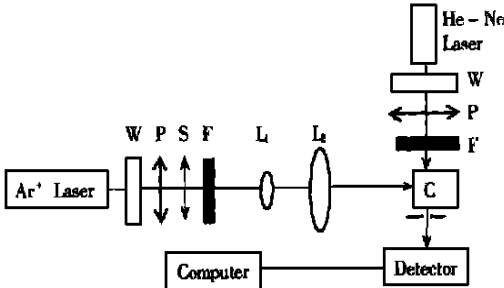


图 1 纯的和掺(V, Cr): KNSBN 晶体吸收谱
Fig.1 The absorption spectra of pure (dashed line) and (V, Cr)-doped (solid line) 2 mm thick KNSBN



C crystal; W wave plate; P polarizer; S shutter; F filter; L's lens
图 2 光诱导吸收实验示意图
Fig.2 Experimental setup

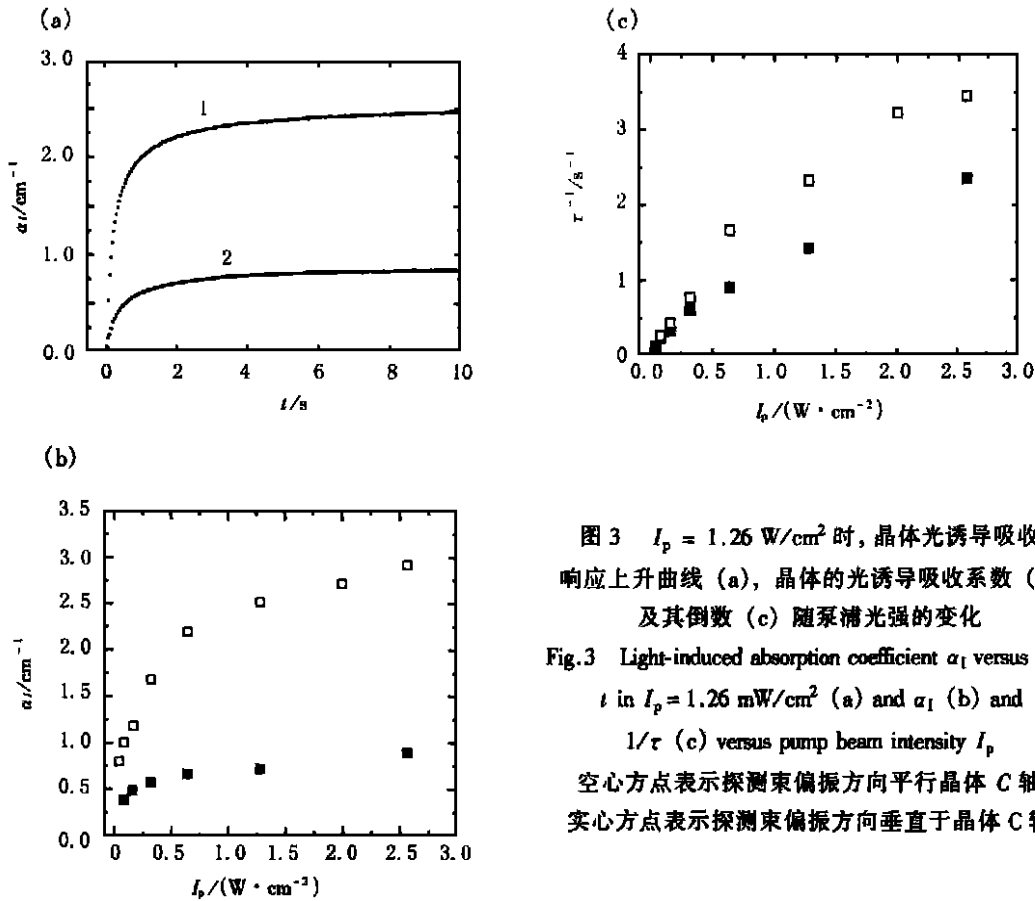


图 3 $I_p = 1.26 \text{ W/cm}^2$ 时, 晶体光诱导吸收
响应上升曲线 (a), 晶体的光诱导吸收系数 (b)
及其倒数 (c) 随泵浦光强的变化

Fig.3 Light-induced absorption coefficient α_I versus time
 t in $I_p = 1.26 \text{ mW/cm}^2$ (a) and α_I (b) and
 $1/\tau$ (c) versus pump beam intensity I_p
空心方点表示探测束偏振方向平行晶体 C 轴
实心方点表示探测束偏振方向垂直于晶体 C 轴

代表深能级而 C_2 代表浅能级. 每一中心上都有空穴源和陷阱. 其中空穴源 C_1^+ 的浓度为 N_i^+ , 陷阱 C_i^0 的浓度为 N_i^0 , 而对 i 类中心总浓度 $N_i = N_i^+ + N_i^0$ 保持不变. 当 KNSBN: (V, Cr) 晶体受到波长较短的泵浦光 ($\lambda = 488 \text{ nm}$) 照射时, 电子受激发从价带跃迁到 C_1^+ , 从而在价带产生空穴, 空穴在价带中移动并被 C_1^0 或 C_2^0 俘获产生 C_1^+ 或 C_2^+ . 由于 C_2 比 C_1 热激发能低, 所以空穴很容易被 C_2^0 俘获产生 C_2^+ . 随着泵浦光光强的增加, 由 C_1^+ 产生越来越多的空穴; 随着价带空穴的增加, 越来越多的空穴被 C_2^0 俘获产生 C_2^+ , 从而引起 N_2^+ 的增加. 当 KNSBN: (V, Cr) 晶体受到波长较长的探测光 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) 照射时, 电子受激发从价带跃迁到 C_2^+ , 所以 N_2^+ 的增加必然引起光吸收的变化, 从而产生光诱导吸收, 且泵浦光强越强引起光吸收的变化也就越大. 光诱导吸收依赖于探测束偏振方向可解释为: 浅陷阱可看作沿着晶体 a 轴和 c 轴不同的各向异性孤立势阱 (实际上, KNSBN 晶体沿 a 轴和 c 轴不论在微观结构, 还是在宏观性质上均显各向异性), 从而导致了 KNSBN: (V, Cr) 晶体沿着 c 轴偏振的光有较大的偶极子动量, 亦即有较大的光电离跃迁截面, 所以探测束偏振方向平行于晶体 C 轴比探测束偏振方向垂直于晶体 C 轴的光诱导吸收要大的多.

文献 [5, 7] 给出了光诱导吸收响应时间率与泵浦光强之间关系

$$1/\tau = \beta_2 + s_2 I_p + \gamma_2 n$$

其中, τ 为光诱导吸收响应时间, β_2 , γ_2 分别为浅陷阱热电离率和浅陷阱电子复合常数, s_2 为

浅陷阱光电离跃迁截面, I_p 为泵浦光强, n 为导带自由电子密度, 在低光强下, n 与光强成正比. 所以, 在没有达到光诱导吸收饱和之时, 光诱导吸收时间响应率与泵浦光强成正比.

4 结 论

实验中我们生长、制备出了 KNSBN: (V, Cr) 晶体样品, 并在 KNSBN: (V, Cr) 晶体样品中观测到了强的光诱导吸收现象, 测量了 KNSBN: (V, Cr) 晶体光诱导吸收响应曲线, 给出了在不同探测束光偏振方向上, KNSBN: (V, Cr) 晶体光诱导吸收系数及光诱导吸收时间响应率随着泵浦光强的变化关系, 并用两中心电荷传输模型对 KNSBN: (V, Cr) 光诱导吸收现象进行了解释. 对 KNSBN: (V, Cr) 光诱导吸收现象的研究, 将为进一步认识 KNSBN 光折变晶体的电荷传输过程, 弄清其微观机制, 推动其实用化有重要的意义.

参考文献:

- [1] CHEN H C, SUN D L, SONG Y Y, et al. Growth and properties of a new TB type photorefractive crystal[J]. J Crystal Growth, 1993, 128: 880~885.
- [2] NEURGAONKAR R R, CORY W K, OLIVER J R, et al. Development and modification of photorefractive properties in the tugsten bronze family crystals[J]. Opt Eng. 1987, 26(5): 392~405.
- [3] MO D, ZHANG Y L, ZHU D R, et al. Photorefractive properties and phase-conjugation of doped KNSBN crystals[J]. Ferroelectrics, 1997, 196: 47~52.
- [4] JERMANN F, KRATZIG E. Charge transport processes in at high intensity laser pulses[J]. Appl Phys, 1992, A55: 113~118.
- [5] HOLTSMANN L, BUSE K, KUPER G et al. Photoconductivity and light-induced absorption in[J]. Appl Phys, 1991, A53: 81~86.
- [6] BROST G A, MOTES R A, ROTGE J R. Intensity-dependent absorption and photorefractive effects in barium titanate[J]. J Opt Soc Am, 1988, B5: 1879~1885.
- [7] ORLOV S, SEGEV M, YARIV A, et al. Light-induced absorption in photorefractive strontium barium niobate[J]. Opt Lett, 1994, 19(17): 1293~1295.
- [8] BUSE K, STEVENDAAL U, PANKRATH R, et al. Light-induced charge transport properties of crystals[J]. J Opt Soc Am, 1996, B13: 1461~1467.

Light-induced Absorption in Double-doped (V, Cv) Potassium Sodium Strontium Barium Niobate

ZHANG Yue-li^{*}, LI Hui-qiu, YANG Sheng-hong, MO Dang

Abstract: The double-doped (V, Cr)potassium sodium strontium barium niobate crystal sample has been successfully grown and prepared. Measurements of light-induced absorption changes in double-doped (V, Cr)-potassium sodium strontium barium niobate crystal are carried out for different intensities and polarization. It is observed that the light-induced absorption coefficient of the sample depends on the intensity of the pump light beam and the polarization of the probe light beam. A variation as high as 3 cm^{-1} of the light-induced absorption coefficient is measured. The results are interpreted in terms of a two-center charge transport model.

Keywords: photorefractive crystals; KNSBN; light-induced absorption