

掺杂 KNSBN 晶体吸收对光强的依赖特性*

李艳秋¹ 刘树田¹ 侯方林² 许克彬¹

1, 哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001
2, 黑龙江省科学技术委员会, 哈尔滨 150001

摘 要 研究了 Co·KNSBN 晶体和重还原 Co·KNSBN 晶体中光致吸收的变化特性。Co·KNSBN 晶体的吸收系数随泵浦光强的增加而减小, 吸收系数变化的最大值为 3.2 cm^{-1} , 重还原 Co·KNSBN 晶体的吸收系数随泵浦光强的增加而增加, 吸收系数变化的最大值为 6.5 cm^{-1} , 在泵浦光关掉后, 探测光频率很高的增幅振荡, 然后呈现阻尼振荡。采用最近建立的双载流子(电子, 空穴)和多重陷阱能级(两个深陷阱能级, 两个浅陷阱能级)的光折变理论给以合理的解释, 同时指出晶体的光致吸收变化特性在获得空间均匀光和非相干光放大中, 有着潜在的应用。

关键词 光致吸收, KNSBN 晶体。

1 引 言

KNSBN 晶体作为新一化光折变晶体, 由于它的制备比较容易, 又具有较大的电光系数和较快的响应速度, 近几年来引起研究者们浓厚的兴趣。目前, 有关 KNSBN 晶体自泵浦相位共轭、二波耦合等特性已经得到了深入广泛的研究。然而, 对这种晶体中光致吸收的变化特性目前尚未见报道, 晶体中光致吸收的变化将改变晶体中的光强分布。因而使晶体的响应时间和衍射效率随之改变^[1~2]。晶体中光致吸收的变化特性不仅可以获得有关晶体能级结构和晶体中电荷迁移机制的信息, 而且在获得空间均匀光和非相干光放大中有着重要的应用。

Motes 和 Kim 发现^[3]光照射 BaTiO₃ 晶体时可以使晶体的吸收增加, 这种效应在入射光关闭几秒钟后消失。Brost 等人^[4]用双光折变中心模型的电荷迁移机制解释了这种效应。这一模型的正确性已被诸多的实验所证实^[5, 6]。有关 BaTiO₃ 晶体光致吸收的进一步研究已见报道^[7~9]。本文利用波长为 488 nm 的 Ar⁺ 离子激光作为泵浦光, 波长为 632 nm 的氦氖激光为探测光, 对掺钴的 KNSBN 晶体和重还原掺钴的 KNSBN 晶体中光致吸收的变化特性进行了研究, 并由作者最近建立的双载流子和多重陷阱能级的光折变理论^[10~12]给以合理的解释。

2 光致吸收变化的理论

由于晶体中双载流子(电子, 空穴)和多重陷阱(两个深陷阱能级, 两个浅陷阱能级)的存

* 哈尔滨工业大学科学基金和黑龙江省科学基金资助项目。

收稿日期: 1996 年 7 月 7 日

在, 使晶体的吸收随泵浦光强的不同而发生变化。根据作者最近提出的双载流子-多重陷阱能级模型^[10-12], 理论上, 晶体中光致吸收的变化由下式来确定:

$$\Delta\alpha = [(S_{te} - S_{De})M_{0e} + (S_{th} - S_{Dh})M_{0h}]h\nu \quad (1)$$

其中, S_{De} 和 S_{Dh} 为晶体中电子和空穴从深陷阱能级被光激发的光离化截面, S_{te} 和 S_{th} 为晶体中电子和空穴从浅陷阱能级被光激发的光离化截面, $h\nu$ 为光子的能量, M_{0e} 和 M_{0h} 为被占据的浅陷阱能级中的粒子数密度, 由下列各式决定:

$$M_{0e} \approx N_{0e} = \frac{1}{2[\rho_e(I_0) - 1]} \left([\rho_e(I_0)(N_{DF} + M_{te}) + N_F] - \{[\rho_e(I_0)(N_{DF} + M_{te}) + N_F]^2 - 4\rho_e(I_0)[\rho_e(I_0) - 1]N_{DF}M_{te}\}^{1/2} \right) \quad (2)$$

$$M_{0h} \approx N_{0h} = \frac{1}{2[\rho_h(I_0) - 1]} \left([\rho_h(I_0)(N_{AE} + M_{th}) + N_E] - \{[\rho_h(I_0)(N_{AE} + M_{th}) + N_E]^2 - 4\rho_h(I_0)[\rho_h(I_0) - 1]N_{AE}M_{th}\}^{1/2} \right) \quad (3)$$

$$\rho_e(I_0) = \frac{S_{De}Y_{te}}{S_{te}Y_{De}} \frac{1}{(1 + \beta_e/S_{te}I_0)}, \quad \rho_h(I_0) = \frac{S_{Ah}Y_{th}}{S_{th}Y_{Dh}} \frac{1}{(1 + \beta_h/S_{th}I_0)} \quad (4)$$

$$N_{DF} = N_D - N_F, \quad N_{AE} = N_A - N_E \quad (5)$$

式中, N_D 和 N_A 分别代表电子和空穴的施主数密度, N_F 和 N_E 分别代表电子和空穴的受主数密度, Y_{De} (Y_{Dh}) 和 Y_{te} (Y_{th}) 为电子(空穴)在深、浅陷阱能级的复合速率, M_{te} 和 M_{th} 为电子和空穴的浅陷阱能级密度, β_e 和 β_h 为电子和空穴的热激发速率。 N_0 为平均离化粒子数密度。(2) ~ (5) 式表明, M_{0e} 和 M_{0h} 是光强的饱和函数, 所以光致吸收的变化也是光强的饱和函数。

3 实验结果与讨论

实验所用的晶体是山东大学晶体所提供的。晶体的弱光(功率密度小于 100 mW/cm^2) 透射谱如图 1 所示。考虑晶体前后表面的影响, Co:KNSBN 晶体和重还原的 Co:KNSBN 晶体对 488 nm 光的吸收系数分别为 3.34 cm^{-1} 和 14.7 cm^{-1} 。

实验装置如图 2 所示。波长为 488 nm 的 Ar^+ 离子激光作为泵浦光, 为了减小光扇效应, 使其垂直偏振。波长为 633 nm 的氦氖光作为探测光, 入射到晶体上的光强为 $16 \mu\text{W}$ 。透过晶体的探测光被探测器接收。改变泵浦光强, 可观测到透过晶体的探测光强度的变化, 由此可以得到晶体吸收的变化。

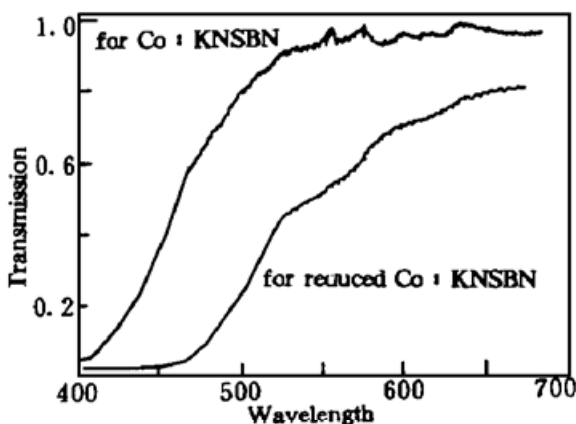


Fig. 1 Transmission of KNSBN crystals

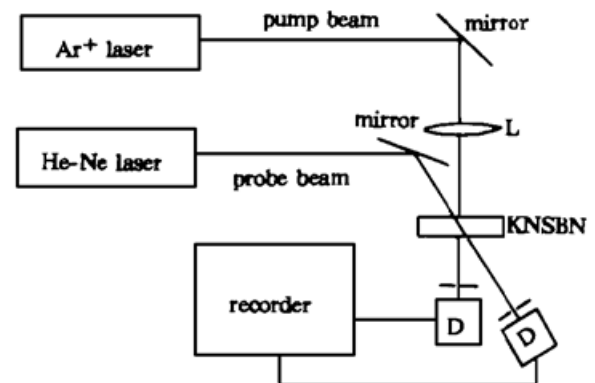


Fig. 2 Experimental setup

实验上, 晶体中光致吸收系数的变化由下式来确定^[7, 8]:

$$\Delta\alpha = d^{-1} \ln (I'_{\text{probe}}/I_{\text{probe}}) \tag{6}$$

式中 d 为光通过晶体的长度, I'_{probe} 和 I_{probe} 分别为泵浦光关闭和打开时透过晶体的探测光的强度。

图 3 是透过晶体的探测光在泵浦光打开和关闭时测量结果。

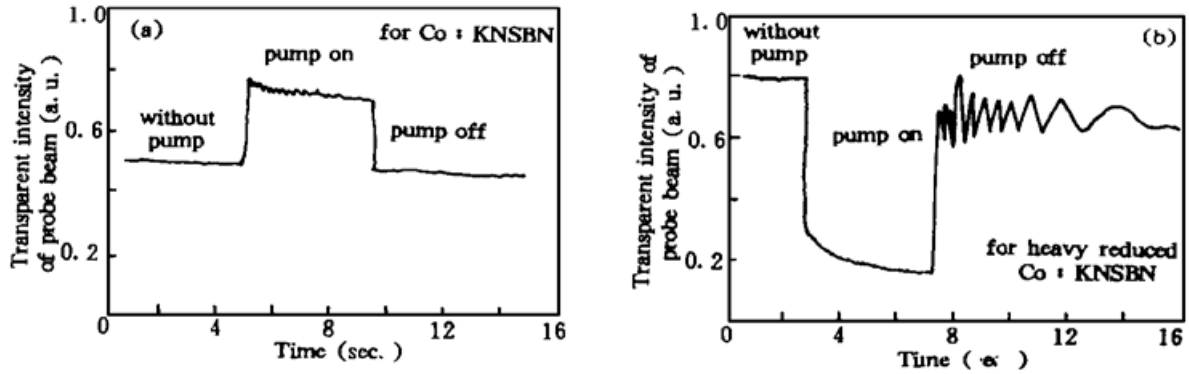


Fig. 3 Transparent intensity of probe beam dependence of pump light. (a) for Co:KNSBN crystal; (b) for heavy reduced Co:KNSBN crystal

实验结果表明, 透过 Co:KNSBN 晶体的探测光光强随泵浦光强的增加而增加, 即吸收系数随泵浦光强的增加而减小。在泵浦光为 25 W/cm^2 时, 吸收系数改变的最大值为 3.2 cm^{-1} , 而其弱光透射谱得到的吸收系数为 3.34 cm^{-1} 。透过重还原 Co:KNSBN 晶体的探测光光强随泵浦光强的增加而减小, 即吸收系数随泵浦光强的增加而增加, 在泵浦光为 5 W/cm^2 时, 吸收系数改变的最大值为 6.5 cm^{-1} , 其弱光透射谱得到的吸收系数为 14.7 cm^{-1} , 而且在泵浦光关掉后, 探测光出现频率很高的增幅振荡, 然后呈现阻尼振荡, 如图 3 所示。反复进行泵浦光的开关过程这种振荡效应最终几乎消失, 如图 4 所示。图 5 所示的是不同泵浦光强下, 光致吸收的变化。

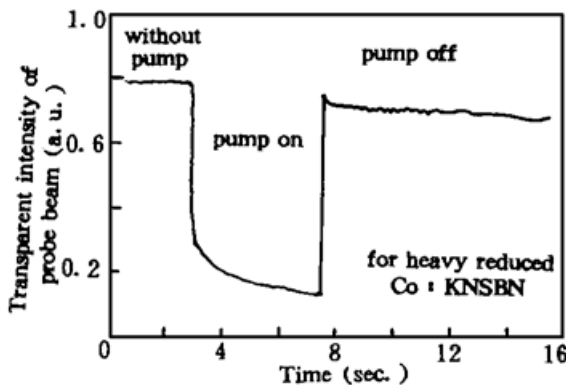


Fig. 4 Disappearance of oscillation of transparent intensity of probe beam after pump light switch off (pump light trun on and off for many times, for heavy reduced Co:KNSBN crystal)

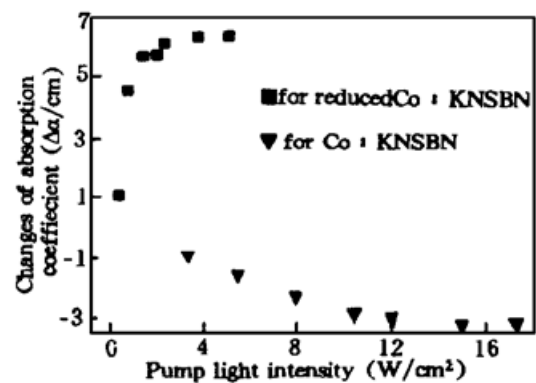


Fig. 5 Changes of light-induced absorption at different intensity

通过晶体的其它光折变行为证明了实验所用晶体中存在着电子和空穴以及多重陷阱能级^[10-12]。由(1)~(5)式可知, 上述实验所体现的这些特性取决于得能级的光离化截面以及被占据的浅陷阱能级中的粒子数密度的稳态值和动态特性。最简单、最直观的情况是, 当 $S_{te} > S_{De}$, $S_{th} > S_{Dh}$ 时, $\Delta\alpha > 0$, 光致吸收增加, 当 $S_{te} < S_{De}$, $S_{th} < S_{Dh}$ 时, $\Delta\alpha < 0$, 光致吸收减小, 若(1)式中第一项和第二项的符号不同, 根据 M_{0e} 和 M_{0h} 的值以及它们随光强变化的情况, 光致吸收的变化会出现比较复杂的行为, 例如振荡行为。在没有经过还原处理的 Co:KNSBN

晶体中, 泵浦光的作用几乎使晶体处于透明状态。它们不同于已报道的 BaTiO₃ 晶体的光致吸收特性。

已报道的 BaTiO₃ 晶体中只考虑电子或空穴浅陷阱能级, 没有考虑电子和空穴各有一套深-浅陷阱能级。这样, 光致吸收的变化只取(1)式中的第一项(电子浅陷阱能级)或第二项(空穴浅陷阱能级), 光致吸收的变化不可能出现振荡。并且已报道的有关 BaTiO₃ 晶体的光致吸收的变化均小于本文所报道的。

在重还原的 Co:KNSBN 晶体中, 泵浦光关掉后, 透射光随时间的振荡行为可能是电子和空穴两个浅陷阱能级上的粒子数在热消耗时的竞争耦合, 或者在完全消耗掉之前经历过多次的热激发和热消耗过程造成的, 更严格的理论有待于进一步研究。

掺杂 KNSBN 晶体的光致吸收特性, 可以使它们在以下两个方面发挥重要的应用。众所周知, 基模激光的光场空间分布呈高斯分布, 利用晶体的光致吸收增加特性可以使透过晶体的光强的空间分布更加均匀。利用晶体的光致吸收减小的特性可以获得非相干光的放大。

结 论 本文研究了 Co:KNSBN 晶体的光致吸收变化特性, 这一光折变行为的产生机制是晶体中存在着双载流子和多重陷阱能级。Co:KNSBN 晶体的光致吸收变化特性的显著特征, 使它们在获得空间均匀光和非相干光放大中, 有着潜在的应用。

参 考 文 献

- [1] G. A. Brost, R. A. Motes, Origin of the sublinear photorefractive response time in BaTiO₃. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(21): 1194~ 1196
- [2] Haiyu Wang, Mingzhen Tian, Jiuling Lin *et al.*, Study of two-wave coupling in Cu:KNSBN using red light. *Opt. Commun.*, 1995, **115**(5/6): 563~ 567
- [3] A. Motes, J. J. Kim, Intensity-dependence absorption coefficient in photorefractive BaTiO₃ crystals. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1987, **4**(5): 1379~ 1382
- [4] G. A. Brost, R. A. Motes, J. R. Rotge, Intensity-dependent absorption and photorefractive effect in barium titanate. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1988, **5**(9): 1879~ 1885
- [5] F. Jermann, J. Otten, Light-induced charge transport in LiNbO₃·Fe at high light intensities. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1993, **10**(11): 2085~ 2092
- [6] P. Tayrbati, D. Mahgeresteh, Theory of the photorefractive effect for Bi₁₂SiO₂₀ and BaTiO₃ with shallow traps. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1991, **8**(5): 1053~ 1064
- [7] Y. Chang, M. H. Garrett, H. P. Jenssen *et al.*, Intensity-dependent photorefractive properties in an n-type BaTiO₃. *J. Appl. Phys.*, 1994, **75**(1): 43~ 48
- [8] Orlov, M. Segev, A. Yariv, R. R. Neurgankar, Light-induced absorption in photorefractive strontium barium niobate. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17): 1293~ 1295
- [9] Buse, T. Bierwirth, Dynamics of light-induced absorption in BaTiO₃ and application for intensity stabilization. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1995, **12**(4): 629~ 637
- [10] Yanqiu Li, Fanglin Hou, Shutian Liu *et al.*, Photorefractive properties with multiple traps and two types of charge carriers in doped KNSBN crystals. *Opt. Commun.*, 1997, **134**: 591~ 598
- [11] Yanqiu Li, Fanglin Hou, Genfu Zhou *et al.*, Explanation of anomalous diffractive behaviors with new model in doped KNSBN crystals. *Chinese J. Laser (B)*, 1996, **5**(6): 561~ 568
- [12] 李艳秋, 李炎, 周忠祥等, 掺杂 KNSBN 晶体中的电子-空穴竞争. *光学学报*, 1996, **16**(7): 972~ 977

Intensity-Dependent Absorption in Doped KNSBN Crystals

Li Yanqiu¹ Liu Shutian¹ Hou Fanglin² Xu Kebin¹

1, *Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*
2, *Science and Technology Committee of Heilongjiang Province, Harbin 150001*

(Received 7 July 1996)

Abstract Intensity-dependent absorption in doped KNSBN crystals have been studied. Light-induced absorption and transparency in Co·KNSBN and heavy reduced Co·KNSBN have been experimentally measured. Light-induced absorption increases and reaches a saturate value of 6.5 cm^{-1} in heavy reduced Co·KNSBN crystal. Light-induced absorption decreases and reaches a saturate value of 3.2 cm^{-1} in Co·KNSBN crystal. The transparent intensity of probe beam present a oscillation behavior when the pump beam switch off in heavy reduced Co·KNSBN crystal. These behaviors are explained by a theory of two types of charge carriers with multiple traps. Finally, we predict that the light-induced absorption and transparency should be useful for making spatial intensity distributions more homogeneous and incoherent signal amplification.

Key words light-induced absorption, KNSBN crystals.