

KNSBN:Co 晶体的无外场自泵浦相位共轭*

孙大亮 陈焕鑫 宋永远 姜全忠 陈 军

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

张治国 叶佩弦

(中国科学院物理所, 北京 100080)

提 要

利用掺 Co: $(\text{KNa})_{0.2}(\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25})_{0.9}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 晶体实现了无外场, 无外反射镜、无外加泵浦光束的自泵浦连续波相位共轭, 其相位共轭反射率达到 40%, 阈值功率小于 0.02 W/cm^2 , 首次利用此晶体以梯形切割实现了光折变晶体单区域四波混频相互作用产生自泵浦位相共轭波。

关键词: 自泵浦相位共轭, Co:KNSBN。

一、引 言

相位共轭波可以通过四波混频、激散发射得以实现, 它在非线性光学、图象畸变处理等方面都有广泛的应用。Jack Feinberg 在 1982 年利用光折变晶体 BaTiO_3 实现了自泵浦相位共轭^[1], 其自泵浦相位共轭波是在无外泵浦光束、无外反射镜和无外场条件下实现的; 1987 年在 Rodriguez 等人的努力下成功地实现了 Ce:SBN 和 Ce:KNSBN-2 自泵浦相位共轭镜^[2], 1989 年 Rytz 等报道了^[3] 在 KNbO_3 和 $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ 晶体中实现自泵浦相位共轭; $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ 不是铁电体, 而且电光系数较小, 通过外加电场可以增加其耦合系数, 但仍然仅观察到 2% 的自泵浦反射率。

在此之前作者曾成功地演示了 Ce:KNSBN 自泵浦相位共轭反射镜^[4]。本文报道了 $(\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})_{0.2}(\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25})_{0.9}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 掺 Co (Co-KNSBN) 晶体的生长及其自泵浦相位共轭镜。

二、Co-KNSBN 晶体的准备

KNSBN 掺 Co 晶体属于钨青铜 $(\text{K}_{1-y}\text{Na}_y)_{2A-2}(\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x})_{2-A}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 固溶体系列, 当 $A=1.2$ 时, 钨青铜型结构的 A 位置是充满的。本文所生长的 Co-KNSBN 晶体的 A 位置是非充满的, 其 $A=1.1$, 晶体是作者利用英国进口的 MCGS-3 单晶生长与制备系统生长的, 以高频感应加热, 用提拉法制备的。该 Co-KNSBN 晶体不同于 Rodriguez 和 Montgomery 用于自泵浦相位共轭镜的 A 位置全充满的 KNSBN-2 晶体^[2,5], 钨青铜系列晶体更为一般的表达式为 $(\text{A}_1)_{2-A}(\text{A}_2)_{2A-2}\text{C}_{0.8}\text{B}_2\text{O}_6$, 其中 A_1 , A_2 , C 和 B 分别为 15-, 12-,

收稿日期: 1991 年 3 月 21 日; 收到修改稿日期: 1991 年 8 月 5 日

* 本课题受国家“863”计划基金的资助。

9-, 和 6-配位体位置, 本实验生长的 KNSBN 掺 Co 晶体, 其 15-, 12-配位体位置的 91.7% (即 1.1/1.2) 被 K^+ , Na^+ , Sr^{2+} 和 Ba^{2+} 离子占据, 6-配位体的位置被 Nb^{5+} 离子占据, 而 Co 离子可能占据着 6-配位体位置。生长出的晶体退火后在 $150^\circ C$ 条件下极化 20 分钟, 极化电压约 $400 V/mm$, 极化后的晶体被切成梯形(见图 1(b)), 六面抛光, 晶体样品的尺寸为 $5 \times 6 \times 6 mm^3$, 其梯形的斜切角约为 8° ($\beta = 8^\circ$)。

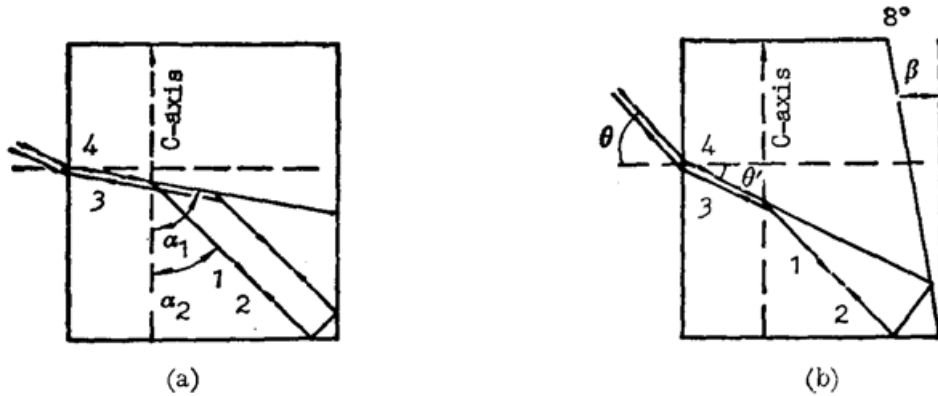


Fig. 1

- (a) Phase conjugator with two-interaction regions;
 (b) Co-doped KNSBN ring phase conjugator with one interaction region

三、内环形腔自泵浦相位共轭镜的设计

1. 光折变耦合系数 γ 的选取

首先计算 Co:KNSBN 模拟了光折变耦合系数 $\gamma^{(0)}$ 。

$$\gamma = \frac{W \tau_{\text{eff}} E}{2nc \cos(\alpha_1 - \alpha_2)}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} E &= R \frac{k_B T}{q} \frac{K \cos(\alpha_1 - \alpha_2)}{1 + (K/K_0)^2}, \quad W = \frac{2\pi}{\lambda} C, \\ K_0^2 &= q^2 N_{\text{eff}} / k_B T \epsilon \epsilon_0, \quad K = \frac{2nW}{C} \sin[(\alpha_1 - \alpha_2)/2], \\ \epsilon &= \epsilon_{33} \sin^2[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] + \epsilon_{11} \cos^2[(\alpha_1 + \alpha_2)/2], \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 λ 为真空波长, E 为电场, $n = n(\lambda)$ 为折射率, 它是波长的函数, R 为空穴-电子竞争因子, $R_B T$ 为单位电荷的热能, $\epsilon \epsilon_0$ 是在光栅方向的介电常数, N_{eff} 是光折变有效电荷密度, K 为光栅矢面的大小, α_1 和 α_2 的定义请见图 1, τ_{eff} 为有效电光系数它由下面式子给出:

(1) 当入射光束为非常光时,

$$\tau_{\text{eff}} = \{n_0^4 r_{13} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + 2n_0^2 n_e^2 r_{42} \cos[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] + n_e^4 r_{33} \sin \alpha_1 \sin \alpha_2\} \sin[(\alpha_1 + \alpha_2)/2]; \quad (3)$$

(2) 当入射光束为寻常光时,

$$\tau_{\text{eff}} = n_0^4 r_{13} \sin[(\alpha_1 + \alpha_2)/2]. \quad (4)$$

可见耦合系数是波长、温度、 α_1 和 α_2 的函数。对于一定的温度和波长, 耦合系数则为 α_1 和 α_2 的函数。在这里假设电光系数 (γ_{13} , γ_{42} , γ_{33}) 不依赖于波长, 还假设 $R=1$, 即在空间电荷场的形成过程中无空穴-电子竞争。通过二波耦合实验测量计算了 Co:KNSBN 晶体的有效

光折变电荷载密度 N_{eff} , 依据上面的假设和实验测得的有效电荷载密度 $N_{eff} = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 画出了以 α_1 和 α_2 为变量的耦合系数 $\gamma(\alpha_1, \alpha_2)$, 如图 2 所示, 从图 2 的曲线中可以看出当 α_1 约为 55° 时, 耦合系数 γ 取最大值, 这时光束 4 与 O 轴的夹角即为 $\alpha_1 \approx 55^\circ$, 如果按图 1(b) 所示将晶体以一定的角度斜切成梯形, 则光束 4 将发生全内反射, 且在晶体内部能与光束 4 本身相交而发生相互作用, 可能相交的情况如图 1(b) 所示。图 1(a) 为猫式自泵浦相位共轲反射镜, 光束 2 为泵浦光束, 它起源于光束 4 的散射光, 考虑用光束 4 的全内反射光束来加强泵浦光束 2, 实际上在图 1(b) 中, 全内反射光束 2 代替了原来的散射泵浦光束, 而且全内反射光束 2 一定强于散射产生的泵浦光, 因此这种斜切晶体自泵浦相位共轲反射镜会有较大的自泵浦相位共轲反射率和较低的阈值功率。

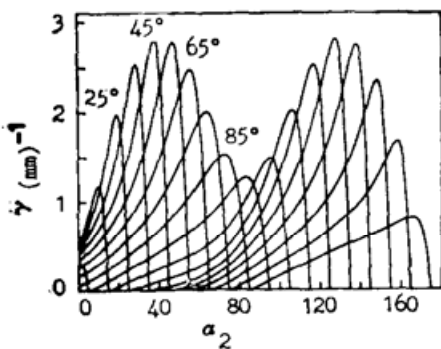


Fig. 2 Plot of the computed coupling constant γ

The parameter used are: $n_o = 2.4$, $n_e = 2.3$; $\epsilon_{11} = 750$, $\epsilon_{33} = 170$; $r_{13} = 50 \times 10^{-12}$, $r_{42} = 820 \times 10^{-12}$, $r_{33} = 200 \times 10^{-12} \text{ V/m}$

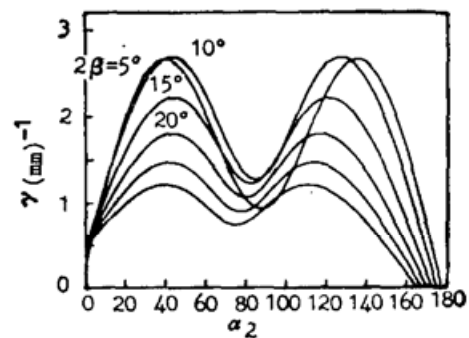


Fig. 3 Plot of the computed coupling constant for various angles

2. 沿 α 面斜切角 β 取值的决定

从图 1(b) 的几何图形中可以看出晶体的斜切角满足关系 $2\beta = \alpha_1 - \alpha_2$, 从角度关系上还可推知光束 4 和其全内反射光束在晶体内部的夹角为 2β , 或者说晶体内部光束夹角为图 1(b) 中所标明的晶体在 α 面上斜切角 β 的两倍, 而且由于 $2\beta = \alpha_1 - \alpha_2$ 的关系, 耦合系数可写为 $\gamma = \gamma(\alpha_2, 2\beta)$, 即耦合系数为 α_2 和晶体斜切角 β 的函数, 图 3 中给出了对于不同斜切角 β 的 $\gamma \sim \alpha_2$ 关系曲线。从图 2 可以看出, 当 $\alpha_1 - \alpha_2 < 10^\circ$ 时, 各条曲线的耦合系数 γ 才会有峰值, 这说明斜切角 $\beta = [(\alpha_1 - \alpha_2)/2] < 5^\circ$ 时, 才有较大的耦合效果。但为了使光束 4 在较大的角度范围产生全内反射光束, 以便作出一定范围的自泵浦反射率和入射角度曲线, 在加工晶体时取斜切角 $\beta = 8^\circ$, 这样 $\alpha_1 - \alpha_2 = 2\beta = 16^\circ$, 从图 3 可以看出耦合系数 γ 仍然有较大的数值。最后加工得到了斜切角 $\beta = 8^\circ$ 的单区域四波混频相互作用 Co:KNSBN 内环形腔自泵浦相位共轲反射镜。

四、实验与结果

在晶体中各光束的四波混频相互作用示于图 1(b) 中。自泵浦相位共轲的实验测量光路如图 4 所示。所用光源为 Ar 离子激光器, 在激光器前放置偏振器, 以提供写光栅的偏振非常光, 其光束直径为 1.2 mm, 用功率计和光电二极管探测光束强度, 双笔 $y-t$ 记录仪测量响

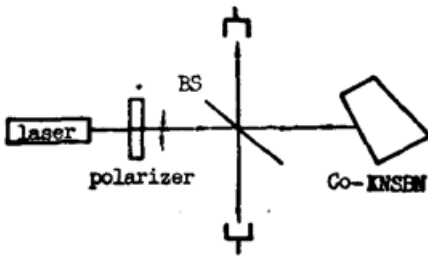


Fig. 4 Experimental set-up for self-pumped phase conjugation

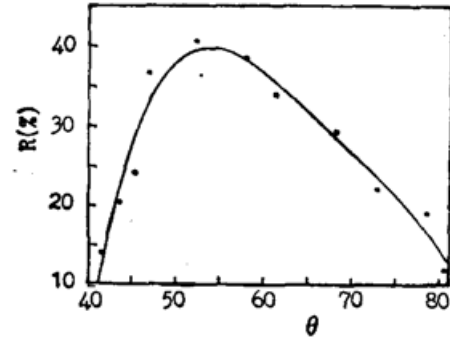


Fig. 5 The self-pumped phase conjugate reflectivity R as a function of the external angle of incidence

应时间。

用 514.5 nm 波长测量了自泵浦反射率和入射角度的关系曲线,如图 5 所示,当入射角度为 $\theta = 52^\circ$ 时,自泵浦相位共轭反射率达到最大值 40%,这时 $\theta' = 20^\circ$, $\alpha_1 = 70^\circ$, $\alpha_2 = 54^\circ$ (θ' 的定义请见图 1(b)),这种情况下耦合系数近似为图 3 中 $2\beta = 15^\circ$ 的曲线,在图 5 中的峰位 $\alpha_2 = 54^\circ$ 与图 3 中模拟的 $2\beta = 15^\circ$ 的耦合系数峰位差别不大。当入射角度 $\theta = 60^\circ$ 时,在 488.0, 496.5, 514.5 nm 波长下测量了自泵浦相位共轭反射率,其数值依次为 10%, 13%, 30%。

在入射功率为 0.02 至 10 W/cm² 范围,测量了自泵浦相位共轭光的响应时间,当入射角度为 60° ,功率为 1 W/cm² 时,响应时间为 17 s。图 6 示出了自泵浦相位共轭光建立时间和入射功率的关系曲线,此处响应时间为自泵浦光达到其稳态值的 $1/e$ 对所需的时间,以上结果是在波长 514.5 nm 条件下测得的,另外我们还测量了此 Co:KNSBN 晶体的透射曲线,结果如图 7 所示。

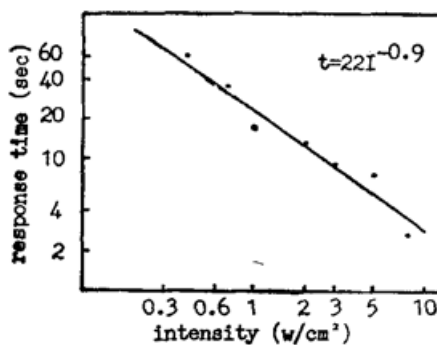


Fig. 6 Phase conjugate formation time versus input intensity

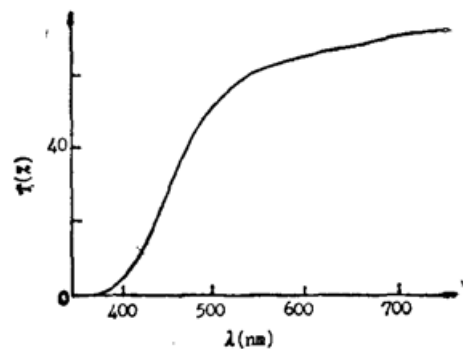


Fig. 7 The transmission spectrum of Co-doped KNSBN

参 考 文 献

- [1] J. Feinberg; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 10 (Oct), 486.
- [2] J. Rodriguez *et al.*; *Appt. Opt.*, 1987, **26**, No. 9 (May), 1732.
- [3] D. Rytz, Shen De Zhong; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**, No. 26 (Jun), 2625.
- [4] 岳学峰, 邵宗书等; 《光学学报》, 1990, **10**, No. 7 (Jul), 606.
- [5] S. R. Montgomery *et al.*; *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1988, **5**, No. 8 (Aug), 1775.
- [6] G. Salama *et al.*; *Opt. Commun.*, 1986, **59**, No. 5 (Oct), 417.

Self-pumped phase conjugator of Co-doped KNSBN crystal without applied field

SUN DALIANG, CHEN HUANCHU, SONG YONGYUAN, JIANG QNANZHONG AND CHEN JUN

(*Institute of Crystal Materials, Shangong University, Jinan 250100*)

ZHANG ZHIGUO AND YE PEIXIAN

(*Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

(Received 21 March 1991; revised 5 August 1991)

Abstract

Self-pumped phase conjugate in Co-doped $(K_{0.5}Na)_{0.2}(Sr_{0.75}Ba_{0.25})_{0.9}Nb_2O_6$ crystal was demonstrated without external reflection mirrors, pumping beam and applied field. Its phase conjugation reflectivities as high as 40% were measured. The threshold power was lower than 0.02 W/cm^2 . The device operated by one-region four-wave mixing using the photorefractive effect with the trapezoid-cut crystal.

Key words: self-pumped phase conjugation, Co:KNSBN.

第三届全国特种光纤学术讨论会在青岛召开

受中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会委托, 青岛电子研究所、山东海洋大学、青岛大学、北京光通讯总公司和西安光学精密机械研究所联合主办的“第三届全国特种光纤学术讨论会”学术会议于1991年9月2日~4日在青岛召开。会议由专业委员会主任委员、长春物理所于荣金研究员主持。

大会收到论文84篇, 收入论文集74篇。来自北京、上海、天津、吉林、陕西、广东、山东、湖北、江苏、福建、浙江、四川等12个省市的近100名代表参加了会议。学术交流分二个专题进行, 共宣读论文77篇。报告的论文反映了近年来科技人员在特种光纤理论、元器件及应用研究与开发方面取得的新进展。

下届“纤维光学与集成光学”会议将于1992年10、11月间在厦门举行。

(王志英)