

文章编号: 1001-3806(2003)01-0037-03

## 非相干光对 Ce:KNSBN 晶体两波耦合的影响研究

吉选芒 王金来

(运城高等专科学校物理系, 运城, 044000)

刘劲松 安毓英

(西安电子科技大学技术物理学院, 西安, 710071)

摘要: 理论分析和实验研究了非相干光照射下 Ce:KNSBN 晶体中的两波耦合, 发现非相干光在很大范围内可有效地控制晶体中的两波耦合效应。实验结果和理论分析趋势相一致。

关键词: 光折变; 两波耦合; 非相干光

中图分类号: O734+.1 文献标识码: A

### Effect of incoherent beam on photorefractive two-wave mixing in Ce:KNSBN crystal

Ji Xuanmang, Wang Jinlai

(Department of Physics, Yuncheng Advanced Training College, Yuncheng, 044000)

Liu Jinsong, An Yuying

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an, 710071)

**Abstract:** We have analysed the results of the photorefractive two-wave mixing in Ce:KNSBN controlled by an incoherent beam and performed experiment. Results show that the incoherent beam can effectively control the photorefractive two-wave coupling gain in a large range. The experimental results agree with the theory well.

**Key words:** photorefractive; two-wave mixing; incoherent beam

### 引言

近年来,随着光折变材料研究的进展,光折变效应得到了广泛应用,如光通信、光放大、光存储。如何控制材料光折变特性的研究更加引起人们的关注。通过在材料中掺入杂质和种类来控制光折变效应<sup>[1]</sup>,但这种方法在实际应用中受到材料生长条件的限制。利用非相干均匀光来辐照材料控制光折变效应是近年来提出的一种新方案<sup>[2,3]</sup>。有人报道了在非相干光辐照下,在钛酸钡晶体和铌酸锂中进行两波耦合的理论及实验工作<sup>[4,5]</sup>。但他们都没有给出非相干光照射下两波耦合的解析解。Ce:KNSBN 晶体是一种优良的光折变材料,它具有易生长、成本低等优点,在进行光折变效应时,扩散机制在晶体中占主导地位。本文中,建立了存在非相干光情况下

扩散机制占主导地位的两波耦合抽运光和信号光的解析公式。对其变化特性进行了参数理论分析。用 Ce:KNSBN 晶体进行了存在非相干光情况下两波耦合实验,发现非相干光能够在很大的范围内有效地控制两波耦合的进行。实验结果与理论分析趋势相一致。

### 1 非相干光辐照下的两波耦合理论

设晶体中只存在一种光激发载流子(电子),并且相干光和非相干光对应着相同的( $N_d - N_d^+$ )的情况下,设相干光为单色光,离化施主的速率方程可表示为<sup>[4]</sup>:

$$\frac{\partial N_d^+}{\partial t} = (S_c I_c + S_1 I_1 + \beta)(N_d - N_d^+) - \gamma N_d^+ \rho \quad (1)$$

式中, $N_d$ 为施主杂质数密度, $N_d^+$ 为电离施主数密度, $\beta$ 为热激发速率, $\rho$ 为自由电荷密度, $I_c$ 和 $S_c$ 分别为相干光光强和光激发截面, $I_1$ 和 $S_1$ 分别为非相干光光强和光激发截面, $\gamma$ 为电子与陷阱心的复合率。

作者简介:吉选芒,男,1965年4月出生。工学硕士,教授。研究光折变材料、效应和光电信息处理。

收稿日期:2002-04-29

当两束相干光辐照晶体时,晶体中的相干光强为  $I_c = I_0 \text{Re}[1 + m \exp(ikz)]$ , 其中  $m$  是调制度。

$m = 2 \sqrt{I_R I_s} / I_0$ ,  $I_0 = I_R + I_s$ 。因此,

$$S_c I_c + S_1 I_1 + \beta = (S_c I_0 + S_1 I_1 + \beta) \times \text{Re} \left[ 1 + \frac{S_c I_0 m}{S_c I_0 + S_1 I_1 + \beta} \exp(ikz) \right] \quad (2)$$

因此,考虑非相干光和热激发的共同影响后,调制度  $m$  可修正为有效调制度:

$$m' = \frac{S_c I_0}{S_c I_0 + S_1 I_1 + \beta} m \quad (3)$$

对于稳态情况,  $\frac{\partial E_{sc}}{\partial t} = 0$ , 空间电荷场的复振幅<sup>[6]</sup>为:

$$E_{sc} = -m \frac{E_0 + E_{ph} + iE_d}{1 + E_d/E_q - iE_d/E_q} \quad (4)$$

式中,  $E_0$  为外加电场,  $E_{ph}$  为光伏场,  $E_d = K_B T K / q$  为扩散场,  $E_q = qN_A / \epsilon K$ 。

在本文中的讨论条件下,  $E_0 = 0$ , 光伏场  $E_{ph}$  可忽略, 仅由扩散场引起的空间电荷场为:

$$E_{sc} = -m \frac{iE_d}{1 + E_d/E_q} = -m \frac{iE_d E_q}{E_d + E_q} \quad (5)$$

有非相干光辐照时, 空间电荷场为:

$$E_{sc}' = -m' \frac{iE_d E_q}{E_d + E_q} \quad (6)$$

所以,  $\frac{E_{sc}}{E_{sc}'} = \frac{m'}{m} = \frac{S_c I_0 + S_1 I_1 + \beta}{S_c I_0}$  (7)

因为两波耦合系数为  $\Gamma = \frac{2\pi n^3}{\lambda} r_{\text{off}} E_{sc}$ , 即两波耦合的耦合系数与空间电荷场成正比。设有非相干光辐照时有效两波耦合系数为  $\Gamma_{\text{eff}}$ 。由(7)式可有:

$$\Gamma_{\text{eff}} = \frac{S_c I_0}{S_c I_0 + S_1 I_1 + \beta} \Gamma \quad (8)$$

为了处理问题需要,在解析求解有非相干光存在的两波耦合方程,忽略热激发影响  $\beta = 0$ , 同时令  $S_c / S_1 = 1$ , 则将(8)式写为:

$$\Gamma_{\text{eff}} = \frac{I_0}{I_c + I_1} \Gamma \quad (9)$$

将(9)式代入光折变两波耦合方程<sup>[7]</sup>可得到有非相干光存在时的两波耦合方程为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dI_R}{dz} &= -\frac{\Gamma}{I_0 + I_1} I_R I_s - \alpha I_p \\ \frac{dI_s}{dz} &= \frac{\Gamma}{I_0 + I_1} I_R I_s - \alpha I_s \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中,  $I_R$  为抽运光,  $I_s$  为信号光,  $I_0 = I_R + I_s$ ,  $\alpha$  为材料的吸收系数,  $I_1$  为非相干光。结合边值条件求解上述微分方程组(10), 可有:

$$I_R(z) = \frac{I_{R0}(1 + \gamma_0^{-1}) e^{-\alpha z}}{1 + r_0^{-1} [\delta(z)]^{\Gamma/\alpha}} \quad (11)$$

$$I_s(z) = \frac{I_{s0}(1 + r_0) e^{-\alpha z}}{1 + r_0 [\delta(z)]^{\Gamma/\alpha}} \quad (12)$$

$$\delta(z) = \frac{I_0(0) \exp(-\alpha z) + I_1}{I_0(0) + I_1} \quad (13)$$

式中,  $r_0 = I_{R0} / I_{s0}$  为入射抽运光与信号光的强度比,  $I_0(0) = I_{R0} + I_{s0}$  为入射抽运光与信号光的总和。

定义信号光的增益:

$$G = \frac{I_s(d)(I_{R0} \neq 0)}{I_s(d)(I_{R0} = 0)} \quad (14)$$

式中,  $d$  是抽运光和信号光在晶体中的相互作用长度。由(12)式和(14)式可求出存在非相干光时信号光增益为:

$$G_{\text{eff}} = \frac{1 + r_0}{1 + r_0 \left[ \frac{I_0 \exp(-\alpha d) + I_1}{I_0 + I_1} \right]^{\Gamma/\alpha}} \quad (15)$$

如果不存在非相干光, 即  $I_1 = 0$ , 则上式就简化为无非相干光辐照时信号光的增益公式:

$$G = \frac{1 + r_0}{1 + r_0 \exp(-\Gamma d)} \quad (16)$$

## 2 理论分析

为了对存在非相干光的两波耦合特性有进一步的认识,下面用上述理论公式进行参数分析。

图1给出了利用(11)式~(13)式计算出的抽运光  $I_R$  和信号光  $I_s$  在  $r_0 = 10$

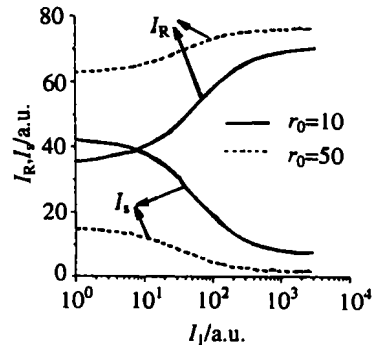


Fig. 1 The pump beam and the signal beam of two wave mixing versus the intensity of the incoherent  $I_1$  at the different  $r_0$ , solid line  $r_0 = 10$ , dash line  $r_0 = 50$

和  $r_0 = 50$  情况下随非相干光  $I_1$  的变化关系。分析中其它参数选取如下:  $\Gamma_s = 5 \text{cm}^{-1}$ ,  $\alpha = 0.5 \text{cm}^{-1}$ ,  $I_0 = 100$ 。从图中可看出,抽运光  $I_R$  随  $I_1$  的增大而单调增加,而信号光  $I_s$  随  $I_1$  的单调增加而减小。在不同的  $r_0$  下,变化趋势相一致。这说明,随着非相干光增加,两波耦合的作用在减弱。所以抽运光单调增加,而信号光单调减小。

图2给出了利用(15)式计算出信号光的增益  $G_{\text{eff}}$  在不同的  $r_0$  下随非相干光  $I_1$  的变化关系。从图中可以看出,随着非相干光的增加,信号光的增益  $G_{\text{eff}}$  单调减小。当  $I_1$  足够大时,  $G_{\text{eff}}$  值最终趋于1。这时由于非相干光的作用双光束耦合现象几乎消

失。通过改变  $I_1$  可以来控制晶体中双光束耦合的强度。

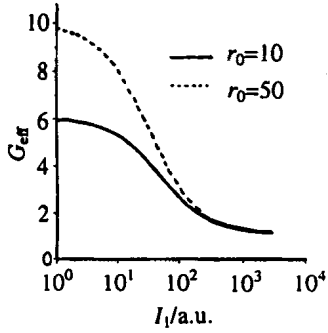


Fig. 2 Two wave mixing gain of the signal beam versus the intensity of the incoherent beam  $I_1$  at the different  $r_0$ , solid line  $r_0=10$ , dash line  $r_0=50$

从微观机制来理解, 由于非相干光  $I_1$  与信号光  $I_s$  和抽运光  $I_R$  都不相干, 而且  $I_1$  激发的光生载流子是均匀的。  $I_1$  的作用是增加了晶体内的平均光强。降低了  $I_R$  和  $I_s$  形成的干涉条纹的调制度, 因而削弱了晶体内载流子空间分布的调制度。

因而随着非相干光强度的增加, 双光束耦合现象明显减弱。当非相干光足够大时, 两波耦合现象几乎完全消失。

### 3 实验研究

实验装置如图 3 所示, He-Ne 激光器输出的波长为 632.8nm 激光, 被格兰棱镜 G 分成两束光,

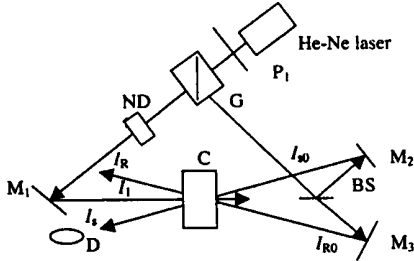


Fig. 3 Experiment setup for two wave mixing configuration

一束光为寻常光, 经中性密度衰减器 ND、全反镜  $M_1$  后形成非相干光  $I_1$ 。通过调节 ND 可改变非相干光  $I_1$  的大小。  $I_1$  的直径  $d=2\text{mm}$ 。另一束为非常光, 经分束镜 BS 分束后经全反镜  $M_2$  和  $M_3$  反射形成信号光  $I_{s0}$  和抽运光  $I_{R0}$ ,  $I_{R0}$  和  $I_{s0}$  均为非常光。而  $I_1$  为寻常光。  $I_1$  与  $I_{R0}$  和  $I_{s0}$  是不相干的。  $I_{s0}$  和  $I_{R0}$  直径均为 2mm。实验中保持  $I_0(0) = I_{R0} + I_{s0} = 200\text{W}/\text{m}^2$ , 分别取  $r_0$  为 2.6 和 11.5 不变。将非相

干光  $I_1$  从 0 调节到  $2500\text{W}/\text{m}^2$ 。测量信号光的增益随非相干光变化关系如图 4 所示。图中黑圆点表示  $r_0=2.6$  的实验结果, 空方格表示  $r_0=11.5$  的结果。从图中可看出, 不同的  $r_0$  下, 信号光的增益随非相干光变化关系趋势一致。随着  $I_1$  增大,  $G_{\text{eff}}$  急剧下降, 当  $I_1$  达  $2500\text{W}/\text{m}^2$  时,  $G_{\text{eff}}$  趋近于 1。

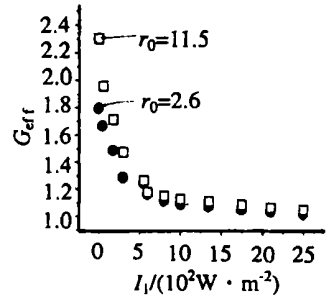


Fig. 4 Experiment data of two wave mixing gain of the signal beam versus the intensity of the incoherent beam

从实验结果和理论分析相比较, 理论与实验性地符合得很好。这说明本文中的研究方法是可靠的。

### 4 结论

由理论分析和实验研究可看出, 在 Ce:KNSBN 中进行二波耦合时, 用非相干光辐照能够在很大范围内, 灵活有效地控制信号光的增益。也就是说在进行两波耦合过程中用非相干光辐照, 能够有效地控制二波耦合及材料光折变特性, 为 Ce:KNSBN 晶体在光控制技术和光学信息处理等方面的应用提供了重要依据。

### 参 考 文 献

[1] Yang H H, Shao Y G, Wang R *et al.* Opt Commun, 2000, 175 (15): 247~ 252.  
 [2] He Q B, Yeh P C. Appl Opt, 1994, 33(10): 283~ 287.  
 [3] 吉选芒, 王金来, 刘劲松 *et al.* 光学学报, 2001, 21(6): 737~ 740.  
 [4] Zhang J, Wang H, Yoshikado S *et al.* Appl Phys, 2000, B70: 243~ 247.  
 [5] 赵红娥, 刘思敏, 郭 儒 *et al.* 物理学报, 2001, 50(11): 2149~ 2154.  
 [6] 刘思敏, 许京军, 郭 儒编著. 相干光学原理及应用. 天津: 南开大学出版社, 2001: 203.  
 [7] Yeh P. IEEE J Q E, 1989, 25: 484~ 519.