

光折晶体 Cu:KNSBN 的双光束耦合 ——能量转移研究

汤安东 李育林 孔玉娥 赵明君

(中国科学院西安光机所, 西安 710068)

摘要 二波耦合是研究光折晶体特性和品质的一种重要方法。本文着重分析基于光折变理论的二波耦合能量转移原理, 研究所得的 Cu:KNSBN 晶体的增益系数 γ 与两光束入射角 2θ 的关系, 以及 ρ 与光束比 β 的关系曲线。测量结果显示: Cu:KNSBN 晶体具有大的 τ 值。最后, 本文还报告了该晶体的高频时间调制传输特性, 以及测得的衍射效率 η 与光束夹角 2θ 及调制频率 f 的关系曲线。

关键词: 二波耦合; 能量转移; 时间调制

1 引言

光折变晶体在光学信息处理、光学相位失锁技术等领域内有着诱人的应用前景, 受到了许多研究工作者的关注^[1,2]。目前, 这方面的研究工作可分为三类: 第一类是有关各种非线性光学现象的理论解释^{[3],[4]}; 第二类, 光折晶体在图像并行处理中的应用研究^{[5],[6]}; 第三类, 通过不同的方法, 进行定量地测量研究, 以期揭示光折晶体的特性^[7], 使之更好地适用于光学处理结构^[8]中, 铌酸锶钡晶系 $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ (SBN)。

近年来, 由于有大的电光系数 γ_{33} 而具有自泵浦相位共轭特性, 它受到很多学者的重视^{[7],[9],[10]}。

本文介绍对 Cu 掺杂的 KNSBN 晶体二波耦合增益系数进行了测量的结果, 分析了 τ 与光束入射夹角 2θ 的关系以及 τ 与入射光束能量比 β 的关系。同时介绍对双光束中信号光进行高频时间调制测得的相应衍射效率变化。

2 光折变能量转移理论

普通材料所记录的全息图, 没有能量转换; 对于光折晶体, 一旦在其中建立起折射率光栅, 一束光中就会有一部分光由于光栅的衍射作用而朝另一束光偏转(反之亦然)。发生偏转的两束光与原来的两束光分别产生干涉, 其中一个是相长干涉, 另一个是相消干涉。相长干涉形成的光束射出晶体时比其入射时强, 而由相消干涉形成的光束射出晶体时则比入射时弱。这就是光束的能量转移。有上述区别的主要原因是: 空间电荷场和折射率光栅的周期与入射光束干涉图案的周期相同, 但在空间上偏离了入射光四分之一周期, 即有 90° 相移。这就是光

折晶体与普通全息记录物质的本质区别。N. V. Kukhtarev^[1]等人基于半导体理论的带运输模型，提出了双光束耦合理论。

设信号光与参考光的振幅分别为 S , R , 则非本地场响应 (Non-local Response) 的耦合方程^[12]可写成:

$$\frac{dR}{dz} = ixS \exp(-i\psi) - aR/2 \quad (1. a)$$

$$\frac{dS}{dz} = ixR \exp(-i\psi) - aS/2 \quad (1. b)$$

其中, $x = \pi m \Delta n_s / (\lambda \cos\theta)$ 是耦合常数; a 是吸收系数; $m = 2RS / (R^2 + S^2)$ 是光栅调制度; Δn_s 为折射光栅的饱和值。

假定是 90° 的相移, 即 $\psi = 90^\circ$, 则 (1) 式可简化为:

$$\frac{dR}{dz} = -x_0 S - \frac{1}{2} aR \quad (2. a)$$

$$\frac{dR}{dz} = x_0 R - \frac{1}{2} aS \quad (2. b)$$

式中 $x_0 = \pi \Delta n_s m \sin\psi / (\lambda \cos\theta)$, 定义 $\tau = 4\pi \Delta n_s \sin\psi / (\lambda \cos\theta)$, τ 是指数增益系数, 则 x_0 可改写为:

$$x_0 = \tau RS / 2(R^2 + S^2) \quad (3)$$

把 (3) 式代入 (2) 式可得:

$$\frac{dR}{dz} = -\frac{1}{2} \tau R S^2 / (R^2 + S^2) - \frac{1}{2} aR \quad (4. a)$$

$$\frac{dS}{dz} = \frac{1}{2} \tau R S / (R^2 + S^2) - \frac{1}{2} aS \quad (4. b)$$

令 $I_R = R^2$, $I_S = S^2$ 代入 (4) 式可得:

$$\frac{dI_R}{dz} = -\tau \frac{I_R I_S}{I_R + I_S} - aI_R \quad (5. a)$$

$$\frac{dI_S}{dz} = \tau \frac{I_R I_S}{I_R + I_S} - aI_S \quad (5. b)$$

两式相加解得:

$$I_R + I_S = (I_{R_0} + I_{S_0}) e^{-az} \quad (6)$$

把 (6) 式代入 (5. a) 中可解得:

$$I_S = I_{S_0} \frac{I_{S_0} + I_{R_0}}{I_{R_0} + I_{S_0} \exp(\tau z)} \exp[(\tau - a)z] \quad (7. a)$$

(6) 式减 (7. a) 式可得:

$$I_R = I_{R_0} \frac{I_{R_0} + I_{S_0}}{I_{R_0} + I_{S_0} \exp(\tau z)} \exp(-az) \quad (7. b)$$

定义能量转移的有效增益系数 γ_0 为:

$$\gamma_0 = \frac{I_s(\text{with Reference})}{I_s(\text{without Reference})} = \frac{I_s}{I_{s_0} \exp(-\alpha z)} = \frac{(\beta + 1) \exp(\tau z)}{\beta + \exp(\tau z)} \quad (8)$$

上式中光束比 $\beta = I_{R_0}/I_{S_0} = R_0^2/S_0^2$

$\beta \gg 1$ 时, 由 (8) 式可得:

$$\tau = \frac{1}{z} \ln \gamma_0 \quad (9)$$

当 β 接近 1 时,

$$\tau = \frac{1}{z} \ln \left[\frac{\gamma_0}{1 + \frac{1}{\beta}(1 - \gamma_0)} \right] \quad (10)$$

选择正确的 c 轴方向, 即可使信号光的能量放大 γ_0 倍。

双光束耦合能量放大具有重要的实际意义。在光互连中, 用来补偿矢量乘法的扇出能量损失^[13]。还可利用不同的能量增益情况进行光学二维逻辑运算^[14]。

3 双光束耦合实验结果及讨论

实验光路装置如图 1 所示, Ar^+ 激光器 (Spectra Physical Corp. U. S. A.) 输出波长为 514.5nm 的单色偏振光。偏振旋转器使偏振方向平行于光学平台。之所以这样是为了更好地利用 SBN 晶系中大的电光系数 γ_{33} ^[7]。光束经分束镜 BS 分为 I_s 和 I_R 两束光。经过两个平面反射镜 $M_{3,4}$ 反射后对称地入射到晶体上。光束衰减器 DF 用来改变光束比 β 。通过调节 M_3 , M_4 及晶体位置来改变入射光的夹角 2θ 。

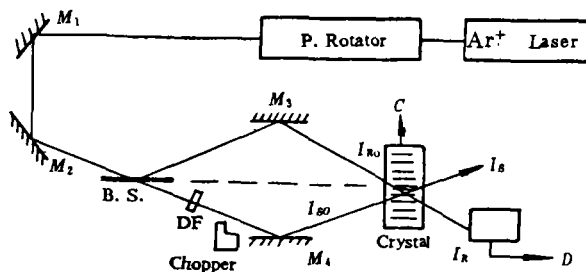


图 1 实验装置原理图

在光束比 $\beta = 10^3$ 情况下, 利用 (9) 式我们测得增益系数 τ 与两光束入射夹角 2θ 的关系曲线由图 3 可以看出 $I_R|_{z=4}$ 的频率与 $I_s|_{z=0}$ 的频率相同。

在双光束耦合达到饱和时, 挡住参考光, 用信号光作为读出光测量其生成光栅的衍射效率 $\eta_s = I_{s_y}/I_{s_0}$ 。其中 I_{s_y} 为 I_{s_0} 作为读出光时, 在原 I_{R_0} 光束的透射方向上测得的衍射光强。在未加调制时, 我们测得 η_s 与 2θ 的变化曲线如图 4. a 所示。给信号光加以 $f = 20\text{Hz}$ 的方波调制后测得 η'_s 与 2θ 关系曲线如图 4. b 所示。由图可以看出在高频调制时, 光栅的衍射效率有明显地下降。线如图 2. a 所示。在 $2\theta = 27^\circ$ 情况下, 我们还测得 τ 与光束比 β 的关系曲线如图 2. b 所示。利用我们的实验结果, 可以从 Ewbank^[7] 等人的公式中求出 Cu:KNSBN 晶体的物性参数。实验结果表明: Cu:KNSBN 晶体的光折变过程与纯 SBN^[7] 相似。

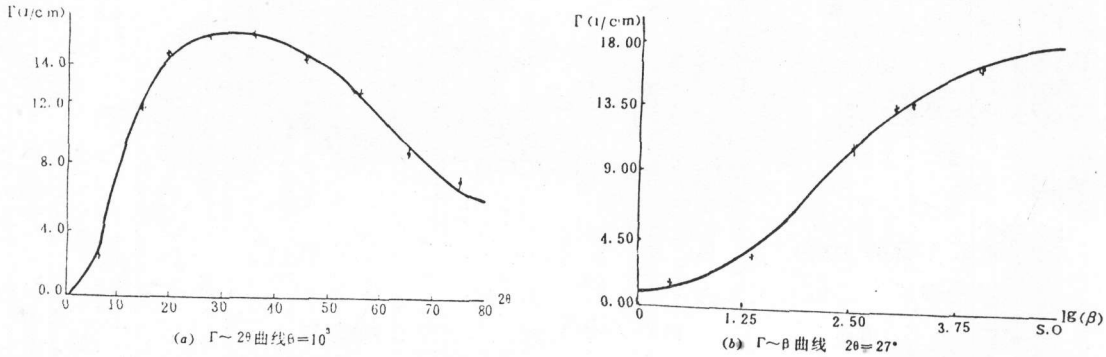


图2 实验结果曲线 (I)

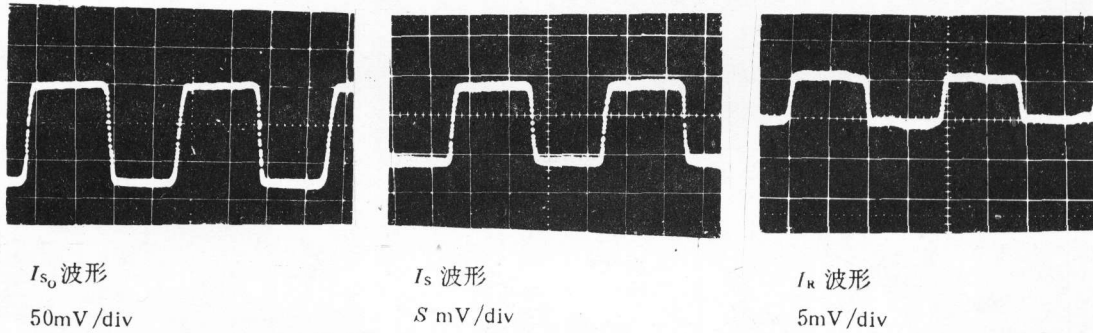


图3 时间调制实验结果照片 (50ms/div)

4 时间调制双光束耦合实验结果及讨论

我们进行了高频时间调制的双光束耦合实验研究。实验光路基本如图1所示。不同之处在于信号光路中加入了斩光器 Chopper。从公式 (7. a), (7. b) 两式可以看出: $I_S|_{z=d}$ 含有 I_{R_0} 项, 而 $I_R|_{z=d}$ 中含有 I_{S_0} 项的影响。当我们把高频调制信号加到 $I_S|_{z=0} = I_{S_0}$ 中, 那么 $I_R|_{z=d}$ 必有这一时间信息的耦合输出。这种方法可以用于光通讯技术中。实验结果如下:

在固定 $2\theta = 40^\circ$ 的情况下, 改变不同的调制频率。我们测得调制光栅的衍射效率 η_b 与调制频率 f 的关系曲线如图5所示。实验结果表明衍射效率随调制频率 f 的增大而减小。

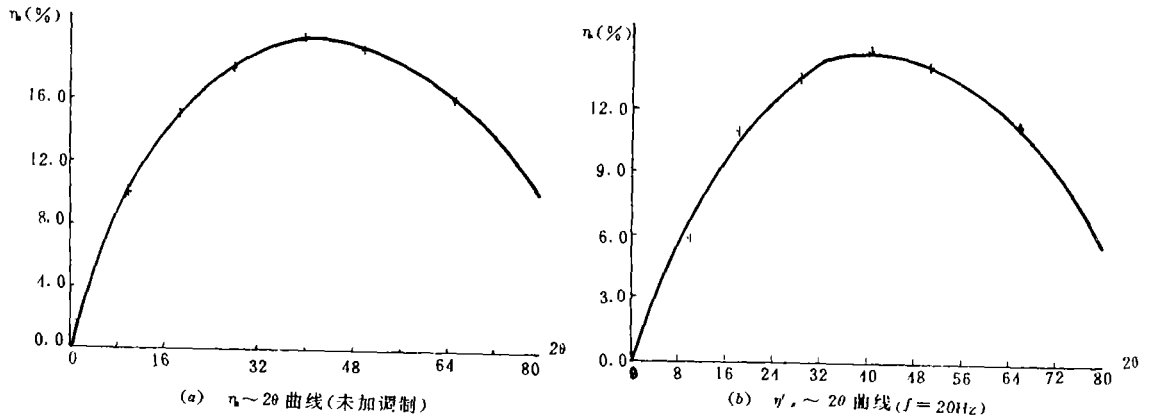


图4 实验结果曲线 (II)

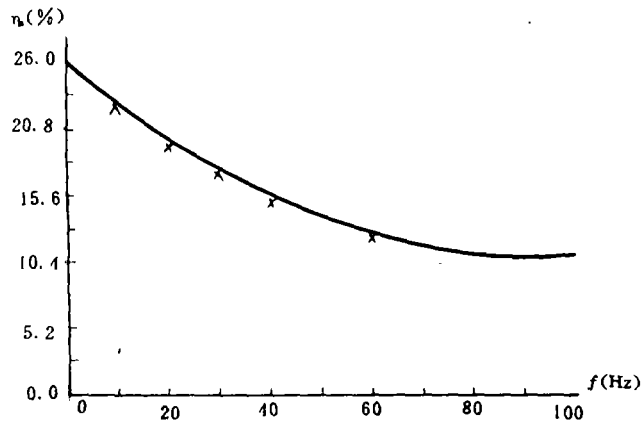


图5 衍射效率 η_s 与调制频率 f 的关系曲线 $2\theta = 40^\circ$

5 结 束 语

- (1) Cu 掺杂的 KNSBN 晶的二波耦合特性与纯 SBN 相类似；
- (2) Cu 掺杂的 KNSBN 晶体的 τ 值比纯 SBN 的 τ 值大；
- (3) 在双光束时间调制实验中，被调制的光波可以载有与调制光波同频率的信息，并且不失真。这在光通讯中有重要应用；
- (4) 高频调制使衍射效率降低而在低频调制时，造成两光束之间的微小频差，在晶体中形成运动的干涉条纹。在一定周期下，运动的干涉条纹与运动的光栅之间发生共振；此时，两者存在 $\pi/2$ 相差，可提高衍射效率。

作者感谢长春光机所应光室翁兆恒、廖江红、梁玉华、孙德贵等同志以及西安光机所杨巧芝、李柯华、邱跃洪等同志的帮助。

参 考 文 献

- [1] P. Gunter, Phys. Rep. , Vol. 93, 199 (1982)
- [2] P. S. Brobby, U. Efron et al. , Appl. Opt. , Vol. 26, 220 (1987)
- [3] M. D. Reid and D. F. Walls, Physical Review A, Vol. 34, 4929 (1986)
- [4] K. R. MacDonald and J. Feinberg, J. Opt. Soc. Am. , Vol. 73, 548 (1983)
- [5] J. Feinberg and R. W. Hellwarth, Opt. Lett. , Vol. 5, 519 (1980); Vol. 6, 257 (E) (1981)
- [6] B. H. Soffer, G. J. Dunning et al. , Opt Lett. Vol. 11, 118 (1986)
- [7] M. D. Ewbank, R. R. Neurgaonkar et al. , J. Appl. Phys. , Vol. 62, 374 (1987)
- [8] Ph. Refregier, L. Solymar et al. , J. Appl. Phys. , Vol. 58, 45 (1985)
- [9] Gregiry Salamo. M. J. Miller, W. W. Clark et al. , Opt. Commun. , Vol. 59, 417 (1986)
- [10] Xuefeng Yue, Zongshu Shao et al. , Proc. of SPIE, Vol. 1338, 203 (1990)
- [11] N. V. Kukhtarev, V. M. Markov et al. , Ferroelectrics, Vol. 22, 949 (1979)
- [12] V. Kondilenko, Markov et al. , Optical Atca, Vol. 26, 239 (1979)
- [13] Pochi Yeh, Arthur E. T. Chiou and Jihn Hong, Appl. Opt. , Vol. 27, 2093 (1988)
- [14] A. Marrakchi, R. W. Eason et al. , Opt. Commun. , Vol. 74, 290 (1990)

Experimental Investigation on Holographic Information Storage in Photorefractive Crystal Cu-Doped KNSBN

II . a Study on the Energy Transfer in Two Wave Coupling

Tang Andong, Li Yulin, Kong Yue, and Zhao Mingjun

(Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Academy of Sciences, Xian 710068)

Abstract

Two wave coupling is an important method to investigate the characteristics and qualities of photorefractive crystal. This paper represents our results, measured, based on the principle of energy transfer in two wave coupling which is included in the theory of photorefractive effect, for the relationship between the gain coefficient of two wave coupling Γ and the crossing angle of the beam 2θ , and also Γ as a function of beam ratio β . The results indicate that Γ of the Cu: KNSBN crystal is big. At last, high frequency temporal modulation characteristics of this crystal bulk and the function of diffraction efficiency η_k as the crossing angle of the beam 2θ and the frequency of modulation f are described respectively.

Key words: Two wave coupling, Energy transfer, Temporal modulation