

# 偏振控制的光折变开关\*

闫晓娜 刘立人

(中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800)

**摘 要** 提出了两种模式偏振控制的光折变开关, 推导了用非常偏振和寻常偏振光读出时的全息光栅的衍射效率比公式, 该公式表明全息的衍射效率与偏振有关, 衍射效率比可达 80%~90%, 利用这种特性可以实现光开关。

**关键词** 光折变晶体, 时开-时关开关, 偏振敏感性, 衍射效率。

## 1 引 言

偏振控制的光折变开关是基于光折变全息的衍射效率对记录和读出光束偏振方向的依赖关系。通过光折变效应光折变晶体记录全息改变了晶体的折射率, 这种折射率的改变是与记录介质的性质和记录的结构设置有关的。在读出光和衍射光弱耦合的近似情况下, 衍射效率正比于改变的折射率, 因此对于特定的记录介质, 衍射效率是偏振敏感的。对记录于光折变晶体中的全息分别用两种正交偏振的读出光来读出, 如果在这两种情况下衍射效率相差很大, 则通常的时开-时关开关功能就可以实现。

## 2 理 论

以上的分析是基于 Kogelnik 衍射效率公式<sup>[1]</sup>, 弱耦合情况下具有如下的形式

$$\eta = \left[ \frac{\omega L}{4n_3c} \chi_{\text{eff}} \right]^2 \quad (1)$$

其中  $\omega$  和  $c$  分别为光束在自由空间的角频率和光速;  $n_3$  为读出光束在晶体中的折射率;  $L$  为晶体的长度;  $\chi_{\text{eff}}$  为有效的极化率, 计算公式如下<sup>[2]</sup>

$$\chi_{\text{eff}} = (\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2)(\mathbf{e}_4 \cdot \delta\mathbf{x} \cdot \mathbf{e}_3) \quad (2)$$

其中  $\delta\mathbf{x}$  是由电场引起的介电张量的变化:

$$\delta\mathbf{x} = -\boldsymbol{\epsilon} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{E}_{\text{sc}} \cdot \boldsymbol{\epsilon} \quad (3)$$

$\mathbf{e}_1$ 、 $\mathbf{e}_2$  分别为两写入光束的单位偏振矢量;  $\mathbf{e}_3$ 、 $\mathbf{e}_4$  分别为读出和衍射光束的偏振单位矢量;  $\mathbf{r}$  为三阶电光张量;  $\boldsymbol{\epsilon}$  为二阶光学介电张量;  $\mathbf{E}_{\text{sc}}$  为光感应空间电荷场, 由记录光束的波长和记录光束的夹角决定, 是与记录光束的偏振无关的量。

\* 国家自然科学基金(69837020)和上海市科学技术发展基金资助项目。

收稿日期: 1998-04-08; 收到修改稿日期: 1998-05-12

对于铁掺杂的铌酸锂晶体, 如果全息记录的结构如图 1 所示, 即光轴平行于记录光束的

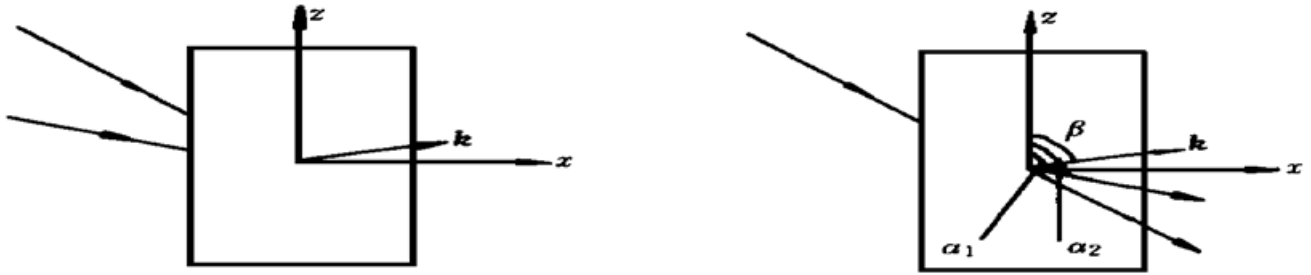


Fig. 1 The recording and readout of photorefractive hologram in LiNbO<sub>3</sub> crystal

入射面, 则光栅矢量  $k$  在入射面内, 此时  $\delta x$  具有如下的形式:

$$\delta x = \begin{bmatrix} r_{13}E_{sc} \cos \beta n_o^4 & -r_{22}E_{sc} \sin \beta n_o^4 & r_{51}E_{sc} \sin \beta n_o^2 n_e^2 \\ -r_{22}E_{sc} \sin \beta n_o^4 & r_{13}E_{sc} \cos \beta n_o^4 & 0 \\ r_{51}E_{sc} \sin \beta n_o^2 n_e^2 & 0 & r_{33}E_{sc} \cos \beta n_e^4 \end{bmatrix}$$

其中  $n_o$  和  $n_e$  分别为寻常光和非常光的折射率;  $\beta$  为光栅矢量相对于光轴的倾斜角;  $r_{ij}$  为电光张量元。

Kogelnik 衍射效率公式成立的条件是弱耦合, 由于寻常偏振写入光束的耦合系数相对于非常偏振的要小些, 因此寻常偏振的光束被选择来写入光栅, 此时  $e_1 = e_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ 。

当读出光束是寻常偏振光时,  $e_3 = e_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ ,  $n_3 = n_o$ , 衍射效率是

$$\eta_o = \left( \frac{\omega L}{4c} n_o^3 r_{13} \cos \beta \cdot E_{sc} \right)^2 \tag{4}$$

当读出光束是非常偏振光时,  $e_3 = \begin{bmatrix} -\cos \alpha_1 \\ 0 \\ \sin \alpha_1 \end{bmatrix}$ ,  $e_4 = \begin{bmatrix} -\cos \alpha_2 \\ 0 \\ \sin \alpha_2 \end{bmatrix}$ , 衍射效率是

$$\eta_e = \left[ \frac{\omega L}{4cn_3} \cos \beta \cdot E_{sc} (n_o^4 r_{13} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + 2n_o^2 n_e^2 r_{51} \sin^2 \beta + n_e^4 r_{33} \sin \alpha_1 \sin \alpha_2) \right]^2 \tag{5}$$

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  分别为衍射和读出光束相对于光轴的夹角, 经过一些计算, 得出

$$\beta = [(\alpha_1 + \alpha_2)/2] - \pi/2, n_3 = n_o n_e / \sqrt{(n_o^2 \sin^2 \alpha_1 + n_e^2 \cos^2 \alpha_1)} \tag{6}$$

应用光折变晶体的偏振敏感性来设计光开关, 本文感兴趣的参数是衍射效率比, 即寻常光读出时的衍射效率比上非常光读出的衍射效率, 利用(4)式和(5)式, 经过简单的计算, 得出衍射效率比

$$\frac{\eta_o}{\eta_e} = \left[ \frac{n_3 n_o^3 r_{13}}{(n_o^4 r_{13} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + 2n_o^2 n_e^2 r_{51} \sin^2 \beta + n_e^4 r_{33} \sin \alpha_1 \sin \alpha_2)} \right]^2 \tag{7}$$

由于  $\beta = [(\alpha_1 + \alpha_2)/2] - (\pi/2)$ , 因此  $\eta_o/\eta_e$  是关于角度  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的函数。方程(7)中变量  $n_o = 2.286$ ,  $n_e = 2.2$ ,  $r_{13} = 9.6$ ,  $r_{51} = 33$ ,  $r_{33} = 31 (\times 10^{-12} \text{ m/V})$ , 图 2 是衍射效率比相对于角度  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的变化曲线, 其中  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  都在  $67^\circ \sim 113^\circ$  之间, 对应于外写入角  $-90^\circ$  到  $90^\circ$  (铌酸锂晶体的平均折射率是  $2.5^{[3]}$ )。从图 2 看出当读出光束的偏振方向从非常偏振转换到寻常偏振时, 衍射效率至少降低 80%。通常的时开-时关开关实现了。

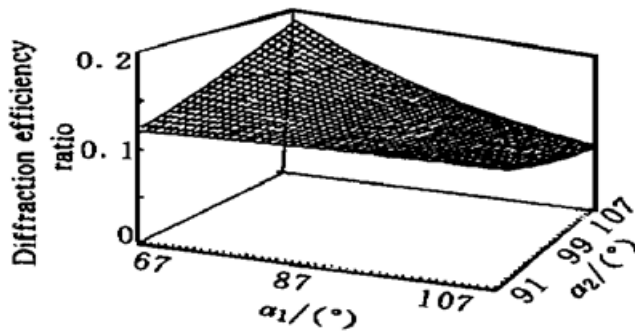


Fig. 2 The diffraction efficiency ratio when the readout beam changes its polarization from e-polarized to o-polarized

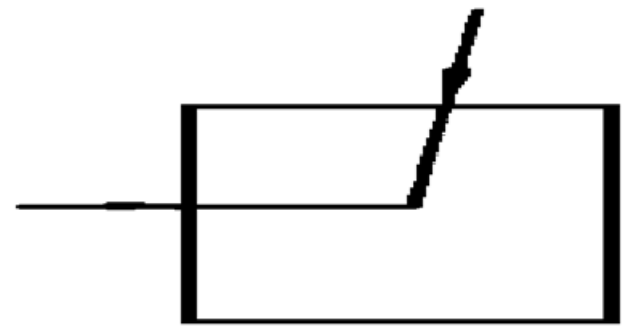


Fig. 3 The recording of photorefractive hologram with beams incident from two planes of the crystal

如果两束记录光束分别从晶体的两个面入射(如图3所示),一束垂直入射,另一束倾斜入射,如果实验轴、晶体的光轴和角度的选择均与图1的相同。则当 $\alpha_1 = 90^\circ$ ,  $\alpha_2$ 在 $181^\circ \sim 203^\circ$ 之间时,衍射角随 $\alpha_2$ 的变化曲线如图4所示。

从图4知,当读出光束的偏振方向从非常偏振转换到寻常偏振时,衍射效率至少降低98%。通常的时开-时关开关就实现了。

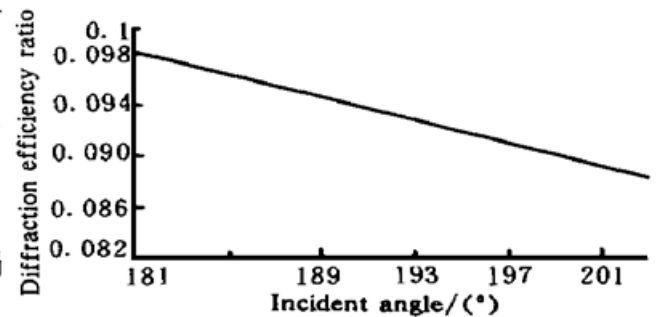


Fig. 4 The diffraction efficiency ratio when the readout beam changes its polarization from e-polarized to o-polarized

### 参 考 文 献

- [1] Kogelnik H. Coupled wave theory for thick hologram gratings. *Bell Syst. Tech. J.*, 1969, 48(9): 2909~ 2947
- [2] Temple D A, Warde C. Anisotropic scattering in photorefractive crystals. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1986, 3(2): 337~ 341
- [3] 刘思敏, 郭 儒, 凌振芳. 非线性光折变光学. 北京: 中国标准出版社, 1992. 110

## Polarization-Controlled Photorefractive Switch

Yan Xiaona Liu Liren

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 8 April 1998; revised 12 May 1998)

**Abstract** Two modes polarization-controlled photorefractive switches are proposed. Analytical equation of the diffraction efficiency ratio on readout with extraordinarily polarized and ordinarily polarized beams is deduced. It is demonstrated that the diffraction efficiency of the photorefractive hologram is relevant to the polarization of the readout beams, and this diffraction efficiency ratio can range from 80%~ 90%, this property can be used to implement the switches.

**Key words** photorefractive crystal, normally-on and normally-off switch, polarization-sensitivity, diffraction efficiency.