

# 光折变晶体用于溶液扩散的研究\*

岳学峰 于锡玲 邵宗书 宋永远 陈焕鑫

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

**提要:** 本文将光折变晶体铌酸锶钡作为全息记录介质, 用于测量蔗糖溶液的扩散系数, 得到了与文献一致的结果, 讨论了实验中应注意的问题。

**关键词:** 光折变晶体, 溶液扩散

## Photo-refractive crystal for studying solution diffusion

*Yue Xuefeng, Yu Xiling, Shao Zongshu, Song Yongyuan, Chen Huanchu*

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

**Abstract:** Using strontium barium niobate photo-refractive crystal as recording medium, we measured the diffusion coefficient of sucrose solution. The result was in agreement with the data in literature and the experimental conditions were discussed.

**Key words:** photo-refractive crystal, diffusion of solution

近年来出现了多种光折变晶体, 可以用作全息记录介质<sup>[1]</sup>, 其特点是无需显、定影处理, 记录的信息可以随时读出, 且不需暗室操作, 已用于动态的全息干涉计量<sup>[2]</sup>。我们利用铌酸锶钡光折变晶体代替银盐干板, 在同一块晶体上两次曝光记录并测量溶液的扩散系数, 实验表明该方法简单可靠。本文给出了测量方法, 讨论了其特点以及实验条件的选择。

## 一、基本原理

不同类型的光折变晶体的光记录原理不尽一致, 我们以扩散机制为主的晶体如 SBN, BaTiO<sub>3</sub> 等为例说明。物光和参考光入射到晶体上, 相干迭加形成一定规律分布的光场, 并从杂质中激发出电子或空穴, 通过扩散构成载流子的输运过程。这些载流子在遇到正电或负电中心时, 会被捕获, 从而产生空间电荷场。这一空间电荷场通过线性电光效应导致晶体折射率发生相应的调制从而记录了物光信息。当两光以  $\theta$  角对称入射时, 其衍射效率可表示为

$$\eta = \exp(-\alpha d / \cos \theta) \sin^2(\sigma d \Delta n / \lambda \cos \theta) \quad (1)$$

其中  $\alpha$  为晶体的吸收系数,  $d$  为晶体厚度,  $\Delta n$  为晶体折射率改变量, 与晶体本身参数及实验条件有关<sup>[1]</sup>。

在我们讨论的光折变晶体中,光场与折射率光栅存在  $\frac{\pi}{2}$  的相位差,使其作为全息记录介质有两个特点。其一是衍射效率与光路结构及入射光束比有关<sup>[3]</sup>,另外光栅的读出特性与两光束和晶体光轴的相对取向有关<sup>[4]</sup>,所以实验中应根据不同要求选择适当的条件。

测量扩散系数时,我们采用与文献 [5] 相似的方法。溶液开始扩散后的时刻  $t_1$  进行第一次曝光,然后将通过扩散槽的物光在水平方向转一微小角度,并在时刻  $t_2$  进行第二次曝光,读出时即可得到一组对称扭曲的、有两个表征极值的干涉条纹,测量两个极值间的距离  $\Delta x$  (见图 2),可用下式求得扩散系数  $D$ <sup>[1]</sup>:

$$D = (\Delta x)^2 (1/t_1 - 1/t_2) / [8 \ln(t_2/t_1)] \quad (2)$$

上式中  $t_1, t_2$  以秒计算,  $\Delta x$  的单位是 cm。

## 二、实验及结果

实验光路见图 1。He-Ne 激光经 BS 分束,物光经扩束准直透过扩散槽被透镜  $L$  ( $f=105 \text{ mm}$ ) 会聚,并与参考光在光折变晶体中相干。半波片用于改变激光器出射光束的偏振方向,其中  $e$  光用于记录,  $o$  光用于擦除晶体中已记录的光栅。摄像机系统可以随时监测并记录操作过程中的现象。

扩散槽为双层结构,有平行窗口,并由超级恒温槽控温,精度可达  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 。填料槽结构与扩散槽相似,两槽底部有软管相通并没有开关。扩散槽固定于物光光路中,加入蒸馏水(或者浓度较小的溶液),将 10% 的蔗糖溶液装入填料槽中,控制两槽液面高度相同,排去气泡,打开开关,然后利用升降工作台缓慢上升填料槽,使扩散槽中的溶液交界面升至物光光斑中心。图 1 中为了简明起见我们未画出填料槽。

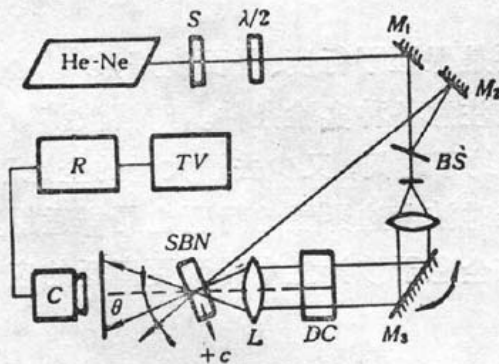


Fig. 1 Experimental set-up

S—shutter; DC—diffusion cell; C—camera; R—recorder;  $M_1, M_2, M_3$ —reflecting mirrors; BS—beam splitter; L—image lens

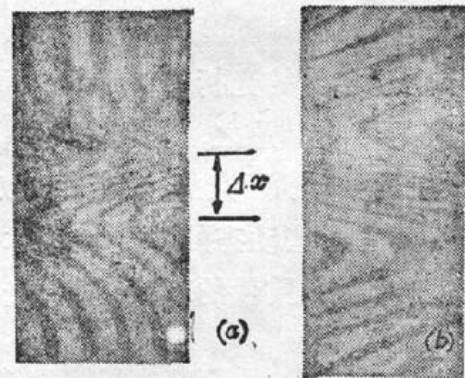


Fig. 2 Interference fringes obtained by using

(a) ordinary holographic plate; (b) SBN crystal as recording medium

光折变晶体我们采用  $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{Nb}_2\text{O}_6$ , 其中  $\text{CeO}_2$  的掺杂量为 0.1 wt%。样品尺寸为  $2 \times 5 \times 10 \text{ mm}^3$ , 灵敏度为  $8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{J}$ , 吸收系数为  $5.5 \text{ cm}^{-1}$ <sup>[4]</sup>。参物光与晶体光轴的相对取向如图 1, 其中  $\theta = 15^\circ$ 。

扩散系统控温在  $25^\circ\text{C}$ , 溶液混合前后两次曝光得到干涉条纹清晰规则, 表明混合过程无扰动, 可以继续实验。之后, 用上面提到的方法得到了两次曝光的干涉条纹, 读出时从监视

器上观察发现,读出过程中条纹亮度变暗,但无任何移动,说明光读出过程中的擦除效应不会对条纹的测量结果造成影响。图 2a, b 分别是用银盐干版和光折变晶体作为记录介质两次曝光得到的干涉条纹。表 1 为测量结果以及与文献值的比较。

Table 1 Diffusion coefficient of 10% sucrose solution at 25°C

No.	1	2	3	4	5	$\bar{D}(10^{-6}\text{cm}^2/\text{s})$	Ref.[1]	Ref.[2]
$t_1(\text{s})$	3120	19740	20940	23520	25560			
$t_2(\text{s})$	3720	20700	22740	25320	29700			
$D(10^{-6}\text{cm}^2/\text{s})$	5.65	5.40	5.73	5.53	5.58			

上述结果证明了这种方法的可靠性。

### 三、讨 论

1. 选择光折变晶体时应注意其灵敏度。实验中我们还选用过  $\text{LiNbO}_3$  晶体,由于其灵敏度低,记录需数分钟时间,不合作动态测量。铌酸锶钡晶体可以通过适当的掺杂,提高灵敏度,记录一般仅需数秒钟,与银盐干版所需记录时间大体在同一数量级。

2. 由于光折变晶体中记录与擦除同时进行,实验中不宜用实时法。两次曝光之后以参考光再现,可得到较好的条纹对比度。

3. 参、物光与晶体光轴的相对取向应使物光得以增强,否则读出时衍射效率很快下降,不利于测量与记录。铌酸锶钡晶体光束沿  $-O$  方向增强,如我们图 1 的光路结构。

4. 入射光束的光强比对衍射效率有一定影响,实验中我们选择适当的比值(参、物光比为 10:1 左右,对应耦合系数  $1.25\text{mm}^{-1}$  左右),使衍射效率在其最大值附近<sup>[3]</sup>,从而得到亮度较均匀的条纹。

另外,用于实验的光折变晶体要求加工精度高,主要是保证平行度、平面度好,以减小晶体本身对光束的影响。总之,为了得到理想的结果,必须注意各种实验条件。对溶液扩散的研究,需要大量的数据,而光折变晶体可以反复运用,既节约了时间,又少去了大量的全息干板。这种方法对其它一些动态的测量如晶体从水溶液中生长时浓度边界层的问题也同样适用。随着方法的完善,晶体质量的不断提高,光折变晶体必将在全息干涉计量中得到更广泛的应用。

### 参 考 文 献

- 1 Photorefractive materials and their applications II (P. Gunter and J. P. Huignard, eds) Chapter 5, 6 (Springer-Verlag, 1989)
- 2 Suksang Chang *et al.*, *Appl. Opt.*, **27**, 4735 (1988)
- 3 岳学锋 *et al.*, *物理学报*, **37**, 2057 (1988)
- 4 岳学锋 *et al.*, *中国激光*, **16** (8), 471 (1989)
- 5 J. Szydlowska *et al.*, *J. Phys. D*, **15**, 1385 (1982)