

# 晶体声光效应的研究

[作者] 陈景文

[单位] 咸阳师范学院物理系 (邮编: 712000)

[摘要] 本文论述了声光相互作用的原理, 由于声波在晶体中传播形成光栅, 并进一步分析了入射光产生拉曼—奈斯衍射和布拉格衍射现象。通过声光偏转效应, 可进一步测出激光波长。

[关键词] 晶体, 声光效应, 光栅, 衍射现象

## 1、引言

平面光波通过各向同性透明光学介质时, 出射光波仍然是平面波。当介质中存在弹性应力或应变时, 这种介质的折射率分布将会发生变化。若在某些晶体中建立起超声场, 或把这种晶体放置在超声场中, 这种超声场又是稳定的话, 这种晶体的折射率分布如图 1 所示。当一平面光波沿  $z$  轴通过该声光晶体时, 就会发生衍射现象。这就叫声光效应, 或者叫弹光效应。

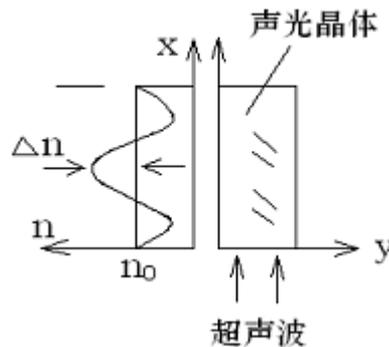


图 1 晶体折射率的分布

## 2、试验装置及原理

假设声光晶体的宽度为  $L$ , 平面超声波沿  $x$  轴传播, 波矢  $\vec{K}_s$  与  $x$  轴正方向一致, 超声波长为  $\lambda_s$ , 它引起的折射率随时间、空间周期性变化, 可表示为:

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = PS \quad (1)$$

式中  $P$ —弹光系数;  $S = S_0 \sin(\omega_s t - \vec{K}_s \cdot \vec{x})$ ,  $S_0$  为在  $x$  方向上弹性应变的幅值;  $\omega_s = 2\pi f_s$ ,  $f_s$ —超声波频率。在各向异性介质中  $P$  和  $S$  取张量形式, 在各向同性声光介质中,  $P$  和  $S$  作标量处理。于是有:

$$\Delta n = -\frac{1}{2} n^3 PS = -\frac{1}{2} n^3 P S_0 \sin(\omega_s t - \vec{K}_s \cdot \vec{x}) = \mu \sin(\omega_s t - \vec{K}_s \cdot \vec{x}) \quad (2)$$

式中 
$$\mu = -\frac{1}{2}n^3PS_0$$

在声光介质中，存在超声场时，它的折射率随时间、空间分布为：

$$n(x,t) = n + \Delta n = n + \mu \sin(\omega_s t - K_s \cdot x) \quad (3)$$

这种周期性折射率分布会对沿 z 轴方向入射光的相位进行调制，于是可将声光介质看作是一个相位光栅，它的光栅常数等于超声波波长  $\lambda_s$ 。

平面光波沿 z 轴入射，就相当于通过一个相位光栅，必然产生衍射。实验装置图如下 2 所示。He-Ne 激光器发出的光，通过声光调制器后，即可在接受屏上观察到衍射现象。

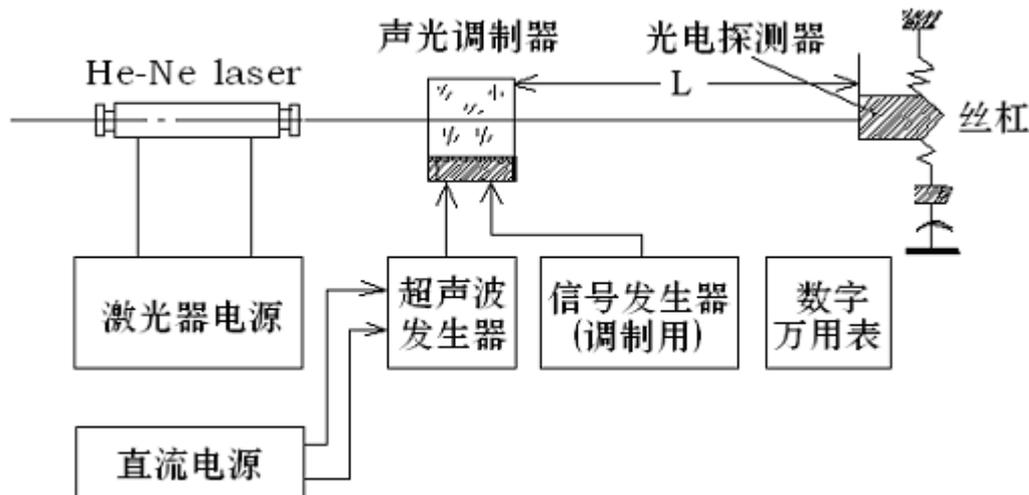


图 2 试验装置示意图

### 3、试验现象及结果分析

1. 拉曼—奈斯衍射：当超声波频率较低、声光相互作用距离较小时，即  $L \leq \frac{\lambda_s^2}{2\lambda}$ ，平

面光波沿 z 轴入射，就相当于通过一个相位光栅，必然产生衍射，如图 3 所示。

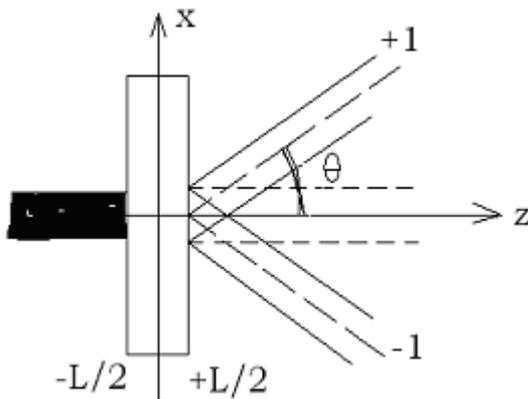


图 3 拉曼—奈斯衍射

理论推导证明：

- (1) 各级衍射角 有下列关系成立：

$$\sin \theta = m \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_s} \quad (4)$$

$\lambda_0$ ——激光波长； $\lambda_s$ ——超波长； $m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

(2) 衍射光强，各级衍射光强与入射光强之比为：

$$\frac{I_m}{I_\lambda} = J_m^2(\nu) \quad (5)$$

$J_m(\nu)$ —— $m$ 阶贝塞尔函数， $\nu = \frac{2\pi}{\lambda_0} \mu L$ 。

因为  $J_m^2(\nu) = J_{-m}^2(\nu)$ ，所以零级极值两侧的光强是对称的。

(3) 衍射光的频率，各级衍射光的频率由于产生了多普勒频移而各不相同，各级衍射光的频率为  $\pm m \omega_0$ 。

2. 布拉格衍射：当超声波频率较高，声光相互作用距离较大，满足  $L \geq 2 \cdot \frac{\lambda_s^2}{\lambda}$ ，并且光

束与声波波面间保持一定的角度入射时，将产生布拉格衍射，如图 4 所示。布拉格衍射的特点是：

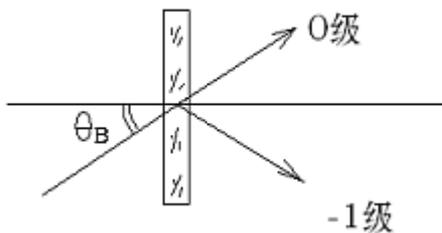


图 4 布拉格衍射

(1) 只出现零级和+1级衍射或-1级衍射。

(2) 若参数合适、超声功率足够大，入射光功率几乎可以全部转换到+1级或-1级上。

(3) 产生布拉格衍射的入射角  $\theta_B$  满足关系：

$$\sin \theta_B = \frac{\lambda_0}{2\lambda_s} \quad (6)$$

(4) 1级衍射光强与入射光强之比为：(参看图 4)

$$\frac{I_1}{I_i} = \sin^2 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n L \right) \right] \quad (7)$$

综上所述：声光调制：无论是拉曼—奈斯衍射还是布拉格衍射，都可以通过改变超声波的强度而改变衍射光的强度。所以可以把调制讯号加在超声波功率放大级，以达到光强调制的目的；声光偏转：无论是拉曼—奈斯衍射还是布拉格衍射，都可以通过改变超声波的频率而改变衍射光的偏转方向。若对超声频率固定的超声发生器实现“开关”功能，在“开”时由于产生衍射，+1级或-1级衍射光存在，在“关”时，衍射光不存在，就可实现“声光开

关”功能。一般“声光开关”运用的是布拉格衍射。

## 4、结束语

光波通过声光调制器产生衍射现象。通过分析拉曼—奈斯衍射和布拉格衍射，我们得知它们都可以通过改变超声波的强度而改变衍射光的强度；也都可以通过改变超声波的频率而改变衍射光的偏转方向。

### 参考文献

- [1] 董孝义，盛秋琴，声共振时铌酸锂晶体声光电光合作用，压电与电光，1983 第 4 卷，第 6 期。
- [2] 沈能珏，晶体的磁光效应，现代电子材料技术—信息装备的基石，国防工业出版社。2000 年 1 月第 1 版。