

BSO晶体电光效应的实验研究*

张建忠 董孝义 盛秋琴 邱晓东 韦克高

(南开大学现代光学研究所,天津300071)

摘要: 本文研究了含有自然旋光的BSO晶体的电光效应,并采用自然旋光与电光相移相补偿的方法和调制度函数法测量了不同生长条件下BSO晶体的半波电压。

关键词: 电光效应,自然旋光,BSO晶体

Experimental research of electro-optic effect in BSO crystals

Zhang Jianzhong, Dong Xiaoyi, Sheng Qiuqin, Qiu Xiaodong, Wei Kegao
(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

Abstract: The electro-optic effect of BSO crystals exhibiting optical rotation is studied. By means of compensation of electro-optic effect with natural rotation and function of modulation degree, the half-wave voltage of BSO crystals which are produced in different conditions is measured.

Key words: electro-optic effect, natural optical rotation, BSO crystal

BSO($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)晶体是一种同时具有电光效应、磁光效应、光电导效应等多种光效应的功能性晶体,可用于空间光调制器和传感器等研究领域。这里,晶体的电光系数是一个重要参数。它随晶体生长条件的不同可在 $3.4 \text{ pm/V}^{[1]} \sim 5.0 \text{ pm/V}^{[2]}$ 范围内变化。由于BSO晶体存在自然旋光,因此不能采用常规的方法测量其电光系数。我们采用自然旋光与电光相移相补偿的方法^[3],测量出了BSO晶体的半波电压,同时还提出了一种由调制度函数测量半波电压的新方法。

一、实验原理

含有自然旋光的电光晶体,其电光效应是和自然旋光联系在一起的。考虑到BSO晶体存在的自然旋光,利用琼斯矩阵计算法^[4],可以算出BSO晶体电光装置的输出光强

$$I_0 = \frac{I_i}{\theta^2} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot [4\varphi^2 + \Gamma^2 \sin^2 2\theta], \quad (1)$$

其中, I_i 为起偏器后的光强, φ 为自然旋光, Γ 为电光相移,令 V_π 为晶体的半波电压, V 为晶体外加电压,则 Γ 可写为

$$\Gamma = \pi \cdot V / V_\pi, \quad (2)$$

θ 为起偏器起偏方向与晶体晶轴夹角, Θ 为

$$\Theta = \sqrt{\Gamma^2 + 4\varphi^2} \quad (3)$$

图 1 是根据(1)式给出的 BSO 晶体电光效应的理论曲线。可以看出, 电光效应曲线不是

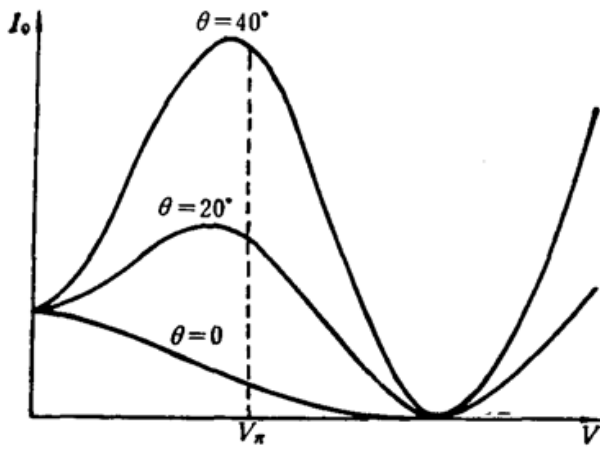


Fig. 1 Theoretical curve of electro-optic effect in BSO crystals

正弦曲线, 而且曲线的峰值电压并不对应晶体的半波电压, 因此不能采用测量电光曲线的方法测量晶体的半波电压, 为此, 采用图 2 所示的装置测量晶体的半波电压。

实验中, 在两偏振片和晶体之间分别加入一 $\lambda/4$ 片, 两个 $\lambda/4$ 片的快轴分别与晶体的快轴垂直和平行, 起偏与晶轴夹角为 θ , 检偏与起偏正交, 则在此条件下, 输出光强为^[3, 4]

$$I_0 = \frac{I_i}{\Theta^2} \cdot \sin^2 \frac{\Theta}{2} \cdot [2\varphi \cos 2\theta + \Gamma \sin 2\theta]^2 \quad (4)$$

调节加在晶体上的电压, 使系统保持消光, 则由(4)式可得

$$\Gamma = -2\varphi \cdot \text{ctg } 2\theta \quad (5)$$

代入(2)式, 可得

$$V = V_\pi \cdot (2\varphi \cdot \text{ctg } 2\theta) / \pi \quad (6)$$

令 $\nu = 2\varphi \cdot \text{ctg } 2\theta / \pi$, 作 $V \sim \nu$ 曲线, 即可得到一条直线, 其斜率即为晶体半波电压。

由上述讨论可知, 在测量半波电压实验中, 两个 $\lambda/4$ 片的快轴应分别与晶体的快轴和慢轴平行。因此, 必须首先确定晶体的晶轴。由(1)式可知, BSO 晶体电光装置的透过率为角 θ 的

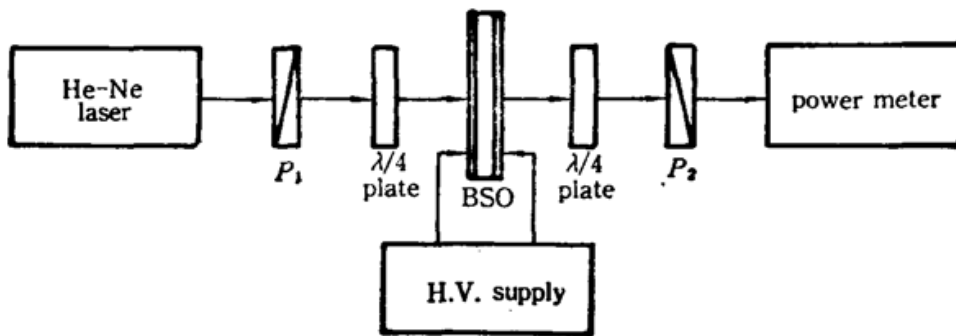


Fig. 2 Measurement arrangement for electro-optic coefficient (optical rotation method)

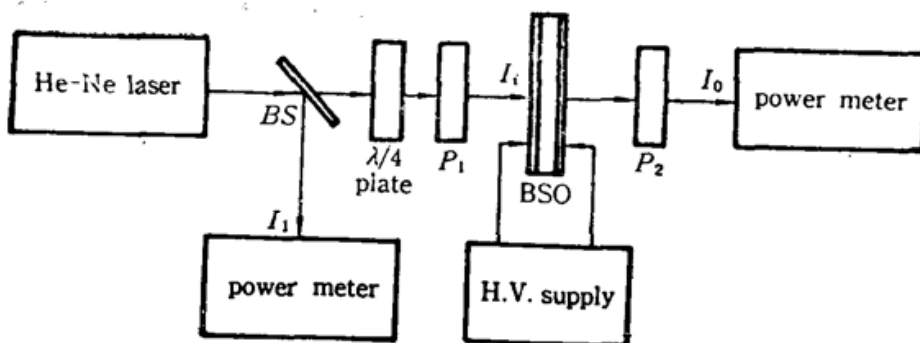


Fig. 3 Measurement arrangement of electro-optic coefficient (modulation degree method)

周期函数,当 $\theta=0^\circ$ 或 90° 时,即起偏方向沿晶体晶轴时,透过率最小,由此可确定晶体晶轴,图 3 是其测量装置示意图。

为消除入射光光强漂移带来的误差,这里采用双光束法。 $\lambda/4$ 片将线偏光变为圆偏光,保证调节 P_1 时,光强 I_i 变化不大,以减小探测器非线性带来的误差。设调节 P_1 引起光强 I_i 变化的因子为 $f(\theta)$,则(1)式可改写为

$$I_0 = f(\theta) I_1 \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\Theta^2} [4\varphi^2 + \Gamma^2 \sin^2 2\theta] \quad (7)$$

定义 T 为 I_0 与 I_1 之比,则

$$T = f(\theta) \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\Theta^2} [4\varphi^2 + \Gamma^2 \sin^2 2\theta] \quad (8)$$

T 与入射光强 I_1 无关,因此测量 T 值可以消除入射激光光强漂移带来的误差。定义 $\Gamma=0$ 时的 T 值为 T_0 ,由(3)、(8)式可得 T 与 T_0 之比 M

$$M = \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\Theta^2} [4\varphi^2 + \Gamma^2 \sin^2 2\theta] \cdot \sin^2 \varphi \quad (9)$$

其中,角 $\theta = \alpha - \beta$ 。 α 、 β 分别为起偏器起偏角和晶体晶轴方向角。实验中固定 β ,调节 α 以改变 θ ,测量并计算出 $M \sim \alpha$ 曲线,则曲线最小值处对应 $\theta=0$ 。

(9)式中,对应某一电压下的 $M \sim \theta$ 曲线的交流分量和直流分量分别为

$$M_1 = \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\Theta^2} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \frac{1}{2} \Gamma^2$$

$$M_2 = \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\Theta^2} \cdot \sin^2 \varphi \left[4\varphi^2 + \frac{1}{2} \Gamma^2 \right]$$

二者之间的比值为

$$R = \frac{\Gamma^2}{8\varphi^2 + \Gamma^2} \quad (10)$$

代入(2)式可得

$$V_\alpha = V \cdot \frac{90^\circ}{\varphi} \cdot \sqrt{\frac{1-R}{2R}} \quad (11)$$

其中 φ 为以角度计算的旋光角。实验测得 $M \sim \theta$ 曲线,得出其直流分量和交流分量,也可测出晶体的半波电压。

三、实验数据

1. 晶体晶轴的确定 使用图 3 所示装置,同步调节 P_1 、 P_2 以改变角 θ ,使用两个光功率计分别测出 I_1 、 I_0 ,计算出 T 值,关掉高压电源,测出 T_0 值,计算出 M 值。图 4 给出了 $M \sim \alpha$ 实验曲线。由图 4 可确定晶轴,同时计算出半波电压为 $V_\alpha = 3.86 \text{ kV}$ 。

2. 旋光法测半波电压。使用图 2 所示装置,同步调节 P_1 、 P_2 以改变 θ 值,调节外加电压 V ,使系统输出光强为 0,作 $V \sim \gamma$ 曲线,绘于图 5,测量其斜率,我们得到其半波电压为 $V_\alpha =$

4.05 kV。

3. 两种测量方法的比较。我们使用上面两种方法, 测出了不同生产条件下生长的 BSO 晶体的半波电压, 结果列于表 1, 表 1 还给出了它们的光电导。从表 1 可以看出, 两种测量方法得到的结果可以较好地符合。表 1 中的相对误差即为两种测量结果的相对偏差。

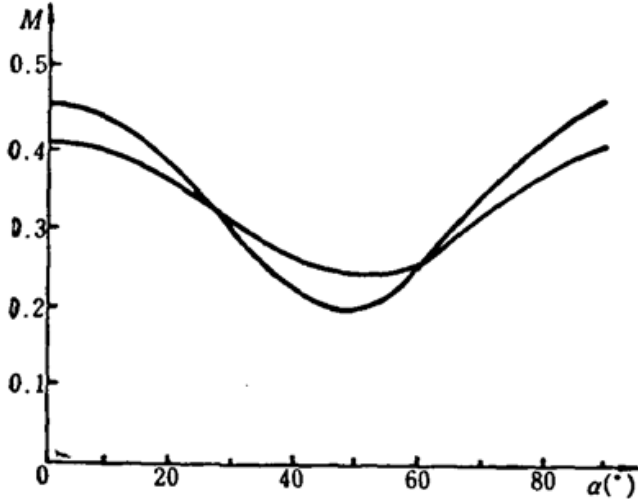


Fig. 4 $M \sim \alpha$ curves

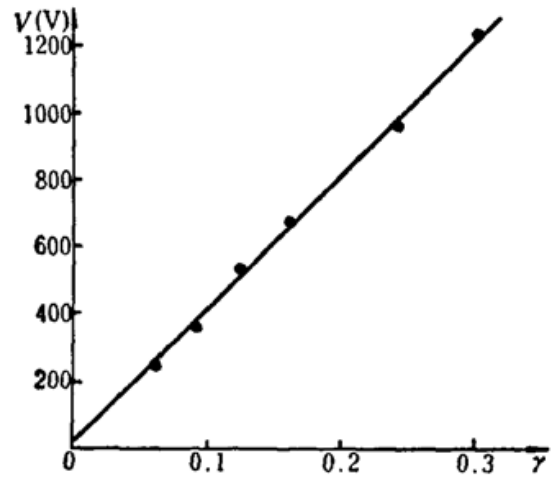


Fig. 5 $V \sim \gamma$ curve

Table 1

crystal No.	No. 1	No. 2	No. 3
half-wave voltage(kV)*	3.86	4.79	4.28
half-wave voltage(kV)**	4.05	4.98	4.02
relative deviation	2.4%	1.9%	3.1%
photoconductivity($10^{-8}\Omega^{-1}$)	36.7	1.56	37.9

* Natural optical rotation and electro-optic phase-shift compensation method;

** Modulation degree function method.

参 考 文 献

- 1 A Marrakchi *et al.*, *Appl. Phys.*, **21**, 131(1981)
- 2 R. E. Aldrich *et al.* *Appl. Phys.*, **42**, 493(1971)
- 3 P. Bayvel *et al.*, *Opt. Lett.*, **13**(1), 27(1988)
- 4 士井, 康弦, 偏光与结晶光学, 其立出版株式会社, 1975, 第1章
- 5 董孝义 *etal.*, 压电与声光, **10**(3), 12(1988)