

# $\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 晶体的线性电光效应

尹鑫 宋永远 陈焕鑫 孙大亮 姜全忠

(山东大学 晶体材料研究所, 济南 250100)

魏爱俭

(山东大学 光学系, 济南 250100)

## 提 要

用干涉法首次测量了  $\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6$  晶体的线性电光效应, 结果为  $\gamma_{33} = 70$ ,  $\gamma_{13} = 6.4$ ,  $\gamma_{51} = -146 \times 10^{-12} \text{ M/V}$ 。

关键词:  $\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6$  晶体; 电光效应。

## 一、引 言

铌酸钡铅  $\text{Pb}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  属于钙青铜型结构的铁电体, 许多人对其不同成分的陶瓷已进行过不少研究, 1982年, 我国首次用提拉法从熔体中生长出大块的  $\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6$  单晶, 并测定了其晶体结构及全部电弹常数<sup>[1~2]</sup>。我们用椭偏法<sup>[3]</sup>测得该晶体在  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$  时的折射率为  $n_o = 2.270$ ,  $n_e = 2.215$ 。该晶体为负单轴晶, 属  $4mm$  点群, 有三个独立的线性电光系数  $\gamma_{33}$ ,  $\gamma_{13} = \gamma_{23}$ ,  $\gamma_{51} = \gamma_{42}$ 。

本文用干涉法<sup>[4~5]</sup>测量了该晶体的全部线性电光系数。干涉法是目前唯一能在低频电场情况下将  $\gamma_{33}$  和  $\gamma_{13}$  分离开测量的方法, 其它方法只能测量  $\gamma_c = \gamma_{33} - (n_o/n_e)^3 \gamma_{13}$ 。测量  $\gamma_{51}$  最理想的方法是椭偏法, 用其测量出电场引起的折射率主轴的旋转角度进而计算之。但目前国内还没有精度在二秒以上的椭圆仪可用于此系数的测量。我们通过适当的坐标变换。用干涉法测量出  $\gamma_{51}$ , 只是这样测量的结果误差比较大一些。

## 二、测量原理

当在晶体上加电场时, 光通过晶体后, 晶体的电光效应和逆压电效应引起的光程变化为

$$\Delta = (n + \Delta n)(l + \Delta l) \approx \Delta n l + \Delta l n, \quad (1)$$

上式中  $n$  为晶体的折射率,  $l$  为晶体通过方向的长度,  $\Delta n$  为晶体电光效应引起的折射率变化,  $\Delta l$  为晶体逆压电效应引起的形变。

### 1. $\gamma_{33}$ 和 $\gamma_{13}$ 的测量

如果在  $\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6$  晶体的  $Z$  方向加电场,  $Y$  方向通光, 光的偏振方向平行于  $Z$ , 则

$$\Delta n = \frac{1}{2} n_e^3 \gamma_{33} E_3, \quad (2)$$

$$\Delta l = d_{32} l E_3, \quad (3)$$

$d_{32}$  为晶体相应的压电系数,  $E_3$  为晶体上所加的电场, 把(2)式和(3)式代入(1)式可解得

$$\Delta = \frac{1}{2} n_e^3 \gamma_{33}^m l E_3, \quad (4)$$

式中

$$\gamma_{33}^m = \gamma_{33} - \frac{2}{n_e^2} d_{32}^2. \quad (5)$$

同理, 如果电场方向和通光方向不变, 光的偏振方向改为  $X$ , 则有下面的关系

$$\gamma_{13}^m = \gamma_{13} - \frac{2}{n_o^2} d_{32}^2. \quad (6)$$

测量出  $\gamma_{33}^m$ ,  $\gamma_{13}^m$  和  $d_{32}$  就可计算出  $\gamma_{33}$  和  $\gamma_{13}$ 。

## 2. $\gamma_{51}$ 的测量

如果作一坐标变换, 原坐标系中的  $Y$  轴和  $Z$  轴绕  $X$  轴转一角度  $\theta$ , 新坐标系中和原坐标系中压电系数和电光系数的关系分别为<sup>[6]</sup>

$$d' = A d B_\sigma^{-1}, \quad (7)$$

$$\gamma' = B_\sigma \gamma A^{-1}. \quad (8)$$

式中  $d'$  和  $\gamma'$  分别为新坐标系中的压电系数和电光系数,  $A$  为坐标变换矩阵

$$A = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$B_\sigma = \begin{pmatrix} l_1^2 & m_1^2 & n_1^2 & 2m_1n_1 & 2n_1l_1 & 2l_1m_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & n_2^2 & 2m_2n_2 & 2n_2l_2 & 2l_2m_2 \\ l_3^2 & m_3^2 & n_3^2 & 2m_3n_3 & 2n_3l_3 & 2l_3m_3 \\ l_2l_3 & m_2m_3 & n_2n_3 & (m_2n_3 + m_3n_2) & (n_2l_3 + n_3l_2) & (l_2m_3 + l_3m_2) \\ l_3l_1 & m_3m_1 & n_3n_1 & (m_3n_1 + m_1n_3) & (n_3l_1 + n_1l_3) & (l_3m_1 + l_1m_3) \\ l_1l_2 & m_1m_2 & n_1n_2 & (m_1n_2 + m_2n_1) & (n_1l_2 + n_2l_1) & (l_1m_2 + l_2m_1) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

式中  $A^{-1}$  和  $B_\sigma^{-1}$  分别为  $A$  和  $B_\sigma$  的逆矩阵。

把(9)式和(10)式代入(7)式和(8)式可解得

$$d'_{32} = d_{33} \cos \theta \sin^2 \theta + d_{32} \cos^3 \theta - \frac{1}{2} d_{24} \sin \theta \sin(2\theta), \quad (11)$$

$$\gamma'_{33} = \gamma_{33} \sin \theta \cos^2 \theta + \gamma_{13} \cos \theta \sin^2 \theta + \gamma_{51} \sin \theta \sin(2\theta). \quad (12)$$

如果在  $Z$  方向加电场,  $Y'$  方向通光, 光的偏振方向平行于  $Z'$ , 类似于测量  $\gamma_{33}$  和  $\gamma_{13}$  的处理可得

$$\gamma'_{33}{}^m = \gamma'_{33} - \frac{2}{n^2(\theta)} d'_{32}, \quad (13)$$

式中

$$\frac{1}{n^2(\theta)} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}. \quad (14)$$

### 三、实验和结果

我们按照上面所设计的样品取向,加工了一块  $X \times Y \times Z = 3.70 \times 5.80 \times 6.40 \text{ mm}^3$  的样品用以测量  $\gamma_{33}^m$  和  $\gamma_{13}^m$ 。另外一块  $\theta$  取  $45^\circ$ ,  $X' \times Y' \times Z' = 4.46 \times 6.70 \times 5.10 \text{ mm}^3$  用来测量  $\gamma_{51}$ , 样品表面涂银电极, 电极表面的电阻小于  $5 \Omega$ 。用文献[5]中所介绍的泰曼干涉法, 在温度为  $18^\circ\text{C}$ , 电场频率为  $2 \text{ kHz}$ , 晶体上加几十伏电压测量了 Pb<sub>0.37</sub>Ba<sub>0.63</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 晶体在  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$  时的  $\gamma^m$ , 结果如下

$$\gamma_{33}^m = 72 \pm 3.6 \times 10^{-12} \text{ M/V}, \gamma_{13}^m = 8.0 \pm 0.4 \times 10^{-12} \text{ M/V}, \gamma_{33}'^m = -49 \pm 2.5 \times 10^{-12} \text{ M/V}.$$

将文献[2]中  $d_{33} = 24.7$ ,  $d_{31} = d_{32} = -4.2$ ,  $d_{15} = 108 \times 10^{-12} \text{ C/N}$  及折射率数据代入(5)、(6)、(11)、(13)式和(14)式解得

$$\gamma_{33} = 70 \pm 4 \times 10^{-12} \text{ M/V}, \gamma_{13} = 6.4 \pm 0.6 \times 10^{-12} \text{ M/V}, \gamma_{51} = -146 \pm 15 \times 10^{-12} \text{ M/V}.$$

晶体折射率的测量误差为  $1 \times 10^{-3}$ 。计算过程中, 文献[2]中压电系数的测量误差取  $\pm 10\%$ 。

测量结果表明, Pb<sub>0.37</sub>Ba<sub>0.63</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 晶体的电光系数和 KNb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 晶体差不多, 可能是一种新的光折变材料, 关于光折变方面的工作, 我们还在作进一步的研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈焕矗, 许煜寰;《中山大学学报》, 1982, No. 2 (Apr), 57~60.
- [2] 许煜寰, 陈焕矗;《物理学报》, 1988, 37, No. 8 (Aug), 1350~1355.
- [3] 胡其宏等;《物理学报》, 1989, 38, No. 8 (Aug), 1245~1251.
- [4] K. Onuki *et al.*; *J. O. S. A.*, 1972, 62, No. 9 (Sep), 1030~1032.
- [5] 尹 鑫;《光学学报》, 1989, 9, No. 4 (Apr), 353~356.
- [6] 蒋民华;《晶体物理》, (山东科学技术出版社, 1980), 521~522.

### Linear electro-optic effects of Pb<sub>0.37</sub>Ba<sub>0.63</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> crystals

YIN XIN, SONG YONGYUAN, CHEN HUANCHU, SUN DALIANG,

JIANG QUANZONG, AND WEI ALJIAN

(Department of Optics, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 25 June 1990)

#### Abstract

The linear electro-optic coefficients of Pb<sub>0.37</sub>Ba<sub>0.63</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> crystals have been measured for the first time by interferometric method. The results obtained are  $\gamma_{33} = 70$ ,  $\gamma_{13} = 6.4$ ,  $\gamma_{51} = -146$  and  $\times 10^{-12} \text{ M/V}$ .

**Key words:** Pb<sub>0.37</sub>Ba<sub>0.63</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> crystal; electro-optic effect.