

# $\text{NH}_4\text{IO}_3$ 晶体的压电性能\*

尹 鑫 吕孟凯 李福奇

(山东大学晶体材料研究所)

1988年3月23日收到

用干涉法测量了  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体的全部压电系数。结果为:  $d_{31} = 35.2$ ,  $d_{32} = 23.4$ ,  $d_{33} = 55.9$ ,  $d_{24} = -2.4$ ,  $d_{15} = -9.5 \times 10^{-8} \text{CGSE/DYN}$ .

## 一、引 言

继  $\text{LiIO}_3$ ,  $\text{KIO}_3$  晶体之后,  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体是碘酸盐系列中, 发现的又一种光电性能优良的晶体材料。Viswanathan 和 Bismayer 等人测量了该晶体的结构<sup>[1,2]</sup>。不少学者对其物理性能也作过探讨。但长期以来, 由于晶体生长工作的困难, 缺乏足够大的高质量的测试样品, 关于其物理性能基本参数的测定, 报道的结果比较零乱。Crane 等人 and Viswanathan 等人曾测量过该晶体的折射率, 但报道的结果差别很大<sup>[1,3]</sup>。Salje 等人曾用  $1 \times 0.4 \times 0.5 \text{mm}^3$  的样品测量了该晶体的全部电光系数, 但对  $r_{12}$ ,  $r_{22}$  和  $r_{32}$  并没有分离开测量<sup>[4]</sup>。陈创天等人曾计算过该晶体的倍频系数<sup>[5]</sup>, 但一直未得到实验的证实。Bismayer 等人曾测量过其介电常数  $\epsilon_{100}$  和  $\epsilon_{010}$ , 但未测量  $\epsilon_{001}$ 。Salje 和 Bismayer 曾测量了压电系数  $d_{33}^{[2]}$ , 但未测量其它的压电系数。我们从水溶液中生长出了  $10 \times 10 \times 15 \text{mm}^3$  的光学质量的晶体, 并用干涉法测量了该晶体的全部压电系数。

## 二、实 验 装 置

用干涉法测量晶体压电系数的实验装置如图1所示。

它的主体部分是一台泰曼干涉仪。干涉仪的两块全反射镜和两块压电晶体胶合在一起, 或者在压电晶体的一端面上镀全反射膜作为反射镜。其中一块晶体为参考样品, 另一块晶体为待测样品。低频信号发生器输出频率相同的两相正弦波, 经高压放大器放大后, 分别加在参考样品和待测样品上。光的干涉信号由硅光电池转变为电信号后, 由锁定放大器进行放大。低频信号发生器输出的另一相频率相同的方波作为锁定放大器的参考信号。

在待测样品上加电压时, 由于晶体的反压电效应, 推动全反射镜移动, 改变了两束光的光程差, 光的干涉信号发生了变化, 再在参考样品上加电压, 利用其反压电效应推动另

\* 国家自然科学基金资助的课题。

一全反射镜移动,补偿光程差的变化,使干涉信号的大小恢复至原来状态。待测样品的压电系数和参考样品的压电系数有如下关系:

$$d_s = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)\left(\frac{d_2}{d_1}\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right)d_r. \quad (1)$$

式中  $d_s$  和  $d_r$  分别为待测样品和参考样品的压电系数,  $l_1$ ,  $d_1$  和  $V_1$  分别为参考样品应变方向的长度、电场方向的厚度和晶体上所加的电压,  $l_2$ ,  $d_2$  和  $V_2$  分别为待测样品应变方向的长度、电场方向的厚度和样品上所加的电压。

我们采用的参考样品是石英晶体,  $X$  方向为电场方向,  $Y$  方向发生应变。电场方向的厚度为 8.35mm, 应变方向的厚度为 30.2mm。  $X$  面镀金作为电极。

干涉法测量晶体的压电系数的灵敏度很高,  $\lambda/2000$  是很容易测量的。为了验证实验装置的可靠性,我们在频率为 1kHz 的情况下,测量了 ADP 和 KDP 晶体的  $d_{36}$ , 测量结果与文献[7]中所总结的结果相差不到 3%。

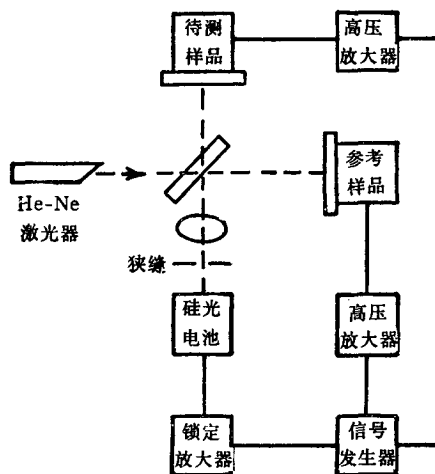


图1 干涉法测量晶体压电系数的实验装置

### 三、测量原理

$\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体属  $mm_2$  点群,其压电系数的矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

根据反压电效应方程

$$S_n = d_{in}E_i. \quad (2)$$

式中  $S_n$  为晶体的应变张量,  $d_{in}$  为晶体的压电系数张量,  $E_i$  为电场矢量。如果电场矢量平行于  $Z$ , 应变方向为  $X$  方向,有

$$S_1 = d_{31}E_3. \quad (3)$$

我们可以利用此样品取向测量  $d_{31}$ 。同理可得测量  $d_{32}$  和  $d_{33}$  的样品取向,见表 1。

如果作一坐标变换,使原坐标系中的  $Y$  轴和  $Z$  轴绕  $X$  轴转一角度  $\theta$ ,新坐标系中的压电系数与原坐标系中的压电系数的关系为<sup>[7]</sup>

$$d' = AdB_\sigma^{-1}. \quad (4)$$

式中

$$A = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$B_{\sigma}^{-1} = \begin{pmatrix} l_1^2 & l_2^2 & l_3^2 & 2l_2l_3 & 2l_3l_1 & 2l_1l_2 \\ m_1^2 & m_2^2 & m_3^2 & 2m_2m_3 & 2m_3m_1 & 2m_1m_2 \\ n_1^2 & n_2^2 & n_3^2 & 2n_2n_3 & 2n_3n_1 & 2n_1n_2 \\ m_1n_1 & m_2n_2 & m_3n_3 & (m_2n_1 + m_3n_2) & (m_3n_1 + m_1n_3) & (m_1n_2 + m_2n_3) \\ n_1l_1 & n_2l_2 & n_3l_3 & (n_2l_3 + n_3l_2) & (n_3l_1 + n_1l_3) & (n_1l_2 + n_2l_1) \\ l_1m_1 & l_2m_2 & l_3m_3 & (l_2m_3 + l_3m_2) & (l_3m_1 + l_1m_3) & (l_1m_2 + l_2m_1) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

经计算得

$$d'_{33} = d_{33} \cos^3 \theta + d_{31} \cos \theta \sin^2 \theta + \frac{1}{2} d_{24} \sin \theta \sin 2\theta. \quad (7)$$

我们可在  $Y-Z45^\circ$  方向加电场, 利用  $Y-Z45^\circ$  方向所发生的应变, 测量出  $d'_{33}$ , 然后计算出  $d_{24}$ .

同理, 我们可作另一坐标变换, 使原坐标系中的  $X$  轴和  $Z$  轴绕  $Y$  轴转一角度  $\theta$ . 将坐标变换矩阵

$$A = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (8)$$

和(6)式代入(4)式可得

$$d'_{33} = d_{33} \cos^3 \theta + d_{31} \cos \theta \sin^2 \theta + \frac{1}{2} d_{15} \sin \theta \sin 2\theta. \quad (9)$$

测量  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体全部压电系数的样品加工取向见表 1.

表 1 测量  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体压电系数的样品加工取向

| 被测的压电系数 | $d_{31}$ | $d_{32}$ | $d_{33}$ | $d'_{33}$ | $d''_{33}$ |
|---------|----------|----------|----------|-----------|------------|
| 电场方向    | Z        | Z        | Z        | Y-Z45°    | X-Z45°     |
| 应变方向    | X        | Y        | Z        | Y-Z45°    | X-Z45°     |

## 四、实验与结果

我们按照表 1 所设计的样品取向加工了三块晶体样品, 尺寸见表 2.

表 2 样品尺寸

| 样品编号 | 样品取向                | 样品尺寸 (mm <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------|-------------------------|
| 1    | X×Y×Z               | 6.18×6.16×6.00          |
| 2    | (Y-Z45°)×(Y-Z45°)×X | 2.86×5.70×7.36          |
| 3    | (X-Z45°)×(X-Z45°)×Y | 2.22×7.02×6.20          |

样品表面涂银电极, 电极表面的电阻在  $10\Omega$  以内. 首先按照文献[8]中关于坐标轴正向的规定, 用文献[9]中所介绍的方法确定了  $Z$  轴的正向. 在电场频率为 1kHz 的情况

下,测量了该晶体的压电系数。并加工了另外三块取向相同的样品作了验证,最后结果见表 3。

表 3  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  晶体的压电系数 ( $10^{-8}\text{CGSE/dyn}$ )

| $d_{31}$ | $d_{32}$ | $d_{33}$ | $d'_{33}$ | $d''_{33}$ | $d_{24}$ | $d_{15}$ |
|----------|----------|----------|-----------|------------|----------|----------|
| 35.2     | 23.4     | 55.9     | 24.6      | 18.8       | -2.4     | -9.5     |

表 3 中  $d_{15}$  和  $d_{24}$  的结果是根据(7)式和(9)式计算所得。

$d_{33}$  的测量结果较 Salje 和 Bismayer 等人报道的结果<sup>[2,6]</sup>大些,这可能是他们所用样品的质量差一些的原因所致。

- [1] K. Viswanathan and E. Salje, *Acta Cryst.*, **A31**(1975), 810.
- [2] U. Bismayer and E. Salje, *Phase Transitions*, **1**(1979), 35.
- [3] G. R. Crane, J. G. Bergman and A. M. Glass, *J. Am. Cer. Soc.*, **52** (1969), 655.
- [4] E. Salje and K. Bismayer, *Opt. Comm.*, **20**(1977), 303.
- [5] 陈创天等,物理学报, **29**(1980), 1000.
- [6] E. Salje, *Acta Cryst.*, **A30**(1974), 518.
- [7] 蒋民华,晶体物理,山东科学技术出版社,济南,(1980), 154 页和 522 页.
- [8] Standards on Piezoelectric Crystals, *Proc. IRE* **37**(1949), 1378.
- [9] 尹鑫等,物理, **17**(1988), 297.

## THE PIEZOELECTRIC PROPERTY OF $\text{NH}_4\text{IO}_3$ CRYSTAL

YIN XIN LÜ MENG-KAI LI FU-QI

(Institute of Crystalline Materials, Shandong University, Jinan)

### ABSTRACT

The piezoelectric coefficients of  $\text{NH}_4\text{IO}_3$  crystal have been measured by interferometric method. The results are  $d_{31} = 35.2$ ,  $d_{32} = 23.4$ ,  $d_{33} = 55.9$ ,  $d_{24} = -2.4$ ,  $d_{15} = -9.5 \times 10^{-8}$  CGSE/dyn.