

干涉法测量 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的压电系数和电光系数

尹 鑫 陶绪堂

(山东大学晶体材料研究所, 250100)

摘要: 用干涉法首次测量了 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的全部压电系数和电光系数。结果为: $d_{14} = -8.8$, $d_{25} = -15.8$, $d_{36} = 1.2 (\times 10^{-12} \text{C/N})$; $\gamma_{41} = 4.5$, $\gamma_{52} = 6.4$, $\gamma_{63} = 0.8 (\times 10^{-12} \text{m/V})$ 。

关键词: 干涉法, 电光系数, 压电系数

Measuring piezoelectric coefficients and electro-optic coefficients of $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystal by interferometry

Yin Xin, Tao Xutang

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan)

Abstract: All piezoelectric coefficients and electro-optic coefficients of $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystal have been measured by interferometry for the first time and results obtained are $d_{14} = -8.8$, $d_{25} = -15.8$, $d_{36} = 1.2 (\times 10^{-12} \text{C/N})$; $\gamma_{41} = 4.5$, $\gamma_{52} = 6.4$, $\gamma_{63} = 0.8 (\times 10^{-12} \text{m/V})$ 。

Key words: interferometry, piezoelectric coefficients, electro-optic coefficients

一、引 言

$\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体是一种新发现的有机络合物晶体, 点群为 $222^{[1]}$ 。该晶体为负双轴晶, 用 V 型棱镜法测得其波长为 632.8nm 时的折射率为: $n_a = 1.6635$, $n_b = 1.6215$, $n_c = 1.6724$ 。双轴角为 48.4 度。本文用干涉法测量了该晶体的全部压电系数和电光系数。

二、实验装置

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, 干涉仪的两块全反镜分别和两块压电晶体胶合在一起, 或在压电晶体的一端面上镀全反膜作为全反镜。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。

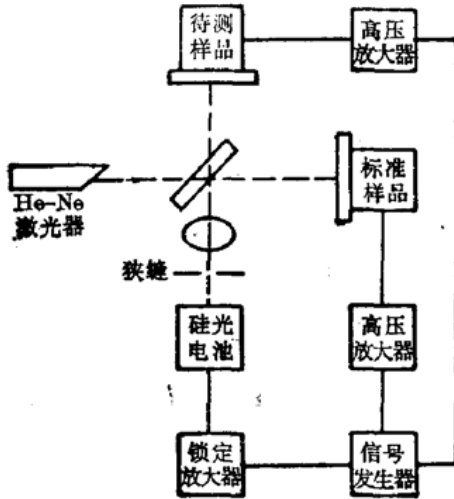


图1 干涉法测量晶体压电系数的实验装置

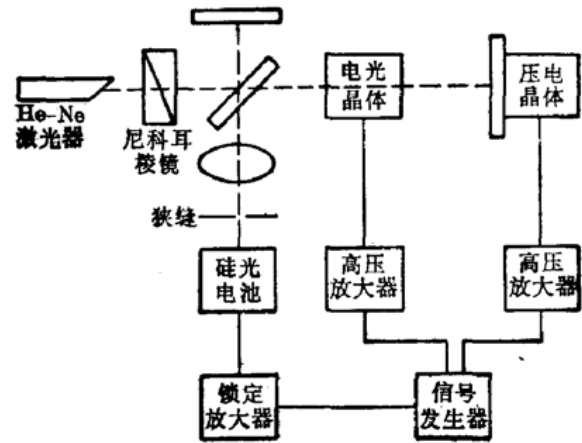


图2 干涉法测量晶体电光系数的实验装置

在待测样品上加上电压时,由于晶体的逆压电效应,推动全反镜移动,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,利用其逆压电效应推动另一全反镜移动,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

$$d_{ij}^s = \left(\frac{l_1}{l_2}\right) \left(\frac{d_2}{d_1}\right) \left(\frac{V_1}{V_2}\right) d_{ij}^r \quad (1)$$

式中 d_{ij}^s 和 d_{ij}^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 方向产生应变。 x 面镀金作为电极。

如果将图1所示的实验装置作一改进,就可以测量晶体的电光系数。改进后的实验装置如图2所示。

He-Ne 激光束经尼科耳棱镜后成为线偏振光,电光晶体置于干涉仪分光后的一束光路中,其电感应主轴与 He-Ne 激光束的偏振方向一致。经高压放大器放大后的电压信号分别加在电光晶体和压电晶体上,利用压电晶体的逆压电效应补偿电光晶体电光效应所引起的光程变化。晶体的电光系数和压电晶体的压电系数有如下关系^[3]

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{2}{n^3}\right) \left(\frac{l_1}{l_2}\right) \left(\frac{d_2}{d_1}\right) \left(\frac{V_1}{V_2}\right) d_{ij} \quad (2)$$

式中 γ_{ij} 为晶体的电光系数, n 为电光晶体的折射率。

为了验证实验装置的可靠性,我们在电场频率为 1kHz 的情况下,测量了 ADP、KDP 晶体的压电系数 d_{36} 、LiNbO₃ 晶体的 d_{22} 和 LiIO₃ 晶体的 d_{33} ,测量结果与文献[2]中所总结的结果相差不到 3%。我们还测量了 ADP、KDP 和 DKDP 晶体的电光系数 γ_{63} 和 LiNbO₃ 晶体的 γ_{22} ,并在同样的温度条件下,用半波电压法^[27]测量了这四种晶体的同一电光系数,两种方法测量的结果相差不到 5%。

三、测量原理

根据文献[3]关于压电坐标轴的规定,当结晶学坐标轴 $c < a < b$ 时,压电坐标系的 x, y 和 z 轴应分别平行于结晶学坐标系的 a, b 和 c 轴。 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体压电系数的矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix}$$

$\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体电光系数的矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \gamma_{41} & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_{52} & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_{63} \end{pmatrix}$$

作一坐标变换,原坐标系中的 y 轴和 z 轴绕 x 轴转一角度 θ ,新坐标系中的压电系数与原坐标中的压电系数的关系为^[2]

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

式中

$$A = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$B_{\sigma}^{-1} = \begin{pmatrix} l_1^2 & l_2^2 & l_3^2 & 2l_2l_3 & 2l_3l_1 & 2l_1l_2 \\ m_1^2 & m_2^2 & m_3^2 & 2m_2m_3 & 2m_3m_1 & 2m_1m_2 \\ n_1^2 & n_2^2 & n_3^2 & 2n_2n_3 & 2n_3n_1 & 2n_1n_2 \\ m_1n_1 & m_2n_2 & m_3n_3 & (m_2n_3 + m_3n_2) & (m_3n_1 + m_1n_3) & (m_1n_2 + m_2n_1) \\ n_1l_1 & n_2l_2 & n_3l_3 & (n_2l_3 + n_3l_2) & (n_3l_1 + n_1l_3) & (n_1l_2 + n_2l_1) \\ l_1m_1 & l_2m_2 & l_3m_3 & (l_2m_3 + l_3m_2) & (l_3m_1 + l_1m_3) & (l_1m_2 + l_2m_1) \end{pmatrix} \quad (3)$$

(2)式和(3)式代入(1)式可解得

$$d'_{12} = \frac{1}{2} d_{14} \sin(2\theta)$$

新坐标系中电光系数与原坐标系中电光系数的关系为^[2]

$$\gamma' = B_{\sigma} \gamma A^{-1} \quad (4)$$

式中

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

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

(5)式和(6)式代入(4)可解得

$$\gamma'_{31} = -\gamma_{41}\sin(2\theta)$$

根据逆压电效应方程^[2]

$$S_n = d_{in}E_i \quad (i=1, 2, 3; n=1, 2, \dots, 6) \quad (7)$$

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 x , 晶体的应变方向为 $y-z$ 45° 方向, 有

$$S'_2 = d'_{12}E_1$$

我们可以利用此样品取向测量 d'_{12} , 然后计算出 d_{14} 。

如果电场矢量仍平行于 x , $y-z$ 45° 方向通光, 光的偏振方向位于 $y-z$ 平面内, 并与 y 轴和 z 轴分别成 45° , 电场所引起的光程变化可写为^[4]

$$\Delta = \Delta n_1 l + n_1 \Delta l \quad (8)$$

式中 l 为晶体通光方向的长度, n_1 为晶体的折射率, 有

$$\frac{1}{n_1^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_b^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_c^2} \quad (9)$$

Δn 为晶体电光效应所引起的晶体折射率的变化

$$\Delta n = -\frac{1}{2} n_1^3 \gamma'_{31} E_1 \quad (10)$$

Δl 为晶体逆压电效应所引起的形变

$$\Delta l = d'_{12} l E_1 \quad (11)$$

(10)式和(11)式代入(9)式可得

$$\Delta = -\frac{1}{2} n_1^3 \gamma'^m_{31} l E_1 \quad (12)$$

式中

$$\gamma'^m_{31} = \gamma'_{31} - \frac{2}{n_1^2} d'_{12} \quad (13)$$

我们可利用此样品取向测量 γ'^m_{31} , 然后计算出 γ'_{31} 和 γ_{41} 。

同理, 如果作另一坐标变换, 使原坐标系中的 z 轴和 x 轴绕 y 轴转一角度 θ , 可得测量 d_{25} 和 γ_{52} 的样品加工取向。如果使原坐标系中的 x 轴和 y 轴绕 z 轴转一角度 θ , 可得测量 d_{36} 和 γ_{63} 的样品取向。

现将测量 $Zn(SCN)_2 \cdot 2H_2O$ 晶体压电系数和电光系数的样品取向总结于表 1 和表 2。

表 1 和表 2 中的 θ 取 45° 。

表 1 测量 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体压电系数的样品加工取向

电场方向	x	y	z
应变方向	$y-z$ 平面与 y 轴成 θ	$x-z$ 平面与 x 轴成 θ	$x-y$ 平面与 y 轴成 θ
待测的压电系数	$d'_{12} = \frac{1}{2} d_{14} \sin(2\theta)$	$d'_{21} = -\frac{1}{2} d_{26} \sin(2\theta)$	$d'_{32} = -\frac{1}{2} d_{36} \sin(2\theta)$

表 2 测量 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体电光系数的样品加工取向

电场方向	x	y	z
透光方向	$y-z$ 平面与 y 轴成 θ	$x-z$ 平面与 x 轴成 θ	$x-y$ 平面与 y 轴成 θ
光的偏振方向	$y-z$ 平面与 z 轴成 θ	$x-z$ 平面与 z 轴成 θ	$x-y$ 平面与 x 轴成 θ
待测的压电系数	$\gamma'_{31} = \gamma_{31} - \frac{2}{n_1^2} d'_{12}$ $\gamma'_{31} = -\gamma_{41} \sin(2\theta)$ $\frac{1}{n_1^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_b^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_c^2}$	$\gamma'_{32} = \gamma_{32} - \frac{2}{n_2^2} d'_{21}$ $\gamma'_{32} = \gamma_{52} \sin(2\theta)$ $\frac{1}{n_2^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_a^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_c^2}$	$\gamma'_{13} = \gamma_{13} - \frac{2}{n_3^2} d'_{32}$ $\gamma'_{13} = \gamma_{63} \sin(2\theta)$ $\frac{1}{n_3^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_b^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_a^2}$

四、实验与结果

我们按照表 1 和表 2 中所示的样品取向加工了三块晶体,详细尺寸见表 3。

表 3 样品尺寸(mm³)

样品编号	被测压电系数	被测电光系数	样品取向	样品尺寸
1	d'_{12}	γ'_{31}	$x \times (y-z) 45^\circ \times [y - (-z)] 45^\circ$	$6.40 \times 12.44 \times 14.06$
2	d'_{21}	γ'_{32}	$y \times [x - (-z)] 45^\circ \times (x-z) 45^\circ$	$6.60 \times 14.12 \times 9.42$
3	d'_{32}	γ'_{13}	$z \times [y - (-x)] 45^\circ \times (y-x) 45^\circ$	$5.40 \times 9.30 \times 8.60$

样品表面涂银电极,电极表面的电阻在 10Ω 以内,在电场频率为 300 Hz 的情况下,测量了 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的压电系数和电光系数。结果列于表 4 和表 5。

表 4 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的压电系数(10^{-12} C/N)

d_{ij}	d'_{12}	d'_{21}	d'_{32}	d_{14}	d_{26}	d_{36}
数值	-4.4	7.9	-0.6	-8.8	-15.8	1.2

表 5 $\text{Zn}(\text{SCN})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的电光系数(10^{-12} m/V)

γ_{ij}	γ'_{31}	γ'_{32}	γ'_{13}	γ_{41}	γ_{52}	γ_{63}
数值	-1.3	0.7	1.2	4.5	6.4	0.8

表中压电系数 d_{14} 、 d_{26} 和 d_{36} 以及电光系数 γ_{41} 、 γ_{52} 和 γ_{63} 都是根据表 1 和表 2 中的公式计算所得。

从(1)式可以看出,影响压电系数测量精度的因素有标准样品的定标、晶体的尺寸因子和晶体上所加电压的测量精度,这些数据都在三位有效数字以上。晶体定向误差在 $\pm 2^\circ$ 以

内。表 4 中所列压电系数的值,其相对误差在 5% 以内。除上述因素外,影响电光系数测量精度的因素还有晶体折射率的测量精度及压电系数的测量精度,晶体折射率数据误差为 3×10^{-4} ,表 5 中所列电光系数的值,其相对误差不超过 10%。

测试结果表明,Zn(SCN) $_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体的压电系数 d_{25} 和电光系数 γ_{52} 比较大一些。

参 考 文 献

- 1 陶绪堂等,科学通报,待发表。
- 2 蒋民华编,晶体物理,(山东科学技术出版社,济南,1980)154 页,349 页,522~523 页,142 页。
- 3 "Standards on Piezoelectric Crystals", IRE **37**, 1378(1949).
- 4 Naoya Uchida *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **43**, 4933 (1972).

第十届全国激光学术报告会即将召开

由中国光学学会激光专业委员会、中国电子学会量子电子学与光电子学会和中国光学行业协会联合举办的第十届全国激光学术报告会(纪念激光器诞生 30 周年)将于 1990 年 7 月 25~28 日在内蒙古呼和浩特市举行。本次会议由内蒙古大学具体承办,参加筹备的单位还有中国科学院上海光机所、机电部 11 所和 209 所。

会议筹备组共收到征文 518 篇,经节目委员会评审选出论文 251 篇,其中激光器件与技术 112 篇,激光应用 62 篇,激光理论 77 篇。会议期间,还将为纪念激光器诞生 30 周年安排若干篇特邀报告。

(吉 禾)

手提式 YAG 激光综合治疗机通过鉴定

由中国科学院上海光机所研制的 JY-II 型手提式 YAG 激光治疗机于 1990 年 3 月 28 日通过科技成果的专家鉴定。该机可由市电 220V 直接供电,供电电流小于 10A,激光重复频率 0~20 次/秒可调,由光纤耦合输出,单光纤输出端平均功率 5W。整机外观尺寸为 25×29×47 cm,整机重量 15 kg。

鉴定委员会一致认为,该机采用谐振膜片、光纤耦合头以及无光学调整架的一体化结构激光器等,设计思想新颖独特,使用操作极为方便。该机曾在上海五家医院的中医科、皮肤科、五官科、妇产科等临床及医疗科研试验使用,得到比较满意的结果。

(壹责根)