

碘酸锂晶体全部电弹常数的测量

刘鸿举 赵哲英 施仲坚

(中国科学院声学研究所)

1979年10月31日收到

提 要

本文探讨了碘酸锂晶体(α -LiIO₃, 简称 LI)全部电弹常数的测试方法。以压电板厚度振动模理论,推导出 LI 晶体独立电弹常数计算公式。对无压电耦合的弹性常数 c_{11}^E 和 c_{33}^E , 采用了声光同步测速法进行测量。最后,测量给出了 LI 晶体全部电弹常数和一些机电耦合系数共 52 个数据。

一、引 言

LI 晶体是属于六角晶系 6 点群的极性晶体^[1]。由于 LI 具有大的机电耦合系数和小的介电常数等性质,引起了人们极大的兴趣^[2-5]。在体、表声波领域中,它是做高频宽带换能器的好材料,如超声延迟线,声光偏转器等。近年来又将它应用到超声无损检测上,做成各种检测换能器^[6]。

LI 晶体压电性能尽管国际上已有几家报道^[2-4],但限于它的奇异性^[2,7,8],其电弹常数值出入较大,尤以 c_{13}^E , c_{31} 和 d_{33} 差别为甚。而且也无一家最后给出全部电弹常数来。

为了国内应用的需要,我们测量了 LI 晶体全部电弹常数。本文首先探讨了 LI 电弹常数的测量方法,推导出各种常数的计算公式。取五种样品,用电桥法、谐振法和声光同步测速法进行了测量。最后,给出了 LI 晶体全部电弹常数和一些机电耦合系数共 52 个数据。

本文介绍的测量方法也完全适用于 6 点群其他晶体的测试。

二、测量的理论依据

LI 晶体有五个独立弹性常数 c_{11} , c_{12} , c_{13} , c_{33} , c_{44} ; 四个独立压电常数 e_{14} , e_{15} , e_{31} , e_{33} ; 两个独立介电常数 ϵ_{11} , ϵ_{33} 。其矩阵表达式如下:

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix}, c_{66} = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}),$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & e_{14} & e_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{15} & -e_{14} & 0 \\ e_{31} & e_{31} & e_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}.$$

利用压电板厚度振动模理论,由压电方程和 LI 晶体独立电弹常数矩阵求解可知:

对于 $0^\circ z$ 切板,则有下列模式特征行列式:

$$\begin{vmatrix} c_{44}^E - \bar{c} & 0 & 0 \\ 0 & c_{44}^E - \bar{c} & 0 \\ 0 & 0 & c_{33}^E + e_{33}^2/\varepsilon_{33}^S - \bar{c} \end{vmatrix} = 0.$$

它的三个根为

$$\bar{c}_{x_1} = \bar{c}_{x_2} = c_{44}^E, \quad \bar{c}_{x_3} = c_{33}^E + e_{33}^2/\varepsilon_{33}^S.$$

对于 $0^\circ x$ 切板,则有下列模式特征行列式:

$$\begin{vmatrix} c_{11}^E - \bar{c} & 0 & 0 \\ 0 & c_{66}^E - \bar{c} & 0 \\ 0 & 0 & c_{44}^E + e_{15}^2/\varepsilon_{11}^S - \bar{c} \end{vmatrix} = 0.$$

它的三个根为

$$\bar{c}_{x_1} = c_{11}^E, \quad \bar{c}_{x_2} = c_{66}^E, \quad \bar{c}_{x_3} = c_{44}^E + e_{15}^2/\varepsilon_{11}^S.$$

对于 $0^\circ y$ 切板,则有下列模式特征行列式:

$$\begin{vmatrix} c_{66}^E - \bar{c} & 0 & 0 \\ 0 & c_{11}^E - \bar{c} & 0 \\ 0 & 0 & c_{44}^E + e_{15}^2/\varepsilon_{11}^S - \bar{c} \end{vmatrix} = 0.$$

它的三个根为

$$\bar{c}_{y_1} = c_{66}^E, \quad \bar{c}_{y_2} = c_{11}^E, \quad \bar{c}_{y_3} = c_{44}^E + e_{15}^2/\varepsilon_{11}^S.$$

由上述推导可看出,每种切板只有一个垂直场激发的加强模。而 x, y 切板的加强模是一样的,另外两个根恰为 x, y 坐标轴互换的结果。实际上只要选一种切板即可。同时我们也看出, c_{11}^E 和 c_{66}^E 是无压电耦合的,因而无法用谐振法求出。为此,我们采用声光同步测速法^[9],以长方体样品求解。此外,也利用 zx 切板的延伸模求出 s_{11}^E 和 d_{31} 。

下面将各种切型样品求常数的公式直接列出(推导从略)。

1. $0^\circ z$ 切板

这种切型样品可求解常数计算公式为

$$\text{有效弹性常数(过渡量)} \quad \bar{c}_{x_3} = 4\rho(f_{an}^z/n)^2 \quad n = 1, 3, 5 \cdots, \quad (1)$$

$$\text{弹性常数} \quad c_{44}^E = 4\rho(f_{rn}^z/n)^2 \quad n = 1, 3, 5 \cdots, \quad (2)$$

$$\text{弹性常数} \quad c_{33}^E = (1 - \kappa_i^2)\bar{c}_{x_3}, \quad (3)$$

$$\text{压电常数} \quad c_{33} = \kappa_t (\varepsilon_{33}^S \cdot \bar{c}_{x_3})^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

式中 ρ 为晶体密度, f_{an} 为反谐振频率, f_{rn} 为谐振频率, t 为晶体切板厚度, κ_t 为 x 切板耦合系数.

2. $0^\circ x$ 切板

该种切型样品可求解常数为

$$\text{有效弹性常数(过渡量)} \quad \bar{c}_{x_3} = 4\rho(f_{an}^2/n)^2 \quad n = 1, 3, 5 \cdots, \quad (5)$$

$$\text{压电常数} \quad e_{15} = [(\bar{c}_{x_3} - c_{44}^E) \varepsilon_{11}^S]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

由关系式 $\varepsilon^T - \varepsilon^S = e s^E e_t$ 可推导出

$$\varepsilon_{11}^T - \varepsilon_{11}^S = s_{44}^E (e_{14}^2 + e_{15}^2).$$

又由关系式 $s^E = (c^E)^{-1}$ 可推导出

$$s_{44}^E = (c_{44}^E)^{-1}.$$

$$\text{故压电常数} \quad e_{14} = [(\varepsilon_{11}^T - \varepsilon_{11}^S) c_{44}^E - e_{15}^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

3. $0^\circ zx$ 向长方体

沿长方体 x 方向通声脉冲, z 方向通脉冲激光, 测出声光干涉条纹间隔时间, 算出声速. 再用公式 $V = \sqrt{c/\rho}$ 求解得

$$c_{11}^E = \rho V_L^2, \quad (8)$$

$$c_{66}^E = \rho V_s^2, \quad (9)$$

式中 V_L 为 LI 晶体 x 方向纵波速度, V_s 为 LI 晶体 x 方向横波速度, 而

$$c_{12}^E = c_{11}^E - 2c_{66}^E. \quad (10)$$

4. $0^\circ zx$ 切板

$$\text{短路顺性弹性常数} \quad s_{11}^E = [4\rho(f_{rx}^2 l)^2]^{-1}, \quad (11)$$

$$\text{压电常数} \quad d_{31} = \kappa_{31} (\varepsilon_{33}^T \cdot s_{11}^E)^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

式中 l 为晶片长度, κ_{31} 为横向机电耦合系数.

5. e_{31} 和 c_{13}^E 的导算公式

由 LI 晶体电弹常数张量矩阵关系式得

$$\text{压电常数} \quad d_{31(1,2)} = \frac{c_{33} \pm \{c_{33}^2 - c_{33}^E [(\varepsilon_{33}^T - \varepsilon_{33}^S) - 2d_{31}^2 (c_{11}^E + c_{12}^E)]\}^{\frac{1}{2}}}{c_{33}^E}, \quad (13)$$

$$\text{压电常数} \quad e_{31} = \frac{(\varepsilon_{33}^T - \varepsilon_{33}^S) - d_{33} c_{33}}{2d_{31}}, \quad (14)$$

$$\text{弹性常数} \quad c_{13}^E = \frac{c_{33} - d_{33} c_{33}^E}{2d_{31}}. \quad (15)$$

三、样品制备

依据上述测量方法分析可知, 为了求出 LI 晶体全部电弹常数, 需要四类切型五种样品.

鉴于 LI 晶体是水溶性生长的, 它易于溶于水潮解, 而且也易于骤热裂碎. 根据经验,

我们在样品加工制备过程中,经过下面五道工序:

1. 预定向

所有样品是由一块六角双锥体形 Li 晶体上切取的。切前依据晶体结构特点,先选取一个自然面为 z 面即 (100) 面,定向修正符合精度后,再按切型要求尺寸去切割。

2. 切割

可用内圆切割机或自制弓形线丝锯,后者适宜薄片加工。切割过程中不能用水冷,且要进刀缓慢。磨料是乙醇拌金刚砂。

3. 磨抛

初磨用 M_5 金刚砂。动作要求慢些,以防止发热裂碎。抛光可用一般抛光膏。清洗剂可用无水乙醇或丙酮。抛光时要特别注意清洁,防止划道。

4. 定向

用 X 光定向仪或衍射仪均可。对铜靶而言,布拉格衍射角 (200) 面是 $18^\circ 57'$; (002) 面是 $17^\circ 20'$ 。应该边定向边修正角度。定向精度约 $10'$ 即可。平行度用仪表检测不应大于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

5. 镀电极

被镀切片先用乙醇清洗吹干,放在真空镀膜机中。以铬膜打底后,再镀上金膜做电极。镀时要注意温度,必要时需冷镀,以防损坏或使晶体性能下降。

所有四类切型五种样品的形状、尺寸和方向,请见图 1 到图 3 及表 1 所示。

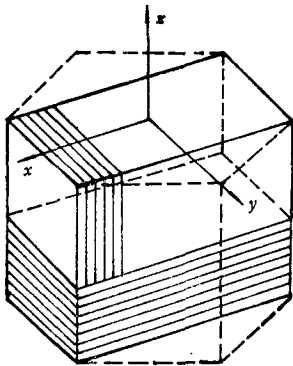


图 1 Li 晶体切割取样

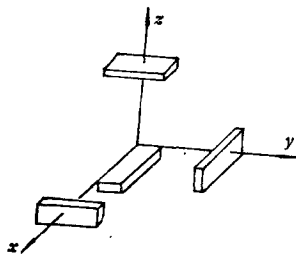


图 2 z, zx, x (或 y) 切片取向

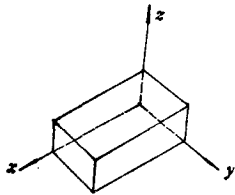


图 3 长方体样品取向

表 1 Li 样品规格一览表

名 称	切 型	片 号	电极面	激发场	频率常数 $\text{Mc} \cdot \text{mm}$	尺寸(mm)	可测常数
z 切片	z	1#	z	$\perp$	2.06	$18 \times 11 \times 1.0$	$[\bar{e}_{23}], C_{33}^E, e_{33}, \kappa_t, e_{33}^T, e_{33}^S$
		2#	x	$\parallel$	1.01	$18 \times 4 \times 1.0$	C_{44}^E
x 切片	x	3#	x	$\perp$	1.26	$15 \times 11 \times 1.0$	$[\bar{e}_{x3}], e_{14}, e_{15}, \kappa_{15}, e_{11}^T, e_{11}^S$
zx 切片	zx	4#	z	$\perp$	2.01	$18 \times 4.5 \times 1.0$	$s_{11}^E, \kappa_{31}, d_{31}$
长方体	zxy	5#	—	—	—	$26 \times 19 \times 15$	$C_{11}^E, C_{66}^E, C_{12}^E$

四、测量程序

1. 用电桥法测量介电常数

室温下自由状态电容 C^T 是在 10kc/s 频率下, 使用 CCJ-1B 型精密电容测量仪测量的; 夹持状态电容 C^S 是在 50 Mc/s 频率下, 使用 CD4B 型高频导纳电桥测量的。其介电常数按下式计算:

$$\epsilon_{ij} = Ct/A,$$

式中 C 为电容 (F), t 为厚度 (m), A 为面积 (m^2)。可算出 $\epsilon_{11}^T, \epsilon_{11}^S, \epsilon_{33}^T, \epsilon_{33}^S$ 。

2. 用谐振法测量部分弹、压常数

a) 用 z 切片——测量一系列谐振、反谐振频率 f_{rn}^z, f_{an}^z 。查表找出 κ_z , 用 (1)–(4) 式算出 $[\bar{c}_x], c_{33}^E, c_{44}^E, c_{33}$ 。

b) 用 x 切片——测量一系列谐振、反谐振频率 f_{rn}^x, f_{an}^x 。查表找出 κ_x , 用 (5), (6), (7) 式算出 $[\bar{c}_x], c_{15}, c_{14}$ 。

c) 用 zx 切片——测量谐振、反谐振频率 f_{rn}^{zx}, f_{an}^{zx} 。查表找出 κ_{31} , 用 (11), (12) 式算出 s_{11}^E, d_{31} 。

3. 用声光同步测速法测量 c_{11}^E, c_{66}^E

将声波射入长方体样品内沿 x 向传播, 在交界面上发生波型转换。激发出一个纵波 (对应 c_{11}^E) 和一个横波 (对应 c_{66}^E)。由于传播速度不同, 可定出快者为纵波, 慢者为横波。采用脉冲激光测量不同时刻的声波波前, 用数字频率计测出延迟时间, 经计算得出 $V_L = 4295$ m/s, $V_S = 2382$ m/s。由上述公式 (8), (9), (10) 算出 $c_{11}^E, c_{66}^E, c_{12}^E$ 。

4. d_{33}, c_{31}, c_{13}^E 的导算

利用公式 (13), (14), (15) 即可算出 d_{33}, c_{31} 和 c_{13}^E 。

到此, LI 晶体独立电弹常数已全部测出。再用与文献 [10] 的导算程序相类似办法, 按表 2 程序与计算公式, 可将 LI 晶体全部电弹常数完全导算出来。

五、结果与讨论

我们测量用的 LI 晶体样品密度为 4.5×10^3 kg/m³。LI 全部电弹常数及一些机电耦合系数共计 52 个数据, 列成表 3。为了比较起见, 表 3 中也同时列出文献 [2–4] 的数据以备参考。下面讨论两个问题。

1. 关于 ϵ_{33}^T

介电常数 ϵ_{33}^T 按有关文献 [2, 7, 8] 报道, 在频率降低时, 其值有增加趋势。但是, 依据压电测试标准规定, c^T 应选在 1 kc/s 频率下测量, 这时由于 LI 晶体的介电奇异性, 它已进入离子电导明显增大区域。同时我们考虑到只要远离被测元件最低固有频率的频率下测试, 即为自由态。为此, 我们把 C^T 的测试频率选在 10 kc/s 上, 这时 LI 的离子电导影响已明显减弱。精确分析有待深入研究。

2. 关于 c_{13}^E 与 c_{31}

表 2 LI 晶体电弹常数导算公式

顺 序	名 称	内 容 (计 算 公 式)
1	s_{ij}^E	$s_{11}^E = (c_{11}^E)^{-1} \quad \Delta = [c_{11}^E] = c_{11}^E c_{33}^E + 2c_{12}^E c_{33}^E - 2c_{13}^E c_{11}^E - c_{12}^E c_{33}^E = c_{14}^E \cdot c_{66}^E \cdot c^*$ $\Delta_{11}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{11}^E c_{33}^E - c_{12}^E) \quad \Delta_{12}^E = c_{14}^E c_{66}^E c^*$ $\Delta_{13}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{12}^E c_{33}^E - c_{13}^E) \quad \Delta_{33}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E)$ $\Delta_{31}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E)$ $\Delta_{32}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E)$ $\Delta_{33}^E = c_{14}^E c_{66}^E (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E)$ $s_{33}^E = (-1)^{1+3} \Delta_{33}^E / \Delta = (c_{11}^E c_{33}^E - c_{12}^E) / c^*$ $s_{11}^E = (-1)^{1+1} \Delta_{11}^E / \Delta = (c_{11}^E c_{33}^E - c_{12}^E) / c^*$ $s_{12}^E = (-1)^{1+2} \Delta_{12}^E / \Delta = -(c_{12}^E c_{33}^E - c_{13}^E) / c^*$ $s_{13}^E = (-1)^{1+3} \Delta_{13}^E / \Delta = -(c_{12}^E c_{33}^E - c_{13}^E) / c^*$ $s_{31}^E = (-1)^{3+1} \Delta_{31}^E / \Delta = (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E) / c^*$ $s_{32}^E = (-1)^{3+2} \Delta_{32}^E / \Delta = (c_{11}^E c_{13}^E - c_{12}^E c_{33}^E) / c^*$ $s_{33}^E = (-1)^{3+3} \Delta_{33}^E / \Delta = 2(c_{11}^E - c_{12}^E)$
2	β_{ij}	$\beta_{ij} = (-1)^{i+j} \Delta_{ij}^E / \Delta^E$ $\begin{cases} \beta_{11}^T = (e_{11}^T)^{-1} \\ \beta_{33}^T = (e_{33}^T)^{-1} \end{cases}$
3	d_{ij} g_{ij} h_{ij}	$d_{ij} = e_{ij}^E \begin{cases} d_{14} = e_{14}^E \\ d_{15} = e_{15}^E \\ d_{31} = e_{31}^E (s_{11}^E + s_{12}^E) + e_{33}^E s_{33}^E \\ d_{33} = 2e_{31}^E s_{11}^E + e_{33}^E s_{33}^E \end{cases}$ $g_{ij} = \beta_{ij}^T d \begin{cases} g_{14} = d_{14} \beta_{11}^T \\ g_{15} = d_{15} \beta_{11}^T \\ g_{31} = d_{31} \beta_{33}^T \\ g_{33} = d_{33} \beta_{33}^T \end{cases}$ $h_{ij} = \beta_{ij}^S e \begin{cases} h_{14} = e_{14} \beta_{11}^S \\ h_{15} = e_{15} \beta_{11}^S \\ h_{31} = e_{31} \beta_{33}^S \\ h_{33} = e_{33} \beta_{33}^S \end{cases}$
4	c_{ij}^D	$c^D - c^E = e_i \beta_{ij}^S e \begin{cases} c_{11}^D - c_{11}^E = c_{12}^D - c_{12}^E = e_{31}^E \beta_{33}^S \\ c_{13}^D - c_{13}^E = c_{15}^D - c_{15}^E = e_{31}^E c_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{33}^D - c_{33}^E = c_{35}^D - c_{35}^E = e_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{44}^D - c_{44}^E = (e_{14}^E + e_{15}^E) \beta_{11}^S \\ c_{66}^D - c_{66}^E = 0 \end{cases}$ 因为 $\begin{cases} c_{11}^D - c_{11}^E = c_{12}^D - c_{12}^E = e_{31}^E \beta_{33}^S \\ c_{13}^D - c_{13}^E = c_{15}^D - c_{15}^E = e_{31}^E c_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{33}^D - c_{33}^E = c_{35}^D - c_{35}^E = e_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{44}^D - c_{44}^E = (e_{14}^E + e_{15}^E) \beta_{11}^S \\ c_{66}^D - c_{66}^E = 0 \end{cases}$ 所以 $\begin{cases} c_{11}^D = c_{11}^E + e_{31}^E \beta_{33}^S \\ c_{12}^D = c_{12}^E + e_{31}^E \beta_{33}^S \\ c_{13}^D = c_{13}^E + e_{31}^E c_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{33}^D = c_{33}^E + e_{33}^E \beta_{33}^S \\ c_{44}^D = c_{44}^E + (e_{14}^E + e_{15}^E) \beta_{11}^S \\ c_{66}^D = c_{66}^E \end{cases}$
5	s_{ij}^D	$s^E - s^D = d_i \beta_{ij}^T d \begin{cases} s_{11}^E - s_{11}^D = s_{12}^E - s_{12}^D = d_{31} \beta_{33}^T \\ s_{13}^E - s_{13}^D = d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{33}^E - s_{33}^D = d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{44}^E - s_{44}^D = (d_{14}^E + d_{15}^E) \beta_{11}^T \\ s_{66}^E - s_{66}^D = 0 \end{cases}$ 因为 $\begin{cases} s_{11}^E - s_{11}^D = s_{12}^E - s_{12}^D = d_{31} \beta_{33}^T \\ s_{13}^E - s_{13}^D = d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{33}^E - s_{33}^D = d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{44}^E - s_{44}^D = (d_{14}^E + d_{15}^E) \beta_{11}^T \\ s_{66}^E - s_{66}^D = 0 \end{cases}$ 所以 $\begin{cases} s_{11}^D = s_{11}^E - d_{31} \beta_{33}^T \\ s_{12}^D = s_{12}^E - d_{31} \beta_{33}^T \\ s_{13}^D = s_{13}^E - d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{33}^D = s_{33}^E - d_{33} \beta_{33}^T \\ s_{44}^D = s_{44}^E - (d_{14}^E + d_{15}^E) \beta_{11}^T \\ s_{66}^D = s_{66}^E \end{cases}$

表 3 LI 晶体全部电弹常数比较表

名 称	单 位	文 献			本 文
		[2]	[3]	[4]	
c_{11}^E	$\times 10^{11} \text{N/m}^2$	0.83	0.8124	0.830	0.830
c_{12}^E		0.39	0.3184	0.308	0.320
c_{13}^E			0.0925	0.156	0.297
c_{33}^E		0.57	0.529	0.548	0.592
c_{44}^E		0.18	0.1783	0.181	0.184
c_{66}^E		0.22	0.2470	0.261	0.255
s_{11}^E	$\times 10^{-11} \text{m}^2/\text{N}$				1.38
s_{12}^E					-0.393
s_{13}^E					-0.588
s_{33}^E					2.28
s_{44}^E					5.43
s_{66}^E					3.55
c_{11}^D	$\times 10^{11} \text{N/m}^2$		0.890		0.84
c_{12}^D			0.396		0.33
c_{13}^D			0.208		0.34
c_{33}^D			0.702		0.77
c_{44}^D			0.289		0.31
c_{66}^D			0.247		0.255
s_{11}^D	$\times 10^{-11} \text{m}^2/\text{N}$				1.36
s_{12}^D					-0.41
s_{13}^D					-0.49
s_{33}^D					1.71
s_{44}^D					3.49
s_{66}^D					3.55
e_{11}^T					13.3
e_{11}^S		8.2	7.9	8.4	8.3
e_{13}^T					8.8
e_{33}^S		6.4	5.9	6.6	6.6
β_{11}^T	$\times 10^9 \text{m/F}$				8.47
β_{11}^S					13.69
β_{33}^T					12.85
β_{33}^S					17.24
κ_{14}			0.07	0.05	0.09
κ_{15}		0.60	0.615	0.61	0.59
κ_{31}				0.14	0.11
κ_t		0.51	0.498	0.49	0.47
e_{14}	c/m^2		0.10	0.07	0.14
e_{15}		0.85	0.89	0.91	0.87
e_{31}			0.65	0.31	0.23
e_{33}		1.03	0.97	1.00	1.02

表 3 (续)

名 称	单 位	文 献			本 文
		[2]	[3]	[4]	
d_{14}	$\times 10^{-12} \text{c/N}$		3.7		7.6
d_{15}			24.7		47.3
d_{31}			-3.7		-3.7
d_{33}			46.3		21.1
g_{14}	$\times 10^{-2} \text{m}^2/\text{c}$				6.44
g_{15}					40.08
g_{31}					-4.76
g_{33}					27.12
h_{14}	$\times 10^9 \text{N/c}$				1.92
h_{15}					11.92
h_{31}					3.97
h_{33}					17.59

这两个量与其他作者的比较有一定差别。经我们验算文献中的 c_{13}^E 与 e_{31} 值,发现也有些矛盾。即按照压电关系式,将有关数据代入得出的 c_{13}^E 与 e_{31} 常数是不一致的。我们实际测量的 c_{13}^E 和 e_{31} 值,与文献[3, 4]比较也有一定出入。分析原因,除去测量引入误差外,LI 样品的奇异性也是误差的主要原因。其中起着重要作用的 d_{33} 值,在文献报道中出入就很大。

本项工作是在应崇福教授指导下完成的。测试用 LI 晶体是中国科学院物理研究所四室提供的。工作中得到本所刘忠齐、张守玉两同志,以及物理研究所四室和工厂的大力协助,一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院物理研究所碘酸锂研究小组, 物理, **1**(1972), 28.
- [2] A. W. Warner et al., *J. Acoust. Soc. Amer.*, **47**(1970), 791.
- [3] S. Haussühl, *Acoustica*, **23**(1970), 165.
- [4] 1977 IEEE Ul rasonics Symposium Proceedings, 77CH 1264—1 su.
- [5] К. И. Авдиенко и др., *Известия А.Н. СССР., Серия физическая*, **41** (1977), 700.
- [6] 北京钢铁研究院探伤组, 物理学报, **25**(1976), 82.
- [7] E. Sailer, *Phys. stat. sol.*, (a)**4** (1971), K 173.
- [8] 朱 镛等, 物理学报, **26**(1977), 115.
- [9] 刘忠齐、张守玉, 声学学报, **3**(1979), 199.
- [10] 刘鸿举等, 声学学报, **2**(1980), 134.

MEASUREMENT OF ALL COMPONENTS OF THE ELECTRO-ELASTIC TENSOR FOR α -LiIO₃ CRYSTAL

LIU HONG-JU ZHAO ZHE-YING SHI ZHONG-JIAN

(Institute of Acoustics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The present work discusses the method of measuring the all components of the electro-elastic tensor for the α -Li IO₃ crystal (LI). By means of theory of the thickness vibrational mode for piezoelectric plates, calculating formula of independent electro-elastic constants for LI had been developed. We measured the nonpiezoelectric-coupled elastic constants c_{11}^E and c_{66}^E by method of measuring velocity with acousto-optic synchronism. Finally, the 52 data of all components of the electro-elastic tensor and some of the electromechanical coupling factors for LI are given.