

# 静电场和压电振荡对 $\alpha$ -碘酸锂等晶体中子衍射强度的影响

杨 楨 程玉芬 牛世文  
(中国科学院原子能研究所)

李荫远  
(中国科学院物理研究所)

用中子衍射进行晶体结构的研究,是一个与常规的 X 射线结构分析方法各具特点、相辅相成的学科<sup>[1]</sup>。在通常情况下,被研究的晶体样品是处在自然状况下(室温,不加其他物理条件)的,但也有人作过晶体在特殊情况下(低温、高温、高压、磁场……等)的结构分析,目的是探索在这些特殊条件下晶体内部的变化规律。1960 年间,在中国科学院原子能研究所自制的中子晶体谱仪上,曾试用过处在压电振荡(即超声振荡)下的石英单晶进行中子衍射,发现衍射中子束的强度可以由于晶体的振荡而成倍增长<sup>[2]</sup>。这一现象在 1966 年以后国外也有工作报导<sup>[3,4]</sup>。1973 年后,我们继续开展了压电振荡对中子衍射影响的研究,先后作了压电振荡对石英等一些压电晶体引起中子衍射强度变化,此外并进行了静电场对某些晶体的中子衍射强度可能引起的影响等工作。在这两方面都得到了初步的结果,特别是  $\alpha$ -碘酸锂单晶在一定取向的静电场下使中子衍射强度发生改变的问题,是一个反映现象较多、值得进一步探索的问题。下面简单介绍一下这些工作的情况。

## 一、压电振荡对衍射强度的影响

我们先后选用了两种我国自己生长的压电单晶  $\alpha$ -碘酸锂和铌酸锂<sup>[5,6]</sup>进行了试验,仪器仍用中国科学院原子能研究所的中子晶体谱仪。在两种晶体上,都观察到压电振荡使衍射强度增大的现象(见图 1)。对  $\alpha$ -碘酸锂,还观察到衍射强度随着输入的振荡功率而增大的现象(见图 2)。就我们所知,在国外用中子衍射法作过的压电晶体中,除石英以外,仅在今年试过 KDP<sup>[7]</sup>和 ADP<sup>[8]</sup>,也是得出衍射束增强的效应,这和我们所试过的两种晶体合起来看,这种现象很可能是压电晶体的共性,这与国外目前较通行的、关于这一现象的理论解释<sup>[9]</sup>是一致的。

## 二、静电场和低频交变电场对 $\alpha$ -碘酸锂单晶中子衍射强度的影响

我们先后观察了氯化钠、石英、单畴化和未单畴化  
第 1 期

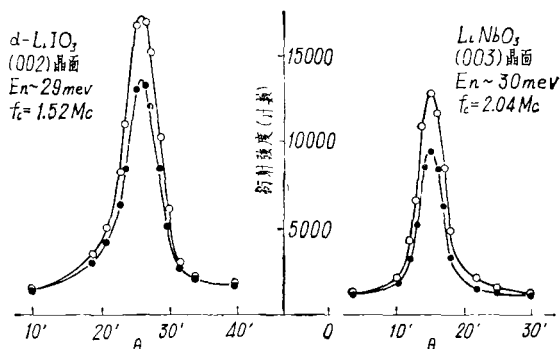


图 1  $\alpha$ -碘酸锂(左)及铌酸锂(右)单晶在压电振荡时衍射强度的增大

[○——振荡; ●——不振荡;横轴为晶体台的角度( $\theta$ ),曲线表示晶体在布喇格角度上及其附近的衍射强度;图中标出了中子能量  $E_n$ ,晶体衍射面( $hkl$ )和共振频率  $f_c$ ]

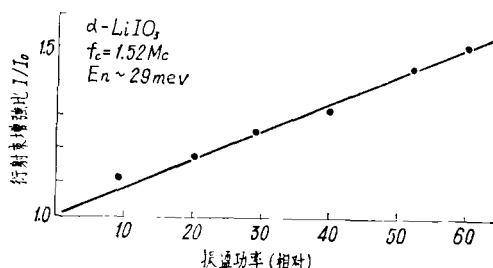


图 2  $\alpha$ -碘酸锂(002)面中子衍射强度与压电振荡功率间的关系

的铌酸锂、 $\alpha$ -碘酸锂等几种晶体在静电场中引起的衍射强度变化,在所观察过的这几种晶体中,仅有  $\alpha$ -碘酸锂一种晶体呈现了不同的性能:其某些晶面的中子衍射强度对电场具有特别灵敏的反应,例如在 0.25 厘米厚的 Z 切片两侧<sup>1)</sup>(见图 3)加上 1 伏电压,就能使(002)面的衍射强度增大  $\sim 13\%$ ;加 6 伏电压时该面的衍射强度增大一倍(见图 4)。由于这一现象的特殊性,我们进行了比较系统的实验观测,初步的结果如下:

1)  $\alpha$ -碘酸锂单晶的各个轴和以后要提到的一些晶面如(002),(010)……等的方向,都在图 3 中示意标出,正文中不再加说明了。

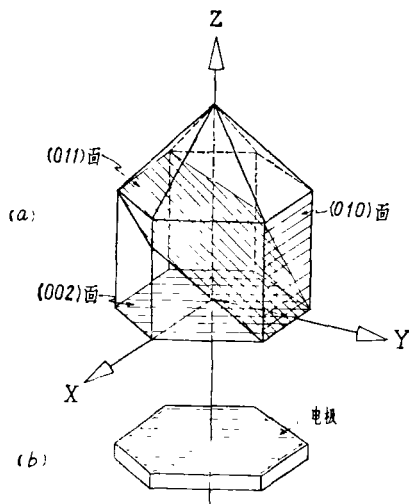


图3 (a)  $\alpha$ -磷酸锂单晶的XYZ方向以及(002)、(011)、(010)等晶面方向的示意图; (b)  $\alpha$ -磷酸锂单晶的Z切片

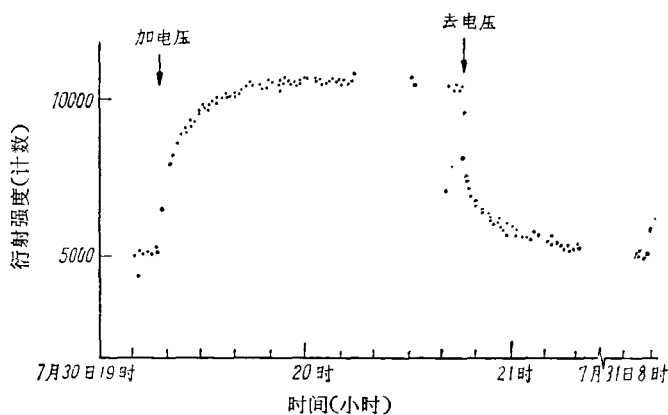


图4  $\alpha$ -磷酸锂单晶在Z向电场下衍射峰强度的变化(每一点表示一次测量结果)以及在加电压和去电压时的弛豫过程[(002)晶面, Z切片, 厚度: 0.25厘米, 电压: +6伏, 电流: ~5微安,  $E_p$ : ~29毫电子伏特]

1. 在Z向静电场(具体地讲,就是在晶体的Z切片两侧的电极上加上电压,见图3)的作用下,与Z晶轴成一定角度的(002)、(011)等晶面(见图3)衍射强度都显著地增大。

$\alpha$ -磷酸锂是电极性晶体,因而它的Z切片两侧为正负电极。我们观察到,在同样的外加电压下,电压的极性与晶体的电极同号(同号电压或正向电压)或反号(异号电压或反向电压)所引起的衍射强度增长率也不相同。

作为典型,图5列出了晶片(厚0.25厘米)在不同大小和方向的电压下(002)面衍射强度随外加电压的变化关系。

2. 同样的Z向电场对于与Z轴平行的(010)、(100)等晶面都不发生影响(衍射强度不变)。

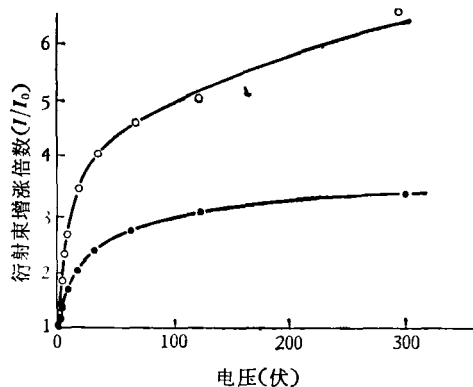


图5  $\alpha$ -磷酸锂单晶(002)面中子衍射强度与外加电场的关系(晶片厚0.25厘米,  $E_p$  ~29毫电子伏特;  $\circ$ ——表示正向电压;  $\bullet$ ——表示反向电压;由图可以看出,在低电压下  $I/I_0$  增长很快)

我们也试验了Y向电场,发现它对(010)面也没有影响,但对(002)、(011)等面却有较小但超出误差范围的影响,这影响是纯由Y向电场引起还是由其微小的Z向分量引起,尚待进一步探明。

这两个实验说明了电场对晶面的影响具有明显的方向性。

3. 在衍射束增强的同时,观察到衍射峰摇动曲线的变宽(见图6)。

衍射峰摇动曲线变宽的物理意义中,最容易想到的是晶体镶嵌结构变坏。但从我们的实验上看,它不属于这种机制,因为镶嵌结构变化势必引起所有衍射面的衍射强度都增大,而在我们的试验中,在同样的电场条件下,仅出现(002)面的强度增大,与(002)面相垂直的(010)(100)诸晶面的强度都不发生变化,这说明它不是镶嵌结构的变化,更可能的是在电场作用下(002)面及与它平行的其他晶面间距产生沿Z晶轴向微弱的、不均匀的变化所引起。

4. 弛豫现象:我们观察到,当加在晶片上的电压变化时,衍射强度的变化一般都不是瞬时的,而是先经历一段“过渡”过程,然后逐步趋于最后稳定值(见图4)。这个过程相当多样化,随电场的正、反向,晶体是从无电压开始加压还是从一定电压升到另一个电压等等,这一过渡过程都有所不同。它是否以一定形式反映了晶体内部的电极化过程?是一个值得注意的问题。

5. 除了直流静电场外,我们还初步试验了交变电场,观察到它的(002)晶面在沿Z向的、电压~300伏(有效值)、频率在1000周/秒以下的交变电场中也产生明显的强度增长现象,增长随着频率的下降不断加大,在50周/秒时约增一倍。按我们所用的晶体大小,这种频率已远在它的压电共振频率以下,因而它的性

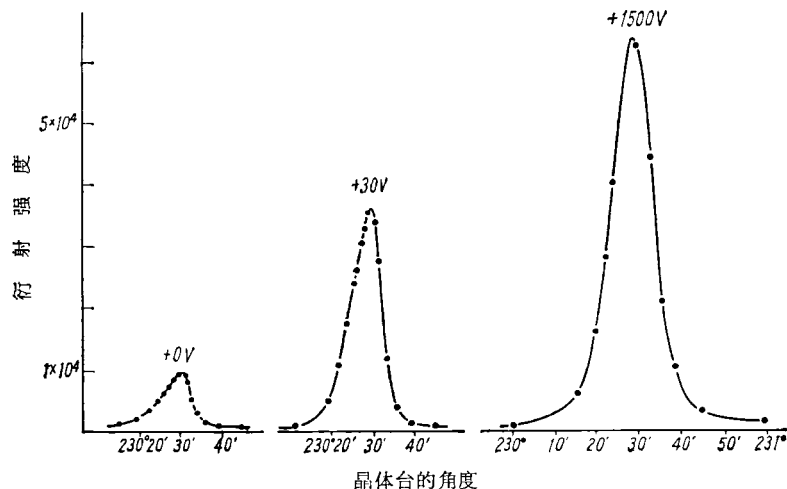


图6  $\alpha$ -碘酸锂单晶(002)面衍射峰摆动曲线变宽情况

[左为不加电压时; 中及右为加 + 30 伏及 + 1500 伏电压时。(002) 晶面,  $E_n = 29$  毫电子伏特]

质应与压电共振不同,而属于静电场效应的一类。

### 三、简短的讨论

对于压电振荡,前面我们已经简述了自己的看法。对于静电场效应,这种现象究竟反映了什么机制?这是目前尚待研究弄清的一个问题。从已观察到的衍射增强这一效应的各种特点,结合以前所作的超声压电振荡现象和有关理论来分析,我们认为最可能的是晶体内部由于某种原因产生了内电场的不均匀,因而使对应的晶面间距产生了微小的、非均匀的变化所引起。至于为什么会产生内场不均匀和为什么这样小的电场就能引起可觉察的晶面间距变化,则是尚待解决的问题。值得注意的是,已经知道 $\alpha$ -碘酸锂这种晶体在 $z$ 晶向具有特殊的电性能,例如电阻率特低,介电常数在低频部分异常地上升<sup>[10,11]</sup>等,都曾被人们注意和测量过,我们自己也简单地测试了这种晶片在 $z$ 向电压下的一些介电特性,同样发现它具有这种性能。我们特别观察到,例如在我们使用的一个样品上施加 + 30 伏电压约一小时后,晶面每平方厘米的储电量可达 1000 微库仑以上,然后在长达几天之内缓缓释出,且呈现明显的介电后效,这种充、放电和异常大的储电量(相当于 40 微法拉电容器的蓄电量)是否和内场不均和衍射强度变化之间存在一定的联系?这一现象能否在某些方面找到实际的应用?这些都是有待解决的问题,这些问题的存在都说明,我们所得到的仅仅是一个初步的结果,目前我们正在继续深入研究。我们相信,在批林批孔的大好形势和兄弟单位的大力协同下,一定能够在在这方面不继取得新的进展。

在我们进行试验的过程中,物理研究所的碘酸锂晶体研究小组和超声材料研究组的同志们为我们制备了多种的样品。

[后记] 最近兄弟单位观察到,在 1 厘米厚 $z$ 切片的 $\alpha$ -LiIO<sub>3</sub>单晶加直流电压到 800 伏以上时,两极间出现放电闪光现象,一部分电流可能通过晶体内部,但晶体嗣后并无破坏的迹象,我们在作中子衍射时没有同时测试放电性能,但是,由于我们是在干燥条件下并且在很低的电压(1/4 厘米晶片加 1 伏至 30 伏)下就观察到衍射强度的增加,并且所得出的  $I/I_0$  对电压的曲线(图 5) 和对电流的曲线都是平滑的,因而估计中子衍射强度的增加不是放电过程的后果。

### 参 考 文 献

- [1] Bacon, G. F., Neutron Diffraction, Clarendon Press, Oxford, 2nd ed., (1962).
- [2] 杨楨,张焕乔,周友朴,物理学报, **23** (1974), 447.
- [3] Moyer, M. W. et al., *Nature* **211** (1966), 400.
- [4] Kenney, E. S. et al., *Nucl. Inst. and Meth.* **117** (1974), 391.
- [5] 中国科学院物理研究所碘酸锂晶体研究小组,物理 **1** (1972), 28.
- [6] 中国科学院物理研究所超声压电材料组,物理 **3**, (1974) 17.
- [7] Sedlakova L. et al., *Phys. stat. sol. (a)* **22** (1974), K223.
- [8] Parkinson T. F. et al., *J. Appl. Phys.*, **45** (1974) 2021.
- [9] Buras, B. et al., *Phys. stat. sol.*, (a) **9** (1972), 423.
- [10] Arlt, G. et al., *Phys. stat. sol.*, **3** (1970), K243.
- [11] Sailer, E. et al., *Phys. stat. sol.*, **4** (1971), K173.