

c 向静电场作用下 α -碘酸锂单晶离子 输运过程的光学观测

张光寅 刘 健 冯尚婷

(南开大学物理系)

1983年12月5日收到

提 要

我们用偏光显微镜观察到 c 向电场作用下 α -碘酸锂晶体中产生的离子输运经过的纤维状细直通道及其发展过程,为离子管道电导模型^[1,2]提供了有力的证据.同时,我们观察到碘酸锂透射光偏振态的 90° 变化仅发生于该通道附近的现象,可以肯定这些大量的管道构成了产生 90° 变偏振的广角衍射带的光栅.

一、引 言

激光束通过 c 向静电场作用下的 α -碘酸锂单晶时,产生具有许多特异性质的广角衍射带,^[3,4,5]包含偏振态和入射光的偏振态一致的衍射带,与偏振态较之入射光的偏振态改变 90° 的衍射带.这些衍射带均垂直于 c 向.这是由于 α -碘酸锂加电场后产生了电荷密度涨落,因而产生一内电场,进而由于线性电光效应使晶体的介电张量在主轴坐标系中出现不为零的非对角元,从而引起异常衍射带^[6].这一唯象的理论模型基本成功地解释了 α -碘酸锂晶体加静电场后的上述光衍射现象.但对空间电荷密度涨落还有待于提出更具体的模型.

文献[3]中曾报道在 c 向静电场作用下 α -碘酸锂单晶的光学透射显微像 ($30\times$),大致分为三类: 1) 与晶体 $\{10\bar{1}0\}$ 面平行的层状结构,这类缺陷与晶体的生长层有关; 2) 与晶体的 c 向平行或接近平行的直的或波纹状的条纹结构,为了区别起见,暂称之为准直条纹; 3) 以 c 向为角等分线,相互交叉成 20° 左右角的条纹形成网络状的结构.文中说明,没有观察到这些条纹与偏振面突变 90° 的衍射带有明显的依存关系.

李荫远教授针对 α -碘酸锂的准一维电导特性曾提出了离子管道电导的设想,指出在 α - LiIO_3 晶体中有两种载流子,一种是间隙 Li^+ 离子,它沿着 c 向的略有曲折的管道从一个间隙位跳跃到另一个间隙位^[7]; 另一种为 Li 空位,也沿着 c 向不断和格位 Li 交换位置.根据测定 α - LiIO_3 中的电位分布满足 V^+-V^- 的关系^[8]证实了的确有上述二种载流子.因此,对 α - LiIO_3 中离子输运过程作较为直接的观测,以便对管道电导的设想提出

1) 按照李荫远教授的合理估算, Li^+ 的间隙位应在单胞中 $x=y=1/2, z=0, 1/2$ 处,其由 $z=0 \rightarrow 1/2 \rightarrow 1 \dots$ 的路径略为偏离了 c 轴方向.

有力的证据,同时对 90° 变偏振的广角光衍射带的产生原因提供更明确的依据乃是十分必要的。

二、实验观测

晶体为直角六面体块状样品, c 向厚度为 5mm, 在垂直于 c 轴的一对平面上涂上一层导电胶作为电极。平行于 c 轴的一对平面经光学抛光后作为通光面。在晶体 c 向上加 2kV 的同号直流电压置于偏光显微镜下观察。在检偏片和起偏片正交的情况下, 放大倍数为 300 倍时, 可清晰地看到一种平行于 c 向的细直线状亮条纹。若转动检偏片直至与起偏方向平行, 在这过程中均可看到文献[3]中提到的两种条纹: 准直条纹和网络状条纹。

我们特别感兴趣的是平行于 c 向的直线状亮条纹, 它们有如下几个显著特点。

第一, 观察到条纹的透射光的偏振态和入射光的偏振态不同, 互成 90° : 起偏平行于晶体 c 轴即 e 光入射时, 检偏要垂直于 c 轴才能清楚地看到条纹; 反之, 起偏垂直于 c 轴即 o 光入射时, 检偏要平行于 c 轴。亮条纹以外的背景基本上是暗的, 说明变偏振仅发生在条纹内。若检偏不垂直于起偏方向, 稍转一角度, 这种条纹就观察不清了。 e 光入射时条纹的透射强度要比 o 光入射时稍强。

第二, 这种直条纹是纤维状的细条纹。我们在 2.5kV 的 c 向同号电压下分别测得了两根有代表性的条纹宽度, 较粗的宽为 $1.3\mu\text{m}$, 较细的宽为 $0.7\mu\text{m}$ 。条纹间隔疏密不等, 一般为几微米到几十微米。

第三, 弛豫时间较长。加电场后, 首先在 ac 电压的阴极端出现直条纹, 这些直条纹渐渐向阳极伸长, 伸长速度不一, 条纹长短不一, 图 1 (见图版 I) 的四张照片即我们拍摄的在 2.5kV 同号电压下晶体中直条纹伸长的过程像。有些条纹直线延伸, 有些条纹先出现断续状, 而后连成直线。还能看到一些很亮的短直线, 虽然它也从阴极向阳极延伸, 但很亮的始终只有一小段, 这一小段经过的地方留下连续的较暗的直线。在这同时, 条纹的数量也增多了, 在阴极端越来越密集, 以致亮成一片。而靠近阳极端, 条纹末端不整齐, 排列成峰形, 有的出现分叉。很亮的短直线到阳极端后渐渐暗下来, 最后和它后面留下的直线一样亮。条纹从阴极到阳极的伸长过程需半小时多。我们在 $V_+ = 2.5\text{kV}$ 下测了其中很亮的短直线在靠近阳极区域的伸长速度, 约为 $0.4\mu\text{m/s}$, 在同样电压下直条纹从阴极到阳极的平均速度约为 $1.6\mu\text{m/s}$ 。去掉电压后, 条纹整体地逐渐变暗, 但阳极端条纹消失得比阴极端快。条纹完全消失的时间很长, 有时要三、四个小时。

第四, 加同号电压时出现的亮条纹比加异号电压时出现的亮条纹清晰。当大部分直的亮条纹伸长到晶体中部时, 若突然改变电场方向, 首先整个视场一下变暗, 而后, 最前面的条纹先消失, 阴极端消失得最晚。接着, 再渐渐出现一组新条纹。

第五, 当去掉电场条纹消失后再加电场时出现的条纹较以前的条纹是重新分布, 说明亮条纹的出现是随机性的。

第六, 条纹有体分布。当改变显微镜聚焦面时, 可看到晶体内部不同层次的条纹分布。未加电场时, 由于起偏和检偏方向互为正交, 所以视场很暗。加上电场后, 随着条纹

的出现,整个视场渐渐亮起来,这是晶体内部体分布的直条纹的共同作用。

我们在多块样品上作了观察。在 V_+ 低至 500 V 时也能观察到上述现象。

而准直条纹和网络状条纹同这种直线状直条纹有明显区别: 1) 前者仅在起偏方向和检偏方向垂直时观察不到,其余的夹角时均可观察到。2) 前者弛豫时间仅几分钟到十几分钟,而后的弛豫时间一般为数十分钟,有时长达几小时。3) 准直条纹和网络状条纹都比直条纹粗得多,放大 30 倍即可看清,而直条纹要放大 100 倍才看得比较清楚。

平行于 c 向的直线状亮条纹和垂直于 c 向的偏振态突变 90° 的衍射带有明显的依存关系。首先,直线状亮条纹的观察在起偏和检偏方向互相垂直时最清楚。也就是说,当入射光为 e 光时,直条纹的透射光是 o 光,当入射光为 o 光时,直条纹的透射光是 e 光。其次,加 c 向静电场后,阴极端先出现直条纹,而后渐渐向阳极端延伸,延伸至阳极端所需的时间和去电场后直条纹消失的弛豫时间同偏振态改变 90° 的衍射带出现和消失的弛豫时间是相符的,衍射带出现的先后区域也和直条纹是一致的。这种条纹决定了 $e \longleftrightarrow o$ 光的衍射带。

三、讨 论

我们对 c 向静电场作用下 α -磷酸锂晶体在起偏检偏互为正交时的显微观测为离子输运的管道电导模型提供了强有力的证据。由于电场作用,阴极附近的间隙 Li^+ 先向阴极端输运, Li 空位向阳极方向输运,接着更远处即中间区域和靠近阳极端区域的 Li^+ 陆续依次向阴极方向的 Li 空位填充,这在宏观上表现为直条纹的伸长过程。应当说, Li^+ 离子实际输运通道的宽度仅在数埃量级的线度内,而我们观察到的亮条纹宽度却有微米量级,这可能是由于 Li^+ 离子输运经过一定通道时,在其附近伴随地引起晶格畸变,导致空间电荷密度涨落,在通道附近产生一横向扩及微米量级线度的内电场区,进而由于线性电光效应,在这个内电场扩及的区域内产生 $e \longleftrightarrow o$ 光的转变,这使得我们在正交的起偏与检偏的条件下能够观察到微米量级宽度的纤维状的亮条纹。在亮条纹以外的区域相应于上述内电场等于零或很弱的区域,因而在那里不发生 $e \longleftrightarrow o$ 光的转变。

我们观察到有些条纹较亮较粗,有些条纹较暗较细,同时,加电场后条纹都有一个由暗变亮的过程,这可能是由于在一条纤维状的亮条纹内不只包含一根输运通道,而且有可能在同一通道中发生多次输运过程。

晶体是结构敏感的,在有的区域间隙 Li^+ 和 Li 空位可能较阴极附近更多,因而在加电场的初始时刻表现为断续的直线。而且离子输运的管道并不固定,对于每次加电场,管道的分布是随机的,但形成过程大致一样。

由于 90° 变偏振的广角衍射带与我们观察到的直线状亮条纹有明显的联系,因此可以肯定这些直条纹显示的大量的离子输运管道构成了产生这些衍射带的空间光栅。

本工作得到吴仲康副教授的支持和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 张安东等,物理学报, **29**(1980), 1158; *Chinese Physics*, **1**(1981), 923.
- [2] 许政一等,物理学报, **28**(1979), 694.
- [3] 杨华光,物理学报, **29**(1980), 1039.
- [4] 许政一等,物理学报, **31**(1982), 615.
- [5] 杨华光等,物理学报, **30**(1981), 928.
- [6] 顾世杰、李荫远,物理学报, **32**(1983), 888; 900; *Scientia Sinica*, (2)(1984).

OPTICAL OBSERVATION OF THE IONIC TRANSPORTATION AND ITS RELAXATION IN α -LiIO₃ UNDER THE DC ELECTRIC FIELD ALONG c -AXIS

ZHANG GUANG-YIN LIU JIAN FENG SHANG-TING

(Department of Physics, Nankai University)

ABSTRACT

Having observed directly the fibre channels in which the ions transport and their relaxation with a polarizing microscope, we have provided a strong evidence for the model of the channel conductance in the c -direction. At the same time, we observed that a rotation of $\pi/2$ in the polarization of transmission light only takes place near the channels for α -LiIO₃. It is sure that the grating which produces light diffraction beam subtending large angles and turning its polarization to $\pi/2$ consists of the many channels.