

LiKSO₄ 单晶体内体位相光栅引起的光衍射现象

杨华光 李晨曦 黄玉珍

(中国科学院物理研究所)

1983年10月6日收到

提 要

本文报道光通过 LiKSO₄ 单晶体产生的有规律性的衍射现象,衍射环和衍射带. 观察了不同实验条件对衍射现象的影响,可以肯定这些现象是波矢 k 垂直于 c 轴的体位相光栅所产生. 伴随衍射环内外各出现副环的来源尚未能理解.

引 言

已知单晶体内由于某种作用引起各向异性涨落,形成了体位相光栅. 如 LiNbO₃ 单晶,由于光感生折射率变化,在晶体内形成体位相光栅^[1]. 离子导体 α -LiIO₃ 单晶体,在 c 向静电场作用下,晶体内空间电荷分布涨落,产生内电场涨落,经电光效应导致介电张量相应的涨落,这引起了许多具有特异性质的衍射现象^[2-4]. 本文报道光通过 LiKSO₄ 单晶体产生衍射图案,我们观察了光的偏振态、光的波长、晶体的温度对衍射图案的影响,可以肯定这些衍射图案是波矢垂直于 c 轴的体位相光栅所产生. 我们初步认为晶体内存在弹性应变,应变在垂直于 c 轴方向存在涨落,通过弹光效应,使晶体的介电张量有相应的涨落,因而在晶体内形成了上述的光栅.

实 验 与 解 释

LiKSO₄ 单晶是从水溶液慢蒸发生长出来的. 它是无色透明的,其室温相的空间群是 $P6_3$ ^[5], 属于单光轴,负光性,双折射率非常小^[6]. 从晶体上切取厚度为 5mm 的 c 切样品. c 面经 X 射线衍射定向,偏差小于 10', 并抛光作为通光面,一束线偏振的激光通过样品,迎着光束的方向置一观察屏,观察光的衍射图案. 使用的激光是 6328 Å 的 He-Ne 激光,其功率从 0.3mW 至 20mW,或 4880 Å 的氩离子激光,其功率为 3mW. 我们观察到的衍射现象有如下特点:

1. c 面通光,当入射光束与晶体的 c 轴的夹角为 ϕ 时,观察到一衍射圆环,称之为主衍射环. 随 ϕ 角加大,主衍射环的直径加大,环的宽度变窄. 当主衍射光强很强时,在主衍射环的内部和外部可以观察到若干个强度很弱的同心圆环,(称之为副环)其偏振态与主

衍射光的偏振态相同,见图版 I 图 1. 光束的透射光斑落在主衍射环上,其位置基本上不随 ϕ 角改变. 如果入射光为 o 光,衍射光为 e 光. 反之亦然. 没有观察到偏振方向不变的衍射环. 当 ϕ 角等于零时,衍射环退化为衍射圆亮斑,透射光斑在其中心. 这圆亮斑的偏振方向与透射光斑的偏振方向差 90° .

2. 衍射环和副环是以晶体为顶点的同中轴的圆锥面在观察屏(或照片)上的截线. 用角度 ϕ 表示主衍射锥顶角的一半. 实验测量表明 ϕ 角基本上等于 ϕ 角. 这一事实与使用的样品的厚度. 入射光的偏振态和波长没有关系. 样品的温度从室温升至 400°C , 也没有观察到 ϕ 角对 ϕ 角的偏离.

3. 若把晶体加工成以 a 面 ($(11\bar{2}0)$ 面) 或 b 面 ($(10\bar{1}0)$ 面) 为通光面的样品, 光束垂直于 c 轴入射时, 则可观察到一条具有精细结构的垂直于 c 轴的衍射带. 见图版 I 图 2 这是入射光为 e 光, 衍射光为 o 光的照片.

4. 不同样品, 同一样品的不同部位, 衍射光强有很大差别, 但与入射光强比较, 衍射光强总是弱的, 它小于入射光强的百分之一.

5. 与主衍射环不同, 副环的直径明显地与波长有关. 设从主衍射环向外数, 副环的序数为正, 向内数, 序数的负, 在 ϕ 角为 2° 时, 分别用波长为 $6328 \text{ \AA}$ 和 $4880 \text{ \AA}$ 的入射光, 测得的 $\phi^{\pm n}$ 的值 (n 为序数) 列于表 1.

表 1

波长($\text{\AA}$)	$\phi^{-2}(^\circ)$	$\phi^{-1}(^\circ)$	$\phi^{+1}(^\circ)$	$\phi^{+2}(^\circ)$	$\phi^{+3}(^\circ)$
6328		1.42	2.50	2.81	3.08
4880	1.23	1.63	2.38	2.62	2.84

把 a 面或 b 面通光的样品置于正交偏光显微镜下观察, 可观察到平行于 c 向的条纹. 图 3(见图版 II) 是典型的样品的显微照片 ($30\times$)

上述的实验现象与静电场作用下 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 中观察到的衍射现象有许多相似之处^[2,3]. 在 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 中由于施加电场, 空间电荷涨落形成波矢 k 大致垂直于 c 向的位相光栅, 产生了衍射现象, 而且这种空间涨落与晶体中某种类型的缺陷有一定的关联^[4]. 在 LiKSO_4 中未加外电场, 不太可能产生空间电荷涨落引起的光栅效应. 我们设想 LiKSO_4 单晶体存在垂直于 c 向的弹性应变涨落, 由于弹光效应, 晶体的介电张量有相应的涨落, 晶体内部形成了体位相光栅. 引用文献[4]对 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 问题的处理方法, 可以解释观察到的衍射几何关系. 设光栅的波矢 k 垂直于 c 轴, 其大小可取各种不同值. 当入射光波矢 k_1 , 衍射光波矢 k_2 和 k 满足布喇格关系 $k_2 = k_1 + k$ 时, 则发生衍射. 图 4 表示入射光为 o 光时的衍射几何(入射光为 e 光时情况类似). 从图 4 可以看出 k_2 的终端落在旋转椭球面与垂直于 c 轴并通过 k_1 终端的平面的交截线上. 这是以 c 轴与该平面的交截点为中心的一个圆. 所以 k_2 总是落在以 c 轴为中轴, 半角为 $\phi' = \phi' - \delta$ 的圆锥面上. ϕ' 是晶体内部入射光束与 c 轴之夹角. 经简单运算得到

$$\phi' = \phi' - \delta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{n_c}{n_o} \text{tg} \phi' \right).$$

如果入射光为 e 光, 则得到

$$\phi' = \phi' + \delta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{n_o}{n_e} \operatorname{tg} \phi' \right).$$

ϕ' 为晶体内衍射光与 c 轴的夹角, δ 为晶体内 k_1 和 k_2 的夹角, n_o 和 n_e 分别是寻常光和

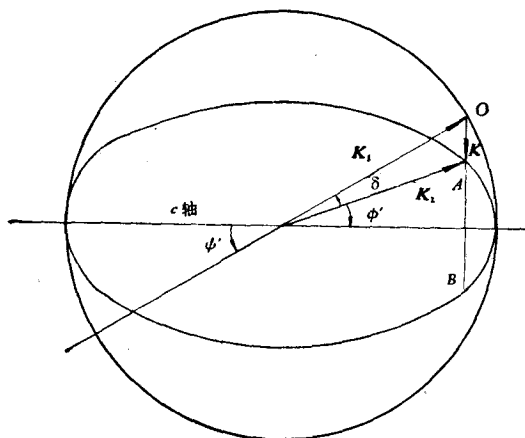


图 4 晶体内光衍射几何图

当 k_2 终端落在 A, B 点时则满足布喇格条件, 发生衍射. 由于 LiKSO_4 双折射率很小, o 和 A 几乎重合

还可以认为 $\phi = \phi'$.

从文献[1]知道体位相光栅的衍射效率为

$$\eta = \sin^2 \left[\left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \frac{|e_{11} \delta \epsilon_{11} e_{21}|}{\sqrt{k_{1z} k_{2z}}} \cdot d \right],$$

式中 k_{1z}, k_{2z} 分别是 k_1, k_2 在样品面法线方向的投影; e_1, e_2 分别是入射光和衍射光的电矢量方向的单位矢量; $\delta \epsilon$ 是介电张量的变化. 参照文献[7]给出的弹光张量表, 可以导出偏振面变化的光衍射效率不等于零, 也不排除偏振面不变的衍射. 由于没有查到 LiKSO_4 的弹光系数的实测数据, 我们未能对衍射现象作进一步分析.

从图 4 可以看出, 当 $\phi' = 0$ 时, 衍射环应变为点. 而在实际中观察到的是一圆亮斑, 如图 1(a) 所示. 圆亮斑的半张角约为 1° , 远大于入射光的发散度. 这是由于 k 不是严格垂直于 c 轴, 而是绕着垂直 c 轴的方向有一小角度分布, 圆亮斑的张角反映了这种分布.

上述的强度很弱的副环的起因尚有待于进一步的实验考察和理论分析. 值得指出的是, 在 a 面或 b 面通光产生的衍射带并不伴生类似的现象.

除了上述的衍射现象外, 我们还在个别的 LiKSO_4 晶体样品中观察到较复杂的衍射图象. 样品是以 b 面为通光面, 当入射光为 e 光, 沿 b 向入射时, 衍射图象如图 5 (见图版 II) 所示. 图 5(a) 是偏振面变化的衍射图象, 图 5(b) 是偏振面不变的衍射图象, c 轴在水平方向. 晶体与照片的距离为 40cm 改变入射光的偏振态, 入射光相对于 b 的取向, 衍射图象作有规律的变化¹⁾. 这种衍射的几何关系解释起来较为困难. 但作者认为其起因

1) 内部实验报告.

异常光的折射率. 从文献 [6] 知道 LiKSO_4 晶体对于波长为 $4880 \text{ \AA}$ 和 $6328 \text{ \AA}$ 的光双折射率 $n_o - n_e = 0.0005$. 在我们实验观察精度内, 可以认为 $\phi' = \phi' - \delta = \phi'$. 从而得到: 1) 透射光斑总是落在主衍射环上; 2) $\phi = \phi$, 衍射环的直径随 ϕ 角增大而增大. 当 $\phi = 90^\circ$ 时, 即以 a 面或 b 面为通光面, 光束垂直于 c 轴入射时; 衍射环则应退化为一垂直于 c 轴的衍射带. 正如图 2 所示; 3) o 光与 e 光产生的衍射环的直径相同; 4) 两种波长光产生的衍射环直径相同; 5) 晶体的温度从室温变到 400°C , 按文献 [6], $n_o - n_e$ 约增大 4 倍, 即使如此,

也是由于应变涨落有特定的分布.

本工作得到李荫远教授的指导和许政一、成希敏、王胜利等同志的帮助,谨致谢意.

参 考 文 献

- [1] M. P. Petrov *et al.*, *J. Optics (Paris)*, **12**(1981), 287.
- [2] 杨华光,物理学报, **30**(1981), 928.
- [3] 许政一等,中国科学, A辑, (12)(1982), 1102; *Scientia Sinica*, **26** (1983), 637.
- [4] 顾世杰、李荫远,物理学报, **32**(1983), 888; *Scientia Sinica*, 待发表.
- [5] A. J. Bradley, *Phil. Mag.*, **49**(1925), 1225.
- [6] H. Blittersdorf, *Z. Kristal.*, **71**(1929), 141.
- [7] J. F. Nye, *Physical Properties of Crystals* (Oxford at the Clarendon Press. 1957), 第13章.

LIGHT DIFFRACTION FROM VOLUME PHASE GRATINGS IN LiKSO_4 SINGLE CRYSTALS

YANG HUA-GUANG LI CHEN-XI HUANG YU-ZHEN
(*Institute of Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper special light diffraction phenomena and diffraction bands and rings observed when a laser beam passed through a LiKSO_4 single crystal are reported. These phenomena were investigated in various experimental conditions. It is concluded that the phenomena are caused by volume phase gratings with wave vectors perpendicular to c axis in LiKSO_4 . It is tentatively assumed that a fluctuation of the elastic strain in the direction perpendicular to c axis in LiKSO_4 , and therefore a related fluctuation of the dielectric tensor is produced in that direction through the photoelastic effect. As a consequence, anisotropic volume phase gratings is formed in the crystals. No explanation is given to the appearance of secondary rings both inside and outside the main diffraction as the laser beam incident nearly normal to the c axis.