

光束通过碘酸钾单晶产生的衍射 花样及其与相变的依存关系

王 琇 肖定全 郑文琛 罗桂芸
(四川大学物理系)

吕 孟 凯
(山东大学晶体材料研究所)

1985 年 1 月 3 日收到; 1985 年 5 月 2 日收到修改稿

提 要

实验观察到了激光束通过 KIO_3 单晶时产生的偏振态改变 90° 的衍射带和衍射斑. 研究了从室温到 240°C 温度范围内衍射光强随晶体温度的变化, 当 $T = 72^\circ\text{C}$ 时衍射光强突然急剧增加, $T = 212^\circ\text{C}$ 时衍射光强几乎减小到零, $T > 212^\circ\text{C}$ 时观察不到衍射光. 72°C 和 212°C 分别与有关文献报道的 KIO_3 的两个相变温度相同.

一、引 言

KIO_3 单晶在室温下具有良好的光学和电学性质, 早已引起国内外有关研究者的注意. 最近, 山东大学晶体材料研究所成功地培育出光学质量较好的大块单晶^[1], 为研究 KIO_3 的基本性质和开拓实际应用提供了良好的条件. 十多年来, 人们对 KIO_3 的结构作了许多研究, 但报道的结果很不一致^[2-5], 较多的研究者认为 KIO_3 可能属于单斜、三斜或三方晶系. 光学观测表明 KIO_3 为负双轴晶体^[3,5]. 本文报道光通过 KIO_3 单晶产生的偏振态改变 90° 的衍射带和衍射斑以及衍射光强与晶体相变的依存关系等有关结果.

二、实验与结果

用水溶液法培育的 KIO_3 单晶是无色透明的六方柱体, 柱体的棱向与晶体的生长方向和极轴方向平行. 我们根据晶体的外形选取直角坐标系 $o-xyz$: z 轴平行于生长方向, y 轴垂直于柱面, 并规定垂直于 x, y, z 轴的面分别为 x, y, z 面. 把晶体切成平行六面体, 并进行光学抛光. 用波长为 $6328 \text{ \AA}$ 的内腔式 He-Ne 激光器作光源, 在样品前后各置一起偏器和检偏器, 光束偏离正入射方向通过晶体的通光面, 在迎着光束放置的屏上观察衍射花样. 当光束正入射时通常观察不到衍射花样.

1. 室温下的光衍射现象

(1) 以 x 面或 y 面为通光面, 光束与通光面斜交通过样品, 在正交偏光下可观察到具

有精细结构的衍射带,如图 1,2(见图版 I)所示. 当入射光的电矢量与 z 轴平行时衍射带的电矢量与 z 轴垂直,当入射光的电矢量与 z 轴垂直时衍射带的电矢量与 z 轴平行. 上述偏振态发生 90° 突变的两种衍射分别用 $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 和 $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$ 模式来表示. 从图 1(b) 中可以看出, $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 和 $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$ 两种衍射带的强度大致相同,它们的分布大体上是上下对称的. 当样品绕 z 轴旋转 180° 时,图 1,2 中的衍射带的取向将以晶体的 z 面为对称面而反向. x 面通光与 y 面通光时的衍射带的形状有所不同,但不同样品在 x 面和 y 面通光时衍射带的取向总是分别呈图 1 和图 2 那种特定分布. y 面通光时, $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 和 $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$ 两种衍射带彼此靠得很近,甚至互相重合. 图 1,2 所示的衍射花样对所有晶体样品都比较容易观察到. y 面通光时,以自然光入射,在出现 $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 和 $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$ 衍射带的同时偶尔还会出现偏振态不变的通过透射光斑的直衍射带. 在晶体的某些部位上, y 面通光时,还观察到 $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 和 $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$ 衍射光斑.

(2) 以 z 面为通光面,光束斜入射,在晶体的个别部位上,可观察到弯曲的衍射带,如图 3(a)(见图版 II)所示. 该图是将晶体前后的偏振器去掉,以自然光入射时拍摄的. 在三条衍射带中,中间一条的偏振态与入射光的偏振态相同,另外两条的偏振方向彼此互相垂直,并分别与产生它们的入射光的偏振方向差 90° . 随着入射角 α 的减小,衍射带的曲率缓慢增加,带间的距离缓慢减小. $\alpha = 12^\circ$ 左右时,三条衍射带变直. 改变入射角,在衍射带消失之前,未能使三条带相互重合. 在晶体的个别部位上,以自然光入射时,我们还观察到如图 3(b)(见图版 II)所示的菱形图案,它也是由偏振态不同的衍射光形成的. 此时弧形衍射带没有出现,而与菱形图案同时出现的是三条强度很低的直线形衍射带,其偏振态与图 3(a) 相类似. z 面通光时还可以观察到其它更为复杂的衍射花样.

2. 衍射光强随温度的变化及其与相变的依存关系

在室温至 240°C 的温度范围内研究了 KIO_3 单晶的偏振态改变 90° 的衍射光强随晶体温度的变化. 将晶体置于特制的可通光的微型加热炉内加热,用经过校正(误差 $< 0.5^\circ\text{C}$) 的铜-康铜热电偶测量温度. 用光电倍增管作接受器测量衍射光强的变化,倍增管前置一直径为 10mm 的光阑,使倍增管只接受衍射光斑或一小段衍射带. 分别用长途记录仪和 X-Y 函数记录仪记录衍射光强的变化,同时监测 He-Ne 激光器输出功率的微小起伏. y 面通光,对 $E_{\parallel} \rightarrow E_{\perp}$ 衍射带的测量结果如图 4 所示. 由图 4 可以看出,升温过程中当晶体温度达 72°C 时,衍射光强突然急剧增加,以后衍射光强随温度的增加而降低, 212°C 时衍射光强几乎减小到零,高于 212°C 以后观察不到衍射

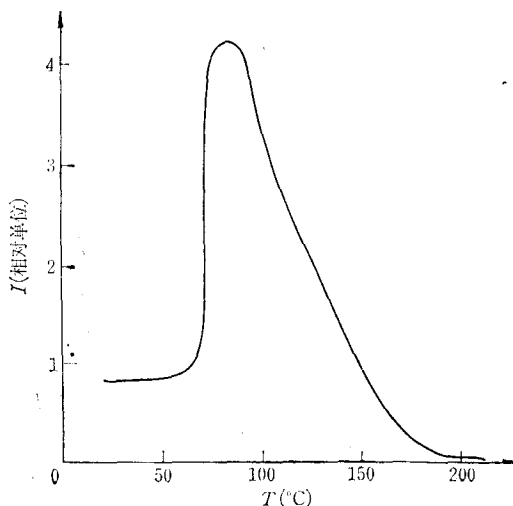


图 4 KIO_3 单晶的偏振态改变 90° 的衍射光强与晶体温度的关系

光. 衍射光强在突变过程中有小的波动, 当光强达到最大值后 ($T > 72^\circ\text{C}$ 的一小段温度范围内), 衍射光强有时会出现一定的起伏. 尽管不同样品或同一样品的不同部位的衍射光强随温度变化的幅度有所不同, 但 $T = 72^\circ\text{C}$ 时衍射光强发生突变, 在 $T = 212^\circ\text{C}$ 时光强为零, 则是确定不变的. 上述结果在对同一样品进行多次升温时能完全重复. 我们还测量了 y 面通光时 $E_\perp \rightarrow E_\parallel$ 衍射带和衍射斑强度随温度的变化, 所得结果与上述结果一致.

在整个升温过程中, 衍射花样只是强度发生变化, 形态基本不变. 在测量温度范围内偏振态不变的透射光斑一直存在, 强度没有明显的变化.

表 1 用不同方法测得的 KIO_3 晶体的相变温度

温 度	作 者	测量方法
72°C	Herlach ^[6] Naray-Szabo & Kalman ^[7] Crane ^[9] Ivanov, Shuvalov & Chikhladze ^[8] 本文	nqr , $\varepsilon(T)$ DTA $dP/dT(T)$ $2V(T)$, $\delta n_z(T)$, $P_{sf}(T)$ $I(T)$
150°C	Crane ^[9] Hettich ^[9] Herlach ^[6] Ivanov, Shuvalov & Chikhladze ^[8] 本文	$2V(T)$ 压电测量 (未观察到) nqr , $\varepsilon(T)$ (未观察到) $2V(T)$, $\delta n_z(T)$, $P_{sf}(T)$ (未观察到) $I(T)$
212°C	Crane ^[9] Herlach ^[6] Salje ^[9] 本文	$2V(T)$, $dP/dT(T)$ nqr , $\varepsilon(T)$, X 射线衍射 $\varepsilon(T)$ $I(T)$

许多人用不同的方法研究了 KIO_3 晶体在 $T < 240^\circ\text{C}$ 时的相变 (参见表 1). 所用的方法有: 热释电测量 $dP/dT(T)$, 光轴角随温度的变化 $2V(T)$, 双折射随温度的改变 $\delta n_z(T)$, 介电测量 $\varepsilon(T)$, nqr 法, 铁电自发极化的变化 $P_{sf}(T)$, 差热分析 (DTA), X 射线结构分析, 等等. 这些测量结果表明, KIO_3 晶体在 72°C 和 212°C 分别发生 $\gamma \rightarrow \beta$ 和 $\beta \rightarrow \alpha$ 的相变^[9]. 我们根据图 4 所示的偏振态改变 90° 的衍射光强随温度的变化 $I = I(T)$, 测得 KIO_3 的两个相变温度分别为 72°C 和 212°C , 与用其它方法测得的结果完全一致. 对有争议的 150°C 附近的相变, 在衍射光强与温度的关系中没有明显地表现出来.

三、讨 论

KIO_3 单晶中存在着电畴和李晶^[5,8], 我们在正交偏光显微镜下观察到明暗相间、取向不同的平行条纹, 条纹的间隔分布在自数 μ 到数十 μ 的范围内, 如图 5 所示 (见图版 II), 该图是以 z 面为观察面时拍摄的. 以 x 面和 y 面为观察面亦能观察到类似的条纹. 这些条纹很可能就是存在于晶体中的电畴和李晶. 我们认为 KIO_3 单晶的光衍射现象可能就

是由这些条纹形成的体位相光栅引起的。

文献[10]曾报道了 LiKSO_4 单晶的光衍射现象, 该文作者在后来的实验中已证实光束通过 LiKSO_4 单晶产生的偏振态改变 90° 的衍射光是由该晶体中的多畴引起的。

未加电场时 LiKSO_4 和 KIO_3 单晶产生衍射光的机制与静电场作用下 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 单晶产生衍射光的机制^[11-13]不同: 前两者的畴结构是在培育晶体过程中自然长入的; 而后者是单畴晶体^[14], 其相位光栅是在外加静电场下沉积的空间电荷形成的。

KIO_3 单晶的衍射光强在 72°C 时突然增加, 在 212°C 以上消失, 表明衍射光强的变化与相变密切相关, 因而衍射光强的变化可以作为相变的附加判据。相变处晶体的畴结构影响衍射光强的机制有待进一步研究。

胡伯清同志提供了部分文献索引, 工作中得到夏子芳和焦志峰同志的帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 吕孟凯、张克从, 科学通报, **29**(1984), 64; *Kexue Tongbao*, **29**(1984), 566.
- [2] U. Helg, *Z. Kristallogr.*, **131**(1970), 241.
- [3] 松村慎夫, 应用物理, **39**(1970), 241.
- [4] В. Р. Калинин, В. В. Илюхин, Н. В. Белов, *ДАН СССР*, **239** (1978), 590.
- [5] G. R. Crane, *J. Appl. Cryst.*, **5**(1972), 360.
- [6] F. Herlach, *Helv. Phys. Acta.*, **34** (1961), 305.
- [7] I. Naray-Szabo & A. Kalman, *Acta. Cryst.*, **14**(1961), 791.
- [8] N. R. Ivanov, L. A. Shuvalov & O. A. Chikhladze, *Phys. Lett.*, **45**(1973), 437.
- [9] E. Salje, *Z. Kristallogr.*, **134**(1971), 107.
- [10] 杨华光、李晨曦、黄玉珍, 物理学报, **33**(1984), 769.
- [11] 杨华光, 物理学报, **30**(1981), 928.
- [12] 顾世杰、李荫远, 物理学报, **32**(1983), 888; 900; 英译见 *Chinese Phys. (AIP)*, **4**(1984), 260; 273.
- [13] Li Yin-yuan, *Chinese Phys. Letters*, **1**(1984), 49.
- [14] 李荫远、范海福、贾寿泉, 中国科学, (1)(1973), 96; *Scientia Sinica*, **16**(1973), 130.

THE DIFFRACTION PATTERNS PRODUCED BY A LASER BEAM PASSING THROUGH POTASSIUM IODATE CRYSTALS AND THEIR DEPENDENCE ON THE PHASE TRANSITIONS

WANG XIU XIAO DING-QUAN ZHENG WEN-CHEN LUO GUI-YUN

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

LU MENG-KAI

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan)

ABSTRACT

In this paper, the diffraction bands and spots experimentally observed when a laser beam passed through a KIO_3 single crystal are reported. The bands and spots are formed by the diffracted beam, the plane of polarization of which rotates 90° with respect to that of the incident beam. The temperature dependence of the diffracted light was investigated in the region from room temperature to 240°C . It was found that when $T = 72^\circ\text{C}$ the intensity increased abruptly, when $T = 212^\circ\text{C}$ it decreased almost to zero, and when $T > 212^\circ\text{C}$ no diffracted light was observed. The two temperatures, 72°C and 212°C , determined from the anomaly of the intensity dependence, are in agreement very well with the phase transition temperatures of KIO_3 crystals reported in the literature.



(a) $E_H \rightarrow E_L$



(b) $E_H \leftrightarrow E_J$

图1 x 面透光时的衍射带, z 轴在竖直方向, 正交偏光下拍照, 入射角 $\alpha = 10^\circ$, 晶体与屏的距离 $l = 125\text{mm}$



图2 y 面透光时 $E_H \rightarrow E_L$ 衍射带, z 轴在竖直方向, 正交偏光下拍照, $\alpha = 11^\circ$, $l = 105\text{mm}$



(a) $\alpha = 3'$, $l = 500\text{mm}$



(b) $\alpha = 12^\circ$, $l = 780\text{mm}$

图3 π 面通光时的衍射花样



图3 KIO_3 单晶的显微照片 (150 $\times$)