

# 椭圆偏光法研究晶体各向异性光学性质\*

## 对 KNSBN 铁电晶体的应用

胡其宏<sup>1)</sup> 陈树光 莫 党

中山大学物理系

1988年9月12日收到

本文分析了椭圆偏光法测量各向异性晶体时入射角和起偏角对测量灵敏度的影响,着重讨论了如何选择合适的实验条件以测量低度各向异性 ( $|n_o - n_e| < 0.1$ ) 晶体的光学性质. 利用单波长椭圆偏仪和多波长椭圆偏谱仪测量了方解石和 KNSBN 铁电晶体样品,得到各向异性折射率和消光系数值,与文献有关结果作了比较. 对于  $|n_o - n_e| < 0.1$  的 KNSBN 铁电晶体,获得了可靠的结果.

### 一、引 言

椭圆偏光法具有无破坏性、灵敏度高、适用性广以及能同时测出多个光学参数的特点. 近十几年来,用此法研究各向异性材料的工作日益增多. Kötze 等人<sup>[1-3]</sup>通过测量椭圆偏参数随样品方位角的变化分析金属的清洁表面和表面吸附层的各向异性,但没有计算出普遍的光学参数; De Smet<sup>[4]</sup>表述了用椭圆偏仪测量单轴晶体的电动力学理论,并测量了两种各向异性较大的样品 ( $|n_o - n_e| > 0.1$ ),获得了较好结果; Xu 等人<sup>[5]</sup>用光度式反射椭圆偏仪测量计算了几种单轴铁电晶体的主折射率,但是样品的  $|n_o - n_e| > 0.35$ .

有许多重要的铁电晶体、非线性光学晶体的光学各向异性并不很大,  $|n_o - n_e| < 0.1$ . 对于这些低度各向异性晶体,能否用椭圆偏光法进行测量? 如何进行测量? 这便是本文研究的目的.

本工作在前人的理论<sup>[4]</sup>基础上,着重分析了椭圆偏光测量中入射角及起偏角对测量灵敏度的影响,找出测量各向异性小 ( $|n_o - n_e| < 0.1$ ) 的材料实用实验条件. 实验上,测量计算了几种单轴晶体的主折射率和消光系数,其中方解石和 KNSBN 铁电晶体<sup>[6-8]</sup>(即  $(K_xNa_{1-x})_{0.4}(Sr_yBa_{1-y})_{0.6}Nb_2O_6$  新型铁电晶体)的结果与文献值相符合. 结果表明,椭圆偏光法也适用于测量 KNSBN 等各向异性小的铁电晶体,但需要控制适当的测量条件并进行精细测量.

\* 国家自然科学基金资助的课题.

1) 现在工作单位: 广东省佛山大学物理系.

## 二、光在单轴晶体表面的反折射理论

光从具有正常折射率  $n_o$ , 正常消光系数  $k_o$ , 反常折射率  $n_e$ , 反常消光系数  $k_e$  的单轴晶体上反射. 当晶体主光轴平行反射表面并与入射面夹角  $\xi$ , 入射角  $\phi$  时, 反射光与入射光成线性关系

$$E_{pr} = R_{11}E_{pi} + R_{12}E_{si}, \quad E_{sr} = R_{21}E_{pi} + R_{22}E_{si}. \quad (1)$$

文献[4]中计算得出反射系数  $R_{ij}$  为  $(\phi, \xi, n_o, n_e, k_o, k_e)$  的函数. 对吸收样品,  $R_{ij}$  为复数量.

消光型单波长椭偏仪(例如 TP-77 型测厚仪)的测量值  $(A, P)$  与  $R_{ij}$  的关系为

$$\frac{E_{pr}}{E_{sr}} = \frac{R_{11}e^{i\delta} + R_{12}}{R_{21}e^{i\delta} + R_{22}} = -\tan A, \quad e^{i\delta} = \frac{E_{pi}}{E_{si}} = e^{i(2P-90^\circ)}. \quad (2)$$

用光度型多波长椭偏光谱仪(例如 TPP-1 型椭偏仪<sup>[5]</sup>)测量, 椭偏参数  $(\psi, \Delta)$  与  $R_{ij}$  的关系为

$$\frac{E_{pr}}{E_{sr}} = \frac{KR_{11} + R_{12}}{KR_{21} + R_{22}} = \tan \psi e^{i\Delta}, \quad K = \frac{E_{pi}}{E_{si}} = \cot Q, \quad (3)$$

$Q$  为起偏角.

分解上述方程的实部和虚部即可解出  $(A, P)$ <sup>[4]</sup>,  $(\psi, \Delta)$ , 方程(2)有两组解:  $(A_1, p_1)$ ,  $(A_2, p_2)$ , 且不同方位角  $\xi$  对应的  $(A, p)$  值满足关系

$$|p_2(\xi) - p_1(180^\circ - \xi)| = 90^\circ.$$

## 三、灵敏度分析

样品的各向异性反映在实验测量值随方位角  $\xi$  的变化上, 其变化幅度不仅与样品本身的各向异性大小有关, 还与实验条件如入射角和起偏角有关. 尤其对各向异性小的材料的测量, 后者的选择至关重要. 选择的标准是测量值随方位角  $\xi$  有较大变化, 但最终计算结果  $(n_o, n_e)$  对入射角、方位角的测量误差及其它仪器误差不甚灵敏. 以下就各向异性小 ( $|n_o - n_e| < 0.1$ )、消光系数不大 ( $|k_o|, |k_e| \lesssim 0.1$ ) 的样品讨论实验条件对测量灵敏度的影响及实验条件的选择问题.

在以下讨论中定义复数量  $\tilde{R}_{ij} = R_{ij} + iR'_{ij}$ . 定义转变角  $\phi_0 = \tan^{-1}(n_o) \approx \tan^{-1}(n_e)$ , 与  $\phi_0$  相近和远离的入射角分别称为近角和远角.

### 1. 反射系数 $\tilde{R}_{ij}$

计算结果表明, 表征各向异性大小的量  $|\tilde{R}_{12}|$ ,  $|\tilde{R}_{21}|$  和表征吸收大小的量  $|R'_{ij}|$  均很小, 随入射角变化不灵敏, 随方位角  $\xi$  的变化在一个数量级内.  $|\tilde{R}_{12}|$ ,  $|\tilde{R}_{21}| \approx 5 \times 10^{-3}$ ,  $|R'_{ij}| = 10^{-3} - 10^{-2}$ .

$R_{11}$ ,  $R_{22}$  随入射角的变化分别与各向同性材料的  $p$  光和  $s$  光反射系数  $r_p$ ,  $r_s$  相似.  $R_{22}$  在  $\phi_0$  附近数值大 ( $n_o = 2.2$  时,  $R_{22} \approx 0.66$ ), 随  $\xi$  相对变化小 (小于 3%).  $R_{11}$  随入

射角变化显著, 在  $\phi_0$  附近  $|R_{11}|$  很小 ( $|R_{11}| = 0-10^{-2}$ ), 且随  $\xi$  相对变化大。当入射角远离  $\phi_0$  时,  $|R_{11}|$  迅速增加, 随  $\xi$  相对变化迅速下降。

## 2. 消光型单波长椭圆偏仪的入射角选择

对  $\tan y = x$  形式的关系,  $y$  随  $x$  变化而变化, 其变化量可表为

$$|\Delta y| = |y'_x \Delta x| = |\Delta x| / (1 + x^2) = \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \left/ \left| x + \frac{1}{x} \right| \right| \leq \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta x}{x} \right|.$$

可见,  $|\Delta y|$  不仅与  $x$  的相对变化量  $|\Delta x/x|$  有关, 而且与  $|x|$  有关。对一定的  $|\Delta x/x|$ , 当  $|x|$  很大或很小时, 即使  $|\Delta x/x|$  大,  $|\Delta y|$  也不大; 而当  $|x| = 1$ , 即  $y = \pm 45^\circ$  时,  $|\Delta y|$  取极大值  $\frac{1}{2} |\Delta x/x|$ , 即  $x$  的相对变化最大限度地反映到  $y$  的变化  $|\Delta y|$  上。

由方程(2)

$$e^{i\delta} = e^{i(2p-90^\circ)} = -\frac{\tilde{R}_{11} + \tilde{R}_{22} \tan A}{\tilde{R}_{11} + \tilde{R}_{21} \tan A} = -\frac{\rho_1 e^{i\delta_1}}{\rho_2 e^{i\delta_2}}, \quad (4)$$

$\rho_1, \delta_1, \rho_2, \delta_2$  分别为分子、分母的模及位相。

1) 远角入射 此情形  $|R_{11}| > 0.04$ , 且对弱吸收样品,  $\delta$  接近于  $0^\circ$  或  $180^\circ$ 。从(4)及(2)式化简, 如下关系近似成立:

$$\begin{aligned} \tan A &\approx -R_{11} \cos \delta / R_{22}, \\ \tan \delta_1 &\approx \operatorname{Im}(\tilde{R}_{22} \tan A + \tilde{R}_{12}) / R_{22} \tan A, \\ \tan \delta_2 &\approx \operatorname{Im}(\tilde{R}_{11} + \tilde{R}_{21} \tan A) / R_{11}. \end{aligned}$$

因此,  $A, \delta_1, \delta_2$  随  $\xi$  的变化主要取决于  $R_{11}$  及  $R_{22}$  随  $\xi$  的变化。但因  $|\tan A|, |\tan \delta_1|, |\tan \delta_2|$  均很小, 且在远角处  $R_{11}, R_{22}$  的相对变化很小, 故  $A, \delta_1, \delta_2$  的变化均小, 即测量值  $(A, p)$  随  $\xi$  变化小, 不宜选择远角测量。

2) 近角入射 这时  $|R_{11}| = 0-10^{-2}$ ,  $|R_{11}|$  与  $|R'_{11}|$  及  $|R_{21} \tan A|, |R'_{21} \tan A|$  相近,  $|\tan \delta_2|$  接近于 1,  $\tilde{R}_{11}$  和  $\tilde{R}_{21}$  的变化均能明显地反映到  $\delta_2$  的变化上, 又  $R_{11}$  在近角随  $\xi$  相对变化大, 因此  $\delta_2$  随  $\xi$  的变化较大。

$|\tan A|$  比远角时小,  $A$  随  $\xi$  变化也小。因  $|\tan A|$  的减小,  $\delta_1$  随  $\xi$  的变化也较远角时大。

因此, 在近角测量,  $\delta$  亦即测量值  $p$  随  $\xi$  有较大变化。

由 1), 2) 的分析可知, 灵敏度变化的主要原因是  $R_{11}$  随入射角的灵敏变化。应该选择近角测量,  $p(\xi)$  的变化幅度大。图 1 为两种具有典型  $n_o, n_e, k_o, k_e$  值的材料的  $p(\xi)$  变化幅度与入射角关系的计算曲线。在近角, 变化幅度有一个陡峰, 可见对测量各向异性小的材料, 入射角的选择很重要。

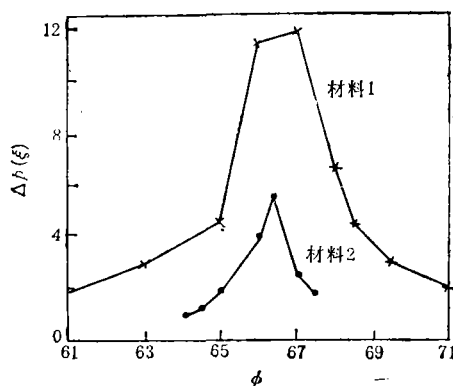


图 1  $p$  随  $\xi$  的变化幅度  $\Delta p(\xi)$  与入射角  $\phi$  的关系  
材料 1:  $(n_o, n_e, k_o, k_e) = (2.292, 2.263, -0.096, -0.07)$ ; 材料 2:  $(n_o, n_e, k_o, k_e) = (2.312, 2.318, -0.057, -0.05)$

3) 通过实验寻找合适的入射角  $\phi_0$  附近, 实验值  $(A, p)$  表现如下特性:  $|\tan A|$  小, 即  $A$  接近  $0^\circ$  或  $180^\circ$ ; 当  $\phi > \phi_0$  时,  $R_{11} < 0$ ,  $A, p$  角在不同象限, 当  $\phi < \phi_0$  时,  $R_{11} > 0$ ,  $A, p$  角在相同象限. 由此二特性可确定  $\phi_0$  位置并可通过实验确定合适的入射角: 在  $\tan^{-1}(n_0)$  附近选一入射角(对待测样品而言,  $n_0$  为估计值), 任选一  $\xi$  角, 测对应  $A < 90^\circ$  的一组消光  $(A, p)$  值, 改变入射角测量直至对应  $A$  值落入范围  $-5^\circ$ , 然后测  $\xi + \Delta\xi$  ( $\Delta\xi = 20-60^\circ$ ) 时的  $(A, p)$  值, 若  $p$  值变化太小, 则再细调入射角测量使  $A$  角更小, 直至  $\xi$  与  $\xi + \Delta\xi$  对应的  $p$  值有较大差别.

### 3. 光度型椭圆偏光仪的灵敏度分析

有关谱仪的方程, 即上述(3)式及  $(\Psi, \Delta)$  与  $(\alpha, \chi)$  的关系式(参见文献[10])

$$\frac{K\tilde{R}_{11} + \tilde{R}_{12}}{K\tilde{R}_{21} + \tilde{R}_{22}} = \tan \Psi e^{i\Delta} = \frac{\rho_1 e^{i\delta_1}}{\rho_2 e^{i\delta_2}} = \rho e^{i\Delta}, \quad \tan 2\alpha = \tan 2\Psi \cos \Delta, \quad (5)$$

$$\sin 2\chi = \sin 2\Psi \sin \Delta,$$

$\rho_1, \delta_1, \rho_2, \delta_2$  分别为分子、分母的模及位相.  $(\alpha, \chi)$  为反射光椭圆偏参数的另一种表示.  $\alpha$  与对应最小反射光强的检偏角测量值  $\theta_{\min}$  的关系为<sup>[10]</sup>

$$\theta_{\min} = \alpha \pm 90^\circ \quad (\alpha < 90^\circ \text{ 时取正号, } \alpha > 90^\circ \text{ 时取负号}).$$

对弱吸收样品,  $\Delta$  接近  $0^\circ$  或  $180^\circ$ ,  $|\tan \Delta|$  小. 以下就  $|\tan \Delta| < \tan 50^\circ$  情形讨论  $\alpha, \chi$  随  $\Delta, \Psi$  的变化灵敏度,  $\Psi$  随  $\rho$  的变化灵敏度及入射角  $\phi$  和起偏角  $\varrho$  (相应的  $K$  值)的选择问题.

1)  $\alpha'_\Delta$  由方程(5),  $\alpha'_\Delta = -\sin \Delta \cdot f / 2(1 + cf^2)$ ,  $c = \cos^2 \Delta$ ,  $f = \tan 2\Psi$ . 当  $\Delta$  一定时,  $|\alpha'_\Delta|$  随  $f$  而变, 存在极大值

$$|\alpha'_\Delta|_{\max} = |\alpha'_\Delta|_{|f|=1} / |\cos \Delta| = |\tan \Delta / 4|.$$

$|\tan \Delta| = 0-1$  对应  $|\alpha'_\Delta|_{\max} = 0-0.3$ . 可见  $\alpha'_\Delta$  很小, 即使  $\Delta$  随  $\xi$  变化大, 也难以导致  $\alpha$  亦即  $\theta_{\min}$  变化大. 因  $\alpha'_\Delta$  小, 则  $\alpha$  主要由  $\Psi$  确定

$$\tan 2\alpha \approx \tan 2\Psi \cos \Delta|_{\Delta=0} = \tan 2\Psi,$$

即  $\alpha \approx \Psi$  ( $\alpha < 90^\circ$ ) 或  $\alpha \approx \Psi + 90^\circ$  ( $\alpha > 90^\circ$ ).

$$2) \chi'_\Psi, \chi'_\Delta \quad |\chi'_\Psi| = \left[ \frac{\sin^2 \Delta \cos^2 2\Psi}{\cos^2 \Delta + \sin^2 \Delta \cos^2 2\Psi} \right]^{1/2}, \quad |\chi'_\Delta| = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2 2\Psi \cos^2 \Delta}{1 - \sin^2 2\Psi \sin^2 \Delta} \right]^{1/2}.$$

当  $\Delta$  一定时,  $|\chi'_\Psi|, |\chi'_\Delta|$  随  $\Psi$  而变化, 极值为

$$|\chi'_\Psi|_{\max} = |\chi'_\Psi|_{\Psi=0,90^\circ} = |\sin \Delta|, \quad |\chi'_\Psi|_{\min} = |\chi'_\Psi|_{\Psi=45^\circ} = 0,$$

$$|\chi'_\Delta|_{\max} = |\chi'_\Delta|_{\Psi=45^\circ} = 0.5, \quad |\chi'_\Delta|_{\min} = |\chi'_\Delta|_{\Psi=0,90^\circ} = 0.$$

$$3) \alpha'_\Psi \quad \text{由方程(5), } \alpha'_\Psi = \frac{1}{\cos \Delta} \left[ 1 - \frac{1-c}{1+cf^2} \right],$$

$$|\alpha'_\Psi|_{\max} = |\alpha'_\Psi|_{\Psi=45^\circ} = \left| \frac{1}{\cos \Delta} \right| > 1, \quad |\alpha'_\Psi|_{\min} = |\alpha'_\Psi|_{\Psi=0,90^\circ} = |\cos \Delta|.$$

当  $|\tan \Delta|$  不太大且  $\Psi$  不太接近  $0^\circ, 90^\circ$  时, 则  $|\alpha'_\Psi| \approx 1$ . 因  $|\alpha'_\Psi|$  大, 故若能选择使  $\Psi$  随  $\xi$  变化大的实验条件测量, 则  $\alpha$  亦即测量值  $\theta_{\min}$  随  $\xi$  变化大.

4)  $\Psi'$ .  $\Psi$  随  $\rho$  的变化而变化, 其变化幅度  $|\Delta\Psi|$  与入射角和起偏角(相应的  $K$  值)有关. 以下讨论当入射角选定时,  $\Psi$  的变化与  $K$  值的关系.

(a) 当  $5 < K \ll R_{22}/|\tilde{R}_{21}|$  时, 只要入射角不太接近  $\phi_0$ , 则有  $\rho_1 \approx K|\tilde{R}_{11}| = K\rho_0$  ( $\rho_0 = |\tilde{R}_{11}|$ ).

$\rho_2$  随  $\xi$  相对变化小, 先设为常数, 则

$$\tan \Psi \approx K\rho_0/\rho_2 = \rho_0 b, \quad \Psi'_{\rho_0} = b/(1 + \rho_0^2 b^2) = b\Psi'_{\rho}, \quad (b = K/\rho_2).$$

$\Psi'_{\rho_0}$  随  $b$  亦即  $K$  而变化, 当  $b = 1/\rho_0$  即  $\Psi = 45^\circ$ ,  $K = \rho_2/\rho_0$  时取极大值  $(\Psi'_{\rho_0})_{\max} = (\Psi'_{\rho})_{K=K_m, \Psi=45^\circ} = 1/2\rho_0$ , ( $K_m = \rho_2/\rho_0$ ). 相应  $|\Delta\Psi|$  取极大值

$$|\Delta\Psi|_{\max} = (\Psi'_{\rho_0})_{\max} |\Delta\rho_0| = \frac{1}{2} (|\Delta\rho_0|/\rho_0). \quad (\text{弧度}).$$

从上式还可看出, 相应  $\rho_0$  随  $\xi$  相对变化  $|\Delta\rho_0/\rho_0|$  大的入射角对应大的  $|\Delta\Psi|_{\max}$ .

(b) 当  $K$  超过  $K_m$  继续增大, 但  $K \lesssim R_{22}/|\tilde{R}_{21}|$  时,  $|KR'_{21}|$ ,  $|KR_{21}|$  将逐渐接近  $R_{22}$ ,  $\rho_2$  及  $\delta_2$  随  $\xi$  的变化将增大, 相应  $\Psi$  的变化增大. 但当  $K$  增大到一定数值后,  $\Psi$  的变化值将趋于恒定, 这是因为  $K$  大于  $K_m$  后,  $\Psi'_{\rho_0}$  和  $\Psi'_{\rho}$  随  $K$  增大而下降, 从而抵消了  $\rho_2$  变化增加的作用.

5) 入射角及起偏角的选择 综合以上分析,  $\chi$  随  $\Delta, \Psi$  的变化亦即随  $\xi$  的变化不灵敏. 为了使  $\alpha$  亦即  $\theta_{\min}$  随  $\xi$  变化大, 应选择相应  $\rho_0$  随  $\xi$  的相对变化大的入射角, 选择对应的  $K$  值及起偏角:  $K \geq K_m = \rho_2/\rho_0$ ,  $Q = \cot^{-1}(K)$ . 并对应  $\Psi \geq 45^\circ$ ,  $\theta_{\min} \geq 45^\circ$  ( $\theta_{\min} < 90^\circ$ ) 或  $\theta_{\min} \geq 135^\circ$  ( $\theta_{\min} > 90^\circ$ ).

在近角处,  $|R_{11}|$  小且随  $\xi$  相对变化大, 则  $\rho_0$  的相对变化也大, 因此宜选择近角测量, 可使测量值  $\theta_{\min}$  随  $\xi$  变化大. 但  $\phi$  也不能太接近  $\phi_0$ , 否则  $|R_{11}|$  太小以致  $|R_{11}| \ll |R'_{11}|$ ,  $\rho_0$  的相对变化反而下降. 实验中一般取对应  $\rho_0/\rho_2 = 0.02-0.05$  的入射角. 相应选择起偏角  $Q$  使  $K \geq 20-50$ . 在远角处  $\rho_0$  的相对变化很小, 不宜测量. 图 2 为一具有典型光学参数值的材料  $\Psi, \alpha$  随  $\xi$  的变化幅度与  $K$ , 入射角  $\phi$  的关系的计算曲线. 它符合以上分析.

合适的人射角及起偏角可通过实验寻找: 调节起偏角  $Q = 3^\circ$ , 对应  $K = K_0 \simeq 19$ . 在  $\tan^{-1}(n_0)$  ( $n_0$  为样品主折射率估计值) 附近选一入射角, 测量  $\theta_{\min}$ , 则  $\rho_0/\rho_2 \approx \tan \Psi / K_0 = \tan \theta_{\min} / K_0$  ( $\theta_{\min} < 90^\circ$ ) 或  $|\cot \theta_{\min}| / K_0$  ( $\theta_{\min} > 90^\circ$ ). 微调入射角再测, 直至选择一入射角对应  $\rho_0/\rho_2 = 0.02-0.05$ , 然后取定起偏角  $Q = \cot^{-1}(K)$ , 其中  $K = \rho_2/\rho_0 + \delta K$ ,  $\delta K = 5-20$ . 因折射率随波长而变, 因此不同波长测量时可能要选择不同的人射角及起偏角.

因理论上成立  $\Psi_K(\xi) = \Psi_{-K}(180^\circ - \xi)$ ,  $\Delta_K(\xi) = \Delta_{-K}(180^\circ - \xi) - 180^\circ$ , 故实验中也可选取负  $K$  值亦即负的起偏角, 只要  $K$  的绝对值满足上述选择要求.

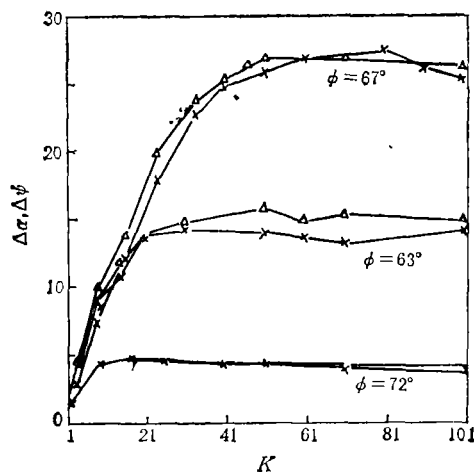


图 2  $\alpha, \Psi$  随  $\xi$  的变化幅度  $\Delta\alpha, \Delta\Psi$  与  $K$  及入射角  $\phi$  的关系  $\Delta$  为  $\Delta\alpha$ ;  $\times$  为  $\Delta\Psi$ ;

材料光学参数  $(n_o, n_e, k_o, k_e) = (2.273, 2.205, -0.054, -0.014)$

## 四、实验结果与讨论

测量样品均为单轴晶体,主光轴平行于反射表面。所用仪器为 TP-77 型测厚仪(激光波长  $6328 \text{ \AA}$ ), TPP-1 型椭谱仪<sup>[9]</sup>, 装有可旋转的样品台以改变样品的主光轴与入射面的夹角  $\xi$ 。

样品表面经过清洗和烘干。根据上节所述步骤选择好入射角及谱仪起偏角后, 仔细调节样品及样品台的位置使样品上的入射光点在样品台的旋转中心上, 旋转轴在入、反射臂的中心轴线相交角的平分线上, 由此保证在样品旋转时入射光点始终落在样品表面的同一点上, 且反射光线始终与反射臂中心轴重合。

改变  $\xi$ , 从  $0^\circ$  至  $180^\circ$  每隔  $10^\circ$  或  $15^\circ$  测量一次, 得出  $(A, p)$  值或椭圆参数  $(\Psi, \Delta)$  随  $\xi$  的变化曲线。将材料的光学参数  $(n_o, n_e, k_o, k_e)$  作为拟合参数, 用最小二乘法拟合这些曲线即可计算光学参数。

图 3 为方解石的测量计算结果。拟合  $(A1, p1, A2, p2)$  变化曲线得出拟合参数值:  $(n_o, n_e, k_o, k_e) = (1.636, 1.481, -0.047, -0.008)$ , 文献[4]的结果为  $(1.64, 1.485, -0.0397, -0.003)$ , 两者相近。

图 4 为 KNSBN 铁电晶体<sup>[6-9]</sup>的结果, 拟合值为  $(2.292, 2.263, -0.096, -0.07)$ , 文献[7]中用  $6330 \text{ \AA}$  的光源, 棱镜最小偏向角法测量同一样品的结果为  $(n_o, n_e) = (2.3066, 2.2490)$ 。但最小偏向角法测量需采用特殊加工的棱柱形样品, 并且不能获得  $k_o, k_e$  值。

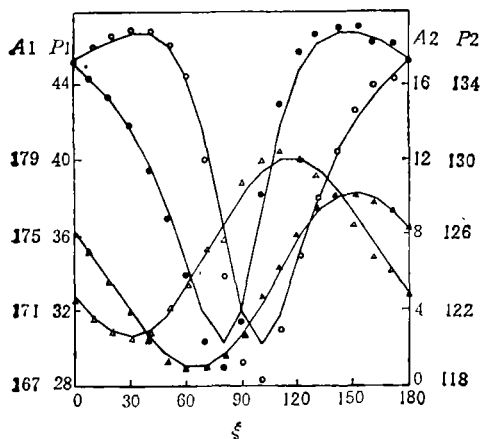


图 3 方解石样品  $(A, p)$  随  $\xi$  的变化曲线  
入射角  $\phi = 60^\circ$ ; 点标记表示实验值 ( $\Delta$  为  $A1$ ;  
 $\circ$  为  $p1$ ;  $\triangle$  为  $A2$ ;  $\bullet$  为  $p2$ ); 实线为拟合线

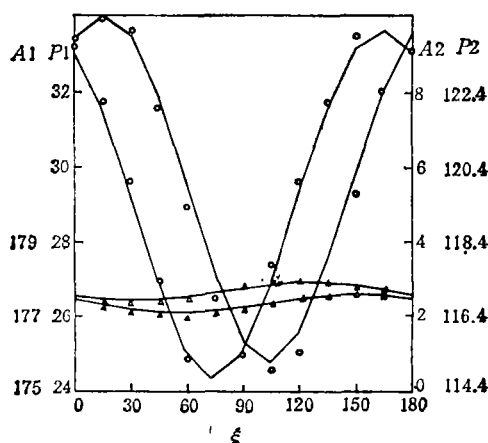


图 4 KNSBN 铁电晶体样品  $(A, p)$  随  $\xi$  的变化曲线  
入射角  $\phi = 67.5^\circ$ ; 其余图注同图 3

实验误差包括与样品有关的误差及与仪器、操作有关的误差。样品本身的质量, 反射表面抛光不理想, 表面附着的水、油膜及其它污染均能使实验值偏离理论拟合值。从图 3, 图 4 中看出,  $A1, A2$  曲线拟合较  $p1, p2$  曲线好, 这是因为  $A$  值与反射光振幅相关, 而  $p$  值与光的相位变化直接相关, 表面处理的不理想对相位亦即  $p$  值影响更灵敏。

考虑入射角、方位角和  $(A, p)$  角的测量误差, 对结果作误差估计, 发现入射角误差对最终结果  $(n_o, n_e, k_o, k_e)$  的影响远大于后两者的影响, 但随入射角变化不灵敏. 实际测量时, 入射角误差限约  $\pm 0.01^\circ$ , 相应折射率误差约  $\pm 0.01$ , 可见折射率的实验结果在误差范围内与文献符合.

## 五、结 论

用椭偏光法(包括消光型单波长椭偏光法与光度型多波长椭偏光谱法)可测量晶体各向异性光学性质, 即  $(n_o, n_e, k_o, k_e)$  值. 在各向异性椭偏光理论和入射角、起偏角对测量灵敏度的影响的分析的基础上, 找出了可测量低度各向异性(即  $|n_o - n_e| < 0.1$ ) 的材料实用实验条件.

实验上, 用本法测量方解石的  $(n_o, n_e, k_o, k_e)$  值, 所得结果与前人的椭偏光测量结果一致. 方解石的  $|n_o - n_e| \approx 0.15$ , 已大于本工作的低度各向异性 ( $|n_o - n_e| < 0.1$ ) 的标值, 我们对它进行测量, 目的是检查我们的实验仪器及条件. 结果的一致表明本工作实验结果是可靠的.

主要的测量对象是 KNSBN 铁电晶体, 其  $|n_o - n_e| < 0.1$ . 椭偏光法测得的结果与棱镜最小偏角法测量值基本一致, 但前者的测量不需要特殊加工的棱柱形样品, 因而适用性更广. 看来, 将能推广应用于不少的铁电晶体、非线性光学晶体.

许煜寰和黄祯启老师为实验提供了晶体样品, 作者深表感谢.

- [1] R. Kötz, B. E. Hayden, *Surf. Sci.*, **135**(1983), 374.
- [2] F. H. P. M. Habraken, O. L. J. Gijzeman, G. A. Bootsma, *Surf. Sci.*, **96**(1980), 482.
- [3] L. J. Hanekamp, W. Lisowski, G. A. Bootsma, *Surf. Sci.*, **118**(1982), 1.
- [4] D. J. De Smet, *J. Opt. Soc. Am.*, **63**(1973), 958.
- [5] Z. C. Xu, C. Y. Fong, F. Wooten, Y. Yeh, *Ferroelectrics*, **56**(1984), 187.
- [6] 陈焕鑫, 许煜寰, 物理, **10**(1981), 729.
- [7] 许煜寰, 陈焕鑫, 物理学报, **34**(1985), 978.
- [8] Y. H. Xu, H. C. Chen, L. E. Cross, *Ferroelectrics Letters*, **2**(1984), 189.
- [9] 江任荣, 陈树光, 叶贤京, 莫党, 仪器仪表学报, **4**(1983), 440.
- [10] 莫党, 陈树光, 余玉贞, 黄炳忠, 物理学报, **29**(1980), 673.

# MEASUREMENT OF ANISOTROPIC OPTICAL CONSTANTS BY ELLIPSOMETRY

## APPLICATION ON KNSBN FERROELECTRIC CRYSTALS

HU QI-HONG CHEN SHU-GUANG MO DANG

*Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou*

(Received 12 September 1988)

### ABSTRACT

The effects of the incidence angle and the azimuth of polarizer on the sensitivity, in the ellipsometric measurement of anisotropic crystal have been analyzed. We discuss how to choose the proper experimental condition to measure the optical constants of crystal with small anisotropic character ( $|n_o - n_e| < 0.1$ ). Samples of calcite and KNSBN ferroelectric crystal have been measured by this method using the single wavelength ellipsometer or the spectroscopic ellipsometer. Reasonable results have been obtained for the KNSBN crystals with  $|n_o - n_e| < 0.1$ .