

文章编号: 0253-2239(2006)12-1671-5

棱镜晶体旋转法测量液晶器件大预倾角^{*}

范志新 李志广 彭旭辉

(河北工业大学应用物理系, 天津 300130)

摘要: 晶体旋转法是测量液晶分子预倾角的常用方法,但不适用于测量 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间的预倾角。提出一种棱镜辅助晶体旋转法测量预倾角的方案。把液晶盒夹在两个直角棱镜间,入射光从前面棱镜一个面入射,经过液晶盒从后面棱镜出射,改变入射光的入射角,测量出射光透过率,能得到对应双折射相位差为零、透射光强最大的入射角,进而由几何光学关系确定预倾角。数值模拟和实验结果显示该方法具有可行性。

关键词: 光学测量; 液晶器件; 晶体旋转法; 预倾角; 棱镜; 数值模拟

中图分类号: TN873+.93 文献标识码: A

Prism Assisting Crystal Rotation Method to Measure High Pretilt Angle of LCD

Fan Zhixin Li Zhiguang Peng Xuhui

(Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract: The crystal rotation method is usually used to measure the pretilt angle of liquid crystal molecules, but it is unsuitable to measure the pretilt angle of $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$. In order to expand the range of applicability of crystal rotation method, we propose the pretilt angle measurement method to use prisms to assist the crystal rotation. A liquid crystal cell is located between two prisms, and the incident light enters from the former prism, passes through the crystal cell and exits from the back prism. We will get the incident angle on condition that the birefringence retardation is zero and the light transmission is maximal, and obtain the pretilt angle with optical geometry. The numerical simulation and experimental results show a feasibility of this method.

Key words: optical measurement; liquid crystal device; crystal rotation method; pretilt angle; prism; numerical simulation

1 引言

液晶盒中液晶分子的预倾角是指界面处液晶分子指向矢与界面之间的夹角,预倾角的大小与液晶显示器件的电光特性有直接关系,预倾角的大小取决于液晶材料、取向剂材料和液晶盒的制作工艺等因素。精确测定预倾角对研制液晶器件非常重要,人们已经研究了很多种测定预倾角的方法,包括晶体旋转法、电容法、零磁场法等^[1~5]。晶体旋转法预倾角测量仪由于测量精度高,测量时间短而得到广泛使用。但是通常晶体旋转法适用于测量 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 和 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的预倾角,不适用于 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间的预倾角。随着显示技术的发展,人们也在研究液晶器件在 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间预倾角边界条件下具有的特殊性

质,文献[1]指出了测量 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间预倾角方法在例如 π 盒显示技术中的重要性,并给出了晶体旋转法测量 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间的预倾角的方法,但所用液晶盒比较厚($50\ \mu\text{m}$),而一般的液晶盒厚在 $10\ \mu\text{m}$ 以下,通常液晶器件制造厂也没有大于 $10\ \mu\text{m}$ 的衬垫料,因此用于比较薄的液晶盒预倾角测量方法会更有实用价值。

2 实验原理

晶体旋转法测定液晶分子预倾角的原理是根据液晶的双折射效应。液晶中 o 光和 e 光的相位差为^[1~5]

^{*} 河北省高校重点学科建设资助课题。

作者简介: 范志新(1960~),男,吉林人,河北工业大学教授,博士,主要从事液晶器件物理教学与科研。

E-mail: fanzhixin1155@163.com

收稿日期: 2006-01-04; 收到修改稿日期: 2006-04-04

$$\delta(\alpha) = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\frac{n_o^2 - n_e^2}{n^2(\theta)} \cos \theta \sin \theta \sin \alpha - \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{n_o n_e}{n^2(\theta)} \sqrt{n^2(\theta) - \sin^2 \alpha} \right], \quad (1)$$

式中 n_o 是寻常光折射率, n_e 是非常光折射率, θ 是预倾角, α 是光束入射角, λ 为波长, d 是液晶盒厚度, $n^2(\theta) = n_o^2 \cos^2 \theta + n_e^2 \sin^2 \theta$. o 光和 e 光相位差最大的方向满足

$$d\delta(\alpha)/d\alpha|_{\alpha=\alpha_m} = 0, \quad (2)$$

其中 α_m 是 o 光和 e 光相位差最大的方向上对应的入射角。由此得出

$$\frac{n_o^2 - n_e^2}{n^2(\theta)} \cos \theta \sin \theta - \sin \alpha_m \left[\frac{n_o n_e}{n^2(\theta) \sqrt{n^2(\theta) - \sin^2 \alpha_m}} - \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - \sin^2 \alpha_m}} \right] = 0, \quad (3)$$

实验测出 α_m , 然后代入(3)式计算出 θ 值。因为 n_o 和 n_e 的典型值是 1.5 和 1.65 左右, α 的最大值是 90° , 而由于界面反射等原因, 当预倾角比较大时, 例如 $\theta > 20^\circ$ 时, $\alpha_m > 75^\circ$, 已经难以判断 α_m 的位置, 预倾角更大时(3)式可能无解, 因此一般认为晶体旋转法适用于测量 $0^\circ \sim 20^\circ$ 的预倾角。另一方面, 当预倾角很大, 例如在 $70^\circ \sim 90^\circ$ 时, 可以根据光轴方向的相位差为零, 干涉光强度最大的性质, 用折射公式 $\sin(90^\circ - \theta) \approx -\sin \alpha_m / n_o$ 简单地找出预倾角, 因此也可以认为晶体旋转法适用于测量 $70^\circ \sim 90^\circ$ 的预倾角。但是如何测量 $20^\circ \sim 70^\circ$ 之间的预倾角值得研究。

为测量 $20^\circ \sim 70^\circ$ 范围之间的预倾角, 有必要重新考虑一下 o 光和 e 光相位差的原始形式。根据图 1 所示情形, 实际的 o 光和 e 光的相位差表达式可能比较复杂。但是对于沿光轴方向的光束(即预倾角方向)双折射相位差为零, 测量曲线上总能找到对称峰最大值位置, 假设在这个方向附近的相位差可简单地表示成

$$\delta(\alpha) = \frac{2\pi d}{\lambda \cos \beta} (n - n_o), \quad (4)$$

式中 β 是入射光在液晶层中的折射角, n 满足折射率椭圆方程:

$$n^2 \left[\frac{\sin^2(\beta + \theta)}{n_o^2} + \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{n_e^2} \right] = 1. \quad (5)$$

如果在晶体旋转法原理基础上, 把液晶盒夹在

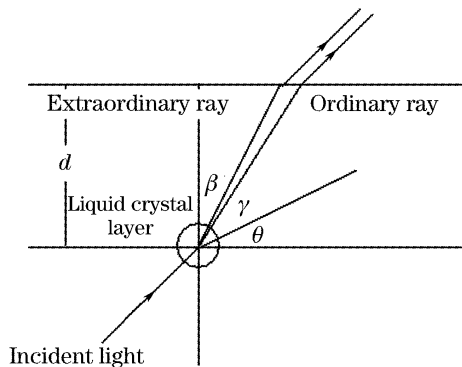


图 1 液晶中的光路图

Fig. 1 Light path in liquid crystal layer

两个 45° 直角棱镜之间, 对于 $20^\circ \sim 70^\circ$ 之间的预倾角, 在如图 2 所示的光路中就可以测出预倾角。这时, 以液晶盒中心为轴转动棱镜, (4)式应代换为

$$\delta(\alpha) = \frac{2\pi d}{\lambda \cos(45^\circ - \beta)} (n - n_o), \quad (6)$$

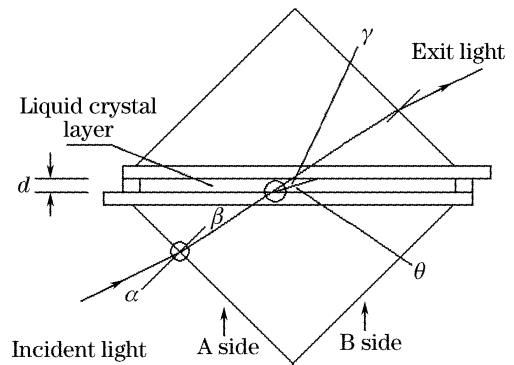


图 2 液晶与棱镜对中的光路图

Fig. 2 Light path in liquid crystal layer with prisms

图 2 中各个角度之间的关系和大致取值范围是:

入射角: $-40^\circ < \alpha < 40^\circ$;

折射角: $-25^\circ < \beta < 25^\circ$;

预倾角: $20^\circ < \theta < 70^\circ$;

折射光与光轴夹角: $\gamma = 45^\circ + \beta - \theta$; $\sin \alpha = n_g \sin \beta$;

$n = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_e^2 \cos^2 \gamma + n_o^2 \sin^2 \gamma}}$, 式中 n_g 是棱镜玻璃的折射率。

光线从棱镜 A 面入射, 能找到对应折射光束与光轴夹角为零(即 o 光和 e 光相位差为零)而透射光强最大的入射方向 α_0 。这时的预倾角 θ 与入射角 α_0 的关系是

$$\theta = 45^\circ + \arcsin\left(\frac{1}{n_g} \sin \alpha_0\right), \quad (7)$$

光线从棱镜 B 面入射, 则不能找到对应相位差为最大值的入射方向。

3 数值模拟

根据(6)式, 取 $n_g = n_o = 1.5$, $n_e = 1.65$, $d = 10 \mu\text{m}$, $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, 预倾角 $\theta = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

和 70° ，入射角 $-40^\circ < \alpha < 40^\circ$ 条件下，计算光强透射率随入射角 α 的变化曲线 $I/I_0 = \cos^2[\delta(\alpha)/2]$ 。对于从 A 面入射的情形，数值模拟曲线如图 3 所示。

对于从 B 面入射的情形，数值模拟曲线如图 4 所示。

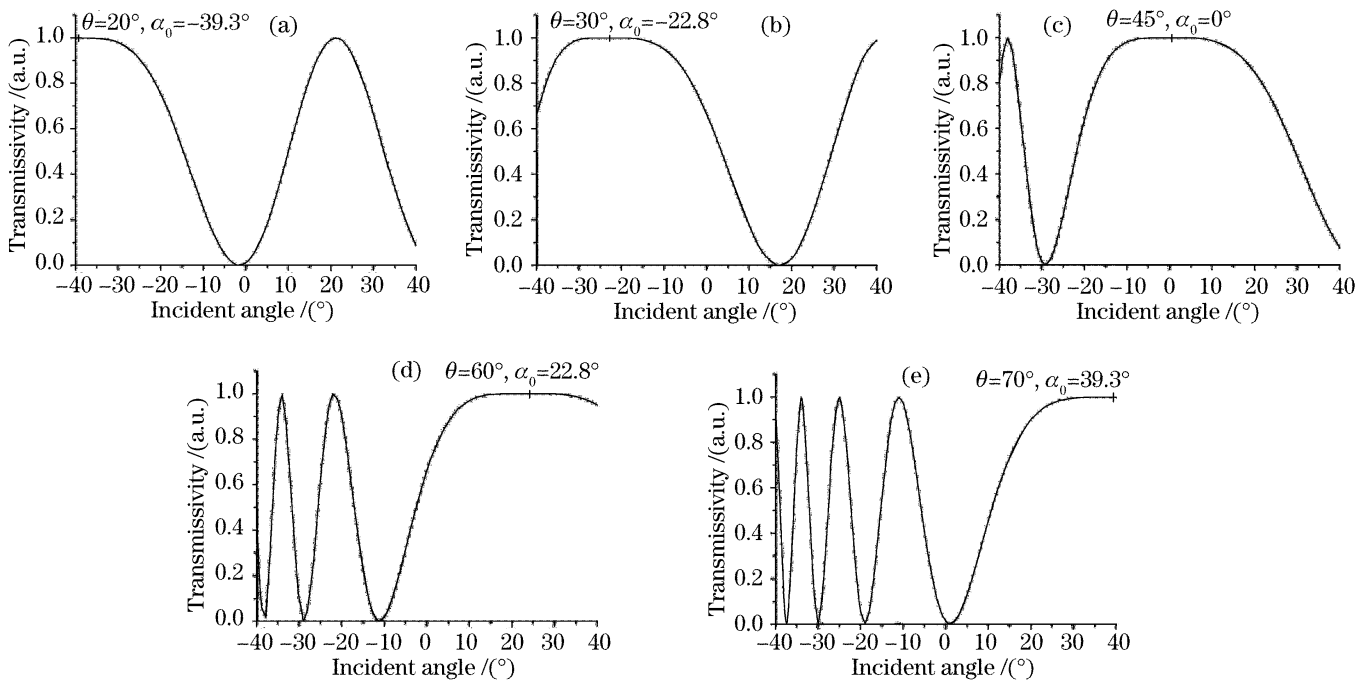


图 3 从 A 面入射时的透射率曲线

Fig. 3 Transmissivity-incident angle curve with A side incidence

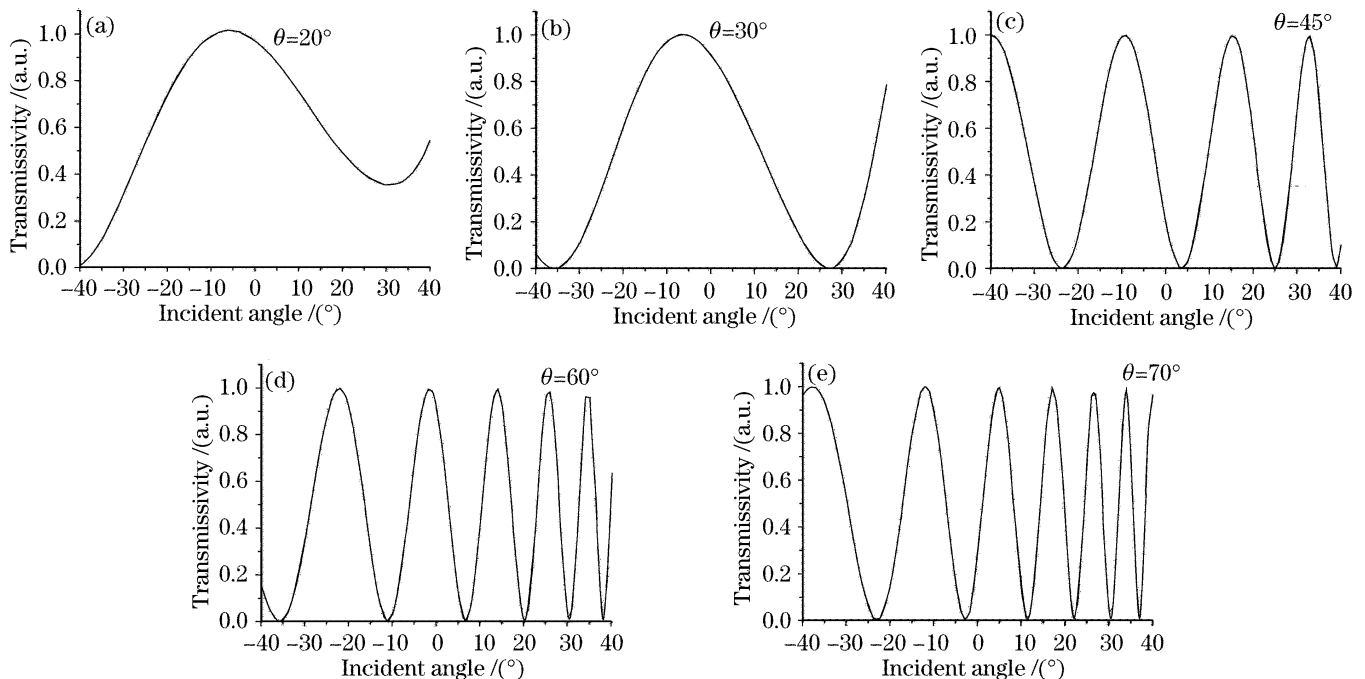


图 4 从 B 面入射时的透射率曲线

Fig. 4 Transmissivity-incident angle curve with B side incidence

可以看出，从 A 面入射时，能得到对应于相位差为零，折射光束与光轴夹角 γ 为零，光强为最大的入射角 α_0 位置。而从 B 面入射时，则不能得到对应于相位差为最大的入射角 α_m 位置。

从图 3 可以看到， α_0 角是处在峰值平台的中

间，容易辨别。 $\theta=20^\circ$ 对应的 $\alpha_0 = -39.3^\circ$ ， $\theta=70^\circ$ 对应的 $\alpha_0 = 39.3^\circ$ ，这两个人射角都是处于曲线边缘，在不知预倾角情况下，将给由曲线判断 α_0 再求 θ 带来比较大的误差。 $\theta=30^\circ$ 对应的 $\alpha_0 = -22.8^\circ$ 、 $\theta=45^\circ$ 对应的 $\alpha_0 = 0^\circ$ 和 $\theta=60^\circ$ 对应的 $\alpha_0 = 22.8^\circ$ ，都是

处在对称峰平台中心,比较容易判断,不会引起很大的误差。可以从图 3 推测,当 $25^\circ < \theta < 65^\circ$ 之间时,光强最大时的入射角 α_0 所处峰值平台能完整出现,对判断 α_0 能比较准确,因此对计算 θ 误差比较小。

适当改变参量,例如取液晶盒厚 $d=20\ \mu\text{m}$ 或 $d=40\ \mu\text{m}$ 等,会发现曲线峰谷位置增多但对称峰位置不变,而对称峰宽度将变窄,这使判断 α_0 更为准确。如果要求提高测量精度,还是应该制备厚盒。

在上面计算中,没有考虑入射光在棱镜表面和液晶盒界面等处多次反射损失随入射角变化对曲线形状的影响问题。由菲涅耳公式分析可知,对于 $\alpha < 45^\circ$ 的入射角,单次反射率变化不大,都接近 4.3% ^[6],虽然实际上会出现曲线轮廓呈中间稍强两边稍弱的情况,但对判断曲线对称峰位置影响可以不计。

4 实验结果

我们利用现有样品对原理进行检验,实际样品参量为 $n_g = n_o = 1.5$, $n_e = 1.67$, $d = 10\ \mu\text{m}$, $\lambda = 0.532\ \mu\text{m}$ 。用晶体旋转法测得样品预倾角为 $\theta = 18^\circ$ 。用棱镜晶体旋转法测量预倾角的装置如图 5 所示,图中入射偏振片和出射偏振片的偏振方向正交,液晶盒摩擦方向与偏振片的偏振方向成 45° ,液

晶盒光轴方向在水平转动面内,以液晶盒中心为轴转动样品。单色光经过棱镜折射进入液晶盒,经过液晶盒产生双折射,从棱镜出射光双折射干涉强度信号由光探测器接收,用数字毫伏表等显示仪器读出。由于光线折射后出射光平移范围比较大,光探测器要能做平移以跟踪接收出射光束。实验时,棱镜与液晶盒之间涂甘油或硅油使之光学接触,以避免光线反射而造成光强损失。新方法测得实验曲线如图 6(a) 所示。从实验曲线估计出对称峰位置代入(7)式计算得 $\theta = 20^\circ$,两种方法测量结果比较符合,但新方法误差比较大些(晶体旋转法误差零点几度,新方法的误差是几度)。由于作者还没有用取向材料制备的更高预倾角的样品,所以采取加电场改变倾角的方法,以便在更大范围内对原理进行验证。加电场改变倾角从 A 面入射的实验曲线如图 6(b) 和图 6(c) 所示。图 6(b) 是对液晶盒加 5 V 电压,此刻倾角约为 45° 。图 6(c) 是对液晶盒加 7 V 电压,此刻倾角约为 65° 。实验发现,测量曲线与模拟曲线形状相似,证明我们假设的相位差表达式(4)是合理的。但实验曲线的对称峰却不是平台,而总有一定弧度,对判断对称峰中点位置确实有影响,给测量结果带来误差,对称峰越是向两边移误差就会越大。

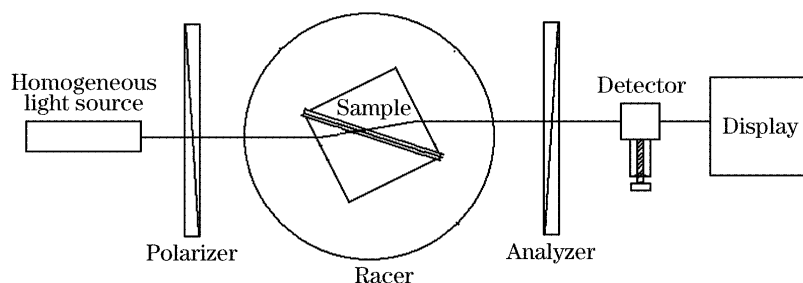


图 5 实验装置图

Fig. 5 Experimental setup

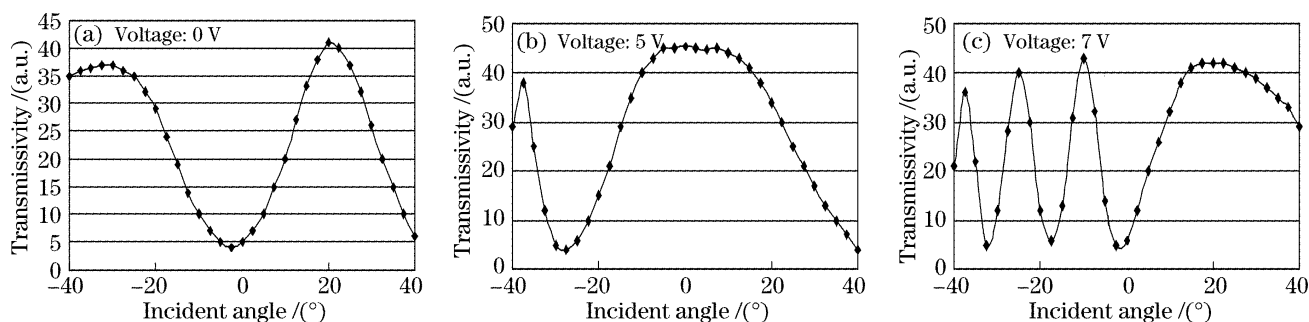


图 6 实验得到的透过率随入射角度的变化

Fig. 6 Measured curves of transmissivity-incident angle

5 结 论

棱镜辅助晶体旋转法原理简单,把液晶盒夹在

两个 45° 直角棱镜之间,从棱镜的一面入射的情形下,能得到对应于相位差为零,折射光束与光轴夹角

γ 为零, 光强为最大的入射角 α_0 位置, 从而求出预倾角 θ 。数值模拟表明可以用于测量 $20^\circ \sim 70^\circ$ 之间的预倾角, 扩大了晶体旋转法的适用范围。简单实验表明该方法可行, 虽然不能作为精确测量方法, 但仍有一定的实用性。

参 考 文 献

- 1 Jin Seog Gwag, Seo Hern Lee, Kyoung-Ho Park *et al.*. Simple method for measuring the high pretilt angle of nematic liquid crystals[J]. *J. Appl. Phys.*, 2003, **93**(8): 4936~4938
- 2 Shao Xibin, Lin Jingbo, Huang Ximin. Measurement method of pretilt angle of liquid crystal molecules in thinner cells[J]. *Chin. J. Liquid Crystals and Displays*, 2000, **15**(2): 79~84 (in Chinese)
邵喜斌, 林景波, 黄锡珉. 薄盒中液晶分子预倾角的测量方法[J]. *液晶与显示*, 2000, **15**(2): 79~84
- 3 Zhang Qing, Liquid crystal pretilt angle measurement apparatus based on crystal rotation method [J]. *Chin. J. Analysis Instrument*, 1997, (4): 35~37 (in Chinese)
张 晴. 液晶预倾角的晶体旋转法测量装置[J]. *分析仪器*, 1997, (4): 35~37
- 4 Fan Zhixin, Yang Guochen, Zhang Zhidong *et al.*. Suitable analysis of the method of crystal rotation to measure LC pretilt angle[J]. *Chin. J. Liquid Crystals and Displays*, 1996, **12**(4): 260~267 (in Chinese)
范志新, 杨国琛, 张志东 等. 关于晶体旋转法测定液晶分子预倾角适用性的分析[J]. *液晶与显示*, 1996, **12**(4): 260~267
- 5 Fan Zhixin, Zhang Zhidong. Fitting expression of the birefringence phase retardation and its use [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(8): 1141~1144 (in Chinese)
范志新, 张志东. 双折射位相差的拟合表达式及其应用[J]. *光学学报*, 1998, **18**(8): 1141~1144
- 6 Shi Shunxiang, Zhang Haixing, Liu Jingsong. *Physical Optics and Applied Optics* [M]. Xi'an: Xidian University, 2000. 36 (in Chinese)
石顺祥, 张海兴, 刘劲松. *物理光学与应用光学*[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000. 36