

# 用准光波导方法测量聚合物薄膜光学参数

任秉复 丁铁男 郎维丹  
(中国科学院长春物理研究所)

## 提 要

本文报道用准光波导方法测量了沉积在棱镜底面上的聚苯乙烯和聚醚砜薄膜, 确定了这两种聚合物薄膜的折射率和薄膜厚度。并用偏振光测定了其双折射。薄膜折射率测量误差为  $\pm 1 \times 10^{-3}$ , 薄膜厚度测量误差为  $\pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

关键词: 集成光学, 准光波导。

## 一、引 言

有机聚合物薄膜是集成光学、光信息处理的重要材料体系。由于它的损耗低、各向异性大、非线性系数高、响应时间快, 被人们认为是一种制作集成光学中电光、声光、双稳等薄膜光学器件的很有前途的材料<sup>[1,2]</sup>。因此研究和测量聚合物薄膜的折射率、折射率色散和双折射等光学参数是开发功能塑料必不可少的工作。

用准光波导测量薄膜参数的方法已有一些报道<sup>[3,4]</sup>。由于用准光波导方法测量具有简单、准确和非接触测量等优点, 因此用其测量有机高分子材料的单层或多层薄膜是方便而有效的。

本文报道用准光波导方法对聚苯乙烯和聚醚砜两种聚合物薄膜参数的测量。通过测量其准波导的模有效折射率, 计算出上述两种材料的薄膜折射率和薄膜厚度。通过 TE 偏振光和 TM 偏振光, 确定了它们的双折射。最后对测量误差和测量方法的广延性进行了讨论。

## 二、薄 膜 制 备

本文中的聚苯乙烯和聚醚砜薄膜样品是在 ZF6 玻璃棱镜的底面上用水平流动法制作的。聚苯乙烯的溶剂为氯苯, 聚醚砜的溶剂为二甲基甲酰胺。这两种溶剂的沸点较高、蒸发较慢, 有利于制作超薄薄膜并避免出现裂纹。浓度低的溶液制作的薄膜薄而均匀, 但用其制作较厚薄膜困难。因此, 适当选取溶液的浓度是重要的。本文中所用样品、制备时采用的溶液浓度为 5%。

将棱镜底面朝上放置在预先调成水平的真空烘箱中的水平台上。根据所需要制备样品的薄膜厚度, 用注射器针管提取所需要容量的溶液, 然后均匀的滴在棱镜底面上。在升温的

同时抽空(用蒸液氮的冷阱捕收溶剂)。温度控制在 50°C, 两小时后, 将温度升高到 80°C, 再抽空 6 小时以除去残留的溶剂, 则可得到具有一定厚度的均匀薄膜。如需增加厚度, 也可往复多次进行, 直到所需厚度为止。

### 三、测量和计算结果

被测样品的准波导结构如图 1 所示。光波从衬底(棱镜)一侧入射到界面  $S_{1-2}$  上, 其中大部分光波反射进入衬底  $n_2$  中, 少部分光波折射进入准波导层  $n_1$  中。进入准波导层中的少量光波仍满足相干加强的模方程<sup>[3]</sup>:

$$(n_1^2 - N_m^2)^{1/2} kd = (2m+1)\pi + \tan^{-1} \left[ n_1^2 \left( \frac{N_m^2 - 1}{n_1^2 - N_m^2} \right)^{1/2} \right], \quad (1)$$

对 TE 模  $\rho=0$ , 对 TM 模  $\rho=2$ 。  $k$  为真空中的传播常数。  $d$  是准波导层厚度。  $N_m$  为对应  $m$  阶模的有效折射率。  $m$  为模阶数。

由于在准光波导情况下有一部分光波进入波导中, 这部分在波导内部传输的光波也能通过折射向衬底一侧泄漏。而波导内部的模式满足上述模方程, 因此泄漏出来的不同模式的光波具有不同的角度。在观察屏上可观测这些  $m$  线。

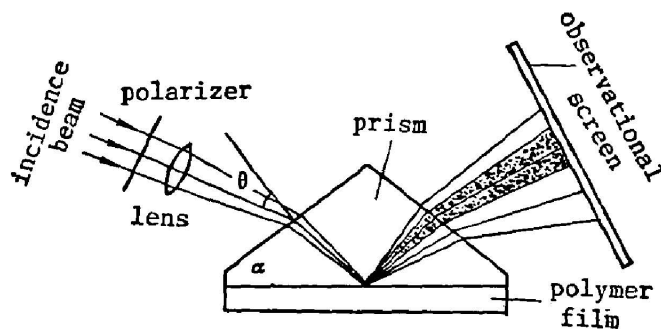


Fig. 2 Measurement set up

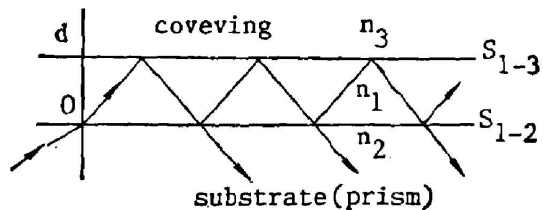


Fig. 1 The structure of three-layer slab waveguide

测量装置如图 2 所示。将被测样品固定在一精度为 30'' 的测角工作台上。光源采用 6328 Å He-Ne 激光器, 其功率为 25 mW。测量时

固定入射光束, 将入射点调节到圆转盘的旋转中心, 旋转转盘并观察屏幕上的  $m$  线。从 0 阶模开始, 分别激励各模式, 则得到一组与模阶数相对应的同步入射角  $\theta_i$ 。并根据有效折射率计算公式<sup>[5]</sup>, 求出两种薄膜的有效折射率  $N_m$  值。将其代入模方程, 即可得到薄膜折射率  $n_f$  和薄膜厚度  $d$ 。表 1 列出聚苯乙烯和聚醚砜两种薄膜的 TE 模测量和计算结果。

Table 1 The measured and calculated results

Sample materials	$m$	$\theta_i$	$N_m$	$n_f$	$d(\mu\text{m})$
polystyrene	0	26°6'36''	1.5815	1.583	3.66
	1	35°18'26''	1.5748		
	2	33°28'20''	1.5630		
polyethert sulphone	0	48°8'45''	1.6434	1.646	3.12
	1	46°10'11''	1.6357		
	2	43°24'44''	1.6223		

本文测量和计算中采用的棱镜参数为:  $\alpha=44^{\circ}56'22''$  (聚苯乙烯)、 $\alpha=44^{\circ}43'28''$  (聚醚砜),  $n_g=1.7500$  (对  $6328 \text{ \AA}$ )。

由于聚合物薄膜的各向异性较大,我们对上述两种材料的双折射进行了测量。测量时,通过起偏器产生 TE 和 TM 两种偏振光。测出的聚苯乙烯和聚醚砜的双折射为:

聚苯乙烯	聚醚砜
$n_{TE}=1.583 \pm 0.001,$	$n_{TE}=1.646 \pm 0.001,$
$n_{TM}=1.587 \pm 0.001,$	$n_{TM}=1.632 \pm 0.001,$
$\Delta n=0.004 \pm 0.001,$	$\Delta n=0.014 \pm 0.001。$

## 四、讨 论

在我们的测量中,由转盘精度、零位对准及  $m$  线瞄准误差决定的测角误差  $\Delta\theta_1=1'$ , 棱镜底角误差  $\Delta\alpha=20''$ , 棱镜材料折射率误差  $\Delta n_2=0.0001$ , 利用文献[5]中有效折射率计算公式,求得  $\Delta N < 0.0003$ 。进而由模方程计算出薄膜折射率误差  $\Delta n < \pm 0.001$ , 薄膜厚度误差  $\Delta d < 0.01 \mu\text{m}$ 。这个测量精度足够满足对聚合物薄膜光学特性的研究。

聚醚砜(polyethersulphone)是一种新的有机材料,它的特点是光学透明性好(在可见光范围透过率在 90% 以上),各向异性大。很可能成为重要的功能材料。本文中测得的折射率和双折射均为首次报道。对于它的非线性、电光效应和声光弹性效应等物理现象和参数,有待今后进一步研究。

用准光波导方法不仅限于单层聚合物薄膜的测量,也可用于测量双层或多层聚合物薄膜。特别对于 Langmuir-Blodgett 薄膜的研究无异也将是一种重要的方法。

## 参 考 文 献

- [1] D. Narayana Rao; *J. Chem. Phys.*, 1986, **84**, No. 15 (Jun), 7049~7050.
- [2] C. Sautered *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1976, **36**, No. 16 (Apr), 956~969.
- [3] Ding Tienan, E. Garmire; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 20 (Oct), 3177~3181.
- [4] R. Th. Kersten; *Opt. Commun.*, 1975, **13**, No. 3 (Mar), 327~329.
- [5] B. Ulrich, R. Torge; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 12 (Dec), 2901~2908.

## Parameter measurement of polymer thin film with quasi-waveguide method

BEN BINGFU, DING TIENAN AND LANG WEIDAN

(*Changchun Institute of Physics, Academia Sinica*)

(Received 25 May 1987; revised 4 August 1987)

### Abstract

A new experiment for measuring the parameters of polystyrene and polyether-sulphone films using quasi-waveguide method is reported. The films were deposited on the substrats with the shape of prism. Leaky mode m-lines of the films were measured. The index and the thickness of the films were determined by using leaky mode equation. The birefringence of the film was obtained with the aid of different polarized laser beam. The measurement errors of the index and thickness are about  $\pm 1 \times 10^{-3}$ , and  $\pm 0.01 \mu\text{m}$  respectively.

**Key words:** integrated optics; quasi-waveguide.