

文章编号: 0258-7025(2001)10-0945-04

用视频摄像技术测定纳米晶聚合物 复合薄膜的传输损耗^{*}

吕增海¹ 杨旭东¹ 任 诠¹ 王雪亭¹ 阎晓琴¹ 孟凡青² 马常宝² 张光辉² Y. T. Chow³

(山东大学¹ 光学系²; 晶体材料国家重点实验室 济南 250100³ 香港城市大学光电子学研究中心 香港)

提要 研制了一种新的钛酸铅-聚醚醚酮(PT-PEK-c)纳米晶聚合物复合薄膜,用视频摄像技术准确、实时地分析了这种复合薄膜的传输损耗。该方法包括一架高分辨率的数码相机和相应的数据处理软件,以及棱镜耦合系统,其测量范围为 0.5~100 dB/cm,用这种方法测得 PT-PEK-c 纳米晶聚合物复合薄膜在 633 nm 处的传输损耗为 3.09 dB/cm。

关键词 纳米晶聚合物复合薄膜,传输损耗,视频摄像技术

中图分类号 O 484.3 文献标识码 A

Determination of the Transmission Loss of Nano-crystal and Polymer Complex Thin Films Using Photographic Technique

LÜ Zeng-hai¹ YANG Xu-dong¹ REN Quan¹ WANG Xue-ting¹

LÜ Xiao-qin¹ MENG Fan-qing² MA Chang-bao² ZHANG Guang-hui² Y. T. Chow³

¹Department of Optics, ²National Laboratory of
Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100
³Optoelectronics Research Center, City University of Hong Kong, Hong Kong

Abstract A kind of novel nano-crystal and polymer complex thin film PT-PEK-c was fabricated. The transmission loss of the complex thin film was measured accurately and real-timely using photographic technique. The method involves a digital camera that has good spatial resolution and corresponding data processing software, the prism-coupling system as well. It can be used over a wide range of loss values from 0.5 dB/cm to the order of 100 dB/cm. The transmission loss of nano-crystal and polymer complex thin film PT-PEK-c at 633 nm is measured to be 3.09 dB/cm.

Key words nano-crystal and polymer complex thin film, transmission loss, photographic technique

1 引 言

近年来,非线性光学聚合物薄膜及其器件,由于具有通过波段宽、非线性效应强、介电常数低等性能,且易于制备、集成,在光信息处理、光通信等技术中具有潜在的应用前景,因此成为非线性光学材料领域研究的热点^[1]。

钛酸铅(PbTiO₃)是一种优良的热释电材料,其热释电系数约为 $2.5 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2 \cdot \text{K}$,热容量小^[2],同时还具

备良好的电光性能,它的电光品质因子为 LiNbO₃ 的 10 倍。

最近,我们利用化学溶液分解法(CSD)合成了粒度为 40 nm 的 PbTiO₃ 纳米微晶,并将其与高玻璃化温度、透明性好的聚醚醚酮(PEK-c)复合制备了钛酸铅-聚醚醚酮(PT-PEK-c)复合薄膜。这种纳米微晶聚合物复合薄膜不仅具有良好的光学性能,而且稳定性良好。633 nm 处的折射率 $n_o = 1.65248 \pm 0.00136$, $n_e = 1.64392 \pm 0.00186$ ^[3]。室温下的介电常数约为 4,介电损耗 $< 10^{-2}$,在 400~900 nm 波段内光透过率高达 90% 以上^[4]。另外,作为光波导器件的优选材料,光在薄膜内的传输损耗也是一个非常重要的参数。对薄膜光波导的传输损耗进行准确实时地表征与分析,是改进薄膜制备工艺的

^{*} 国家自然科学基金(60077016,69890230)和晶体材料国家重点实验室开放课题资助项目。

收稿日期 2000-07-03;收到修改稿日期 2000-09-04

必要环节。

目前,已经报道了许多测量平面波导传输损耗方法。如棱镜滑动法^[5]、三棱镜耦合法^[6]等。薄膜波导的损耗主要来自光的散射,散射光的强度直接反映了膜内传输光的相对强度,因此,通过测量散射光的强度就可得到膜内传输光的强度变化。这就使得散射光测量技术倍受重视,并提出了许多测量方法。文献^[7]提出的光纤探测技术就具有很好的空间分辨率,但由于探针必须沿光束条纹移动,使得测量系统很难准直。De Bernardi 等提出的显微光度计扫描系统^[8]以及 Himel 和 Gibson^[9]采用容易准直且便宜的光纤束都是与光纤探测技术相似的方法。Awai 等建议使用一个玻璃探针^[10],因为它能提供更大的收集窗口且使输出稳定,从而使实验装置有更好的机械承受力,其不足之处仍是较低的空间分辨率,另外,还出现了玻璃的偏振效应。后来,Wang^[11]建议利用一个 Coblentz 镜,虽然它能通过收集整个半球的光束,进行稳定、准确的测量,且有较高的信噪比,但由于 Coblentz 镜的制造、所测波导的定位、半球中心探测器的定位、机械滑块的制造都比较困难,造成了该测试方法的难度。

我们根据 Okamura 等提出的视频摄像技术^[12],建立了一套新的测量光波导传输损耗的实验装置,它包括一架 Kodak DC20 数码相机以及相应的数据处理软件(Photoshop 与 Photoshop 5.0)和棱镜耦合系统。并用此方法测得了 PT-PEK-c 薄膜在 633 nm 处的传输损耗为 3.09 dB/cm。

2 实验

2.1 样品制备

PT-PEK-c 薄膜样品是采用旋涂法制备的。用折射率 $n_3 = 1.51723$ (633 nm) 的 ITO 玻璃(K18)基片作为薄膜的衬底,将玻璃基片平放在旋转台上,控制匀胶机的转速,并选择适当的溶液和挥发速率适宜的溶剂,即可得到厚度均匀的薄膜。然后将旋涂而成的薄膜置于真空烘箱中,在 60℃ 温度条件下恒温 12 h,以充分除去薄膜中所含的溶剂。利用 Metricon 2010 金红石棱镜耦合器,测得薄膜的厚度为 0.991 μm。

2.2 实验测量

聚合物薄膜光波导传输损耗定义为输出光强相对输入光强的下降,通常以 dB/cm 为单位来表示,它是单位距离内输出光强与输入光强之比的常用对数的 10 倍。假定光波导在介质薄膜中传输时,其能量随传输距

离的增大以指数形式衰减,则

$$p_x = p_0 \exp(-\alpha x)$$

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} \cdot \ln\left(\frac{p_{x1}}{p_{x2}}\right) \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (1)$$

$$L = -\frac{10}{x_2 - x_1} \cdot \lg\left(\frac{p_{x2}}{p_{x1}}\right) \quad (\text{dB/cm}) \quad (2)$$

其中 x 为探测点到输入耦合点的距离, p 为光强, α 为衰减系数, L 为传输损耗。

实验采用 633 nm 的 He-Ne 激光器作光源,通过聚焦透镜和耦合棱镜将光耦合入波导膜内,整个实验装置如图 1 所示。

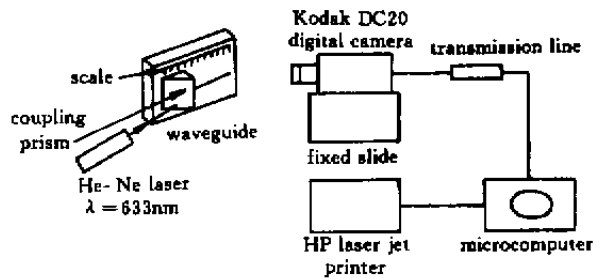


图 1 传输损耗测量装置

Fig.1 Experimental setup for transmission loss measurement

首先,将直角棱镜置于 PT-PEK-c 薄膜之上,并用夹具的螺丝夹紧棱镜-膜,以使光耦合成为可能。这个结构平放于一个精确可调的旋转平台上,调节旋转平台,可调节输入光波的入射角度,使不同模式的光耦合进波导内,直到薄膜表面的条纹清晰可见。耦合进波导的传输模式由下式描述,

$$k_y W = \Phi_{fa} + \Phi_{fs} + 2m\pi \quad (3)$$

其中,

$$k_y = k_0 (n_f^2 - N_m^2)^{1/2}$$

$$k_0 = 2\pi/\lambda_0 \quad (4)$$

Φ_{fa} 为薄膜-空气界面的相移, Φ_{fs} 为薄膜-衬底界面的相移, N_m 为 m 阶模的有效折射率, n_f 为薄膜的折射率, λ_0 为入射光在真空中的波长, W 为薄膜的厚度。

然后,移动数码相机下面带有气垫的滑块,使数码相机聚焦最好,随即固定滑块。挡住激光光束,拍得背景图像,撤去挡板,其他条件保持不变,再拍得条纹图像。

3 实验结果及讨论

取下数码相机,用专用传输线将数码相机与微型计算机串行口联接,启动下载图像软件,得到背景图像和光束条纹图像,如图 2(a)(b)所示。将两幅数字图像位置配准后,用条纹图像数据减背景图像数据,所得差值图像数据即消除了背景光的影响。这个差值图像数据实际上是一个矩阵,每一个元素就是一个图像像元,

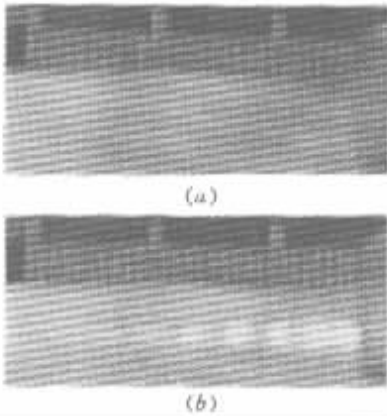


图 2 背景与光束条纹图像
(a)背景 (b)光束条纹

Fig.2 Images of the background and the streak
(a) the background ;(b) the streak

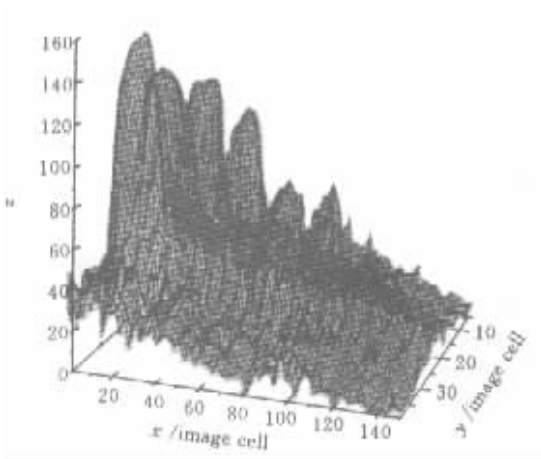


图 3 散射光强的三维分布

Fig.3 Scattered intensity three-dimensional profile

与该点散射光强成正比。我们所使用的 Kodak DC20 数码相机采用高解析度模式,可储存 8 幅影像,影像的大小为 493×373 像素,根据图 5 可知,每一个像元所代表的实际尺寸为 0.178 mm ,所以测量的空间分辨率为 0.178 mm ,在计算传输损耗时需要用到这个参数。显然,影像所取像素越多,测量的空间分辨率越高。差值图像数据表示了散射光强的数值,取导模传输方向为 x 轴, y 轴与导模传输方向相垂直, z 轴表示散射光强的大

小,作出薄膜波导内导模散射光强分布的三维图像,如图 3 所示。将差值图像沿 y 方向积分,便得到散射光强在 x 方向的分布,如图 4 所示。为了能够准确测定导模散射光强在薄膜波导内的分布,在拍摄图像前,在薄膜波

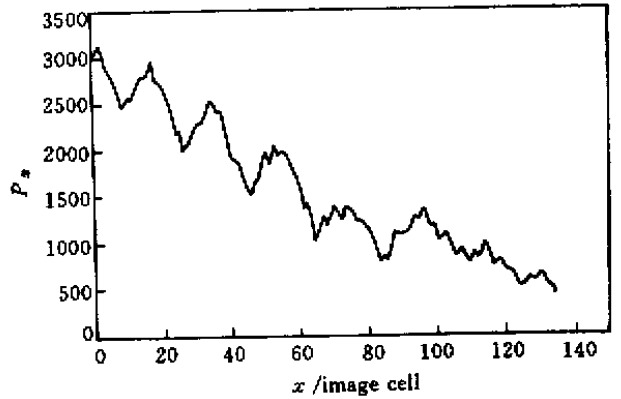


图 4 散射光强 P_x 在导模传输方向 x 上的分布图

Fig.4 Scattered intensity P_x versus propagation direction x characteristic curve

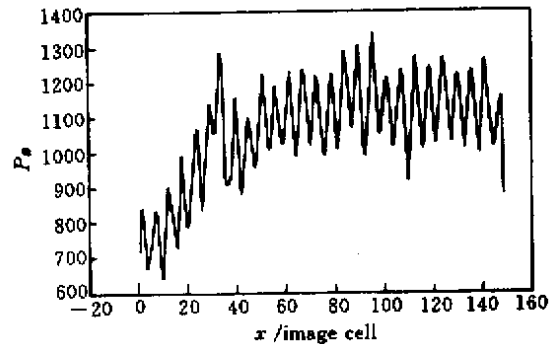


图 5 标尺刻度分布

Fig.5 Image of the scale

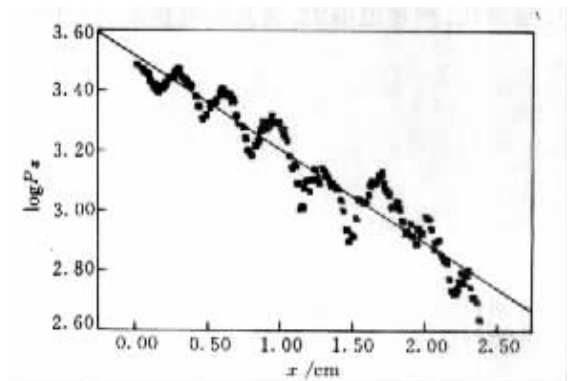


图 6 PT-PEK-c 薄膜的传输损耗曲线

Fig.6 Transmission loss curve for PT-PEK-c film

导表面放置一个标尺,其最小刻度为 1 mm 。获取图像数据后,根据图像上的标尺,如图 5 所示,确定出每一个像

元所代表的实际尺寸。图 6 为薄膜光波导的传输损耗曲线,根据线性拟合所得直线的斜率,计算出 PT-PEK-c 薄膜的传输损耗 $L = 3.09 \text{ dB/cm}$ 。

结果表明,由于 PT-PEK-c 薄膜波导是由以微晶的形式存在的 PT 与 PEK-c 复合而成,因此使得波导内光散射较强,造成薄膜的传输损耗较大。

从图 2 的照片、图 3 的三维图、图 4 的 x 方向分布和图 6 的损耗曲线看出,实验测量到的散射光强存在周期性起伏,这是由于薄膜波导中传输光束的散射光所经路径不同(图 7)。另外,图 6 中线性拟合所得的传输损耗是个平均值,它更接近于真实值。因为单独图中的最高点可线性拟合出传输损耗,单独图中的最低点可线性拟合出传输损耗,而把所有点进行线性拟合所得传输损耗即为薄膜波导平均的传输损耗,提高了测量的精确度。

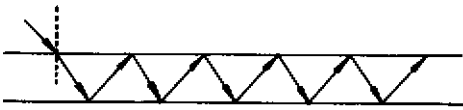


图 7 光束在 PT-PEK-c 薄膜内的传输

Fig.7 Transmission beam of light in PT-PEK-c film

总之,视频摄像技术^[12]首先是应用棱镜耦合器将光耦合进薄膜并使其沿着某一方向在薄膜内传播;然后,用数码相机对光束条纹进行即时拍照。避免了其他测试方法中因存在机械操作所造成的问题,同时排除了周围环境和激光光束的不稳定性对测量结果的影响,标尺的使用,也保证了传输距离的准确测量。该方法的测量范围为 $0.5 \sim 100 \text{ dB/cm}$ 。因此,这种方法不仅能准确、实时地测得各种光波导的传输损耗,测量范围大,而且具有较高的空间分辨率。

参 考 文 献

- 1 J. C. Scott. Nonlinear competition heats up. *Science*, 1995, **267** (31):1918 ~ 1921
- 2 Haoshuang Gu, Anxiang Kuang *et al.*. Fabrication and structure analysis of c -axis oriented PbTiO_3 thin film. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 1992, **37** (17):1561 ~ 1562 (in Chinese)
- 3 Quan Ren, Zhigang Wang, Shiyi Guo *et al.*. Measurement of PT/PEK-c polymer film parameters using the quasi-waveguide m-line method. *Journal of Materials Science Letters* (材料科学杂志快报), 1997, **16** (16):1389 ~ 1391 (in Chinese)
- 4 Quan Ren, Zhigang Wang, Shiyi Guo *et al.*. Analysis of the microstructures and determination the optical band-gap of c -axis oriented PT/PEK-c thin film. *Journal of Materials Letters* (材料科学杂志快报), 1998, **17** (3):407 ~ 408 (in Chinese)
- 5 H. P. Weber, F. A. Dunn, W. N. Leibolt. Loss measurements in thin-film optical waveguides. *Appl. Opt.*, 1973, **12** (4):755 ~ 757
- 6 Y. H. Won, P. C. Jaussaud, G. H. Chartier. Three-prism loss measurements of optical waveguides. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **37** (3):269 ~ 271
- 7 W. Gleine, J. Müller. Low-pressure chemical vapor deposition silicon-oxynitride films for integrated optics. *Appl. Opt.*, 1992, **31** (12):2036 ~ 2040
- 8 C. De Bernardi, A. Loffredo, S. Morasca. Optimum conditions for waveguide loss measurements by scattered radiation detection at visible and near-IR wavelengths. *SPIE*, 1986, **651**:59 ~ 62
- 9 M. D. Himel, U. J. Gibson. Measurement of planar waveguide losses using a coherent fiber bundle. *Appl. Opt.*, 1986, **25** (23):4413 ~ 4416
- 10 I. Awai, H. Onodera, Y. K. Choi *et al.*. Improved method of loss measurement for optical waveguides by use of a rectangular glass probe. *Appl. Opt.*, 1992, **31** (12):2078 ~ 2084
- 11 H. M. Wang. Measurement of optical waveguide scattering loss: an improved method by the use of a Coblentz mirror. *Appl. Opt.*, 1994, **33** (9):1707 ~ 1714
- 12 Y. Okamura, S. Yoshinaka, S. Yamamoto. Measuring mode propagation losses of integrated optical waveguides: a simple method. *Appl. Opt.*, 1983, **22** (23):3892 ~ 3894