

文章编号: 1001-5078 (2006) 09-0844-03

# 有机聚合物薄膜光波导传输损耗的测量方法

高 宇, 廖进昆, 杨亚培, 刘永智  
(电子科技大学光电信息学院, 四川 成都 610054)

**摘 要:** 文章综述了测量非线性光学 (NLO) 聚合物薄膜材料光波导传输损耗的三种新方法及原理, 分别给出了典型的实验装置结构图, 并对它们的特点进行了比较。

**关键词:** 聚合物薄膜; 传输损耗; 测量方法

**中图分类号:** TN252 **文献标识码:** A

## Measurement Methods of Optical Waveguide Propagation Loss of Polymer Thin Films

GAO Yu, LIAO Jin-kun, YANG Ya-pei, LIU Yong-zhi  
(Dept of Opt Electronics Technology, UESTC, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** The principles of the common methods to measurement the propagation loss of the NLO polymer film optical waveguide are summarized, and the typical experimental arrangements are presented. A comparison of the characteristic of these methods is given.

**Key words:** polymer thin film; propagation loss; measurement method

### 1 引 言

材料制作是决定光波导器件性能的重要因素之一。近年来, 有机聚合物光学材料以其制作成本低、易加工、与传统的半导体工艺相容及非线性光学系数较大、响应时间快、介电常数小等优点成为制作光波导的重要材料。波导薄膜中导波光的传输损耗是评价介质平板波导的一个重要参数, 对传输损耗的精确测量和表征直接决定光波导在通信领域的可用性<sup>[1-2]</sup>。制约波导能量传输效率的因素主要有: 由波导界面的畸变或粗糙引起的散射损耗; 由波导折射率分布的畸变引起的散射损耗; 由带间跃迁及自由载流子吸收引起的吸收损耗。

要精确测量波导的传输损耗, 需要获得传输线上各点实际通过的光强, 拟合出一条光强传输衰减曲线并计算衰减系数。广泛使用的测量传输损耗的滑动棱镜法、三棱镜耦合法<sup>[3-4]</sup>都是利用棱镜依次将传输线上各点的光耦合出来进行测量, 但是滑动棱镜法需要在波导表面反复滑动棱镜, 要求很复杂的实验技巧, 且会对聚合物制成的波导表面造成伤

害; 而三棱镜耦合法需要波导比较长。视频摄像技术是近年来发展出的测量传输损耗的方法<sup>[5]</sup>, 它通过用 CCD 对波导表面扫描, 获得散射光强的二维分布, 从而快速、准确地得到光传输损耗。本文主要介绍了测量薄膜光波导传输损耗的三种新方法, 论述方法的原理, 并总结了它们的特点。

### 2 液体耦合法<sup>[6-8]</sup>

该法基于传统的滑动棱镜法理论, 以液体取代棱镜, 将传输线上各点的光耦合出来实现对光波导传输损耗的测量。测量装置如图 1 所示, 激光器的输出光束耦合入单模光纤, 再依次经过透镜和偏振器, 由安装在转台上的棱镜耦合入光波导。随着转台的转动可改变入射到棱镜上的角度, 激起光在波导内的不同传输模式。由于激光器的输出光强不能在长时间保持稳定, 楔形劈尖反射 4% 的能量到探

基金项目: 总装预研基金资助项目。

作者简介: 高 宇 (1982 - ), 女, 硕士, 主要从事聚合物光电子器件方面的研究工作。

收稿日期: 2006-03-14

测器 D1,以监控输入光功率的变化。波导的另一端插入装有匹配液的 V 形玻璃槽中,由于匹配液的折射率高于波导薄膜的折射率,根据菲涅尔定理,不再满足全反射的导波光会以一定的角度折射到匹配液中,泄漏光线经透镜 L2 汇聚,再经过光阑去除杂散光,由探测器 D2 接收。

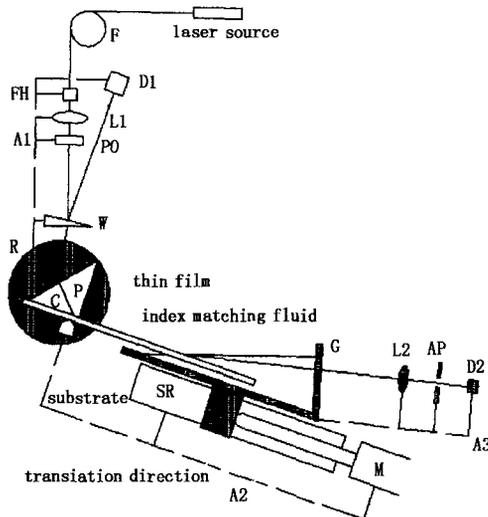


图 1 液体耦合法测量装置

测量中,V型槽由步进电机推进,以 0.5cm/m in 的速度沿波导方向缓慢上升,以改变波导插入液面的深度。在波导与液面相接的不同点,记录下 x 的坐标,由探测器 D2 测量到此时的泄漏光强  $P_x$ ,将该组值同时输入到计算机中进行处理,最后由绘图仪绘得曲线。曲线的斜率 A 就是光波导导模的传输损耗值:

$$A = -\frac{10}{x_2 - x_1} \left[ \log_{10} \left( \frac{P_{x_2}}{P_{x_1}} \right) - \log_{10} \left( \frac{P_{x_1}}{P_{x_1}} \right) \right] \quad (1)$$

式中,  $P_{x_1}$ ,  $P_{x_2}$  分别表示在位置  $x_1$  处,探测器 D1、D2 探测到的光强,因为由激光器提供的输入光强不能在长时间内保持稳定,用这种计算方法减小输入光强的波动造成的测量误差。

测量时要选取折射率合适的匹配液,防止从波导泄漏出的光线与匹配液的液面发生二次折射,影响测量结果。另外注意匹配液的性质,防止波导在测量过程中因为沉浸在匹配液中而受到损伤,造成破坏性测量。

### 3 包层改变法<sup>[9-10]</sup>

该方法是利用将波导插入折射率一定的液体,将液体取代原来的空气作为波导的上包层,光在传播过程中会有部分能量散射到上包层中去,通过波导浸入深度的改变,实现对光波导不同模式传输损耗的测量。

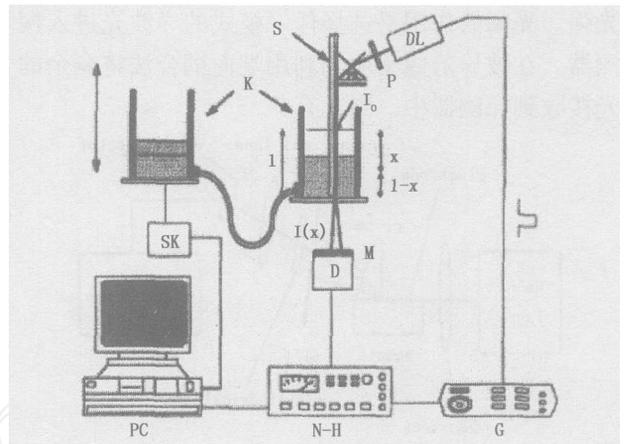


图 2 包层改变法测量装置

其测量装置如图 2 所示,一束激光光束经偏振片变为线偏振光后,由棱镜耦合入波导,在波导的末端设有探测器接收输出光。将波导竖直插入盛有液体的试管中。为保证在测量中波导的末端与探测器之间的距离恒定,将该试管与另一盛有同样液体的试管底部相连,利用连通器原理实现波导浸入液体深度的改变。试管移动的高度由步进电机控制,从而逐步增加波导与液体接触的长度  $(1-x)$ ,而减小导波光在以空气为包层的波导中传输的距离  $x$ 。

在波导末端探测器接收到的光强由两部分决定:在以空气为包层的波导中传输的光强和以液体为包层的波导中传输的光强,即:

$$I = I_0 \exp[-\alpha_f X] A \exp[-\alpha_B (1-X)] \quad (2)$$

将上式表示为:

$$I = A I_0 \exp[-\alpha_B X] \exp[-(\alpha_f - \alpha_B)] \quad (3)$$

其中, A 表示光在由空气到液体界面的损失系数;  $\alpha_f$  表示光在以空气作为包层的波导中的衰减系数;  $\alpha_B$  表示光在以液体作为包层的波导中的衰减系数。因第一部分是常量,进一步将该式简化为:

$$I = I_0 \exp[-(\alpha_f - \alpha_B)] \quad (4)$$

由式(4)可见,出射光强的大小决定于两传输损耗之差,若假设光在以空气为包层的介质中的传输损耗  $\alpha_f$  小到可以忽略,进一步考虑光在液体介质中的传输损耗  $\alpha_B = \alpha_f + \alpha_{B_0}$ ,  $\alpha_{B_0}$  表示液体对导波光的吸收损耗系数,在实验中先获得,最后利用最小二乘法求得  $\alpha_{B_0}$ 。

### 4 调制法<sup>[11]</sup>

该法利用相位调制原理实现对光波导的无损测量。其实验装置如图 3 所示,它以 He-Ne 激光器为光源,只采用一个棱镜作输出耦合器,且在整个测量过程中位置固定,通过它将薄膜表面的导波耦合出来,形成空间光束,进入探测器,测得输出光束的

光强。光阑的作用是选择任一模式的导波光进入探测器。在波导的输出端仍利用端面耦合法将剩余的光接收到探测器中。因此有:

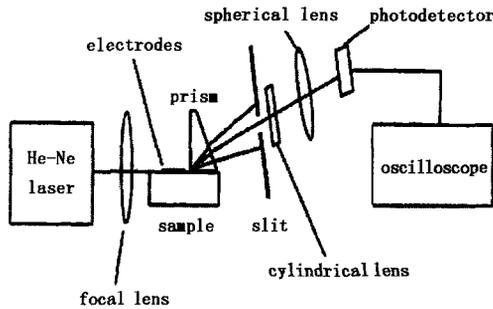


图 3 调制法测量装置

$$I_P = I \exp(-\alpha_{ep}L) \quad (5)$$

$$I_W = I \exp(-\alpha_{ew}L) \quad (6)$$

$$I_1 = I_m = I_W - I_P = I \quad (7)$$

$\alpha_{ep}$ 、 $\alpha_{ew}$  分别代表放置和未放置棱镜时波导通过端部耦合法得到的总传输损耗;  $I_P$ 、 $I_W$  表示相应的情况下由探测器接受到的输出光强。 $I_1$  表示从棱镜接收到的总光强,  $I_m$  表示在  $m$  线上, 利用光阑接收到的第  $m$  阶导模的输出光强, 再根据:

$$I_{wm} = I_m \exp(-\alpha_{ewm}L) = I_{pm} + I_{1m} = I_m \exp(-\alpha_{epm}L) + I_{1m} \quad (8)$$

式中,  $\alpha_{epm}$  与  $\alpha_{ewm}$  分别表示在有棱镜和无棱镜时第  $m$  阶模式的损耗系数。忽略棱镜对不同阶模式耦合效率的变化, 假设棱镜对每阶模式都有相同的耦合效率, 利用 (7) 式, 得到:

$$I_1 = I = I_m = I_{1m} \quad (9)$$

因此由式 (7)、(8)、(9), 获得如下关系:

$$\exp(-\alpha_{ewm}L) = \exp(-\alpha_{epm}L) + [\exp(-\alpha_{ew}L) - \exp(-\alpha_{ep}L)] \quad (10)$$

分别通过电极施加三角波交流电压和直流电压。在未加交流电压时用直流电压来调整有效传输长度以在波导端面获得最大输出。通过测量光强可以求得  $\alpha_{epm}$ 、 $\alpha_{ew}$ 、 $\alpha_{ep}$ , 从而得到任意模式的波导传输损耗  $\alpha_{ewm}$ 。

## 5 结束语

液体耦合法是基于传统滑动棱镜法理论发展出的方法, 实验操作简便, 快速, 可对波导进行重复性测量, 精度较高, 尤其适用于传输损耗低于  $0.1 \text{ dB/cm}$  光波导的测量。且能用于检测波导表面的平整程度和对不同芯层组成的波导的一次性测量。

包层改变法利用光波导在传输过程中发生外部散射的原理, 通过改变光波导包层对光线的吸收情况, 实现对光波导不同模式光传输损耗的测量。但

该方法不能直接测量光波导的传输损耗, 且在对数据的处理方面较为复杂。

调制法将相位调制、端面耦合和棱镜耦合技术合理融合实现对光波导传输损耗的测量。测量中, 减小了耦合效率的损耗, 有较高的测量精度。该方法为设计满足需要的多模波导光电器件提供了一定的指导意义。但在对光波导的制作尤其在电极的制作方面要求较高, 实验操作较为复杂。

## 参考文献:

- [1] SMotakef, J M Boulton, et al Polyceram planar waveguides and optical properties of polycerani films[A]. Proc SPIE, 1992, 1758: 432 - 445.
- [2] Garito A, et al Nonlinear optics of organic and polymer materials[J]. Physics Today, 1994, 47 (5): 51257.
- [3] E A A ntunyan, S Kh Gabyan New method for loss measurements in optical waveguides[J]. Optics Communications, 1986, 57 (6): 3912393.
- [4] Q Ren, Z G Wang, S Y Guo, et al Analysis of the micro structures and determination of the optical bandgap of c-axis oriented PT/PEK-c thin film [J]. Mater Sci Lett, 1998, 17 (3): 4072408.
- [5] Aggarwal V, Adityal S Measurement of loss and mode-profile for integrated-optic waveguides using a camera [A]. Proc SPIE, 2001, 4579: 311 - 316.
- [6] Opilski Z, Rogozuiski R, et al Attenuation measurement of planar optical waveguides using the immersion coupler [A]. Proc SPIE, 1996, 2943: 141 - 144.
- [7] Cha-Chi Teng Precision measurements of the optical attenuation profile along the propagation path in thin-film waveguides[J]. Applied Optics, 1993 32 (7): 1051 - 1054.
- [8] Opilski Z, Gut K, et al Automation of set-ups for the measurement of refractive index distribution and attenuation in planar waveguides [A]. Proc SPIE, 1997, 3189: 61 - 65.
- [9] Gut K, Pamula M. Attenuation planar waveguides with absorbing cover-new measurement method [A]. Proc SPIE, 2003, 5028: 96 - 102.
- [10] Robert A, Renyuan Gao, Shama J. Sources of loss in single-mode polymer optical waveguides [A]. Proc SPIE, 2001, 4439: 19 - 28.
- [11] Ching-Ting Lee Nondestructive measurement of separated propagation loss for multimode waveguides [J]. Applied Physics, 1998, 73 (2): 133 - 135.
- [12] D R Alfredo, Ortiz V, Calligaro M. Measuring propagation loss in a multimode semiconductor waveguide [J]. Applied Physics, 2005, 97 (7): 073105.