

低损耗有机聚合物光波导的制备 及其数字化测量技术*

蒋 毅 曹庄琪 仇琳琳 沈启舜 陈英礼
(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

摘 要 介绍了低损耗有机聚合物光波导的制备工艺, 并采用 CCD 摄像法对波导的传输损耗进行测量。制备了在 632.8 nm 波长下传输损耗小于 0.5 dB/cm 的有机聚合物光波导。

关键词 有机聚合物, 光波导, 传输损耗, CCD 摄像法。

在众多非线性光学材料中, 有机聚合物光学材料以其低介电系数、平坦的频率响应(从直流到光频段)、以及与半导体相容的制备工艺而成为制造光波导的重要材料^[1, 2], 并作为制备无源光纤和有源光电子器件的新型材料引起了广泛的重视。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。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和由带间跃迁及自由载流子吸收引起的吸收损耗, 由波导弯曲而引起的功率损耗。半导体波导以材料的吸收损耗为主, 而对于各类电介质波导则以散射损耗为主^[3]。

有机聚合物波导最显著的特点就是具有大分子、多交链的结构。根据 Mie 氏散射理论, 散射随分子的增大而增大。虽然可以采取过滤的方法限制分子的直径, 但一味地减小分子尺寸又会降低材料的实用价值。因为光波导器件要求非线性光学材料能具有一定的耐热性, 同时具有很高的机械强度, 而实现这些目的的重要手段就是增加交链, 提高聚合物刚性。因此, 由大分子链造成大散射损耗是无法避免的。在掺杂体系聚合物中, 发色团客体 and 聚合物母体又存在相容性较差的问题, 主客体的相分离使得客体结晶趋势加强, 加剧了散射损耗。除此之外, 由于石英基片的表面光洁度受到抛光工艺的限制, 界面的不规则导致导模与辐射模间的耦合。而且, 在高温操作下, 有机聚合物与衬底石英片热膨胀不均匀, 使波导表面弯曲, 引起能量辐射^[4]。

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, 拟合出一条传输衰减曲线并计算衰减常数, 但这种测量需要在波导内部进行而显然不可能。常用测量方案如截断法和滑动棱镜法都存在着不足。本文介绍的是对波导的外部散射光强进行测量, 对应到波导内部的传输光强的测量方案。即采用 CCD 对波导进行数字成像, 再通过数字图像处理中

* 上海市教委重点课题基金资助项目。

收稿日期: 1998-01-13; 收到修改稿日期: 1998-09-24

的中值滤波技术来去除噪声, 根据传输线上的光强分布拟合出光强传输衰减曲线, 计算出波导的传输损耗。

1 制备工艺

用以制备光波导的有机聚合物是主客掺杂体系, 即将有机染料掺杂于聚合物母体, 再溶解于有机溶剂配置而成。

有机染料应具有较高的超分子极化率, 例如可采用分散红(DR-1), 聚合物母体应具有良好的光学透明性、较高的玻璃化温度、较低的介电常数以及与有机染料的良好相容性。聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)满足上述要求。DR-1 和 PMMA 的分子式如图 1 所示。

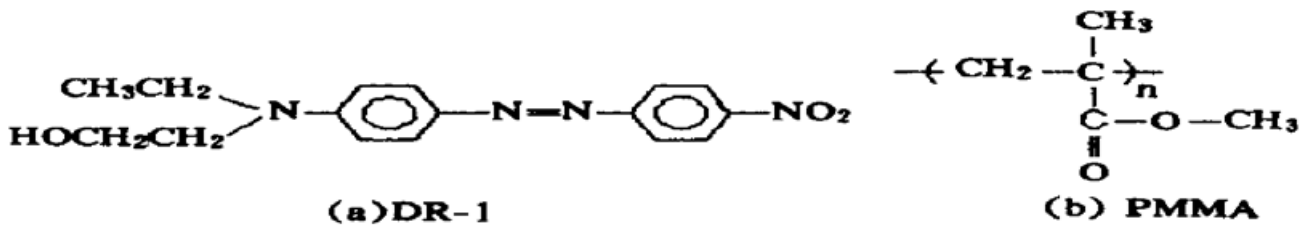


Fig. 1 Molecule structure of DR-1 and PMMA. (a) DR-1, (b) PMMA

有机溶剂选用一氯代苯, 易于成膜且膜面光滑均匀。波导衬底材料选用 $4.0 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ 的经双面抛光的石英玻璃。对于 He-Ne 激光, 其折射率为 1.4590。由于基片的清洁程度在很大程度上影响到波导的传输特性, 所以在成膜前对波导进行清洗是必需的。清洗主要包括超声波清洗、去离子水清洗、酒精清洗、丙酮清洗和烘烤。

将石英基片放置于甩胶涂膜机转盘上, 将配好的有机溶液滴至基片上。如果为了制备损耗低的波导, 则需另外经 $0.5 \mu\text{m}$ 或 $0.2 \mu\text{m}$ 的针筒过滤, 以滤去长链分子, 减弱散射吸收。膜厚通过甩胶机转盘转速来控制。当甩胶机转速约为 $1000 \sim 1500 \text{ r. p. m.}$ 时, 膜厚 $1 \mu\text{m}$ 左右, 此时波导仅能承载单模。要制备多模波导需降低转盘转速以增加膜厚。例如双模波导需要转盘转速在 $600 \sim 1000 \text{ r. p. m.}$ 。转盘运转时间一般需大于 30 s , 以保证膜厚均匀。

成膜后, 将样品放入烘烤箱烘烤, 温度保持在 90°C , 30 min 后取出, 其目的是使薄膜老化坚硬, 同时蒸发掉残留在膜表面的溶剂。因为薄膜的软化和沾染灰尘都将严重影响膜的均匀度, 而薄膜的均匀度直接关系到波导的质量。应该注意的是, 烘烤温度不宜超过 PMMA 的玻璃化温度, 而且时间不宜过长, 否则会引起聚合物分子链的松动、断裂, 导致分子分解和升华。

2 测量原理

理想的平板波导是不存在外部散射光的, 而真实波导由于界面不平整以及波导内部杂质散射, 使导模转变为辐射模。可以认为: 某一位置散射出来的光强主要受到该点的传输光强、界面不平整程度、杂质多少的影响。由于整块波导是在特定条件下一次性制备, 后两因素的影响可以认为在整块波导中平均分布, 即使由于杂质大小有涨落而出现某点散射光特别强, 也可以在后期的图像处理中采用数字滤波技术加以消除。因此, 散射光强将只和该处的实际传输光强线性相关。据此, 可以采用数字成像器件 CCD 对传输线上各点的散射光强进行记录, 转换成内部传输光强, 拟合出传输衰减曲线并计算衰减系数。

物理测量要求真实而无损地测得被测量的各种物理参数，所以要求测量元件对被测系统

产生的微扰尽可能小。由于 CCD 镜头离波导足够远(大于 5 cm)，对波导传输特性的影响可忽略不计。本实验采用波长为 632.8 nm 的氦氖激光光源，测量光路布置如图 2 所示。

拍摄下来的照片及其传输光强分布曲线如图 3 所示。从图上可以看出，图像的噪声必须消除，否则无法进行曲线拟合并计算传输衰减系数。本文采用了数字图像处理中的中值滤波技术去噪声。中值滤波算法的原理是选择性滤波。因为噪声是随机性的，往往与邻近各点没有相关性，所以可以将那些孤立的灰度突变点选出来以其窗内之中等值来代替之，从而使突变点得以削平。

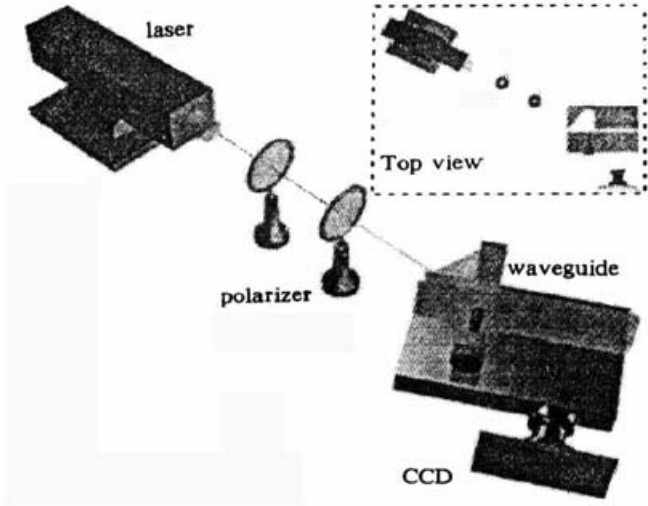


Fig. 2 Layout of the experiment

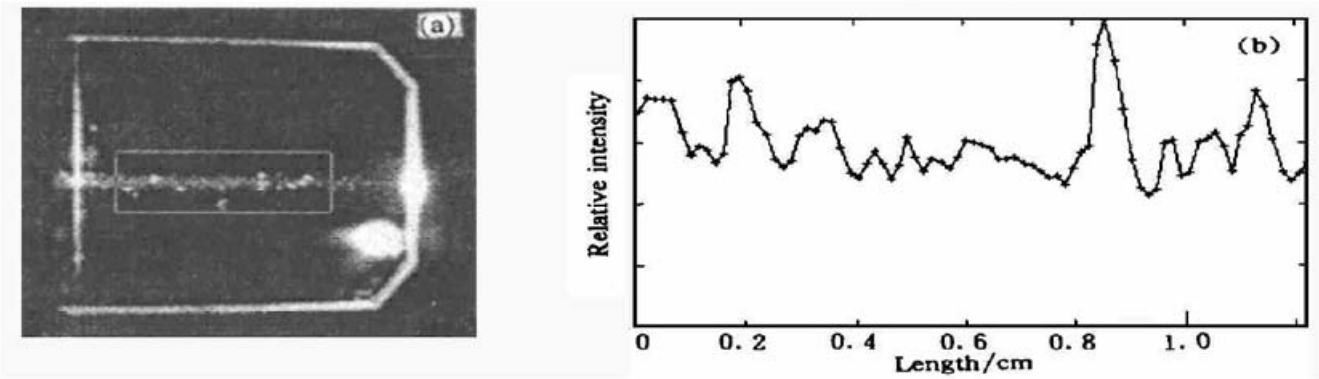


Fig. 3 Original image captured by CCD camera. (a) Original image, (b) Scattered light intensity distribution along propagation length

中值滤波算法属于空间域卷积法，相当于对图像数据作如下卷积运算：

$$F'(x, y) = \sum_{m=-1}^m \sum_{n=-1}^n F(x - m, y - n) W(m, n)$$

窗口函数 $W(m, n)$ 完成挑选中值的函数运算功能。经中值滤波处理后的照片及其传输光强分布曲线如图 4 所示。

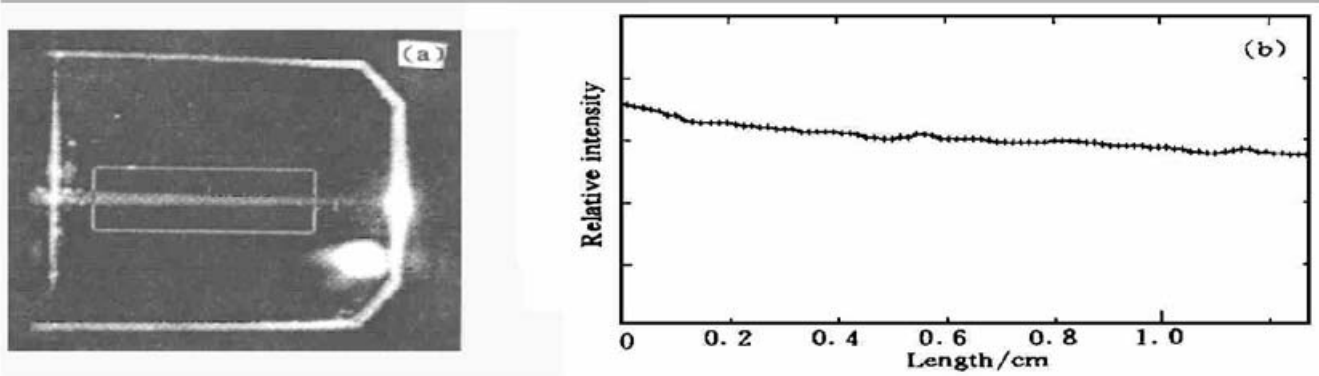


Fig. 4 Image filtered under a mask with the window size of 21. (a) Filtered image (b) Scattered light intensity distribution along propagation length

由图 4 可见，中值滤波处理对于消除图像中的尖锐噪声非常有效，但却付出了牺牲图像细节的代价。另外从探测到的光强分布上也可以看出其对于消除噪声的作用明显，而且窗口

越大, 效果越好。

有损耗的导模功率随传播距离的衰减可表示为:

$$P_z = P_0 \exp(-\alpha z)$$

$$\alpha = (z_2 - z_1)^{-1} \ln(P_{z_1}/P_{z_2})$$

$$L = -10\alpha(\lg e)$$

L 即为通常定义的损耗系数, 因此所需要拟合的是一条指数衰减曲线。可根据最小二乘法对曲线进行拟合并计算出传输衰减系数 α 。图 5 给出几种典型的传输衰减曲线的拟合结果。

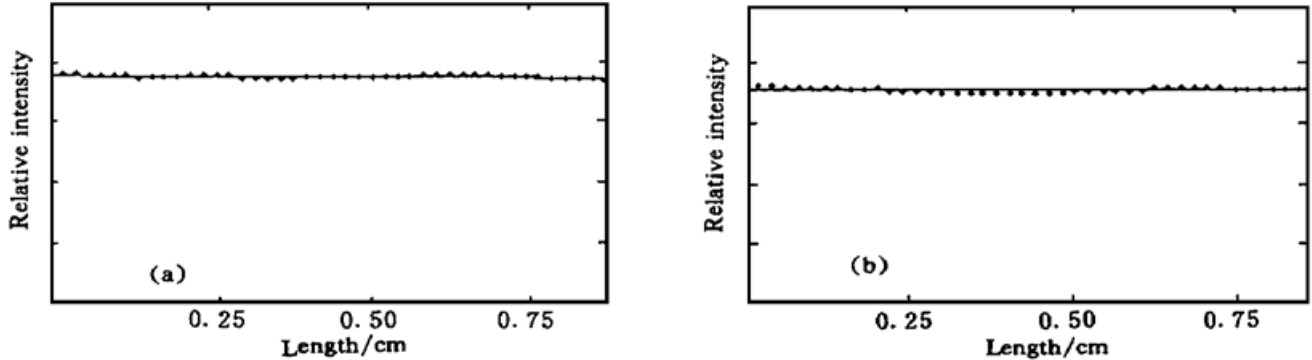


Fig. 5 Results of measurements. (a) Loss: 0.40 dB/cm, (b) Loss: 0.27 dB/cm

结 论 本实验中制备的样品在 632.8 nm 的激光波段下, 用 CCD 摄像法测得的传输损耗小于 0.5 dB/cm。

参 考 文 献

- [1] Mukherjee A, Eapen B J, Baral S K. Very low loss channel waveguide in polymethyl-methacrylate. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(25) 3179~ 3181
- [2] Lipscomb G F, Lytel R S, Ticknor A J *et al.*. Developments in organic electro-optic devices at lockheed. *Proc. SPIE*, 1990, **1337**: 23~ 34
- [3] Kapron F P, Keck D B, Maurer R D. Radiation losses in glass optical waveguides. *Appl. Phys. Lett.*, 1970, **17**(10): 423~ 425
- [4] John C P, Sanjay G. Thermally induced birefringence and stress in poly (methacrylate) waveguides on oxidized silicon substrate. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(3): 322~ 325
- [5] Nishihara H, Haruna M, Suhara T. *Optical Integrated Circuits*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989

Digital Measurements and Fabrication of Low loss Optical Organic Polymer Waveguides

Jiang Yi Cao Zhuangqi Qiu Linlin Shen Qishun Cheng Yingli
(Department of Applied Physics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

(Received 13 January 1998; revised 24 September 1998)

Abstract The techniques of fabricating low loss optical organic polymer waveguides are demonstrated. A new method—— CCD camera photographing method—— is applied to detect the propagation loss in the waveguide. The samples with propagation losses less than 0.5 dB/cm at 632.8 nm are fabricated experimentally.

Key words organic polymer waveguides, propagation loss, CCD camera photographing method.