

多模厚深波导的快速制作与测试

阮丽真 徐敬舆 李宝贞 吴慧珍

(上海交通大学应用物理系)

提要: 在玻璃基板上用 $\text{Li}^+\text{-Na}^+$ 离子交换技术快速制作与多模光纤有较高耦合效率的多模厚深波导,并分析了测试结果。

Fast processing and measurement of thick multimode optical waveguides

Ruan Lizhen, Xu Jingyu, Li Baozhen, Wu Huizhen

(Applied Physics Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai)

Abstract: The fast processing of thick multimode optical waveguides has been studied, it has higher coupling efficiency with multimode optical fibre by using $\text{Li}^+\text{-Na}^+$ ion exchange technique, and the measurement results of the waveguide are analysed.

一、前言

为了在多模光纤通讯系统中应用光波导器件,必须制作模深及折射率分布能与多模光纤相匹配的波导,以提高耦合效率。1972年 Izana^[1] 等人提出可以用离子交换技术来制作低损耗的波导,他使用硼硅玻璃作基板,利用玻璃中的 Na^+ 和 K^+ 离子和熔体中的 Tl^+ 离子在一定温度和电场作用下进行交换,在玻璃表面形成高折射率波导层。此后 T. G. Giallorenzi^[2] 等人又详细分析了用不同离子在不同玻璃基板上制作波导的问题,指出利用 Tl^+ 、 K^+ 和 Ag^+ 等离子和玻璃中 Na^+ 交换均可在玻璃表面得到高折射率的波导层,其损耗可低到 0.1 dB/cm。他指出,

Ag^+ 和玻璃中 Na^+ 交换给出最好的结果。

然而,在考虑与光纤匹配使用的波导时,我们还必须使得波导和光纤的耦合效率提高,以减小插入损耗。而它们的耦合效率是与波导和光纤中模场分布的重迭积分有关的。这就要求波导的模深和光纤芯径的尺寸接近;波导中的折射率分布也要接近于光纤芯径中的折射率分布。如对于模深为 $67\ \mu\text{m}$,宽度为 $80\ \mu\text{m}$,折射率差为 0.025(数值孔径 0.28)的波导,当它与芯径为 $50\ \mu\text{m}$,数值孔径为 0.2 的渐变折射率光纤耦合时,插入损耗为 0.97 dB。而当它与芯径为 $80\ \mu\text{m}$,数值孔径为 0.22 的阶跃折射率光纤耦合时,插入损耗就减小到 0.54 dB。这正是由于后者的芯径尺寸和折射率差更接近于波导的缘故。

收稿日期:1985年12月23日。

这样,上面所提及的 Ag^+-Na^+ 离子交换波导就显示出其不足之处。其一是制作速率低,常用的 $50\ \mu\text{m}$ 多模光纤,利用这种交换工艺在 280°C 温度下交换 1 小时才得到模深为 $7.59\ \mu\text{m}$ 的波导,要得到厚度为 $40\ \mu\text{m}$ 的波导,则需要在 245°C 温度下交换 7 天。当然利用电场增强法可以提高其制作速率,但制作工艺复杂。其二是这种交换工艺制作的波导表面层和玻璃基片的折射率差 Δn 较大,一般在 0.08 到 0.1 左右。对于数值孔径为 0.14 的光纤,包层和芯径的折射率差只有 0.007,相差较大,致使波导和光纤的耦合效率极大地降低。考虑到锂离子具有比银离子小得多的尺寸,G. H. Chartier^[3] 等人提出用 Li_2SO_4 做熔体,利用 Li^+-Na^+ 离子交换来制作波导,可使制作时间缩短约 3000 倍。这是由于 Li^+ 的体积比 Ag^+ 小得多,在玻璃中的迁移率增大而加速了波导制作的速率。所以,我们选用 Li^+-Na^+ 离子交换工艺来制作更适合于和多模光纤匹配的波导。

二、实验

我们用厚度为 2 mm 的制版玻璃作为基板。考虑到纯 Li_2SO_4 的熔点为 845°C ,大大超过一般玻璃的软化点,需要加入适量的 K_2SO_4 使其形成共熔体,降低熔体的熔点。我们使用 80 mol% $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 20 mol% K_2SO_4 形成的共熔体,熔点为 560°C 。制作是在石英管加热炉中进行,用 702 温度控制仪控制温度,采用镍铬-镍硅热电偶监测温度。如图 1 所示。装在陶瓷容器中的熔体先放在石英管的恒温区加热熔化,然后把玻璃基片置于石英花篮中,用石英杆逐渐推入石英管,最后到达熔体的上方,预热到与熔体同一温度后,由升降机构把基片浸入熔体中进行离子交换。到预定时间,抬起基片并从石英管中逐渐拉出,冷却清洗后即可进行测试。

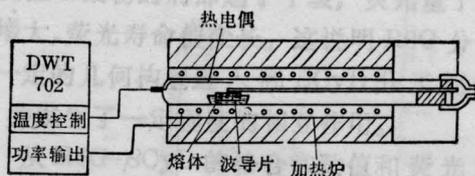


图1 实验装置简图

三、测试及结果分析

在 625°C 温度下制作了不同浸入时间的波导,由棱镜耦合法用 $\lambda=632.8\ \text{nm}$ 的 He-Ne 激光器测出其 m 线谱,再用反 WKB 法算出其折射率分布。波导表面层与基板的折射率 Δn 为 0.008~0.01。2# 波导和 13# 波导的折射率分布曲线如图 2 所示。

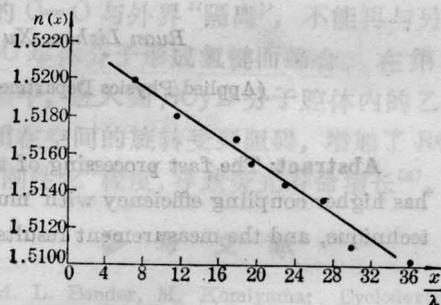


图2 2# 波导折射率分布曲线

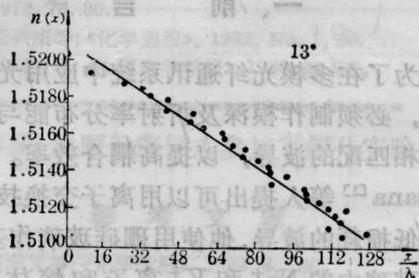


图3 13# 波导的折射率分布曲线

在一定温度下比较制作的波导深度和浸入时间的关系,可得 2# 波导的

$$d/\sqrt{t}=4.19,$$

13# 波导的 $d/\sqrt{t}=4.73$ 。可见,波导的深度 d 和浸入时间 t 的平方根近似成正比,这和以前文献报道^[3] 的相一致。据此,可以

由关系式 $d = \sqrt{D_0 t}$, 根据实验数值 d 、 t 算出在一定温度下扩散离子的有效扩散系数 D_0 。在我们实验条件下求出 Li^+ 在 625°C 在玻璃中的有效扩散系数 D_0 约为 2.0×10^{-8} cm^2/s , 而银离子在 320°C 温度下在玻璃中的有效扩散系数 D_0 约为 8.73×10^{-11} cm^2/s , 比 Li^+ 小三个数量级。

由以上实验结果可知, 在 625°C 温度下在玻璃基片上用 Li^+-Na^+ 离子交换技术, 5 分钟即可得模深为 $82 \mu\text{m}$, Δn 约为 0.008 的波导, 也就是说, 在很短的时间内可以制得与

多模光纤的折射率分布相匹配的波导层。如再配合上在电场作用下的二次扩散过程制得掩埋波导, 则耦合效率将会得到更好的改善。

参 考 文 献

- [1] T. Izawa *et al.*; Quantum Electronics Conference, Montreal, Canada, 1972.
- [2] T. G. Giallorenzi *et al.*; *Appl. Opt.*, 1973, 12, 1240.
- [3] G. H. Chartier *et al.*; *Electron. Lett.*, 1977, 13, 763.

简 讯

第一届全国激光针灸学术交流会在威海召开

针灸是祖国医学宝库中的一颗明珠, 但激光针灸却并不起源于我国, 1974 年国外就有激光针灸的报道。从 1976 年起, 我国也开始将激光应用于针灸, 目前已能治疗的疑难病症达 60 多种。

为了总结和交流经验, 中国针灸学会委托山东针灸学会于 1986 年 10 月 10~13 日在威海召开了我国第一届激光针灸学术交流会, 来自全国各地有关医学院校和医疗单位的 70 多名专家、教授和医务工作者参加了会议。会议期间, 有 21 篇论文进行了大会交流, 41 篇论文在分组会上宣读。

本届交流会的特点是不但有激光针灸的临床总结, 而且对基础理论也进行了一定程度的探讨; 不但

有聚焦、原光束及散焦等多种穴位照射方法的交流, 而且还有组织深部照射方法的探索; 不但有激光针灸治疗一般病症的大量病例分析, 而且还有用激光针灸进行镇痛和麻醉的临床剖析; 不但肯定了激光针灸的优点, 而且对其不足之处也进行了实事求是的讨论。会上, 代表们对激光针灸治疗急腹痛和用气功信息来调制激光输出光强而制成的激光针灸仪颇感兴趣。

会议认为, 今后应对激光针灸的治疗规律、机理及仪器规范化方面做一些更深入细致的工作, 突出中医的特色, 创立新的学说, 使激光针灸更臻完善。

(吉木)

激光针灸治疗前列腺炎通过鉴定

烟台市烟台山医院和芝罘区医科所进行的“激光针灸治疗慢性前列腺炎的研究”鉴定会由山东省卫生厅主持于 1986 年 10 月 14 日在烟台市召开。

这种方法是将 He-Ne 激光耦合于光纤, 通过特制的针芯将激光导入前列腺内。在治疗的 88 例前列腺炎患者中, 治愈率为 53.4%, 总有效率为 98.9%;

用激光直肠照射法治疗 31 例, 治愈率为 22.6%, 总有效率为 83.9%, 两组疗效比较差异显著。

这一国内外首创的治疗方法具有操作简便、无不良反应、显效快、治愈率高等优点, 是目前治疗慢性前列腺炎的较佳方法, 与会专家教授一致通过鉴定, 并建议推广应用。

(李世瑞)