

# GI POF预制棒折射率分布的控制与优化<sup>2</sup>

丁文<sup>1</sup> 程俊<sup>2</sup> 马素德<sup>3</sup> 徐传骧<sup>3</sup> 侯洵<sup>1</sup>

1 西安交通大学 电子与信息工程学院 信息光子技术省重点实验室, 西安 710049;

2 西安交通大学 材料工程学院, 西安 710049;

3 西安交通大学 电气工程学院 电气绝缘研究中心, 西安 710049;

**摘要:** 本文根据折射率分布的理论关系, 对折射率分布指数进行计算分析。在确定了制备工艺、材料性能对预制棒折射率分布影响的基础上, 通过对预制棒的中心折射率的控制, 实现了对预制棒折射率的分布进行控制与优化。

**关键词** GI POF; 预制棒; 折射率分布;

**Abstract:** the paper calculates the index of refractive distribution of GI POF preform based on the refractive distribution theory of the Graded-index Optical Fiber. Realizes the control and optimize of the refractivity distribution GI POF perform on the establishment polymerization technic, which make sure the impacts of the refractive distribution of GI POF perform.

**Keywords:** GI POF; preform; refractive distribution

## 引言

梯度型聚合物光纤 (GI POF) 预制棒的折射率分布是它最主要的性能, 它决定着GI POF的主要光学特性和传输性能, 例如光线轨迹、聚焦特性、数值孔径、像差以及传输速度、带宽特性等。因此如何控制GI POF预制棒折射率分布是预制棒制备中最为关键的问题<sup>[1]</sup>。也是各国学者们研究的热点。我们通过多年的努力, 得出了自己的GI POF制备的技术, 实现了GI POF

预制棒折射率分布控制。本文对此进行介绍。

GI POF的折射率分布可以用下式表示<sup>[2]</sup>:

$$\begin{aligned} n(r) &= n_0 \{1 - 2\Delta(r/R_c)^g\}^{0.5} & 0 \leq r \leq R_c \\ n(r) &= n_c & R_c \leq r \leq R_p \end{aligned}$$

(1-1)

式中:  $r$ 是离预制棒中心的距离;  $n_0$ 是预制棒中心处 ( $r=0$ ) 的折射率;  $n_c$ 是包层的折射率;  $R_c$ 是光纤半径;  $\Delta$ 式相对折射率差,

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_c^2}{2n_0^2} \approx \frac{n_0 - n_c}{n_0}$$

图 1-1 是不同  $g$  值下的 GI POF 折射率分布曲线,  $g$  不同折射率分布曲线不同。从图中可以看出  $g$  越大折射率分布曲线就接近 SI 型光纤,  $g$  无限的时候就相当于 SI 型光纤,  $g$  等于 1 时, 为一直线;  $g=2$  时折射率分布曲线为 2 次抛物线。

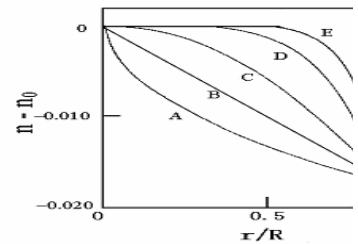


图 1-1 不同  $g$  值的折射率分布

A- $g=0.5$ ; B- $g=1$ ;

C- $g=2$ ; D- $g=5$ ; E- $g=10$

## 1 GI POF 预制棒折射率分布的测量以及折射率分布指数的计算

## 1.1 GI POF 预制棒折射率分布的测量

本文采用反射法来测量预制棒的折射率分布。与其它方法相比,反射法是较简单的一种方法,只需研磨抛光样品的一个端面,对测试样品的加工要求大大降低,这对大尺寸梯度型 GI POF 预制棒的折射率分布测量比较适用。

### 2.1.1 测量原理及实验装置

材料表面的反射率与周围介质和材料的折射率有关,这一关系由著名的菲涅耳公式描述。在光垂直入射条件下,菲涅耳公式<sup>[3]</sup>可写为:

$$R(r) = \frac{P_r(r)}{P_i} = \left[ \frac{n(r) - n_0}{n(r) + n_0} \right]^2 \quad (1-2)$$

这里 $R(r)$ 表示待测物体表面 $r$ 处的反射率, $P_r(r)$ 表示从样品表面反射回来的反射光功率, $P_i$ 表示入射到样品上的入射光功率, $n_0$ 是周围介质(空气或匹配液)的折射率, $n(r)$ 是待测物体(如玻璃、塑料光纤预制棒等) $r$ 处的折射率。其中 $n_0$ 一般情况下为已知值。显然,从式(2-4)中可以看出,若测得 $P_r(r)$ 和 $P_i$ ,即可获得待测物体的折射率 $n(r)$ 的值。图1-2为



图 1-2 折射率分布测试仪

我们的折射率分布测试仪。光源发出的光经一准直透镜准直后垂直入射于分光棱镜的端面,分光棱镜的分光比为1:1。反射光(参考光)可视为入射到样品表面的入射光 $P_i$ ,经由会聚透镜送往光电探测器直接探测;透射光则垂直入射于待测样品表面,经样品表面反射后沿原路返回,经分光棱镜再次分束后被反射的那部分由会聚透镜会聚于探测器,这部分光电信号携带有样品折射率信息,称为信号光 $P_r(r)$ 。入射到样品表面的入射光和信号光电压同时送入计算机数据采集处理系统进行信号放大、模数转换、数据处理等,最终给出样品的折射率分布值,测量结果如图1-3。

## 1.2 GI POF 预制棒折射率分布指数 $g$ 的计算

为了对预制棒的折射率分布进行控制,我们预制棒的折射率分布指数进行了推导计算

因为模式色散是造成传输脉冲展宽的主要原因,所以我们假设材料折射率不随波长发生变化,用最小二乘法对上式1-1进行计算,就可以算出所制备的预制棒的折射率分布指数 $g$ 。结果见图1-4到图1-5。

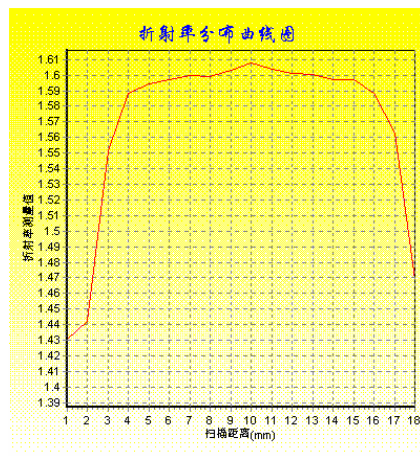


图 1-3 MMA-BBGIPOF 预制棒的折射率分布

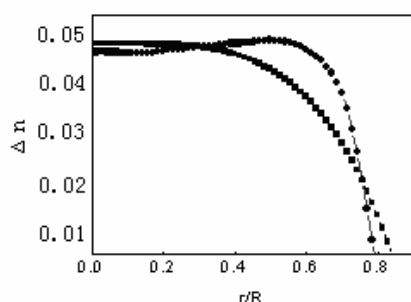


图 1-4 MMA-BB GI POF 预制棒的折射率分布测量曲线，及计算所得的折射率分布模拟曲线图  
反应温度 75℃， $g=2.689$

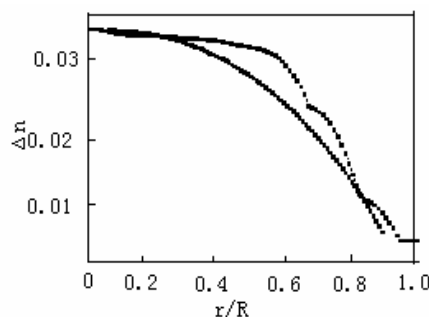


图 1-5 MMA-BB GI POF 预制棒的折射率分布，及计算所得的折射率分布模拟曲线图  
反应温度 65℃， $g=2.57$

同样的方法也可以得出不同 BB 起始浓度的预制棒的  $g$ 。

## 2 GI POF 预制棒折射率分布指数的控制与优化

根据梯度光纤理论， $g$ 接近于 2，预制棒折射率分布接近最佳折射率分布。我们的皮层材料选用的是 $n_c$ 为PMMA的折射率 1.492，所以进一步计算可得：预制棒中心的折射率满足  $n_0 = 1.507 \sim 1.522$  这个范围内时，预制棒的折射率分布指数接近于 2。

通过大量试验，我们确定了聚合温度、单体质量比、引发剂、链转移剂的种类等工艺以及掺杂剂性质对预制棒的折射率梯度  $\Delta n$  的影响，确定了聚合反应基本工艺<sup>[4]</sup>，因此按照所确定的基本工艺，制备出一系列含有不同掺杂剂浓度的PMMA聚合物试样，浓度变化范围从 0 ~ 25wt%，通过测试各试样的折射率，将掺杂剂浓度与折射率对应，得到掺杂剂浓度与折射率的关系曲线。如图 2-1 所示。测量试样折射率的方法是反射法。所用仪器为折射率分布仪来测量，其测量原理如前面所介绍。

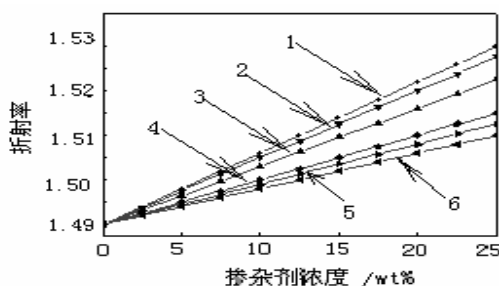


图 2-1 掺杂剂浓度与折射率关系图  
1- DPS; 2-DP; 3- DPP; 4- TPP; 5- BEN; 6- BB  
可能是分子体积对扩散影响的结果。

由此可以确定出，预制棒中心折射率为 $n_0=1.51$ 时，所需各掺杂剂的浓度。在此条件下制备出的预制棒，折射率分布指数接近 2，即通过预制棒中心折射率的控制，可以实现预制棒的折射率分布的控制与优化。图 2-2 是我们优化后所得各种掺杂剂下的预制棒的折射率分布曲线。从图 2-2 还可以看出，虽然各种掺杂剂都是在最佳浓度下进行预制棒的制备，但是得到的折射率分布曲线还是有差异，这可

### 3 结论

1、假设材料折射率不随波长发生变化，用最小二乘法可以近似得到预制棒的折射率分布指数  $g$

2、通过对预制棒的中心折射率的控制，可以实现对预制棒折射率的分布进行控制与优化

### 参考文献

- [1] 伊藤英治，高桥正树. 梯度型塑料光纤的制备工艺. 电子材料(日). 1999, (1): 58~61
- [2] NIHEI E, ISHIGURE T, KOIKE Y. High-bandwidth graded index polymer optical fiber for near-infrared use. [J]. Applied Optics, 1996, 35 (36): 7085~7090
- [3] D. Marcuse. "Light Transmission Optics" p.22. Van Nostrand-Reinhold, New York, 1972
- [4] 丁文, GI POF 预制棒的制备及其性能研究, 西安交通大学博士学位论文, 2003

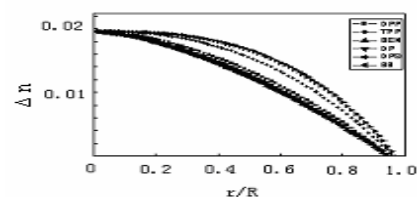


图 2-2 最佳掺杂浓度下折射率分布图  
1-DP 9.4wt%; 2-TPP13.2wt%;  
3- BEN 15.1wt%; 4-DPP12.5wt%;  
5-BB 20wt%; 6-DPS 11wt%