

自聚焦材料周期长度的分布散射法测量

程希望 张春香*

(中国科学院西安光机所)

提要: 提出一种直接测量自聚焦材料周期长度的方法, 可直接观察其轴向不均匀性, 并随之得出相应的分布常数; 还可判断自聚焦棒和轴向分布板的离子交换深度及光轴; 可用来同时测量 $n_0(\lambda)$ 、 $A(\lambda)$ 。

Measurement of periodic length of self-focusing media by molecular scattering method

Cheng Xiwang, Zhang Chunxiang

(Xian Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: A method for direct measurement of periodic length of self-focusing media is put forward, with which inhomogeneity can also be observed directly and the relevant distribution constant is thus obtained. In addition, it can also be used to judge the ion-exchange depth, the optical axis of self-focusing rod and the axial distribution plate. The method is also used to measure $n_0(\lambda)$, $A(\lambda)$ simultaneously.

前 言

自聚焦材料又称径向递变介质、径向分布介质或径向梯度折射率介质, 是和通信光纤平行发展起来的新材料。用这种材料制成的透镜(截取长度不同)可成象于镜外, 还可成象于自身镜面或镜内, 且冷加工工艺简单、体积小、重量轻。在光纤通信、传感器、医械、视频光盘、复印机、传真机、仿生学、集成光路耦合、高速网格摄影、光学积分器、大视场短焦距微镜阵列、多重光刻掩膜、立体摄影、综合成象、光学信息处理、计算机总线等等技术

中已得到应用。

测量自聚焦材料光学参数的方法有纵向干涉法、横向干涉法、端面反射法、聚焦法、光学散射法、远场图法、空间滤波法、三角屏法等^[1]。本文所说的分子散射法, 以前仅用于分子散射可观的内沉积石英系光纤及塑料光纤的有关测量^[1,3], 对于致耗(当然包括分子散射)因素少于(或相当于)光学玻璃的自聚焦材料, 一直未见报道。我们就此法和喇曼散射及受激喇曼散射在自聚焦材料测量中的应用进行探索, 收到相当好的效果。

收稿日期: 1985年9月9日。

* 西北大学物理系毕业实习生。

原 理

实验采用离子交换法制作的自聚焦棒,其折射率分布为

$$n(r) = n_0 \left(1 - \frac{1}{2} Ar^2 \right) \quad (1)$$

n 是半径为 r [$0 \leq r \leq R$ (棒半径)] 处的折射率; n_0 是轴上折射率(中心折射率); A 为分布常数(对既定棒一般为常数,对不同棒来说为参变数,单位为 mm^{-2})。

凡属各向同性弱非匀介质,以直角坐标系表示的光线方程为^[2]

$$\frac{d}{ds} \left[n(x, y, z) \frac{dr}{ds} \right] = \nabla n \quad (2)$$

将 z 轴选在棒轴上,并以子午光线作为讨论对象,此时 $y=0$ 。光线方程变为

$$\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x}, \quad \frac{\partial n}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

此处 x 就是光线上某点在含轴面内的垂轴距离(即(1)式中的 r)。只要光线入射角不超过口率角(视场半角), (3)式便可有效使用。将(1)式代入(3)式,则有

$$\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x} = -Ax \quad (4)$$

上式的通解为

$$x = B \cos \sqrt{A}z + C \sin \sqrt{A}z \quad (5)$$

因为我们着眼于 $\sqrt{A}z$ 的周期变化,显然由上式的三角函数关系可知, $\sqrt{A}z$ 和 x 的变化周期是 2π 。设一个周期长度为 L , 则有 $\sqrt{A}L = 2\pi$, 故

$$\sqrt{A} = \frac{2\pi}{L} \quad (6)$$

由光线轨迹直接测出 L 后,据上式求得 \sqrt{A} 值。将 \sqrt{A} 值代入(1)式,即给出以 Δn 为标度的折射率分布 $n(r)$ 。

装 置

实验装置示意图如图 1。

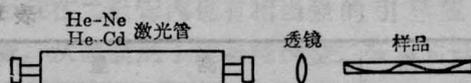


图 1 测量原理图

(样品中的正弦线表示光线轨迹)

实验以 He-Ne 激光管和 He-Cd 激光管为光源,激光波长分别为 632.8 nm 和 441.6 nm,功率各为 2 mW 和 75 mW。采用两种不同波长激光管的目的在于直接测量其色差(以周期长度差表征)。

聚焦透镜的作用是将激光注入样品棒,使光线轨迹清晰可辨。

样品是经热离子交换而得到的铈(Tl)玻璃自聚焦棒。

结 果

直接测量光线轨迹周期长度,即得材料棒的周期长度。测量结果见表 1。图 2 是以 2 mW He-Ne 激光管为光源而摄得的光线轨迹。表中 L 为周期长度, \bar{L} 为 L 的平均值, A 为分布常数。上、下端是按离子交换时的位置。由表知样品色差 $\Delta L_r = 1.071 \text{ mm}$, $\Delta L_s = 1.206 \text{ mm}$ 。



图 2 样品中的轨迹

(样品长约 60 mm, 直径 2 mm)

讨 论

由上面的测量结果可以看出,周期长度与入射光波长成正比,与 \sqrt{A} 成反比,这与理论是吻合的。

材料在交换过程中,由于工艺原因,使得棒的上部(靠悬挂端)和下部的折射率分布有差异。因我们是从下部注入光束,测量结果表明,越靠下部,其周期越短。所以通过此法

表 1 测量结果

光源	测量数据 (mm)							\bar{L} 及 \sqrt{A}	
He-Ne	L_T	18.957	18.962	18.945	18.803	19.022	18.947	19.001	$\bar{L}=18.951$ $\sqrt{A}=0.332$
		18.988	18.934	18.955	19.007	18.880	18.970	18.979	
		18.928	18.958	19.035	18.864	18.895	18.986		
	L_U	19.018	19.292	19.257	19.429	19.291	19.225	19.189	$\bar{L}=19.207$ $\sqrt{A}=0.327$
		19.237	19.232	19.280	19.197	19.200	19.170	19.140	
		19.231	19.120	19.130	19.175	19.165	19.170		
He-Cd	L_T	17.904	17.971	17.844	17.848	17.869	17.914	17.878	$\bar{L}=17.880$ $\sqrt{A}=0.351$
		17.835	17.816	17.851	17.881	17.878	17.872	17.925	
		17.878	17.871	17.902	17.873	17.853	17.935		
	L_U	17.941	17.913	18.015	17.987	17.984	18.044	18.006	$\bar{L}=18.001$ $\sqrt{A}=0.349$
		18.028	18.083	18.086	18.051	18.001	18.051	17.996	
		18.038	18.069	17.964	18.022	17.989	18.005		

可判断工艺引起的轴向递变现象，即周期长度的不均匀性。

以往测 L 和 A 时，工艺上复杂性且不说，还需知道中心折射率 n_0 (实为原块料折射率) 等参数，计算复杂，属于间接测量。而分子散射法测量 L 和 A 是直接测量，故直观、简单、准确。如果将来采用光电定位干涉测量，则可大大提高精度。若以受激喇曼移频器作连续调谐激光器，则以此法可研究各波长下的单色象差及同时测量 $n_0(\lambda)$ 、 $A(\lambda)$ 。

实验得到西北大学物理系王诺教授和李长英、张镇西老师的大力协助，特此致谢。材料系瞿佑山、张莉青同志提供，照片系郑忠林同志拍摄，一并表示感谢。

参 考 文 献

(上接第 33 页)

作者对我校固体教研室银淑君老师和陈观雄副教授提供的碘酸锂晶体以及许多有益讨论和帮助致以衷心的感谢。

参 考 文 献

[1] C. Gabel, M. Hercher; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, 850.
 [2] C. E. Wagstaff, M. H. Dunn; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1979, **12**, 355.
 [3] C. R. Webster *et al.*; *Opt. Commun.*, 1980, **35**, No. 3, 435.
 [4] C. M. Marshall *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**,

[1] 大越孝敬(ほか); 《光ファイバ》, オーム社, 1983, p. 250, 308.
 [2] 同上 p. 44.
 [3] K. Iga *et al.*; "Conf. Laser and Electro-Optical System", WD9, 1976.
 [4] S. Runge *et al.*; *Opt. Commun.*, 1982, **42**, No. 1, 45.
 [5] S. Runge *et al.*; *Opt. Commun.*, 1982, **42**, No. 1, 45.
 [6] C. J. Foot *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, **50**, No. 3, 199.
 [7] 廖复中; 《激光》, 1982, **9**, No. 2, 112.
 [8] V. I. Kabelka *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1975, **5**, No. 2, 255.
 [9] N. M. Bityurin *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-8**, No. 11, 1377.
 [10] G. D. Boyd, D. A. Kleiman; *J. Appl. Phys.*, 1968, **39**, 3597.
 [11] N. Bloembergen; "Nonlinear Optics", A lecture note and reprint volume, Fourth printing, 1982.
 [12] 华中工学院等; 《激光技术》, 湖南科技出版社, 1983.