

棱镜耦合法测波导衬底折射率

李 晶 李锡善 蒋安民 夏青生

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文对棱镜耦合法测波导衬底折射率进行了实验研究,在两种入射情况下,对石英玻璃、 CaF_2 、 LiF 衬底及 C-813-8 胶块进行了折射率测量,并得到有益实验结果.

关键词 棱镜耦合法, 波导衬底, 折射率.

1 引 言

折射率测量是光学基本测量技术之一,与通常测量折射率的最小偏向角法、自准直法等相比,棱镜耦合法仅要求被测样品有一光洁面即可,特别对已加工好的光波导衬底可作非破坏性测量.棱镜耦合法测波导衬底折射率是基于全反射原理.棱镜耦合器^[1]是向波导薄膜馈送和取出光能、选择激发波导模式、精确测量波导薄膜参数(厚度和折射率)的重要器件,也可用于衬底折射率测量^[2].1973年 Ulrich 和 Torge 提出用棱镜耦合器测量薄膜参数.以后,人们在此基础上做了改进,但在折射率计算公式推导中仅考虑了一种入射情形.本文针对两种入射情况进行了折射率测量和计算,特别是对 C-813-8 胶块(用于飞机挡风玻璃夹层及非球面透镜制作等)还没有这方面的数据报道.

2 测量原理

直角对称棱镜波导耦合器原理如图 1 所示. n_1 、 n_2 、 n_3 分别为棱镜、空气隙和衬底的折射率, i 为光束入射角, e 为入射面棱镜角.

实际测量中,当入射角 i 变化到某一角度时,入射光线在棱镜内将发生全内反射,并满足 $\beta/k_0 = n_3$. 考虑到两种可能的入射情况,不难推导出,

$$n_3 = \sin e \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} \pm \cos e \sin i \quad (1)$$

其中,对于图 1 中(a)、(b)情形, i 取正,(1)式取“+”号;对于(c)、(d)情形, i 取负,(1)式取“-”号.

显然,已知棱镜折射率 n_1 及棱镜角 e ,只需测得全反射临界角 i ,即可根据(1)式算出衬底的折射率 n_3 .

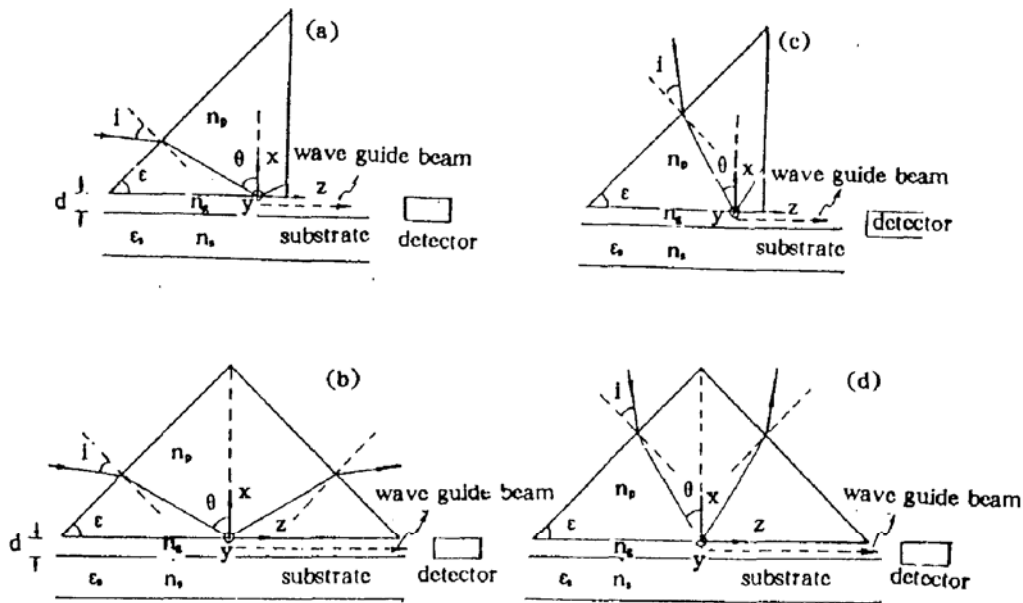


Fig. 1 Schematic of experimental principle

3 测量结果及误差分析

对石英玻璃、 CaF_2 、 LiF 衬底及 C-813-8 胶块的测量数据及处理结果如表 1 所列. 由表 1 可知, 石英玻璃的折射率的每次测量值与平均值的偏差在 $\pm 2.6 \times 10^{-4}$ 以内, CaF_2 及 LiF 的折射率的每次测量值与平均值的偏差分别在 $\pm 1.4 \times 10^{-4}$ 和 $\pm 2.7 \times 10^{-4}$ 以内, C-813-8 胶块的每次测量值与平均值之偏差均在 $\pm 1.8 \times 10^{-4}$ 以内. 可见, 测量结果还是比较可靠的.

Table 1 Measurement Results of Samples

Samples Data	Quart		CaF_2		LiF		C-813-8 block	
	i	n_s	i	n_s	i	n_s	i	n_s
1	15°57' 49"	1.45665	13°36' 2"	1.43248	9°50' 57"	1.39228	18°49' 36"	1.47836
2	15°59' 3"	1.45686	13°37' 8"	1.43267	9°51' 34"	1.39240	18°49' 17"	1.47831
3	15°56' 56"	1.45650	13°36' 34"	1.43257	9°49' 11"	1.39196	18°49' 32"	1.47835
4	15°58' 17"	1.45673	13°35' 51"	1.43244	9°49' 32"	1.39202	18°48' 51"	1.47824
5	15°58' 28"	1.45676	13°35' 57"	1.43246	9°51' 7"	1.39231	18°48' 0"	1.47810
6	15°59' 13"	1.45688	13°37' 13"	1.43268	9°48' 48"	1.39189	18°49' 13"	1.47830
7	15°57' 46"	1.45664	13°35' 43"	1.43242	9°50' 29"	1.39220	18°48' 47"	1.47823
8	15°59' 31"	1.45693	13°36' 54"	1.43263	9°49' 51"	1.39208	18°48' 58"	1.47826
9	15°59' 58"	1.45700	13°36' 46"	1.43260	9°49' 36"	1.39204	18°49' 24"	1.47833
10	15°58' 1"	1.45668	13°37' 6"	1.43266	9°49' 59"	1.39210	18°49' 15"	1.47830
\bar{n}_s	1.45676		1.43256		1.39213		1.47828	
Measurement temperature	13°C		16°C		13°C		23°C	
n_p	1.80608		1.80608		1.80608		1.79708	

要实现衬底折射率的高精度测量,主要取决于 n_s 、 ε 和 i 的测量精度. 根据误差理论可给出 n_s 的绝对误差公式

$$\Delta n_s = \frac{n_s \sin \varepsilon}{\sqrt{n_s^2 - \sin^2 i}} \Delta n_s + (\cos \varepsilon \sqrt{n_s^2 - \sin^2 i} \mp \sin \varepsilon \sin i) \Delta \varepsilon \pm \left(\cos \varepsilon \cos i \mp \frac{\sin \varepsilon \sin 2i}{2 \sqrt{n_s^2 - \sin^2 i}} \right) \Delta i \quad (2)$$

实验中, n_s 和 ε 之值都可由仪器*精确测得,其中 $\Delta n_s = \pm 5 \times 10^{-6}$, $\Delta \varepsilon = \pm 1''$. 因此,从整个测量结果来看,引入误差主要来源于入射角的测量精度(入射光发散角可引起的全反射点漂移). 当发散角为 2Ω 的光入射时,并近似认为光强分布(与角度无关)为常数,则透过率可由下式推得^[3],

$$\bar{R} = \int_{i-\Omega}^{i+\Omega} R(i) di / 2\Omega \quad (3)$$

由(3)式所确定的全反射点与在同一条件下入射平行光时的全反射点漂移约为 $\Omega/10$. 若采用扩展光源,则折射率测量误差约为 4×10^{-4} . 本实验采用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光作光源,经准直后其发散角可小于 1×10^{-4} ,从而使折射率测量精度提高到 1×10^{-5} 量级.

另外,实验中发现,关于全反射点的确定,选择测量透射光源要比测量反射光强的变化优越得多. 因为在处于全内反射临界点时,透射光强的变化在观测时要明显得多,并且也适当避免了棱镜色散的影响,探测器也不必大范围移动,使得测量比较方便.

4 结 论

综上所述,棱镜耦合法不仅可用于测量波导薄膜参数,而且还可用于测量波导衬底材料的折射率. 此方法具有对波测样品要求简单、精确可靠等特点,而且是一种非破坏性测量方法,实验证明,其测量精度是令人满意的.

参 考 文 献

- [1] R. Ulrich, R. Torge, Measurement of thin film parameters with a prism coupler. *Appl. Opt.* 1973, 12(12): 2901
- [2] H. Onodera, I. Awai, J. I. Lkenoue, Refractive index measurement of bulk materials; prism coupling method. *Appl. Opt.*, 1982, 22(8):1194
- [3] 张新亚,周礼冲,方俊鑫,高精度快速折射率测定方法. *光学仪器*, 1990, 12(3):13

* 我室自行研制的宽光谱光电折射仪及英国制造 C₂₀ 大型精密测角仪

**Prism coupling method for refractive index measurement
of optical wave guide substrates**

LI Jing LI Xishan JIANG Anmin XIA Qingsheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanism, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 8 March 1993; revised 27 May 1993)

Abstract

Careful study in the prism coupling method on refractive index measurement of optical waveguide substrates is given. The refractive indices of quartz, CaF_2 , LiF substrates and "C-813-8" gum plate were measured in two kinds of incident conditions and valuable measurement results are got.

Key words prism coupling method, waveguide substrate, refractive index.