

多层准光波导漏模的观测

丁铁男 任秉复 赵胜
(中国科学院长春物理研究所)

提 要

本文提出了一种新的测量多层光学薄膜参数的方法。利用玻璃载物片夹一层水再夹一层酒精构成了含有两层准光波导薄膜的多层薄膜结构。观察并测量了这两层准光波导的 m 线,得到了薄膜的光学参数。薄膜折射率的测量误差为 $\pm 1 \times 10^{-3}$,薄膜厚度的测量误差为 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 。

一、引 言

电集成、光集成,光电集成技术的发展,使集成器件的结构从单层发展到多层结构。研究多层光学薄膜参数的测量技术,对薄膜光电器件的发展有着十分重要的意义。椭圆技术是测量超薄层薄膜参数的良好方法,但对于微米量级的波导薄膜就不十分有效。棱镜耦合器作为一种精确测量波导薄膜参数的方法已经提出很多年了,目前已被发展成为仪器^[1,2,3]。1983年本文作者之一Ding和Garmire提出了一种新的通过衬底激发准波导漏模来测量薄膜参数的方法,并指出这种方法简单,准确,具有非接触式测量的优点,可以用来研究某些高分子薄膜所具有的双折射^[4,5]。1984年Leclerc和Yelon从实验上证实了这一设想^[6]。多层结构在集成光学中是十分重要的。例如在光波导表面上加一包层,可以改变波导内部场的分布,从而提高波导器件间的耦合效率;又如,在平面结构中制作耦合间距为 $1 \mu\text{m}$ 的两个条波导是很困难的。但是利用 $1 \mu\text{m}$ 厚的光学介质膜把两个波导分开在技术上就是很容易的了。因此,研究测量多层光波导,准光波导薄膜参数的方法,在集成光学中是十分重要的。本文作者之一曾提出准光波导方法可以用来测量多层光学薄膜参数^[7]。本文报道了用准波导方法测量两层液体薄膜的实验结果。

二、原 理

准光波导是一种能量可以向波导一侧或两侧泄漏的波导。此时光波在波导界面上不再是全反射,而是部分反射。但是,在波导界面上发生部分反射的光波,在波导中如果满足相干加强的关系,那么它仍可在波导中传播。这与在波导中发生的情况是完全类似的。我们知道在如图1所示的平板光波导中光波满足相干加强的模方程为

$$2kd + \phi_{12} + \phi_{13} = 2m\pi, \quad m=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

这里 ϕ_{12} 和 ϕ_{13} 是在界面1~2和界面1~3上的相移。在全反射条件下它们分别是

$$\phi_{12} = 2 \tan^{-1} \left[\left(\frac{n_1}{n_2} \right)^\rho \sqrt{N^2 - n_2^2} (k/K) \right], \quad (2)$$

$$\phi_{13} = 2 \tan^{-1} \left[\left(\frac{n_1}{n_3} \right)^\rho \sqrt{N^2 - n_3^2} (k/K) \right], \quad (3)$$

$$K^2 = n_1^2 k^2 - N^2 k^2. \quad (4)$$

对 TE 模, $\rho=0$; 对 TM 模, $\rho=2$ 。 d 是波导厚度, k 为真空中的传播常数。对于能量在波导上下界面都是泄漏的准波导 $\phi_{1,2} = \phi_{1,3} = -\pi$ 。此时模方程为

$$2d\sqrt{n^2 - N^2}k = 2(m+1)\pi, \quad m=0, 1, 2 \dots \quad (5)$$

式中 N 是传输模式的有效传播常数, m 是模阶数。对于不同的 m , N 取一系列分立数值。由于准波导的界面是部分反射界面, 可以通过界面把光波送入波导中。光波在准波导内的传输过程中也可直接折射出来。由于波导内部的模式满足方程(5), 因此折射出来的不同模式的光波具有不同的角度, 在接收屏上, 可看到不同模式的 m 线。测量不同模式 m 线的位置, 利用方程(5)就可分析得到薄膜的折射率和厚度。对于一多层准波导薄膜结构, 当光波能量足够强时, 可以透过第一层准波导薄膜, 进入第二层准波导薄膜。如果入射角度正好与第二层准波导薄膜的某一漏模同步时, 即可激发起第二层准波导的漏模。同样可以观察到第二层准波导漏模的 m 线。在原则上, 依此类推, 可以观察到第三层, 第四层准波导薄膜的 m 线。但是在实际测量中, 由于光源强度和不同组 m 线的区分等具体问题。本文只对两层漏波导薄膜进行了实验, 证明了这种测量多层薄膜参数的方法是可行的。

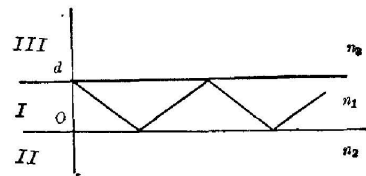


Fig. 1 Diagram for plane-waveguide

三、实 验

多层准波导样品如图 2 所示。 P 为玻璃棱镜, 其折射率为 $1.602 \pm 0.001^*$, g_1 和 g_2 为玻璃载物片, 折射率为 1.52。在 g_1 和棱镜底面间有一层酒精液体, 在 g_1 和 g_2 间有一层蒸馏水薄膜。这两层液体就是我们要测量的多层准波导薄膜。

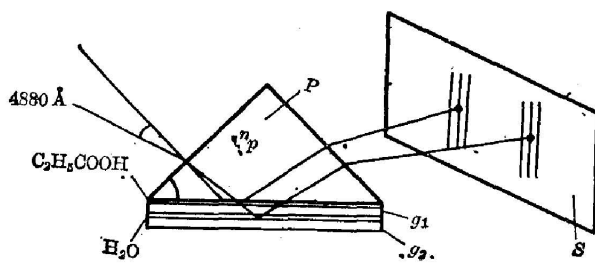


Fig.2 Experimental setup

采用 4880 \AA 氩离子激光器作光源, 其功率约为 40 mW 。样品被固定在精度为 $30''$ 的测角圆盘上。 S 为观察 m 线的观察屏。固定入射光束, 转动测角圆盘, 在一些特定的同步角上可以观察到两组 m 线。分析指出: 这两组 m 线是来自于两层准波导的漏模。实验发现 m 线既可是亮线也可是暗线。这与单层准波导的情况是一致的。不过我们注意到亮线与暗线的位置不完全重合。其测量结果如表 1 所示。

不过我们注意到亮线与暗线的位置不完全重合。其测量结果如表 1 所示。

* 在 4880 \AA 下, 利用准波导方法测得。

Table 1 Measured results

	order of leak mode	incidence angle	effective transmission constant	film parameter		theory value (N)	σ
				(I)	(II)		
m 线 (I) C_2H_5OH	0	20°40'0"	1.3548	$n_f=1.361 \pm 0.001$	$n_f=1.3612$	1.3551	5×10^{-7}
	1	19°55'0"	1.3480	$d=(3.8 \pm 0.1) \mu m$	$d=3.788 \mu m$	1.3474	
	2	18°39'30"	1.3360			1.3366	
m 线 (II) H_2O	0	17°21'0"	1.3240	$n_f=1.333 \pm 0.001$	$n_f=1.3331$	1.3243	4×10^{-7}
	1	16°17'0"	1.3137	$d=(3.2 \pm 0.1) \mu m$	$d=3.18$	1.3131	
	2	14°37'0"	1.2971			1.2973	

四、结果与讨论

由测得的不同模式的入射角, 可以计算出不同漏模的有效折射率

$$N_i = N_p \sin\{\varepsilon + \arcsin[\sin(\alpha/n_p)]\}, \quad (6)$$

式中 ε , α 由图 2 给出。对任意两个不同漏模, 由求得的有效折射率 N_i , N_j 利用模方程 (1) 可以计算出薄膜折射率

$$n_f = \sqrt{\frac{N_i^2(m_j+1)^2 - N_j^2(m_i+1)^2}{(m_j+1)^2 - (m_i+1)^2}}, \quad (7)$$

式中 m_i , m_j 分别为第 i 个和第 j 个模的模阶数。由方程 (1) 还可计算出薄膜厚度

$$d = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4(N_i^2 - N_j^2)}(m_j+1)^2 - (m_i+1)^2}, \quad (8)$$

对一组所测得的 m 线, 利用任意两个漏模的有效折射率都可以计算出 n_f 和 d 。把所有的这些 n_f 和 d 取平均, 可作为薄膜折射率, 厚度的分析结果, 同时也可给出相应的误差。在进一步的数据处理中, 可以把这一结果作为初值, 代入方程 (1) 计算出不同阶数漏模的有效折射率 \bar{N}_i 。进而, 可求出有效折射率的误差平方和

$$\sigma = \sum_i (\bar{N}_i - N_i)^2, \quad (9)$$

式中 N_i 代表对 i 漏模有效折射率的测量结果。改变初始值 n_f , d 使 σ 极小, 可得到最佳的参数 n_f , d ^[2]。可见, 对我们的测量结果, 两种分析方法差别不大, 都在误差范围之内, 可以把表 1 中参数 (I) 所列的结果认为是双层准波导薄膜的测量结果。显然, 表 1 中给出的误差略大于文献 [4] 所给出的单层准波导 m 线的测量结果。其原因之一, 可能是由于界面增多, 使多层准波导薄膜 m 线不如单层准波导薄膜 m 线清晰; 此外, 在测量中, 有时可同时观察到亮 m 线与暗 m 线, 但其位置并不完全重合, 这一现象的机理有待于进一步研究。

五、结 论

本文推广了作者之一丁铁男和 Garmire 在 1983 年所提出的通过衬底激发准波导漏模测量薄膜参数的方法^[4,5]。提出了应用准波导方法测量多层光学薄膜折射率和厚度的技术,

并用玻璃片隔开的一层水和一层酒精作为准波导薄膜演示了这种技术。实验指出两层液体薄膜折射率的测量误差为 ± 0.001 , 厚度的测量误差为 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 。关于连续沉积的多层固体薄膜准波导的实验工作正在进行。

Observation of leaky modes of a multi-layer quasi-waveguide

DING TIENAN, REN BIGNFU AND ZHAO SHENG

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 6 August 1986 revised 8 December 1986)

Abstract

A new method for measuring multi-layer optical film parameters is proposed, which is based on observation of quasi-waveguide leaky modes. As an example, two liquid layers separated by a glass slide and sandwiched between a prism and another slide, were studied. Leaky mode mlines of the two layers were measured, and used for calculation of the parameters of the two layers. The errors of refractive index of the measured film and the thickness are about ± 0.001 and $\pm 0.1 \mu\text{m}$, respectively.