

法国薄膜研究中心概况

孙兰春

摘要: 本文作者介绍了法国一个高水平的光学实验室——法国薄膜研究中心的概况及近年来该实验室的研究方向和主要研究成果。

一、研究中心的一般概况

法国薄膜研究中心设在马赛,它是法国马赛国立高等物理学校的一个光学实验室。在光学薄膜和表面光学领域中,该实验室可以说是法国最高水平的实验室,在国际上颇有影响,在学术界也占有一定的地位。

这个实验室1983年正式编制仅有13人,4名技术人员中,其余9名研究人员还有5名每年约有一半的时间从事教学。它的管理体制是双重领导,既属于法国科研中心领导,又归马赛国立高等学校领导。该校校长P. Bousquet教授是光学薄膜方面的专家,研究中心主任是E. Pelletier教授,他本人一直从事光学薄膜和表面光学方面的研究工作。

实验室的仪器设备都比较先进,很多研究工作都使用电子计算机控制和计算机处理。这样好的研究条件吸引了各国的学者和留学生,每年都有不少的外国学者来这里进修或短期工作。著名的美国光学薄膜专家麦克劳德先生仅1983年末到1984年初短短几个月的时间就两次来该实验室工作。来实验室学习的外籍研究生也不少,我是第一个来这里工作的中国人,他们对我很感兴趣也很热情。这个实验室又是本校学生作工程师博士论文的基地,因此这样一个开放性实验室不但能大量地利用外来人力开展他们的研究工作,而且也能学习吸收各方面的先进经验。

该实验室的学术活动十分活跃,经常组织一些学术性的讨论会,如1983年9月他们就组织了一次有外国专家和国内同行参加的学术交流会。1987年法国“光学远景与展望”学术会议将在这里召开。他们的研究成果经常在“应用光学”,“固体薄膜”,“J. O. S. A”等杂志上发表。所以在光学薄膜和表面光学等方面,该实验室是在国际上处于学术领先地位的实验室之一。

二、研究方向及近期研究内容

研究中心的主要研究方向是从事表面光学和薄膜光学的研究。他们特别注重多层介质膜光学滤光片的研究工作。大家知道,近几年来,多层介质膜光学滤光片的应用范围不断地扩大,这种趋势必然要求高性能的光学表面特性,该实验室正在提供最好的设计和实现方法,来满足不断向前发展的高性能的需要。现简介如下:

(一) 多层介质滤光片的设计

为了得到一个特殊的滤光片，第一步就是要确定淀积结构，也就是需要选择材料，确定必要的膜层数和每层的厚度。这本来就是一个很困难的问题，只有通过相继近似的方法来处埋，同时还需要使用极为快速的计算方法。

在着手计算的时候，就得考虑实现这种设计的条件。显然选择合适的材料是很重要的条件之一。该研究中心的Borgogno等人，为了改善现有方法的效能，提出了一个基于傅里叶分析的反复计算方法。并提出了一个薄膜的新模型，它比经典的模型好得多，较好地解释了淀积观察到的特性。该模型对折射率和消光率的色散或者在膜层状态下材料的不均匀性等问题都充分地考虑到了。他们从被测量样品的折射率和反射率值出发，通过一个完全自动的计算程序来确定膜层的所有参量，并通过一个综合程序给出一个可以直接使用的全部实验结果。

(二) 滤光片的制作

众所周知，实现一个设计的膜系确是很困难的事情。其困难主要在于相继的膜层厚度所要求的精度极高，而且必须完全认识和掌握材料的特性。这个实验室在滤光片制作方面是很成功的，他们在实现的公差、制作过程的控制和薄膜光学特性分析等方面作了大量研究工作。

1. 实现的公差

实现的公差和制作方法的简便是我们最关心的问题之一^{〔1〕}。事实上应该考虑以下几个问题：(1)必须同时考虑折射率和每层淀积的厚度。而在某一层厚度上可接受的误差完全取决于淀积厚度和折射率的实际值。(2)选择适当的控制方法可以得到误差的补偿。例如，测量光学厚度时能够通过厚度 e 的变化自动补偿折射率 n 的变化。在能够得到补偿的情况下，滤光片的光学特性不会产生太大的误差。(3)误差的计算必须考虑控制方法和进行过程中的累积效应。实际得到的光学特性和计算之间存在一定的差别。由于膜层是一种微观结构，所以必须考虑材料的非均匀性和表面的不规则性。

2. 制作过程的控制

该实验室在制作过程中通过光学方法来直接控制淀积的形成。这就是说淀积形成过程中必须观察光学特性的演变，从而选择一个停止淀积的最好的标准，并指出光学厚度达到要求值时的时刻^{〔2〕〔3〕}。现在他们能够根据淀积的公式选择出最合适的技术，制定控制程序，以保证获得计算的滤光片。

(1) 光学厚度的控制

在考虑控制方法时，要区别绝对测量透过率(或反射率)的方法和相对测量或微分测量的控制方法。后者在真空内进行测量是简单的，尤其是当使用单色光进行测量时就更为方便。如果同时使用几个预定的波长，则测量装置将变得更加复杂。对于单层膜

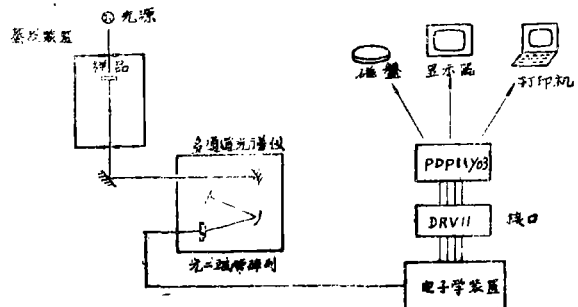


图1 光学控制装置

和四分之一波长的淀积控制是基于极值原理进行的。滤过率 T 对时间微分(厚度)或对波长微分都被使用,并能得到最好的精度。他们采用的实验装置如图1所示。实验的全过程都由电子计算机控制、显示,人们随时都可以观察到薄层光学特性的演变。控制的稳定性可以保证在 λ_0 附近得到所要求的光学特性。

对于复杂的淀积,他们采用连续地对某层膜(如第 i 层),形成过程中透过率 $T_i(\lambda, e)$ 的光谱分布和该层膜在厚度达到 e_i 时的透过率 $T_i(\lambda, e_i)$ 进行比较的方法来确定停止的原则。一个价值函数(une fonction demérite)可以用来估计这两条光谱分布间的距离,它的极小值就是停止的标准。但是这种方法不一定能够得到理论上确定的滤光片,实验表明理论计算的常常是不完善的,并且不能完全反映出膜层的实际特性,这导致人们必须考虑膜层形成过程中材料折射率的变化。

(2) 折射率在内部控制方法

该实验室为了能够使用在薄膜形成过程中所观察到的所有光谱分布演变的全部信息,他们完善了宽带控制方法[4]。麦克劳德使用的导纳循环计算方法可以求出膜层形成后的折射率和膜层厚度值,这种方法并不需要知道前一层膜的特性,因此在膜层形成后数十秒内可以估算出在可见光谱范围内约三十几个波长下的折射率和厚度值(见图2)。

总之,在薄膜形成控制之后,还应考虑其它一些因素的影响,如材料的氧化还原过程以及湿度相关的效应等等。

3. 薄膜状态下材料光学特性的分析

虽然使用拟定的控制方法,但并不一定能够得到由综合计算所提供的滤光片。因为必须考虑在形成过程中存在的各种因素(湿度、等离子体等)对淀积光学特性演变的影响。这种演变与膜层的微观结构及化学计算有关。该室在这方面进行了两项研究,其一是薄膜状态下材料均匀性的研究,其二是淀积表面和界面间粗糙度的研究。详情如下:

(1) 折射率和非均匀性

一般地说,由真空蒸发淀积所得到的薄膜的非均匀性是由于介面间填充系数的变化所引起的见图3。这一事实,可以从沿膜层表面法线方向的折射率的变化得到证明。可以提出一个简单的模型,以此正确地分析实验所观察的现象^[5]。从测量单层膜的光学特性出发(T, R),他们编制了可确定厚度、平均折射率和折射率梯度的计算方法。这种方法已经被用来确定一些材料的特性。

(2) 薄膜表面和交界面的漫射

正是由于膜层的微观结构引起了薄膜表面和界面间存在一定的粗糙度。这种粗糙度将在入射光的整个空间引起漫射。对于高质量的多层介质膜漫射光在 10^{-4} 到 10^{-6} 数量级。表1给出他们测量的几个例子。

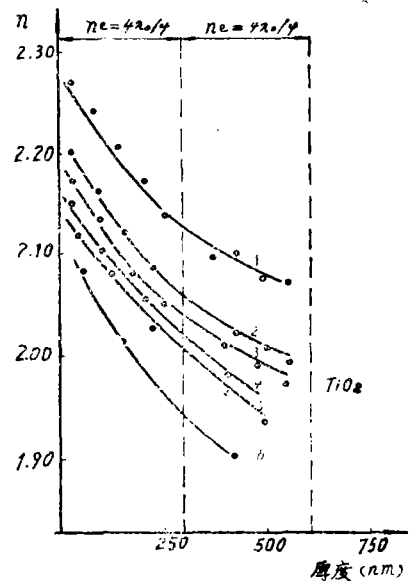


图2 在六个波长下 TiO_2 的折射率随厚度的变化
 1—479.0nm
 2—555.8nm
 3—594.2nm
 4—632.6nm
 5—728.6nm
 6—824.6nm

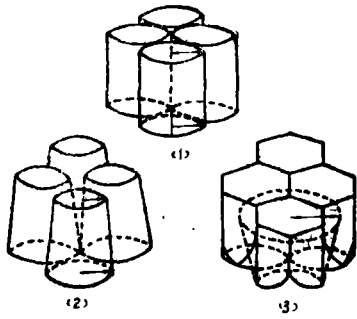


图3 真空蒸发得到的薄膜的模型

基底	表面处理	$D_{\lambda} *$	$D_{\lambda} **$	$D(10^{-6}) *$
高级抛光	无膜层	4	4	8
	无膜层	70	48	118
一般抛光	1层膜 ($\lambda/42ZnS$)	120	60	180
	反射镜 HBHBHBH BHBHBH	179	49	228
	干涉滤光片 HBHBHB18 HBHBHBH	1996	511	2507

* D是光学表面的漫射系数

研究薄膜表面这些漫射的目的就是利用它们确定薄膜不同屈光面的粗糙度。此外尽管这种漫射很小，但它确实影响着某些淀积的性能，因此应尽量使这种漫射减少到最小值。

P. Bousquet和P. Roche^[5]详述了一种能够把淀积的漫射指数和这些不同屈光面的粗糙度联系起来的理论，并把这种理论用FORTRAN语言编写成计算程序，通过电子计算机给出所需要的参量。

该研究室为了精确地测量膜层表面的漫射，研制了一套自动测量装置(Diffusometer)^[6]该装置如图4所示。

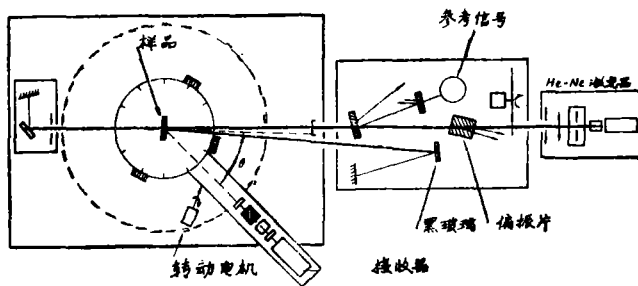


图4 漫射仪装置图

综上所述，我们可以看出，法国薄膜研究中心的研究工作涉及两个方面，一是深入地研究膜层和表面的形成条件、结构和光学特性之间存在的关系^{[7],[8]}；其次是更好地掌握实现光学滤光片的方法，以便能够生产出高质量的滤光片并广泛地应用它，与此同时，不断地把这些工艺转移到工业中去。

三、主要研究成果

该研究室人员虽少，但工作效率很高，无论在学术上还是科研成果都相当可观。其中主要成果有：

1) 在激光导航仪中使用的高性能激光反射镜。这是与Quantel公司及法国航空航海设备公司(S、A、E、N、A)合作的成果。

2) 彩色电视摄像管用双向滤光片(Filtre dichroïque)。它是与P. Angénieux公司合作研制的。

3) 用于光纤通信的信息分离器(Multi-démultiplexeurs)^[9]，这是与国家通讯研究中心(C、N、E、T)和通讯股份有限公司(SAT)合作的成果。

参 考 文 献

- [1] H. A. Macleod, E. Pelletier, Error compensation mechanisms in some thin-film monitoring systems, *Optica Acta*, 1977, 24, 907—930
- [2] P. Bousquet, E. Pelletier, Optical thin film monitoring—recent advances and limitation, *Thin solid films*, 1981, 77, 165—179
- [3] E. Pelletier, Monitoring of optical thin films during deposition, *S. P. I. E.*, 1983, 401, *Thin film technologies*, 74—82
- [4] J. P. Borgogno, B. Lazarides, E. Pelletier, Automatic determination of the optical constants of inhomogeneous thin films, *Applied Optics*, 1982, 21, 4020—4029
- [5] P. Bousquet, F. Flory, P. Roche, Scattering from multilayer thin-films, theory and experiment, *J. Opt. Soc. Am.*, 1981, 71, 1115—1123
- [6] P. Roche, E. Pelletier, Characterizations of optical surfaces by measurements of scattering distribution, *App. Opt.*, 1984, 23, 3561—3566
- [7] P. Roche et al. Determination of interface roughness cross-correlation properties of an optical coating from measurements of the angular scattering, *J. Opt. Soc. Am.*, 1984, 1, 1028—1031
- [8] P. Roche, E. Pelletier, G. Albrand, Antiscattering transparent monolayers, theory and experiment, *J. Opt. Soc. Am.*, 1984, 1, 1032—1033
- [9] B. Bovard et al., Problèmes posés par la réalisation des filtres interférentiels utilisés dans les démultiplexeurs optiques. *Revue phys. Appl.*, 1984, 19, 103—105

A Research Centre of Thin Film in France

Sun Lanchun

Abstract

This paper presents a survey of the research centre of thin film that is one of the highest level optical laboratory in France, its recent developments and main research directions