

真空镀膜技术的应用及教学实验

林道方 邓加军

(北京动力经济学院物理教研室)

真空镀膜技术广泛应用于现代科学技术的很多领域. 起初最主要用于光学薄膜. 最典型的方法是采用真空蒸发法将成膜材料按设计要求淀积在工件表面从而获得所需的反射、增透、截止、带通、偏振等效果. 随着科学技术和生产的发展, 真空镀膜技术飞速进步, 日益完善. 真空镀膜技术已从以真空热蒸发法为主要手段的情况发展成包括电子束加热蒸发、溅射、离子镀、激光蒸发以及各类化学气相沉积等许多各具特色的高新技术在内的新的学科. 真空镀膜技术已成为光学仪器、激光技术、光电子技术、半导体器件技术、照明工程、建筑材料、光纤通讯、薄膜超导、计算机及声像产品的光磁薄膜记录等诸多高新技术的重要支柱之一, 它早已渗透到科学技术的各个领域和生产的各个行业, 以其特有的, 往往是不可替代的工艺技术发挥着越来越重要的作用.

真空镀膜技术所获得的光学薄膜在光学系统中往往起着举足轻重的决定性作用. 如: 一台典型的性能较好的运行功率较高的调 Q 固体激光器, 其主光路中包括激光晶体棒、谐振腔膜片、波片、偏振器件、电子调 Q 晶体、补偿透镜、 45° 全反射镜、倍影器件、二向色镜等, 元件数量多达十多个. 对激光工作波长而言, 45° 全反射镜和谐振腔的全反射膜片需要大于 99.8% 以上的反射率. 谐振腔输出腔片的反射率则应设计得能使该激光产生最佳藕合输出. 二向色镜则要求对某一波长高透射, 而对另一波长高反射. 而光路中所有其他器件的工作表面都要对激光工作波长高增透 (每个面反射率均应优于 0.2% 左右), 否则对几十个工作表面而言, 如果每个工作表面有 4% 的反射损耗就会使得激光器无法振荡. 所有这些器件都工作在高的功率输出状态, 有的功率密度高达 $100\text{MW}/\text{cm}^2$ 以上, 这就要

求各个器件的膜厚有高的抗激光损伤阈值, 如大于 $300\text{MW}/\text{cm}^2$.

对上述激光器件中使用的高反射膜, 就不能使用热蒸发法成膜和水晶石硫化锌等抗激光损伤阈值低材料 (软膜), 而需要使用成膜致密度高的电子束蒸发或溅射法成膜和 ZrO_2 、 TiO_2 、 ThF_4 和 SiO_2 等抗激光阈值高的材料 (硬膜). 另外, 研究表明, 对 $\lambda/4$ 膜系高反射镜, 损伤主要发生在电场强度为极大的界面处, 而当该界面为与空气相邻的第一界面时尤甚. 因此可在膜系设计时采取措施, 使该第一界面处光强不为极大值, 从而可以达到适当提高抗损伤阈值的目的.

对于该系统中的增透膜, 它同样需要承受很大的功率密度, 除了仍然需要采用抗损伤阈值高、吸收低材料外 (如 ThF 等), 尤其要注意基片——薄膜界面的情况, 那里的残余吸收高于其余界面, 会造成阈值降低, 所以, 改善基片界面完善性对保证增透膜的高抗激光损伤阈值极为重要. 同时还要改善成膜条件和工艺, 避免裂纹、刻痕、针孔等弊病导致的损伤阈值降低, 可以不夸张地说, 没有性能优异的真空薄膜器件就没有现代的激光技术.

用真空镀膜技术制备的薄膜干涉分光器, 最为突出的优点是体积小, 光通量大, 制备较容易, 性能参数易于变更和控制. 由长波通和短波截止滤光片组合成的宽波滤光片是地物光谱仪的核心分光部件, 用于环境检测、农作物产量评估等. 对最典型的带通滤光片——法布里·珀罗 ($F-P$) 型干涉滤光片, 其基本结构膜系为 $(HL)^m(2nH)(LH)^m$, 它相当于是高低折射率材料的 $\lambda/4$ 膜层堆 $(HL)^m$ 和 $(LH)^m$ (m 为正整数) 的二个对称的高反膜片和厚度为 $2nH$ (n 为正整数) 的间隔层组合成的 $F-P$ 标准具. 其中 H 为高折射率材料的 $\lambda/4$ 层, L 为低折射

率材料的 $\lambda/4$ 层. 这种 $F-P$ 型滤光片的透光峰值波长、透过率、带宽、次峰及低灰的抑制等主要技术参数, 在适当的范围内可以由高低折射率膜层材料、反射膜反射率(由 m 决定)、间隔层厚度(由 n 决定)和成膜工艺来控制调节. 由于膜系设计(含非 $\lambda/4$ 膜系)和成膜技术的迅速发展, 现在已经可以制备各种优异性能的 $F-P$ 型滤光片, 在某些场合可以替代单色仪类分光系统, 在光学和测试仪器中得到广泛应用. 若 $F-P$ 型滤光片的工作波长选择在间隔层材料的吸收带边附近, 那么可以利用在该波长强光作用下材料折射率的非线性, 经过精心设计和参数优化可以制备出全光型光学双稳态器件, 用于光计算技术的基础研究.

光学干涉膜制备技术随着科学技术及生产的发展, 原来停留在实验室中的工艺已在某些方面转入大规模工业化生产, 膜层层重足以经受日常复杂环境的考验, 现在广泛应用的照明光源中的冷光膜、建筑业中的特殊要求的大面积玻璃复膜就是这样的事例.

随着光通讯技术的发展, 以光学薄膜制备技术为基础的薄膜光波导器件的研究迅速发展, 制备极低损耗地传输、变换光束的光波导器件是这一研究的基本任务, 这类器件具有可靠性和便于集成化的特点.

真空镀膜技术方面的知识包括真空镀膜设备、成膜材料、薄膜制备技术与工艺以及薄膜参数的设计和控制测量等方面的内容. 如果从着重培养学生综合利用所学物理知识原理去掌握具有较高实验工艺技能要求并与现代科技发展结合紧密的物理实验的角度出发, 真空镀膜技术方面的实验无疑是十分合适的. 这个实验的综合性很强, 涉及的物理知识面较广, 其基本内容也可根据学生所学专业需要进行调整, 若三小时为一个教学单元, 它可以通过一个单元的教学, 让学生掌握真空镀膜技术的基础, 也可以经过三至四个单元的教学, 让学生就真空的获得和测量、光学干涉薄膜的制备与控制技术、薄膜分光特性测量以及特殊膜系的设计与制备等几方面分段进行较深入细致的学习以适应各种

方面的需要.

我们认为从学习基本的真空镀膜技术的目的出发, 这个实验应主要包括以下设备:

1. 标准的真空镀膜机;
2. 膜厚监控装置;
3. 棱镜单色仪;
4. 光电倍增管及电源;
5. 灵敏光标检流计.

根据教学要求和原则, 我们还认为这个实验应着重考虑以下几点:

1. 标准的真空镀膜机. 这是本实验的最主要设备. 所谓的“标准的”的意思是指目前国内通用的真空镀膜机, 如 $DM-450$ 型, 不主张自制玻璃系统, 虽然自制玻璃真空系统具有直观方面的无可争辩的优点, 且十分有利于教学, 但它距离实用毕竟太远, 况且我们可以通过对拆开的旧机械泵、油扩散泵以及阀门等实用真空镀膜仪器的观察, 完全可以弥补直观性不强的欠缺. 另外国内主要厂家生产的商业性镀膜机一般性能都较稳定, 且不易出毛病完全可以满足教学要求. 其次其仪器配套性强, 可以使学生获得关于镀膜机结构、机械泵、油扩散泵、电阻真空计、电离真空计等方面的真空技术知识和技能培养.

至于蒸发源, 以电阻加热型再到蒸发源为好, 既便宜实用, 又易于掌握和易于更换, 可以使学生在蒸镀时, 把主要精力放到监控膜厚上.

2. 膜厚监控装置. 可以采用商品化高性能的膜厚监控仪, 它由光源、检测器、单色仪、光电倍增管、电源、放大器等组成. 如果只考虑基本训练, 也可以采用 $He-Ne$ 激光器的 $633nm$ 光束, 硅光电池和 0.5 级多量程微安表组成一个有效的极值法膜系监控系统(如图 1)来镀制波长为 $633nm$ 的高反射膜板和带通滤光片, 这同样可以满足教学实验的所有要求, 并且对初次接触膜层控制技术的初学者, 只要进行简单的训练, 就能独立操作并制备出性能相当好的膜片. 利用这种膜厚监控装置, 既可镀制膜系为 $(HL)^m H$ 的高反板, 也可镀制膜系为 $(HL)^m 2H(LH)^m$ 的干涉滤光片.

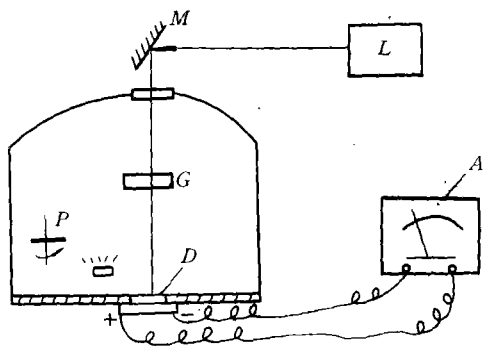


图1 简单监控系统

- L: He-Ne 激光器 M: 反射镜
 G: 镀膜基片 P: 档板
 S: 蒸发源 D: 硅光电池检测器
 A: 微安表

3. 用一个以较稳定的电压供电的小型卤钨灯、棱镜单色仪、光电倍增管(含电源)、灵敏光标检流计以及几个光学透镜就可以组成一套简单的测光装置(如图2)。例如对镀制的干涉滤光片,利用 $T(\lambda) = I(\lambda) / I_0(\lambda)$ (其中 $I(\lambda)$ 是波长 λ 处滤光片的透射光强, $I_0(\lambda)$ 是波长 λ 处的光源光强, $T(\lambda)$ 则为波长 λ 处滤光片透光率。)通过利用这种测光装置可测量所镀制的干涉滤光片的透光特性,即 $T(\lambda)-\lambda$ 曲线,从而

求得滤光片透射的峰值波长,峰值波长透过率,以及半宽度等主要参数。整个装置的结构简明、清晰,可以让学生自己动手控制。

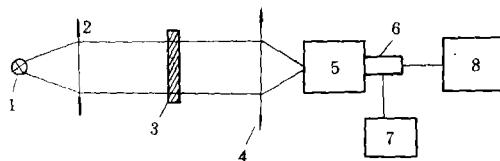


图2 简单的测光装置

1. 光源 2. 透镜 3. 样品 4. 透镜
 5. 单色仪 6. 光电倍增管 7. 高压电源 8. 光标检流计

4. 如果对薄膜光学方面实验内容要求更丰富时,除了应选择更加完善的仪器设备,我们认为应较为系统地介绍薄膜光学原理和膜系设计知识,尤其是可以利用特征矩阵法对 $\lambda/4$ 周期膜系进行计算机设计和参数模拟计算以及编写相应的计算机程序,并把预定膜系的特性参数与实测数据进行比较,讨论产生误差的原因以及如何从工艺和膜系设计上保证能得到较好的预期要求。

总之,这个实验的内容十分丰富,其涉及的主要物理原理、实验方法是其他实验不能简单代替的,特别是它的应用范围十分广泛。因此,把它作为一个基础物理实验是最合适不过了。

- 她用物理的情趣,引我们科苑揽胜;
- 她用知识的力量,助我们奋起攀登!

欢迎订阅《现代物理知识》

双月刊,国内邮发代号 2-824,国外代号 BM609,每期定价 1.50 元,全年 9.00 元

《现代物理知识》创刊于 1989 年元月,是一份中、高级科普杂志,侧重于介绍现代物理知识、物理学前沿的最新成果与发展动态,以及有关物理学的新技术及其应用。

《现代物理知识》由中国科学院主管,中国科学院高能物理研究所主办,科学出版社出版,国内外发行,各地邮局均可订阅。

本刊编辑部办理邮购:每期:2.00 元,全年 11.00 元,尚有 1992—1994 年各年合订本,每本 15 元;1995 年合订本,每本 20 元。均含邮

费、包装费。

“现代物理知识与教学现代化”,增刊(1994),16开,200页,定价 6.50 元;增刊(1996)16开,300页,定价 20.00 元(均含邮资),由本刊编辑部办理邮购,欲购者请汇款至:100039 北京 918 信箱“现编部”收(电话:8213344-2782)。

热烈欢迎各界朋友随时向本刊编辑部邮购《现代物理知识》!