

# 冷阴极离子源辅助镀膜技术及应用

孙屹群 汤彦骐

(云南光学仪器厂, 昆明, 650114)

摘要: 叙述了离子束辅助镀膜的特点。对冷阴极和热阴极两种离子源作了比较。论述了冷阴极离子源及其在真空镀膜中的应用。

关键词: 离子束辅助蒸发(IAD) 冷阴极离子源

## Deposition technology and its application using an auxiliary cold cathode ion source

Sun Yiqun, Tang Yanqi

(Yunna Optical Instrument Factory, Kunming, 650114)

**Abstract:** In optical surface film coating, the ion auxiliary deposition (IAD) technique has been widely used. Based on the analysis on the operating condition of IAD, this article compares the two kinds of the ion auxiliary deposition techniques using hot cathode ion source and cold cathode ion source and points out that, with the help of cold ion source, the film deposited on the optical surfaces has the better microstructure. In vacuum deposition, using of the cold cathode ion source can reduce the deposition period.

**Key words:** ion beam auxiliary deposition (IAD) cold cathode ion source

### 一、引 言

传统的热蒸发技术镀制的薄膜,存在膜层松弛、性能不稳定、寿命短、牢固度差等缺点。根据薄膜微观结构分析,决定介质膜结构的重要参数是基板温度与蒸发物熔点温度之比( $T_s/T_m$ )对于热蒸发的薄膜,该值几乎总是低于 0.45,所以其结构总是呈明显的柱状结构。柱体之间有大量间隙<sup>[1]</sup>,这些间隙在环境气氛中产生毛细管吸附现象,吸附和渗透潮气造成薄膜的不稳定性。

离子束辅助蒸发(IAD)新工艺就是在镀膜前先用一定能量的离子束轰击基底,以净化其表面,使表面沾污的碳氢化合物分解离去;同时使基板表面温度升高,提供活化表面以利于薄膜成核。在镀膜过程中再用合适能量的离子束轰击正在生长的薄膜,以改变薄膜的微观结构,从而改善了薄膜的特性:如填充密度、稳定度、应力、杂质含量、附着力等等。

### 二、离子束辅助镀膜的特点

离子束辅助镀膜的主要特点就是改变成膜的条件。在基板与蒸发源之间引入离子束。当蒸发材料的分子或原子通过离子束区时部分被电离。带能离子束射向基板。一方面使基板加热(100℃以上);另一方面使已经淀积的膜层产生部分溅射,附着差的分子或原子便离开基板,同时促进膜层材料粒子的表面扩散和化学反应,甚至产生注入效应,这些过程克服了常规淀积时的阴影效应。这使得膜层形成排列较为紧密的、稳定的分子结构,并趋于晶格化。故可以根据具体光学元件的要求降低蒸发时的基底温度,使薄膜生长在较低的温度下。这对那些不能

加高温的光学元件,如光学塑料元件以及镀膜时不允许产生较大应力的零件成为可能。膜料粒子动能的增加,使原子(分子)在基底表面的迁移速率增加,因此增加了凝结速率,增加了粒子的生长速率,也加速了粒子的接合<sup>[2]</sup>,从而使薄膜的聚集密度接近于 1。

在使用离子辅助镀膜时影响薄膜生长的淀积速率、原子动能、粘附系数、表面迁移率、成核密度、凝结速率、接合速率、杂质和缺陷浓度等均有改观。其综合效果如: 1. 提高薄膜的机械性能、抗腐蚀能力和稳定性; 2. 提高膜层的抗激光破坏能力; 3. 减少镀膜时间,提高工作效率,节省水电消耗; 4. 可以在塑料和其它对温度敏感的基底上镀制薄膜; 5. 可以用软膜代替硬膜。

### 三、冷阴极离子源原理

目前,国内所研制的用于辅助镀膜技术的离子源有两类,一是热阴极离子源,二是冷阴极离子源。由于热阴极离子源采用热灯丝,故其寿命较短,阴极灯丝常易烧毁,尤其是使用氧气时灯丝的寿命更短。而冷阴极离子源因无灯丝,寿命较长,且污染少,结构紧凑,操作简单,可调参数少,利于维修。从目前的使用情况看,冷阴极离子源较热阴极离子源优越。

图 1 所示为宽束冷阴极离子源原理图(1 为上阴极,2 为阳极,3 为下阴极,4 为引出极)。薄膜材料用电阻加热蒸发。当真空室抽真空至  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  Pa 后,充入  $O_2$  或  $Ar$  等惰性气体(对反应离子镀,同时充入反应气体),气体在阳极电压  $V_d$  的作用下发生辉光放电而电离,等离子体中的离子向阳极 3 运动,电子向阳极运动,同时在轴向磁场的作用下,电子作螺旋运动。由于电子运动路径增大,电子与气体碰撞几率增加。气体电离效率增大,使等离子体维持一定的浓度。在引出极电压  $V_a$  的作用下,离子由下阴极 3 和引出极 4 射入真空系统。其中,引出离子的能量:  $E = e[V_a + V_d]$  eV,引出离子的电流:  $I \propto V_a^{3/2}$ 。

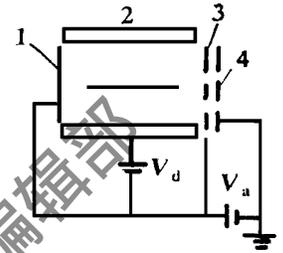


Fig. 1 Schematic diagram of ion beam source

### 四、冷阴极离子源的应用

在未使用冷阴极离子源前,不能镀制胶合光学元件;也不能镀制直接喷漆光学元件。要镀制时必须先加温预烘烤光学元件,这容易产生漆黄;镀制直径大的光学元件( $\phi 50\text{mm} \sim \phi 200\text{mm}$  或  $200\text{mm}$  以上)时,由于温度高,光学元件易炸裂报废。镀制时如不注意温度,镀出的光学元件膜层不牢固。综合良品率一般在  $80\% \sim 85\%$  左右。采用冷阴极离子源辅助镀膜后,透镜、棱镜的质量指标都有较大提高,所镀的光学元件膜层牢固性比原工艺镀制的膜层牢固性提高。

图 2 是在 H44700 型箱式真空镀膜机上安装多体宽束冷阴极离子源示意图(1 为离子源,2 为基底,3 为真空室,4 为挡板,5 为蒸发源)。该装置改装老设备容易,工人操作方便。该种设备主要用于大批量镀制单层氟化镁膜层,镀制出的零件经胶合、装配、检验考核认为,膜层牢固度较原工艺有较大提高,表面疵病明显减少。在  $150^\circ\text{C}$  时镀制的各类大中小尺寸光学元件,用蘸有酒精、乙醚混合液的脱脂布用力擦拭,膜层无划痕;将同一光学元件先后放置于  $40^\circ\text{C} \sim 46^\circ\text{C}$  的中性洗涤液、水、异丙醇或酒精溶液中,同时再用功率为

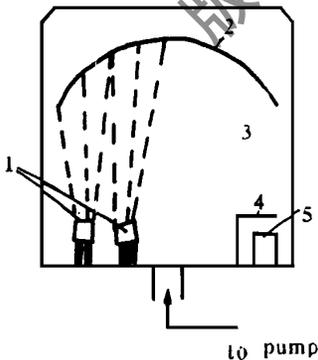


Fig. 2 Schematic diagram for ion source installation

600W~900W、频率为28kHz的超声波振荡后,经检验,膜层无变化,膜层性能达到要求。所镀制的光学元件膜层均匀性也较原工艺有改善,可以制备重复性好、性能稳定的薄膜。

采用离子源后,由于所需基底温度低,镀制过程省去一部分升温及降温时间,离子轰击时间也有所减少,经验证明,每罩可比原工艺节约20min。能节约水电消耗,提高生产效率,收到较好的经济效益。

### 五、束流分布的计算机模拟

在使用离子源辅助镀膜的同时,我们应用了相应的离子源束流分布计算机模拟。即,当离子源结构参数一定,工作参数固定时,离子源的束流分布的重复性。离子源束流分布见图3,

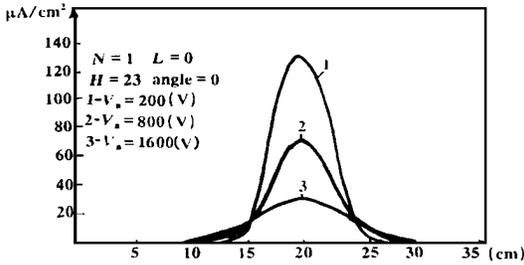


Fig. 3 Beam current distribution of a single ion source

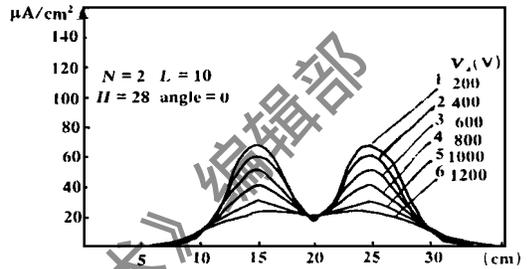


Fig. 4 Beam current distribution of two ion sources

图4和图5。当改变离子源安放位置、离子源到工件的距离、离子源的角度,将获得不同的束流密度分布。当使用多个离子源时,交叉的离子束束流密度存在迭加,利用计算机模拟,确定多个源同时工作的束流密度,并选择源的放置方式,指明对应的引出电压值。从而从工艺角度确保了光学镀膜的严格完整性,使光学薄膜的各项指标达到完善。经计算机模拟,我们选用了双离子束沉积。

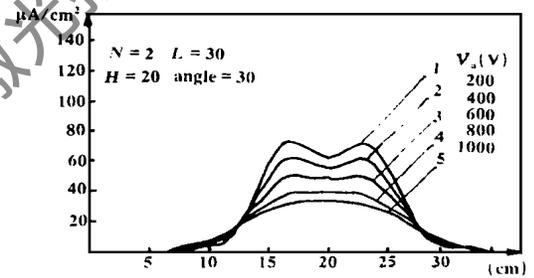


Fig. 5 Beam current distribution of two ion sources

### 六、结 语

离子束辅助蒸发技术提高了膜层的附着力和机械强度,改善了膜层均匀性,缩短了镀膜生产的周期,降低了镀膜工序零件的报废率。在生产中得到了实际运用。

但对于国内现有的冷阴极离子源装置,尚觉有不足之处。基底温度需100℃~150℃,这使胶合件的镀膜成为困难,以致于还不能实现胶合退修件的镀膜(光敏胶开胶温度约100℃~120℃)。随着冷阴极离子源性能不断完善,离子束辅助镀膜新工艺将能上升到一个新水平。

### 参 考 文 献

- 1 顾培夫. 薄膜技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1990
- 2 薛增泉, 吴全德, 李 洁. 薄膜物理. 北京: 电子工业出版社, 1991

作者简介: 孙屹群, 女, 1970年11月出生。助工。现从事光学薄膜工艺技术。