

宽束冷阴极和端部霍尔离子源对薄膜透过率和应力的影响

刘文军¹, 弥 谦¹, 秦君君², 方 勇¹, 杨利红¹

(1. 西安工业学院, 陕西 西安 710032; 2. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710068)

摘要: 在宽束冷阴极离子源和端部霍尔离子源辅助沉积情况下, 利用南光 ZZS700-1/G 箱式镀膜机, 通过实验分别验证了这两种离子束辅助沉积对光学膜层透过率和应力的影响。通过对大量实验数据进行分析, 得出利用低能量和大电流离子束辅助沉积光学薄膜时, 膜层性能优于高能量离子束辅助沉积膜层。分析了膜层特性改变的原因, 并提出了合理的工艺参数。实验结果表明, 低能量、大电流的离子束辅助沉积使光学薄膜的性能更佳。

关键词: 宽束冷阴极离子源; 端部霍尔离子源; 离子束辅助沉积; 光学薄膜

中图分类号: TB43

文献标识码: A

Influence of Broad Beam Cold Cathode and End Hall Ion Sources on Transmissivity and stress

LIU Wen-jun¹, MI Qian¹, QIN Jun-jun², FANG Yong¹, YANG Li-hong¹

(1. Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032, China; 2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)

Abstract: Under the conditions of ion beam-assisted deposition (IBAD) using broad beam cold cathode and end Hall ion sources, utilizing the box type of Nanguang ZZS700-1/G coater, the influences of two IBADs on transmissivity and stress have been demonstrated respectively. With the analyses of a great deal of experimental datas, the properties of the optical thin-film got by IBAD with low energy and high current are better than that got by high energy IBAD. The reasons of the property variation of flim layers is analyzed and the processing parameters are given in this paper. The experiments show that IBAD with low energy and high current makes the layer properties much better.

Keywords: broad beam cold cathode ion source; end Hall ion source; IBAD; optical thin-film

引言

离子束辅助沉积技术是目前广泛采用的薄膜沉积方式, 自本世纪 80 年代以来日益受到人们的重视。这一技术可以改善薄膜的性能, 实现普通热蒸发工艺无法获得的效果。根据离子能量的不同, 用于离子束辅助镀膜的离子源可以分为两类: 低能量离子源和高能量离子源^[1~2]。按照这种分法, 霍尔无栅离子源属于低能离子源, 而冷阴极离子源属于高能离子源。实验表明, 两种离子源都是有用的, 至于使用哪一种离子源需根据使用者的需求来确

定。IBAD 所用的离子束能量一般在 30 eV 到 100 keV 之间。光学薄膜和单晶薄膜的生长宜选用束流能量为 10~100 eV^[3~4] 的低能量离子束。合成硬质薄膜时应选用较高能量的离子束。在薄膜生长过程中, 高能离子的轰击会强烈地影响薄膜的性能; 低能量离子可用于膜层致密及改变膜层微观结构和成分等场合。而在高能量范围, 当能量远远超过晶格位移所需的能量时, 对许多应用是有害的, 从而可能会导致有害辐射和溅射的产生。本文在多次实验的基础上, 比较分析了霍尔无栅和冷阴极离

子源对薄膜透过率和应力的影响,得出霍尔无栅离子源对光学薄膜性能的影响小于宽束冷阴极离子源。大电流和低能量的均匀离子束可使光学镀膜技术朝着更合理的方向发展。

1 成膜实验及结果

本实验是在南光 ZZS700-1/G 箱式镀膜机上进行的。实验时,零件材料选用K9 玻璃;铝(Al)膜用螺旋式电阻加热蒸发源进行镀制;氟化镁(MgF₂)膜用e 形电子枪镀制;硫化锌(ZnS)膜用舟式电阻加热蒸发源镀制。利用霍尔无栅离子源进行离子束辅助镀膜时,离子源水平放置,工作气体为氩气。镀制前,在真空度优于5×10⁻³ Pa 的情况下,用90 eV 氩离子先对K9 玻璃基底表面进行轰击并清洗5 min。镀制时要求真空度约为2×10⁻² Pa。用冷阴极离子源进行离子束辅助镀膜时,离子源与垂直方向的夹角为65°,工作气体也为氩气。镀制前,在真空度优于5×10⁻³ Pa 的情况下,用50 eV 氩离子对K9 玻璃基底表面进行轰击并清洗5 min。镀制时要求真空度约为8×10⁻³ Pa。

1.1 霍尔无栅离子源和冷阴极离子源对光学膜层透射率的影响

在基片温度为150 ℃,氩离子能量分别为60~115 eV 和350~600 eV 的情况下,利用端部霍尔无栅离子源和冷阴极离子源辅助轰击镀制MgF₂ 膜。实验是用日立U-3501 分光光度计对MgF₂ 膜的透射率进行测量的。图1 为所选取的离子能量分别为90 eV 和350 eV 的两条透过率曲线。

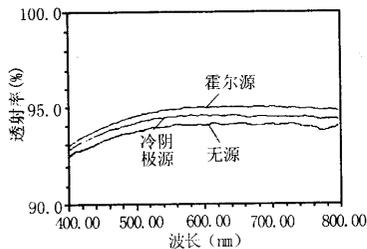


图1 MgF₂ 膜的透射率实测曲线

Fig. 1 The measured curves of transmissivity of MgF₂ thin film

从所测得的曲线可得出,低能量(0~120 eV) 氩离子轰击下镀制的MgF₂ 膜,其透射率略高于高能量(300 eV 以上)离子轰击下所镀制的膜层。两

种离子源辅助沉积所得薄膜的透过率及膜层表面光滑度均高于和好于无源热蒸发沉积所得的薄膜。

1.2 端部霍尔离子源和宽束冷阴极离子源对膜层应力的影响

用悬臂梁法^[5]对在室温下(其他工艺参数同上)镀制的ZnS 薄膜应力进行了测试,并分析了两种离子源能量对膜层应力的影响。测试结果如图2 和图3 所示(图中ZnS 膜的平均厚度为160 nm;应力σ 的符号为正时表示张应力,为负时表示压应力)。

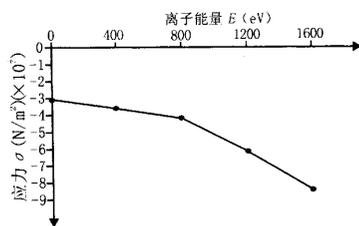


图2 宽束冷阴极离子源离子能量对膜层应力的影响

Fig. 2 The influence of ion energy of the broad beam cold cathode ion source on film layer stress

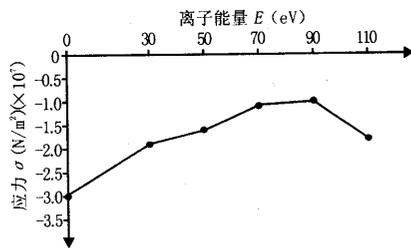


图3 端部霍尔离子源离子能量对膜层应力的影响

Fig. 3 The influence of ion energy of the end Hall ion source on film layer stress

2 结果分析

图1 表明,用霍尔无栅离子源作辅助沉积光学薄膜时,膜层透过率曲线稍高于宽束冷阴极离子源。这是由于大电流、低能量(30~120 eV)均匀离子束轰击膜层时,使表面更光滑、致密度更好,且对膜层损伤较小,所以透过率较高。另外,在使用冷阴极离子源进行辅助镀膜时,由于MgF₂ 膜层有轻微的麻点,大能量离子(≥300 eV)轰击膜层时,在光学介质膜层表面生成微小麻点,导致膜层的吸收增大,因而影响了膜层的光学性质。分析认为,利用冷阴极离子源辅助镀膜时,轰击上去的大能量离子

束在镀介质膜时,电荷积累会造成局部放电,当然也不排除离子源栅本身在离子轰击下产生杂质的问题。而采用端部霍尔无栅离子源时,把离子束引出到源出口处,由阴极发射的电子进行中和,这时轰击到基片上的高能离子为已经中和的等离子体。因此,无论是导电还是不导电绝缘膜均可直接进行辅助沉积,而不会由于基片表面电荷积累而引起闪烁和打火。

从图2和图3可以看出,用宽束冷阴极离子源和端部霍尔离子源辅助蒸发沉积薄膜时,两者产生的都是压应力,前者所产生的压应力比后者大。分析认为这是由于端部霍尔离子源的能量低、电流大(1.2~1.5 A),且离子流在该电流范围内分布均匀,从而使得膜层中的粒子有足够的时间迁移、重组,因此使膜层得以舒展,不致于应力过大。而宽束冷阴极离子源离子的能量大,轰击薄膜时,使得成膜粒子发生迁移、重组和舒展,故而释放应力的时间相对变小,导致应力较大。对于几乎所有的光学薄膜来说,较小的应力对膜层的性能有着重要的贡献。另外,还就上述两种离子源对膜层牢固度、膜层强度、附着性、抗蚀性以及光谱特性等的影响进行了实验对比,发现两种离子源的辅助作用相当,且都远远优于无源轰击。

3 结论

综上所述,可得出如下结论:

(1) 在低能量(0~120 eV)氩离子轰击下镀

制的 MgF_2 膜,其透射率略高于高能(300 eV以上)离子轰击下所镀制的膜层。这可能是由于大电流、低能量的均匀离子束轰击膜层,使表面更光滑、致密度更好,以及对膜层损伤较小的缘故。

(2) 室温下,端部霍尔离子束辅助蒸发镀制的ZnS薄膜的应力比宽束冷阴极离子源小。这点对于镀制光学薄膜和单晶薄膜,尤其对防止多层介质膜的应力过大而使得膜层起皮和龟裂有着重要的作用。

(3) 用宽束冷阴极离子源辅助蒸镀光学膜层时,镀前真空度优于 5×10^{-3} Pa,镀制时真空度要求约为 8×10^{-3} Pa,沉积速率为1.5 nm/s。用端部霍尔离子源辅助蒸镀时,镀前真空度优于 5×10^{-3} Pa,镀制时真空度要求约为 2×10^{-2} Pa,沉积速率为2.0 nm/s,用这样的工艺参数沉积薄膜时膜层性能较佳。

参考文献:

- [1] 刘金声. 离子束沉积薄膜及其技术应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 唐晋发,郑权. 应用薄膜光学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [3] 田民波,刘德令. 薄膜科学与技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [4] 潘永强,等. 端部霍尔离子源工作特性及等离子体特性研究[J]. 真空科学与技术,2003,23(1):57-59.
- [5] 杨烈宇,关文,译. 材料表面薄膜技术[M]. 北京:人民交通出版社,1999.

飞行防撞高手:空用激光雷达

飞机尤其是直升机在低空巡逻飞行时,极易与地面小山或建筑物相撞;军用飞机总是尽可能地降低飞行高度,以免被敌人的监视系统发现,这是世界许多国家关注并力求解决的一大难题。美国、德国和法国等近年研制出了直升机障碍物规避激光雷达,成功地解决了这一难题。美国率先研制的直升机超低空飞行“障碍规避雷达”,采用固体激光二极管发射机和旋转全息扫描器,可探测直升机前方很宽的空域,地面障碍物信息可实时显示在机载平视显示器或头盔显示器上,保障了飞行员的安全飞行。随之,德国研制成功的“Hellas”激光雷达更胜一筹,它采用一种固体1.54 μm 成像激光雷达,视场为 $32^\circ \times 32^\circ$,能探测300—500 m 距离内直径1 cm 粗的电线或障碍物,直升机采用之可确保飞行安全。法国和英国联合研制的吊舱载“CLARA”激光雷达具有多种功能,采用 CO_2 激光器,不但能测得直升机飞行前方如标杆和电缆等微型障碍物,还可进行地形跟踪、目标测距和活动目标指示等功能,适用于飞机和直升机。

(春晨 供稿)