

霍尔源用于光学镀膜*

贾克辉¹ 黄建兵² 徐颖¹ 陈红¹ 高劲松¹ 曹建林¹

(1 中科院长春光机所,应用光学国家重点实验室光学技术中心,长春 130022)

(2 中科院上海光机所,光学薄膜技术研究与发展中心,上海 201800)

摘要 报道了用于辅助镀膜的无栅霍尔等离子体源的结构原理及性能指标,并从光学特性、显微特性和机械特性三方面着手,研究了使用霍尔源所做的单层 TiO₂ 膜的成膜工艺与质量. 研究表明,使用霍尔源辅助沉积的光学薄膜折射率明显提高,更加接近于块状材料,膜层结构比传统沉积手段更加致密,附着力也很高. 同时用此项技术沉积了金属增强反射镜,试验结果与理论设计结果相符,达到了理想要求.

关键词 无栅霍尔源;光学薄膜;等离子体辅助镀膜

中图分类号 O484.4 **文献标识码** A

0 引言

二十世纪80年代以来,人们在制造高质量的光学薄膜时更加重视离子能量传递的辅助作用,它对改进膜的附着力、致密度、吸收度、折射率、结晶结构都大有益处^[1]. 目前科研生产中普遍使用有栅考夫曼源(Kaufman)、射频离子源及无栅 APS 源,它们均具有控制精确、能量单色性好及束发散角小的特点. 近年来,国外发展了无栅霍尔源技术^[3,4],与其它源相比,它完全适合镀膜工艺的要求,而且其突出特点是小型化、结构紧凑、易于拆装,但目前国内同行大多数使用无栅 APS 源,有关霍尔源的消息也不多见.

无栅霍尔离子束辅助镀膜系统可应用于任何需要低能大束流(安培级)的薄膜辅助沉积场合,以制备高质量薄膜. 在薄膜沉积以前,用离子轰击基底表面,清洗表面污染物,增加了薄膜与基底的结合力并减小了膜的污染. 在薄膜沉积的同时,辅助以低能离子轰击,降低了膜的内应力,同时它能增加膜的堆积密度,提高膜的致密性,消除柱状晶,细化膜的结构,并显著增加膜层与基底间的结合力.

1 霍尔源结构及工作原理

研究中使用的霍尔源是由中国科学院空间科学与应用研究中心研制开发的 H-2 型霍尔源,如图 1. 霍尔源不需要进行水冷,其结构主要分为电连接和气连接. 在电连接部分,霍尔源有三根连接线,其中一根为阳极正高压,它与离子源阳极正端连接(阳极正端连接柱位于源底部),其余两根中一根与阳

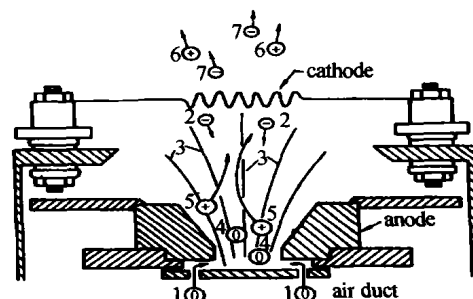


图1 霍尔源工作原理

Fig. 1 Operating principle of the Hall ion source

极负端(即阴极灯丝固定端子任何一端)连接,成为公共端,另一根线与阴极灯丝固定端子另一端连接,以便向阴极供电. 阴极为钨丝,位于离子源顶部. 在气路连接部分,霍尔源通过底部进气口向源内进气,使用时,先将中间连接气路接好,然后用孔径 $\phi 5$ 真空橡皮管或 $\phi 4$ 聚四氟乙烯管将进气嘴与真空系统进气口连接,并在真空系统外部与质量流量计连接.

霍尔源利用阴极灯丝发射电子在发散的磁场中引起放电形成等离子体. 轴向磁场对径向电流的作用引起了周向的霍尔电流,周向电流与径向磁场的作用产生电磁力加速电子,带动离子形成中和的等离子体,该源用电磁加速代替静电加速,更便于取得低能大束流^[2,5]. 它的离子束流最大可达 3 A,离子能量 70 ~ 250 eV,距源出口 500 mm 处束密均匀区可达 700 mm².

2 TiO₂ 单层膜

实验采用北京仪器厂的 ZZSX-1600 型镀膜机,配备上述型号霍尔源. 将清洁干净的 K9 玻璃放置于平面基片架中心,将真空室抽至 9.1×10^{-4} Pa,开始充氧,调节流量计将进气量调到 25 sccm (1 sccm = 1 ml/min, 0°C、标准大气压下),启动霍尔源. 打开

*中国科学院创新基金(ZJ00C04T)资助项目

Tel: 0431-5261561 Email: tramperjia@163.com

收稿日期:2002-11-25

阳极电源和阴极电源开关,电源指示灯亮,表示电源已经接通,先调节电源阳极调节旋钮,将阳极电压升到 180 V 左右. 然后缓慢调节阴极旋钮,直到阳极电流表有指示(3 A 左右). 这时,离子源已经起弧. 此后无需再调节,阳极电源的电压及电流值由电源自动保持. 此时真空度为 5.2×10^{-3} Pa. 开始镀膜. TiO_2 沉积速率为 0.4 nm/s, 电子枪束流为 130 mA. 实验过程中基片不加温.

取实验的镜片,使用美国 DI 公司的原子力显微镜 DIMENSIONTM 3100 进行观察,如图 2. 使用霍尔源辅助镀出的 TiO_2 膜表面相当均匀,没有大的起伏,膜层呈无定形结构,与传统的柱状结构 TiO_2 膜不同.

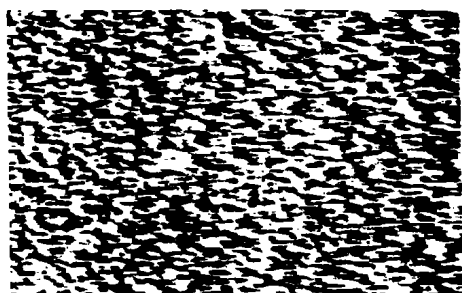


图 2 TiO_2 表面形貌

Fig. 2 Microstructure of TiO_2 layers

如图 3 为在 Lambda-900 上实测的 TiO_2 膜光谱特性,经分析计算, TiO_2 膜在波长 $\lambda = 550$ nm 时的折射率为 2.38,与用 APS 源辅助沉积的结果基本相同. 实验做了简单的透明胶带实验和划痕实验,未发现 TiO_2 膜剥离和出现明显的划痕. 表明利用霍尔源辅助,获得的 TiO_2 膜强度高、附着力也强.

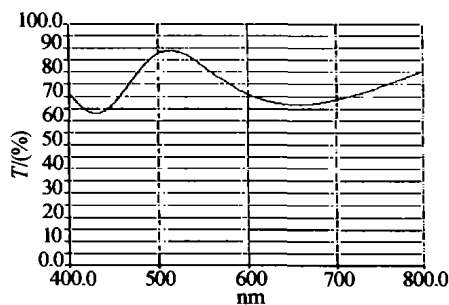


图 3 单层 TiO_2 膜的光谱曲线

Fig. 3 Spectrum curve of TiO_2 layers

3 金属增强反射镜

实验采用设备与文中制备单层 TiO_2 膜材料实验相同. 实验使用 TiO_2 、 SiO_2 、Al 三种材料,膜系结构:Sub/ SiO_2 /Al/ SiO_2 / TiO_2 /Air. 开始抽真空使其达到 1.7×10^{-3} Pa,启动霍尔源. 起弧后开始镀膜,此时真空度为 7.1×10^{-3} Pa. TiO_2 、 SiO_2 膜采用电子束蒸发,并有霍尔源的辅助. 沉积 TiO_2 、 SiO_2 膜的蒸发速率分别为 0.4 nm/s、1.2 nm/s;电子枪束流分别

为 130 mA、30 mA;旋转平面夹具的转速均为 12 r/min. 霍尔源的阳极电压为 180 V、阳极电流为 3 A、阴极电压为 12 V、阴极电流为 14 A,氧气流量为 25 sccm. Al 则采用热蒸发,未用霍尔源的辅助. Al 的蒸发速率为 10 nm/s、蒸发电流为 300 A、旋转平面夹具的转速为 12 r/min.

实验完毕后,关闭霍尔源. 先调节阴极电源旋钮,将阴极电流调到零,放电熄灭,然后将阳极电源旋钮调到零位,再分别关闭阳极电源、阴极电源及气体质量流量计. 霍尔源关闭后再依次关闭其他设备. 图 4 为我们设计的光谱曲线,图 5 为实测的光谱曲线. 从两图可以看出两个曲线基本吻合.

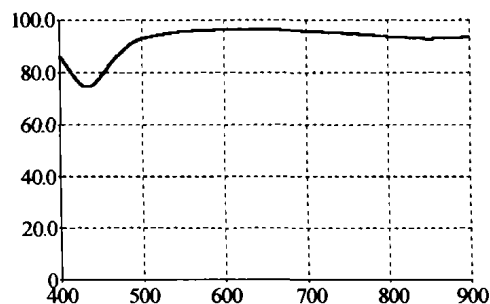


图 4 设计曲线

Fig. 4 Designed spectrum curve

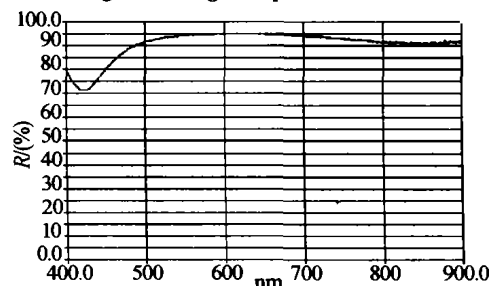


图 5 实验曲线

Fig. 5 Curve of experiment

4 结论

研究表明霍尔源辅助沉积光学薄膜有两大优点:一是可以代替或部分代替镀膜热烘烤,而仍然具有较强的薄膜结合力、牢固度和稳定性. 二是可以改善薄膜的致密度及膜的结构,从而提高膜的折射率,降低膜的吸收率. 霍尔源近几年来发展很快,其关键技术还有待提高,一是如何在低能的情况下获得大的束流和离子流密度,二是如何获得大面积的均匀区.

参考文献

- Anton R, Hagedorn H, Schnellbugel A. Ion-assisted deposition of high-quality, thorium free anti-reflection coatings for high-power CO_2 -lasers. *SPIE*, 1994, 2114: 288 ~ 296
- 尤大伟,冯毓才,王宇. 用于材料改性的宽束离子源现状及其发展. *微细加工技术*, 1996, 1: 67 ~ 75

- You D W, Feng Y C, Wang Y. *Microfabrication Technology*, 1996, **1**:67 ~ 75
- 3 Willey R R. Some comparisons in the application of End-Hall and cold cathode ion sources in the conversion of SiO to SiO₂. *SPIE*, 1994, **2262**:14 ~ 20
- 4 Fulton M L. Approaches explored for producing a variety of ion-assisted-deposited thin-film coatings using an end-Hall ion source. *SPIE*, 1996, **2776**: 114 ~ 125
- 5 Fulton M L. Application of ion assisted deposition using a gridless end-Hall ion source for volume manufacturing of thin-film optical filters. *SPIE*, 1994, **2253**: 374 ~ 393

Hall Ion Source for Thin-film Coatings

Jia Kehui¹, Huang Jianbing², Xu Ying¹, Chen Hong¹, Gao Jinsong¹, Cao Jianlin¹

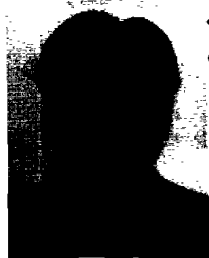
¹ State Key Lab of Applied Optics, Changchun Institute Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Jilin, Changchun, 130022, China

² R&D Center for Optical Thin Film Coatings, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 201800, China

Received date:2002-11-25

Abstract The theory and properties of End-Hall ion source are reported. The research to the quality and productive technology of TiO₂ coatings that are produced by using Hall ion source is made in three respective properties including optical property, micro-structure, and mechanism property. The research shows that the index of optical coating increases remarkably by using plasma ion assisted deposition and approaches to the massive material further, the coating structure is more compacted than the one obtained through conventional deposition method and the adhesive power is high as well. Meantime an enhanced metal reflector is produced through this technique and the subsequent result of experiment is in accordance to the one designed, finally the objective of the design is met.

Keywords Hall ion source; Optical coatings; Plasma ion assisted deposition



Jia Kehui was born in 1977, in Taigu Country, Shanxi Province. Now he is pursuing the M. S. degree in optics at State Key Lab of Applied Optics, Changchun Institute Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. His research fields include theory and technology for thin-film coatings.