霍尔无栅离子源的研制及应用

王稳奇，朱昌
（西安工业大学 北方信息工程学院，西安 710025）

[摘 要] 基于离子束辅助镀膜技术，自主研制了一款新型霍尔无栅离子源，利用该离子源，采取离子束辅助沉积方法，在玻璃基底上镀制了多种光学薄膜，并对所镀制光学薄膜的性能进行了测试。测试结果表明：所研制的霍尔无栅离子源制备的各种光学薄膜，其膜层强度、附着性、耐腐蚀性以及光学性质都比常规热蒸发工艺所制得的薄膜有明显改善。

[关键词] 霍尔无栅离子源；离子束辅助沉积；光学薄膜
[中图分类号]TG174.444；TB43 [文献标识码]A [文章编号]1001-3660(2012)02-0058-03

The Development and Application of Hall No Gate Ion Source

WNAG Wen-qi，*ZHU Chang*
（North Institute of Information Engineering，Xi'an Technological University，Xi'an 710025，China）

[**Abstract**] Based on ion-beam assisted deposition technique，new type of Hall of independent non-grid ion source was developed，takeing advantage of the ion source，a variety of optical thin films were coated on the glass substrate with ion beam assisted deposition method. By various testing of the optical properties of thin films it shows that the coating strength，adhesion，corrosion resistance and optical properties of the thin films prepared by Hall no gate ion source has significantly improved than prepared by the conventional thermal evaporation process.

[**Key words**] hall no gate ion source；IBAD；optical thin-film

在光学薄膜制备中，离子源已被普遍应用于薄膜的辅助沉积[1-5]，它在提高基片与膜层的结合力、膜层的致密度，以及改善膜层的光学和机械特性等方面具有非常重要的作用。随着科技的进步，离子源的研究得到了不断的发展，现有各种类型的离子源都有各自的优点和缺点。随着光学薄膜要求的不断提高，需要不断改进离子源结构，以适于新的镀膜工艺。笔者研制了一种低能量、大束流、大辐照面积且均匀性好的霍尔无栅离子源。

1 实验

1.1 霍尔无栅离子源的结构

霍尔无栅离子源的结构见图1。离子源的工作原理是利用气体放电，使气体电离形成等离子体，然后从等离子体引出离子束。该离子源由阳极、阴极和永久磁铁构成，工作气体由进气孔进入离子源内部，沿着配气盘均匀进入离子源的放电区，阴极通过钨丝加热发射电子，部分电子通过扩散回流进入放电区，提供气体电离所必需的电子，部分电子则提供中和电子流，回流进入放电区的电子流，轰击气体形成放电等离子体。

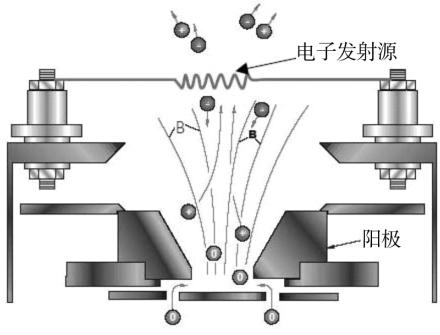


图1 霍尔无栅离子源的结构

Fig.1 The structure of Hall no gate ion sourc

研制的霍尔离子源特点是：1）有栅极引出系统，大大地简化了离子源的结构，消除了由于电荷交换和离子直接轰击而引起的栅极寿命问题；2）采用适当的电磁场设计，可获得大面积均匀分布的离子束；3）引出的离子束能量可在一定范围内调节，以适应不同镀层材料和基片的需要；4）引出离子束在源出口处，即由阴

[收稿日期]2011-12-06；[修回日期]2012-01-10
[作者简介]王稳奇(1983－)，男，陕西西安人，硕士，助教，主要研究方向为光学零件加工工艺和薄膜与等离子体技术。

极发射的电子中和，到达靶区的是已经中和了的等离子体，因此，无论对导电和不导电的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。

1.2 制备薄膜的工艺过程

在众多的材料当中，笔者对 MgF_2，ZnS，ZnSe 等进行了研究，结果表明它们对离子束辅助的作用效果比较明显，通过测量样品的性质就可以判断所研制的离子源是否合适。

霍尔无栅离子源沉积薄膜的工艺过程如下：1）将膜料放入坩埚，将待镀基片（K9 玻璃）擦拭干净，装到基片架上；2）打开烘烤，抽真空至 5×10^{-3} Pa，然后往真空室中通入氩气，当真空度达到 2.0×10^{-3} Pa 时，启动霍尔无栅离子源；3）离子源对基片清洗 5 min 后，打开膜厚控制仪、阻蒸或电子枪电源，进行膜料蒸镀，完成后关闭阻蒸或电子枪电源、离子源电源；4）关闭烘烤，真空室冷却后，打开真空室，取出样品。

2 结果与讨论

2.1 薄膜的光学性质

使用日立 U-3501 分光光度计对样品的折射率进行测量，结果见表 1。可见，在离子源离子束的轰击下，薄膜折射率都有所提高。

表 1 制备薄膜的折射率

Tab.1 The refractive index of prepared films

样品	氟化镁	硫化锌	硒化锌
无离子源	1.370	2.26	2.626
样品 1	1.381	2.28	2.631
样品 2	1.383	2.30	2.644
样品 3	1.385	2.32	2.650

2.2 薄膜的力学性质

薄膜附着力测试方法如图 2 所示，用剥离强度不小于 2.94 N/cm²（0.3 kg/cm²）的玻璃胶带纸粘牢膜层表面后，把玻璃胶带纸从零件的边缘朝镀膜表面的 60°方向慢慢拉起，测试结果见表 2。

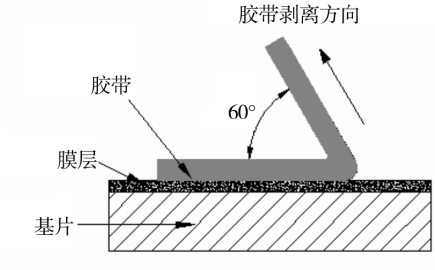


图 2 薄膜剥离测试示意图

Fig. 2 Schematic diagram of thin film peel test

表 2 膜层和基底的附着力测试结果

Tab.2 Test results of film and substrate adhesion

测试条件	氟化镁	硫化锌	硒化锌
无离子源	完全脱膜	完全脱膜	完全脱膜
能量 1	无明显变化	无明显变化	无明显变化
能量 2	无明显变化	无明显变化	无明显变化
能量 3	无明显变化	无明显变化	无明显变化

从表 2 中可以看出，与常规热蒸发技术相比，使用端部霍尔离子源辅助镀膜使薄膜的附着力有显著提高。

2.3 薄膜的化学稳定性

将样品置于 5%（质量分数，后同），15%的盐水以及 2%NaOH 溶液中浸泡，外观观察结果见表 3。

表 3 薄膜化学稳定性测试结果

Tab.3 The results of thin film chemical stability

测试介质	有无离子源	氟化镁	硫化锌	硒化锌
5%盐水	无	几秒后完全脱膜	几秒后完全脱膜	几秒后完全脱膜
5%盐水	有	一周不脱膜	一周不脱膜	一周不脱膜
15%盐水	有	一周不脱膜	一周不脱膜	一周不脱膜
2%NaOH 溶液	有	一周不脱膜	一周不脱膜	一周不脱膜

从表 3 中可以看出，与常规热蒸发技术相比，使用霍尔无栅离子源辅助镀膜使薄膜的化学稳定性有显著提高。

2.4 薄膜的时间稳定性

将制备好的样品放在样品袋中，过一段时间后测量样品的光谱曲线，结果如图 3 和 4 所示。可见，用常规热蒸发技术制备的薄膜在较短的时间就有明显变化，透射率降低；用霍尔无栅离子源制备的薄膜在 3 个月后，透射率没有明显的变化。通过比较可以看出，用霍尔无栅离子源制备的薄膜比用常规技术制备的薄膜，在时间稳定性方面要好得多。

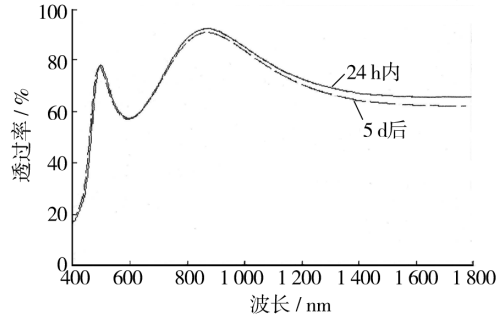


图 3 常规热蒸发沉积薄膜的光谱曲线

Fig. 3 Spectra curve of thin film deposited by conventional thermal evaporation

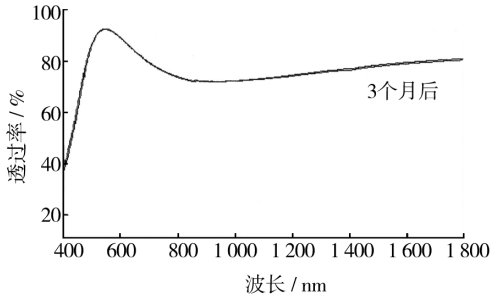


图 4　霍尔无栅离子源辅助沉积薄膜的光谱曲线

Fig. 4 Hall no gate ion source assisted deposition film spectra change with time

2.5　薄膜的形貌分析

使用 AJ-Ⅲ型原子力显微镜对镀制的 DLC 膜表面粗糙度进行分析，如图 5 和图 6 所示。可以看到，使用霍尔无栅离子源镀制的 DLC 膜表面粗糙度比热蒸发获得的光学膜要小。

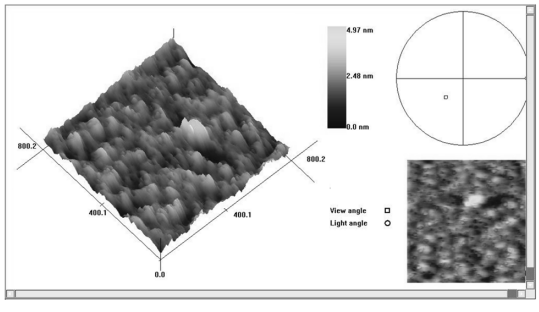


图 5　霍尔无栅离子源辅助沉积薄膜的 AFM 立体图

Fig. 5 AFM of Hall no gate ion source assisted deposited thin films

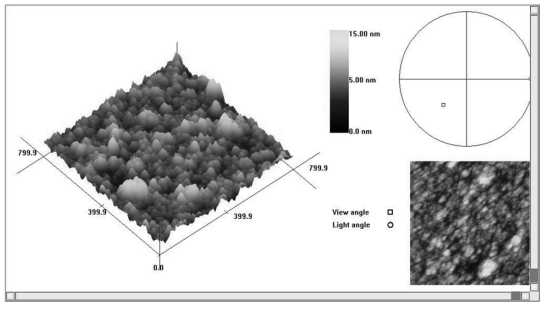


图 6　常规热蒸发沉积薄膜的 AFM 立体图

Fig. 6 AFM of conventional thermal evaporation deposited thin films

3　结论

在离子束辅助镀膜中采用研制的霍尔无栅离子源，制备出的各种光学薄膜的膜层强度、附着性、耐腐蚀性以及光学性质，都比常规热蒸发工艺制备的薄膜有明显改善，说明文中研制的霍尔无栅离子源是一种具有良好推广和应用价值的离子源。

[参　考　文　献]

[1] 王英剑，李庆国，范正修. 电子束、离子辅助和离子束溅射三种工艺对光学薄膜性能的影响[J]. 强激光与粒子束，2003，15(9)：842－844.

[2] 尤大伟，李安杰，江建国，等. 走向光学工业应用的辅助镀膜霍尔等离子体源[J]. 核技术，2002，25(9)：679－683.

[3] ENSINGER D. Low Energy Ion Assist during Deposition——an Effective Tool for Controlling Thin Film Microstructure[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research，1997(B127/128)：796－808.

[4] 杜旭日，郭亨群. 离子辅助镀光学薄膜的研究[J]. 华侨大学学报(自然科学版)，2001，22(1)：31－34.

[5] 贾克辉，徐颖，高劲松，等. 离子辅助镀膜技术[J]. 光学学报，2002，23(6)：623－626.

(上接第 7 页)

[5] BLAJIEV O L，ITHURBIDE A，HUBIN A，et al. XPS Study of the Assembling Morphology of 3-hydroxy-3-phosphono-butiric Acid Tert-butylester on Variously Pretreated Al Surfaces[J]. Progress in Organic Coatings，2008，63：272－281.

[6] BRAM C，JUNG C，STRATMANN M. Self Assembled Molecular Monolayers on Oxidized Inhomogeneous Aluminum Surfaces[J]. Fresenius J Anal Chem，1997，358：108－111.

[7] TREVOR T Foster，MORGAN R Alexander，GRAHAM J Leggett，et al. Friction Force Microscopy of Alkylphosphonic Acid and Carboxylic Acids Adsorbed on the Native Oxide of Aluminum[J]. Langmuir，2006，22：9254－9259.

[8] GIZA M，THISSEN P，GRUNDMEIRE G. Adsorption Kinetics of Organophosphonic Acids on Plasma-modified Oxide-covered Aluminum Surfaces [J]. Langmuir，2008，24：8688－8694.