

文章编号: 1002-2082(2009)02-0215-05

宽束冷阴极离子源分时中和技术的研究

弥 谦, 古克义, 秦 英

(陕西省薄膜技术与光学检测重点实验室, 陕西 西安 710032)

摘 要: 离子束辅助镀膜沉积过程中, 绝缘薄膜表面的电荷积累效应严重影响了薄膜质量。通过对宽束冷阴极离子源引出栅部分的改进, 采用分时引出电子和离子方法, 使正负电荷中和, 以消除薄膜表面的放电现象, 并对引出电子束的束流密度、能量、发射角等参数进行了测试。实验结果表明: 在引出电压为600 V时, 电子的平均能量为100 eV左右; 引出电子束的发射角可以达到 $\pm 40^\circ$, 在 $\pm 15^\circ$ 范围内的束流密度波动小于 $\pm 5\%$ 。引出电子的束流密度较同参数下的离子束流密度小, 通过调节脉冲电源的占空比, 可达到很好的中和效果。

关键词: 宽束冷阴极离子源; 束流密度; 电子能量; 发射角

中图分类号: TN205

文献标志码: A

Ion beam neutralization of broad beam cold cathode ion source

MI Qian, GU Ke-yi, QIN Ying

(Key Laboratory of Thin Film Technology and Optical Test of Shaanxi Province, Xi'an 710032, China)

Abstract: Charge accumulation effect on the surface of the insulation film degrades the quality of the films in the process of IBAD. A square wave AC voltage power is connected to the extraction grid of the broad beam cold cathode ion source. Therefore, the positive and negative charges are neutralized to eliminate the discharge phenomenon on the surface of the film by extracting the electrons and ions out. The parameters, such as the initial energy, densities and radiation angle of the electron beam were tested in the experiment. The experiment results show that the average electronic energy is about 100 eV and the emission angle of the extracted electron beam reaches $\pm 40^\circ$ when the extraction voltage is 600 V. With the same parameters, the beam flux of the extracted electron beam is less than the ion beam. A good neutralization effect can be obtained by adjusting the duty cycle of the pulse power.

Key words: broad beam cold cathode ion source; electron beam flux; electronic energy; emission angle

引言

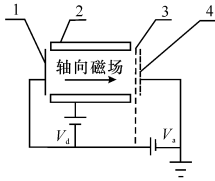
宽束冷阴极离子源是西安工业大学在上世纪末研制出来的, 曾获得国家科技进步二等奖。该离子源具有结构简单、寿命长、污染小、调节参数少、操作方便等优点, 多年来已经应用到上百家科研院所。宽束冷阴极离子源的原理图如图1所示。气体

在阳极电压 V_d 的作用下发生辉光放电, 离子源内部产生等离子体, 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。在引出电压 V_a 的作用下, 离子由下阴极和引出极组成的引出系统引出。

收稿日期: 2008-11-11; 修回日期: 2009-02-02

作者简介: 弥谦(1963—), 男, 辽宁锦州人, 教授, 主要从事薄膜技术的研究工作。E-mail: miqianmi@163.com

论文联系人: 古克义 E-mail: gu_shang@163.com



1. 上阴极; 2. 阳极; 3. 下阴极; 4. 引出极

图1 宽束冷阴极离子源原理图

Fig. 1 Principle diagram of broad beam cold cathode ion source

1 设计目的和试验装置

离子束辅助沉积薄膜技术 (IBAD) 具有无比的优越性,已经广泛应用到薄膜制备过程中。而对这种技术的核心部件——离子源的结构和性能的研究,无疑会促进它的进一步发展。宽束冷阴极离子源引出的束流具有正电性。现代光学薄膜材料中,绝缘材料占多数,在辅助镀膜中正电荷会在薄膜表面积累,形成静电场,降低后续离子辅助效果,严重时导致工件表面对工件架(接地)放电现象发生,致使薄膜损坏或使工件报废。针对这种现象,国内外目前普遍采用的是加中和灯丝或者外加电子发生装置来中和的解决办法。本设计对引出栅部分进行改进,通过分时引出电子和离子来达到中和的目的。

我们对原有的离子源引出部分进行改进,改进后的离子源引出电压为交变的方波电源,示意图如图2所示。它在一个周期内分时引出电子和离子,达到在基片表面使正负电荷中和的目的,从而很好地抑制了绝缘薄膜表面的电荷积累现象。

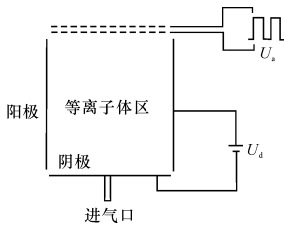


图2 实验原理图

Fig. 2 Principle diagram of experiment

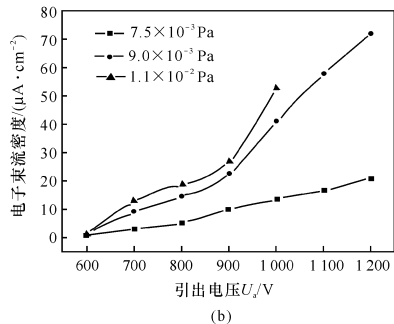
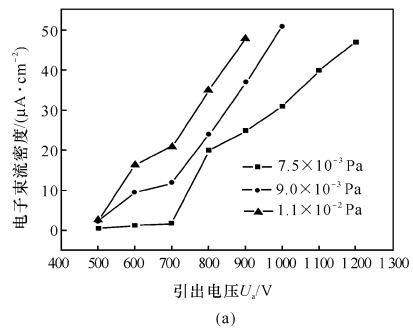
2 实验数据

2.1 电子束流密度

离子束流密度是离子源工作特性的一个重要指标,用以反映基片单位面积上轰击离子数目的多少。文献[3]和[4]中详细介绍了宽束冷阴极离子源

的离子束流密度,这里不作赘述。在本设计中,我们主要测试引出的电子束流密度。我们希望引出的电子束流等于离子束流,以达到中和的目的。实验中,法拉第筒放置在离子源正上方 250 mm 处。

实验测得不同工艺参数下的电子束流密度如图3所示。图3(a),(b),(c)和(d)的放电电压分别为 500 V,700 V,900 V 和 1 100 V。图3表明,当放电电压和真空度一定时,电子束流密度随着引出电压 U_a 的增加而增加。这是因为引出电压 U_a 增加,引出栅和阴极栅之间的电场强度增大,电子受到的电场力增加,运动速度增大,能量增大,原先不能被引出的低能电子被引出来,因此束流密度随引出电压 U_a 的增加而增加。从图3(a),(b),(c)和(d)还可以得出,在研究的参数范围内,电子束流密度随着气流量的增加(压强变大)而增大。在充入的气体流量较小时,等离子体浓度较低,引出电子电流十分微弱。冷阴极离子源工作于正常辉光放电区,随着气体流量的增大,电子束流密度值也急剧增大。图4为压强为 1.1×10^{-2} Pa 时不同放电电压下的电子束流密度,由图可以看出,当放电电压 U_d 较大时,其他条件相同,可以得到较大的离子束流密度。如当放电电压为 500 V 时,电子束流密度很小,而在 1 100 V 时则明显升高。这主要源于离子源内部等离子体密度的影响。



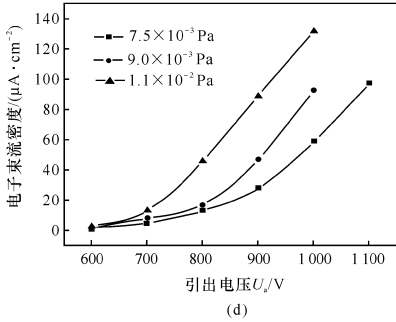
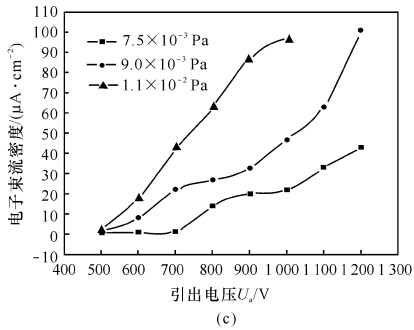


图3 不同引出电压下的电子束流密度

Fig. 3 Electron beam density at different extraction voltage

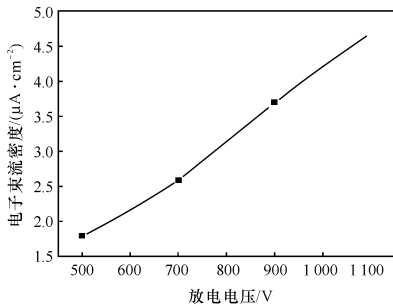


图4 不同放电电压下的电子束流密度

Fig. 4 Electron beam density at different discharge voltage

由图3和图4可以看出,脉冲电源工作在正半周期时,放电电压为500 V~1 100 V,引出电压为500 V~1 000 V范围内变化时,引出电子束的束流密度范围为(0~100) $\mu A/cm^2$,当脉冲电源工作在负半周期时,离子源引出的离子束流密度范围为(30~120) $\mu A/cm^2$ [3]。调节电源的占空比,即可达到中和的目的。

2.2 电子能量

对于电子能量的测试,采用五栅网探针能量测

量装置,其工作示意图如图5所示。测量时将五栅网探针置于离子源上方250 mm处,从离子源发射出的离子体首先通过栅网1,在栅网2的正偏压作用下,使离子体中的离子被排斥掉,同时使离子体中的电子加速通过栅网2,然后在栅网3的缓冲作用下通过带有可调负偏压的栅网4,通过调节栅网4上的负偏压,可以控制通过栅网4的电子数目和电子能量。最后,电子再通过栅网5到达接收器6。在接收器6上会积累一定数量带负电荷的电子,这时测量流过电流表的电流*I*和栅网4上所加的负偏压*U*,就可获得电流*I*和负向偏压*U*的关系[6]。

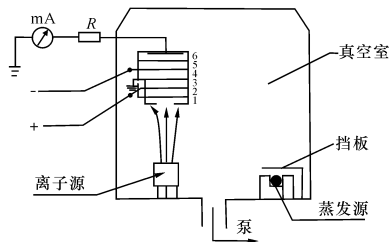


图5 电子束能量测试系统

Fig. 5 Test system for energy of electron beam

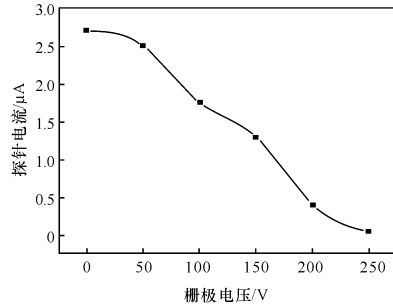


图6 栅极电压与收集探针电流之间的关系

Fig. 6 Grid voltages versus collection probe current

图6为栅网4上的电压与探针电流的关系曲线。实验中,真空度为 7.5×10^{-3} Pa,放电电压为700 V,引出电压为600 V。由图中可看出,随着栅网4上偏压的增大,探针电流呈急剧下降的趋势。这是因为随着栅网4上偏压的增大,低能的电子被排斥掉,测量结果表明电子的最大能量为250 eV左右,经过计算可得平均电子能量约为100 eV[9],不会对膜层性能产生影响。

2.3 电子束的发射角

发射角也是离子源的一个重要指标。发射角越大,就能得到更大的束流面积。我们希望引出电子束的发射角大致等于离子束的发射角,以便于相互

中和。测试时,在离子源引出栅极中心以上,每隔 10° 放置一个法拉第筒,法拉第筒的大小相同,因此以实测的电子电流代替束流密度,当真空度为 9.0×10^{-3} Pa,放电电压为800 V,引出电压为700 V时测得离子电流分布曲线如图7所示。

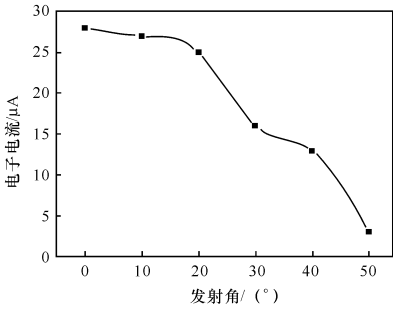


图7 电子束发射特性曲线

Fig. 7 Emission property of electron beam

由图中可以看出,引出电子束的发射角可以达到 $\pm 40^\circ$,在 $\pm 15^\circ$ 范围内的束流密度波动小于 $\pm 5\%$ 。此实验结果和引出离子束的发射角大致相同^[4],证明此中和方案是可行的。

3 镀膜实验和结果分析

镀膜的本底真空度为 3.0×10^{-3} Pa,温度300 °C,工作真空度为 2.0×10^{-2} Pa,气体流量为10 mL/min。离子源距离基底380 mm 放置。其中用改进后的离子源镀膜时电源的正负电压占空比分别为60%和30%。

图8为氧化钪单层膜的透射光谱曲线,其中样品A为改进后的离子源镀制的薄膜,样品B为原有的离子源镀制的薄膜。

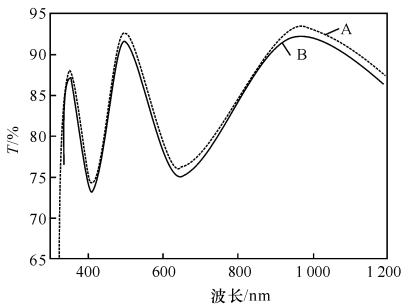


图8 样品的透射光谱曲线

Fig. 8 Transmission spectrum curves of sample film

从图8可以看出,改进后的离子源镀制的薄膜折射率稍稍低于原有的离子源,总体影响不大。同

时采用NKD对样品的折射率进行测量,结果也证明了这一结论。

表1 样品的折射率和物理厚度

Table 1 Refractive index and physical thickness of sample film

样品	折射率($\lambda=500$ nm)	厚度/nm
A	1.956	1 082.4
B	1.962	1 075.3

原有的离子源镀制10层以上的薄膜就会发生打火现象,我们用改进后的离子源镀制了20层薄膜,结果并没有发现打火。证明改进后的离子源已经很好地消除了这种现象。

4 结论

本文介绍了一种用于中和宽束冷阴极离子源引出离子束的方法。实验结果表明,采用分时引出离子和电子,引出的电子束的束流密度范围为 $0 \sim 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,发射角和引出的离子束的发射角大致相等。调节脉冲电源的占空比,可以达到电荷中和的目的,有利于镀制更高品质的薄膜。镀膜实验结果表明,改进后的离子源对薄膜的光学性能影响不大,并且已经消除了薄膜表面的打火现象。

参考文献:

[1] GARZINO-DEMO G A, LAMA F L. Low energy universal cold cathode ion source (LE-UCCIS) [J]. Surface and Coatings Technology, 1995 (76-77): 645-654.

[2] 张晶晶,王明霞,杨瑾,等. 用IBAD方法合成ZrN/W纳米多层膜[J]. 真空科学与技术学报, 2006,26(2):133-136,154.

ZHANG Jing-jing, WANG Ming-xia, YANG Jin, et al. Synthesis of nanoscale ZrN/W multilayered coatings by ion beam assisted deposition [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2006, 26(2):133-136, 154. (in Chinese)

[3] 严一心,卢进军,刘卫国,等. 宽束冷阴极离子源及其应用[J]. 西安工业学院学报, 1989,9(4):1-5.

YAN Yi-xin, LU Jin-jun, LIU Wei-guo, et al. Broad beam cold cathode ion source and applications [J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 1989, 9(4):1-5. (in Chinese)

[4] 徐均琪,杭凌侠,弥谦,等. 宽束冷阴极离子源的工作特性研究[J]. 真空科学与技术学报, 2008,28(3): 266-270.

XU Jun-qi, HANG Ling-xia, MI Qian, et al.

- Operating characteristics of newly odified broad beam ion source [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2008,28(3):266-270. (in Chinese)
- [5] 潘永强,朱昌,陈智利,等. 端部霍尔离子源工作特性及等离子体特性研究[J]. 真空科学与技术学报, 2003,23(1):57-60.
PAN Yong-qiang, ZHU Chang, CHEN Zhi-li, et al. Studies of properties of new end-hall ion source and its ion beam characteristics[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2003,23(1):57-60. (in Chinese)
- [6] 杭凌侠,刘政. IBAD 工艺中离子参数与薄膜折射率研究[J]. 西安工业学院学报, 2007,27(1):15-18.
HANG Ling-xia, LIU Zheng. The relation of ion parameter and the optical properties of films by IBAD[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 2007,27(1):15-18. (in Chinese)
- [7] 刘文军,弥谦,秦君君,等. 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[J]. 应用光学, 2005,26(2):51-53.
LIU Wen-jun, MI Qian, QIN Jun-jun, et al. Influence of broad beam cold cathode and end hall ion sources on transmissivity and stress[J]. Journal of Applied Optics, 2005,26(2):51-53. (in Chinese)
- [8] 徐治国,王金川,肖国青,等. 法拉第筒阵列探测器在电子束束流均匀度测量中的应用[J]. 核电子学与探测技术, 2005,25(4):439-441.
XU Zhi-guo, WANG Jin-chuan, XIAO Guo-qing, et al. Application of Faraday cup array detector in measurement of electron-beam distribution homogeneity [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2005,25(4):439-441. (in Chinese)
- [9] 蔡长龙,王季梅,弥谦,等. 脉冲真空电弧离子能量的测量研究[J]. 真空电子技术, 2004,22(2):52-54.
CAI Chang-long, WANG Ji-mei, MI Qian, et al. Measuring the ion energy of pulsed vacuum arc[J]. Vacuum Electronics, 2004, 22 (2): 52-54. (in Chinese)