

U形靶框-双层结构碳剥离膜制备

张宏斌, 卢子伟, 徐瑚珊, 谭继廉, 肖国青, 靳根明, 张雪莹,
陈若富, 徐华根, 贾 飞, 袁小华, 黄天衡

(中国科学院 近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:本研究涉及用于兰州重离子加速器冷却储存环上的碳剥离膜的制备方法。该剥离膜采用特殊的U形靶框和双层结构,使膜的强度大为加强,以提高高真空条件下剥离膜使用寿命。采用碳弧法制备的剥离膜的有效面积较大,为 10 cm^2 ,质量厚度约为 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。碳剥离膜的X衍射谱测试结果表明,膜上的碳以非晶体石墨形式存在。

关键词:碳剥离膜;U形靶框-双层结构;碳弧法

中图分类号:O484.1 文献标识码:A 文章编号:1000-6931(2006)05-0599-03

Preparation of C Stripping Foil With “U-Like” Shape Frame-Double Layer Structure

ZHANG Hong-bin, LU Zi-wei, XU Hu-shan, TAN Ji-lian, XIAO Guo-qing,
JIN Gen-ming, ZHANG Xue-ying, CHEN Ruo-fu, XU Hua-gen,
JIA Fei, YUAN Xiao-hua, HUANG Tian-heng

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Preparation process of C stripping foil used for the beam injection to Heavy Ion Research Facility at Lanzhou-Cooler Storage Ring was studied. The prepared C stripping foil was attached to a “U-like” shape frame with a double layer structure to increase the strength of stripping foil. The prepared C foil had an effective area of 10 cm^2 and the average thickness of $150\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$. The foil has a relatively long lifetime, and can be used in the ultra-high vacuum environments. The result from X-ray diffraction shows that the carbon in the stripping foil occurs as amorphous graphite.

Key words: carbon stripping foil; “U-like” shape frame-double layer structure; carbon arc method

碳的熔点在单质材料中最高,化学稳定性好,且仅有 ^{12}C 和 ^{13}C 2个稳定同位素。自支撑

收稿日期:2004-11-11;修回日期:2005-01-14

基金项目:中国科学院“百人计划”基金资助项目;科技部重大项目前期研究专项资助项目(2001CCB01200);国家重点基础研究发展规划项目(G2000077401)

作者简介:张宏斌(1977—),男,甘肃甘谷人,研究实习员,原子核物理实验专业

碳膜厚度最薄可达 $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 比其它材料的自支撑靶厚低 1 个数量级, 制成的碳膜的机械强度高、针孔少, 易获得大面积自支撑膜^[1]。所以, 碳是核物理实验研究中使用最多的制靶材料。此外, 加速器一般也采用碳膜作为重离子核外电荷的剥离体, 以获得更高的电荷态^[2]。

正在建造的兰州重离子加速器冷却储存环(HIRFL-CSR)加速器系统可提供从几个 MeV/u 到 $1.1 \text{ GeV}/\text{u}$ ($A/q=2$) 的重离子束。利用这些束流, 不仅可进行核物理方面的研究, 同时也具备了进行一些粒子物理范围内研究工作的可能。为配合兰州重离子加速器上进行的物理研究工作, 本工作研制在加速器注入线上使用的碳剥离膜。

1 物理实验对碳剥离膜的性能要求

实验上用碳膜来剥离由注入加速器(SSC)提供的 C^{4+} 原子的核外所有电子, 得到 C^{6+} 重离子束流而注入至冷却储存环(CSR)。实验要求剥离效率为 100%, C^{4+} 束流的能量为 $25 \text{ MeV}/\text{u}$, 束流强度为 $0.3 \sim 7 \mu\text{A}$ 。注入束流线中的真空度达到 10^{-9} Pa , 要求碳膜能在超高真空下工作。

据此, 设计的碳剥离膜厚度为 $150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 尺寸为 $2.5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 。为使靶框不影响 C^{6+} 离子出射, 需采用 U 形靶框。为不影响真空度、提高剥离膜的寿命和增加剥离膜的强度, 最终采用了双层膜结构。另外, 为使剥离膜经束流照射后产生较低的放射性, 希望靶框材料的原子序数越低越好, 最后选用的材料为铝合金。

2 碳剥离膜的制备

2.1 制备装置

碳膜的制备方法很多, 常用的有接触火花法、电子轰击法、乙烯裂解法和碳弧法^[3]。其中, 碳弧法具有设备简单和制备的膜强度较大的独特优点。为此, 对 GD-450A 型镀膜机进行改造, 建造了交流碳弧放电装置, 在钟罩中安装 2 根可调石墨碳棒, 在两碳棒上施加强电流, 强电流由 ZXE1-315 型交直流电焊机电源提供。膜厚由 FTV-V 型石英晶体测厚仪监控, 石墨碳棒放电点与玻璃底衬间的距离为 28 cm 。

2.2 制备方法和制备参数

制备过程中的电弧电流大小、蒸镀速度、碳棒尺寸、脱膜剂种类以及底衬的洁净程度等因素对碳膜的性能起决定性作用。经实验, 最终确定采用间断放电, 电弧电流选定为 60 A , 碳棒直径为 6 mm , 用甜菜碱作脱膜剂。由于采用双层结构, 单层厚度控制为 $75 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。进行 9 次放电蒸镀完成镀膜, 每 2 次放电间的间隔时间为 30 min 。

采用小的放电电流和低的蒸发速度可使膜具有较好的柔韧性。为使制成的碳膜在超高真空下具有良好的使用性能, 制备过程中须保持膜和靶框洁净。

3 碳剥离膜厚度和膜上碳的沉积形式测量

3.1 膜厚度测量

对厚度大于 $70 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳膜, 称量法测出的膜厚较为准确。对如此厚度的碳膜, 使用百万分之一 CP2P 型电子天平测量膜厚, 测量精确度为 $1 \mu\text{g}$ 。对 10 块膜的厚度进行了测量, 玻璃底衬上的膜面积为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, 每次称量大小为 $\phi 10 \text{ cm}$ 的膜, 测得的膜厚度列于表 1。由表中数据计算, 膜的平均厚度为 $76.2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。制备过程中, 用石英晶体测厚仪测量每次放电时的碳膜沉积厚度均显示为 90 nm , 但这并不是膜的实际厚度, 只是一参考厚度。

在蒸镀过程中, 玻璃底衬上沉积的碳膜膜厚与蒸发点至沉积点的距离平方成反比, 所以,

表 1 碳剥离膜的质量厚度

Table 1 Thickness of C stripping foil

碳膜编号	质量厚度/ $(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$
1	78.6
2	80.0
3	75.8
4	74.3
5	71.9
6	77.3
7	71.4
8	74.3
9	80.3
10	77.8

碳膜厚度从玻璃底衬一端到另一端递减。为使制得的碳剥离膜厚度有较好的重复性,应在玻璃底衬相同位置处切取碳膜,并使两片碳膜厚度互补,以改善碳剥离膜的厚度均匀性。

3.2 碳剥离膜中碳的存在形式

金刚石和石墨是C的两个同素异形体,两者的物理性质有很大差别。金刚石是晶体结构,硬度很高;石墨有晶体和非晶体两种结构,硬度较低。碳剥离膜中碳的存在形式将直接影响碳剥离膜的强度。为此,采用X射线衍射谱对膜中碳的存在形式进行分析测试。对不同蒸发电流下制备的3块不同厚度的碳膜进行了测量,测量结果示于图1。

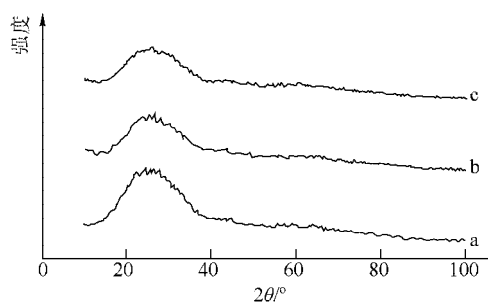


图1 X射线衍射谱

Fig.1 X-ray diffraction spectra of C stripping foils
碳剥离膜厚度, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$: a—230; b—80; c—20
蒸发电流, A: a—100; b—100; c—60

测量时,将碳膜放在玻璃片上,衍射谱的扫描角度范围为 $10^\circ \sim 100^\circ$ 。图1显示,3条谱线的形状基本相同,均无明显的衍射峰,谱中出现

的平滑而宽大的峰是由玻璃底衬衍射所引起的。对该谱图用计算机进行处理后,在出现宽峰的位置处有一些小的峰,经与金刚石和晶体石墨衍射谱对比后可知,这些峰与金刚石和晶体石墨的衍射谱不同。根据这一测量结果推断,碳膜中的C以非晶体石墨的形式存在,蒸发电流的大小不影响膜中C的存在形式。

4 结束语

采用碳弧法制备的碳剥离膜具有较好的强度,厚度可达到 $150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。双层结构改善了膜厚均匀性。该膜已在实验中使用,膜的寿命、出气率和对电子的剥离效率均很好满足了实验要求。

参考文献:

- [1] 许国基,郝秀红. 碳弧法制备碳膜[J]. 原子能科学技术,1996, 30(1):73-76.
XU Guoji, HAO Xiuhong. Preparation of carbon foils with carbon arc method[J]. Atomic Energy Science and Technology, 1996, 30(1): 73-76(in Chinese).
- [2] K·贝特格. 重离子物理实验方法[M]. 北京: 原子能出版社,1982:276.
- [3] 许国基,楼美玲,张共祥. 碳剥离膜的制备[J]. 原子能科学技术,1999, 33(4):368-371.
XU Guoji, LOU Meiling, ZHANG Gongxiang. Preparing of carbon stripper foils[J]. Atomic Energy Science and Technology, 1999, 33(4): 368-371(in Chinese).