

# 中能重离子微束辐照装置的研制\*

宋明涛<sup>1,1)</sup> 盛丽娜<sup>1,2</sup> 王志光<sup>1</sup> 何源<sup>1</sup> 高大庆<sup>1</sup> 杨晓天<sup>1</sup> 刘杰<sup>1</sup> 苏弘<sup>1</sup> 满开弟<sup>1</sup>

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100086)

**摘要** 微束辐照装置是将辐照样品的束斑缩小到微米量级,能够对辐照粒子进行精确定位和精确计数的实验平台,是开展辐照材料学、辐照生物学、辐照生物医学以及微加工的有力工具.中国科学院近代物理研究所(IMP)正在研制中能重离子微束辐照装置.该装置以兰州重离子加速器(HIRFL)系统提供的中能和低能重离子束流为基础,采用磁聚焦方式形成微米束.束运线上两台铅垂方向的偏转磁铁辅以四极磁铁构成对称消色差系统,将束流导向地下室,再用高梯度的三组合四极透镜强聚焦形成微米束斑,在真空中或大气中辐照样品.它将成为国内首台能够提供从低能(10MeV/u)到中能(100MeV/u)的重离子微束的公共实验平台,用于定位、定量照射靶物质(生物细胞、组织或其它非生物材料等),有助于深入揭示重离子与物质相互作用的本质,也为探索重离子辐照效应的应用提供新的手段.

**关键词** 重离子 微束 辐照

## 1 引言

重离子微束装置是开展辐照生物学、辐照生物医学和辐照材料学研究的有力工具,在环境分析和微加工等领域也具有独特的优势和潜在的应用前景<sup>[1]</sup>.目前国际上的微束装置大多只能提供低能轻粒子束流<sup>[2,3]</sup>,限制了微束装置的适用范围,不能充分实现其预期的研究目标.例如,低能离子微束不能用于带包壳的宇航半导体器件的单粒子效应地面模拟研究;不能用于通过地面实验研究航天生物学上一个亟待回答的问题——高电荷态、高能量单粒子辐照后存活下来的神经元以后是否会发生变异的问题;不能有效地用于大长径比的纳米特殊功能材料的研究和微结构加工制造.如果将重离子微束的能量提高至中高能,上述低能粒子微束所不能达到的研究目标将成为可能.中高能重离子微束在科研和实际应用方面具有更为广阔的用途,研制高性能的中高能重离子微束装置正日益成为世界各国关注的焦点.

## 2 微束的形成

中能重离子微束辐照装置以兰州重离子加速器

(HIRFL)提供的中能和低能重离子束流为基础,在HIRFL实验大厅预留的分支兴建,束运线布局如图1所示.

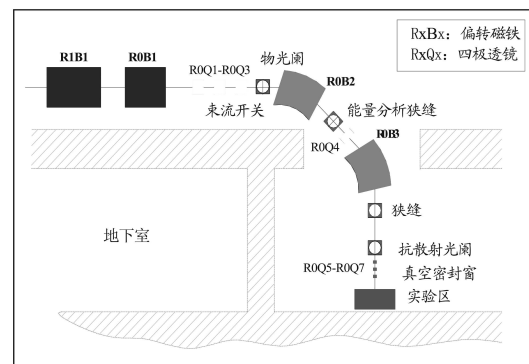


图1 中能重离子微束辐照装置示意图

在HIRFL实验大厅预留的接口,用30°二极磁铁R0B1将束流水平导向地下室入口方向,以三组合四极透镜R0Q1-R0Q3聚焦形成物点,用物光阑限制物点尺寸.采用两台45°的二极磁铁R0B2和R0B3辅以一台四极透镜R0Q4构成对称消色差系统,在铅垂面偏转后垂直向下传输束流.置于磁铁之间的狭缝在限制束流发射角的同时又进行能量分析.在束线末端用高

2008-01-07 收稿

\* 中国科学院重大科研装备研制项目(0713040YZ0)资助

1) E-mail: songmt@impcas.ac.cn

梯度三组合四极透镜R0Q5-R0Q7强聚焦束流, 形成微米束. 系统的物距很长而像距很短, 可以得到15:1的像放大率. 设定物狭缝宽度为 $15\mu\text{m}$ , 原则上可使像宽达到 $1\mu\text{m}$ . 抗散射狭缝使物狭缝和能量分析狭缝上散射的粒子不能到达样品, 消除散射粒子对束斑尺寸的影响.

微束终端共有3种类型的磁铁, 其中二极磁铁和HIRFL系统中同类磁铁的物理指标及规格基本相同, 采用冲片磁铁的工艺, 利用已有的冲模和叠压设备加工.  $\Phi 80$ 四极透镜也符合HIRFL系统中的规格.  $\Phi 15$ 四极透镜是实心磁铁, 磁场梯度的要求很高. 磁铁物理参数见表1. 真空系统符合HIRFL的运行要求, 设计参数见表2.

表1 微束装置主要磁铁参数

类型	二极磁铁	四极透镜	四极透镜
数量	2	4	3
等效长度	1.571m	0.4m	0.1m
偏转半径	2m	/	/
磁场强度	$45^\circ$	$3.3\text{m}^{-2}$	$41\text{m}^{-2}$
磁场梯度	/	10.0T/m	123T/m
极面场强	1.5T	0.4T	0.9T
有效区域	$80\times 75$	$\Phi 80$	$\Phi 15$

表2 真空系统设计参数

真空度指标/mbar	$5\times 10^{-7}$
内表面积/ $\text{cm}^2$	$5.6\times 10^4$
容积/ $\text{cm}^3$	$1.2\times 10^5$
材料表面出气率/ $(\text{mbar}\cdot\text{l}/\text{s}\cdot\text{cm}^2)$	$8\times 10^{-10}$
气载/ $(\text{mbar}\cdot\text{l}/\text{s})$	$2\times 10^{-4}$
有效抽速/ $(\text{l}/\text{s})$	$\geq 4\times 10^2$

### 3 实验平台

样品及束斑的定位直接影响辐照实验中重离子定位精度, 特别是在重离子轰击一定面积内数以万计靶点的情况下尤为明显. 因此要建立位置可以微调的束流位置校正系统及样品和靶点位置信息的获取、识别与自动调节系统(图2). 束流位置校正系统主要由校

正磁铁及位置自动微调控制件组成; 样品的定位系统包括显微镜和高分辨的CCD摄像机,  $x-y$ 高精度样品台以及相应的计算机控制程序包. 在辐照开始前先用显微镜或摄像机获得整个样品的图象, 通过计算机对需辐照靶点进行识别并获取其位置信息, 然后在计算机控制下进行辐照.

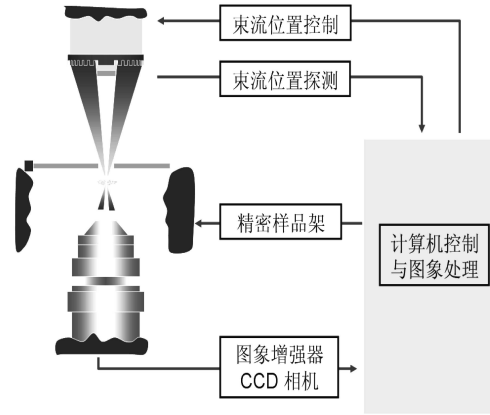


图2 样品的定位和瞄准系统

微束辐照装置要求重离子探测效率接近100%, 而且不能影响束斑大小; 在达到预定的辐照计数时立即切断束流. 重离子的探测采用二次电子探测器<sup>[4]</sup>和固体闪烁探测器, 通过测量重离子穿过真空窗时发射的二次电子来监测并记录辐照重离子数目; 同时在样品后设置固体闪烁探测器进行符合测量. 束流开关采用电场偏转的方式. 通过重离子探测器和束流开关的组合完成对重离子流量的调制.

定量辐照的精确度和定位辐照的准确度, 是微束装置的两个最主要指标. 客观上要求对整个系统的关键部件实现计算机控制<sup>[5]</sup>, 在实验过程中即时获取关键部件的状态量, 经过分析判断后及时提供反馈, 据此发出下一步动作的指令. 图3微束装置的测量与控制电子学系统原理框图.

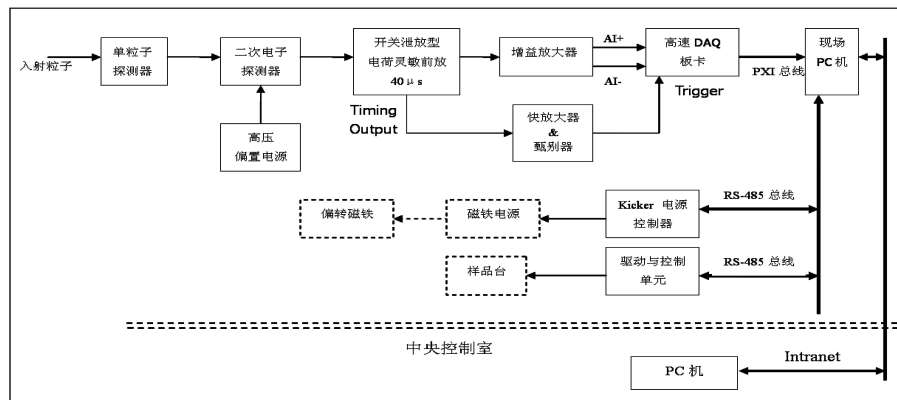


图3 重离子微束装置测量与控制电子学系统原理框图

## 4 设备的准直、安装和隔震

微束对设备的准直安装提出了极高的要求——设备安装的基础坚固可靠而且要可靠的防震。对设备安装的基础平台进行一段时间的震动测量后, 根据震源的频率特性设计安装支架, 最大可能地降低震动的传递; 设备的安装支架在制作过程中要采取严格的内应力消除措施, 最大限度地减小设备安装后支架的形变。实验平台必须安装在防震台上以进一步减小环境震

动的影响。对于安装精度要求高的设备采取恒温措施, 保证设备的温度变化在 $0.2^{\circ}\text{C}$ 以下。

## 5 结论

中能重离子微束辐照装置以兰州重离子加速器为基础, 提供中能重离子并兼顾低能重离子的微米束流。目前已经基本完成总体设计和分系统设计, 部件试制和购置工作正在进行中。研制完成后, 将成为国内首台能够提供中能重离子微束的公共实验平台, 为我国生命科学、材料科学等诸多研究领域创造实验条件。

### 参考文献(References)

- Legge G J F. A History of Ion Microbeams. Nucl. Instrum. Methods, 1997, **B130**: 9—19
- Folkard M, Vojnovic B, Prise K M et al. The Application of Charged-Particle Microbeams in Radiobiology. Nucl. Instrum. Methods, 2002, **B188**: 49—54
- Randers-Pehrson G, Geard C R, Johnson G et al. The Columbia University Single-Ion Microbeam. Radiation Research, 2001, **156**: 210—214
- Fischer B E, Heib M, Cholewa M. About the Art to Shoot with Single Ions. Nucl. Instrum. Methods, 2003, **B210**: 285—291
- Metzger S, Fischer B E. Locating Radiation Sensitive Zones of Integrated Circuits Using an Ion-Microprobe. Microelectronic Engineering, 1996, **31**: 41—46

# Development of an Intermediate Energy Heavy-Ion Micro-Beam Irradiation System\*

SONG Ming-Tao<sup>1,1)</sup> SHENG Li-Na<sup>1,2</sup> WANG Zhi-Guang<sup>1</sup> HE Yuan<sup>1</sup> GAO Da-Qing<sup>1</sup>  
YANG Xiao-Tian<sup>1</sup> LIU Jie<sup>1</sup> SU Hong<sup>1</sup> MAN Kai-Di<sup>1</sup>

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

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China)

**Abstract** The micro-beam irradiation system, which focuses the beam down to micron order and precisely delivers a predefined number of ions to a predefined spot of micron order, is a powerful tool for radio-biology, radio-biomedicine and micromachining. The Institute of Modern Physics of Chinese Academy of Sciences is developing a heavy-ion micro-beam irradiation system up to intermediate energy. Based on the intermediate and low energy beam provided by Heavy Ion Research Facility of Lanzhou, the micro-beam system takes the form of the magnetic focusing. The heavy-ion beam is conducted to the basement by a symmetrical achromatic system consisting of two vertical bending magnets and a quadrupole in between. Then a beam spot of micron order is formed by a magnetic triplet quadrupole of very high gradient. The sample can be irradiated either in vacuum or in the air. This system will be the first opening platform capable of providing heavy ion micro-beam, ranging from low (10MeV/u) to intermediate energy (100MeV/u), for irradiation experiment with positioning and counting accuracy. Target material may be biology cell, tissue or other non-biological materials. It will be a help for unveiling the essence of heavy-ion interaction with matter and also a new means for exploring the application of heavy-ion irradiation.

**Key words** heavy ion, micro-beam, irradiation

Received 7 January 2008

\* Supported by Development of the Key Equipment for Research of CAS (0713040YZ0)

1) E-mail: songmt@impcas.ac.cn