

文章编号: 1007-4627(2005)01-0088-03

## 复旦大学核微探针系统\*

吴延萍, 钟 铃, 沈 皓#, 宓 咏  
(复旦大学现代物理研究所, 上海 200433)

**摘 要:** 复旦大学现代物理研究所利用国家“211 工程”的资助, 从英国 Oxford Microbeams 公司引进了微探针关键部件, 建立了新的核微探针实验装置. 介绍了该装置各个组成部分, 包括束线, 靶室, 聚焦、扫描系统以及数据采集系统等. 现已得到线度为  $\mu\text{m}$  量级的离子束.

**关键词:** 核微探针; PIXE; RBS; STIM

**中图分类号:** O571.33      **文献标识码:** A

### 1 引言

早在 1978 年, 复旦大学加速器实验室就开展了质子微探针的研究工作<sup>[1]</sup>, 当时采用的是针孔准直的方法. 由于此方法是以牺牲束流强度来获得  $\mu\text{m}$  量级的束径, 限制了分析灵敏度. 1988 年 5 月, 复旦大学加速器实验室与美国 SUNY/Albany 大学协作建立了当时国内仅有两套核微探针系统之一的复旦核微探针(另一套在中科院上海应用物理研究所<sup>[2]</sup>). 当时该系统采用二元四极透镜聚焦的方法, 大大地提高了束流强度, 减小了束径, 达到了核微探针分析实验的基本要求, 对各种材料、生物、地质样品做了大量的研究<sup>[3-5]</sup>. 但由于此系统采用短焦距透镜, 靶室过小, 一些分析方法, 如 STIM 和 ERDA 等不能得到实现. 该系统经过 10 多年的运行后, 各项性能衰减老化, 已无法满足目前日益发展的微束研究的需要. 复旦大学加速器实验室利用国家“211 工程”资助, 从英国 Oxford Microbeams 公司引进了新核微探针系统的关键部件 OM2000 平台(三元四极聚焦透镜组具有聚焦能力强和聚焦范围广<sup>[6]</sup>等优点), 改进了靶室系统, 采用以 OMDAQ<sup>[7]</sup>为基础的数据采集系统, 实现了多站(最多可达 8 站)同时测量. 新微探针设备大部分可实现计算机控制, 如聚焦线圈的激励电流, 扫描线圈对扫描范围及扫描点的控制等, 从而大大地

提高了实验准确性和效率. 经过更新后的复旦核微探针性能接近当前国际先进水平. 在进行 PIXE 测量时, 空间分辨率已好于  $2 \mu\text{m}$ , 目前还在进一步优化中.

### 2 系统介绍

图 1 给出了新核微探针装置的示意图. 两个阀门<sup>[6]</sup>把整个微探针系统分为 3 部分: 束线前段、中段和靶室部分. 各部分有相应的真空系统, 可以方便地进行真空检漏或系统的维护. 整个系统暴露大气后, 可在 24 h 内使真空度恢复到好于  $133.332 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ ; 在不破坏整个管道的真空情况下, 更换样品后, 可在数小时内使靶室的真空恢复到符合实验条件. 为防止聚焦系统和靶室的震动, 用一个单独的支架和一个防震平台分别支撑物缝<sup>[4]</sup>和靶室系统, 各段波纹管<sup>[2]</sup>用来减少各部分震动的相互传递. 在正常的实验状态下, 为减小震动保证束流的稳定性, 系统的分子泵停止工作, 真空由相应的离子泵保持.

核微探针靶室以 Oxford 的 OM70 为主体部件, 配以各种探测器, 构成可进行多种分析手段的综合靶室. 与靶室配套的  $x$ - $y$ - $z$  三维可移动靶架能控制样品在三维方向移动, 除三维可移靶架外, 靶室还将加装旋转靶架, 实现对样品定位多角度的改变,

收稿日期: 2004 - 08 - 31; 修改日期: 2004 - 10 - 28

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10490180, 10175015)

作者简介: 吴延萍(1979 -), 女(汉族), 上海人, 硕士生, 从事微米束离子在生物医学中的应用研究.

# 联系人: 沈 皓, E-mail: haoshen@fudan.edu.cn

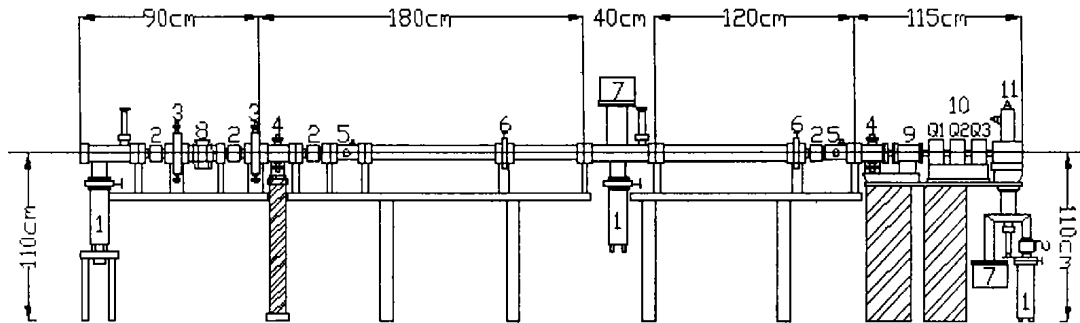


图 1 复旦大学新微探针示意图

1 分子泵, 2 波纹管, 3 狭缝组, 4 进口狭缝组, 5 观察窗, 6 阀门, 7 离子泵, 8 导向器, 9 扫描线圈(OM25), 10 三元四极透镜(OM150), 11 x-y-z 活动靶架.

以满足开展 STIM-CT 工作的需要和开展单细胞研究等<sup>[8]</sup>. 目前在位光学显微镜在与束流成  $-45^\circ$  的方向上用于对束流位置的监测, 再接上 CCD 以及与扫描线圈配合使用, 就能够方便地通过计算机上的视窗来监控束流的位置和扫描范围.

微探针的聚焦系统采用三元四极透镜来完成对束流的聚焦. 与传统的对称几何安放方式(即第一、第三透镜共用一个激励电源, 第二透镜用另一激励电源)不同, Oxford 的 OM150 型三元四极透镜组(如图 2 所示)是按非对称几何配置的, 即第一、第二透镜共用一个激励电源, 第三透镜用另一激励电源. 这样做的优点在于聚焦能力强、易于调节且对于入射束流的准直要求低(仅需 mm 量级). 透镜组的激励电流由两台 OM52e 型电源供给, 最大电流强度可达 100 A. 图 2 给出了四极透镜组具体的几何条件, 表 1 列出了 Oxford 提供的四极透镜组对不同条件束流聚焦的激励电流参数.

流是由 9SDH-2 串列加速器提供的 2.5 MeV 的质子束. 对能量为 2.5 MeV、强度为几十 pA 的质子束, 激励电流:  $I_1 = 43.70$  A(第一、第二个透镜),  $I_2 = 44.73$  A(第三个透镜)(与通过束流光学计而得的激励电流值  $\sim 40$  A 基本相符), 聚焦束流尺寸为几个  $\mu\text{m}$ .

表 1 OM150 四极透镜的激励参数\*

入射离子	能量/MeV	透镜的激励电流(A)
		参考值 $I_1, I_2$
He <sup>++</sup>	2	79, 87
H <sup>+</sup>	3	49, 54
	4	56, 62

\* 物距为 6 m, 像距为 1.6 m.

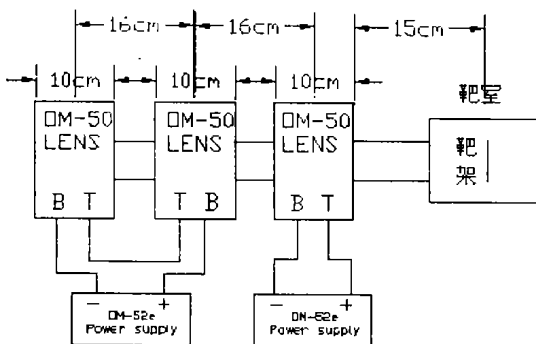


图 2 Oxford 三元四极透镜安放几何

透镜组被安装在束流管道外, 束流管道穿过透镜组中心. 物缝与成像平面之间总长为 3.5 m, 最后一个透镜与样品之间的距离为 0.15 m, 调试所用束

核微探针的扫描系统由 Oxford Microbeams 公司的 OM25 型扫描线圈、OM40e 型扫描线圈控制电源和用于与 PC 机联系并进行数据传输的 NIM 插件 OM1010e, 以及一张 ADC/DAC(数模转换输出)卡构成. ADC 卡和 OM1010e 与 OM-DAQ 相联系, 使得计算机对扫描线圈的控制成为可能, 这些设备相互配合, 可完成各种带电粒子对样品进行扫描.

核微探针的数据采集系统由 Oxford Microbeams 公司的数据采集系统软件(OM-DAQ)及其相应的 OM-1000 型 NIM 插件构成. OM-1000 可同时采集 8 站的脉冲数据信息, 其 8 站信号可分别来自于 8 个不同的探测器, 当一个脉冲被 8 站中的某一个站探测到时, 它的站址、峰振幅以及  $x$  和  $y$  方向的扫描电压信息都被模数转换后输给 I/O 卡进入计算机. 软件将会读取这些信息并通过 OM-DAQ 程序来绘

制能谱图和元素分布图。

OMDAQ 软件允许对数据的纪录、读取以及保存进行全面的控制, 当然自动生成的运行代码与文件名保证了每次实验和样品的信息都不会被覆盖。同时, OMDAQ 软件还可以控制束流的实际位置, 包括是否采取线扫描、用鼠标确定点位置进行分析和不规则扫描范围等。

OMDAQ 除了可以同时控制 8 种不同的核分析, 如 PIXE(ADC0), RBS(ADC1) 和 STIM(ADC2) 等, 还可以从 *Daq Statistics* 窗口得到关于各站能谱实验参数, 如 Live Q, Dead time, Total cts 和 Peak cts 等, 便于离线分析时了解当时的实验条件。

### 3 结论

采用以英国 Oxford Microbeams 公司为主要部

件的复旦核微探针系统已经基本建立起来, 该系统具备了 PIXE, RBS 和 STIM 等分析手段, 可开展核技术与材料科学、环境科学, 特别是与生物细胞学的交叉研究。经过以上一系列对复旦新核微探针系统的细致调节, 我们基本上完成了整个系统性能的初步测试。目前聚焦系统已经可以对束流进行聚焦(几个  $\mu\text{m}$ ), 激励电流的手动控制和计算机控制也都已实现; 扫描系统可以进行线扫描, 并可通过 OMDAQ 数据采集系统中的束流监视窗进行束流位置的计算机控制; OMDAQ 已经初步发挥出了其全方位、多参数控制和多种核分析手段优势; 这说明了复旦新核微探针系统的各部分已经处于正常的状态。目前该系统已通过了“211 工程”的验收。

### 参 考 文 献:

- [1] 曾宪周, 陈建新, 任焯刚等. 复旦学报, 1984, 23(4): 385.
- [2] 朱节清, 李民乾, 毛羽等. 核技术, 1991, 14(9): 525.
- [3] Zou Degang, Ren Chigang, Zhou Shijun, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1995, B104: 238.
- [4] Zhou Shijun, Ren Chigang, Tang Jiayong, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1995, B104: 437.
- [5] Dai Zhongning, Ren Chigang, Zhang Jianjun, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1995, B104: 489.
- [6] Grime G W, Watt F. Principles and Applications of High-energy Ion Microbeam. British: Adam Hilger Ltd, 1987, 100—103.
- [7] Grime G W, Dawson M. Nucl Instr and Meth, 1994, B89: 223.
- [8] Watt F, Thong P S P, Tan A H M, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1997, B130: 188.

## Nuclear Microprobe at Fudan University\*

WU Yan-ping, ZHONG Ling, SHEN Hao, MI Yong

(Institute of Modern Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** A nuclear microprobe was set up at the Institute of Modern Physics of Fudan University. The key parts were imported from Oxford Microbeams Ltd. The hardware system of the microprobe, including beam line, target chamber, focusing system and DAQ system is introduced. About several micrometer could be achieved at present beam spot size.

**Key word:** nuclear microprobe; PIXE; RBS; STIM

\* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10490180, 10175051)