

GIC4117 2 ×1.7MV 串列加速器的运行、改进和应用

王广甫^{1,2}

(1 北京师范大学分析测试中心 北京 100875)

(2 北京师范大学低能核物理研究所 北京 100875)

摘要 介绍北京师范大学分析测试中心 GIC 4117 型 2 ×1.7MV 串列加速器近年来的运行及应用情况。通过将实验过程中的数据采集和控制系统移到加速器大厅外新建的控制室,改善实验环境;建立外束引出装置,实现外束 PIXE 分析;利用多离子束分析方法对气溶胶样品中的轻元素含量进行分析。

关键词 串列加速器 PIXE MeV 离子注入 RBS 外束

北京师范大学分析测试中心的 GIC4117 型 2 ×1.7MV 串列加速器是 1985 年投入运行的。虽然已运行 20 多年,但在运行人员精心维护下,近几年来运行情况是投入运行以来比较好的。

为进一步拓展串列加速器的应用领域,设计加工外束引出管道,引出质子外束^[1],并初步开展陶瓷、书法作品的外束 PIXE 分析^[2]。近年来,除继续进行气溶胶的 PIXE 测量^[3,4]、高能离子注入在微波功率晶体管研制中的应用等工作外,又开展 MeV 离子注入植物干种子诱变的机理和应用研究^[5]、大气气溶胶样品总量的质子透射谱测量^[6]、大气气溶胶样品中氢元素含量的质子前角散射谱分析 (PESA)^[7,8]、C、N 和 O 等轻元素的质子非卢瑟福背散射分析 (PNBS)^[9],以及 GeSi/Si 和 Ge-Si-O 材料的 Li 离子束 RBS 分析^[10]等。

为改善实验条件和解决引出外束后的辐射防护问题,在加速器大厅之外建泵房和控制室。将噪音较大的机械泵和冷水机组移到泵房,将质子荧光 (PIXE) 分析、卢瑟福背散射 (RBS) 分析的数据采集系统和高能离子注入的控制和束流积分仪移到控制室。

1 运行和改进

近几年来,串列加速器年出束时间平均约 850 多小时。

自运行以来,串列加速器的 SF6 高压罐一直漏气。经开罐修理后,漏气量明显减小,但每年仍需补充 SF6。因高压打火,高压电源的硅堆一部分已经损坏,前几次开罐大修时,已用国产硅堆替换大部分击穿或性能变坏的原装硅堆,并对局部有烧灼

痕迹的高压电源绝缘支撑板进行维修。每次大修之后高压电源经锻炼都可以正常工作在额定的 1.7MV。目前因高压电源自 2000 年后没有开罐更换硅堆,为保护高压电源,高压一般不工作于 1.6MV 以下,特别在 SF6 气压不足的情况下,为避免高压打火,一般工作在 1.5MV 之下。如果要使加速器可以稳定长时间工作于额定的 1.7MV,则需要再次开罐大修,并更换损坏的硅堆。

1.1 改进 860A 溅射源的运行情况

改进后的 860A 溅射离子源^[11]运行稳定可靠。现在自制的电离器都采用不锈钢铠装内热丝,通过内衬镍网对铯进行电离。自制半球形透射电离器寿命均高于 500h。目前在用的一只电离器,已工作约 2300h,性能还很好,只是中间清洗离子源时更换过两次镍网。

因 Cs 炉进 Cs 镍管和接口螺母损坏,自己加工不锈钢 Cs 炉,并用不锈钢管代替原装的镍管。结果发现,对新换的 Cs,不锈钢管进 Cs 不太稳定。后用 Cu 管加工新的进 Cs 系统,进 Cs 稳定性大大提高。

1.2 高能离子注入靶室的改进^[12]

高能离子注入靶室全机械扫描系统改进后,径向往复运动采用等螺距丝杠驱动,用计算机控制电机转速来实现变速运动,以保证离子注入的均匀性。径向最大行程可达 105mm,可满足装载 4 英寸硅片的要求。切向旋转仍由转速为 100r/min 的直流电机驱动,开关由数控卡上一继电器控制,可通过用鼠标点击屏幕按钮实现启动或停止。改进后,一次可以装载 4 片 4 英寸硅片。

1.3 外束 PIXE 管道的建立^[1,2,13]

外束 PIXE 分析是将质子束从加速器的真空管道中引出, 在大气中对样品进行 PIXE 分析。外束 PIXE 分析除具有真空 PIXE 具有的灵敏度高、无损、取样量少、准确迅速和能同时测定多种微量元素等优点外, 还具有样品状态(固态、液态和气态)、形状和大小不受限制; 能自动消除待测样品上的电荷积累, 适用于半导体材料和绝缘材料的分析等长处。新建的外束 PIXE 管道^[1]位于 RBS 分析靶室之后, 由有机玻璃加工而成, 采用 7.5 μm 厚 Kapton 膜隔离真空与大气。为在 Kapton 膜破裂时保护加速器, 在管道内安装了自制的快速真空保护阀。束流可以用 RBS 靶室中央放置厚度为 175nm 的自支撑金箔的 RBS 能谱或外束 PIXE 能谱中的 Ar 峰来监测。

1.4 控制室的建设

PIXE 分析、RBS 分析和高能离子注入的实验数据的采集和控制一直都是在加速器大厅进行的。引出外束时, 考虑到实验人员的安全, 必须对外束产生的次级射线进行屏蔽, 或使实验人员工作于加速器大厅之外。因此决定在加速器大厅外建控制室, 并把 PIXE 分析、RBS 分析谱数据采集和高能离子注入控制系统, 以及束流积分仪等移到控制室。由于加速器的控制和调节系统仍处在加速器大厅内, 调束仍要在大厅内进行。所以又在控制室设立前法拉第杯控制开关和 RBS 靶室中自支撑金箔靶和束流测量靶的转换开关。这样, 调外束束流可以在 RBS 靶室的束流测量靶上进行, 此时离子束被测量靶遮挡而无法进入大气中。束流调好后, 实验人员进入控制室, 并通过开关将 RBS 靶室中的束流测量靶移开, 并将金箔靶移到 RBS 靶室的靶位, 进行外束 PIXE 分析。在此进入加速器大厅前, 可通过前法拉第杯或 RBS 靶室测量靶开关遮挡束流。其他实验的束流控制则由控制室中的前法拉第杯控制开关实现。

2 应用

北师大 GIC 4117 型串列加速器目前有真空 PIXE 分析、高能离子注入、RBS 与外束 PIXE 分析和核反应测量四条应用管道。

2.1 真空 PIXE 分析

PIXE 分析管道自投入运行以来, 主要用于大气颗粒物样品中 $Z > 12$ 元素含量分析^[3,4,14]。近几年来, 随着国家对环境科学的重视, PIXE 分析任务量逐年增加。

2.2 高能离子注入

高能离子注入束流线主要用于硅基微波大功率晶体管研制中高能离子注入。扫描靶室改进后, 可以一次装载 4 片 4 英寸 Si 片。

近年来, 利用 MeV 离子束注入植物干种子, 开展农作物和花卉的离子注入诱变研究工作, 观察到明显的变异现象^[5]。另外还开展太阳能电池抗辐射性能和 MeV 离子轰击热释光剂量片的研究。

2.3 RBS 分析

由于双等离子源漏气和 Li 交换管道损坏, 除用质子束进行一些 RBS 的教学实验外, RBS 分析已停多年。近年来, 开始用 Li 离子或质子束进行 RBS 分析。主要开展的工作有: SiGe/Si 和 GeSi-OI 样品的 RBS 分析^[10]和磁过滤阴极真空弧沉积(FCAPD)装置合成薄膜均匀性测量^[15]测量以及部分轻核散射截面的测量^[16]等。

2.4 气溶胶样品的多种离子束分析^[4,6~9]

为弥补 PIXE 无法分析 H、C、N 和 O 等轻元素之不足, 通过在 PIXE 靶室 40°C 和 160°C 散射角安装金硅面垒探测器, 用质子前角弹性散射分析(PESA)和非卢瑟福背散射方法对核孔膜采集的气溶胶样品中 H、C、N 和 O 等轻元素的含量进行测量。

测量结果表明: PESA 测量 10 μm 核孔膜上气溶胶 H 含量的探测限为 0.36 μg/cm², 而气溶胶样品中 H 含量通常在 1 μg/cm² 以上, 因此可以用 PESA 来测量核孔膜上气溶胶样品的 H 含量。

PNBS 测量表明: 核孔膜采集的气溶胶样品和空白核孔膜 PNBS 能谱有明显的差别; 通过用 SM-NRA 软件对 PNBS 能谱进行拟和可以得到气溶胶样品中 H、C、N 和 O 含量; 解谱得到的 H 和 Si 元素含量同 PESA 和 PIXE 分析结果相近。

另外, 通过用在样品正后方探测器前加小孔光栏测量能量为 2MeV 质子束透过气溶胶样品的能量损失(proton transmission energy losses, PTEL)谱, 根据质子能量损失计算得到的气溶胶样品面密度和称量结果之间的误差大都在 10% 以内。

上述分析方法和 PIXE 分析均采用 2~3MeV 的质子束, 因此可以和 PIXE 分析同时进行, 从而实现气溶胶样品的多离子束分析方法的同时分析。

2.5 外束 PIXE 分析^[2,13]

外束 PIXE 管道建立后, 对外束 PIXE 分析中样品定位精度的要求进行实验研究^[3], 并利用外束 PIXE 分析对古官窑均瓷和现代仿制品以及不同

作者的书法作品及其印章进行分析^[2]。结果古官窑均瓷中Zn含量很低,而现代仿制品中Zn含量较高,这也是目前古陶瓷鉴定中的依据之一。两位作者印章的元素成份有很大区别,其中一个含有大量Sb和Pb,而另一作者的印章中几乎没有这两种元素。鉴于不同作者印章成份组成的差别,可以通过外束PIXE对作品印章的分析来判断作品的真伪。

3 结束语

近年来,在精心运行和维护下,串列加速器的故障率明显降低,除每年需要为高压罐适量补充SF₆气体外,基本上没有出现大的故障,机时也略有上升。我们相信随着外束PIXE分析、PESA、PNBS和ERD等新分析项目的开展,串列加速器将在教学和科研中发挥更大的作用。

参考文献

- 1 鲁永芳,王广甫.北京师范大学外束PIXE分析装置的建立,北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(6):588
- 2 鲁永芳,王广甫.外束PIXE分析装置及其初步应用,现代仪器,2007,13(1):47
- 3 Cong zhiyuan, Shichang Kang, Xiande Liu, Guangfu Wang, Elemental composition of aerosol in the Nam Co region, Tibetan Plateau, during summer monsoon season Atmospheric Environment, 2007, 41(6):1180~1187
- 4 朱光华,王广甫,张仁健.多种离子束分析技术在大气气溶胶研究中的应用,核技术,2005,28(12):922~924
- 5 王广甫,苏颖,董平.北京师范大学2×1.7MV串列加速器在离子注入诱变育种研究中的应用,第三次全国离子束生物工程学大会暨第一次国际学术研讨会文集,2002年7月,乌鲁木齐,235
- 6 王广甫,朱光华.质子透射能量损失(PTEL)测量气溶胶样品面密度,北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(1):55
- 7 王广甫,鲁永芳,朱光华.PESA测量中单个标准样品刻度方法适用范围研究,现代仪器,2006,12(1):19
- 8 王广甫,鲁永芳,朱光华.气溶胶样品氢含量的质子弹性散射分析,原子能科学技术,2007,41(2):219~222
- 9 王广甫,鲁永芳,朱光华.质子非卢瑟福背散射测量气溶胶样品中氢、碳、氮和氧的含量,原子能科学技术,2007,41(5):628~632
- 10 王广甫,刘超,李建平.SiGe/Si和SGOI材料的Li离子束RBS分析,中国材料科技与设备,2006,3(3):61~63
- 11 王广甫,王文勋,董平.用于溅射负离子源的透射表面电离器的研制,原子能科学技术,1997,31(6):499
- 12 王广甫,董平.GIC4117 2×1.7MV串列加速器高能注入靶室的改进,北京师范大学学报(自然科学版),2002,38(5):628
- 13 王广甫,鲁永芳.陶瓷样品外束质子荧光分析中样品定位精度的研究,核技术,2007,30(5):432~437
- 14 王广甫,朱光华,董平.2×1.7MV串列加速器PIXE管道及其在气溶胶分析中的应用,过程工程学报,2002年11月,2(增刊):247
- 15 王广甫,张荟星.用质子激发x射线能谱分析(PIXE)技术测量FVAPD装置合成薄膜均匀性,北京师范大学学报(自然科学版),2004,40(6):765~768
- 16 孙旭芳,王荣,刘运宏等.0.4~2.6MeV宽能区在轻核A1上160°(背散射截面测量),北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(6):585

The status and applications of the GIC4117 tandem accelerator

Wang Guangfu^{1,2}

(1 Analytical and Testing Center, Beijing Normal University Beijing 100875)

(2 Institute of Low Energy Nuclear Physics Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract The status and applications of the GIC4117 tandem accelerator in Beijing Normal University were introduced in this paper. A room beside the accelerator lab was built, and data acquired and control systems for ion beam analysis and MeV ion implantation have been shifted into this room from the lab. The facilities for external proton beam PIXE analysis have been set up, and employed for analysis of porcelain and calligraphy. The proton elastic scattering analysis (PESA) and proton non-Rutherford back scattering (PNBS) were used for measuring of the H, C, N and O contents in aerosol samples.

Key words Tandem accelerator PIXE MeV ion implantation RBS External beam