

单粒子束装置

时钟涛¹ 胡智文¹ 余增亮²

(1. 合肥工业大学理学院 合肥 230009)

(2. 中科院离子束生物工程学重点实验室 合肥 230031)

目前,低能离子与生物体的相互作用已成为国内外研究的热点问题之一,利用离子束对细胞加工,即对细胞进行超微加工和手术,以便有目的地在细胞内切割和拼接基因是其关键技术,但是国内现有加速器对细胞的“加工”定位精度还不够高。如果将离子聚焦到微米量级甚至更小,控制离子的射程,瞄准特定的部位,即可在细胞内做手术,对细胞核和其他细胞器进行微细加工。因此物理技术发展的关键是产生直径在微米量级的微束甚至是单离子束。目前美、英、日等发达国家纷纷开展微束和单粒子束技术,通过离子照射以达到单细胞甚至亚细胞水平。其中美国哥伦比亚大学辐照研究中心和英国戈瑞实验室都已建成单粒子束装置并在相关领域取得了一些突破性成果。中科院等离子体物理研究所离子束生物工程学重点实验室正在承担国家十五重点科技攻关项目——离子束应用技术研究,该实验室正在抓紧研制单粒子束装置,力求使我国在该领域处于国际前沿。

单粒子束装置主要由静电加速器、偏转磁铁、束稳定、磁四极场、电子开关和瞄准器系统等构成。图1是中科院等离子体物理研究所离子束生物工程学重点实验室单粒子束装置的离子束线传输原理图。

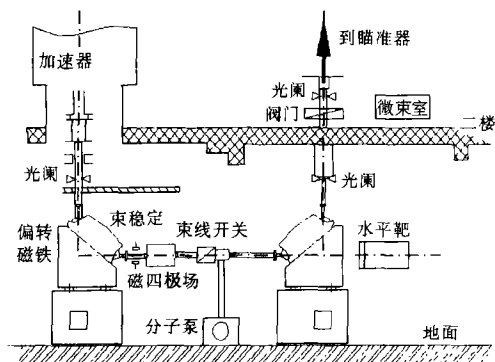


图1 中科院等离子体所单粒子束装置的离子束线传输原理图

该实验室采用5.5MV静电加速器,在射频离子源产生的离子经加速器加速之后,经过聚焦光阑到

达第一个偏转磁铁即磁分析器,通过匹配静电加速器的高压与磁分析器的磁场使一定能量的离子束经过第一个偏转磁铁,同时使选择的单能粒子水平地经过束稳定、磁四极场、束线的电子开关到达第二个偏转磁铁。经第二个偏转磁铁偏转的粒子束再经过一对狭缝进入到微束室中。在微束室,粒子通过瞄准器系统形成单粒子束,用于对细胞进行定位、定量辐射。

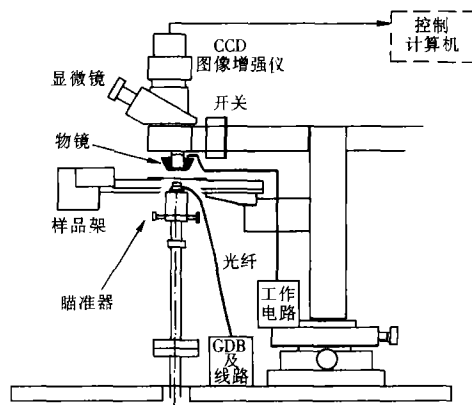


图2 微束装置示意图

由以上束线原理可知,从加速器引出的离子束采用两个90°偏转磁铁构成束线的主体,使离子束由垂直向下经水平方向再变成垂直向上的束线,为对进行定位、定量辐射提供了便利的条件。定量辐射的精确性和定位辐射的准确性是单粒子束装置的两个核心技术指标。定量辐射的精确控制则是采用离子个数探测器与束线中电子开关相结合的方式来完成,这就要求粒子探测器有很高的探测效率,同时束线开关的反应速度要在微秒量级。因为即使探测器的探测效率达到100%,如果束线开关的动作不够快,细胞受到的辐射粒子也将会多于设定的注入个数。这里束开关的作用是,当细胞被预定个数的离子辐射后,束线能在微秒量级(一般在5μs)时间内切断,以达到定量辐射的目的。具体来说,当计数器记录的粒子个数等于设定个数时,由计算机输出控制束开关的触发信号,于是电源在很短时间给

正电子发射型计算机断层成像技术

刘东华

刘晓丽

(新乡医学院物理教研室)(新乡医学院机能实验室 新乡 453003)

正电子发射型计算机断层成像(positron emission computed tomograph 简称 PET),其原理是将含有发射正电子的放射性核素,如 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 等显像剂注入或吸入人体,通过探测正电子放射性核素衰变时产生的正电子与组织内电子湮灭产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子,由计算机重建图像,显示人体代谢和生化等改变,被誉为活体的分子断层图像。因此 PET 能将人的思维、行为和脑化学联系起来,探讨、解释和定位人脑的功能活动,对于许多精神、情感、功能及运动障碍等功能性疾病, PET 具有理论意义和实用价值。

1. 电子对的生成与湮灭

光子与物质作用时,当入射光子的能量大于 1.022MeV (即 $2m_0c^2$)时,光子在原子核场的作用下会转换成为一个电子和一个正电子,这种现象称为电子对的生成。正电子在真空中是稳定的,但它在物质中却不能长期存在,它就与一个电子结合起来转化成为两个能量相同(都是 0.511MeV),飞行方向相反的光子,这一现象称为电子对的湮灭。图 1 就是记录正电子湮灭事件次数的实验简图。在发生电子对湮灭的区域两侧,放置两个光子探测器,当两个

探测器同时(实际上符合探测有一定的分辨时间,目前这个时间是 10^{-8} 秒)接收到光子时,符合电路会给出一个计数。

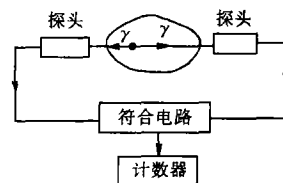


图 1 电子对湮灭实验的示意图

2. 适用于人体的放射性药物的制备

PET 使用的标记化合物相当多。 ^{11}C 能与血红蛋白结合用于测定血容量及红细胞存活率等, ^{11}C -脂肪酸用于心肌显像, ^{11}C -葡萄糖用于测定葡萄糖代谢及脑显像。 ^{13}N 标记的 N_2 和 NH_3 用于心肌显像与脑显像, ^{13}N -谷氨酰胺在肿瘤中较多浓集,可用于监测肿瘤的化疗效果。 ^{15}O 标记的 O_2 , CO , CO_2 可用于肺、脑、心脏显像及其功能性研究。 ^{18}F -DG(^{18}F -脱氧葡萄糖)主要用于心脏病学、肿瘤和中枢神经系统三大方面,在判断心肌的活力,寻找肿瘤病灶和脑部疾病诊断方面有重要价值。

^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 均要在回旋加速器中通过相关

束开关平行板充电而使离子束流偏转,从而完成一次辐射过程。定位辐射的准确性主要依赖于微米量级的束径以及对细胞的识别。微米量级束径的实现是采用预瞄准器与瞄准器相结合的方法完成的,其中瞄准器是用内径为 $5\mu\text{m}$,长为 1mm 的厚壁毛细玻璃管(HPLC)。在细胞识别和辐射过程中,样品的移动由具有扫描功能的样品架来完成;微图像的成像和细胞核的识别是由显微镜、图像增强器、CCD 和图像处理卡共同完成;整个过程的控制则由建立在样品架控制基础上的控制软件来完成。图 2 为微束装置示意图。

在实际辐射过程中,先由显微镜、图像增强器、CCD 和图像处理卡对细胞进行识别,把所有细胞的坐标等参数记录下来,再用离子数目探测器代替显

微镜的物镜,置于瞄准器的正上方,在程序中设定每个细胞所需辐射的离子数,用细胞识别阶段输出文件中记录的坐标等参数对每个细胞进行定位,利用样品架把细胞移到瞄准器出口处正上方,使用程序控制束线传输系统中的电子开关打开它,使束线经过束流传输系统从瞄准器射出对细胞进行辐射,程序中采集离子数目探测器给出的信号,对辐射的离子数目计数。当程序采集到的离子数目达到设定的数目后,程序控制束线开关,使之闭合,束线断开,移动样品架把下一个细胞移到瞄准器出口的正上方,再利用程序打开束线开关进行辐射。反复上述过程,直到需要辐射的细胞全部被处理后关闭束线开关,从样品架上取下细胞盘,最后对细胞进行分析。