

文章编号:1001-1609(2004)05-0388-03

离子束流的电子开关及其电源

胡素华¹, 李 军¹, 陈 斌¹, 陈连运¹, 吴 瑜¹, 王绍虎¹,
余增亮¹, 王国康², 吴志格²

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 南京三乐高新技术工程公司, 江苏 南京 210032)

Electron Switch for Ion Beam Current and Its Power Supply

HU Su-hua¹, LI Jun¹, CHEN Bin¹, CHEN Lian-yun¹, WU Yu¹,
WANG Shao-hu¹, YU Zeng-liang¹, WANG Guo-kang², WU Zhi-ge²

(1. Institute of Plasma Physics, CAS, Hefei 230031, China;

2. Corporation of Nanjing Sanle High Techniques and Engineering, Nanjing 210032, China)

摘要: 叙述了单离子微束装置和装置中用于离子束流快速通断的电子开关的工作原理、技术参数及其电源系统的技术设计等,最后给出了电子开关与电源的试验结果及结论。

关键词: 微束装置; 电子开关; 电源

中图分类号: TL503.5

文献标识码: B

Abstract: The Single-ion microbeam device is introduced, including an electron switch that can turn on/off the ion beam rapidly. The principles, the technical parameters of the switch and the technical design of its power supply are discussed. The experimental results and conclusion of the electron switch and its power supply are presented.

Key words: microbeam device; electron switch; power supply

1 引言

使离子束流快速通断的电子开关用于新研制成功的单离子微束装置中。微束装置(又称单离子束细胞准确定位辐照装置或单离子束装置)即为产生束径为 μm 的荷电粒子束装置,并且能将直径为 μm 的离子束准确定位、定量地辐照到位于试验样品架上的样品中。现在世界上有英国、美国、德国和日本等几个国家已经建立了用于细胞生物学实验的微束装置,并开始做各种科学研究工作。最近等离子体物理研究所也研制成功了微束装置,图1为微束装置结构示意图。微束装置的离子束由5.5 MeV Van de Graaff 正离子加速器的离子源产生、聚焦电极聚焦、加速管加速下行,经过位于加速管的延伸管处的聚焦环和光阑后,进入第1个90°偏转磁铁,被偏转为水平束流,再经过束稳定探测器、磁四极场线圈、光

阑、电子开关后进入第2个90°偏转磁铁,被偏转为垂直上行的束流,束流上行再经过光阑、气动板阀、蝶阀、光阑、导向器、预准直器、瞄准器后,穿过用于真空隔离的约3 μm 厚的 Mylar 膜,对处于由微机控制的样品架上的生物试品进行定位、定量的辐照。被辐照的生物样品图像可以由荧光显微镜观察,也可由计算机图像处理系统进行检测与处理。离子束的准直及束径微米化,主要由预准直和瞄准器保证,而有限个数离子的定量辐照则是通过离子个数探测器、计数器与快速电子开关的配合来实现的。在装置的验收试验中,位于微束室中的能谱探测仪在内径为1 μm 、长为900 μm 的厚壁毛细玻璃管瞄准器(HPLC)的上面已经探测到了质子束流,约1000~5000个/s离子,最高可达20000个/s离子。在利用H⁺离子束流对CR39膜打点阵试验时,通过电子开关与离子计数器的配合可以在10×10点阵的每点位置各打出一个离子的斑点,准确率为98%~100%。也就是说,已能真正地实现单离子辐照,不过束流的稳定性与品质尚需进一步提高和优化。

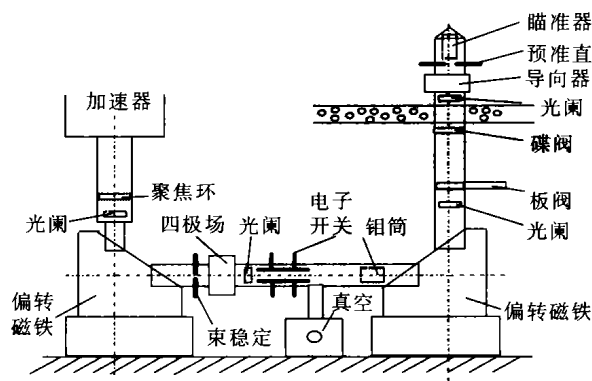


图1 微束装置总体结构示意图

2 电子开关

电子开关是微束装置束线上控制束流快速通断的重要的物理部件。它的性能,即它能否使离子束流进行快速通断则决定了微束装置能否对生物样品实现准确定量的辐照。

2.1 电子开关及其工作原理

电子开关在装置束线上的位置如图1所示,其物理结构示意图见图2。

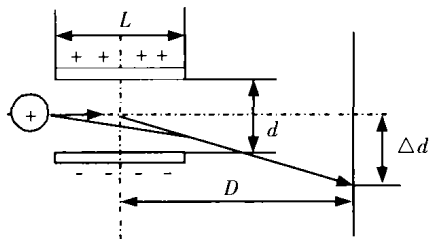


图2 电子开关的物理结构示意图

如图2所示,电子开关是一对钼制平行板结构,其板的长、宽和厚度分别为40,2 cm和0.5 cm,二极板间的距离 $d=1$ cm,对地绝缘为10 kV,极板为双电极引线结构。

电子开关的工作原理是:当微束装置和电子开关的电源开机时,kV级的正高压则立即施加在电子开关的正极板上,此时若有离子束流通过时,则束流就会受到两极板间形成的高压电场力而被偏转到一个距电子开关中心约125 cm处的一个长20 cm,直径3.9 cm,并且位于第2个偏转磁铁入口处的钼屏蔽筒上,从而保证束流不会被输送到位于微束室中的样品架上,此时相当于电子开关关断;当微束室需要对样品进行辐照时,则首先设定需要辐照的离子个数,然后由计算机控制电子开关的电源使开关极板上的高电压迅速降至零,此时两极板间的高压电场撤消,即电子开关导通,从而使束流快速通过,对试验样品进行辐照;当辐照的离子个数探测器探测到的离子个数与预先设定的要对试验样品进行辐照的离子个数相等时,则由计算机控制电子开关的电源在开关的两个极板上分别快速施加kV级的正、负直流高电压,形成强电场使离子束流快速地偏转到钼屏蔽筒上,此时电子开关快速关断,从而保证快速关断离子束流对样品的辐照,因此保证了离子束流对样品的定量辐照。

设电子开关极板的长为 L ;两个极板间的距离为 d ;极板中心距钼筒长度中心的距离为 D ; Δd 为距两极板中心 D 处离子的偏转量, U 为施加在两极板间的电压, U_0 为离子具有的初始加速电压,由于 $L \gg d$,所以当忽略平行板电场的边缘效应时,经推导^[1]有:

$$\Delta d = (LDU) / (2dU_0) \quad (1)$$

可以根据式(1)及式中已知的参数去计算和设

计其它的参数。如当 $L=40$ cm, $d=1$ cm, $D=135$ cm, $U=6000$ V, $U_0=3 \times 10^6$ V时,对于质子(H^+)在钼筒长度中心处的偏转量为:

$$\Delta d = (40 \times 135 \times 6000) / (2 \times 1 \times 3 \times 10^6) = 5.4 \text{ cm}$$

从计算的结果可看出,在上述设定的参数下,可以使 H^+ 偏转到耐高温和烧蚀的钼筒上。

2.2 电子开关的技术要求与工作程序

(1) 电子开关的技术要求

每个极板上施加的最高电压:DC ± 8 kV,且连续可调,束流通断时间 $t \leq 5 \mu s$ 。

(2) 电子开关的工作程序示意图见图3。当电子开关电源开机后计算机无控制信号发出时,电子开关的正极板上施加正高电压 U ,离子束流被偏转,辐照到样品的束流 I_{bm} 为零;当计算机发出正极板控制信号“1”时,其高电压在 $5 \mu s$ 内降到零,辐照到样品的离子束流 I_{bm} 快速通过;当计算机发出负极板控制信号为“1”,同时正极板控制信号为“0”时,开关的正负极板上则分别快速施加 U 和 $-U$ 的高压,束流在 $5 \mu s$ 内被偏转而使辐照样品的束流 I_{bm} 为零,约10 ms后,计算机发出负极板控制信号为“0”,即可使负高压降至零。这样就完成了离子束流通过和截止的一个工作周期。这样的工作周期就是由电子开关的电源与计算机控制系统实现的。

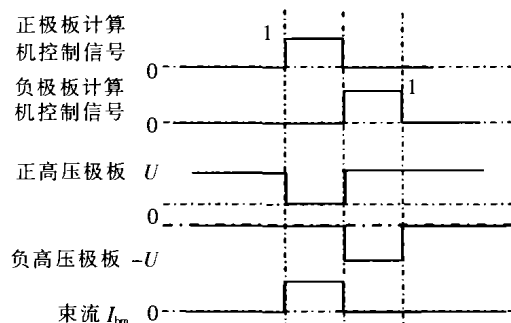


图3 电子开关工作程序示意图

3 电子开关电源

电子开关电源的总体技术方案见图4。可以看出,有两组直流电源可产生最高达+8 kV和-8 kV的直流高压,并分别给电子开关的两个极板提供正、负直流高电压。在电子开关极板上快速施加直流高压是通过分别控制电子管 K_1 开断和电子管 K_2 导通实现的,反之,在其上快速撤消高压则是通过分别控制 K_1 导通和 K_2 关断而实现的。

电子开关电源的技术关键在于如何实现束流的快速通断,即如何在小于 $5 \mu s$ 的时间内,在电子开关的极板上施加或撤消高电压。图4所示的技术方案中,主要利用了电子管的开关速度特性。由于电子管的导通时间快,约在ns~ μs 量级,所以当需要束流通过时,只要 K_1 导通,即可使电子开关正极板上

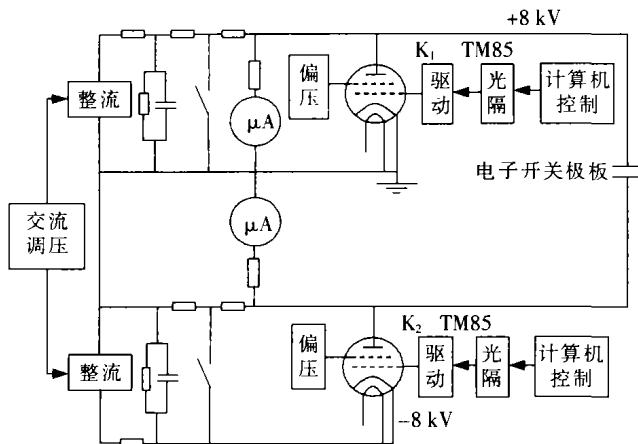


图4 电子开关电源系统总体技术方案示意图

的电压快速降至零;而当需要束流截止时,由于电子管的关断时间为 ms 量级,所以试图单独让 K_1 关断,从而在电子开关正极板上 $5 \mu\text{s}$ 内施加高压是不可能的。因此在技术方案中又设计了一组负高压电源和电子管 K_2 , 同时向电子开关的负极板提供负高压。当需要关断束流时,只要在使 K_1 开断的同时,再使 K_2 迅速导通,即可在电子开关的两个极板间快速提供强高压电场,从而使束流迅速偏转而关断。待开关正极板上的正高压完全施加好后,即在发出 K_1 关断及 K_2 导通命令约 10 ms 后,就可以撤消负极板上的负高压。这样,在电源的总体技术方案中,由于巧妙地利用两组高压电源和两个开关电子管,从而在小于 $5 \mu\text{s}$ 的时间内实现了电子开关的快速通断,同时也实现了离子束流的快速通断。

电子管 K_1 和 K_2 的通断控制可以在控制室内控制,也可以远距离由计算机在微束室内控制,但在试验中一般是由计算机控制。计算机是通过一个计算机计数、控制专用接口板(PLC-836 板)控制电子管 K_1 和 K_2 的导通、截止,从而实现对电子开关的控制。对试验样品辐照的离子个数由计算机软件设定,离子的计数则由硬件自动执行,待辐照的离子数达到设定值时,计算机就会自动发出控制信号,控制电子开关关断。

4 电子开关及其电源系统的试验结果和结论

用计算机对电子开关电源实施控制,进行了电子开关及其电源特性的模拟试验,试验时观察高电

压前沿和后沿变化的时间波形选用的是 TDS340A 型示波器,示波图见图 5。

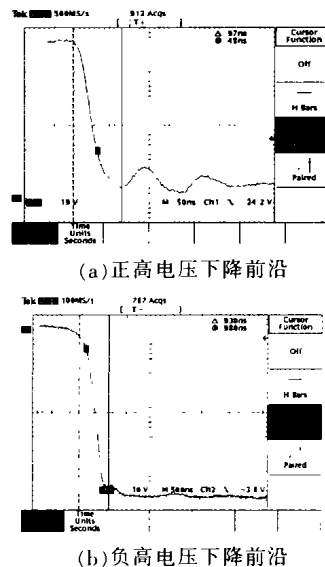


图5 电子开关极板上高电压下降前沿波形图

图 5 示出了电子开关正、负极板上电压变化的情况。所施加的正、负电压约为 700 V。从图 5(a)可看出,正高电压下降的前沿约为 100 ns,这就表明电子开关的导通时间约为 100 ns。从图 5(b)可看出,负电压下降的前沿约为 500 ns,说明电子开关的关断时间约为 500 ns。由于受到测量设备条件的限制,没有施加更高的电压进行试验,估计电子开关的导通和关断时间将随着极板上电压的升高而有所增加,但当工作电压在 2~3 kV 时,要达到小于或等于 $5 \mu\text{s}$ 的电子开关速度的要求是可行的。

如前所述,在装置的验收试验中,已经利用电子开关和离子计数器的准确配合实现了单离子对 CR39 膜的辐照,对单个离子辐照计数控制的准确度可达到 98%~100%。目前电子开关及其电源系统已经正常地运行了两年多时间,性能稳定可靠。因此,该电子开关及其电源的设计是正确、可行的。

参考文献:

- [1] 袁海涛. 单粒子束照射系统的设计与研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2001.

作者简介: 胡素华(1944-), 女, 高级工程师, 长期从事电源、控制、离子束生物工程装置等的研制与试验工作。

我国将增建四座核电站

简讯

目前,我国有四个核能项目待建。已经批准的岭澳二期工程和正在报批的秦山二期扩建工程,是在现在已经运行得很好的核电站的基础上,进行若干项改进后的翻版工程。这两个项目主要依靠我国自己的力量,同时在设计和设备制造方面有一部分工作请国外合作者参与。这两个项目的自主化、国产化率要达到 70% 以上。

另外两个项目,就是已经批准的浙江三门项目和正在报批的广东阳江项目,将更多地进行国际合作,将通过国际招标选定国际合作者,在建造过程中逐步实现本地化、国产化。