

IBE双离子束外延实验机

国营建光机器厂 李景春

摘要: 简要介绍 IBE 双离子束外延实验机的主要技术指标、工作原理和主要结构特点及性能。

引言

七十年代以来,人们注意到利用低能离子束外延生成半导体薄膜材料,为开展这一工作,逐步建立起了离子束外延的实验设备。这种方法的主要特点是低温外延,对薄膜生长容易控制,又因通过质量分选和在超高真空下进行,薄膜的纯度高。

利用两种不同的离子束汇合在一起外延淀积来生长化合物半导体材料,是一个新的大胆的设想。

本文介绍的 IBE 实验机就是按这种构想设计的。这种双离子束外延实验设备比起单束的要复杂得多,研制的难度也大得多,目前尚未见有这方面的报导。这台实验设备已经国内四个单位联合研制成功,于一九八八年四月通过了国家级鉴定。

IBE 实验机的主要技术指标

具有两条交汇于衬底表面的低能离子束;

离子束能量在几十 eV 到 1000 eV 之间连续可调;

单束离子束流强度 500 μA ;

离子束流密度 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$;

能分选质量数 208 (Pa) 以内的离子;

靶室动态真空进入 10^{-8} 托;

路系统,框图中未画出。为防止人身和设备事故,本设备采取了多种安全保护措施,主要有:无水、无气声警并显示;分子泵声

衬底可加热到 800 $^{\circ}\text{C}$ 并能进行温控;

靶室内安装衬底的机械手具有五个自由度;

靶室可在不破坏真空情况下实现样品交换;

靶室内安装减速透镜和衬底,并备有两个观察窗口。

工作原理

材料离子在离子源中产生后被数十 KV 的引出电压拉出离子源后,进入高真空漂移区,这个离子束经磁分析器质量分离后被引入靶室,并在减速透镜中将能量降低到数百 eV 以下,最后在衬底上淀积成薄膜。

根据这一原理,本机工作过程分以下五个步骤:

- 1、待外延材料的蒸发和电离;
- 2、离子的加速和成形;
- 3、离子束的质量分析;
- 4、分析束经二次聚焦后偏转汇合;
- 5、将汇合减速到一定能量的离子淀积在衬底上进行外延生长。

设备主要组成部件、结构特点及性能

示意图表示了 IBE 实验机离子束系统和全部束流元件。它是由两条离子束线组成,每条束线都有两极聚焦元件,然后经电偏转警并显示;射频高压与真空联锁;机械手运动与真空联锁;反应气体与真空联锁;分子泵加 N_2 锁等。

进入减速系统到衬底。

1、离子源为Freeman型，它是一种旁引出的热阴极低压弧放电的磁碰撞型离子源。由它使待外延的材料蒸发和电离并使离子加速成形，放电室处于0~40KV的正高电位上，引出电极处于负电位上0~-10KV，灯丝电流200A，出口缝至吸极的距离和相对角度在不破坏真空的情况下可以调节。

2、离子源后面至磁分析器之间的真空漂移空间安排了一段测束管，以便于用法拉第筒测量离子源引出束流的大小。

3、光路中第一级选用了完全相同的两个双聚焦磁分析器，由它来完成质量分选。主要参数：

偏转半径 $R = 40\text{cm}$

偏转角 $\phi = 90^\circ$

磁极间隙5cm

出口和入口极头为近似Rogowski曲面极头皆可转动 $\pm 5^\circ$ 角。

极头外部有屏蔽套。

磁场均匀区的磁感应强度误差小于千分之五。

磁分析器的激磁线圈采取夹层水冷。

4、光路第二级是四极透镜对，由于空间限制，一条采用电四极对，另一条采用磁四极对。

电四极对内切圆半径5cm，单元有效长20cm。磁四极对内切圆半径7cm，单元有效长30cm，激磁线圈用去离子水内冷，水路并联，冷却效果好。

5、偏转系统为减小双束汇合角度和偏掉中性束而设置。偏转角度 16.5° ，偏转半径30.8cm，板间距离4.4cm。

6、减速系统是IBE实验机最后一个关键部件，靶衬和最后一电极处于同一高电位，为减少减速后离子的返回，中间加一负

电极，为抑制减速系统中的二次电子，设计了垂直于离子入射方向的附加磁场0~500高斯。

7、超高真空靶室装有夹持样品的机械手。它有绕Z轴转动和样品自转及X、Y、Z等五个自由度，并且机械手上装有机械扫描装置。真空锁在不破坏靶室真空的情况下，将样品送入靶室和从靶室内取出。

真空系统

如示意图上绘出了在一级传输里分别有3套高真空机组，第二级传输分别有一套分子泵机组，在双束汇合处有一套离子泵机组，加上靶室的超高真空机组（钛离子泵和钛球升华泵）共10套真空机组组成。采用差压抽气，逐段提高真空度。从离子源 5×10^{-8} 托逐段提高至靶室的 10^{-8} 托。为了方便拆卸离子源和保持靶室的超高真空，在离子源后和靶室前分别设有闸板阀门。为保持油扩散泵和分子泵、钛离子泵的真空，与系统之间都设计有闸板阀门（手动或电动）。

电源及供电控制

IBE实验主机供电电源共16种27台。主机高压输出电源电压为40KV，由高压控制柜为两离子源和靶室减速系统供电。

分析磁铁电源（两台）磁四极电源（两台）稳定度为 $\pm 1 \times 10^{-4}/8\text{h}$ ，置于主机房内，由主机控制台控制为分析磁铁和磁四极线圈供电。

其它如电四极电源、偏转电源等皆装在主机中心控制台上。主机的供电控制皆可在中心控制台上完成。

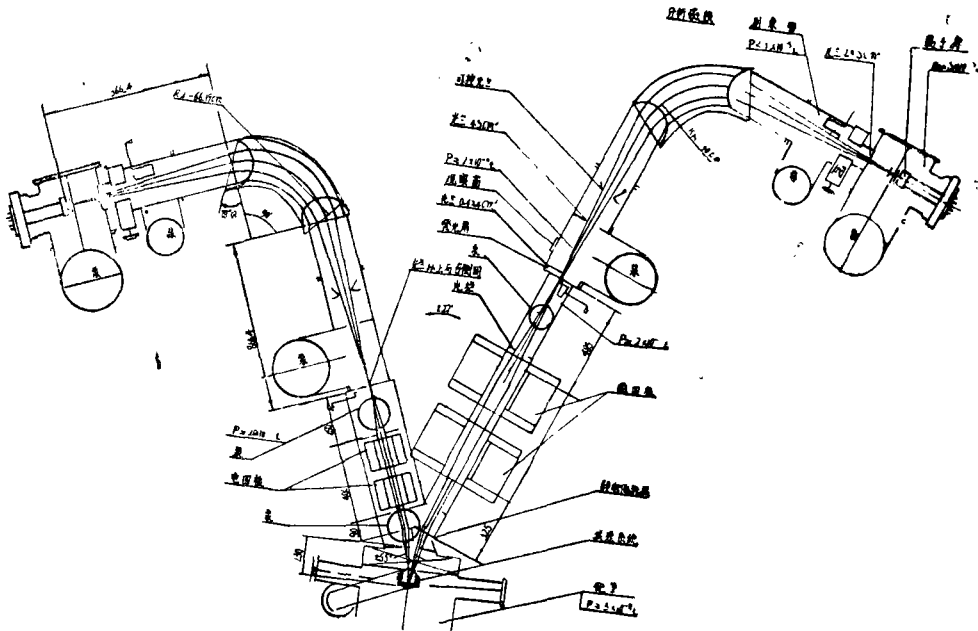
真空系统供电控制和超高真空靶室电源的供电另有五个供电柜完成。

IBE实验机经过八个月的使用，各项指标皆达设计要求。离子束流密度100微安/平

方厘米；离子能量几十~数百电子伏特；可分离质量数达208；靶室真空度进入 10^{-8} 托。指标居世界领先水平。

专家们确认，该设备在蓝宝石衬底上生

成的GaN化合物单晶，说明我国在半导体薄膜技术和材料学方面又增添了一种有力的工具，有可能为三维集成电路和高速器件研制生产开辟一条新路。



IBE离子系统示意图

上转第5页

结 论

精密工作台是许多关键微细加工设备的核心，已形成独立的研究课题。它正向单层、平面、简单、软件化的方向发展。

本文只介绍了工作台总的发展情况。具体的设备应采用何种结构形式，要考虑使用要求、制造者的技术传统、研制条件等合理选定。

限于篇幅，以上介绍的只是微细加工设备中较常见的几种典型工作台的情况，供设计工作台时参考。其它一些工作台也有较广泛的应用。如平面电机工作台，结构非常简单、速度高、行程大、在自动绘图、自动探针等设备中被广泛采用。

参考资料

- 1、Microlithography, G. L. Ronson, GCA Corp.
 - 2、PAS—2000 System description, ASM.
 - 3、Mamtewnul Manual for Ultra Step 100c projection Stepper, Ultratech Stepper.
 - 4、Yaw Correctech precision X—Y Stage for high—throughput electron Beam lithography System, Shigeo Meriyama.
- proceedings of the 1984 International Symposium Cv E, I, p Beam.