

研制离子源的技术是从十九世纪末开始的。随着科学研究及工艺技术的不断前进，离子源应用范围的不断扩大，离子源的研制也进展很快。现在它已成为一项很重要的新科学技术了。

什么是离子源

大家知道，原子是由原子核和核外围绕核运转的电子组成的。原子核带正电，电子带负电，正负电荷数量相同，相互抵消，所以原子本来是中性不带电的。离子是带电的原子。当原子由于某种外界作用，失去了一个或几个外围电子，这时这个核带的正电荷数量就比余下的外围电子总的负电荷数量要大，正负相抵后仍带正电，这种带正电的原子就叫作正离子。反之，如果原子从外面俘获到别的电子时，核外围电子比原来多了，正负相抵仍带负电，这种带负电的原子叫负离子。带同样电荷的很多离子在电场或磁场的作用下连续地朝着一定方向运动，就成了离子流。离子源就是给加速器提供离子流的一种装置。供给正离子的装置叫正离子源，供给负离子的则叫负离子源，还可按产生粒子的电荷数，分成中性粒子束离子源、单电荷与多电荷离子源。

离子源的工作原理和种类

离子源的工作原理与产生离子的方法有关。绝大多数离子源是等离子体离子源。它的机制类似电弧焊所看到的现象。两个加上一定电压的电极，接近到一定距离后，由于电子碰撞气体分子，气体就会电离，

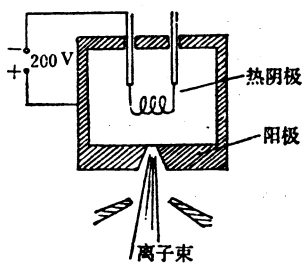
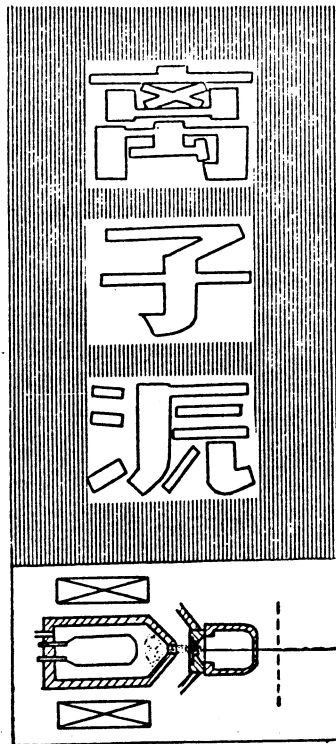


图1 低压弧源示意图



竺仁全

形成等离子体（即相同数量的电子和离子的混合物）。然后通过引出电极，在电极上加上电压，把离子束引出来。这种离子源按结构不同，可以分成几种型式的离子源：

最简单的叫**低压弧源**。它由一个热阴极和阳极构成，通过热阴极来增加电子发射和降低放电电压，在弱磁场帮助下提高电子的利用系数，提高等离子体浓度，增加引出束流。它一般能引出毫安数量级的离子流。根据等离子体通过毛细管等几何约束，能提高等离子体浓度的特征，这种离子源又有几种变型，如**毛细管离子源**、**单等离子源**等。

为了克服热阴极寿命短的缺点。根据冷阴极**潘宁真空管**提出了**潘宁离子源**。它由一个圆筒形阳极和两端头的阴极和对阴

极构成。同时在放电室外加一个线圈，形成一个轴向磁场，来约束电子运动。当阳极和冷阴极之间加1~2千伏电压时，冷阴极发射电子，

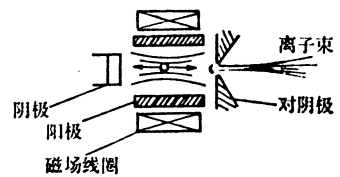


图2 潘宁离子源示意图

这些原始电子和以后碰撞电离产生的次级电子，在轴向磁场约束下作螺旋运动，从而阻止了电子落到阳极上去，使它们在放电室内来回振荡，这样增加了电子的利用率，同时也增加了等离子体浓度。这种离子源由于阴极技术的发展，现已发展到能引出几十毫安的束流，脉冲情况下最大已能引出几百毫安，多孔引出可达到安培级的束流。

双等离子体离子源。是五十年代发展起来的一种离子源。它的结构是在阴极和阳极间加个中间电极，起到几何约束的作用；同时中间电极和阳极又是一对不均匀磁场的两个磁极，在它们中间形成强烈的磁约束。这样，在放电室内的等离子体分成了两个等离子体区，一个叫阴极等离子体区，另一个叫阳极等离子体区。阳极等离子体的浓度达到 10^{14} 离子对/厘米³，能引出100安/厘米²的离子束。目前，这种离子源能引出几十毫安到几百毫安束流质量很好的离子束。所以，在各个领域中广泛应用。

最近，人们为了得到很强的离

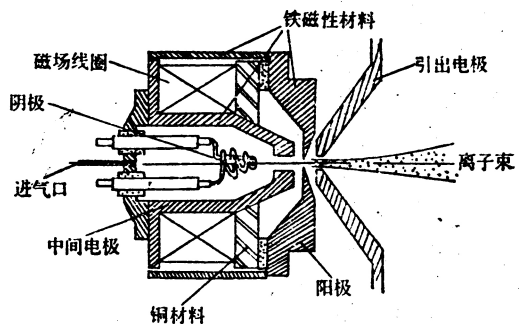


图3 双等离子体离子源示意图

子束,又在双等离子源基础上改进,使阳极等离子体区中的电子像潘宁离子源一样来回振荡,提高了利用率,这样能引出几安培的离子源,这叫**双潘宁离子源**。

等离子体的离子源,除了这种放电机制外,还有通过高频电磁场来激发气体放电形成等离子体的高频离子源。它是由一个石英玻璃或

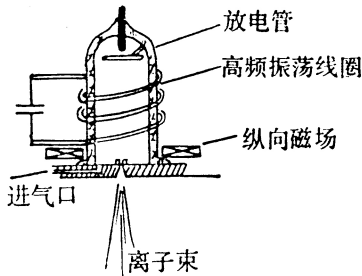


图4 高频离子源示意图

硬玻璃做的放电管和吸极组成。在它的外面加高频电场或磁场,使气体产生高频放电,一部分原子失去电子,形成离子流,然后由吸极不断地吸出送到加速器中。这种离子源能引出几十毫安的离子流,在脉冲情况下能引出几百毫安。

除了等离子体离子源外,还有不少其它类型的离子源,如:

火花离子源它由两个电极组成,在两个电极上加高频电压,使电极之间形成火花放电,使气体电离,从而引出离子束。

表面电离离子源,它适用于产生电离电位较低的离子束。它有一个直径为1厘米的园形钨片,在它表面烧结一层铯,并在背面用电子轰击方法加热到2000℃,作为电离元件。当钨片将所要电离的原子束喷射到铯表面时,部分原子被电离,形成所需要的离子束,通过磁场偏转被电场引出。这种离子源必须在高真空情况下工作,它能产生如铯、铷、钾、钠、钡、锂、铟、铅、镓、铈、钙等电离电位在6eV以下的离子束。离子束流密度达10微安/厘米²。

溅射离子源,它通过支持气体先进行放电,产生支持气体离子(如惰性气体离子A⁺、Ne⁺等),在电场

作用下轰击溅射极,将需要电离的材料从溅射极上溅射出来,并参加放电,产生需要的离子,这种离子源能引出几十微安离子源。

此外,还有**热离子源**、**束-等离子体离子源**等,这里不再一一介绍。总之,离子源的种类和结构形式很多。今后随着科学技术发展提出的新要求,将出现更多的新型离子源。

离子源的用途

离子源的用途主要是为加速器提供带电粒子,所以各种离子源的用途大部分是同加速器的应用密切相联的。例如:高压加速器的离子源是安在高压电极内,要求体积小,电源设备简单,电源功耗小,所以这类加速器大都采用高频离子源。重离子加速器要求离子源提供多电荷重离子。如果用等时性迴旋加速器作注入器,就采用潘宁离子源;如果用串列式加速器作注入器,一般则用双等离子体离子源。高能加速器对离子源要求产生强流、高束流光学性能的脉冲质子束,所以一般都选用双等离子体离子源。近来由于负离子注入技术的发展,负离子源已用到高能加速器中。

由于对粒子同物质相互作用研究的不断深入,发现加速的离子轰击物质表面,不仅能损伤物质表面,而且能打入一定深度和产生X和γ射线,根据这个物理过程,离子源还可用作离子掺杂和材料表面分析。

当前半导体掺杂一般用扩散法,将需要的杂质在高温扩散炉中以热扩散方式掺到半导体的基片中去。由于热扩散是向四面扩散,所以形成的结深是不均匀的。如果设计一台低能加速器作为离子掺杂机,它的能量稳定度要求在0.01%左右。用它将磁离子源,高频离子源等产生的硼、磷、砷、锑等等的离子,加速到几十千电子伏,来轰击半导体器件基片,实现离子注入的目的。由于对离子的种类、能量和离子流强度与掺杂时间都可以严格控制,所以能精确地按照工艺要求控

制杂质浓度和结深,甚至对一些扩散法无法掺杂的元素(如氮)也能用离子注入法注入。现在离子注入法已成为提高半导体器件的质量的主要工艺方法。此外近年来发展了一种离子探针装置。它是一个能量稳定度达0.01%,束流直径聚焦到微米数量级的小型低能加速器。用确定的离子(如氩离子),一定的束流,轰击被试验样品,产生X射线,通过测量特征X射线强度就可以分析样品的表面成分。

在空间科学方面,空间等离子体推进器正在不断发展。它是根据作用与反作用的原理,从离子源中引出象汞那样的重离子束喷到空间中,来推动人造卫星等空间装置飞行。这类离子源一般采用多孔引出的潘宁离子源。

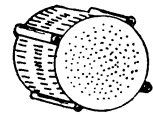


图5 间空等离子体推进器外形图

在同位素电磁分离器方面,将需要分离的各种同位素,通过离子源形成各种同位素的离子,送入电磁分离器中进行分离。这里的离子源一般是气体和固体蒸汽两用的离子源,它带有固体蒸发的坩埚。此外精密分析用的质谱仪也要用离子源。它的放电室就是一个小型离子源。通过它将各种样品电离,进行质谱分析。一个质谱仪上大都有好几种不同的离子源。

有些磁流体发电装置也利用离子源产生等离子体喷流,送入磁场,通过磁场偏转,将离子和电子分别送到绝缘的金属电极上,由此来获得高压电。也有将离子源做成很小的离子枪,来作等离子体切割,等离子体焊接和等离子体喷涂等工作。

现在,我国的社会主义科学技术事业正进入兴旺发达的新阶段,离子源这门新科学技术一定会不断提高,应用范围也必将进一步扩大,为实现四个现代化作出贡献。