

静电加速器离子束杂质成分的测定

蒋崧生 崔云峰 李 迁 王 洵

(中国原子能科学研究院)

关键词: 静电加速器 离子束 杂质成分 卢瑟福散射法 H_2^+ 离子 D^+ 离子

静电加速器广泛应用于离子的X射线分析、背散射、核反应和研究离子与物质的相互作用等等。静电加速器的离子由离子源产生,被端部高压进行加速。离子源所产生的离子往往不是很纯净的。为此,通常依靠磁分析器来排除那些被加速而又不需要的离子,并挑选出所需要的离子。但是,磁分析器要区分开那些荷质比相近的离子是十分困难的。在磁分析器所挑选出的离子束中,往往含有一些荷质比相近的其他离子。例如,在选择氦离子源的 D^+ 离子中伴随有 H_2^+ 离子;相反在选择氢离子源的 H_2^+ 离子却伴随有 D^+ 离子。 $^4He^+$ 离子中可能伴随 D_2^+ 和 $^{12}C^+$ 离子。离子束中的杂质成分往往被人们所忽视,但在有些情况下,却是不容忽视的。例如,在利用 D^+ 离子分析表面氢含量时, D^+ 离子束中含有 H_2^+ 离子就会直接影响到分析的灵敏度^[1];在研究 H_2^+ 离子与固体膜相互作用时^[2], H_2^+ 离子中含有的 D^+ 离子的数量大小也会影响到测量的精度;在背散射分析、离子溅射、辐照损伤研究以及核反应截面测量时,有时也不能忽视离子束中的杂质成分^[3]。

本工作描述了利用卢瑟福散射法测定经过磁分析器选择的离子束中的杂质成分的基本原理、实验装置和初步结果。

一、基本原理

1. 杂质离子质量的确定

卢瑟福散射粒子的能量、磁分析器的选择和离子的能量分别满足于

$$E = KE_0 \quad (1)$$

$$\sqrt{mE_0}/q = C \quad (2)$$

$$E_0 = qeV_T \quad (3)$$

式中, E 为散射粒子能量; K 为运动学因子,当散射靶质量大于入射离子质量, $K = (m \cos \theta + \sqrt{M^2 + m^2 \sin^2 \theta}) / (M - m)$ (θ 为散射角度, M 为散射靶核质量, m 是入射离子质量); E_0 和 q 分别是离子能量和电荷态, q 为正整数,对于小静电加速器,通常只要考虑 $q \leq 3$; e 是电子电荷; V_T 是加速器端电压; C 是给定值。

利用以上三个关系式,原则上可以解出 m 、 E_0 和 q 三个未确定的量。如果用金散射靶, $M = 197$,并设被散射粒子的质量 $m \leq 16$,则 K 值 ≥ 0.85 (按 $\theta = 180^\circ$ 计算),那么从测定的散射粒子能量 E ,由(1)式和(3)式分别可以推算出入射离子的能量 E_0 和电荷态 q 。从而,由(2)式可以确定入射粒子的质量,而不必求解上述的方程组。对于入射分子态离子,它们在散射靶表面几个原子层内就发生库仑爆炸瓦解成为原子态粒子,其能量大小与质量成正比,从散射粒子的能谱能识别出来。

需要识别离子的原子序数 Z 时,在散射靶与探测器之间放置吸收片,从粒子穿过吸收片

的能量损失率估算出 Z 。

2. 杂质离子相对含量的确定

在忽略多次散射的情况下(即薄靶, 大角度), 卢瑟福散射微分截面公式可写为:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 1.295 \left(\frac{Z_M Z_m}{E_0} \right)^2 \left[\left(\frac{1}{\sin\theta/2} \right)^4 - 2 \left(\frac{m}{M} \right)^2 + \dots \right] \text{mb/ster.}$$

式中, Z_M 和 Z_m 分别为靶核和入射粒子的原子序数; θ 为散射角。通过测定的主要离子束和杂质离子的能谱可以求出它们的相对强度。

二、实验装置

我们的实验是在中国原子能科学研究院静电加速器上进行的。图1是实验装置, 它附设于加速器质谱计装置^[4]的管道上, 离子由谢尔比诺夫型高频离子源产生, 加速器端部高压为1.5MV, 用90°磁分析器选择所需要的离子。经四极透镜聚焦, 离子进入2×3 mm²的光栏1, 入射到厚度约100μg/cm²的金散射靶上。金靶可以改变与离子束方向夹角, 以便调节入射的有效厚度。金靶也可以随时移到离子束的外面让束流通过, 以便进行其它实验。测定散射离子是用金硅面垒型半导体探测器, 位于入射离子束的90°方向。散射离子经过直径4mm的光栏2、光栏3和Al吸收片到达探测器。光栏2距金靶中心5cm, 用于防止杂乱散射粒子。光栏3距金靶中心20cm, 它的孔径大小视探测器计数率而定, 本工作采用的孔径直径为1mm, 入射离子束强度1—2μA。

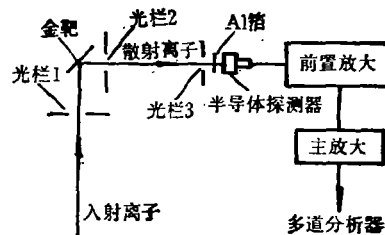


图1 实验装置示意图

三、结果与讨论

我们加速器主要提供氢、氘离子束。 D^+ 离子束中的 H_2^+ 离子及 H_2^+ 离子束中的 D^+ 离子是被关心的一个问题。我们用卢瑟福散射测定了氘离子源的 D^+ 离子束中所含有的 H_2^+ 离子和氢离子源的 H_2^+ 离子束中所含有的 D^+ 离子。结果分别给出在表和图2、图3中。半导体探测器的计数率限制在<1000cps, 多道死时间<2%。由于这些离子的电荷态 $q=1$, 以及分子散裂后的能量与质量成正比, 从散射能谱中可以识别出 D^+ 离子和 H_2^+ 散裂后的H粒子。在测定 H_2^+ 离

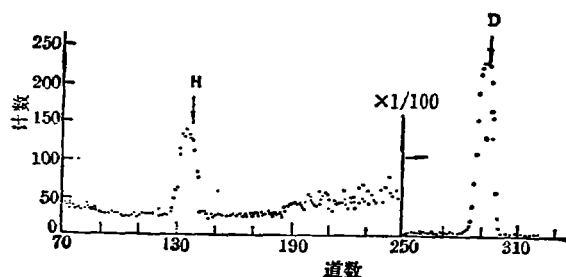


图2 卢瑟福散射测量氘离子源的 D^+ 离子与 H_2^+ 离子散裂后的H粒子分布

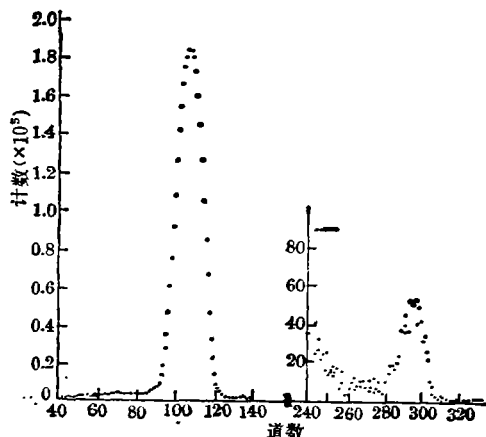


图3 卢瑟福散射测量氢离子源的 H_2^+ 离子散裂后的H粒子与 D^+ 离子的分布

表 氘离子源中的 H_2^+/D^+ 和氢离子源中的 D^+/H_2^+

能 量 (MeV)		氘离子源中的 H_2^+/D^+					氢离子源中的 D^+/H_2^+				
		计 数		相对散射截面		H_2^+/D^+	计 数		相对散射截面		D^+/H_2^+
D	H	D	H	D	H		D	H	D	H	
1.5	0.75	228125	1156	1.00	4.00	2.53×10^{-3}	756	2.96×10^4	1.00	4.00	5.11×10^{-4}

子束中的 D^+ 离子时,由于 H_2^+ 离子库仑爆炸后的 H 粒子能量为 H_2^+ 离子的一半, H 粒子计数的叠加峰同 D^+ 离子计数的峰相重叠,使 D^+ 离子计数不能分辨。我们在探测器前放置 $0.8\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 Al 箔,将两峰区分开来(图 3)。

上面是我们测量的一组结果。值得指出的是离子束中杂质成分的强度与加速器运行情况和离子源工作状态有密切关系。在另一次测量中, D^+ 离子束中的 H_2^+ 离子相对强度却达到 0.015。从这些结果看出,在有些工作中,测定离子束中的杂质成分是很必要的。

感谢静电加速器运行组的大力协助和罗德兴同志的帮助。

参 考 文 献

- [1] 郭清江等,核物理, 3, 211 (1983).
- [2] H. J. Gaillard *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, 132, 69(1976).
- [3] Y. C. Liu *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, 152, 349(1978).
- [4] 蒋宏生等,核技术, 6, 8 (1984).

(1984年3月15日收到)

(上接第 33 页)

四、结 论

1. 应用 Mössbauer 谱学技术,对 Fe-B 及 Fe-B-Si 系因瓦特性的检测是敏感的。这是由于反冲共振吸收很准确地反映了 Fe 核周围环境变化,这对用 γ 射线的穆斯谱仪器,可以对因瓦物理本质非晶态微观结构、自发体积磁致伸缩做出有效论证。

2. 对非晶 Fe-B、 $\text{Fe}_{22}\text{B}_{13}\text{Si}_5$ Invar 型合金的 $P_{(H_i)}-H_i$ 分布中,如果假定存在高低自旋态,且以内场分布来表征,则可以对自旋态的 Fe 原子做定量的计算。可按 Weiss 对 Fe-Ni₃₆ fcc(立方面)的假定来说明,可以较为满意的解释因瓦特征。

在 Mössbauer 谱的测量和计算机拟合中,吉林大学核物理教研室金明芝老师给以大力支持表示谢忱!

参 考 文 献

- [1] 菊地纪雄,日本金属学会会报, 20, 12 1004(1981).
- [2] R. J. Weiss, *Proc. Phys. Soc.*, 82, 281 (1963).
- [3] 金明芝等,东北工学院学报, 3, 4 (1983).
- [4] 于恩华等,仪表材料, 114, 3, 24(1983).
- [5] 于恩华等,稀有金属材料与工程, 4, 28(1983).

(1984年10月10日收到)

Determination of the invar characteristics of Fe-B and Fe-B-Si amorphous alloys by Mössbauer spectroscopy method

Yu Enhua Liu Yueying
(Northeast Institute of Technology)

The Mössbauer spectra of Fe-B and Fe-B-Si amorphous alloys at room temperature were determined and a computer programme was created to fit the curves. The parameters of these spectra and the spinning of the iron atoms were evaluated. The spectral characteristics of the amorphous alloys as compared with the ones of their crystals were analyzed, and the physical nature of the invar amorphous alloys was discussed.

Keywords: Mössbauer spectrum amorphous alloys fitting programme

Determination of impurity in the ion beams of Van de Graaff accelerator

Jiang Songsheng Cui Yunfeng Li Qian Wang Xun
(Institute of Atomic Energy, Academia Sinica)

In this work Rutherford scattering technique was used to determine the unwanted accelerated ions which have the similar charge-mass ratio to the main required beam after the magnetic analyzer. The principle of this technique, the experimental arrangement, and determinations of H_2^+ ions in the D^+ ion beam from deuterium ion source and D^+ ions in the H_2^+ ion beam from hydrogen ion source are described.

Keywords: Van de Graaff accelerator ion beam beam impurity
Rutherford scattering technique H_2^+ ions D^+ ions

Application of 321 model beam profile monitor to ion beam technique

Sun Yilin Guan Anmin
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

The application of 321 model beam profile monitor in our ion source test bench is introduced in this paper with a brief description of its structure and working principle. In our case this monitor is applied to control the working condition of ion source for optimum ion beam formation. Experimental results show that this monitor with continuous display is very useful and convenient for ion beam techniques.

Keywords: beam profile monitor vane-type probe ion source
plasma boundary plasma density profile of beam