

布喇格谱仪简介

李祖玉

一、前言

布喇格谱仪英文名称为 Bragg-Curve Spectroscopy ionization chamber, 简称BCS。它是近几年发展起来的一种探测器, 最早由美国贝克莱实验室开始^[1], 其后西德、日本、法国、意大利^[2-6]也相继制作。

布喇格谱仪是其电场平行于粒子径迹的全阻止型电离室。在阳极收集的电离电流的时间依赖包含了有关电离粒子的能量、核电荷、射程等所有知识。用两个不同成形时间的放大器放大阳极信号, 一个与布喇格峰匹配, 另一个与整个布喇格曲线匹配, 就可同

时得到粒子的电荷 Z 、能量 E , 以及射程 R 和 ΔE 等知识, 而不需要使用复杂的计算系统。

布喇格谱仪除了具有普通电离室的优点外(如没有辐射损伤, 容易做到有大的立体角和不同的厚度等), 它还具有一独特的优点, 即只在一种媒质中, 也就是只用一个探测器就能同时得到 E 、 Z 、 R 、 ΔE 信号, 即获得高分辨的粒子鉴别, 因而消除了多探测器的窗和死层效应, 可在较大的能量和粒子范围鉴别粒子。另外由于这种电离室的入射粒子径迹与电场方向相同, 克服了入射粒子方向与电场垂直的电离室的电场不均匀的缺点。由于电场均匀, 允许做成不同的几何形状。因此用这种布喇格谱仪得到了对于粒子电荷

平衡空位, 对于位错运动无疑会有帮助。在 420°C , 点缺陷回复的速度很快, 几分钟之内空位的浓度就可能下降到平衡的水平。因此, 位错的回复在很大程度上也在这一阶段完成。在回复过程中, 位错运动可以形成嵌镶块的边界, 同时位错的滑移面就成为有序畴内部的“亚畴”边界。这时影响合金铁磁性的是亚畴界两侧的Mn-Mn原子对。

另外, 从图5中还可以看到, 形变量越大, Ni_3Mn 的铁磁性回复得越慢。我们推测, 这是由于形变量增加时, 原子排列受到影响造成的。形变量越大, 原子排列偏离有序组态越严重, 回复过程越缓慢。

正电子湮没 S 参数的改变能支持上述看法。形变 Ni_3Mn 的 S 参数在回火10分钟内, 回复 $\sim 50\%$, 40分钟内, 回复 $\sim 70\%$, 以后 S 参数不再回复, 为一稳定值。

比较图6中的谱线, 可知空位对 S 参数的影响约为 $4\sim 5\%$ 。因此, 以上回复过程主

要由位错密度降低造成。 S 参数之所以不能回复到形变前的数值2.56, 是由于位错构成的亚晶界和亚有序畴界在 420°C 回火中不能回复所造成的, 它们对正电子有一定的捕获作用。这也正是磁性实验中 B_5 不能回复到有序态数值的原因。

参考文献

- (1). T. D. Troev et al, Appl. Phys. 13 (1977) 105
- (2). P. Hautajarvi et al, Proc. 5th Intern. Conf. Positron Annihilation, 1979, P149.
- (3). 何永枢 黄懋容等, 全国第二届正电子湮没谱学学术会议论文集, 1984年, 重庆。“Fe-Ni合金马氏体相变缺陷的正电子湮没研究”。
- (4). Н. Я. Дехтяр, И ДР., ДАН СССР, 147, 6 (1962) 1332
- (5). M. Doyama, J. Phys. Soc. Japan, 36(1974) 1706
- (6). K. Kuribayashi, Sol. Sta. Comm., 17, 2 (1975) 143
- (7). H. Fukushima, J. Phys., (F)6, 10 (1976) 1845

Z的高的分辨和可与固体探测器相比较的能量分辨。

二、原理

当带电粒子在穿过一充满气体的电离室时，将产生电子和离子径迹。而在气体中形成一对离子的平均能量几乎与粒子速度无关，因此沿粒子径迹的特定电离将正比于能量损失。若电场均匀，且粒子径迹与电场方向平行，有图1的关系曲线。即对于不同核电荷的离子，布喇格曲线极大值的电离是不同的。随着核电荷的增加，布喇格曲线极大值处的电离近似直线地增加，而对于不同能量的相同粒子仅仅是射程长短的不同，而布喇格曲线极大值处的电离是相同的。因此可通过积分布喇格曲线峰的面积得到入射粒子核电荷的知识，而积分整个的布喇格曲线得到离子的总能量，通过两个不同时间常数的放大器来得到核电荷和能量的信息。放大器时间常数长于总的电子收集时间则得到能量信号。若时间常数与收集布喇格曲线极大值处的电离时间相当，则得到核电荷信息。从径迹长度即可确定粒子的射程。

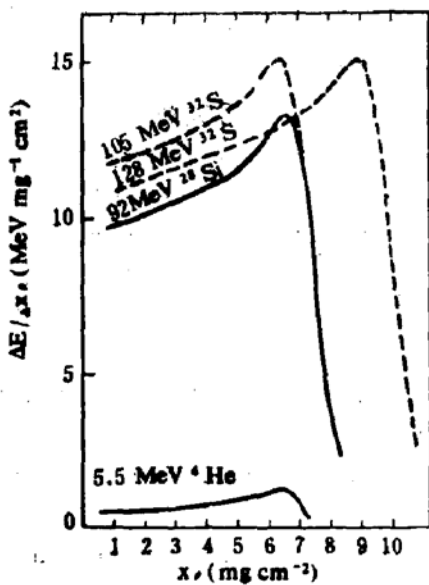


图1. ^{32}S , ^{28}Si 和 α 粒子在 $(\text{CH}_2)_n$ 中的特定能量损失 $\Delta E/\Delta(x\rho)$ 与面密度 $x\rho$ 的关系曲线。

三、探测器的设计

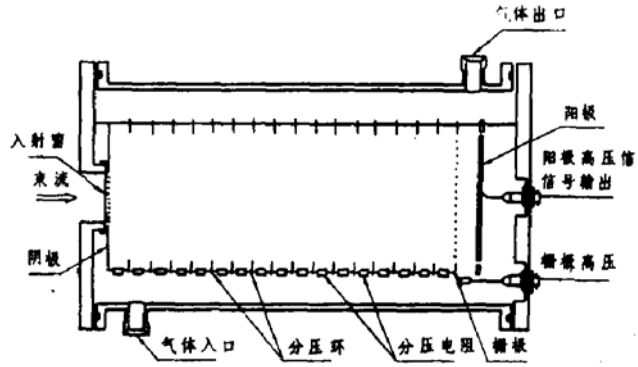


图2. 布喇格谱仪设计示意图。

图2给出布喇格谱仪的设计略图。鉴于其全阻止型电离室的特性，主要的几何尺寸考虑是：Frisch栅到阴极距离长于离子被阻止的距离，阳极到栅极距离短于所感兴趣的重离子的最短射程。为了使电场均匀，在阴极与栅极间加若干分压环，用一电阻串连接。栅阴间所加电场依所选气体而定，对于选定的气体，取电子最大漂移速度对应的约化场强。栅阳间场强一般为栅阴间的3倍。工作气体可以有多种选择，一般选取廉价的 $\text{Ar} + \text{CH}_4$ (90:10)混合气体，如果条件允许，当然阻止本领强的异丁烷(C_4H_{10})是较理想的气体。栅极丝网的设计使其失效率为0.5%左右为最佳。

四、各国的设计指标及其性能

80年代初由美国贝克莱实验室C. R. Gruhn等首先开始制作这种谱仪。他们利用100 MeV的 $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ 反应以及474 MeV的 $^{56}\text{Fe} + ^{197}\text{Au}$ 来研究其谱仪性能，测量其发射的类弹碎片，得到了对 $Z < 26$ 的好的分辨。

紧接着西德、日本、法国、意大利等国也相继开始制作，其制作的设计原理基本相同。下表列出各国制作布喇格谱仪的几何尺寸及其性能比较。从表中可以看出这种谱仪有较好的Z分辨和E分辨，最适宜于用来测量

表

各国制作布喇格谱仪参数和性能比较

	美国 贝克莱实验室	联邦德国 慕尼黑技术大学	日本 原子能研究所	法国 阿城大学	意大利 米兰 ICBN
栅阴间距离 (cm)	28	16	15	22.5	36.6
栅阳间距离 (cm)	3	1	1	0.5	2
分压环个数			14	14	16
栅极丝	直径 40 μ m 间距 560 μ m	铜—镀丝 直径 50 μ m 间距 1mm		铜网 直径 150 μ m 间距 0.8mm	电铸铜网 每英寸 45 条
入射窗	镀铝的 Hostaphan	镀铝的 Mylar 2 μ m	镀铝的 Mylar 4 μ m	镀铝的 Mylar 1.5 μ m	Mylar 1.5 μ m
阴极电压 (V)	0		0	-5460	0
栅极电压 (V)	2800		2630	-460	2000
阳极电压 (V)	3550		3080	0	2150
工作气体	Ar + CH ₄ (93:7)	Ar + CH ₄ (90:10)	异丁烷 C ₄ H ₁₀	异丁烷 C ₄ H ₁₀	Ar + CH ₄ (90:10)
气体压力 (τ)	300	450	120	170	180
核反应	100 MeV ²⁰ Ne + ¹² C 474 MeV ⁵⁶ Fe + ¹⁹⁷ Au	120 MeV ³² S + ⁶⁴ Ni	145 MeV Cl + Al	300 MeV ⁴⁰ Ar + Au	150 MeV ²⁸ Si + ²⁷ Al 419 MeV ⁸⁰ Kr + Cu
能量分辨	0.7% fwhm	0.4% fwhm		0.8% fwhm	0.6% fwhm
电荷分辨	1.2—1.4% fwhm	Z/ Δ Z = 82 对 Z = 16	Z/ Δ Z = 50	2.7% fwhm	Z/ Δ Z = 50—80

深部非弹性反应的轻碎片。作为例子，图 3 和图 4 给出利用意大利核物理研究院米兰分院制作的布喇格谱仪测得的 ²⁸Si + ²⁷Al 反应 BP-E 散射图以及散射图在 BP 轴上的投影。

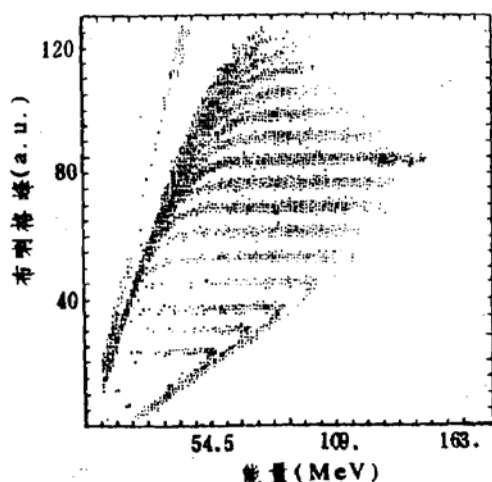


图3. 布喇格峰—能量(BP-E)散射图。
反应: 150MeV ²⁸Si + ²⁷Al, $\theta_{lab} = 20^\circ$,
0.5 μ s成形时间。

从图中看出有相当好的 Z 分辨。这种探测器的局限性是存在阈能 ~ 1 MeV/核子。它来源于开始形成布喇格峰的能量。

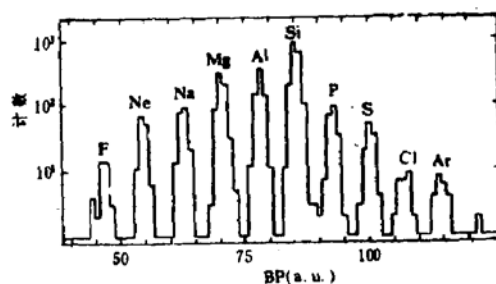


图4. 图3中的散射图在BP轴上的投影, $E_{lab} > 85$ MeV。

五、结束语

鉴于这种探测器设计简单, 制作方便, 有较好的 Z 和 E 分辨。若配合上位置灵敏的多丝正比室 (MWPC) 来取得快的时间信

号,可以预料,它们将在核物理实验中特别是在粒子鉴别的工作中起到越来越大的作用。

参 考 文 献

(1) C. R. Gruhn et. al., Nucl. Inst. & Meth.
196(1982)33

(2) C.H. Schiessl et. al., Nucl. Inst. & Meth.
192(1982)291

(3) H. Ikezoe et. al., Nucl. Inst. & Meth. 196
(1982)215

(4) J.M. Asselineau et. al., Nucl. Inst. & Meth.
204(1982)109

(5) A. Moroni et. al., Nucl. Inst. & Meth. 225
(1984)57