

较大面积厚灵敏层金硅面垒探测器及其应用

王柱生 李存藩 赵荣璞

(中国科学院近代物理研究所)

摘要:本文介绍了 135mm^2 (5 mm 厚)~ 700mm^2 (3 mm 厚) 较大面积厚灵敏层金硅面垒探测器的制造工艺、性能及在核物理实验中的应用。

一、引言

在重离子核反应中,反应产物比较复杂,其能量、质量、电荷数的分布范围很广,其中包括伴随的较高能量的轻粒子发射,如质子和中子等。而轻带电粒子在硅中的射程较大,例如 20MeV 的质子在硅中的射程约 2.5mm, 30MeV 的质子在硅中的射程约 5mm。另外,重离子核反应的每个反应道的几率很小,如在 $^{12}\text{C} + ^{90}\text{Ni} \rightarrow ^{90}\text{Se} + 3\text{n}$ 核反应中, β 延发质子的核反应截面非常小,只有微巴数量级,要有较高的探测效率,须用较大面积的探测器。所以,要使重离子反应中的探测器系统对反应产物的质量和电荷数进行有效鉴别,研制较大面积的厚灵敏层金硅面垒探测器是非常必要的。为满足核物理实验和核技术应用开发的需要,我们研制成功了较大面积厚灵敏层金硅面垒探测器。

二、探测器的制作工艺

较大面积厚灵敏层探测器的探测效率及耗尽层厚度,是衡量探测器质量优劣的重要参数。六十年代,福克斯 (R.J Fox) 报导了增加耗尽厚度的尝试,研制出了灵敏区面积 20mm^2 的探测器,偏压为 1200V 时,用该探测器测得 ^{137}Cs 的电子谱,半宽度为 10 keV。后来,迈耶 (O. MEYER) 等人用电阻率为 $34000\Omega \cdot \text{cm}$ 高阻硅,制作成了耗尽层为 3mm 的探测器,在液态空气下偏压为 800V 时,测

得 ^{207}Bi 的 X 射线和转换电子。探测器的耗尽厚度与硅单晶材料的电阻率 (ρ) 和所加工偏压 (V) 有以下关系:

$$X = 0.5 (\rho V)^{1/2} \quad (\text{对N型Si而言})$$

从上式可以看出,增加电阻率 (ρ) 或提高偏压 (V),都可以增加耗尽层厚度。当电阻率 (ρ) 被材料所限时,提高偏压 (V) 则是增加耗尽厚度的唯一途径,而要提高探测器承受偏压的能力,必须降低反向漏电流。

半导体探测器反向漏电流主要有以下三种来源:

a) 饱和电流:饱和电流 (I_s) 是少数载流子所引起的。

b) 产生电流:产生电流 (I_g) 主要与复合中心的存在有关,而复合中心是由杂质原子或结构的不完整性引起的,并和它们在禁带内的能级有关。

c) 表面漏电流:表面漏电流通常要比饱和电流与产生电流之和大得多,主要取决于硅单晶表面的一系列技术处理。制造探测器要经过许多道工艺流程,在这些工艺流程中难免会在硅片表面沾一些金属离子或水汽分子,这些沾污离子的参与导电直接引起漏电流的剧增。为此,研究重点就是如何把表面漏电流降低到最小值,以便提高探测器承受偏压的能力,从而得到面积较大而且是全耗尽厚探测器。通常采用的工艺流程为:

N型硅片 → 研磨抛光 → 清洗 → 腐蚀 → 冲洗 → 氧化 → 化学处理 → 封装烘烤 → 电极引出 → 测试。

在制作工艺流程中,应用了阿尔曼特劳

特 (ARMANROUT) 和希尔 (SHER) 等人的各种环境对二极管电流的影响实验结果。对硅片采取了酸、化学试剂和特殊氧化等一系列处理，目的在于去除晶体表面的杂质和不稳定的正负电荷，例如灰尘、油脂、指纹、吸附的气体，特别是吸附的水及金属钠离子等，因为这些杂质可能参与导电。在繁锁的工艺流程中，可能会把不稳定的正负电荷引入二氧化硅层中。有些强吸附的杂质在高达 400 ℃ 的温度下仍然结合在硅表面上，只有利用以上断然措施才能把杂质去除。封装过程中为了减少污染，我们在超净室严格进行操作封装。通过上述措施减少了漏电流，工作偏压明显得到了提高，成品率也由此得到提高。

三、探测器的性能

1. V-I 特性

V-I 关系表

电 压 (V)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
编 号								
89002# (153mm ²)	1.00	1.5	1.9	2.25	2.6	2.85	3.2	3.45
89005# (700 mm ²)	0.6	1.0	1.5	2.3	3.0	3.5	4.0	4.2

表中列出了较大面积厚耗尽探测器的反向特性(当时受电源限制，偏压只加 1600V，后来工作时加 3000V 左右)。用表中数据，可直接作出 V-I 特性曲线。

2. 能量分辨

用 89002# 测得的 Thc-c' 源 α 能谱如图 1 所示。图 a 用 89002# 探测器 (700 mm²) 正面入射测得的 Thc-c' 源 α 能谱，图 b 用 89002# 探测器背入射测得的 Thc-c' 源 α 能谱。

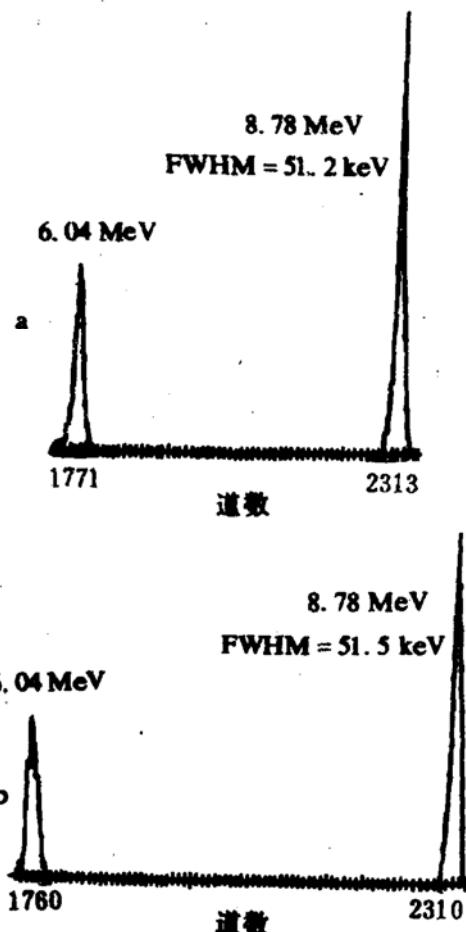


图 1

四、该探测器在核物理实验中的应用

根据我国重离子加速器现有条件，实验通过测量和鉴别反应产物的 A.Z.E 等，期望得出反应产物分布，由产物 A/Z 随不同弹核与靶核的复合系统或弹核 A/Z 的演变情况导出核反应过程熵的变化。由于产物动能高具有一定的穿透本领，采用大面积对数密度分布的半导体探测器组成的望远镜，不仅可得到较好的能量分辨，有一定的探测立体角，也可以从 $\Delta E - ER$ 双维谱上直接鉴别不同的同位素。

该实验用 $46.2(\text{MeV}/\text{A})^{12}\text{C}$ 轰击 ^{89}Ni ，由三块半导体硅探测器组成 $\Delta E - ER$ 望远镜，并置探测器于 6° 立体角，测量了类弹碎

片,结果如所给出的 $\Delta E_1 + \Delta E_2$ 与 ER 构成的双维图(图2)所示。从图可以看出,该探测器对于各种类弹碎片是清楚地分出了各种不同的同位素。

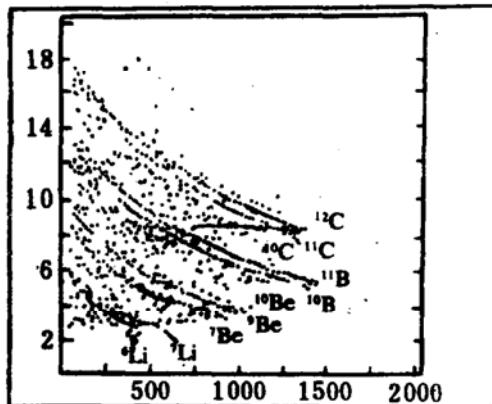


图 2

(上接 50 页)

技术得以研制时,就可用线性扫描器测量偏离焦点的束流分布。此外,为使 FFTB 装置高质量运行,一些相配套的磁元件和电子监控器也需有较高的机械准直和稳定性;即沿全束方向必须调到好于 $30 \mu\text{m}$,就位度必须稳定到 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。现在,来自 DESY (德国) 和 SLAC 的研究小组正研究如何使其达到如此目的。在汉堡 DESY 实验室的新近研究框架内,加速器的调试问题占据了重要的位置。可以预言,即便是严格的安装,组合后的各部件的漂移范围也在几百微米之内。就 FFTB 而言,初次调试就得到水平方

向和垂直方向的精度分别为 $100 \mu\text{m}$ 和 30 m 。近期的工作是尽快研究机械系统可能达到的极限就位值,对磁控制系统也许需要毫微米级的调试结果。

目前,SLAC 的 FFTB 的研制工作也在着手进行,所有参加小组已得到所需经费,而美国能源部已率先研制他们为 FFTB 所承建的部件。该装置可望在 1992 年建成,而 SLAC 的 FFTB 成功建造和正式命名,必将是全世界设计与建设 TeV 级直线对撞机尝试中的一个重要里程碑。

(景成祥摘译自 CERN Courier Vol .30 No .8
1990年)