

## 二维位置灵敏硅探测器性能测试

李安利 周书华 柳卫平  
白希祥 司国建 李志常

(中国原子能科学研究院核物理所, 北京, 102413)

用<sup>239</sup>Pu α 源和 40 与 70 MeV 的 O 和 C 离子在 Au 靶上的散射束对二维位置灵敏硅探测器的性能进行测试。结果表明:在这种测试条件下,在计算位置的公式中用能量信号代替 4 个位置信号之和可获得更好的位置分辨;主放大器的成形时间对探测器的位置分辨有较大的影响。

**关键词** 二维位置灵敏硅探测器 成形时间 位置分辨 非线性

二维位置灵敏硅探测器具有良好的位置与能量分辨及紧凑的结构,在空间实验及核物理实验中得到日益广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。

用二维位置灵敏硅探测器得到的位置分辨和线性,除与探测器本身性能有关外,还与所用电子学仪器的性能和状态有关。为了检验二维位置灵敏硅探测器的性能并找出最佳工作条件,用 α 源和加速器上的重离子束对其进行一系列测试。

### 1 实验

所用位置灵敏探测器是日本 Hamamatsu Photonics 公司生产的离子注入型硅探测器,其灵敏面积为 45 mm × 45 mm,厚度为 400 μm。通过将硼离子注入正面的(位置灵敏)电极而形成表面电阻为  $R_s$  的电阻性阳极和 p-n 结。阳极面的四周有一圈由附加的离子注入形成的、具有较低电阻  $R_1$  的窄条,条宽为 250 μm。在阳极的 4 个角上,用蒸发法在离子注入层上形成标称厚度为 1 μm 的铝电接点,用作位置信号引出。在探测器背面,蒸有标称厚度为  $200 \times 10^{-8}$  cm 的金层,用作能量路的输出电极。

探测器的特性电阻  $R_s$  和  $R_1$  为 18 和 1.4 kΩ,在偏压为 +100 V 时的漏电电流为 320 nA,结电容为 500 pF。

为了对探测器系统的位置分辨线性及不同位置上的能量分辨进行检验,在距探测器入射面 4 mm 处放置一片多孔准直器(排列成 9 × 9 的方阵的准直孔),准直孔的直径为 0.5 mm,孔的行(列)距为 5 mm。

收稿日期:1993-01-01 收到修改稿日期:1993-02-15

实验是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列式静电加速器的通用靶室内进行的。

在用  $\alpha$  源进行的测量中,将活度为  $1.5 \times 10^5$  Bq 的  $^{239}\text{Pu}$  分子电镀源放置在探测器中心的法线上距准直器 70 mm 处,靶室的真空度为 0.13 Pa,计数率在 10/s 左右。

在用加速器进行的测量中,入射到探测器上的粒子分别是加速到 40 和 70 MeV 的 O 和 C 离子束在厚为  $6 \text{ mg/cm}^2$  的 Au 靶上产生的散射离子。Au 靶的法线与束流方向成  $30^\circ$ 。位置灵敏探测器放在距靶 30 cm 处与束流成  $60^\circ$  的方向上。探测器平面与探测器中心到靶心的连线垂直,靶点的直径约 3 mm,靶室的真空度为  $4 \times 10^{-4}$  Pa,实验中计数率控制在小于  $10^3/\text{s}$  的水平。

图 1 是电子学线路的方框图。电荷灵敏前置放大器采用的是 ORTEC 142B, +100V 偏压通过能量路的前置放大器的偏压输入端加到探测器背面的电极上。4 个阳极位置信号输出路的前置放大器的偏压输入端接地。主放大器是 ORTEC571 或 572。能量路主放大器的成形时间一般设置在  $6 \mu\text{s}$ 。当位置路的成形时间增加到  $10 \mu\text{s}$  时,位置分辨明显变坏。因此,只对位置路成形时间为 1、2、3 和  $6 \mu\text{s}$  的情况进行测量,以观测成形时间对位置分辨和线性的影响。各路电子学的放大倍数均用精密脉冲产生器进行刻度。4 路阳极位置信号输出的电子学放大倍数尽量调成相同大小。在  $\alpha$  的测量中发现,由于位置信号的脉冲幅度很小,从前置放大器到主放大器之间的长电缆拾取的噪声会使信噪比变得很差。为了克服这一问题,在测量中,将主放大器与前置放大器作短联结。各路主放大器的输出信号经长电缆传送到延迟放大器(ORTEC 427A)后送到 AD811 进行模数变换。能量路主放大器的双极性输出信号输入到单道脉冲幅度分析器,其前沿触发的输出信号经过倒相后送到 GG8000 门信号产生器,用产生的门信号作为 ADC 的主触发信号。数据获取用 PDP11 计算机。

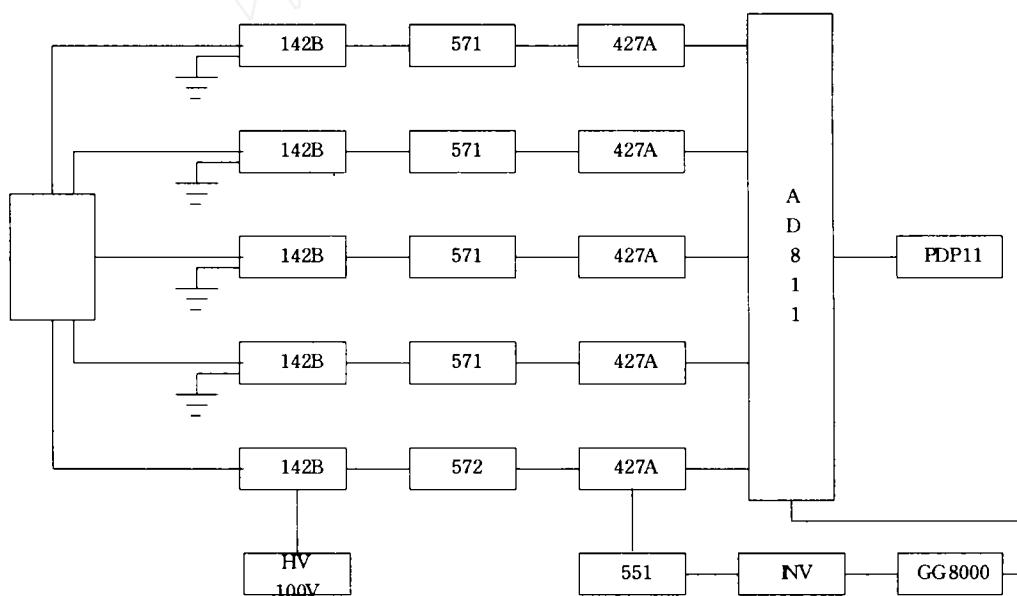


图 1 二维位置灵敏硅探测器的电子学方框图

Fig. 1 Block diagram showing the electronics used for testing the two-dimensional position sensitive silicon detector

## 2 结果

用 $\alpha$ 粒子所做实验表明,能量路放大器的成形时间为1—3 $\mu\text{s}$ 时,电荷收集不完全造成能量分辨与成形时间有关,而且能量路的脉冲高度随粒子入射位置而变化,当成形时间为6 $\mu\text{s}$ 以上时,能量分辨达到最佳值且不再随成形时间和入射位置而改变。图2是测得的 $^{239}\text{Pu}$ 源的 $\alpha$ 粒子能谱,成形时间为6 $\mu\text{s}$ ,其中5.147 MeV $\alpha$ 峰的FWHM和FW0.1M分辨分别为90 keV和147 keV。图3是成形时间为6 $\mu\text{s}$ 时与各准直孔相对应的位置上 $^{239}\text{Pu}$ 的5.147 MeV $\alpha$ 的脉冲高度谱,其分辨基本上与位置无关。

对于二维位置灵敏探测器<sup>[1]</sup>,入射粒子的位置坐标由下式确定:

$$\begin{aligned} X/L &= [(C + D) - (A + B)] \\ &\quad / (A + B + C + D), \\ Y/L &= [(A + C) - (B + D)] \\ &\quad / (A + B + C + D); \end{aligned} \quad (1)$$

其中,A、B、C和D是探测器位置信号的脉冲高度,L是探测器边长的二分之一。在后面的讨论中将会看到,当入射粒子的单能性较好时,用探测器能量输出信号的脉冲高度代替(A+B+C+D)能得到更好的位置分辨。因而,不特别指明时,本文给出的位置特性都是用能量输出脉冲高度作为式(1)中的分母而求得的。

在对40 MeV的C离子测量中,位置路的成形时间为3 $\mu\text{s}$ 时,分别对能量路的成形时间为6 $\mu\text{s}$ 和10 $\mu\text{s}$ 的情况进行了测量,结果没有什么差别。因而,在所有其余的测量中,能量路的成形时间固定为6 $\mu\text{s}$ 。在以下的讨论中,凡提及成形时间,均指位置路。

在用 $\alpha$ 源测量时,用能谱中5.147 MeV的峰做开门信号。测得的二维位置分布示于图4a,该分布是在成形时间为1 $\mu\text{s}$ 时得到的。图4b是用蒙特卡罗法计算的纯几何因素造成的位置分辨。可以看出,测得的准直孔分布存在着变形,越靠近探测器的边缘变形越大。这主要是在边缘部分电荷收集不完全所致。

根据脉冲产生器刻度的结果做线性拟合,求出电子学线路的零点和放大倍数(即截距和斜率)后,可以看到,截距改变时,对位置非线性影响不大,而对斜率进行调整,可在一定程度上补偿探测器的非线性。调整方法是:首先观察刻度后A、B、C和D 4路的位置信号谱,可以看到,在斜率上仍存在着差异(4个谱的宽度不同)。调整斜率,使4个谱的宽度尽量一致,这样可使整个探测器电子学系统的非线性得到改善。图5a是对70 MeV的C离子散射,成形时间为1 $\mu\text{s}$ 时测得的数据,用未经修正的公式刻度后,求得的准直孔的位置分布在X轴上的投影;图5b是同一数据用斜率经过修正的公式刻度后求得的,可以看出这种补偿作用。本文给出的结果,都是用经过调整的刻度公式得到的。

图6是在成形时间为1 $\mu\text{s}$ 、用70 MeV的C离子测量时,将二维谱中部的一行和一系列分别

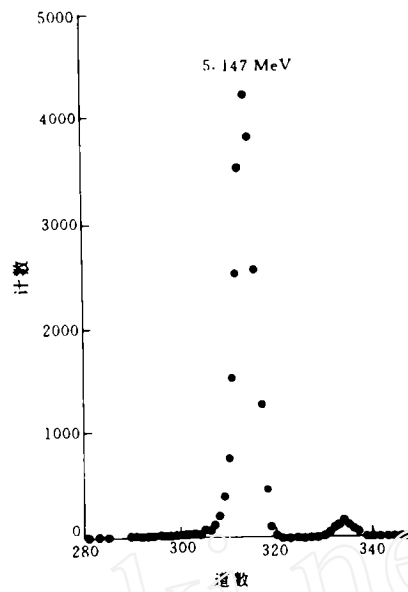


图2  $^{239}\text{Pu}$ 源的 $\alpha$ 粒子能谱

Fig. 2 The alpha particle energy spectrum of the  $^{239}\text{Pu}$  source

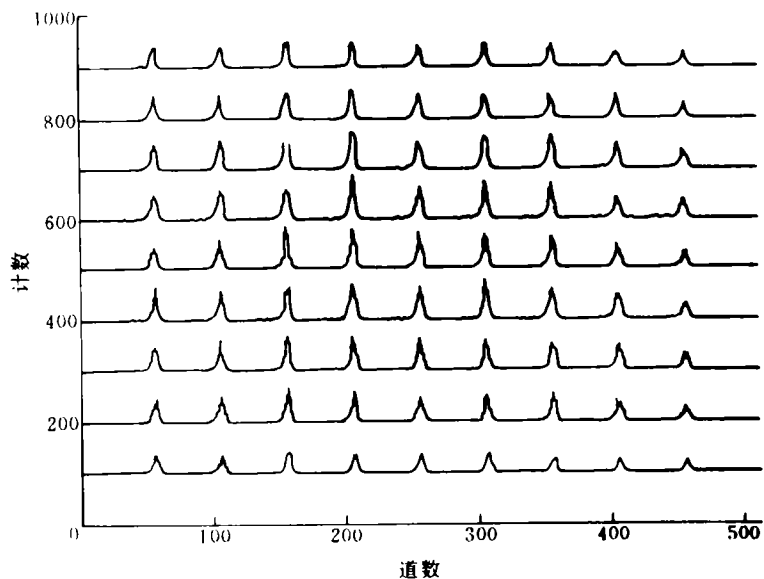


图 3 通过各准直孔的<sup>239</sup>Pu 的 5.147 MeV  $\alpha$  脉冲高度谱

Fig. 3 The pulse height spectra for 5.147 MeV  $\alpha$  of <sup>239</sup>Pu through the collimator holes

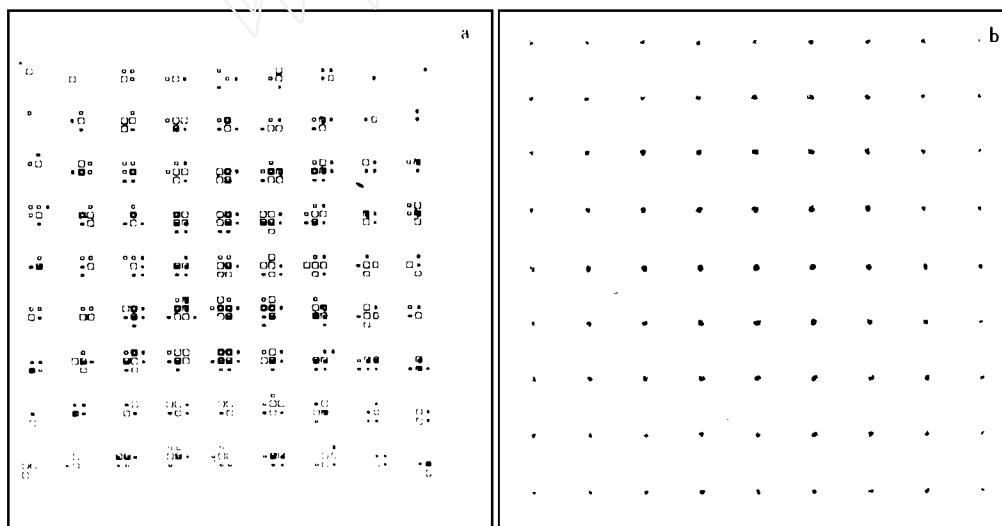


图 4 <sup>239</sup>Pu 的 5.147 MeV  $\alpha$  粒子通过准直孔后的二维位置分布

Fig. 4 The two-dimensional position distribution for 5.147 MeV  $\alpha$  of the <sup>239</sup>Pu source through the collimator holes

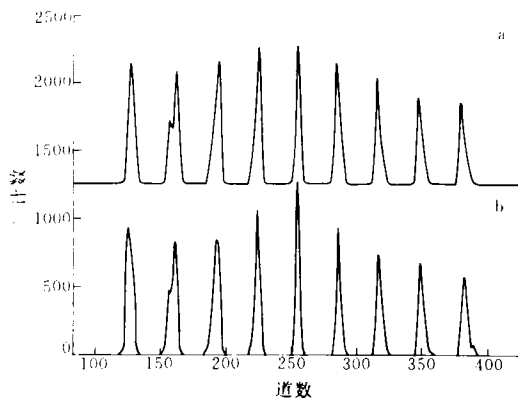


图 5 用 70 MeV 碳离子测得的 X 轴方向的位置分布

Fig. 5 The projection of the position distribution for 70 MeV C ion beam through the collimator holes onto X axis

投影到 X 轴和 Y 轴得到的。由图可见, X 轴方向的位置分辨明显比 Y 轴的好, 这种差别在其他条件下也存在。一种可能的起因是各路电子学线路中同位相的感应噪声幅度不同, 由公式 (1) 可以看出, 如果 A 和 C 两路的感应噪声比 B 与 D 两路的大, 那么在计算 X 时, A 和 C 两路的感应幅度相减; 而在计算 Y 时两路的感应噪声幅度相加, 这就使 X 的分辨比 Y 的要好。实验中, 观测到 A 和 C 两路的感应噪声的确较大。

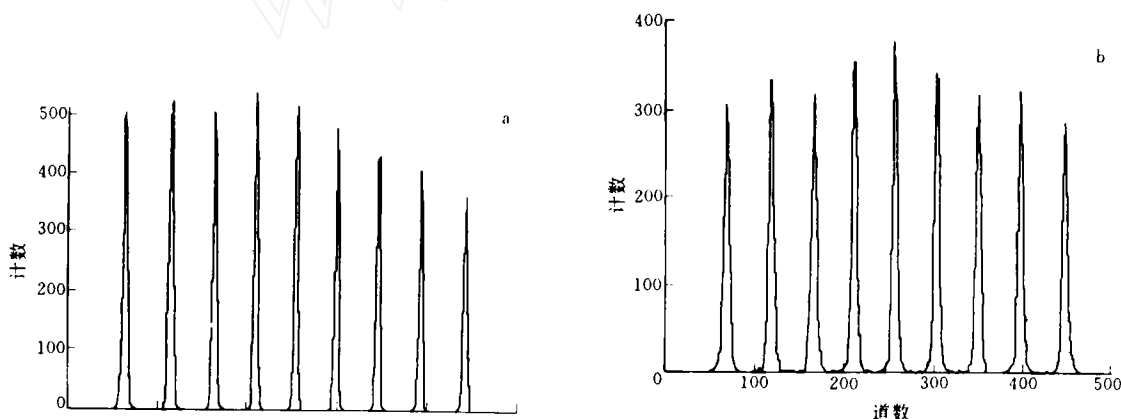


图 6 将二维谱中部的一行和一列分别投影到 X 轴(a)和 Y 轴(b)得到的位置分布

Fig. 6 Position distributions obtained by projecting the central row (a) and central column (b) of the two dimensional spectrum onto X and Y axes, respectively for 70 MeV C ion beam through the collimator

对探测器的位置分辨和非线性测量结果列于表 1。可以看出, 随着入射粒子能量的增加, 位置分辨率提高。这与  $\Delta L$  与  $L/E$  成正比<sup>[1]</sup>是一致的, 主要也是信噪比变好的结果。从表 1 还可以看出, 随着成形时间的减小位置分辨变好。这反映了在所研究的范围内, 成形时间对信

噪比影响较大。

表 1 二维位置灵敏硅探测器的位置分辨和非线性的测试结果

Table 1 Summary of the position resolution and nonlinearity of the two-dimensional position sensitive silicon detector

入射粒子	能量/MeV	成形时间/ $\mu$ s	位置分辨 FWHM/mm		非线性/%	
			X	Y	X	Y
O	40	1	0.9—1.2		$\pm 3.9$	$\pm 3.2$
		2	1.02—1.25		$\pm 3.0$	$\pm 3.0$
		3	1.15—1.43		$\pm 5.4$	$\pm 5.3$
	70	6	差			
		1	0.5—1.29			
		2	0.61—0.92		$\pm 2.6$	$\pm 3.0$
C	40	3	1.0—1.1		$\pm 3.9$	$\pm 4.3$
		6	1.2—1.5			
		1	1.0—1.375		$\pm 3.9$	$\pm 3.2$
	70	3	1.15—1.43			
		1	0.5—1.29		$\pm 2.0$	$\pm 2.0$
		2	0.61—0.76		$\pm 4.5$	$\pm 4.5$
$\alpha$	5.147	3	0.61—1.03		$\pm 3.9$	$\pm 4.3$
		6	1.4			
		1	2.14		$\pm 2.3$	$\pm 2.3$
	差	2			$\pm 2.9$	$\pm 3.0$
		3				

表 1 中给出的非线性值,是指未经刻度的 X 和 Y 方向的各孔距测量值中,在正负两个方向上偏离平均值最大的两个值的平均。可以看出,除了 70 MeV 的 C 离子在成形时间为 2  $\mu$ s 的数据之外,相同能量、相同成形时间的 O 和 C 离子的非线性值相近;所测 3 种离子的非线性值似乎是随成形时间的增加而增加,后一结果与文献[1]不符。从原理上讲,随成形时间增加,电荷收集得更加完全,因而非线性应有所改善。这种不一致的原因可能是电子学线路的低频(50 Hz)噪声较大,成形时间增加时,低频噪声幅度也增加,信噪比变差,入射到靠近探测器某个角上的离子在最远的引出端

所产生的幅度较小的脉冲与噪声区分不开而被甄别掉,继而导致所测出的位置向最靠近的角落偏移。而这种效应超过了成形时间对电荷收集的影响。

图 7 是对于 40 MeV 的 O 离子,使用式(1)时,分母分别用 4 路位置信号之和(a)与用能量路信号(b)代替时,所得到的 X 方向的位置分布。可见分母未用能量信号时,位置分辨更好。这可能是由于 4 路位置信号的信噪比要比能量信号的差。用位置信号作分母时,将较差的分

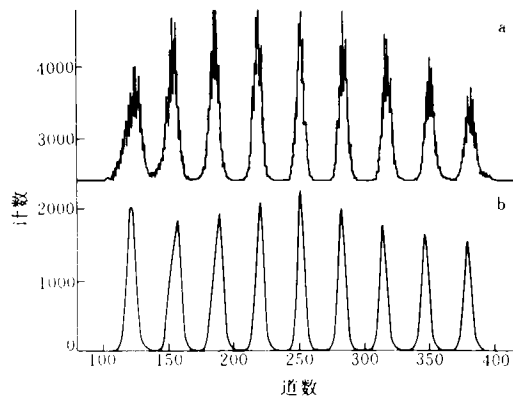


图 7 40 MeV 的 O 离子在 X 方向的位置分布  
Fig. 7 The position distribution along X-axis for 40 MeV O ion beam

辨代入到位置的计算中,其影响超过了这种处理方法应有的补偿作用。

### 参 考 文 献

- 1 Yanaqimachi T, Doke T, Hasebe N, et al. New Two-dimensional Position Sensitive Silicon Detector with Good Position Linearity and Resolution. Nucl Instrum Methods, 1989, A275:307.
- 2 Liu WP, Kubo T, Kumagai H, et al. Identification of Projectile Fragments Using Position Sensitive Silicon Detectors. Nucl Instrum Methods, 1990, A 287:476.

## TEST OF TWO-DIMENSIONAL POSITION SENSITIVE SILICON DETECTOR

LI ANLI ZHOU SHUHUA LIU WEIPING

BAI XIXIANG SI GUOJIAN LI ZHICHANG

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275(60), Beijing, 102413)

### ABSTRACT

The two-dimensional position sensitive silicon detector is tested using  $^{239}\text{Pu}$   $\alpha$  source and Oxygen and Carbon beams accelerated to 40 MeV and 70 MeV. The results indicate that better position resolution is obtained when the sum of the four position signals is replaced by the energy signal in the position formula. The shaping time of the main amplifier has obvious influence on the position resolution.

**Key words** Two-dimensional position sensitive silicon detector Shaping time Position resolution Nonlinearity