半导体α谱仪测量铝箔厚度实验报告

1 实验目的

了解金硅面垒半导体探测器α谱仪测量α粒子能谱的方法。

掌握α谱仪的调整技术，及使用α谱仪测量α粒子能谱的方法。

学会用α谱仪测量能量损失求薄铝箔厚度的方法。

测定核素α衰变的相对强度。

2 实验原理

金硅面垒型半导体α谱仪具有能量分辨率高，能量线性范围宽，脉冲上升时间快，体积小和价格便宜等优点。带电粒子进入灵敏区，损失能量产生电子空穴对。若灵敏区的厚度大于入射粒子在硅中的射程，则带电粒子的能量E全部损失其中，产生的总电荷量等于，为产生的电子空穴对数，为电子电量。

当探测器输出回路时间常数＞＞电子空穴对收集时间时，输出电压脉冲幅度。



其中是探测器结电容，是前放输入电容，是分布电容。当不变时。但与所加反向偏压有关这对能谱测量不利，因此半导体探测器都采用电荷灵敏前置放大器。是放大器的开环增益，是反馈电容，放大器的等效输入电容为。只要，就有：

（1）

这样，输出脉冲幅度就与结电容无关。只要探测器结区厚度大于α粒子在其中的射程，输出幅度就与入射粒子能量有线性关系。

**2.1 确定半导体探测器的偏压**

因灵敏区的厚度和结电容的大小决定于外加偏压，所以偏压的选择首先要使入射粒子的能量全部损耗在灵敏区中和由它所产生的电荷完全被收集。

电荷灵敏放大器的噪声水平随外接电容的增加而增加，探测器的结电容就相当它的外接电容，因此提高偏压降低结电容相当于减少噪声，增加信号幅度，提高了信噪比，从而改善探测器的能量分辨率。

因此为了得到最佳的能量分辨率，探测器的偏压应选择最佳范围。

**2.2 α谱仪的能量刻度和能量分辨率**

谱仪的能量刻度是确定α粒子能量与脉冲幅度之间的对应关系。测量α谱仪系统的能量刻度可以通过作能量对应道址的刻度曲线，表示为：

（2）

为α粒子能量(keV)，为对应谱峰所在道址(道)。是直线斜率(keV/每道)，称为能量刻度常数。是直线截距(keV).

谱仪的能量分辨率也用谱线的半宽度FWHM表示。FWHM是谱线峰最大计数一半处的宽度，以道数表示，还可由谱仪的能量刻度常数转换为能量，以keV表示。

影响半导体探测器能量分辨率的主要因素有：①产生电子空穴对数和能量损失的统计涨落()；②探测器噪声()；③电子学噪声，主要是前置放大器的噪声()；④α粒子穿过的探测器窗厚和放射源厚度的不均匀引起的能量展宽()。

实验测出谱线的展宽是由以上因素所造成影响的总和，表示为

 （3）

**2.3 确定放射源的α衰变的绝对强度**

由于面垒性半导体探测器有效体积内的探测效率基本是100%，因此可以得到源的强度：

（4）

：源到探测器距离, ：探测器半径 (cm),：测量时间（实时，second），：三个α峰内总计数。

**2.4 α粒子通过物质的能量损失求薄箔厚度**

带电粒子在吸收物质中单位路程上的能量损失即能量损失率，也称为吸收物质对入射带电粒子的线性阻止本领，以S表示：

在带电粒子能量不很高时，近似可以用下式表示

这里，，分别是带电粒子的能量，原子序数及速度，，是电子的静止质量和电荷，，是吸收物质单位体积的原子数和原子序数。

当α粒子穿过厚度为的薄吸收体后，能量由*E*1变成*E*2，可以写成



其中()是平均能量的能量损失率。这样如果测定了α粒子的能量损失就可以求得薄箔的厚度，当α能损较小时，

（5）

但当箔较厚，α能损较大时，能量为*E*1的α粒子在吸收物质中的射程为*R*1，在入射方向上走过后的剩余射程为*R*2，能量也变成*E*2，因此，可表示为

 （6）

带电粒子在种种物质中的射程己做了广泛的测量。

表1 α粒子在Au和Al中的射程—能量数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| E（MeV） | | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 |
| 射程  mg/cm2 | Au | 1.31 | 1.9 | 2.50 | 3.12 | 3.79 |
| Al |  |  |  |  |  |
| E（MeV） | | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 射程  mg/cm2 | Au | 4.47 | 5.97 | 7.59 | 9.34 | 11.0 |
| Al | 1.38 | 1.85 | 2.35 | 2.95 | 3.60 |
| E（MeV） | | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 |
| 射程  mg/cm2 | Au | 13.1 | 15.2 | 17.4 | 19.7 | 22.1 |
| Al | 4.28 | 5.0 | 5.85 | 6.60 | 7.60 |

3 实验装置

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **名称** | **型号** | **数量** |
| 简易α谱仪全套 | FH 1903 | 1台 |
| 偏压 | ORTEC428/FH1004A | 1个 |
| 精密脉冲发生器 | ORTEC 419/FH1013B | 1个 |
| 线性放大器 | ORTEC 590A/BH1218 | 1个 |
| 多道脉冲幅度分析器 | ORTEC MCA2k | 1台 |
| 示波器 |  | 1台 |
| 机械泵 |  | 1台 |
| 金硅面垒探测器 | GM-12-Ⅲ-A | 1块 |
| 放射源 | 241Am α源 | 1个 |
| 铝箔 |  | 3片 |

4 实验步骤及数据处理

**4.1 调整谱仪到正常工作状态**

选择偏置电压为，时间常数为。

表2 抽真空与不抽真空条件下的输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 幅度 | 达峰时间 |
| 抽真空 |  |  |
| 不抽真空 |  |  |

可见，抽真空可以减少信号衰减，增强信号幅度。

固定偏置电压为，抽真空，改变时间常数，观察输出波形的变化。

表3 不同时间常数下的输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间常数 | 幅度 | 达峰时间 |
|  |  |  |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |

可见，时间常数越长，信号持续时间越长。

固定偏置电压为，时间常数为。在四种情况下测量能量分辨率。

表4 四种情况下的能量分辨率

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 抽真空 | | | 不抽真空 | | |
|  | 峰位 | 半宽 | 能量分辨率 | 峰位 | 半宽 | 能量分辨率 |
| 加偏置 |  |  |  | 无 | 无 | 无 |
| 不加偏置 |  |  |  | 无 | 无 | 无 |

可见，在抽真空的同时加偏置电压，能量分辨率最高。

抽真空，改变偏置电压和时间常数，测量能量分辨率。

表5 不同偏置电压与时间常数下的能量分辨率

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电压  时间常数 |  |  |  |  |  |
|  | 峰位 |  |  |  |  |
| 半宽 |  |  |  |  |
| 能量分辨率 |  |  |  |  |
|  | 峰位 |  |  |  |  |
| 半宽 |  |  |  |  |
| 能量分辨率 |  |  |  |  |
|  | 峰位 |  |  |  |  |
| 半宽 |  |  |  |  |
| 能量分辨率 |  |  |  |  |

所以选择偏置电压，时间常数。

当偏压增大时，结电容减小，信号幅度就增大，噪声影响变小。但当偏压过大时，会引发漏电流等问题，导致噪声增大。所以应该选择合适的偏压。

**4.2 对谱仪作能量刻度**

调节精密脉冲发生器的“幅度”旋钮到读数。调节“标准”旋钮，使精密脉冲发生器的输出信号与源的输出信号的峰位重合，此时峰位道址为。

固定“标准”旋钮，改变“幅度”旋钮来模拟不同能量的α粒子。

表6 不同能量α粒子的输出信号

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 能量 |  |  |  |  |  |  |  |
| 峰位 |  |  |  |  |  |  |  |
| 半宽 |  |  |  |  |  |  |  |

图1 能量刻度曲线

得到能量刻度曲线为，

测得源的α谱线的半宽度为，所以谱仪的能量分辨率为。

**4.3 测量铝箔厚度**

将铝箔放入真空腔中，测量α粒子通过铝箔之后的谱线峰值。测得峰位为，利用之前测得的能量刻度曲线，得到对应的能量为。

根据表1，可得，。

所以铝箔厚度为。

**4.4 求谱仪电子学及探测器噪声引起的谱线展宽**

之前已测得精密脉冲发生器对应的谱线半宽度为，总的半宽度为，由式（3）可得谱仪电子学及探测器噪声引起的谱线展宽为，对应能量约为。

**4.5 测量放射源绝对活度**

测量峰的总计数，利用式（4）计算放射源活度。

测得，，已知放射源到金硅面垒的距离为，金硅面垒的灵敏窗直径为。所以可计算放射源活度，