

一、实验目的

- 1、了解金硅面垒半导体探测器、 α 谱仪的工作原理和特性。
- 2、掌握 α 谱仪的调整技术及使用 α 谱仪的方法。
- 3、利用 α 谱仪测量未知 α 源的能量，辨识未知源
- 4、了解 α 粒子通过物质时的能量损失及其规律。
- 5、学习从能损测量求薄片厚度的方法。

二、实验原理

1、半导体能谱仪基本工作原理

金硅面垒探测器是用一片 N 型硅，蒸上一层薄金层 (100-200 \AA)，接近金膜的那一层硅具有 P 型硅的特性，这种方式形成的 PN 结靠近表面层，结区即为探测粒子的灵敏区。探测器上作时加反向偏压，粒子在灵敏区内损失能量转变为与其能量成正比的电脉冲信号，经放大并由多道分析器测量脉冲信号按幅度的分布，从而给出带电粒子的能谱。偏置放大器的作用是当多道分析器的道数不够用时，利用它切割，展宽脉冲幅度，以利对脉冲幅度的精确分析。为了提高谱仪的能量分辨率，探测器最好放在真空中。另外金硅面垒探测器一般具有光敏的特性，在使用过程中，应有光屏蔽措施。

金硅面重型半导体 α 谱仪具有能量分辨率好, 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。形成一对电子空穴所需的能量 w 和半导体材料有关, 与入射粒子类型和能量无关。对于硅在 300K 时, w 为 3.62eV, 77K 时为 3.76eV。对于锗, 在 77K 时 w 为 2.96eV。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 全部损失在其中, 应生的总电荷量 Q 等于 $(E/w)e$ 。 E/w 为产生的电子空穴对数, e 为电子电量。当外加偏压时, 灵敏区的电场强度很大, 产生的电子空穴对全部被收集, 最后在两极形成电荷脉冲。它在持续时间内的积分等于总电量 Q 。通常在半导体探测器设备中使用电荷灵敏前置放大器。它的输出信号与输入到放大器的电荷成正比。

由于选用了电荷灵敏放大器作为前级放大器, 它的输出信号与输入电荷 Q 成正比, 而与探测器的结电容 c 无关。但是结电容的大小直接影响噪声, 结电容大噪声就大。但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. 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, 电子空穴复合和“涨落”的影响可以忽

略。其次还要考虑到探测器结电容对前置放大器来说还起着噪声源的作用。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于它的外接电容。因此提高偏压,降低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。从上述观点来看,要求偏压加得高一点,但是偏压过高,探测器的漏电流也增大而使分辨率变坏。因此为了得到最佳分辨率,探测器的偏压应选择最佳范围。实验上可通过测量不同偏压下的 α 能谱求得,并由此实验数据,分别作出一组峰位和能量分辨率对应不同偏压的曲线,分析以上结果,并考虑到需要测量的 α 粒子的能量范围,确定出探测器最佳偏压值。

3、 α 谱仪的能量刻度与能量分辨率

谱仪的能量刻度就是确定 α 粒子能量与脉冲幅度之间的对应关系。脉冲幅度大小以谱线峰位或多道分析器中的道址来表示。

在与能量刻度相同的测量条件下(如偏压、放大倍数、几何条件等),测量未知 α 源的脉冲谱,由谱线峰位求得对应 α 粒子能量,从而确定未知 α 源成份。

4、 α 粒子的能量损失

天然放射性物质放出的 α 粒子,能量范围是3-8MeV。在这个能区内, α 粒子的核反应截面很小,因此可以

忽略。 α 粒子与原子核之间虽然有可能产生卢瑟福散射，但几率较小。它与物质的相互作用主要是与核外电子的相互作用。 α 粒子与电子碰撞，将使原子电离、激发而损失其能量。在一次碰撞中，具有质量为 m_1 ，能量为 E 的带电粒子，转移给电子（质量为 m_0 ）的最大能量约为 $4Em_0 / m_1$ ， α 粒子的质量比电子大得多，所以每碰撞一次，只有能量的一小部分转移给电子。当它通过吸收体时，经过多次碰撞后，才损失较多能量。每一次碰撞后， α 粒子的运动方向基本上不发生偏转，因而它通过物质的射程几乎接近直线。带电粒子在吸收体内单位路程上的能量损失即能量损失率 $-dE/dx$ ，称为线性阻止本领 S 。利用线性阻止本领的定义，我们可以通过测量 α 粒子通过薄箔后的能量来测量箔的厚度。

三、实验内容

1. 调整谱仪参数，测量不同偏压下的 α 粒子能谱，并确定探测器的工作偏压。
2. 测定谱仪的能量分辨率，并进行能量刻度。
3. 测量未知 α 源的能谱，并确定 α 粒子能量。
4. 测量 Am 及 Pu 的 α 粒子的能谱，作能量刻度。
5. 测量 Am 的 α 粒子通过铝箔及 MYlar 薄箔后的能

谐。

6. 从所测各系能谱, 确定峰位、半宽度、 α 。粒子通过待测样品后的能量损失, 计算阻止本领 (dE/dx) 与均及薄销的厚度 ($\mu g/cm^2$)

四、实验步骤

1. 按图 17-1 联接仪器。用 Am 源调整谱仪, 如果在真空中做实验时, 将源 (Am) 放入真空室抽真空, 调整谱仪参数, 用示波器测量脉冲幅度随偏压变化范围并测量抽真空与不抽真空条件下输出波形的变化。如果在空气中做此实验时, 调整谱仪工作参数, 用示波器测量输出脉冲幅度随偏压的变化趋势。

2. 用示波器观察线性放大器输出脉冲波形。当金硅面垒半导体偏置电压预选为 60V 时, 在方格纸上记录抽真空与不抽真空下的输出波形, 并记录线性放大器不同时间常数时输出波形的变化关系。

3. 选择多道分析器参数, 测量 α 谱。改变偏压为: 5、10、20、30、50、60、80、90、100、110、120 伏时分别测量不同偏压下的 α 谱线, 从幅度和能量分辨率两方面确定最佳偏压。

4. 用多道分析器测量 Pu、Am、cm 混合刻度源的能谱, 作能量刻度曲线。在同样条件下测出未知 α 源的能谱。

注意: 此实验用单道分析器测量 A_m 能谱时, 为了容易找到峰, 先用积分档将甄别阈从大到小旋转, 从没有计数到有较多计数时, 这就是大致的峰位。然后再用微分档测能谱, 把单道分析器的通宽固定在 $0.02V$, 利用 ^{241}Am 的半宽度确定谱仪的能量分辨率。

要求: 所有实验曲线半宽度以上各点的统计误差, 要求好于 3%。

5. 连接好仪器, 真空室内安放好放射源并抽成真空, 调节线性放大器倍数, 使 A_m 的峰位在 400 道附近, 测量 A_m 的 α 能谱。

6. 调节精密脉冲发生器的幅度, 使放大器的输出幅度在源 A_m 的峰位附近, 记下发生器的幅度及多道分析器上的峰的通道数, 然后减小发生器的幅度在 Pu 源的峰位附近再测一点, 再逐渐减小幅度作若干个点, 得到发生器的幅度—通道数校正曲线。

7. 在源和探测器之间安放待测薄箔样品, 测量能谱 (峰面积下的计数约 5×10^4)。

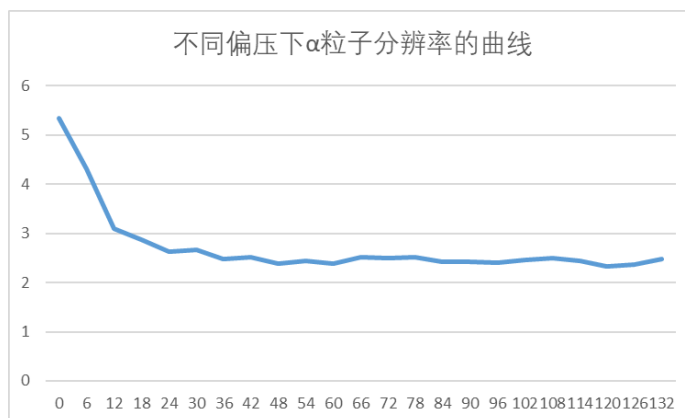
8. 应用 (7) 式计算铝的阻止截面 Σ , 应用 (5) 式计算铝箔的厚度 ($\mu g/cm^2$)。 (A_m 的 α 粒子能量见附录 5),

注意事项

1. 在停止抽真空, 打开真空室盖之前, 必须先关掉探测器偏压电源, 以免探测器见光损坏。
2. 严禁手拿 α 源, 用镊子时注意别划伤源表面。
3. 为保护前级场效应管, 偏压升降速度小于 20V/sec 。

五、实验数据与处理。

不同偏压下的 α 粒子能谱见实验原始数据所示。根据其



绘制图像如下:

根据我们的选取原则, 我们选取左右两侧差值较小的极小值点。因此, 我们选取 90V 为我们最合适的偏压。

我们依旧注意到, 我们的实验源达到指定计数时间用时较短, 但分辨率相较于其他组的实验 FWHM 较大。初步推断这是由于我们的放射源活度过高, 存在其他衰变过程引起的。但是我们的分辨率依然在实验要求的 3% 以下, 数据依然合格可以使用。

能量标定数据如实验原始数据所示。我们注意到, Pu 源存在双峰结构, 说明内部存在两种衰变。我们取第一个峰结构为我们的标定值, 最终求得能量刻度标定关系为:

$$E = g\alpha + E_0$$

式中 α 为峰位的道数。通过直线拟合, 我们得到拟合关系式为:

$$g = 7.8238 \text{ keV}/\alpha$$

$$E_0 = 536.54 \text{ keV}$$

测量阻止本领能谱实验数据如实验报告所示。

铝的厚度计算:

我们计算出 α 粒子在穿透前后的能量分别为多少, 并且以 E 的中间值为标准。

将穿透铝箔后的 α 谱仪峰位计数带入能量标定得到能量为:

$$E_{\text{末}} = 3163.2 \text{ keV}$$

所以平均能量为

$$E_{\text{平均}} = 4321.6 \text{ keV}$$

由公式, 算出铝在该能量下的阻止截面为:

$$\text{阻止截面} = 29.605 \text{ eV}/10^{15} \text{ atom cm}^{-2}$$

考虑单位质量内铝原子的数量。计算 m/A 为:

苗立扬

PB19000132

$$M/A = 1\mu\text{g}/27 \times 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

两式相除得到铝箔的阻止本领为:

$$dE/dx = 0.66 \text{ keV}/\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$$

结合实验数据, 算得铝箔的厚度为:

$$d = 3509.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$$

Mylar 膜厚度的计算:

将穿透铝箔后的 α 谱仪峰位计数带入能量标定得到能量为:

$$E_{\text{本}} = 4622.1 \text{ keV}$$

所以平均能量为

$$E_{\text{平均}} = 5051.0 \text{ keV}$$

分别计算 CHO 的阻止截面为:

$$C \text{ 的阻止截面} = 15.308 \text{ eV}/10^{15} \text{ atom cm}^{-2}$$

$$H \text{ 的阻止截面} = 3.3874 \text{ eV}/10^{15} \text{ atom cm}^{-2}$$

$$O \text{ 的阻止截面} = 18.772 \text{ eV}/10^{15} \text{ atom cm}^{-2}$$

由讲义 P9 所给 N 数据, 故各自的阻止本领为:

$$C \text{ 的阻止本领} = 0.767 \text{ keV}/\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$H \text{ 的阻止本领} = 2.02 \text{ keV}/\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$O \text{ 的阻止本领} = 0.202 \text{ keV}/\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$$

按照布拉格规则相加得到 Mylar 膜的阻止本领为:

$$\text{Mylar 膜的阻止本领} = 0.631 \text{ keV/cm}$$

结合实验数据, 算得膜的厚度为:

$$d = 1359.6 \mu\text{g/cm}^2$$

六、思考题

1、试定性讨论 α 粒子穿过吸收体后能谱展宽的原因。
在吸收体内, α 粒子与粒子发生碰撞损失能量。不同的 α 粒子穿行路径不同, 损失能量大小不同, 使最终能谱波动范围更大, 能谱展宽。

2、设阻止本领为 S , 薄箔厚度为 X , 试计算 α 粒子斜入射时, 与表面法线交角 4° 、 6° 时的能量损失。

斜入射时, 粒子穿深加大, 增大 $X \cdot (1/\cos\theta)$ 倍

($\cos\theta$ 的泰勒展开), 故交角分别为 4° 和 6° 时的能量损失分别增加 $0.001225X$ 与 $0.002745X$ 。

3、试计算 100 埃的金箔对能量的吸收。

能量损失为 $(dE/dx) \cdot d \cdot p = 4.402 \text{ keV}$ 。

故进入金箔后能量为 5475.6 keV

4 计算Mylar膜的厚度。

见数据处理部分

5、从观测到的铝箔能量损失，考虑 S 的变化，用积分式计算铝箔的厚度。

由`mathematica`软件计算积分得到厚度的准确值为

$$3510.14 \text{ ug/cm}^2$$

与我们的估算值接近，说明采用中点近似能取得较好的计算结果。