

PRÁCTICA 7: ESPECTROMETRÍA α CON DETECTORES DE SEMICONDUCTOR

1) Objetivos de la práctica

En esta práctica se va a demostrar el funcionamiento de un detector de semiconductor de Si para la detección de partículas cargadas, en este caso α . Se realizarán los siguientes pasos:

- a) Explicación de las condiciones experimentales.
- b) Demostración del funcionamiento del detector con/sin vacío/HV.
- c) Interpretación del espectro α del ^{241}Am .
- d) Calibración en energía (mediante pulser, para la pendiente, y el pico α del ^{241}Am).
- e) Comprobación de la calibración (con ^{210}Po).
- f) Identificación de una muestra problema.
- g) Cálculo de actividades (en casa).
- h) Medida de espesores de láminas de oro (en casa).

2) Introducción

2.1 Interacción de las partículas α con la materia

Las partículas α son núcleos de ^4He generados de forma natural en el decaimiento radioactivo de tipo α por parte de núcleos pesados: $^AZ \rightarrow ^{A-4}(Z-2) + ^4\text{He}$, por ejemplo $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + \alpha$. La energía de estas partículas α que se emiten de forma natural es típicamente de ~ 5 MeV.

Al ser núcleos cargados (2^+), la interacción de las partículas α con la materia que atraviesan es fundamentalmente de naturaleza coulombiana, es decir de atracción con las nubes de electrones de los átomos que encuentran a su paso. La pérdida de energía de las partículas α se produce por tanto de forma continua al atravesar la materia y, además, debido a que la masa del núcleo de He es muy superior a la de los electrones con quienes interacciona, la trayectoria es básicamente rectilínea. La cantidad de energía perdida promedio depende de la distancia recorrida dentro del material en cuestión, pudiendo ser calculada mediante la fórmula de Bethe-Bloch:

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \frac{nz^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

Donde c es la velocidad de la luz, ϵ_0 es la permitividad del vacío, $\beta=v/c$, e y m_e son la carga del electrón y su masa en reposo, respectivamente.

2.2 Detectores de tipo semiconductor

Los materiales semiconductores se caracterizan por tener una conductividad eléctrica entre la del a de los metales y los aislantes, siendo la diferencia de energía entre las capas de valencia y

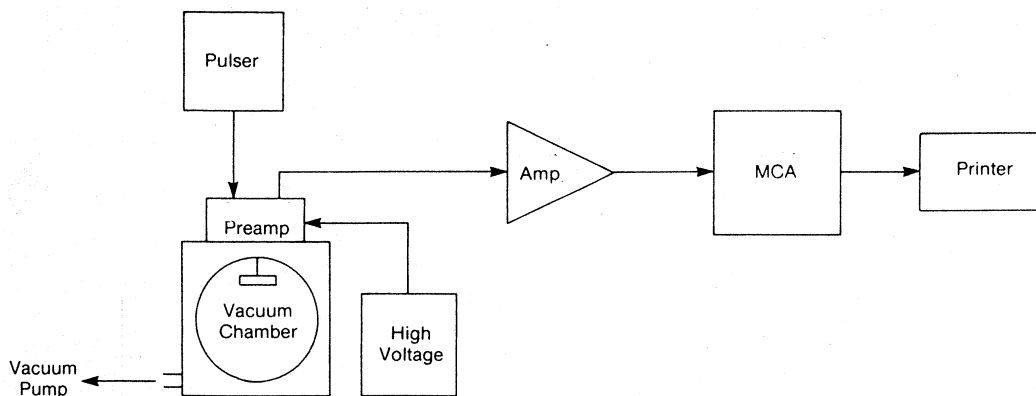
conducción (el “energy gap” o banda prohibida), de unos pocos eV. Por este motivo son especialmente útiles para la detección del paso de partículas cargadas, siendo los detectores de partículas más utilizados los de silicio y germanio.

¿Hablar de uniones P-N?

Cuando una partícula cargada atraviesa un semiconductor, a su paso interacciona con los electrones cediéndoles parte de su energía y promocionándolos, dado el bajo valor de la banda prohibida, de la banda de valencia a la de conducción y creando de este modo un gran número de pares electrón-hueco. Si se establece una diferencia de potencia en el semiconductor, los electrones y huecos derivarán hacia el ánodo y el cátodo de modo que el paso de una partícula cargada por el detector resultará en una corriente que puede ser medida. La intensidad de la corriente generada será proporcional al número de pares generados y por tanto a la energía que la partícula cargada ha perdido al atravesar el detector. En el caso de las partículas α , y dado que su pérdida de energía por unidad de longitud es muy grande, las partículas son totalmente frenadas en detectores con espesores del orden de unas decenas micras y por tanto el espectro de amplitud de las señales mostrará un pico correspondiente a la energía de las partículas α incidentes.

3) Montaje experimental y material necesario

El montaje experimental consta de una cámara de vacío, acoplada a una bomba de vacío, en cuyo interior hay un portamuestras y un detector de Si acoplado a un preamplificador y un amplificador. La señal de salida está directamente conectada a un analizador multicanal, y este a un ordenador. Además, el montaje experimental consta de un pulser, en dos configuraciones diferentes. El esquema se muestra en la siguiente figura:



3) Metodología

a) Condiciones experimentales.

La práctica se realizará utilizando espectrómetros alfa dispuestos en dos configuraciones diferentes (compacto o con cámara y electrónica independientes) que utilizan detectores de silicio (PIPS) con distintas áreas activas y espesores. En todos los casos el espectrómetro incluye un preamplificador y un amplificador internos, cuya ganancia está previamente ajustada para medir todas las emisiones de interés.

La descripción de los 4 montajes es la siguiente:

Montaje #1:

- Espectrómetro compacto modelo Canberra 7401
- Detector de Si PD-50-11-500 AM
- Pulser integrado y calibrado en unidades de energía (método 1 calibración)
- Tensión: +120 V (Se aplica automáticamente con BIAS → ON)
- Área activa detector: 50 mm²

Montaje #2:

- Espectrómetro cámara independiente + preamplificador (amplificador integrado)
- Pulser externo de amplitud regulable (método 2 calibración)
- Detector de Si PD-150-14-100 AM
- Tensión: +40 V (fuente de tensión externa)
- Área detector: 150 mm²

Montaje #3:

- Espectrómetro compacto modelo Canberra 7401
- Detector de Si PD-150-14-1000 AM
- Pulser integrado y calibrado en unidades de energía (método 1 calibración)
- Tensión: +230 V (Se aplica automáticamente con BIAS → ON, sólo sube hasta 200 V)
- Área activa detector: 150 mm²

Montaje #4:

- Espectrómetro cámara independiente + preamplificador + amplificador espectroscópico
- Pulser externo de amplitud regulable (método 2 calibración)
- Detector de Si PD-25-14-100 AM
- Tensión: +40 V (fuente de tensión externa)
- Área detector: 25 mm²

La cámara del detector debe estar en vacío durante las medidas α , para evitar la absorción en el aire, y cerrada, ya que el detector es sensible a la luz.

Importante: El voltaje del detector puede ser aplicado a presión atmosférica o una vez que se haya hecho vacío en la cámara, pero **NO** debe quedar puesto entre los ciclos de bombeo y venteo. Por lo tanto el protocolo experimental será el siguiente:

- 1) Con el voltaje apagado, cerrar la cámara.
- 2) Abrir la llave que conecta el sistema de vacío con tu cámara.
- 3) Cuando al vacío sea menor o igual a 760 micras de Hg (10^{-3} atm) aplicar la tensión (el medidor de vacío del espectrómetro está en unidades de micras de Hg) y empezar a medir por debajo de 999 micras de Hg.

- En los módulos compactos (Montajes #1 y #3) el vacío no se marcará si no baja de 1000 μm de Hg. En caso de que no marque nada, las medidas se pueden realizar de cualquier modo ya que el vacío es sólo ligeramente inferior a dicho valor.

- En los montajes con cámara independiente, el montaje #2 tiene un medidor de vacío en mbar sin presión máxima y en el montaje #4 no se monitoriza el vacío, pero se ha comprobado previamente que es adecuado.

- 4) Realizar las medidas. Grabar espectros. Quitar la tensión del detector.
- 5) Cerrar la llave del vacío antes de abrir la cámara y después ventear.
- 6) Abrir la cámara para realizar el cambio de muestra.

Como fuentes emisoras α se usarán la de ^{241}Am ($T_{1/2}=433\text{a}$, $E_{\alpha}=5.486\text{ MeV}$ (85%), 5.443 MeV (13%), 5.389 MeV (1%)... $\langle E_{\alpha} \rangle = 5.480\text{ MeV}$) y la de ^{210}Po ($T_{1/2}=138\text{d}$, $E_{\alpha}=5.305\text{ MeV}$ (100%)).

b) Demostración del funcionamiento del detector con/sin vacío/HV.

Para comprobar que el detector puede funcionar tanto en aire como en vacío, y sin o con diferencia de potencial aplicado; así como para demostrar que en la unión PN se forma una diferencia de potencial de forma natural, se tomarán y compararán los siguientes espectros con la muestra de ^{241}Am :

- En aire y sin HV
- En vacío y sin HV
- En vacío y con HV

c) Interpretación del espectro α del ^{241}Am .

Cuestiones a reflexionar: ¿El espectro observado es compatible con la existencia de varios picos de diferente intensidad en el decaimiento del ^{241}Am ?

d) Calibración en energía mediante pulser (pendiente) y un pico α del ^{241}Am

Para calibrar en energía el sistema utilizaremos el pulser, interno o externo dependiendo del equipo. En este caso no hace falta realizar vacío, pero la cámara debe de estar cerrada para evitar la luz y el voltaje debe de estar aplicado para reducir el ruido electrónico.

Para realizar la calibración $E \text{ (MeV)} = a \text{ (MeV/canal)} \times \text{canal} + b \text{ (MeV)}$ se seguirán métodos ligeramente distintos dependiendo del montaje:

Método 1 calibración (PARA MONTAJES #1 y #3)

En los montajes compactos utilizaremos el valor de lectura del pulser no está perfectamente calibrado en energía pero si en unidades equivalentes a MeV de energía.

Los dos pasos para obtener la calibración son:

- 1) Como la respuesta del espectrómetro es lineal, introduciendo pulsos en distintos canales a lo largo del MCA podemos conocer la pendiente de la recta de calibración **a** (MeV/canal).
- 2) Conociendo la energía en MeV del pico α del ^{241}Am y con la pendiente **a** obtenida anteriormente, calcularemos la ordenada en el origen **b**(MeV) para que la recta pase por el punto físico que nos da el pico α del ^{241}Am .

Método 2 calibración (PARA MONTAJES #2 y #4)

En los montajes con pulser externo las unidades de la ruleta del pulser no están directamente correlacionadas con su amplitud. En la práctica se explicará como obtener la amplitud/energía del pulser y realizar la calibración siguiendo los mismos pasos descritos en el método 1.

Tomar, como mínimo, 8 pares de puntos (energía pulser, canal).

e) Comprobación de la calibración

A continuación mediremos la muestra de ^{210}Po para comprobar la bondad de la calibración.

f) Identificación de una muestra problema.

En este apartado, el alumno deberá identificar una muestra emisora α de acuerdo con las emisiones que se observen. Existen dos posibles muestras problema:

- 1) Una serie radiactiva natural. La información necesaria para su identificación se encuentra en un documento en la Enseñanza Virtual.
- 2) Una mezcla de isótopos emisores alfa. Para identificar los isótopos en esta muestra se recomienda utilizar algún buscador de isótopos emisores como el siguiente:

<http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/radSearch.asp>

Los criterios principales para restringir la búsqueda deben ser:

- Error en la energía experimental: os lo dará vuestra calibración en energía, no se recomienda restringirlo más de 10-15 keV.
- Semivida (>1 año)
- Intensidad de la emisión alfa que veáis debe ser la más intensa de cada uno de los isótopos.

En las siguientes figuras se muestra la pantalla de búsqueda con una energía cercana a la de la emisión más intensa del Am-241 y los resultados obtenidos.

WWW Table of Radioactive Isotopes

Radiation search

Energy: 5480 ± 15 keV

Search

Type: ☒ Alpha ☐ Gamma

Parent:

T1/2: 100 d - 1000000000000000

Mass number: -

Z: or Element:

N:

Sort by: ☒ Energy, Intensity ☐ A, Z

Reset form

[Main page](#) | [Nuclide search](#)

WWW Table of Radioactive Isotopes

Alpha energy search

Ea between 5465 and 5495 keV; T_{1/2}(parent) ≥ 100 d; T_{1/2}(parent) ≤ 1000000000000000 y;

Ea (keV)	Ia (%)	Half life	Parent
5469.45 14	<0.04	432.2 y 7	241Am
5471 3	0.0002	351 y 2	249Cf
5483 3	0.00032	351 y 2	249Cf
5485.56 12	84.5 10	432.2 y 7	241Am
5488.7 5	0.83	8500 y 100	245Cm

[Main page](#) | [Radiation search](#) | [Nuclide search](#)

Cuestiones a reflexionar: En las series radiactivas naturales algunos isótopos se desintegran por emisión beta.

- 1) ¿Aparecen las señales de las betas en el espectro de la muestra problema?
- 2) ¿Podemos ver las señales de la partícula beta con este detector? ¿Por qué?

g) Cálculo de actividades

Podemos calcular la actividad de las muestras de ²⁴¹Am y de la de ²¹⁰Po a partir de la expresión:

$$A = \frac{N}{G \cdot I_{\alpha}}$$

donde N es la tasa de recuento, I_{α} la intensidad de la emisión considerada, y G , el siguiente factor geométrico:

$$G = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

y siendo θ :

$$q = \arctg\left(\frac{R}{d}\right)$$

donde ahora R es el radio del área activa del detector (DIFERENTE PARA CADA MONTAJE) y d es la distancia de la fuente al detector (el alumno deberá medirla utilizando un calibre o la regla situada en el interior de la cámara). Para obtener la expresión de A se ha considerado que la eficiencia intrínseca del detector para las α es del 100%, y que la fuente es puntual, por lo que no entran en juego otros factores de ángulo sólido.

h) Medida de espesores de láminas de oro

Si se interpone una lámina de oro entre la fuente de ^{241}Am y el detector, podremos ver que el pico α se ha desplazado, debido a que las partículas han perdido parte de su energía al atravesarla. Midiendo esta pérdida de energía se puede calcular el espesor atravesado. El poder de frenado S expresa la cantidad de energía que pierde una partícula por unidad de longitud del material atravesado:

$$S(E) = -\frac{dE}{dx},$$

por lo tanto, la pérdida de energía al atravesar un determinado espesor t es:

$$DE = \int S(E) dx$$

Los poderes de frenado de partículas α en diferentes materiales y para el rango de energía de 1 keV a 10 MeV, se encuentran tabulados, y se pueden calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$S(E) = \frac{S_{\text{Low}} S_{\text{High}}}{S_{\text{Low}} + S_{\text{High}}},$$

siendo:

$$S_{\text{Low}} = A_1 (1000 * E)^{A_2}$$

$$S_{\text{High}} = \frac{1000 A_3}{E} \ln \left(1 + \frac{1000 A_4}{E} + A_5 \frac{E}{1000} \right)$$

Si E está en keV, los valores de las constantes son:

$$A_1=3.223 \quad A_2=0.5883 \quad A_3=232.7 \quad A_4=2.954 \quad A_5=1.05$$

$S(E)$ viene dado en unidades de eV/(10^{15} at/cm²).

El objetivo será hacer tres medidas utilizando dos láminas de oro: una medida de cada lámina por separado, y una medida de las dos a la vez. Compárense los valores obtenidos para el grosor de las láminas juntas y por separado.

Datos adicionales:

Densidad atómica del Au: $5.9 \cdot 10^{22}$ at/cm³

Distancia detector-carcasa: 1 mm

Cuestiones a reflexionar: Discutir si el espectro medido insertando 2 láminas de Au juntas entre la muestra y el detector debe de ser igual o distinto al obtenido con 2 láminas de Au iguales a las anteriores pero separadas entre sí por varios mm.

CONSEJOS PRÁCTICOS PARA LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Leer con atención el boletín de la práctica.

Prestar atención a las “cuestiones a reflexionar” del boletín.

Tras el paso 2, presentar todos los espectros debidamente calibrados en energía.

Observar los espectros en lineal y semilogarítmico (eje Y) y elegir para la presentación el más adecuado, o ambos si fuese necesario.

Considerar en cada caso si la presentación de espectros superpuestos ofrece más y mejor información que de forma individual.

Cuando haya análisis cuantitativos, realizar el cálculo de errores correspondiente