

Detector semiconductor para neutrones térmicos

A. Díaz, A. E. Cabal, O. Martínez*

Se describe la tecnología de fabricación de detectores de neutrones térmicos con base en detectores de Silicio de barrera superficial con convertidor de ${}^6\text{LiF}$, así como se realiza el análisis de sus parámetros fundamentales. La medición de la resolución energética e intensidad de conteo se realiza con una fuente de neutrones de Am-Be con salida de $6,6 \cdot 10^6$ neutrones/seg, de una energía máxima de 10 MeV y energía promedio de 4,9MeV. Los neutrones térmicos se obtuvieron por medio de la moderación en una capa de parafina de 4 cm de grosor.

Introducción

Los métodos de detección de neutrones frecuentemente empleados son los basados en los protones de retroceso, la técnica de activación, los detectores proporcionales de BF_3 y los centellantes de ${}^6\text{LiF}$ [1,2].

Sin embargo los detectores semiconductores para partículas cargadas ofrecen determinadas cualidades como sus pequeñas dimensiones, su insensibilidad a la radiación gamma y su bajo voltaje de trabajo, que los convierte en una alternativa favorable en múltiples tareas.

La detección de neutrones lentos y térmicos con detectores semiconductores exige el empleo de un convertidor adecuado.

La sensibilidad del detector con convertidor se describe por la expresión:[3].

$$S=[1-\exp(-n \sigma d)].f.E.\delta \quad (1) \text{ donde}$$

n es el número de núcleos en 1 cm^3 del convertidor de grosor d ,

σ la sección eficaz de la reacción que produce las partículas cargadas,

δ la superficie activa del convertidor,

E la eficiencia de detección de las partículas cargadas.

El factor f que considera la fracción de las partículas cargadas que salen del convertidor e inciden en la superficie activa del detector puede ser calculado en una aproximación realista de acuerdo con:

$$f = 1-h/2R \quad (2) \text{ donde}$$

h es el grosor del convertidor,

R es el recorrido medio de la partícula cargada en el convertidor.

Entre los convertidores posibles el ${}^6\text{Li}$ presenta como ventaja su elevado valor de Q que permite elevar el pile-up gamma y otros eventos de pequeña amplitud y porque el ${}^6\text{Li}$ tiene un alto valor de la sección eficaz de la reacción ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ [5].

En el CEADEN en colaboración con el CIME del ISPJAE fue desarrollada la tecnología de fabricación de detectores

* Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, La Habana, Cuba.

de silicio de barrera superficial [6], la cual fue tomada como base para la fabricación de los detectores. Para la fabricación de detectores de barrera superficial de Silicio con convertidor de ${}^6\text{LiF}$ se empleó Litio con un enriquecimiento del 95 % de ${}^6\text{Li}$.

Materiales y métodos

Las características de las láminas de Silicio de tipo n utilizadas son las siguientes: $\rho=800-1000 \Omega\text{cm}$, espesor $500 \pm 15 \mu\text{m}$, superficie pulida mecánicamente, libre de dislocaciones, tiempo de vida de los portadores mayor que $500 \mu\text{s}$.

El proceso tecnológico de fabricación del detector de barrera superficial fue

similar al realizado en [6]. Con este método fueron fabricados tres detectores. Las características físicas del detector son las siguientes: Diámetro activo = 2,8 cm, área activa = $6,15 \text{ cm}^2$, grosor de la zona empobrecida al voltaje de trabajo = $100 \mu\text{m}$.

Las características eléctricas obtenidas fueron: Voltaje de trabajo = 30 V, capacidad = 1 pF/mm^2 , corriente de fuga menor que $8 \mu\text{A}$ a 100 V.

La capa de ${}^6\text{LiF}$ fue depositada por evaporación térmica en alto vacío. Con el fin de variar el grosor de la capa de ${}^6\text{LiF}$ y hacer un estudio comparativo en cuanto a intensidad de conteo y resolución energética fueron fabricados tres convertidores con los valores reflejados en el Cuadro 1.

La evaporación se realizó sobre láminas de aluminio, las cuales son intercambiables en el montaje del detector sin afectar la ventana de entrada de los mismos. El diámetro de la evaporación es de 2,6 cm, ligeramente inferior al diámetro de la zona activa del detector para evitar el efecto de frontera.

La medición de los parámetros de los detectores construidos se realizó en la instalación representada en la Figura 1.

Cuadro 1. Parámetros de la capa de ${}^6\text{LiF}$.

Convertidor	Peso/Super ($\mu\text{g/cm}^2$)	Peso en el bote (mg)	Grosor de la capa de ${}^6\text{LiF}$ (μm)
1	150	15,079	0,568
2	300	30,159	1,130
3	500	50,265	1,890

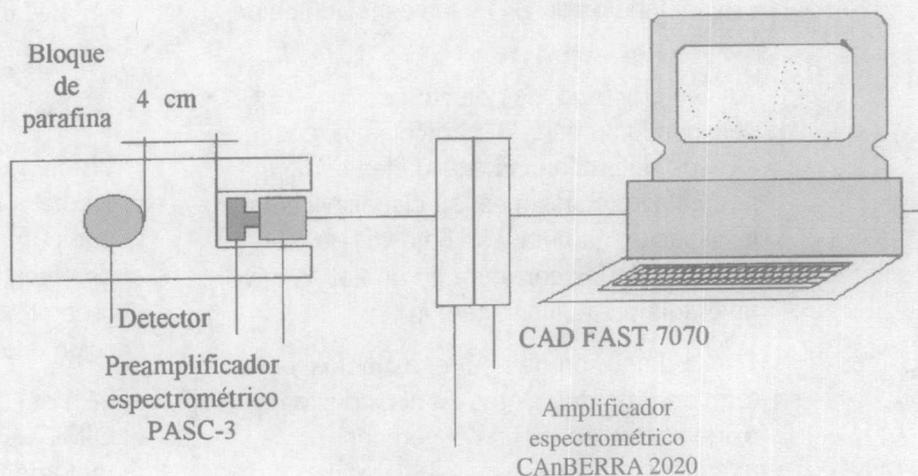


Figura.1. Instalación para la medición de los parámetros de los detectores.

La fuente de neutrones utilizada es de Am-Be con una salida de $6,6 \cdot 10^6$ neutrones/seg, de una energía máxima de 10 MeV y energía promedio de 4,9MeV.

Los neutrones térmicos se obtuvieron por medio de la moderación en una capa de parafina de 4 cm de grosor.

Resultados y discusión

Se realizó el cálculo de la sensibilidad de los detectores obtenidos utilizando la fórmula (1) para los diferentes grosores de convertidor, los resultados se muestran en el Cuadro 2.

La sensibilidad de una cámara de ionización de 10 cm de largo rellena de BF_3 a presión atmosférica es de 16,6 % para neutrones térmicos [7].

La sensibilidad de una cámara o contador con una capa sólida de boro está alrededor de 1 %. Por lo que consideramos que la sensibilidad de los detectores obtenidos es suficiente para permitir varias de las aplicaciones de la medición de

neutrones, sobre todo si se tiene en cuenta que por medio del aumento del grosor del convertidor se aumenta el valor de la sensibilidad.

Otro parámetro investigado fue la velocidad de conteos α y T debido a el flujo de neutrones ϕ en un tiempo t en un área A. El valor teórico se obtuvo utilizando la fórmula (3).

$$N_{(\alpha+T)} = N_{Li}^6 \sigma \phi t A \quad (3)$$

En el Cuadro 3 se muestran los resultados teóricos y experimentales de la intensidad de conteos y resolución energética de los detectores fabricados para diferentes grosores de convertidores.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los espectros obtenidos en la práctica para los diferentes grosores de la capa de 6LiF en los detectores fabricados. En los mismos se observa la dependencia del valor de la resolución energética del grosor de la capa de 6LiF , la cual aumenta con el aumento del grosor.

Los valores de la intensidad de conteo obtenidos en la práctica son menores que los teóricos, debemos considerar que en el montaje del detector existe un espacio de aire entre el convertidor y la zona activa de la ventana de entrada para que sea posible el intercambio del convertidor existiendo pérdidas de las partículas que se crean debido a su interacción con el aire, influyendo de esta forma la inexactitud en la determinación del flujo de neutrones.

Cuadro 2. Sensibilidad de los detectores en dependencia del grosor de la capa.

Detector	Grosor del convertidor	Sensibilidad (%)
1	150	15,079
2	300	30,159
3	500	50,265

Cuadro 3. Resultados teóricos y experimentales de la intensidad de conteo y resolución energética para los detectores contruidos.

Detector	Grosor del convert (μ)	$N(\alpha+T)$ teór (cont/s)	$N(\alpha+T)$ experim (cont/s)	Resolución energ (keV)
1	0,568	165	67	95
2	1,130	329	213	96
3	1,890	551	425	116

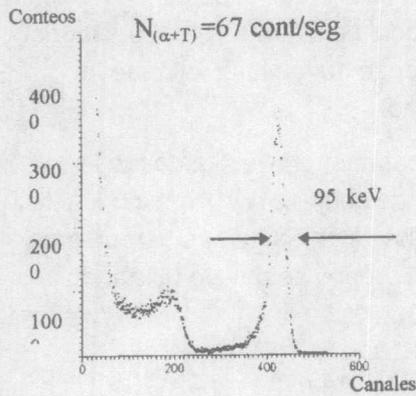


Figura 2. Detector No.1

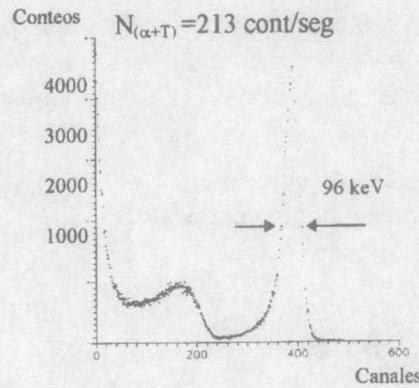


Figura 3. Detector No.2

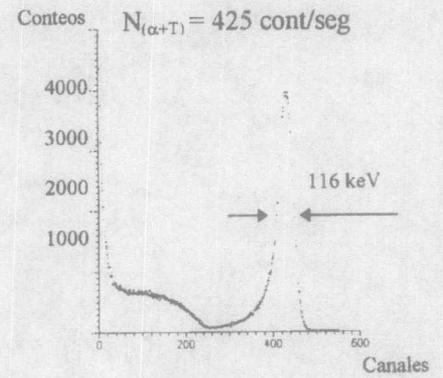


Figura 4. Detector No.3

En los espectros obtenidos para valores menores que 1,6 MeV se observa un aumento de la intensidad de conteo lo cual no se observa al alejar la fuente de neutrones, esto se debe a los núcleos de retroceso creados por la dispersión elástica de los neutrones rápidos en los núcleos del convertidor y los distintos materiales que conforman el sistema; en particular el aluminio del soporte y el silicio del detector.

Este efecto comienza a observarse a energías menores que 1,6 MeV aproximadamente ya que la energía máxima de los neutrones de la fuente es de 10 MeV y el núcleo más ligero es el de litio, siendo la masa del neutrón 1/6 de la masa del litio.

Bibliografía

- [1] **Marion J.B., Fowler J.L.** Fast Neutron Physics. Part I. *Interscience Publisher Inc*, (1960), NY-London.
- [2] **Knoll G.F.** Radiation detection and measurements. John Wiley and Sons, (1979).
- [3] **Levin V.E., Jamiakov L.P.** Izmirienie iadernij izluchenij. *M.Atomizdat*, (1969).
- [4] **White P.H.** Nuclear Instrument and Method, (1970).
- [5] Handbook on Nuclear Activation Data. *TRS No.273*, IAEA, (1987), Vienna.
- [6] **Díaz A., Cabal A.E., Barranco F., Adán A., Meana M.** *Nucleus-10*, (1991).
- [7] **Vlasov N.A.** Neitroni, (1955), Moskva.