

# Detector de Silicio-Litio para fluorescencia de Rayos X

A. E. Rodríguez Cabal, A. Díaz García, C. Noriega Scull, O. Martínez Muñoz, R. Díaz Cepeda\*

**E**l detector de Silicio-Litio es un sistema sensor de radiaciones nucleares. Transforma la carga producida en el material de Silicio producto de la incidencia de partículas y de rayos X, en pulsos de voltaje a la salida del preamplificador. En el trabajo se realizó la puesta a punto del proceso tecnológico de fabricación del detector, el diseño y construcción del criostato y del preamplificador, además de la validación del detector en su conjunto en un termo Dewar cubano. El sistema producido por primera vez en el país cuenta con una resolución energética de 185 eV para la línea de 5.9 KeV de la fuente de Fe-55, lo que ha permitido trabajar con él en fluorescencia de rayos X dispersiva en energía.

## *Silicon lithium detector for X Ray fluorescence*

*The Silicon Lithium detector is the system for the detection of nuclear radiation. It transforms the charge that was produced inside of Silicon material as a result of the incidence of particles and X rays, in voltage pulses at the output of the preamplifier. In this work was made the adjustment of the technological process of manufacture of the detector. Also was made the design and construction of the cryostat and preamplifier*

*and then the validation of the system in a Cuban Dewar. The system, which was made for the first time in our country, has an energy resolution of 185 eV for the Fe-55 source (E=5.9 KeV), which has permitted its implementation in energy dispersive X ray fluorescence.*

## *1. Introducción*

El detector de Si(Li) es un sistema sensor de radiaciones nucleares. Transforma la carga producida en el material de Silicio producto de la incidencia de partículas y de rayos X, en pulsos de voltaje a la salida del preamplificador. El sistema de detección está conformado por los siguientes elementos: detector semiconductor en su soporte, criostato, preamplificador sensible a carga y termo dewar de nitrógeno líquido (LN<sub>2</sub>).

El elemento sensor del detector planar de Si(Li) es básicamente un diodo con una juntura gruesa, de estructura PIN, al cual se le aplica voltaje en inversa. El detector ubicado dentro de un soporte, en el cual se encuentra además la primera cascada del preamplificador, va montado en un criostato; que es una cámara de vacío acoplada térmicamente a un termo dewar de nitrógeno líquido. Para garantizar el nivel de alto vacío del criostato se emplea

\* Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, PO Box 6122, E-mail: ceaden@ceniai.cu, Fax (537) 331188

zeolita natural cubana como tamiz molecular. La corriente de salida del detector es recogida por el preamplificador sensible a carga de retroalimentación óptica que se encuentra directamente montado en el criostato.

Se realizó la puesta a punto del proceso tecnológico de fabricación del detector, el diseño y construcción del criostato y del preamplificador y la validación del detector en su conjunto en un termo dewar cubano.

El sistema producido por primera vez en el país cuenta con una resolución energética de 185 eV para la línea de 5,9 KeV de la fuente de Fe-55, lo que ha permitido trabajar con él en fluorescencia de rayos X dispersiva en energía.

## 2. Datos técnicos del sistema de detección.

- Criostato de configuración vertical.
- Volumen del termo Dewar: 40 litros.

### 2.1 Características del detector

- Voltaje de trabajo: 650 V.
- Area activa: 28 mm<sup>2</sup>.
- Grosor: 4 mm.
- Resolución energética: 185 eV.

### 2.2 Datos técnicos del preamplificador.

- Preamplificador con retroalimentación óptica
- Pulso de salida: unipolar, tiempo de subida > 5 μs, el voltaje varía entre -2,5 V y +1,5 V.
- Ganancia: aproximadamente 1 V/MeV.

## 3. Funcionamiento del detector

### 3.1 Elemento de detección.

El detector planar de Si(Li) (Figura 1) para su fabricación requiere de un proceso tecnológico de alta complejidad, el cual está compuesto de diferentes etapas, algunas de ellas de larga duración que requieren buen control. En la Figura 3 se muestran los diferentes pasos del ciclo tecnológico.

Por medio de la evaporación al vacío y difusión del Litio en el Silicio tipo p, se logra la compensación de las impurezas del mismo y se crea una zona empobrecida de portadores, a través de la cual se produce un campo eléctrico cuando se le aplica voltaje en inversa a la oblea y donde interactúan las radiaciones incidentes, produciendo una señal eléctrica proporcional a la energía depositada en el detector.

El contacto N+ se forma producto de la evaporación al vacío de una capa delgada de oro - Au sobre la de Litio difundido a elevadas temperaturas. El contacto P+ es típicamente un contacto de barrera superficial creado por la deposición al vacío de una capa fina de Au en la superficie pulida de Silicio, después de haberse realizado el ataque químico.

Las radiaciones X y γ de baja energía interactúan con el Si produciendo pares de electrones-huecos libres en la zona compensada. Producto del campo eléctrico existente los portadores de carga se moverán hacia los extremos, generando, luego de la recolección, una señal eléctrica. Esta señal producida por las radiaciones es proporcional a la cantidad de energía depositada en el detector. Si la radiación es completamente absorbida en la zona empobrecida, entonces será proporcional a la energía de la radiación incidente. Al caer las radiaciones en los contactos no se produce una señal eléctrica, a esta zona se

le denomina área muerta y a la zona empobrecida o compensada, área activa.

El Si tiene un número atómico  $Z=14$  (para el Germanio  $Z=32$ ), lo cual significa que posee menor sección eficaz para detección de rayos  $\gamma$ . Sin embargo esto constituye una ventaja en el caso que se desee detectar radiación X de baja energía o electrones.

En la práctica no todos los pulsos producidos por una fuente monoenergética van a tener la misma amplitud. Ocurre un ensanchamiento de la línea en la caracterización espectrométrica debido a fluctuaciones estadísticas del número de pares electrones-huecos recolectados y al ruido electrónico. El comportamiento de los detectores planares de Si(Li) se caracteriza por la medición de la resolución energética con una fuente de Fe-55 en el pico de 5,9 KeV, como se puede apreciar en la Figura 2.

### 3.2 Criostato

El criostato consiste en una cámara de vacío ( $10^{-9}$ - $10^{-7}$  Torr), dentro de la cual se va a ubicar el soporte con el elemento detector que va introducida en un termo dewar para nitrógeno líquido. El soporte del detector va a estar ubicado de forma tal que esté aislado eléctricamente, pero térmicamente conectado al "dedo frío" de cobre, el cual está en contacto directo con el LN<sub>2</sub>, transmitiendo esta temperatura al detector. El soporte se sitúa de tal manera que no influyan sobre el detector los ruidos microfónicos.

Dentro del criostato se encuentra además la primera cascada del preamplificador, enfriándose el FET de entrada a una temperatura óptima (en el intervalo entre  $-120^{\circ}$  y  $-140^{\circ}$  C) para lograr minimizar el ruido del FET.

La tapa del criostato tiene en la parte superior una ventana fina de Berilio (de decenas de  $\mu\text{m}$ ), justo sobre la zona activa del detector. Ella permite la transmisión de

las radiaciones de baja energía con un mínimo de atenuación. El detector se encuentra localizado alrededor de 5 mm de distancia de esta ventana.

Alrededor de 100 cm<sup>3</sup> de tamiz molecular (en estos momentos se utiliza zeolita cubana en forma sódica) son normalmente puestas en contacto con el "dedo frío" para mantener buen vacío después de cerrado el criostato.

### 3.3 Preamplificador con retroalimentación óptica

Es el componente del sistema que transforma la corriente producida en el detector producto de la ionización provocada por la radiación incidente, en pulsos de voltaje que serán procesados por otros módulos electrónicos del sistema espectrométrico o radiométrico.

Los preamplificadores usualmente mantienen el lazo cerrado por medio de la retroalimentación negativa a través de una resistencia de alto valor  $R_f$  y un capacitor pequeño de retroalimentación  $C_f$ . Por ser la resistencia  $R_f$  una fuente de ruido, se introduce en el criostato, pero para eliminar cualquier ruido relacionado con ella, se reemplazó la retroalimentación resistiva por la retroalimentación óptica, para esto es necesario que el FET de entrada esté desencapsulado y sea sensible a la luz. Un LED es montado también en el criostato para generar la luz de retroalimentación.

El preamplificador se pone a funcionar en un rango dinámico específico. Cuando la salida del preamplificador alcanza un determinado nivel ( $V_1$ ) un circuito discriminador produce un pulso de corriente para el LED, el cual genera un pulso de luz, descargando el condensador de retroalimentación a través de la fuente del FET y restableciendo el nivel de C.D ( $V_0$ ) del preamplificador. Este proceso se repite automáticamente y obtenemos a la salida una señal de diente de sierra.

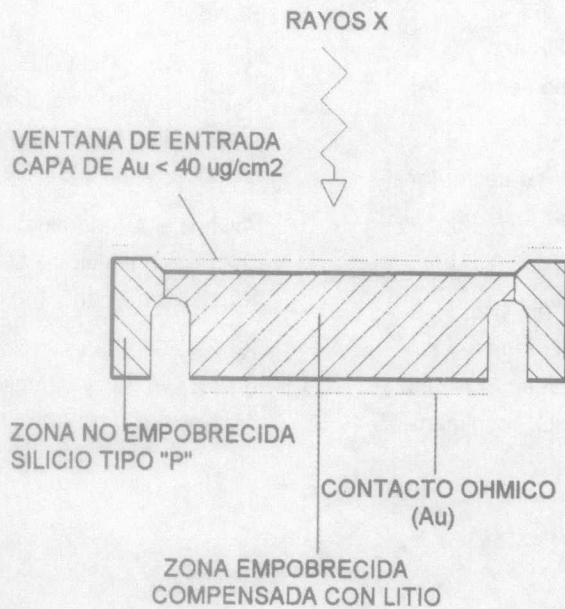


Figura 1. Detector planar de Si(Li).

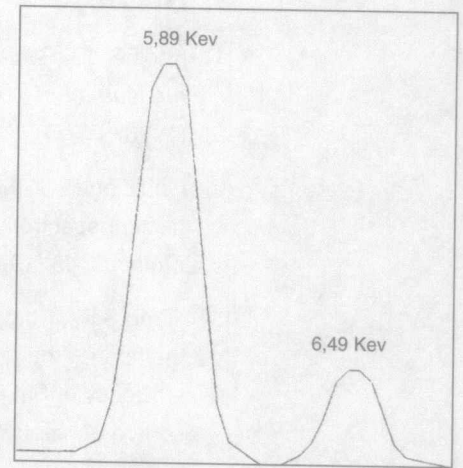


Figura 2. Espectro típico de una fuente de Fe-55.

#### 4. Conclusiones

Se obtuvo un detector de Silicio-Litio por primera vez en el país. El se utiliza en el registro y la espectrometría de partículas ionizantes del tipo  $\beta$  y de rayos X, con alta efectividad para los cuantos de energía mayor de 4 KeV.

Los detectores con resolución energética cercana a los 200 eV, como los producidos por nosotros, son empleados en la fluorescencia de rayos X, técnica analítica de amplia utilización debido a que es un método de análisis rápido, confiable, multielemental, caracterizado por una alta reproducibilidad, el cual, por lo general no requiere de la destrucción de la muestra que se evalúa y donde las concentraciones elementales pueden variar en un amplio intervalo.

En nuestro centro se utilizó el detector conjuntamente con el sistema de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (desarrollado en nuestro departamento) en el análisis de diferentes tipos de muestras en el departamento de Técnicas analíticas con resultados satisfactorios.

#### CICLO TECNOLÓGICO DE FABRICACION DE DETECTORES SEMICONDUCTORES DE Si(Li).

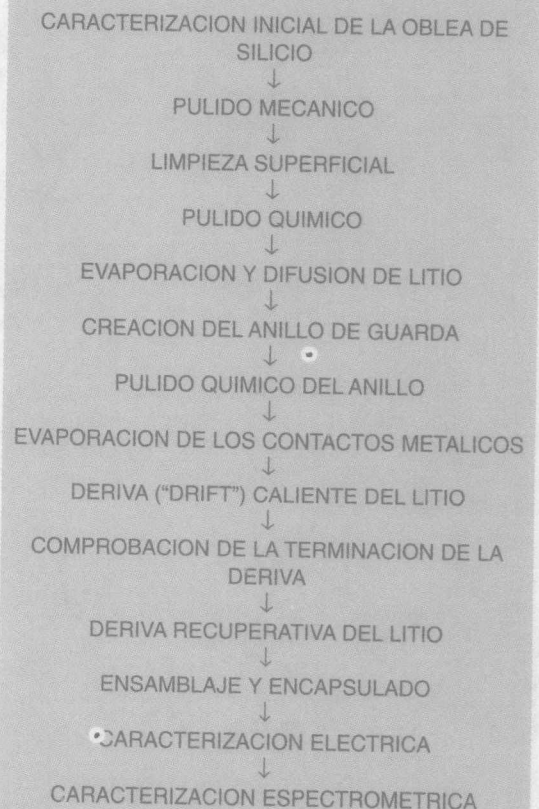


Figura 3. Proceso tecnológico de fabricación de detectores de Si(Li).

## 5. Bibliografía

- [1] Knoll G. F., *Radiation detection and measurement*, John Wiley and sons, USA, (1976)
- [2] Goulding F. S., Semiconductor detector for nuclear spectrometry, *Nuclear Inst. and Methods*, 43 (1966) 1:54
- [3] Tang S.M., Kump P. y otros, An XRF method for the determination of the efficiency of Si(Li) detectors in an extended source geometry by using thick specimens, *Nuclear Inst. and Methods*, A241 (1985) 503-506
- [4] Walton J.T., Pehl R.H. y otros, Si(Li) X-ray detectors with amorphous Silicon passivation, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol NS-31, No.1, February 1984
- [5] Azimov S.A., Muminov R.A. y Chamirzaev S.J., Kremnii- litievie detektori yadernogo izlucheniya, "Fan", Tachkent, 1981.
- [6] Kalinka G., Status of solid state energy dispersive X ray detection, *Nuclear Inst. and Methods*, B75 (1993), 91-98.