

# Avances en el Proyecto sobre Detectores de Radiación de Silicio Tipo PIN

Ramírez F. Javier<sup>1</sup>, Cerdeira Antonio<sup>2</sup>, Aceves Mariano<sup>4</sup>, Díaz Angelina<sup>2,5</sup>, Estrada Magali<sup>2</sup>, Rosales Pedro<sup>4</sup>, Cabal Ana E.<sup>2,5</sup>, Montañó L.Manuel<sup>3</sup>, Leyva Antonio<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. ININ. Laboratorio de Detectores de Radiación

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV, Sección de Electrónica del Estado Sólido.

<sup>3</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV, Departamento de Física

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. INAOE

<sup>5</sup> Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, Cuba.



MX0100278

## Resumen:

Se presentan los avances logrados en el proyecto de colaboración ININ-CINVESTAV sobre el desarrollo de detectores de radiación de semiconductor tipo PIN.

Se ha caracterizado la respuesta a diferentes tipos de radiación de los detectores tipo PIN fabricados en el CINVESTAV y el INAOE. Se han realizado mediciones con diferentes tipos de preamplificadores sensibles a carga, determinándose las principales características que deben cumplir para poder emplearse con detectores de baja capacitancia. Como aplicaciones se ha logrado medir el tiempo de irradiación de una máquina de mamografía y se han obtenido espectros de energía de rayos X en el orden de 14 KeV, con resoluciones de 4 KeV a temperatura ambiente. Se indican las acciones futuras del proyecto y las posibles aplicaciones de estos detectores.

## 1. Introducción.

El desarrollo de detectores de radiación de semiconductor utilizando la tecnología planar empezó hace más de una década [ 1 ]. Al mejorarse los procesos tecnológicos de fabricación se ha podido disminuir la corriente de fuga de los detectores realizados, obteniéndose espectros de energía de rayos X a temperatura ambiente. Esto puede simplificar mucho los sistemas de medición que normalmente utilizan detectores de silicio-litio y germanio hiper-puro y que requieren ser enfriados a la temperatura del nitrógeno líquido. De esta manera se amplía mucho el campo de aplicación de la detección de rayos X en la industria y en dosimetría médica entre otros campos posibles.

En el CINVESTAV y el INAOE se lleva a cabo la investigación sobre la tecnología para realizar este tipo de detectores mientras que en el ININ y en el CEADEN se estudia su respuesta a las diferentes radiaciones y la interacción con los preamplificadores que es la que determina la optimización de la resolución en energía del sistema de medición. También se estudian y analizan las posibles aplicaciones novedosas de estos detectores.

## 2.- Diodos PIN

Un diodo PIN consiste en un emisor tipo P altamente dopado ( P+ ), una región intrínseca y una región tipo N altamente dopada (N+), Fig. 1.

Para detectar luz o radiación ionizante, el detector se polariza inversamente con el objeto de lograr que la zona intrínseca quede en vaciamiento total de portadores libres, logrando de esta manera que esa zona sea el volumen efectivo de detección y los pares electrón-hueco generados sean colectados por los contactos óhmicos del diodo.

Los diodos fabricados se realizan sobre obleas de 400  $\mu\text{m}$  de espesor, tipo N de alta resistividad (2 - 10 K $\Omega$ ). Se ha utilizado difusión para un tipo de diodos e implantación de iones para otros con el fin de comparar las características de estos dos métodos de realización de las uniones.

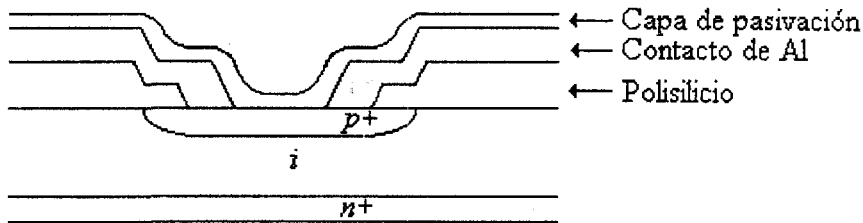


Fig. 1 Estructura de un diodo PIN

En el proyecto, después de mejorar los procesos de fabricación, se han logrado diodos con densidad de corrientes de fuga menores a  $100 \eta\text{A}/\text{cm}^2$  y tiempos de recombinación mayores a los  $75 \mu\text{s}$  [ 2 ].

Actualmente se están probando diodos con dimensiones de  $300 \mu\text{m}$  por  $300 \mu\text{m}$  con anillos de guarda de diferentes anchos y sin anillos de guarda.

### 3.- Sistema de medición.

La caracterización de la respuesta a la radiación de los diferentes diodos PIN se lleva a cabo utilizando un sistema de espectrometría de radiaciones, Fig.2, adaptado para poder medir bajo distintas condiciones y a diferentes temperaturas del detector, incluyendo la del nitrógeno líquido ( $-196^\circ\text{C}$ ).

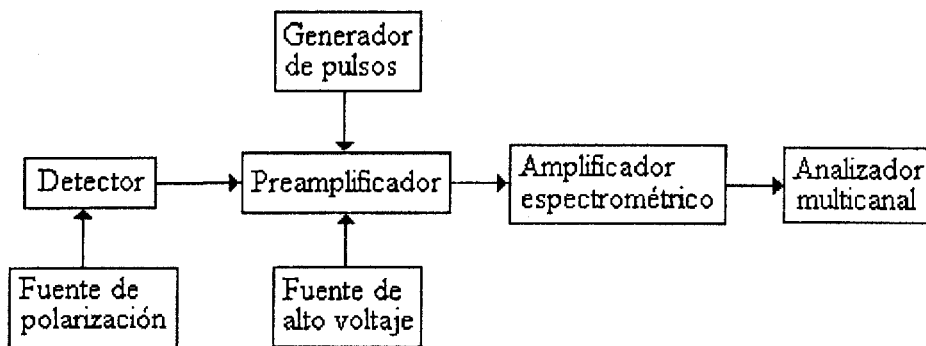


Fig. 2 Sistema de espectrometría

La medición se basa en que al interaccionar la radiación con el material se originan pares electrón-hueco cuya cantidad  $N$ , esta relacionada con la energía incidente  $E$  de la siguiente forma:

$$N \equiv \frac{E}{w} \quad \text{----- (1)}$$

donde  $w$  es la energía de formación de un par electrón-hueco, para el silicio  $w = 3.6 \text{ eV}$ .

Entonces, la carga  $Q$ , generada en el detector por la interacción es :

$$Q = N e$$

donde  $e$  es la carga del electrón,

$$Q \equiv \frac{eE}{w} \quad \text{----- (2)}$$

La calibración en energía del sistema se lleva a cabo utilizando pulsos de prueba de valor conocido  $V_i$  y realizando su conversión a carga al ser inyectado a través de un condensador  $C_i$ , de tal manera que la energía  $E$  asociada al pulso está dada por:

$$E = \frac{wC_iV_i}{e} \quad \text{-----}(3)$$

La respuesta de los detectores a radiación  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y rayos X se ha clasificado en forma sistemática en el proyecto [ 3 ]. Las fuentes que se han utilizado se indican en la tabla 1.

Fuente	Radiación	Energía
Pu-239	$\alpha$	5.143 MeV
Am-241	$\alpha$	5.485 MeV
Cm-244	$\alpha$	5.805 MeV
C-14	$\beta$	hasta 156 KeV
Sr-90	$\beta$	hasta 546 KeV
Cd-109	rayos X	22.16 KeV (86%)
	rayos x	24.94 KeV (17%)
	$\gamma$	88.03 KeV (3.61 %)
Cs-137	$\gamma$	661.6 KeV (85.21%)
Co-60	$\gamma$	1.173 MeV ( 99.85%)
		1.325 MeV (99.98%)
Am-241	rayos X	13.9 KeV (13.2%)
	rayos X	17.8 KeV (19.2%)
	rayos X	20.8 KeV (4.85%)
	$\gamma$	26.35 KeV (2.4%)
	$\gamma$	59.54 KeV (35%)
Fe-55	rayos X	5.89 KeV

Tabla 1. Fuentes utilizadas

Las mediciones realizadas se han comparado con las hechas en diodos PIN comerciales de las marcas Hamamatsu, Siemens y otras [ 4 ].

#### 4.- Preamplificadores utilizados.

El acoplamiento detector-preamplificador determina las características de ruido del sistema, se requiere tener un acoplamiento óptimo entre las características del detector y del preamplificador para lograr un sistema de bajo ruido. Para mediciones de espectrometría se utilizan preamplificadores sensibles a carga. Se ha experimentado con preamplificadores sensibles a carga convencionales con retroalimentación resistiva, Fig. 3.a, y con un preamplificador con retroalimentación sólo capacitiva, Fig. 3.b, en el que se descarga el capacitor de retroalimentación a través de la unión compuerta-fuente del transistor de efecto de campo, FET, de entrada [ 5 ].

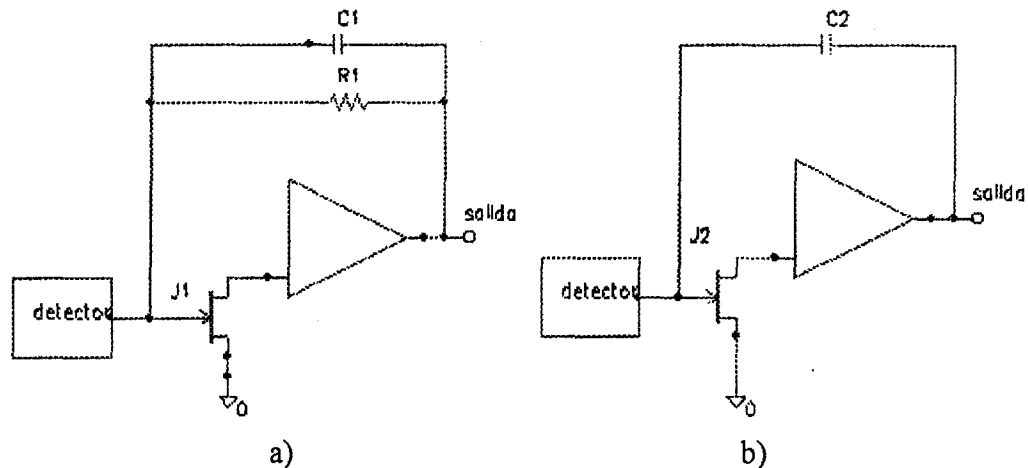


Fig. 3. Configuración de los preamplificadores utilizados.

De los preamplificadores con retroalimentación resistiva, se han utilizado los comerciales comúnmente empleados en experimentos nucleares y otros de tipo híbrido para experimentos de física de altas energías con detectores de silicio de tipo "strip"

Debido a que la capacitancia de los detectores es pequeña, es importante considerar el efecto de las capacitancias parásitas del ensamble y los efectos que introduce la capacitancia de prueba y la capacitancia de entrada del FET; estos efectos y la operación de los preamplificadores se simularon utilizando PSPICE [ 6 ] [ 7 ].

### 5.- Resultados

Los diodos PIN fabricados con las tecnologías propias desarrolladas en el proyecto son sensibles a las radiaciones, se pueden utilizar para medir la cantidad de radiación presente y para realizar espectrometría de rayos X de baja energía. Como ejemplo, en la Fig. 4 se muestra la respuesta de un diodo PIN a un impulso de una máquina de rayos X utilizada para mamografía en la que se utiliza un potencial de 23 KV, con una corriente de 8 mA/s, pudiéndose medir en el oscilograma el tiempo de exposición efectivo.

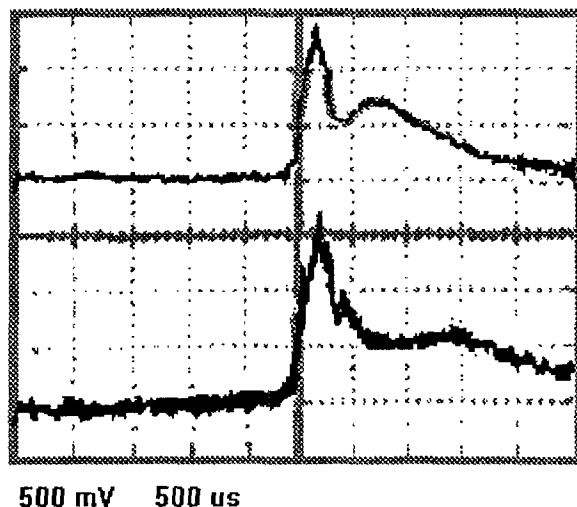


Fig. 4 . Respuesta del detector a un pulso de una máquina de mamografía por rayos X.

En la Fig. 5 se tiene un espectro de energía para una fuente gamma de Am-241 en la que se distinguen los picos de energía correspondientes a 17.8 KeV y 20.8 KeV. En la misma gráfica se ve la respuesta del detector a una fuente de Cs-137.

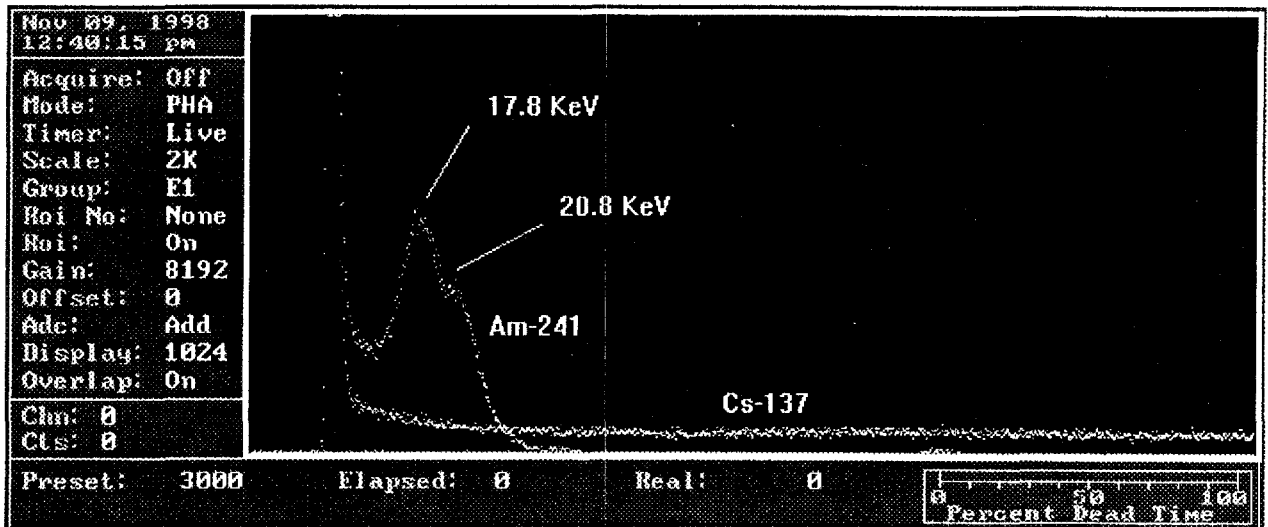


Fig. 5. Espectro de energía obtenido para una fuente de Americio-241 y de Cs-137

## 6.- Conclusiones

- Se logró la fabricación de diodos de silicio cristalino tipo PIN para detectar radiación, utilizando tecnología propia desarrollada en el proyecto.
- Se consiguieron las condiciones experimentales adecuadas para poder caracterizar diferentes detectores tipo PIN.
- Se está trabajando en la optimización del preamplificador para poder obtener la mejor resolución energética y lograr distinguir energías en el orden de unos cuantos KeV.
- Actualmente se trabaja también en el desarrollo de detectores de radiación de silicio amorfo en el que se aprovechan los resultados obtenidos con los detectores de silicio cristalino.
- Se ha logrado integrar un equipo de trabajo interdisciplinario de varias instituciones nacionales y extranjeras, aprovechando la infraestructura existente en cada una de ellas y que trabaja en un tema de desarrollo de actualidad a nivel mundial.
- Se está experimentando con la respuesta de los detectores a impulsos obtenidos de máquinas de rayos X especialmente empleadas en aplicaciones médicas con el objeto de realizar dosimetría e imagenología, por ejemplo para detectar tumores en tejido blando.
- Se ha establecido comunicación con laboratorios de otros países, por ejemplo la Universidad Federal de Río de Janeiro en Brasil y el Instituto de Física de Turín en Italia, donde se investiga en el mismo tema, con el objeto de compartir experiencias y establecer en el futuro un proyecto de colaboración.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Centro de Metrología de Radiaciones Ionizantes del ININ por las facilidades otorgadas para la realización de los experimentos con las máquinas de rayos X y diversas fuentes radiactivas. Parte de este proyecto está siendo financiado por CONACYT.

## **Referencias**

- 1.- Kemmer, J. Improvement of detector fabrication by planar process" Nucl. Inst. and Meth., 226 (1984), 89-93
- 2.- Rosales P., Aceves M., Cerdeira A., Estrada M., Cabal E., Ramírez F.J. "Sensores de Radiación Utilizando Diodos PIN de Silicio" Memorias del XX Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, 26-30 octubre 1998, Chihuahua, Mexico.
- 3.- Cabal A.E., Ramírez F.J., Estrada M., Cerdeira A., Aceves M., Rosales P. "Caracterización de diodos PIN de Silicio cristalino utilizando radiaciones nucleares" Cuarta Conferencia de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV, 9-11 septiembre 1998, Mexico, D.F.
- 4.- Yot A., Ramírez F.J., Ortiz Y., Cortés A., Becerril A. "Elaboración de un Conjunto Preamplificador - Fotodiodo para Espectroscopía Alfa" Informe Técnico, ININ, Julio 1995, México.
- 5.- Bertuccio B., et al "A Novel Charge Sensitive Preamplifier without the Feedback Resistor " Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 236 (1993) 71- 75.
- 6.- Díaz A., Montaña L.M., Ramírez F.J., Cerdeira A., Estrada M. "Simulation and characterization of a DC coupled preamplifier for the measurement of ionizing radiation in crystalline PIN diodes" Second Workshop on Simulation and Characterization Techniques in Semiconductors. IEEE - CINVESTAV, septiembre 7-8 1998, Mexico, D.F.
- 7.- Díaz A., Cabal A.E., Ramírez F.J., Osorio J.F. "Investigación y selección de parámetros de preamplificadores de bajo ruido de nuevo tipo para detectores de semiconductor" Proceedings of the Third Workshop on Nuclear Physics, CEADEN, 28-30 octubre 1997, Habana, Cuba.

## **Bibliografía**

Knoll G. F., Radiation Detection and Measurement, John Willey and S. New York 1979.