

C. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1982

MEDICIONES I-V y C-V SOBRE DETECTORES DE BARRERA SUPERFICIAL PARA PARTICULAS CARGADAS

L.Birstein y H.F.Giraut

INVAP S.E. - Comisión Nacional de Energía Atómica

El presente trabajo describe algunas mediciones preliminares sobre detectores de barrera superficial para partículas cargadas, con la finalidad de implementar el esquema de control de calidad comunmente usado en el proceso de fabricación a escala industrial de estos dispositivos.

Se ha realizado un estudio de las características I-V y C-V para un gran número de detectores, completando además en cada caso la información con mediciones de resolución y defecto de altura de pulso para alfas de 5.48 MeV.

El método C-V se utiliza, en nuestro caso, para determinar la resistividad del cristal y el espesor de la zona de vaciado, a partir de la medición de la capacidad del detector como función de la polarización, utilizando un capacímetro tipo puente marca Boonton, Modelo 72B, con rango de medición entre 0 y 3000 pF especificado para trabajar con factores de mérito ≥ 1 .

Las características I-V inversa, se han obtenido en cada caso, midiendo la corriente del detector en función de la polarización, obteniendo una curva experimental a la cual se ajustó posteriormente una función del tipo:

$$I(V) = A V^{1/2} + B V^k, \quad k = 0 \text{ ó } k = 1$$

El método C-V se ha podido aplicar en la mayoría de los detectores salvo en algunos casos donde aparecía una degradación en el factor de mérito atribuible a una resistencia equivalente serie alta, debida a defectos en el contacto óhmico del detector.

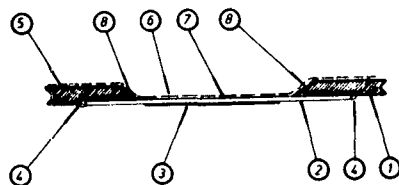
De los ajustes anteriormente mencionados, se extrae información de las contribuciones relativas de corriente superficial y de generación a la corriente inversa total y además un valor estimado de la vida media de los portadores minoritarios. Estos parámetros serán analizados posteriormente, junto con la resolución para una gran cantidad de detectores para encontrar alguna posible correlación estadística entre ellos, con la finalidad de implementar el método de control de calidad en el proceso de producción.

1. INTRODUCCION

Los detectores de estado sólido son dispositivos que ocupan un lugar preponderante en el campo de la física nuclear con múltiples aplicaciones y ventajas sobre otros tipos de sistemas existentes para la detección de partículas cargadas tales como iones livianos, fragmentos de fisión y radiación beta.

Este estudio ha sido realizado en el laboratorio de control de calidad perteneciente a nuestra planta de producción, considerando las características de los detectores de barrera superficial para detección de radiación alfa de 5.48 MeV y que han sido usados como componentes de instrumental para prospección de Uranio, a través del monitoreo de alfas del ^{222}Rn .

Figura 1



- 1 - Anillo de Pertinax
- 2 - Oblea de Si
- 3 - Contacto de Niquel
- 4 - Epoxy Hivac L
- 5 - Lámina de Cobre sobre el Pertinax
- 6 - Lámina de Oro
- 7 - Superficie atacada del Si
- 8 - Epoxy Epoxylite N° 69

El detector consta de una oblea de cristal de Silicio tipo "n" de alta pureza especificado de fábrica con resistividad de 1000-1500 Ωcm ; donde luego de la oxidación espontánea de una de sus caras se deposita una fina capa de oro (220 Å) en la misma, formando se de este modo una juntura metal-semiconductor con características rectificantes. En la otra cara del cristal se realiza un electroless de Níquel para obtener un contacto puramente óhmico. Posteriormente se monta sobre un anillo cerámico o de pertinax cobreado al cual se lo adhiere con resinas epóxicas especiales como lo muestra la Fig.1.

El control de calidad de los detectores arriba mencionados, consta de las siguientes mediciones:

- a) Resolución,
- b) Ruido,
- c) Defecto en la altura del pulso,
- d) Caract. C-V inversa,
- e) Caract. I-V inversa.

Las tres primeras propiedades se obtienen a partir del espectro alfa de una fuente calibrada de ^{239}Pu , ^{241}Am y ^{244}Cm ; registrado con el detector colocado en una cámara de vacío a una presión menor que 100 μHg . A continuación se presenta una tabla comparativa de valores típicos como resultado de un gran número de mediciones:

Area cm ²	Resolución keV FWHM	Ruido keV FWHM	D.A.P. %
0.126	12-15	7-10	1.6
0.28	16-19	9-12	1.8
3.8	25-30	18-22	2.2-2.3
5.31	30-45	20-35	2.3-2.4
10.75	50-70	45-55	2.6
19.6	80-100	70-90	2.9-3.0

En la Fig.2 se puede observar el espectro obtenido con un detector de óptima resolución. Las mediciones de las características I-V y C-V que se presentan en este trabajo, se realizaron en su mayoría con detectores cuya área activa era de 3.8 cm² y 5.31 cm².

II. 1) CARACTERISTICAS C-V INVERSA

Debido a su estructura, en estos detectores la juntura metal-semiconductor es superficial y fuertemente asimétrica sobre sustrato de Silicio tipo "n". En estas condiciones se puede aplicar el modelo de juntura abrupta, y obtener una expresión para el espesor de la zona de vaciado con polarización externa: $x_o = \{2\epsilon\epsilon_o \mu_n \rho_n (V_o + V)\}^{1/2}$

siendo:

- ϵ : cte. dieléctrica del cristal
- ϵ_o : permitividad del vacío
- μ_n : movilidad de los electrones a temperatura ambiente
- ρ_n : resistividad del cristal
- V_o : potencial de barrera intrínseco
- V : polarización externa

donde se ha considerado que todas las impurezas donoras estén ionizadas. Se puede obtener una expresión para la capacidad del sistema considerándolo equivalente a un capacitor de placas paralelas de área A y espesor x_o . En estas condiciones tenemos que:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_o A}{x_o} = A \left\{ \frac{\epsilon\epsilon_o}{2\mu_n \rho_n (V_o + V)} \right\}^{1/2}$$

II.2) MEDICIONES C-V

Se realizaron con el detector polarizado inversamente, a temperatura ambiente utilizando un capacímetro tipo puente con rango entre 0 y 3000 pF con factor de mérito $Q \geq 1$.

En la mayoría de los detectores, el comportamiento C-V respondió a una curva como la que se observa en la Fig.3; consistente con el modelo de juntura abrupta. A partir de ella se puede determinar el potencial de juntura (~ 0.6 Volt) y la densidad de átomos donores ionizados /1/.

Para ciertos dispositivos, se observó un comportamiento aparentemente anómalo en la respuesta del instrumento de medición. Al respecto, hemos intentado la siguiente explicación: todo detector puede ser representado por un circuito equivalente constituido por un capacitor en serie con una resistencia óhmica. La capacidad correspondería a la anteriormente mencionada en el párrafo II.1. La resistencia serie está originada en la zona no depleta junto con el contacto óhmico; en consecuencia su valor puede estar fuertemente influenciado por detalles constructivos de este último. Esta resistencia serie junto a un alto valor de capacidad (especialmente en condiciones de baja polarización externa) puede dar lugar a una disminución del valor correspondiente al factor de mérito provocando la consiguiente distorsión en la indicación del capacímetro, especificado como se mencionó anteriormente para trabajar con factores de mérito ≥ 1 . En la mayoría de los casos este efecto se observó para polarizaciones ≤ 0.4 Volt.

III.1) CARACTERISTICAS I-V INVERSA

La corriente inversa en estos dispositivos, está integrada fundamentalmente por tres componentes:

a) Corriente de Saturación.

Debida a la difusión de portadores minoritarios hacia la zona de vaciado. En nuestros detectores, esta corriente puede ser ignorada con respecto a la contribución de las otras dos componentes (aproximadamente 1% de la corrien

te inversa total).

b) Corriente de Generación.

Debida a la generación térmica y recombinación de pares electrón-hueco en la zona depletada, relacionada con la existencia de centros de recombinación causados por impurezas o imperfecciones estructurales en el cristal. Se ha obtenido /2/ una expresión para la densidad de corriente de generación dada por:

$$i_g = q g \{2\epsilon\epsilon_0 \mu_n \rho_n (V_o + V)\}^{1/2} ; \text{ donde } g = \frac{n_i}{2\tau}$$

es el valor máximo de la rapidez de generación, constante dentro de la zona depletada, considerando que la vida media efectiva τ es la misma para huecos y electrones y los niveles de energía asociados con los centros de recombinación están en la mitad de la banda prohibida.

c) Corriente superficial.

No existe una teoría rigurosa en cuanto a la dependencia de la corriente superficial con la polarización, que tenga validez general. Taylor /3/, considera que en forma muy aproximada puede obedecer a un comportamiento óhmico. Blankenship /4/ encontró que la corriente en sus detectores de barrera superficial se puede representar como la suma de dos componentes, una independiente del voltaje aplicado y la otra proporcional a $V^{1/2}$. Langmann y Meyer /5/ obtuvieron resultados similares y modificaron la expresión de la corriente de saturación introduciendo una vida media efectiva que tiene en cuenta el efecto de recombinación en la superficie. Masuda y Chisaka /6/ señalan la existencia de dos tipos de corriente inversa (ignorando la de saturación) donde una de ellas podría ser debida a la presencia de un canal superficial en la vecindad de la capa de oro.

III.2) MEDICIONES I-V

Se han medido aproximadamente 50 detectores de barrera superficial a temperatura ambiente, obteniéndose para cada uno un conjunto de valores experimentales I-V. La curva experimental se ajustó a una función del tipo:

$$I(V) = AV^{1/2} + B V^k \quad \text{donde } k = 0 \text{ ó } k = .1.$$

El primer término corresponde, dentro del modelo considerado, a una contribución de corriente de generación mientras que el segundo representa la contribución de corriente superficial. Para $k = 0$ la corriente inversa total tendría una componente de corriente superficial independiente de la polarización. Para $k = 1$ la componente atribuible a la corriente superficial tendría un comportamiento óhmico.

En cada caso se determinó la contribución porcentual relativa atribuible a corriente superficial y a corriente de generación para una polarización efectiva dada. Cuando el mayor aporte correspondía a corriente de generación se obtuvo un valor estimado de la vida media efectiva de los portadores minoritarios.

IV. CONCLUSIONES

Para un 40% de los detectores medidos se observó un comportamiento atribuible a corriente superficial independiente de la polarización; mientras que un 50% se ajustaba mediante la suposición de una corriente superficial lineal con la polarización. El 10% restante, presentó problemas de ruptura o dificultades para polarizarse. En las Fig. 4, 5 y 6 se observan ejemplos típicos del comportamiento I-V analizado. Los detectores con alta corriente inversa ($1 \mu A$ - $5 \mu A$) mostraron una mayor contribución atribuible a corriente superficial en ambos casos ($k = 0$ y $k = 1$).

A partir de mediciones I-V realizadas a distintas temperaturas y para

el mismo grupo de detectores, podemos concluir que el modelo no reproduce satisfactoriamente lo predicho en relación a las variaciones de las componentes de corriente inversa con la temperatura del detector. Inicialmente, se consideró una dependencia con la temperatura solamente a través de la corriente de generación. Posteriormente, se introdujo una dependencia con la temperatura en la contribución superficial basada en el trabajo de Statz /7/ sobre estados superficiales en Silicio. Finalmente, se consideró que la componente atribuible a corriente superficial podría tener la misma dependencia con la temperatura que la correspondiente a la componente de generación; obteniéndose mayor concordancia con los resultados experimentales, con respecto a los dos razonamientos anteriores, pero sólo en parte del grupo de los detectores estudiados. Esto nos ha llevado a establecer un programa de caracterización a temperatura constante para todos los detectores, de tal forma de poder, efectivamente, comparar las contribuciones relativas de corriente de generación y superficial, y valores de vida media efectiva de portadores minoritarios. Las determinaciones experimentales de capacidad y corriente inversa total fueron medidas dentro de $\pm 5\%$. Las mediciones de polarización efectiva pueden ser estimadas dentro del $\pm 1\%$.

Los parámetros hasta aquí mencionados, serán estudiados para un gran número de detectores de barrera superficial con la finalidad de encontrar una posible correlación estadística entre estos parámetros y los distintos pasos en el proceso de producción en gran escala de estos dispositivos.

FIGURAS:

- Figura 2: Espectro alfa obtenido con detector de barrera superficial de óptima resolución.
- Figura 3: Curva experimental de $1/C^2$ en función de la polarización.
- Figura 4: Ajuste de valores experimentales a una función: $I(V) = AV^{1/2} + BV^k$, para $k=0$. La curva (1), presenta una contribución porcentual relativa $I_s \approx 75\%$ atribuible a corriente superficial y una contribución porcentual relativa $I_g \approx 25\%$ atribuible a corriente de generación para una polarización efectiva de 50 Volt. La curva (2) presenta una $I_s \approx 27\%$ y una $I_g \approx 73\%$ para la misma polarización efectiva.
- Figura 5: Análisis similar al de la Fig.4, pero en este caso para $k=1$. La curva (1) presenta una $I_s \approx 72\%$ y una $I_g \approx 28\%$ para una polarización efectiva de 50 Volt. La curva (2) presenta una $I_s \approx 28\%$ y una $I_g \approx 72\%$ para la misma polarización efectiva.
- Figura 6: Curva experimental donde aparece un probable comportamiento de ruptura. Esta serie de valores experimentales no es ajustable a la función correspondiente al modelo propuesto.

REFERENCIAS

- /1/ A.M.GOODMAN, Journal of Applied Physics 34/2 (1963).
- /2/ C.T.SAH, R.N.NOYCE and W.SHOCKLEY, Proc.IRE 45 (1957) 1228.
- /3/ J.M. TAYLOR, "Semiconductor particle detectors" (1963).
- /4/ J.L.BLANKENSHIP, N.A.S.Public.871 (1961) 43.
J.L.BLANKENSHIP and C.J. BORKOWSKI, IRE Trans.Nucl.Sci.NS8 N°1 (1961) 17.
- /5/ H.J.LANGMANN and O.MEYER, Nucl.Instr.Meth. 44 (1966) 55.
- /6/ M.MASUDA, S.TAKEDA and H.CHISAKA, Nucl.Instr.Meth. 49 (1967) 77.
- /7/ H.STATZ, G.A.de MARS, L.DAVIS Jr. and A.ADAMS Jr., Physical Review 101, N°4 (1956).

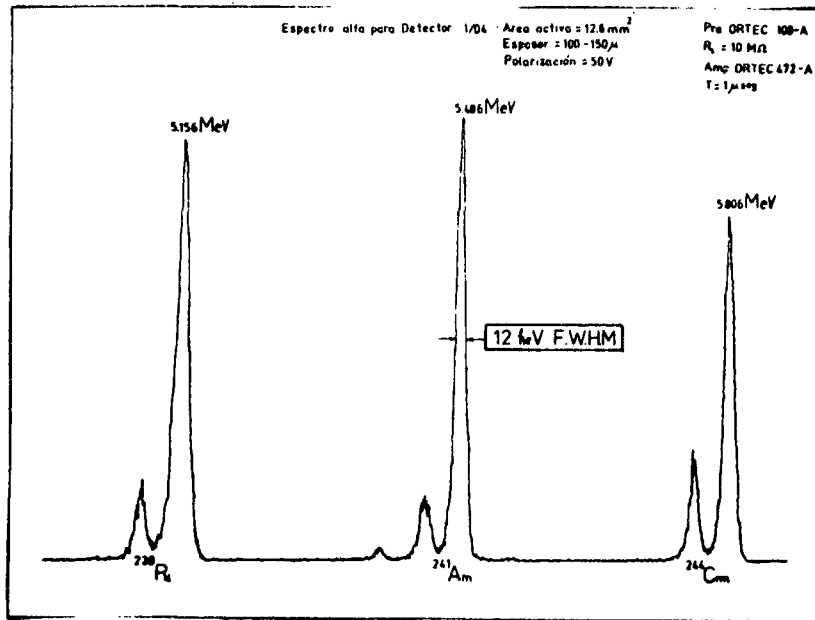


Figura 2

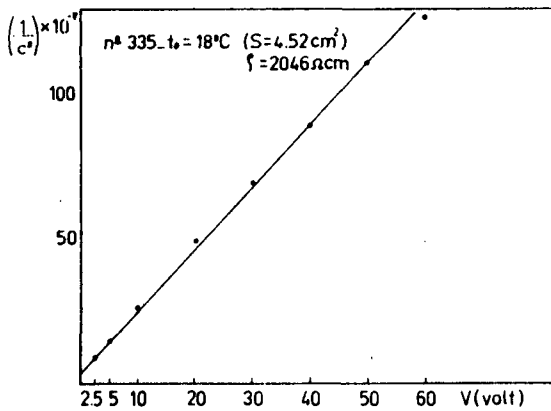


Figura 3

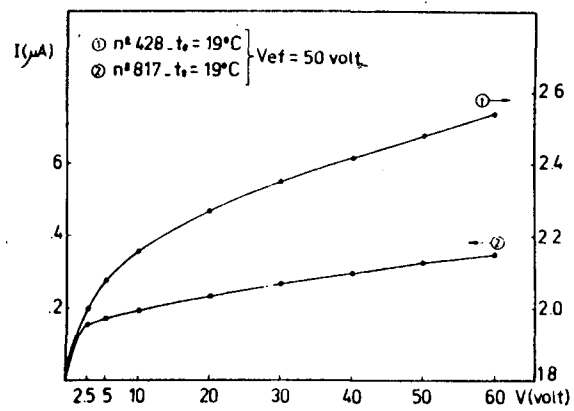


Figura 4

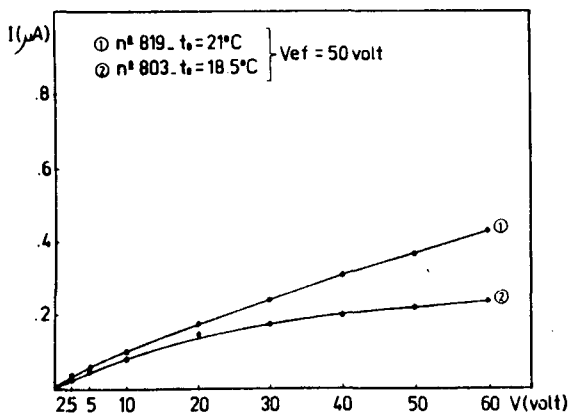


Figura 5

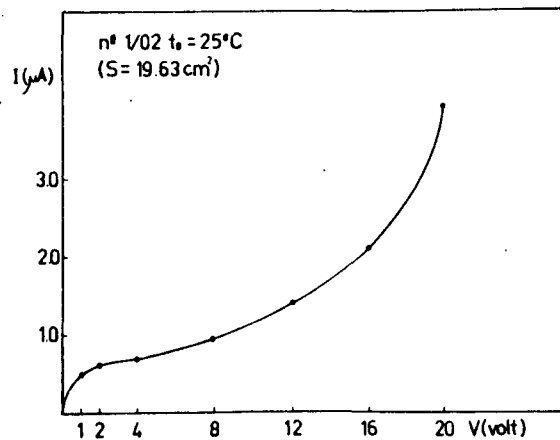


Figura 6