

Caracterización de los espectros de rayos X de ^{241}Am y ^{55}Fe utilizando un CCD

Introducción a Física Nuclear y de Partículas

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Comisión Nacional de Energía Atómica
Olaf “h” Salgado, Alejandro “Takió” Onetto, Noé “Tucumano” Cambra, Ayala “Salvador” Ayala

RESUMEN

Se determinó la relación entre la carga depositada en un CCD y la energía de la radiación incidente. Las fuentes empleadas fueron ^{241}Am y ^{55}Fe . Se verificó que entre 5 y 70 keV la relación es lineal.

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

Existen muchos nucleidos que emiten rayos X. Estos rayos son la radiación electromagnética que emiten los nucleidos en procesos de desexcitación. A lo largo de la historia se han desarrollado distintas técnicas para el estudio de los rayos X. En particular, para esta práctica se utilizó un CCD (Charge Coupled Device) para la detección de éstos.

Un esquema del CCD se presenta en la Figura 1. El CCD consiste en dos placas de silicio, una dopada con fósforo para tener un exceso de electrones y otra con boro para tener un exceso de huecos. Esta diferencia de cargas libres genera un desplazamiento de cargas que genera un campo eléctrico. A su vez, se aplica un campo eléctrico en el sentido opuesto de forma de generar un pozo en torno a la juntura. Para evitar desplazamientos sobre la superficie de la juntura se emplean materiales aislantes. La radiación que incide sobre el silicio desprende electrones mediante efecto fotoeléctrico que son confinados por los campos eléctricos. Para reforzar el efecto del pozo de potencial se coloca el sistema a bajas temperaturas, disminuyendo el movimiento de los electrones.

En la Figura 2 se presentan ejemplos de los eventos observados en el CCD, correspondientes a radiaciones α , β^- , μ^- y fotones.

Podemos pensar a cada uno de los pozos del CCD como un píxel. Las cargas acumuladas en los píxeles pueden moverse de un píxel a uno de sus vecinos aplicando diferencias de potencial. Estas cargas son extraídas de los píxeles de forma secuencial como se explica más adelante. A partir de las cargas colectadas puede reconstruirse una imagen de lo que detecta el CCD. Esta imagen es una representación de las cargas colectadas por los píxeles en el CCD.

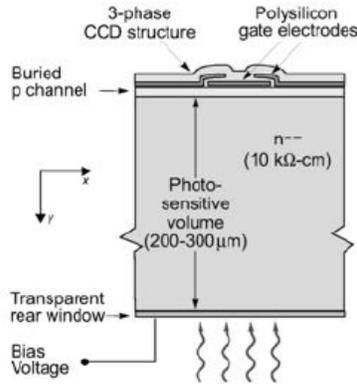


Figura 1: Diagrama lateral de un CCD. La radiación electromagnética atraviesa el volumen fotosensible en donde se produce el efecto fotoeléctrico.



Figura 2: Ejemplos de imágenes producidas por distintos tipos de eventos obtenidos con un CCD.

El CCD utilizado en el experimento tenía un sustrato de silicio de 3 cm de ancho, 3 cm de largo y 250 μm de alto. Cada pixel era de la altura del sustrato y tenía 15 μm de ancho y de largo. Para su correcto funcionamiento, el CCD debe operar a aproximadamente $-170\text{ }^\circ\text{C}$. Para esto se hizo circular nitrógeno líquido por una serpentina metálica que estaba en contacto con la placa donde estaba montado el CCD. Para evitar que el agua de la atmósfera cristalizase sobre el dispositivo, se lo colocó en una recámara por la cual circulaba nitrógeno gaseoso. Dentro de esta recámara se colocaron las fuentes de radiación de rayos X (^{241}Am y ^{55}Fe).

El esquema experimental se presenta en la Figura 3. Para polarizar el sustrato de silicio se empleó una fuente de tensión de -40 V . El amplificador era alimentado con una tensión de 22 V y estaba polarizado a -12.5 V .

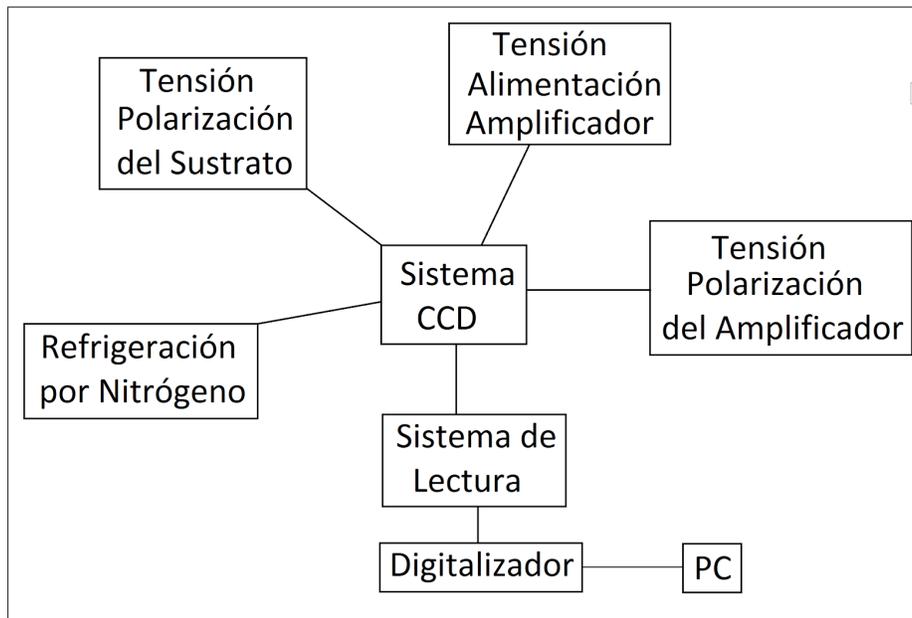


Figura 3: Esquema experimental utilizado para las mediciones.

En la Figura 4 se puede ver un esquema ilustrativo del proceso de lectura de la carga. Éste se desarrolló en tres pasos:

- a. Se expuso el CCD a la fuente de radiación.
- b. Se pasó la carga de la primer columna de pixeles a un buffer de lectura.
- c. La carga de cada uno de los pixeles fue transferida al amplificador.

Todos estos pasos se comandaron por una señal de clock.

A través de un ordenador se obtuvo una imagen donde las intensidades representan la carga de cada pixel. A partir de ésta se obtuvo una matriz rara que contenía únicamente los eventos. Integrando la carga asociada a cada evento se obtuvo un histograma.

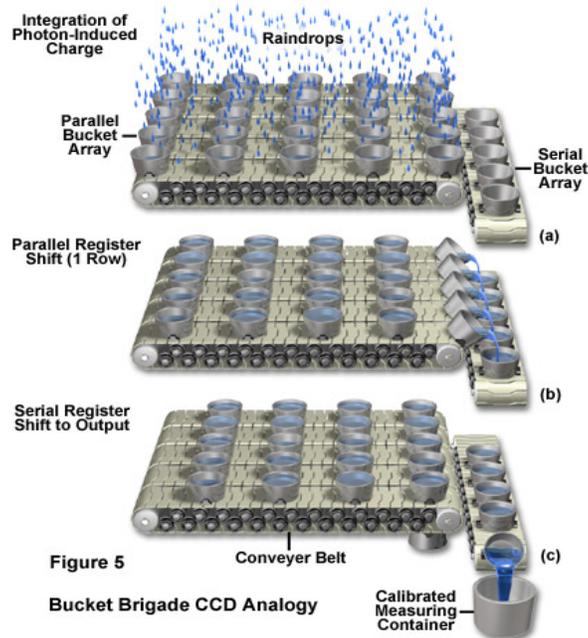


Figura 4: Esquema ilustrativo del sistema lectura de la carga de los pixeles en el CCD.

RESULTADOS

Se realizó un histograma con los los valores de carga obtenidos de cada evento en unidades arbitrarias. Sobre éste se realizó un ajuste de múltiples gaussianas para identificar las posiciones de los centros de los picos encontrados. Se tomó como error de la posición de los mismos el provisto por el ajuste. Una imagen representativa del ajuste gaussiano se presenta en la Figura 5. El histograma con los centros de los picos indexados se presentan en la Figura 6.

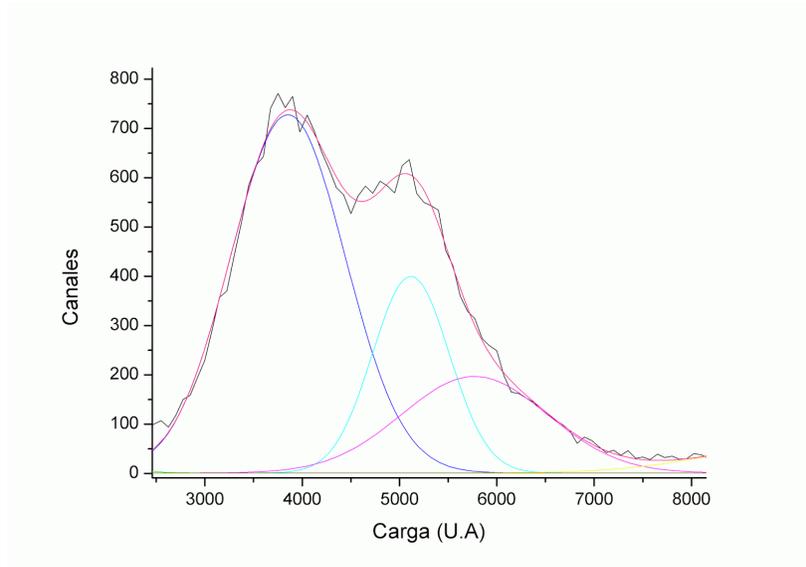


Figura 5: Ejemplo del ajuste gaussiano de tres picos del histograma de cargas obtenido.

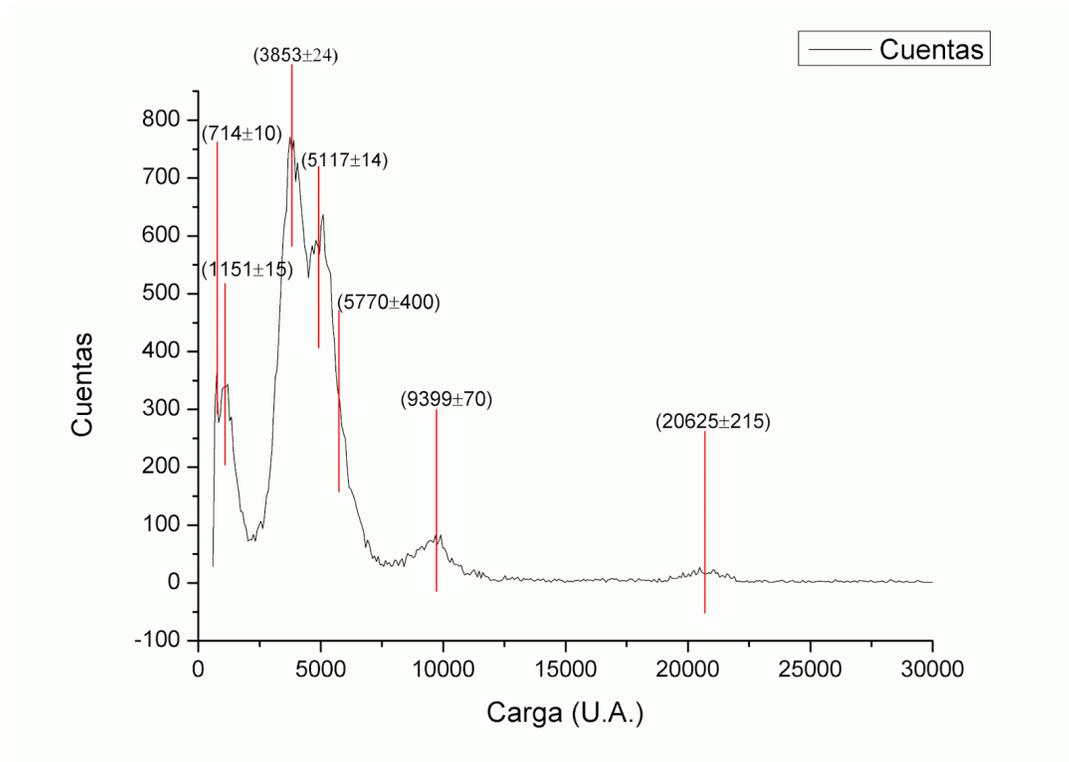


Figura 6: Histograma de cargas obtenido. Se indexan las cargas correspondientes a los centros de los picos con su error.

Habiendo obtenido los centros de los picos, se procedió a asociar la carga depositada en cada evento con las energías de los decaimientos del ^{55}Fe y ^{241}Am . Para esto se tomó como hipótesis que la carga depositada en la superficie del CCD era proporcional a la energía de las partículas incidentes. De esta manera, en base a observar las distancias relativas entre los picos del histograma y las energías de los

posibles procesos de emisión del ^{55}Fe y ^{241}Am , se asoció una energía a cada pico ^{[1][2]}. Los valores de carga medidos con sus energías asociadas se presentan en la Tabla 1.

Valor Carga (U.A)	Valor tabulado (keV)	Valor Carga (U.A)	Valor tabulado (keV)
(724 ± 10)	$5.888 (^{55}\text{Fe}, \text{RX})$	(5770 ± 400)	$17.992 (^{241}\text{Am}, \text{RX})$
(1151 ± 15)	$10.9 (^{55}\text{Fe}, \text{RX})$	(9399 ± 70)	$31.4 (^{241}\text{Am}, \Delta)$
(3853 ± 24)	$13.17 (^{241}\text{Am}, \text{RX})$	(20625 ± 625)	$59.5412 (^{241}\text{Am}, \Delta)$
(5117 ± 14)	$17.751 (^{241}\text{Am}, \text{RX})$		

Tabla 1: Centros de los picos de carga junto a la energía de la emisión asociada. Se indica la fuente y el tipo de emisión, siendo "RX" rayos X y " Δ " rayos gamma.

Con esta información se graficó carga en función de energía y se realizó un ajuste lineal presentado en la Figura 7. Luego se procedió a invertir la relación para obtener la siguiente forma funcional:

$$E = a * C + B$$

Los valores de pendiente (a) y ordenada (B) obtenidos fueron: $a = (0.0027 \pm 0.0004) \text{ keV/U.A.}$ y $B = (5 \pm 2) \text{ keV}$.

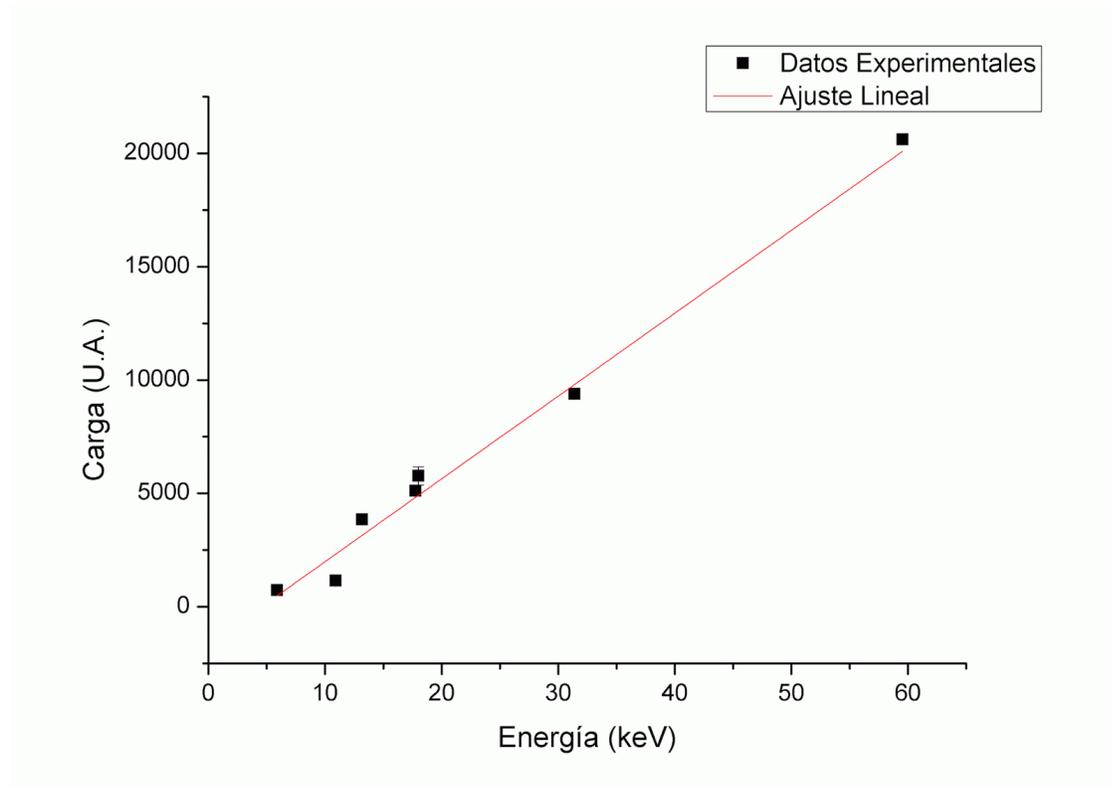


Figura 7: Ajuste lineal realizado sobre los valores de carga en función de la energía de los decaimientos. Los errores que no se observan están contenidos en los puntos.

CONCLUSIONES

Se pudo obtener un histograma de la carga depositada por la radiación incidente. A partir de los datos tabulados para los decaimientos del ^{55}Fe y ^{241}Am se pudo determinar las energías correspondientes a cada pico de carga. Se realizó una regresión lineal verificando la linealidad del CCD. Se obtuvo, según $E = a * C + B$, $a = (0.0027 \pm 0.0004) \text{ keV}/U.A.$ y $B = (5 \pm 2) \text{ keV}$.

REFERENCIAS

[1] <http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=260055>

[2] <http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=950241>