

Estudio sobre las posibilidades de registro de neutrones de los detectores sólidos de trazas nucleares de nitrato de celulosa (CN-85), para dosimetría neutrónica

K. Shtejer, N. Pérez N., G. Martín, A. T. Hernández*

Se describe el estado actual de un estudio sobre las posibilidades del uso del CN-85, detector de nitrato de celulosa de 100 μm de grosor (manufacturado por Kodak-Pathé de Francia), para realizar dosimetría neutrónica. El detector fue utilizado sin convertidores n-p adicionales. Las posibilidades de detección del CN-85 fueron analizadas mediante el conteo automático en un procesador de imágenes. Se determinaron las condiciones óptimas para el revelado químico.

En el presente trabajo se investiga, además, la relación de la densidad de trazas y sus parámetros geométricos con las características de la radiación neutrónica. Se demuestra que la dependencia de la densidad de trazas con el tiempo de irradiación se ajusta a una expresión matemática específica.

Con el propósito de determinar el rango energético de detección de neutrones en el detector CN-85, y dada la ausencia de fuentes de neutrones monoenergéticas, fueron construidos histogramas de distribución de diámetros de las trazas, parámetro inversamente proporcional a la energía incidente en el detector. De acuerdo con los resultados obtenidos se observan algunas modificaciones en el

espectro de energías que es capaz de registrar el detector cuando varía la geometría de la instalación.

Se muestran figuras y gráficos que describen los comportamientos antes mencionados.

Introducción

Los detectores sólidos de trazas nucleares han sido ampliamente usados para el registro de la radiación neutrónica con muy buenos resultados. La dosimetría neutrónica con DSTN se basa en la detección de la radiación secundaria producto de la interacción del neutrón con los núcleos de los átomos estructurales del material [1]. Los detectores más utilizados en dosimetría neutrónica debido a su alta sensibilidad para el registro de la radiación en un amplio rango energético y al alto contenido de hidrógeno de su estructura molecular, son los CR-39 [2-4]. Sin embargo, también es conocida la capacidad de detección de neutrones en detectores de nitrato de celulosa suficientemente gruesos [5,6]. En este trabajo se estudian las posibilidades del uso de detectores CN-85 de 100 μm de grosor, manufacturados por Kodak-Pathé para fines similares en un irradiador

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

neutrónico diseñado, construido e instalado en el CEADEN. Dadas las características geométricas de esta instalación, específicamente las pequeñas dimensiones y la ubicación de la cavidad de irradiación, resulta conveniente el uso de DSTN.

Materiales y métodos

En esta etapa del estudio del CN-85, fueron determinadas las condiciones óptimas del revelado químico (tiempo, concentración, temperatura) que permitieran la observación de trazas bien definidas con una densidad adecuada para establecer buenos criterios de análisis. Para determinar el tiempo óptimo de revelado se trataron químicamente los detectores con una solución de NaOH al 10%, concentración reportada como óptima por los productores del CN-85, durante varios tiempos desde 30 minutos hasta 4 horas. Luego de seleccionar el tiempo óptimo se revelaron los detectores con 4 concentraciones de NaOH (1N, 2,5N, 5N, 6,25N), a 60°C.

El conteo de las trazas y la medición de diámetros fue posible con el empleo del procesador de imágenes IMAGCELL elaborado en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

Algunos experimentos se realizaron en una fuente de Am-Be, de un flujo aproximado de 5×10^6 neutrones / seg. La otra parte se llevó a cabo en el irradiador de neutrones que es necesario caracterizar, que consta de 4 fuentes de Am-Be, similares a la anterior y distribuidas simétricamente alrededor de la cavidad de irradiación.

Resultados y discusión

Búsqueda de condiciones óptimas para el revelado químico

El proceso continuo de revelado conduce a un aumento gradual de la

densidad de trazas con el tiempo, hasta alcanzar un valor máximo a las 3 horas. A partir de este momento comienza a disminuir la densidad (Figura 1).

Cuando en el detector inciden neutrones con un espectro continuo de energía como ocurre en nuestro caso, las trazas son producidas en diferentes profundidades del detector y la solución de ataque químico no reacciona simultáneamente con todas las capas del mismo. Durante un revelado estable, las trazas reveladas en las primeras capas, comienzan a ser removidas y debe producirse un efecto combinado de la desaparición de las trazas viejas con la aparición de otras nuevas. En nuestro experimento, la corta duración de este efecto es atribuida a la alta velocidad con que reacciona el NaOH con la superficie de los detectores de Nitrato de Celulosa [7]. Luego, cuando la velocidad de desaparición de las trazas viejas excede la velocidad de revelado de otras nuevas, la curva desciende. El diámetro de las trazas también aumenta con el tiempo de revelado, y permanece constante a partir de 2 horas. Por todo esto se escogió 3 horas como tiempo óptimo para el tratamiento químico de los detectores. Los resultados del experimento confirmaron además, que 2,5N de NaOH es la concentración más adecuada para el tratamiento de estos detectores.

Densidad de trazas vs. tiempo de exposición a la radiación

Como paso preliminar para la calibración de estos detectores y considerando la proporcionalidad entre dosis y tiempo de exposición a la radiación, se analizó el comportamiento de la densidad de trazas con respecto al tiempo de exposición en el irradiador neutrónico (Figura 2). Los resultados experimentales responden a un crecimiento exponencial de la densidad de trazas (ρ) con el tiempo (t) de irradiación según la función:

$$\rho(t) = 3,83 \cdot 10^3 (1 - \exp(-0,320 \cdot t))$$

Se puede establecer una primera zona en que la densidad de trazas describe un comportamiento aproximadamente lineal con el tiempo de exposición. En este rango de tiempo las densidades de trazas correspondientes pudieran ser usadas como indicadores de dosis. En la segunda zona del gráfico la curva tiende a la saturación de la densidad de trazas.

Diámetro de las trazas

Además de la densidad de trazas, cuyo valor se atribuye a la cantidad de radiación absorbida por los detectores, uno de los parámetros relacionado con características físicas propias de la radiación es el diámetro de las trazas, el cual depende y es inversamente proporcional a la energía incidente en el detector [8,9].

Las dimensiones de las trazas que se observan en un detector irradiado en una fuente no monoenergética son disímiles y dependen en gran medida de las características de la fuente a la cual fue expuesto así como de las reacciones nucleares que pueden ocurrir a diferentes profundidades del detector.

La composición de los detectores de nitrato de celulosa CN-85 es $C_6H_8O_9N_2$. Para el espectro energético de la fuente de Am-Be, la reacción de los neutrones con el hidrógeno y el carbono, es similar y posee una alta sección eficaz de dispersión elástica [10].

Si se tienen en cuenta estos aspectos, sería posible derivar conclusiones acerca del espectro de energía de la radiación incidente, a partir de un espectro de diámetros de las trazas obtenidas en el detector.

Los espectros obtenidos en dos detectores irradiados durante 4 horas en una fuente de Am-Be y en el irradiador neutrónico, respectivamente, tienen formas muy similares.

Asumiendo la relación diámetro - energía, se observa un pico de energía más probable en ambos casos, que se corresponde con un diámetro de 5 - 6 μm . Además, la mayor parte de los conteos coincide con el rango comprendido por los menores diámetros, lo que sugiere una mayor incidencia de neutrones rápidos. También hay un aporte considerable de neutrones menos energéticos, cuya presencia pudiera estar dada por las múltiples dispersiones que con mucha probabilidad ocurren en el material utilizado para el blindaje tanto de la fuente como del irradiador.

A pesar de la similitud existente entre los dos espectros, hay algunas diferencias de interés. La cantidad de conteos en el irradiador resultó ser inferior a la de la fuente. Este resultado está en contradicción con la presencia, en la fuente, de un flujo de neutrones menor que en el irradiador, el cual consta de 4 fuentes de Am-Be. La explicación de este resultado pudiera atribuirse a que en la concepción del experimento no se tuvo en cuenta el ángulo crítico del detector como una propiedad específica y un factor limitante para la observación de las trazas.

Producto de la forma arbitraria en que se colocó el detector de 2 x 2 cm^2 , en la cavidad de irradiación, la cual queda situada entre las 4 fuentes que componen el irradiador, existe la posibilidad de que una gran parte del flujo de neutrones incidiera en el detector con un ángulo menor que el ángulo crítico

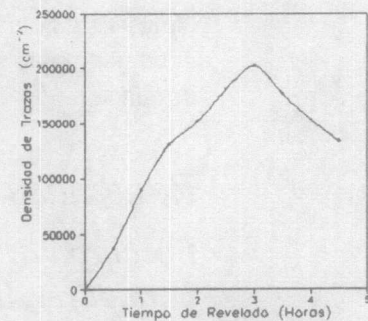


Figura 1. Comportamiento de la densidad de trazas (cm^{-2}) con el tiempo de revelado (horas).

Figura 2.
Comportamiento de la densidad de trazas (mm^{-2}) con el tiempo de irradiación (horas).

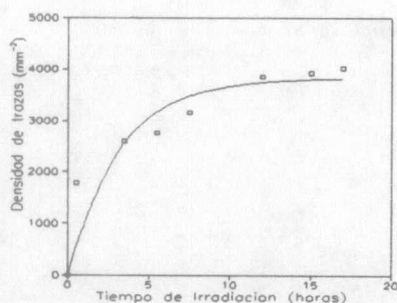
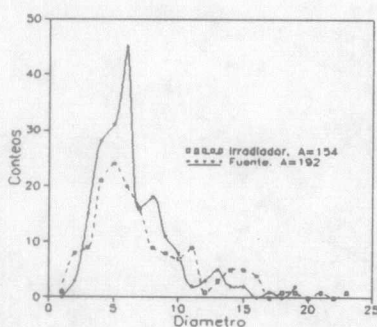


Figura 3. Espectros de diámetros de trazas en el irradiador y en la fuente de Am-Be.



Conclusiones

Se comprobaron de forma experimental las posibilidades del detector de nitrato de celulosa CN-85 para el registro de neutrones rápidos.

Se determinaron las condiciones óptimas para el revelado químico del CN-85 (2,5N NaOH, 3horas, 60°C), las cuales se corresponden con las reportadas por otros autores [11].

Se obtuvo la dependencia de la densidad de trazas con respecto al tiempo de irradiación. A partir de estos resultados se concluye que los detectores CN-85 pueden ser utilizados como indicadores de dosis en un rango determinado. La densidad de trazas observadas en el experimento (10^4 - 10^5 trazas/ cm^2) resulta suficiente para estos fines. Para la determinación cuantitativa de los valores específicos de dosis se requiere la calibración de este tipo de detectores en un flujo neutrónico estándar.

Se obtuvo una distribución de densidad de trazas por diámetro la cual ofrece

información cualitativa acerca de la distribución energética de los neutrones en la cavidad de irradiación. La continuación de este trabajo prevé la realización de estudios encaminados a lograr una caracterización más exacta de la interacción de los protones con el material del detector así como la posibilidad de calibración energética del flujo neutrónico por otros métodos, por ejemplo el método de detectores umbral utilizando láminas de activación. Asimismo, se llevarán a cabo experimentos específicos para esclarecer el comportamiento de la densidad de trazas con la variación del ángulo entre el detector y la fuente.

Referencias

- [1] M.L. Tavera- Dávila. INIS -mf- 13133 (1991), 148p.
- [2] K. James, Matiullah, S.A. Durrani. Nucl. Tracks Radiat. Meas. 13(1),(1987) 3-24.
- [3] N.P. Kocherov, O.E. Shigaev. V.G. Khlopin Radium Institute, Leningrad.
- [4] M. Sohrabi, M. Khoshnoudi. Nuclear Tracks, 12(1-6),(1986) 175-178.
- [5] U. Madhvanath, A.S. Pradhan, G. Venkataraman, K. Ayyangar. Proceeding of a Symposium, Viena. (1975) 133-141.
- [6] G. Venkataraman, P.K. Marathe, R.V. Joshi. First Asian Regional Congress on radiation protection, IARP 31108, December 1974, Bombay.
- [7] V.Uma et al. Nucl. Inst. and Methods, 171 (1980) 75-76.
- [8] R.L. Fleischer, P.B. Price, R.M. Walker. Nuclear Tracks in solids: Principles and Applications (University of California Press, Berkeley, 1975).
- [9] H.A. Hussain. Isotopenpraxis, 25(6), (1989) 245-246.
- [10] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement, (1979).
- [11] Guo Shi- Lun. Principles, Techniques and applications of Solids States Nuclear Track Detectors, IAEA, (1987).