

Síntesis y Caracterización dosimétrica de $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ para aplicaciones biomédicas

M.I. León Madrid¹, Modesto Sosa Aquino¹, M.A. Vallejo¹, L.A. Diaz-Torres²

¹División de ciencias e ingenierías de la Universidad de Guanajuato

²Instituto de Espectroscopia de Materiales Avanzados y Nanoestructurado (GEMANA), Centro de Investigaciones en Óptica A.C. CP 37150, León México

Resumen— En este trabajo, se presenta la metodología de la síntesis y caracterización de aluminatos de estroncio ($\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$) dopados con Ce^{+2} para su uso dosimétrico en el área de protección radiológica, sobre todo para fuentes radioactivas, rayos X (RX), y aceleradores lineales entre otros equipos de radiodiagnóstico.

Palabras clave—Aluminatos, Cerio, dosímetro, protección radiológica, RX, radiodiagnóstico

I. INTRODUCCIÓN

Un dosímetro es un detector de radiaciones de tipo ionizantes, tales como las provenientes de los equipos de radiodiagnóstico o fuentes radiactivas [1] [2], cuyo principal objetivo es integrar las dosis de radiación recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto (POE) ha dicho agente de riesgo, durante un determinado periodo.

La termoluminiscencia (TL) es un fenómeno físico que consiste en la emisión de luz cuando se calienta un sólido sin llegar a la temperatura de incandescencia [3]. La TL puede ser explicada mediante la teoría de bandas de sólidos (niveles de energía), ciertos materiales que al recibir radiación liberan electrones de su banda de valencia hacia la banda de conducción. Al momento de decaer de nuevo hacia la banda de valencia estos electrones son retenidos en trampas energéticas debidas a impurezas en la red cristalina del material (ocasionadas por el dopante) [3] [4].

Posteriormente estos materiales son calentados y los electrones atrapados vuelven a caer en sus estados originales emitiendo luz. La cantidad de luz es proporcional a la dosis de radiación acumulada desde la última vez que el material fue calentado [5] [6].

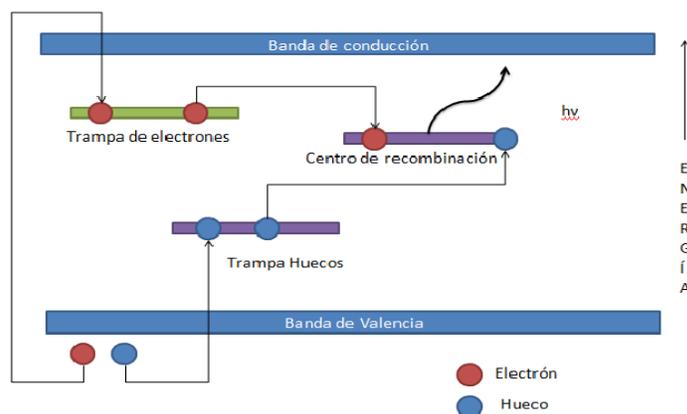


Fig1. Visualización del fenómeno de Termoluminiscencia

Existen sustancias como el fluoruro de litio (LiF), el fluoruro de calcio (CaF) y en nuestro caso el aluminato de estroncio ($\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$), que al ser expuestos a radiaciones ionizantes, son capaces de almacenar la energía depositada como excitaciones de electrones atómicos.

Al ser calentados los dosímetros activan la recombinación de pares electrón-hueco y en consecuencia emiten luz en proporción a la energía absorbida por la radiación incidente.

Las ventajas que presentan los dosímetros termoluminiscentes son su larga vida útil, su alta confiabilidad y su fácil borrado.

II. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama a bloques, se presentan las diferentes fases de la metodología, más adelante se explican de forma detallada las condiciones empleadas para cada una de las etapas del proyecto.

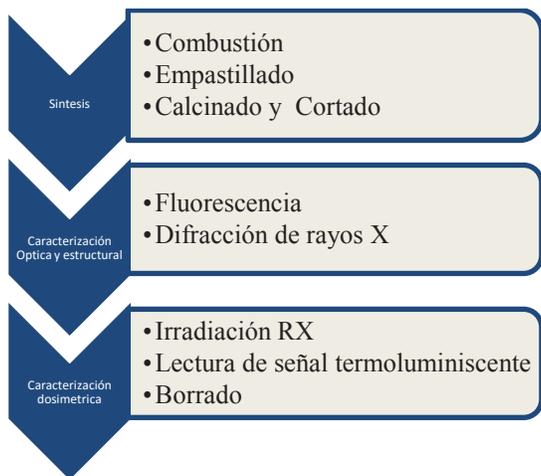


Fig2. Diagrama de flujo de la metodología

2.1 Síntesis [7]

En un vaso de precipitados se colocaron 15 ml de agua en agitación constante a temperatura ambiente. Posteriormente se disolvieron cantidades estequiometrias de Urea, ácido bórico, nitratos de estroncio, amonio, aluminio y cerio. Todas las sales utilizadas eran de grado reactivo y se utilizaron sin modificación previa. Una vez que se obtuvo una solución transparente después de 30 minutos de agitación constante, se introdujo la muestra en una mufla previamente calentada a 600°C por 10 minutos. El material resultante es una espuma de color blanco. La espuma se molió en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino. A continuación se fabricaron pastillas de un gramo a una presión de 2MPa por 30. Una pastilla fue calcinada en aire y otra en atmosfera reductora, ambas a 1150°C. Con las pastillas calcinadas se fabricaron dosímetros de 3x3x1 mm para su caracterización dosimétrica y óptica.

2.2 Caracterización Óptica

Difracción de RX.

Las muestras fueron molidas, obteniéndose sus espectros de RX entre 10° y 80° con un incremento de 0.01°. La verificación de la fase cristalina se realizó mediante el software DIFFRAC SUITE. El patrón de RX se obtuvo en un difractómetro D2 phaser, BRUKER [8].

Luminiscencia.

A las muestras obtenidas en la síntesis, se les obtuvo el espectro de emisión en un rango de 450 a 750 nm. La excitación fue a una longitud de onda de 330 nm

proveniente de una lámpara de Xenón filtrada mediante un monocromador de .25 m de longitud focal [9][10].

2.3 Caracterización y curvas Dosimétricas.

2.3.1 Borrado.

Para el borrado, los dosímetros fueron colocados en una placa cerámica. Posteriormente, la placa se colocó en una mufla a 400°C por 2 horas y luego en un horno a 100°C por 1 hora.

2.3.2 Irradiación.

Los dosímetros se colocaron en una placa de acrílico y se irradió con un equipo odontológico de RX a una distancia de 10 cm para lograr 5318.35 miliRoentgen (mR) de exposición (5 placas dobles para adulto). Los procesos de borrado e irradiación se repitieron varias veces con el fin de garantizar su reproducibilidad.

2.3.3 Lectura

La lectura de los dosímetros fue mediante el equipo Harshaw TLD 3500, donde la temperatura de precalentado fue de 50°C por 20 segundos y la rampa de lectura fue de 10°C/seg hasta llegar a 400°C

III. RESULTADOS.

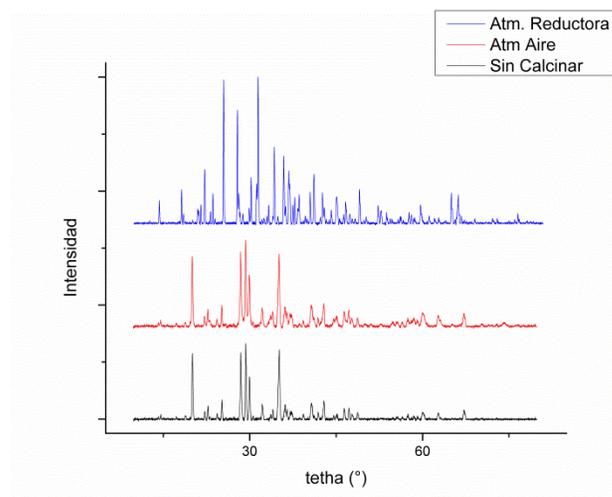


Figura 3. Resultados DRX del material en diferentes atmósferas

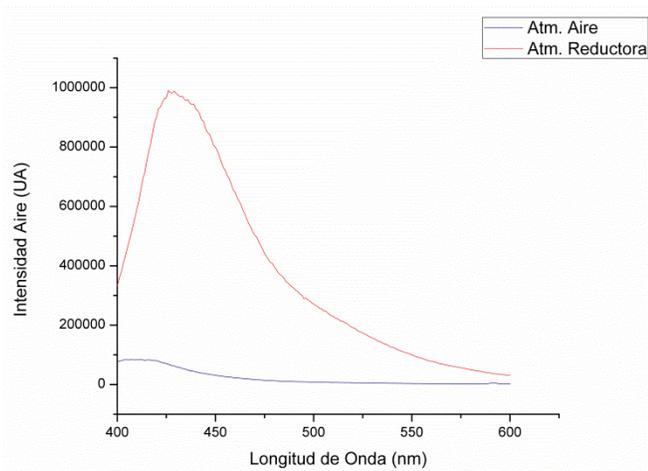


Figura 4. Comparación de los espectros de emisión de $Sr_4Al_{14}O_{25}: Ce^{+2}$ (excitando a $\lambda=333$ nm).

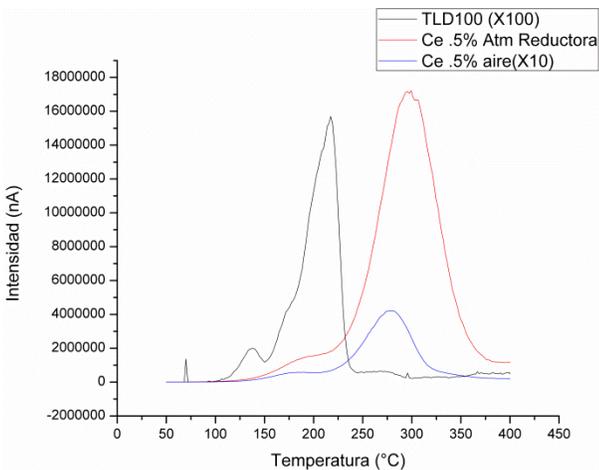


Figura 5. Respuesta termoluminiscente del material cocinados a diferentes atmosferas comparados con un dosímetro TLD100 comercial.

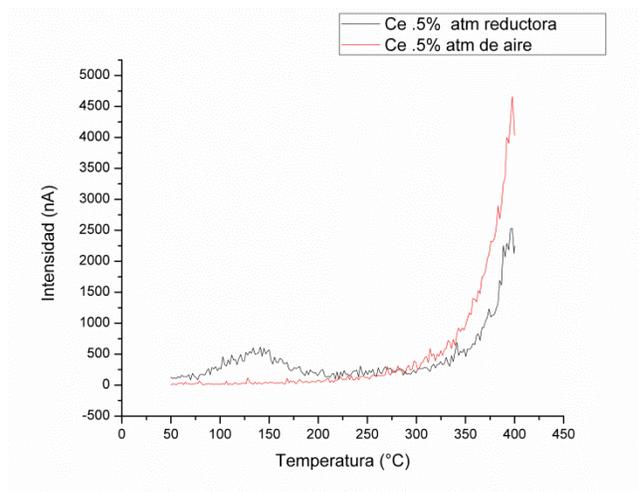


Figura 6. Respuesta termoluminiscente del material después de ser borrado.

Como denota la ecuación 1 y con base a las figuras 3 y 4, el área bajo la curva de la corriente es la carga, podemos obtener los resultados presentados en la Tabla 1 y 2.

$$q(T) = \int A(T)dT \quad (1)$$

Material (Atmosfera)	Carga liberada(nC)
$Sr_4Al_{14}O_{25}: Ce^{+2}$ (Aire)	1102.490
$Sr_4Al_{14}O_{25}: Ce^{+2}$ (Reductora)	49606.910
TLD100	263.27

Tabla1. Carga equivalente almacenada por los diferentes dosímetros después de ser irradiados.

Material (Atmosfera)	Carga liberada(nC)
$Sr_4Al_{14}O_{25}: Ce^{+2}$ (Aire)	7.671
$Sr_4Al_{14}O_{25}: Ce^{+2}$ (Reductora)	6.104

Tabla1. Carga equivalente almacenada por los diferentes dosímetros después de ser borrados.

IV. Discusiones

En la figura 3, se muestra que el tipo de atmosfera empleada en la síntesis es un factor determinante para el tipo de fase del cristal, demostrando que una atmósfera reductora favorece a la aparición de una fase ortorrómbica.

La figura 4 muestra un pico centrado aproximadamente en 425 nm que presentan ambos espectros, de igual forma, la síntesis que se desarrollo en un atmosfera reductora presenta una mayor intensidad esto es debido a la fase ortorrómbica que está mejor definida.

La figura 5 muestra las curvas de brillo de los dos aluminatos $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ en ambas atmosferas y un TLD100 (uso comercial), mostrando que los aluminatos de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ tienen mejor respuesta termoluminiscente que el TLD100, cabe mencionar que los espectros del TLD100 y el aluminato de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ sintetizado en una atmosfera de aire fueron multiplicados por un factor (100 y 10 respectivamente) con el objetivo de poder hacer una comparación con el aluminato de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ sintetizado en una atmosfera reducida, esto nos proporciona bases suficientes para poder aseverar que el aluminato de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ sintetizado en atmosfera reductora es mucho más sensible a la radiación electromagnética que los otros dos materiales.

La figura 6 muestra los espectros de los aluminatos de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ borrados (ver la parte de borrado), donde se observa claramente que las trampas del material están vacías, a comparación con los espectros de la figura 3 demostrando la efectividad del borrado para próximas mediciones.

V. Conclusiones

La atmosfera con la que se realiza la síntesis juega un papel fundamental en la fase cristalina del material, y a su vez la fase cristalina esta correlacionada a la eficiencia termoluminiscente del aluminato de estroncio $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Ce}^{+2}$ y a la luminiscencia del mismo dando a pensar que la fase ortorrómbica presente en las muestras en atmosfera reductora favorece la respuesta termoluminiscente de mejor manera que la monoclinica.

El uso de este material como dosímetro es una idea novedosa y altamente rentable, ya que no solo presenta una ventaja en cuanto a la sensibilidad, si no que su manufactura es sencilla y de bajo costo comparado con los dosímetros convencionales.

Cabe destacar que las técnicas de luminiscencia y TL nos permiten aprovechar la energía almacenada dentro del material, el dopaje con Ce resulta una propuesta innovadora por su bajo costo comparado con el Eu, Yb y el Er y el uso de aluminatos de estroncio como host presenta una ventaja en cuando a sensibilidad respecto a los aluminatos de calcio reportados en la literatura [9].

Referencias.

- [1] Instituto de protección radiologica. (2012). DOSIMETRO PERSONAL DE RADIACIONES. 28-06-15, de Instituto de protección radiologica Sitio web: <http://www.iprltda.cl/noticias/que-es-el-dosimetro-personal/>
- [2] Azorín Nieto Juan, Azorín Nieto Juan C.. (2010). Protección Radiológica. México: CBI, pp.2010
- [3] F. F. Zubeldia, Protección en radiológica odontológica, Barcelona Universidad de Barcelona, pp. 50-53.
- [4] Don Lancaster. (1969). Thermoluminescence. 2010, de Electronics World Sitio web: <http://www.tinaja.com/ebooks/tlum.pdf>
- [5] Dr. Anjani Choubey. (2013). Thermoluminescence: A Complementary Technique for Petroleum Exploration. 2013, de Geophysical services, Assam & Assam Arakan Basin, Jorhat Sitio web: http://www.spgindia.org/10_biennial_form/P306.pdf
- [6] P Mayles, A Nahum, J.C Rosenwald. (2007). Handbook of Radiotherapy Physics: Theory and Practice. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group.
- [7] Bo Zhang, Changliang Zhao and Donghua Chen. (March 16, 2009). John Wiley & Sons, Ltd. Synthesis of the long-persistence phosphor $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ method and its luminescent properties, Dy^{3+} , Nd^{3+} by combustion. Luminescence, the journal of biological and chemical luminescence,
- [8] Mohamad Ziyauddin, Shalinta Tigga . (2015). Photoluminescence and Thermoluminescence. The Journal of Biological and Chemical Luminescence, -, 5.
- [9] Mohammad Ziyauddin, Shalinta Tigga, Nameeta Brahme and D. P. Bisen. (March 2015). Photoluminescence and thermoluminescence studies of $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Dy}^{3+}$ phosphor. Luminescence, the journal of biological and chemical luminescence.
- [10] Structure and luminescence properties of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} by Ba^{2+} and Ca^{2+} co-doping. (Wei Xie, Jun Quan, Haoyi Wub, Lexi Shao, Changwei Zou, Jun Zhang, Xiaoyu Shi, Yin Hai Wang). Structure and luminescence properties of $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} by Ba^{2+} and Ca^{2+} co-doping. Journal of Alloys and Compounds,