

## TERMOLUMINISCENCIA EN PELÍCULAS DE $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$

P. Cerón<sup>1</sup>, T. Rivera<sup>1</sup>, J. Guzmán<sup>1</sup>, E. Montes<sup>1</sup>, A. Peláez<sup>1</sup>  
B. Rojas<sup>1</sup>, D. Guzmán<sup>1</sup>, J. Azorín<sup>2</sup>, L. Paredes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-IPN, México D.F., México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México D.F., México

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Ocoyoacac, Méx., México

E- mail: [victceronr@hotmail.com](mailto:victceronr@hotmail.com)

### Resumen

En este trabajo se presenta la respuesta termoluminiscente (TL) de películas de óxido de hafnio impurificado con disprosio ( $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$ ), que fueron irradiadas en el UV cercano (200 nm – 400 nm). Las películas fueron depositadas mediante la técnica del rocío pirolítico ultrasónico (RPU) sobre un sustrato de vidrio, usando diferentes temperaturas de depósito (300 °C – 600 °C). La mejor emisión TL correspondió a la película preparada a 450 °C que fue sometida a una irradiancia espectral de 80  $\mu\text{J}/(\text{cm}^2\text{-s})$  con una longitud de onda de 240 nm. La respuesta TL en función de la irradiancia espectral fue lineal en el intervalo estudiado (24 a 288  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ), también se calcularon varios parámetros cinéticos de la curva de brillo como profundidad de la trampa (E), factor de frecuencia (s) y orden de la cinética (b). Los resultados obtenidos muestran que las películas de  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$  podrían ser usadas como monitor de radiación en la región del UV cercano.

**Palabras clave:**  $\text{HfO}_2$ , termoluminiscencia, dosimetría UV.

## 1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad son conocidos los riesgos que trae consigo la sobreexposición a la radiación ultravioleta (UVR) en la salud humana [De Backer, 2001]. Por esta razón es importante su medición y se han desarrollado dispositivos que son sensibles a este tipo de radiación, entre ellos los materiales termoluminiscentes (TL) [Rivera *et. al.*, 2007]. La termoluminiscencia es la emisión de luz de un material aislante o semiconductor al ser calentado, como resultado de una absorción previa de energía de radiación [McKeever, 1983]. Algunos de estos materiales consisten en cristales con pequeñas concentraciones de impurezas agregadas como activadores y otros que no requieren la adición de un activador, ya que los defectos del cristal toman el lugar de las impurezas [Knoll, 2000]. En los últimos años se ha encontrado que al incorporar dopantes adecuados a óxidos metálicos se pueden producir materiales termoluminiscentes [Rivera *et. al.*, 2007]. Uno de estos óxidos metálicos es el óxido de hafnio ( $\text{HfO}_2$ ), el cual se ha estudiado su respuesta TL con el material intrínseco [Guzmán-Mendoza *et. al.*, 2010] y al incorporar iones de  $\text{Tb}^{+3}$  [Montes *et. al.*, 2014]. En este trabajo se presenta la respuesta TL ante la UVR de películas de  $\text{HfO}_2$  depositadas por el método RPU y dopadas con disprosio  $\text{Dy}^{+3}$ , comparando entre muestras preparadas con distintos parámetros de síntesis y diferentes longitudes de onda de irradiación.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Las películas de  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$  fueron depositadas por medio de la técnica de rocío pirolítico ultrasónico sobre vidrio con una concentración del impurificante de 1.5% en porcentaje atómico de disprosio con respecto a la cantidad de hafnio en la solución precursora, posteriormente fueron cortadas con dimensiones de 5 mm x 5 mm. Las películas recibieron un tratamiento térmico previo a la irradiación de 350 °C por 10 minutos en una mufla con control de temperatura, luego fueron irradiadas en el arreglo formado por el iluminador Newport Oriel Apex modelo 70510, la lámpara de xenón modelo 6263 y el monocromador modelo 74125 de la misma marca. Se obtuvieron las curvas de brillo con el equipo Harshaw 3500 y se buscó la longitud de onda que brindara la mejor respuesta TL. Con dicha longitud de onda se irradiaron muestras con distintas temperaturas de depósito y se eligió la que presentaba mayor intensidad TL para ver su linealidad con respecto al tiempo de irradiación e irradiancia espectral.

### 3.- RESULTADOS

Las películas fueron irradiadas con distintas longitudes de onda entre (200 nm a 400 nm) con los parámetros de lectura para  $T_{\max} = 350$  °C,  $T_{\text{ph}} = 50$  °C durante 5 s y una rapidez de calentamiento  $\beta = 10$  °C/s.

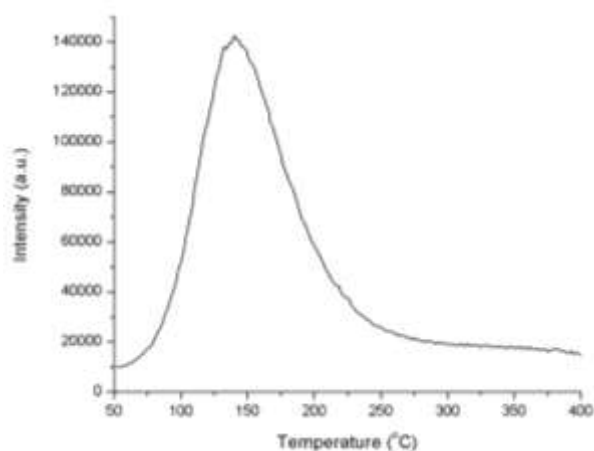


Figura 1.- Curva de brillo TL para la muestra preparada a 450 °C con una longitud de onda de 240 nm.

Estas muestras fueron preparadas con distintas temperaturas de depósito que va desde los 300 °C a los 600 °C. La respuesta TL más intensa se muestra en la **Fig. 1** y es la que pertenece a la muestra con una temperatura de depósito de 450 °C e irradiada con 240 nm. Se observa un pico cercano a los 140 °C con una intensidad de 140 000 u.a.

En la **Fig. 2** se muestra como varía el área bajo la curva TL con respecto a la temperatura de depósito presentándose un pico en los 450 °C con una irradiación de 240 nm.

De acuerdo a lo anterior, la mejor respuesta TL está dada por la película con una temperatura de depósito de 450 °C y una irradiación de 240 nm que le corresponde una irradiancia espectral de 80  $\mu\text{J}/(\text{cm}^2\text{s})$ . En la **Fig. 3** se presentan las curvas de brillo de la

película al ser irradiada con 240 nm con diferentes tiempos de exposición y por lo tanto diferente irradiancia espectral (24 a 288 mJ/cm<sup>2</sup>).

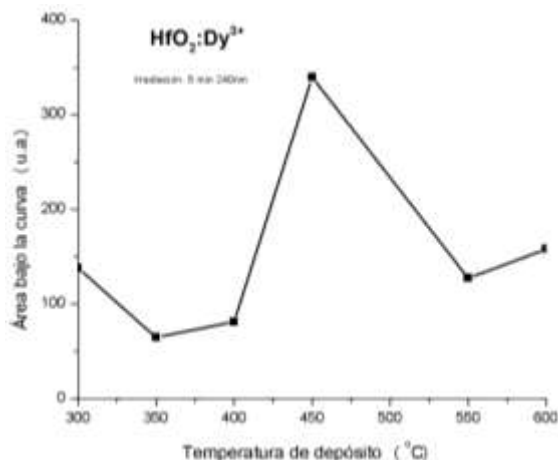


Figura 2.- Área bajo la curva vs. Tiempo de depósito.

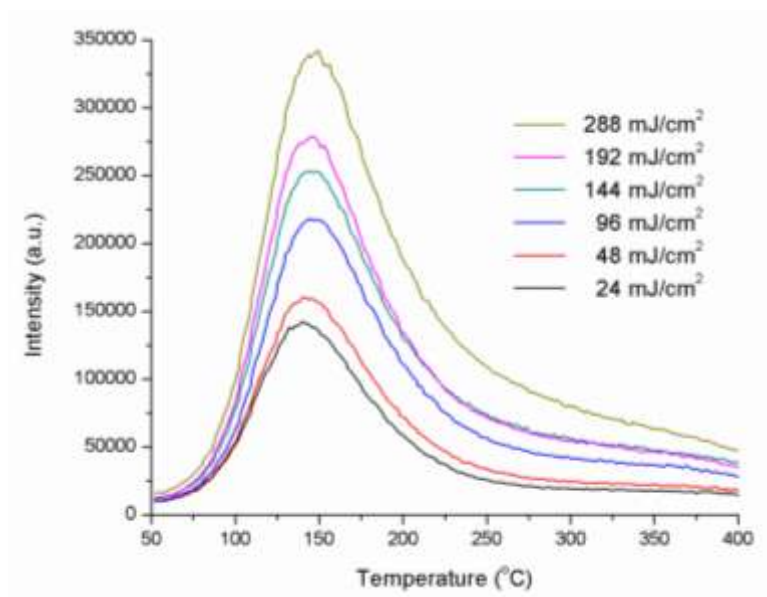


Figura 3.- Curvas de brillo del HfO<sub>2</sub>:Dy<sup>3+</sup> con diferente irradiancia espectral.

En dicha figura se observa que a mayor irradiancia espectral es mayor la intensidad TL y las temperaturas correspondientes a los picos TL se observan entre 140 °C y 150 °C. Los

resultados del estudio de linealidad se muestran en la **Fig. 4**, cada dato tiene una barra de error del 5% la cual toca a la línea de ajuste.

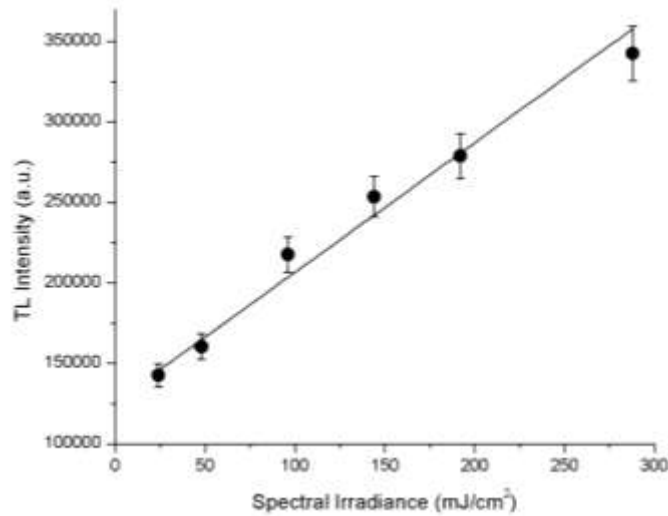


Figura 4. - Respuesta TL del  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$  como función de la irradiancia espectral.

En la Fig. 5 se propone una deconvolución para la curva de brillo experimental con una figura de mérito (FOM) del 1.95%, la cual se compone de siete picos con cinética de primer orden.

Los parámetros ilustrados en la tabla 1 y el ajuste se encontraron con el software GlowFit V 1.1 de circulación libre en la red [Puchalska y Bilski 2006].

La cinética de los picos ( $b^*$ ) se determinó con la gráfica construida por Chen [Pagonis *et.a.l*, 2006]

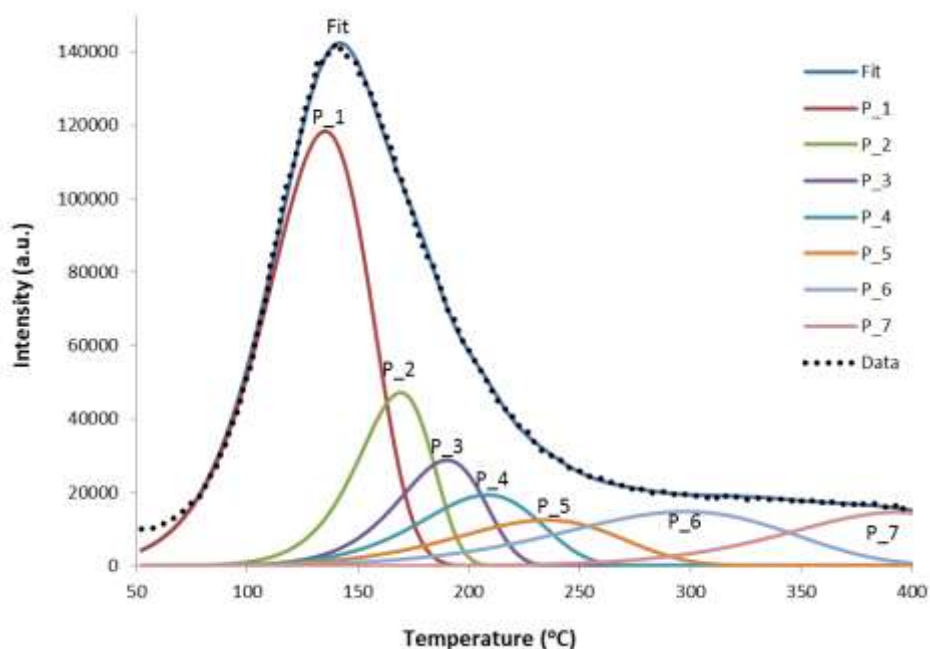


Figura 5.- Deconvolución de la curva de brillo TL del  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$  para una irradiancia espectral de  $24 \text{ mJ/cm}^2$ .

Tabla 1.- Resultados de la deconvolución de la curva de brillo TL del  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$

Pico	$I_M$	$T_M$ (K)	E(eV)	s	$b^*$
1	118430	408.06	0.58	$6.38\text{E}+06$	1.07
2	47201	442.15	0.97	$7.33\text{E}+10$	1.00
3	28789	463.12	0.92	$4.63\text{E}+09$	1.03
4	19329	481.21	0.70	$7.55\text{E}+06$	1.07
5	12469	508.00	0.55	$7.77\text{E}+04$	1.13
6	14767	570.99	0.50	$4.61\text{E}+03$	1.13
7	14576	665.90	0.81	$2.92\text{E}+05$	-----

## 4.- DISCUSIÓN

Las muestras analizadas con los mismos parámetros de síntesis presentaron una gran dependencia a la energía en el rango estudiado, obteniéndose un máximo en la respuesta TL para una longitud de onda de 240 nm por lo cual se continuó el estudio con esta energía. Se encontró la temperatura a la cual el depósito obtuvo una mejor adherencia y por lo tanto una respuesta TL más intensa por lo que también se fijó este parámetro. Las curvas de brillo con distinta irradiancia espectral sugieren un comportamiento lineal por lo que se graficó la intensidad máxima de cada pico contra la irradiancia espectral y se obtuvo una buena linealidad. Fue necesario realizar la deconvolución de la curva de brillo debido a que sus parámetros geométricos no permitían determinar el orden de su cinética.

## 5.- CONCLUSIONES

El  $\text{HfO}_2:\text{Dy}^{+3}$  presentó una buena respuesta TL ante la UVR con un máximo en la curva de brillo alrededor de 150 °C, este material también tiene una buena linealidad en el rango estudiado (alrededor del 5%), por lo que este material podría ser usado para aplicaciones de dosimetría termoluminiscente en la región del UV estudiada.

## REFERENCIAS

- De Backer H; Koepke P; Bais A; De Cabo X; Frei T; Gillotay D. (2001). *Comparison of measured and modelled UV indices for the assessment of health risks*. Meteorological Applications **8**: 267–277.
- Guzmán-Mendoza J; Aguilar-Frutis MA; Alarcón-Flores G; García Hipólito M; Maciel-Cerda A; Azorín Nieto J; Rivera-Montalvo T; Falcony C. (2010). *Synthesis and characterization of hafnium oxide films for thermo and photoluminescence applications*. Applied Radiation and Isotopes **68**: 696–699.

- Knoll G. (2000). *RADIATION DETECTION AND MEASUREMENT*. John Wiley & Sons Inc. p. 732.
- McKeever SWS. (1983). *THERMOLUMINESCENCE OF SOLIDS*. Cambridge University Press.
- Montes E; Cerón P; Rivera-Montalvo T; Guzmán J; García-Hipólito M; Soto-Guzmán AB; García-Salcedo R; Falcony C. (2014). *Thermoluminescent characterization of HfO<sub>2</sub>:Tb<sup>3+</sup> synthesized by hydrothermal route*. Applied Radiation and Isotopes **83**:196–199
- Pagonis V; Kitis G; Furetta C. (2006). *NUMERICAL AND PRACTICAL EXERCISES IN THERMOLUMINESCENCE*. Springer.
- Peláez-Rodríguez A. (2010). *Síntesis y caracterización de películas luminiscentes de óxido de hafnio impurificado con disprosio (HfO<sub>2</sub>:Dy<sup>+3</sup>)*. Tesis de Maestría. CICATA-IPN. México.
- Puchalska M; Bilski P. (2006). *GlowFit—a new tool for thermoluminescence glow-curve deconvolution*. Radiation Measurements **41**: 659–664
- Rivera T; Azorin J; Barrera M; Soto M. (2007). *Nanostructural processing of advanced thermoluminescent materials*. Radiation Effects & Defects in Solids **162**: 10–11, 731–736.