



MX0100248

Procesos Ópticos y Termoluminiscentes en Dosímetros de Halogenuros Alcalinos Contaminados con Europio

**M. Barboza-Flores¹, R. Meléndrez¹, B. Castañeda², M. Pedroza-Montero^{1,2},
V. Chernov¹, R. Pérez-Salas¹ y R. Aceves¹**

¹Centro de Investigación en Física, Universidad de Sonora
Apartado Postal 5-088, Hermosillo, Sonora
83190 México

²Programa de Posgrado en Física de Materiales
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada,
P.O. Box 2681, Ensenada, Baja California, 22800 México.

Resumen

Se presentan resultados recientes de investigaciones sobre las propiedades de los procesos ópticos de termoluminiscencia fototransferida (TLFT), blanqueo óptico (BO), termoluminiscencia inducida por luz (TLL) y su efecto en la curva de termoluminiscencia (TL) producida por radiación ionizante y no ionizante. El análisis sistemático de todos esos procesos, adquiere una singular importancia debido a que actualmente los cristales de halogenuros alcalinos son objeto de intensas investigaciones que analizan sus aplicaciones potenciales como detectores y dosímetros de radiación mediante técnicas de luminiscencia ópticamente estimulada o de termoluminiscencia. Los datos obtenidos muestran que la curva de TL de un material de esta naturaleza puede afectarse enormemente por la exposición de los fósforos a la luz ambiental o UV. Esto es en parte a que se disparan procesos de liberación de portadores de carga y efectúa un posterior atrapamiento en trampas de menor temperatura; al mismo tiempo que inducen cambios en la intensidad de determinadas bandas de TL. Adicionalmente también se observa que los fenómenos mencionados se relacionan tanto con la longitud de onda de la luz incidente como del tiempo de iluminación. Finalmente, la información obtenida permite concluir que aunque el efecto de iluminación es en extremo complejo, está asociado y puede explicarse principalmente con fenómenos que implican la excitación de electrones atrapados en forma de centros F y mecanismos de atrapamiento o recombinación radiativa y no radiativa.

Introducción

La gran cantidad de información relacionada con las propiedades dosimétricas de cristales de KCl:Eu^{2+} en las regiones actinométricas y energías ionizantes involucran cuatro fenómenos físicos íntimamente relacionados, estos son: la termoluminiscencia (TL), el blanqueo óptico (BO), la termoluminiscencia fototransferida (TLFT) y la luminiscencia ópticamente estimulada (LOE). Aplicaciones recientes del KCl:Eu^{2+} incluyen el uso de estos materiales como dispositivos de almacenamiento de información, radiografía bidimensional, imagenología, detectores y dosímetros. Es importante notar que las aplicaciones cubren el rango de energías ionizantes (rayos X) y no ionizantes (luz UV) ⁽¹⁻³⁾. Los dispositivos utilizados se basan principalmente en los fenómenos de TL y LOE. Sin embargo, los mecanismos de recombinación responsables por la emisión de luz térmica y ópticamente estimulada han sido erróneamente interpretados ya que consideran un proceso mediante el cual la impureza divalente es ionizada por la radiación incidente. Tal situación no puede sostenerse para el caso de radiación UV. La importancia de estudiar cuidadosamente los mecanismos de excitación y desexcitación en los halogenuros alcalinos, en especial el KCl:Eu^{2+} , se debe a que los cuatro fenómenos mencionados anteriormente pueden ocurrir de manera simultánea en el momento de iluminar el cristal para producir la respuesta LOE. Es decir, una vez irradiado el cristal de KCl:Eu^{2+} con radiación ionizante y posteriormente de iluminarlo, los fenómenos de BO, TLFT pueden ocurrir muy probablemente. Esto es debido a la existencia de transiciones energéticas susceptibles de estimularse tanto térmicamente como ópticamente.

Es muy conocido que la termoluminiscencia aparece cuando un material previamente irradiado es calentado emitiendo luz como consecuencia de la estimulación térmica. El blanqueo óptico es un proceso inducido por luz a través del cual se genera una transferencia de cargas atrapadas en ciertas trampas que eventualmente logra disminuir la intensidad de TL. Mediante el proceso de termoluminiscencia fototransferida se crea TL inducida por la transferencia óptica de cargas atrapadas en trampas profundas (alta temperatura) y que posteriormente son atrapadas en trampas de menor temperatura. En el caso de LOE la emisión de luz observada se debe a la recombinación de cargas, inicialmente en estados metaestables y liberadas ópticamente, con centros característicos del material dosimétrico producidos por efecto de la radiación.

Las aplicaciones potenciales del KCl:Eu^{2+} como sensor bidimensional de imágenes de rayos X, así como también en dispositivos de memoria, dependen de la significativa eficiencia de la señal de LOE del cristal previamente expuesto a la radiación del tipo X. Es claro que la iluminación de un cristal de KCl:Eu^{2+} después de la exposición a la radiación, experimentará los distintos fenómenos antes señalados; esto es, la luz UV muy probablemente podría liberar cargas atrapadas e inducir ópticamente su posterior reatrapamiento, conjuntamente con el efecto de blanquear algunos de los picos de TL del material. El grado de complicación es fácil de advertir dado que tales efectos dependerán de la longitud de onda y del tiempo de iluminación utilizados para generar la LOE. Es importante señalar que existen grandes diferencias en el caso de que el material se irradie previamente con luz o radiación ionizante. Por otra parte, la dosis de exposición sería también un factor de considerable importancia al momento de caracterizar el comportamiento y su eficiencia en un dispositivo LOE construido en base al KCl:Eu^{2+} .

En el presente trabajo se discuten los resultados más importantes relacionados con los procesos ópticos de BO y TLFT y sus efectos en la TL en cristales KCl:Eu^{2+} . Se presentarán

datos recientes que muestran la dependencia del BO y la TLFT con respecto a la longitud de onda de iluminación, tiempo de exposición, proporcionando información útil sobre las energías más eficientes para lograr el efecto de transferencia de carga entre los centros existentes, así como también a dilucidar los mecanismos de recombinación responsables por la emisión de luz en TL y OSL.

Desarrollo experimental

Los cristales de KCl:Eu^{2+} fueron crecidos por la técnica de Czochralski, y expuestos a un tratamiento térmico de 730 K por una hora y después súbitamente enfriados con el objeto de borrar cualquier daño de radiación residual. Se utilizó una lámpara de Deuterio de 30 W como fuente de luz ultravioleta. Las mediciones de TL se realizaron en un equipo TLD HARSHAW modelo 4000. Las emisiones de la luz térmicamente estimuladas se llevaron a cabo con un equipo de termoluminiscencia HARSHAW modelo 2000 B-C modificado. El tubo fotomultiplicador fue reemplazado por un sistema detector de arreglo de diodos Princeton Instruments modelo RY7000S/RB.

Resultados y discusión

Uno de los resultados más significativos al examinar el fósforo de KCl:Eu^{2+} es la exhibición de una TL intrínseca inducida por radiación UV y luz visible (200 - 800 nm). Esta TL se obtiene en muestras que previamente han recibido un tratamiento térmico a 730 K durante una hora y posteriormente son iluminados con luz UV, sin ser expuestos a radiación ionizante o no ionizante. En ese sentido la TL inducida es de carácter intrínseco y de naturaleza distinta a la TL producida por la recombinación de centros inducidos por la irradiación antes del calentamiento. La TL intrínseca resulta ser dependiente de la longitud de onda de la luz incidente así como también del tiempo de iluminación obteniéndose un máximo alrededor de 230 nm en la región ultravioleta⁽⁴⁾. Es importante mencionar que la TL inducida con luz UV es de distinta naturaleza que la TLPT, ya que en este caso la muestra no ha sido irradiada previamente; además, el proceso térmico evita la existencia de trampas profundas que pudieran atrapar cargas con la posibilidad de ser transferidas a trampas menos profundas.

El cristal de KCl:Eu^{2+} sometido previamente a irradiación ionizante, presenta picos de TL en 370, 390, y 470 K. El pico de 470 K es considerado como el pico dosimétrico debido a su estabilidad (bajo fading) y el comportamiento lineal de la intensidad del mismo con respecto a la dosis de radiación. También se ha demostrado que los centros de recombinación luminiscente están asociados con los centros F producidos por efecto de la radiación⁽⁵⁾. La Figura 1, muestra las curvas de TL características inducidas por rayos X y radiación UV.

El efecto del tipo de irradiación sobre el cristal de KCl:Eu^{2+} se puede observar claramente en la Figura 1. La luz ultravioleta produce una curva de TL en donde el pico asociado con los centros F disminuye de intensidad comparado con la curva obtenida cuando la muestra se irradia con rayos X. Se observa también que los picos de baja temperatura son más intensos en el caso de TL inducida por UV. El aspecto importante a considerar en dicha comparación debe de tomar en cuenta que la luz UV debe de crear muy pocos daños y en consecuencia una menor cantidad de centros F. El efecto del BO sobre una muestra de KCl:Eu^{2+} es simultáneamente liberar portadores de carga y reatrapamiento de algunos de ellos, conjuntamente con recombinación radiativa y no radiativa. En la Figura 2, se muestra el efecto sobre

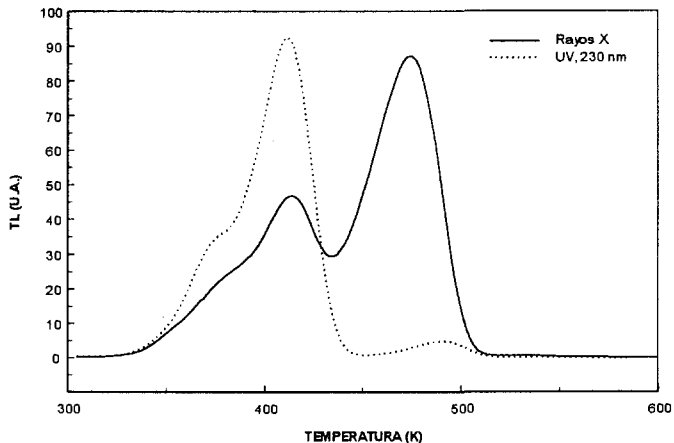


Figura 1. Curvas de TL características de KCl:Eu^{2+} inducidas por rayos X y radiación UV.

una muestra de KCl:Eu^{2+} previamente sometida a radiación X. En este caso el BO se realiza con luz de la banda F (650 nm).

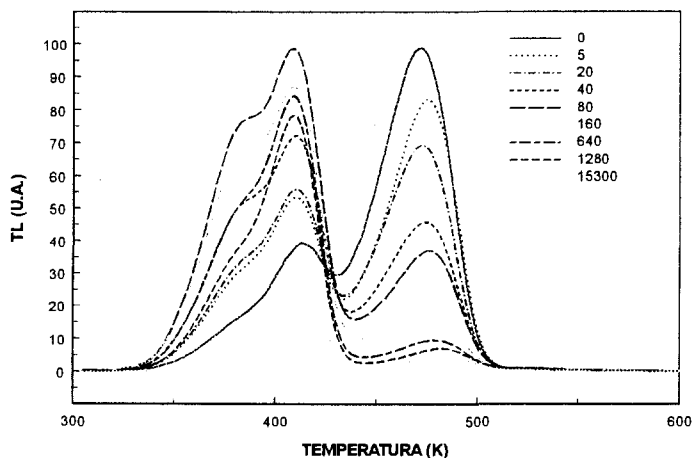


Figura 2. Efecto del blanqueo óptico en KCl:Eu^{2+} con luz de la banda F (650 nm) previamente irradiado con rayos X.

Los detalles del BO sobre cada uno de los picos en particular se puede observar en la Figura 3, en donde se ha tomado como referencia la TL integrada de cada pico de TL.

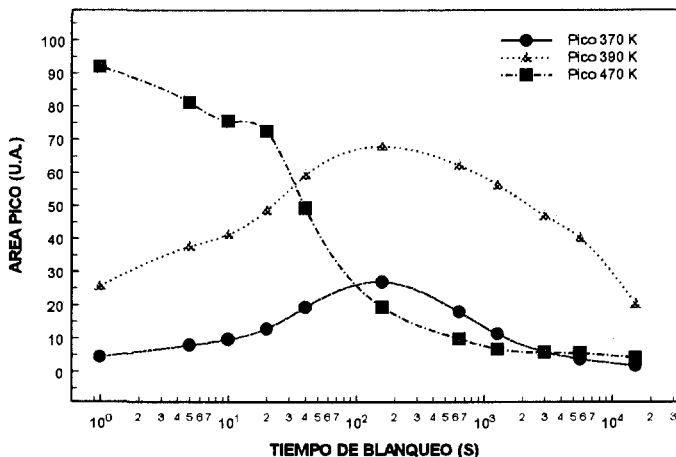


Figura 3. Efecto de BO de la luz F sobre los picos de TL en $KCl:Eu^{2+}$. Los cuadros corresponden al pico de 470 K.

Es evidente que la luz F de 650 nm logra disminuir la intensidad de TL del pico de 470 K, cuya recombinación involucra los centros F. Además en el proceso ocurre un fenómeno de fototransferencia en el cual los portadores de carga inicialmente atrapados en la trampa profunda de 470 K son liberados y eventualmente atrapados de nuevo en trampas existentes a menor temperatura localizadas en 370 - 420 K.

La respuesta de luminiscencia ópticamente estimulada depende también de la temperatura, situación que es fácil de entender debido a que la LOE se encuentra relacionada con mecanismos de recombinación que involucran a los centros F. Es conocido también el efecto de la disminución de los centros F con respecto a la temperatura. La figura 4 ilustra el comportamiento de la intensidad de la señal de la LOE como función de la temperatura.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran de manera evidente la gran complejidad y relación que existe entre los fenómenos de TL, OB, TLFT y LOE en el sistema $KCl:Eu^{2+}$. En principio una razón especial para desarrollar un estudio serio en esta línea, es debido a las múltiples aplicaciones que los fosfóros de $KCl:Eu^{2+}$ están teniendo actualmente utilizando técnicas basadas principalmente en TL y LOE. El problema es que no se conocen los mecanismos de atrapamiento y recombinación y la mayoría de las explicaciones aportadas son rebasadas por los datos experimentales.

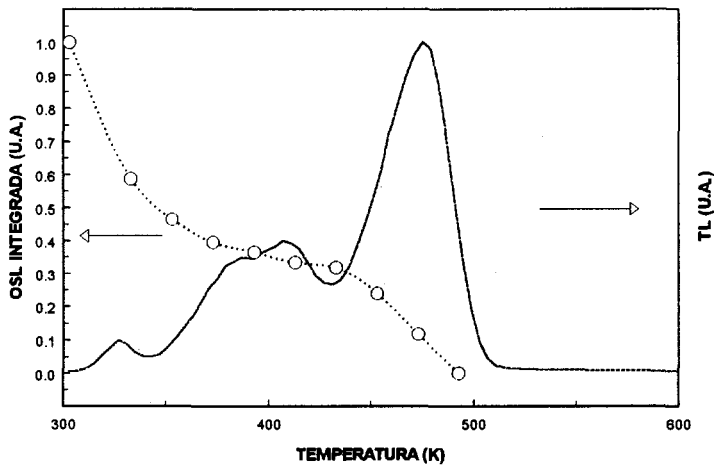


Figura 4. Comportamiento de la LOE con la temperatura. La curva de TL corresponde a un cristal de KCl:Eu^{2+} irradiado con rayos X.

Agradecimientos

El presente proyecto se llevó a cabo mediante el apoyo financiero otorgado por el CONACyT (489100-5-32069-E), FOMES, PROADU, DGICSA-SEP, Universidad de Sonora. V.C. agradece al CONACyT el otorgamiento de una Cátedra Patrimonial.

Referencias

- (1) H. Nanto, F. Endo, Y. Hirai, S. Nasu, S. Taniguchi, and N. Takeuchi, *J. Appl. Phys.* **74**, 1445 (1993).
- (2) H. Nanto, K. Murayama, T. Usuda, S. Taniguchi, and N. Takeuchi, *Radiat. Prot. Dosím.* **47**, 281 (1993).
- (3) H. Nanto, F. Endo, Y. Hirai, S. Nasu, S. Taniguchi, and N. Takeuchi, *J. Appl. Phys.* **75**, 7493 (1994).
- (4) B. Castañeda, R. Aceves, T. M. Píters, M. Barboza-Flores, R. Meléndrez, and R. Pérez-Salas, *Appl. Phys. Lett.* **69**, 1388 (1996).
- (5) R. Aceves, R. Pérez-Salas, and M. Barboza-Flores, *J. Phys.: Condens. Matter* **6**, 10397 (1994).