

IV CONCLUSIONES

Resulta pertinente el estudio de los mecanismos de relajación en cristales de KCl:Eu^{2+} y KBr:Eu^{2+} y en películas de diamante crecidas por CVD, en donde se involucran procesos de atrapamiento y recombinación radiativas, así como el estudio sistemático de sus propiedades luminiscentes térmica y ópticamente estimuladas. Existe una gran cantidad de evidencia experimental que resalta a su vez la ausencia de un modelo de primeros principios que pueda explicar estos mecanismos, sobre todo, cuando la radiación con la que se excita carece de la energía suficiente para ionizar los materiales o mover los electrones a través de la brecha de energía prohibida.

Dentro de los trabajos más recientes sobre la caracterización dosimétrica termoluminiscente de los fósforos de KCl:Eu^{2+} y KBr:Eu^{2+} destacan los estudios que utilizaron radiación ionizante del tipo β (Barboza-Flores *et al.*, 1998) y no ionizante (UV) (Barboza-Flores *et al.*, 1999, Castañeda *et al.*, 1999). En todos los casos, la emisión térmicamente estimulada correspondió a la emisión característica de 427 nm adscrita a la transición $4f^65d(t_{2g})-4f^7(^8S_{7/2})$ del ion Eu^{2+} , lo cual indica claramente la participación de la impureza en el proceso de termoluminiscencia (Barboza-Flores *et al.*, 1999) y revela un mecanismo común de atrapamiento y recombinación termoluminiscente.

Aparentemente el proceso de atrapamiento de portadores de carga, generados por el proceso de irradiación, es esencialmente el mismo para radiación ionizante y no ionizante. A través del proceso de fotoestimulación de muestras previamente irradiadas, se logró determinar que la luz de recombinación contiene las principales características de la emisión de la impureza, es decir del Eu^{2+} , aunque la fotoestimulación produce el

blanqueo simultáneamente con el reatrapamiento de algunos de los picos de TL. En concreto, el pico de TL asociado a los centros F se blanquea con luz F (560 nm) al mismo tiempo que ocurre el reatrapamiento de éstos por el resto de las trampas existentes. La conclusión más importante que se deduce de los resultados experimentales es la participación directa de los centros F en el proceso de luminiscencia ópticamente estimulada. Adicionalmente, el estudio llevado a cabo con el fin de determinar la correlación entre los centros activados térmicamente y los activados ópticamente, a través de procesos de TL y LOE respectivamente (Pedroza-Montero *et al*, 2001, 2002), indicó que en ambos procesos existe la participación de los centros F y F_Z.

A pesar de la existencia de defectos comunes, producidos por radiación ionizante y no ionizante a temperatura ambiente, es imposible concebir un mecanismo común para los procesos que originan estos defectos. Esta conclusión se basa en que los defectos tipo Frenkel (pares F-H), cuyo origen se explica mediante la existencia de excitones auto atrapados (STE), ocurren para el caso de radiación ionizante y a temperaturas donde los centros como los V_K son susceptibles de existir, situación que no existe para el caso de radiación no ionizante con energías por debajo de la energía de la banda prohibida y a temperaturas como la ambiente donde no puede detectarse la presencia de los centros V_K.

Una conclusión que se deduce de nuestros resultados experimentales es que los mecanismos de recombinación de defectos responsables para la emisión termoluminiscente de cristales halogenuros alcalinos de KCl:Eu²⁺ y KBr:Eu²⁺ irradiados con luz ultravioleta a bajas temperaturas (20–35 K) están relacionados con centros F_Z y H, que al recombinarse transfieren su energía al ion Eu²⁺. La ulterior desexcitación de la impureza tiene como consecuencia una recombinación radiativa emitiendo luz

característica del Eu^{2+} . Debe señalarse que es necesario realizar trabajo adicional que apoye efectivamente la existencia de este mecanismo o de algún otro que explique satisfactoriamente el proceso de creación de defectos con radiación UV.

Algunos experimentos realizados recientemente indican que es posible la existencia de un proceso tipo excitónico en halogenuros alcalinos contaminados con impurezas divalentes. Por ejemplo, Aceves *et al* (2002) han llevado a cabo experimentos en cristales de KI:Eu^{2+} donde al parecer ocurre la emisión del excitón autoatrapado (STE) cuando el cristal se excita con luz en el rango de 205–260 nm. De comprobarse, tal situación indicaría entonces que se forman STE por radiación UV con energías por debajo de la energía de la banda prohibida en KI:Eu^{2+} . Por otro lado Babin *et al* (2002), presentaron resultados sobre los procesos de creación de defectos en cristales de KCl:Eu^{2+} expuestos a radiación UV a la temperatura de 4.2 K, donde experimentalmente demuestran la existencia de una banda de emisión en 539 nm, asociada al excitón autoatrapado, la cual es tres órdenes de magnitud menos intensa que la banda de emisión del Eu^{2+} -Vc. Este resultado es la primera evidencia de la existencia de emisiones características del STE en KCl:Eu^{2+} ; sin embargo, los mismos autores no aseguran completamente su origen excitónico, pero argumentan que la baja intensidad de la banda excitónica puede deberse a la baja eficiencia cuántica de la emisión STE en KCl la cual es dos órdenes de magnitud menor que en KI. Entonces, es de esperarse que técnicas experimentales consistentes en el uso de fuentes monocromáticas de alta intensidad en la región UV, así como también sistemas detectores rápidos y más sensibles permitan la detección de los posibles excitones autoatrapados (STE) producidos por radiación UV.

Las películas de diamante crecidas por CVD, por su parte, presentan propiedades que pueden abrirle las posibilidades como dosímetros UV (Barboza-Flores *et al.*, 2002), además de que su respuesta luminiscente para longitudes menores a 220 nm las califican como buenos materiales para la construcción de fotodetectores. Normalmente, la respuesta termoluminiscente de las películas de diamante CVD tiene un pico característico situado alrededor de 320 °C que se ha encontrado como el más adecuado para dosimetría UV (Barboza-Flores *et al.*, 2002). Además, estas películas no requieren de un tratamiento térmico u óptico previo para limpiar o blanquear los picos de baja temperatura. Por lo tanto, las películas de diamante CVD pueden considerarse también para la construcción de dosímetros que trabajen en la región actinométrica (UVB, 320-290 nm y UVC, 290-200 nm) que es donde se producen daños biológicos por la adsorción fotoquímica de las moléculas y alteraciones importantes en el DNA. Esto pone de manifiesto que otra área importante de aplicación y de investigación de estos materiales puede situarlos en nichos tecnológicos de aplicaciones biomédicas y clínicas. Además su respuesta termo y ópticamente estimulada, (Barboza-Flores *et al.*, 2002 y Barboza-Flores *et al.*, 2003), aunados a su no-toxicidad y su equivalencia a tejido humano ($Z_{\text{eff}} = 6$), representan su principal ventaja para el diseño de nueva generación de dosímetros de radiación que permitirán en un futuro cercano obtener y supervisar las dosis de radiación *in vivo* dentro de sistemas biológicos o tejidos sometidos a un tratamiento de radioterapia para eliminar posibles crecimientos oncológicos.

V. TRABAJO FUTURO

Algunas líneas de investigación que quedaron inconclusas o requieren abordarse con más trabajo experimental, es el que involucra en los halogenuros alcalinos un modelo fenomenológico que explique que sucede en la interacción de la radiación no ionizante con estos cristales en un rango amplio de temperaturas que abarquen desde bajas temperaturas hasta la temperatura ambiente. Así como también, una descripción funcional del comportamiento de las secciones eficaces de las trampas que participan en los procesos luminiscentes relacionándolas principalmente con parámetros tales como la temperatura (T) y la longitud de onda (λ) tanto para los halogenuros alcalinos como para las películas de diamante.

Desde luego, lo anterior debe estar aparejado con el desarrollo tecnológico directo y la implementación de la infraestructura experimental. Por lo tanto, quedaría como un trabajo futuro de suma importancia el de patentar y construir el sistema médico para la medida de dosis recibidas en tiempo real y *in vivo* por pacientes sometidos a radioterapias. Todo este sistema aprovecharía las ventajas las respuestas TL y OSL de los halogenuros alcalinos y las películas de diamante presentadas en este trabajo. Además y como apoyo a este proyecto tecnológico, es menester implementar un sistema de crecimiento de películas por CVD que permita controlar en forma automática la incorporación de impurezas seleccionadas de antemano. Esto abriría las posibilidades para el desarrollo de ciencia básica que contribuya con un entendimiento profundo de los fenómenos luminiscentes estimulados y as vez, proporcionaría una vía directa para arribar a un proyecto de ciencia aplicada en dosimetría clínica.