

CAPÍTULO 7

Conclusiones y perspectivas

7.1.-Conclusiones.

- En este trabajo se ha presentado un método para fabricar sistemas con nanoestructuras en películas delgadas a partir de películas amorfas de CdTe:O. Un bajo nivel de oxígeno (menor que 3 % atómico) permite la obtención de películas policristalinas. Altos niveles de contenido de oxígeno (mayores que 15 % atómico) originan películas amorfas que cristalizan sólo mediante tratamiento térmico. El radio de los granos cristalinos obtenidos (2 ~ 15 nm), nos permite clasificarlas como nanoestructuras.
- Los sistemas de nanoestructuras obtenidos están formados por nanocristales insertados en una matriz de CdTeO₃ de banda prohibida amplia.
- Es posible obtener nanoestructuras de CdTe de tamaño variable, alrededor del tamaño del excitón. Ésto permite que el material producido tenga un borde de absorción fundamental sintonizable entre 1.5 y 1.7 eV, es decir, con un rango de variación de 0.2 eV.
- La introducción de oxígeno en la red del CdTe en pequeñas concentraciones atómicas (menos del 3 % atm) origina esfuerzos de tensión y compresión en la red cristalina que originan transiciones de fase (cúbica-hexagonal-amorfa).

Los resultados de absorción óptica sobre estas películas indican un desplazamiento en la energía de la transición más baja de volumen (1.5 eV) hacia valores más altos, que pueden alcanzar 1.7 eV. Este aumento en la energía de absorción tiene una causa fundamental:

- **Un efecto de confinamiento excitónico.**

El tamaño de los cristales obtenido es igual o menor que el radio de Bohr del excitón. Por tanto un efecto de confinamiento explica el aumento en la energía de

absorción, en términos de una función inversa del cuadrado del radio del cristal. Mediante comparación con los modelos teóricos de Efros y Kayanuma, es posible deducir masas efectivas y energías de enlace excitónicas por arriba del valor en volumen. Asimismo, los resultados sugieren que la masa total excitónica en la región de radios pequeños, $R/r_B < 1$, es similar a la masa del hueco, lo que indica que el electrón se encuentra probablemente fuera del confinamiento granular.

La energía de enlace excitónico en el orden de 92 meV puede estar relacionada con una banda profunda de luminiscencia localizada en 1.4 eV. [114]

La comparación con el modelo numérico de Marín *et al* nos permite obtener la altura de la barrera de potencial de las paredes de los cristalitos, en el orden de 0.1 eV, así como la diferencia en masas efectivas dentro y fuera de ellos. Asimismo se distingue una barrera de potencial muy elevada para granos de CdTe inmersos en una matriz aislante de material distinto al CdTe. El comportamiento energético de todos los puntos del experimento se explica mejor en términos del modelo de Marín *et al*, pues la principal diferencia entre aquéllos es la matriz en donde se encuentran inmersos, lo que implica que las diferencias en la energía de absorción están determinadas por las diferencias en la altura de la barrera de potencial. De acuerdo con este modelo, dos son las barreras de potencial que caracterizan nuestros puntos: 0.165 eV para las muestras más oxigenadas y 0.09 eV para las muestras menos oxigenadas (T)

Todos los modelos de confinamiento escogidos se basan en una simetría esférica del punto cuántico. Pero bien pueden revisarse otro tipo de simetrías, por ejemplo de carácter cilíndrico o incluso rectangular. [109,110]

Por otro lado, la presión parcial de nitrógeno presente en la campana de la cámara de r. f. sputtering, determina la cantidad de oxígeno que se incorpora en las películas delgadas [108]. Ésto produce un

- **Efecto de una red cristalina “oxigenada”.**

La incorporación del oxígeno en la estructura zincblenda del CdTe origina presiones y tensiones que modifican la estructura original, creando cierto desorden

estructural en donde coexisten pequeños agregados de telurato de cadmio, que aunque no son siempre visibles en el espectro de rayos-x, aumentan la energía de absorción por sobre el valor del CdTe puro. El aumento en la inclusión sistemática del oxígeno finalmente conduce a una amorfización. El material producido, CdTe:O, es un semiconductor de banda amplia. El proceso es claro en el diagrama de fases de la Figura 1.10, cuya línea vertical central indica que el aumento en los contenidos de oxígeno conducen al CdTe hacia la formación de CdTeO₃, cuyo "band-gap" es 4 eV. [89] Por tanto, el incremento en la concentración de oxígeno lleva a un aumento en E_g por sobre el valor para CdTe puro. Las energías más bajas de absorción que obtuvimos en nuestro experimento son de 1.52 eV. Todas pertenecen a películas muy oxigenadas, pero con altas temperaturas de tratamiento térmico. Aunque pequeño, existe el mencionado aumento en esta energía de absorción de estas muestras por sobre el valor de volumen para CdTe. La masa efectiva que encontramos con el ajuste a la expresión de Kayanuma, mayor que la correspondiente al CdTe puro, es también indicio de una red cristalina oxigenada.

7.2.- Perspectivas del presente trabajo

- En la mayoría de los dispositivos basados en interfases MOS (metal-óxido-semiconductor), el óxido se ha derivado de el semiconductor "base". Tal es la estructura de un MOS basado en el SiO₂. En este contexto el CdTeO₃, se relaciona con el CdTe del mismo modo que el SiO₂ con el Si. Nuestros puntos cuánticos han crecido aislados en una matriz de CdTe:O de banda amplia de energía prohibida, lo que resulta muy apropiado para el estudio de los efectos de tamaño pequeño en la estructura de bandas del CdTe.
- Tanto la *evolución* de la fase cristalina de cúbica a hexagonal, como la *coexistencia* de ambas fases en términos del contenido de oxígeno y de la temperatura del sustrato, nos permiten suponer que el proceso de obtención del CdTe en fase hexagonal puede ser un proceso controlado. Sería deseable hacerlo. Así por ejemplo una heterounión CdS-n/CdTe-p sería más estable debido a que la estructura hexagonal del CdS se ajustaría mejor con una fase hexagonal del CdTe, lo que reduciría los defectos de acoplamiento en la interfase.

- La clave para mejorar la eficiencia de un dispositivo electrónico pequeño, reside en la habilidad para *modelar y entender* el dispositivo *antes* de fabricarlo. El modelaje nos provee de una herramienta adecuada para entender los efectos mecano-cuánticos asociados con nanoestructuras. Además nos genera información que a veces no está disponible experimentalmente. El número y rango de parámetros involucrados es grande, por eso el modelo nos permitiría encontrar los efectos de las variaciones de ciertos factores durante la fabricación. Los modelos revisados en este trabajo son solo una parte de los varios modelos disponibles, pero nos ayudan a entender la fenomenología de estas estructuras.
- El mecanismo propuesto para la fabricación y estudio de *puntos cuánticos* con base en el CdTe:O puede ser un camino que conduzca a un posible método más eficaz. Se requiere diseñar muestras con distintos contenidos de oxígeno a los que se proponen en este trabajo y barrer el rango de temperaturas de tratamiento propuestas, con valores intermedios, y comparar los tamaños de grano con nuestros resultados de la Figura 6.1, así como las energías de absorción de las Figuras 6.2, 6.3 y 6.4
- Para determinar con mayor exactitud el efecto de cercanía entre granos, sería conveniente realizar medidas de microscopía electrónica, con lo que se tendría la *densidad* superficial de granos en el material.
- Una tarea inmediata sería intentar la fabricación de dispositivos MOS, basados en el CdTe, en donde el material a-CdTe:O sería el aislante.
- Otra perspectiva reside en la búsqueda de emisiones energéticas “inducidas”, ésto es, buscar regiones de fotoluminiscencia de estos puntos cuánticos, tanto a temperatura ambiente, como a bajas temperaturas.