

REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 37, No. 1. 2005

ABSORCIÓN ÓPTICA RELATIVA A IMPUREZAS DONADORAS EN POZOS CUÁNTICOS DE GaAs-(Ga,Al)As BAJO EFECTOS DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA

S. Y. López¹, N. Porras-Montenegro² y C. A. Duque¹

¹ *Instituto de Física, Universidad de Antioquia, AA 1226, Medellín, Colombia*

² *Departamento de Física, Universidad del Valle, AA 25360, Cali, Colombia*

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados teóricos sobre los efectos de presión hidrostática en el espectro de absorción óptica relativo a impurezas donadoras en pozos cuánticos de GaAs-(Ga,Al)As. Hemos calculado el espectro de absorción óptica relativo a impurezas donadoras considerando diferentes anchos del pozo cuántico y valores de la presión hidrostática. Nuestros resultados muestran dos estructuras bien definidas en el espectro de absorción: una de ellas asociadas con impurezas localizadas cerca al centro del pozo y la otra para impurezas cerca de las paredes de la estructura. Adicionalmente, asociado con la variación con la presión del gap (brecha) en el GaAs, se muestra un importante corrimiento al azul del espectro de absorción.

I. Introducción

Pozos cuánticos aislados y múltiples, hilos y puntos cuánticos de GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs han sido ampliamente estudiados en las dos últimas décadas debido a su potencial importancia para la construcción de dispositivos fotónicos [1-6]. Técnicas ópticas, tales como dispersión Raman, fotoluminiscencia (PL), espectroscopía modulada, etc., han sido usadas para investigar estos sistemas bajo influencias externas tales como campos electromagnéticos estacionarios y presión hidrostática.

Debido a la fuerte dependencia con la presión de la masa efectiva de los electrones, un cambio significativo podría ser observado en el coeficiente de presión relativo a impurezas donadoras en experimentos tales como PL y absorción óptica. La línea correspondiente a impurezas donadoras podría ser observada en el rango de energías comprendido entre las transiciones desde la banda de conducción a la de impurezas aceptoras y la de transiciones correspondientes a estados excitónicos. En el presente trabajo estudiamos algunas propiedades ópticas relativas a impurezas donadoras en pozos cuánticos de GaAs bajo los efectos de la presión hidrostática. En particular, el espectro de absorción óptica será calculado desde la banda de valencia a la banda de impureza donadora considerando que los donadores están uniformemente distribuidos en la región del pozo cuántico. Hemos usado el método variacional y la aproximación de masa efectiva. Este artículo se organiza como sigue: en la sección 2 presentamos nuestro modelo teórico, en la sección 3 nuestros resultados y discusión, y finalmente en la sección 4 se presentan algunas conclusiones.

II. Marco Teórico

En la aproximación de masa efectiva, el hamiltoniano para una impureza donadora en un pozo cuántico de GaAs-Ga_{0.7}Al_{0.3}As bajo el efecto de presión hidrostática (P) a una cierta temperatura ($T = 4$ K, en este trabajo) está dado por [7]

$$H = -\frac{\hbar^2}{2} \nabla \cdot \left(\frac{1}{m_{w,b}^* (P)} \nabla \right) - \frac{e^2}{\varepsilon_{w,b} (P, T) r} + V (z, P, T) \quad (1)$$

donde r es la distancia entre el electrón y la impureza y los subíndices w y b definen las regiones del pozo y la barrera, respectivamente.

Para un pozo cuántico de GaAs-Ga_{0.7}Al_{0.3}As de ancho L , la probabilidad de transición por unidad de tiempo desde la banda de valencia a la banda de impurezas donadoras (asociada con una impureza aislada localizada en $z = z_i$) está dada por [8]

$$W_L (z_i, \omega) = W_0 \frac{1}{2} \left(\frac{a_0^*}{a_0} \right)^2 \left(\frac{m_v}{m_0} \right) \left(N_b^2 a_0^* \right) \frac{N^2 J^2}{a_0^{*3}} \Bigg|_{k_\perp} Y (\Delta) \quad (2)$$

donde el solapamiento entre las funciones de onda inicial y final que participan en la transición es

$$J [z_i, \lambda, k_\perp (\omega)] = \frac{2\pi}{\lambda \beta^2} \int_{-\infty}^{+\infty} f_i (z) f_f (z) \left(|z - z_i| + \frac{1}{\beta} \right) e^{-\beta |z - z_i|} dz \quad (3)$$

Detalles sobre las funciones de onda de prueba y sus correspondientes energías, la energía de enlace y la probabilidad de transición serán publicados posteriormente.

III. Resultados y Discusión

En la Figura 1 presentamos la energía de enlace de una impureza donadora poco profunda en un pozo cuántico de GaAs-Ga_{0.7}Al_{0.3}As en función de la presión hidrostática considerando dos valores del ancho del pozo. A medida que aumenta la presión la energía de enlace crece linealmente hasta 13.5 kbar. En este régimen de presión la altura de la barrera permanece constante. Para presiones mayores la proporción en que se dan los incrementos de la energía de enlace es menor y finalmente las curvas se doblan hacia abajo buscando valores más pequeños de la energía. Esta conducta de altas presiones es debida principalmente a la disminución lineal de la altura de la barrera que es asociado con el cruce Γ -X en el Ga_{0.7}Al_{0.3}As.

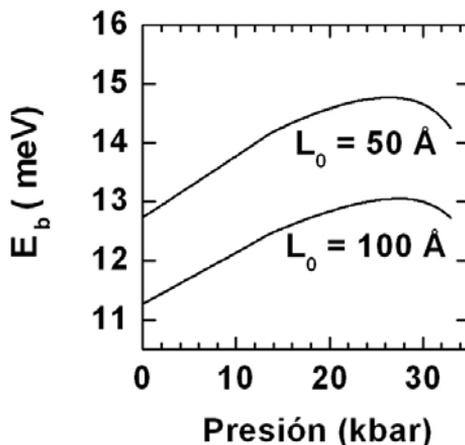


Figura 1 Energía de enlace para una impureza donadora en un pozo cuántico de GaAs-Ga_{0,7}Al_{0,3}As en función de la presión hidrostática para dos anchos diferentes de la heteroestructura.

En la Fig. 2 se presentan los espectros de absorción óptica desde la banda de valencia hacia estados de impurezas donadoras en pozos cuánticos de GaAs-Ga_{0,7}Al_{0,3}As en función de la diferencia de energía entre el fotón incidente y la brecha (gap) de energía de GaAs. Los resultados presentados son para anchos de 50 Å y 100 Å considerando diferentes valores de la presión hidrostática. El efecto principal de la presión hidrostática es desplazar los espectros de absorción hacia valores más bajos de la energía, lo cual en un experimento de absorción o de fotoluminiscencia se traduce en un corrimiento al azul del espectro. Para el ancho de 50 Å no hay evidencia clara de la contribución de las impurezas en el centro y en el borde del pozo cuántico. En este caso, para toda posición posible a lo largo de la dirección de crecimiento de la estructura, la impureza siente el mismo efecto de la presencia de las barreras. Sin embargo, cuando el ancho del pozo aumenta, como él se muestra en Fig. 2(b), los espectros de absorción presentan claramente la contribución debido a impurezas en el centro (en el borde) como puede ser visto de las estructuras a bajas (altas) energías.

Conclusiones

En el presente trabajo se presentan resultados teóricos relacionados con la influencia de la presión hidrostática sobre la energía de enlace de una impureza donadora y el espectro de absorción óptica desde la banda de valencia hacia la de estados de impureza donadora en pozos cuánticos de GaAs-Ga_{0,7}Al_{0,3}As. Como rasgo general, se observa que la energía de enlace crece con la presión y con la disminución del ancho del pozo. Se muestra que al incrementar el ancho del pozo aparecen dos estructuras bien definidas en los espectros de absorción una de ellas asociada a transiciones que involucran impurezas en el centro del pozo y un pico asociado con transiciones relacionadas con impurezas en el borde de la estructura. Hemos observado que la presión hidrostática genera un cambio en la intensidad y un corrimiento al azul del espectro de absor-

ción óptica asociado esencialmente con la variación de la brecha prohibida en el GaAs. Adicionalmente, un leve corrimiento al rojo está asociado a la variación de la energía de enlace con la presión.

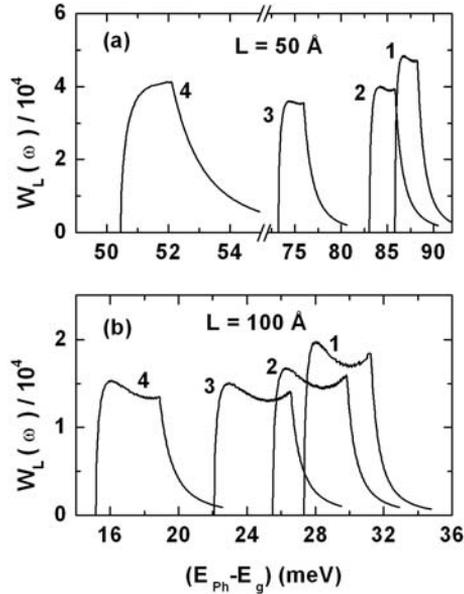


Figura 2 Espectro de absorción óptica relativo a impurezas donadoras en pozos cuánticos de GaAs- $\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$. Los resultados son para $L = 50 \text{ \AA}$ y 100 \AA con diferentes valores de la presión hidrostática: 0, 10, 20 y 30 kbar, denotado por los números 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Agradecimientos Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia (CODI) por el soporte financiero. Este trabajo fue financiado parcialmente por Colciencias bajo los proyectos 1115-05-11502 y 1106-05-13828.

References

- [1] G. Bastard, Phys. Rev. B 24, 4714 (1981).
- [2] C. Mailhot, Y-C. Chang, and T. C. McGill, Phys. Rev. B 26, 4449 (1982).
- [3] S. Chaudhuri and K. K. Bajaj, Phys. Rev. B 29, 1803 (1984).
- [4] R. C. Miller, A. C. Gossard, W. T. Tsang, and O. Munteanu, Phys. Rev. B 25, 3871 (1982).
- [5] S. Y. López, N. Porrás-Montenegro, and C. A. Duque, Semicond. Sci. Technol. 18, 718-722 (2003).
- [6] N. Raigoza, A. L. Morales, A. Montes, N. Porrás-Montenegro, and C. A. Duque, Phys. Rev. B 69, 045323 (2004).
- [7] A. M. Elabsy, J. Phys.: Condens. Matter 6, 10025 (1994).
- [8] L. E. Oliveira and R. Pérez-Alvarez, Phys. Rev. B 40, 10460 (1989).