



Cálculo de los Primeros Estados Energéticos en Sistemas de Pozos Cuánticos Acoplados de GaAs-(Ga,As)Al, Para Varios Anchos de Pozo y Diferentes Concentraciones de Al

J. Dario Perea¹, C-Willian-Sanchez³, N. Porras Montenegro^{1,2}

¹Grupo de Física del Estado Sólido, Departamento de Física, Universidad del Valle A. A. 25360, Cali Colombia

²Inst. de Física, Universidade Estadual de Campinas, CP 6165, Campinas, Sao Paulo 13083-970, Brazil

³Grupo de Películas Delgadas, Departamento de Física, Universidad del Valle A. A. 25360, Cali Colombia

Recibido 22 de Sep. 2008; Aceptado 3 de Mar. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

Resumen

Las heteroestructuras semiconductoras de baja dimensionalidad constituyen sistemas atractivos en sus propiedades fundamentales, así como en la aplicación para la realización de dispositivos electrónicos y optoelectrónicos^{1,2,3}. Dentro de la aproximación de la masa efectiva realizamos un estudio teórico de los estados fundamentales de energía y primeros estados excitados en sistemas de doble pozo cuántico (DQW) de GaAs-(Ga,As)Al. Calculamos las energías y sus respectivas amplitudes de probabilidad para el sistema de DQW para varias concentraciones de aluminio, para varios anchos de pozo y barrera. Encontramos que la energía del estado fundamental y de los estados excitados aumenta con el ancho y altura de la barrera. Los resultados obtenidos están en buen acuerdo con resultados experimentales y teóricos recientes^{1,4}.

Palabras claves: Pozos cuánticos acoplados, aproximación masa efectiva, estados fundamentales, estados excitados, concentraciones de aluminio.

Abstract

The low-dimensionality semiconductor heterostructure constitute attractive systems due to both their fundamental properties and their potential applications in electronics and optoelectronics devices^{1,2,3}. In this work we studied within the effective mass approach and a theoretically study of the fundamental energy and firsts energies states in systems of double quantum well (DQW) of the GaAs-(Ga,As)Al heterostructure. We calculated the energies and its probability functions for the systems of DQW for different widths separated by wide (Ga,As)Al barriers for different Al's concentration. In this work we found that the energy of the fundamental state and the first states grown when the width of the well increase and the height of the barriers increase too. Our results are in good agreement with the experimental results and theoretically results^{1,4}.

Key Words: Double quantum wells, effective mass approach, fundamental states, Al's concentrations.

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

Las propiedades físicas de los semiconductores de baja dimensionalidad han sido cuidadosamente estudiadas a lo largo de las últimas dos décadas debido a sus posibles aplicaciones en dispositivos optoelectrónicos^{1,2,3}. Gracias al progreso de la nanotecnología en los semiconductores es posible realizar pozos cuánticos (QWs), hilos cuánticos

(QWVs), puntos cuánticos (QDs), super-redes (SLs) los cuales son usados para la realización de estos dispositivos.

Las estructuras semiconductoras de DQW consisten en capas alternadas de GaAs y (Ga,As)Al donde la altura de las barreras depende de la concentración de Al⁵.

En el presente trabajo usando la aproximación de la masa efectiva, presentamos un estudio teórico de los estados energéticos para el sistema de DQW de GaAs-(Ga,As)Al a

bajas temperaturas para varios anchos de pozo y diferentes concentraciones de Al. El trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 un corto marco teórico del problema que tratamos. En la sección 3 presentamos los resultados calculados y la discusión, y finalmente en la sección 4 presentamos nuestras conclusiones.

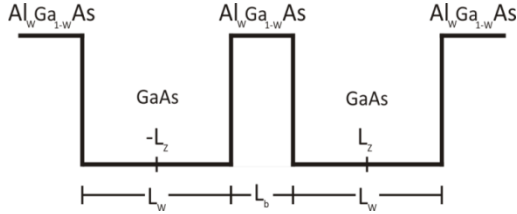


Fig 1. Esquema del sistema de DQW con confinamiento finito.

2. Marco Teórico

El esquema del sistema de DQW de GaAs-(Ga,As)Al se observa en la figura 1. En esa figura L_w y L_b son los anchos de los pozos cuánticos y la barrera central respectivamente. Para encontrar las soluciones del Hamiltoniano de capas alternadas de GaAs-(Ga,As)Al visto en la figura 1, necesitamos obtener las soluciones de la ecuación de Schrödinger para un sistema de DQW en la dirección z

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2} \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{m_e^*} \frac{d}{dz} \right) + V_B(z) \right] \psi_e(z) = E_e^n \psi_e(z) \quad (1)$$

En la anterior expresión m_e^* es la masa efectiva la cual es función de la concentración de Al⁵, el potencial $V_{b,w}(z)$ tiene un valor constante (diferente) en cada una de las cinco regiones diferentes en z (V_b, V_w : donde \underline{b} significa barrera y \underline{w} pozo)⁵.

$$V_B(z) \begin{cases} V_b, \text{ para } z < -L_z - \frac{L_w}{2} \rightarrow & \text{zona I} \\ 0, \text{ para } -L_z - \frac{L_w}{2} \leq z \leq -L_z + \frac{L_w}{2} \rightarrow & \text{zona II} \\ V_b, \text{ para } -\left(L_z - \frac{L_w}{2}\right) \leq z \leq L_z - \frac{L_w}{2} \rightarrow & \text{zona III} \\ 0, \text{ para } L_z - \frac{L_w}{2} \leq z \leq L_z + \frac{L_w}{2} \rightarrow & \text{zona IV} \\ V_b, \text{ para } z > L_z + \frac{L_w}{2} \rightarrow & \text{zona V} \end{cases} \quad (2)$$

3. Resultados y Análisis

Calculamos las energías y sus respectivas funciones de probabilidad para el sistema de DQW con confinamiento finito para varias concentraciones de Al, con ayuda de los datos mostrados en la tabla³. La cuantización se realiza en el eje z que es la dirección de crecimiento de la heteroestructura.

En la Fig. 2 podemos observar las energías para el sistema DQW finito, para un ancho de pozo total de 500 Å con un ancho de la barrera central de 60 Å,

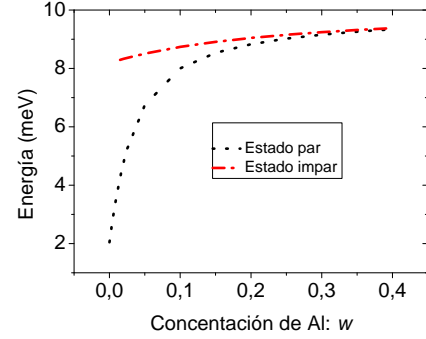


Fig. 2. Energía del estado fundamental del electrón en el sistema de DQW finito, para un ancho de barrera de 60 Å y varias concentraciones de Al.

En la fig. 2 se observa que la energía del electrón aumenta con la altura de la barrera, y se puede notar la aparición de los estados pares e impares al tener algún valor de potencial en la barrera central (lo que se le denominan dobletes energéticos). Se percata que estas energías tienden a ser las mismas a medida que la altura de la barrera aumenta, lo que muestra un desacople entre los pozos de potencial a la izquierda y a la derecha de la barrera con el aumento en la concentración de Al en la barrera central. Las amplitudes de probabilidad para los estados electrónicos se exponen en la fig. 3.

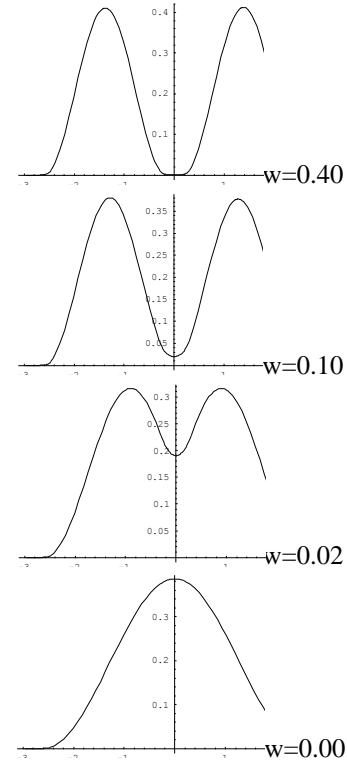


Fig. 3. Amplitudes de probabilidad del primer estado electrónico del sistema de DQW finito con varias concentraciones de aluminio y una barrera central de 60 Å.

En la fig. 3 se observa que a medida que disminuye la altura de la barrera, aumenta la probabilidad dentro de ésta. A continuación encontramos los niveles energéticos (m) para el sistema de DQW con confinamiento finito y barrera variable, los cuales se pueden observar en la fig. 4.

room temperatures. Division of Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, MA 02138-2901, USA, November 1999.

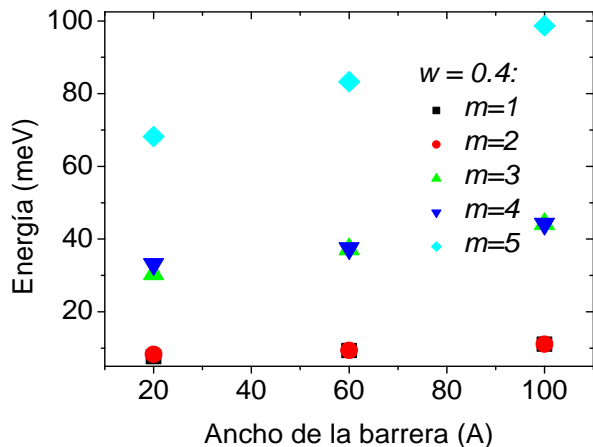


Fig. 4. Niveles electrónicos del sistema de DQW finito, para diferentes anchos de barrera con concentración de Al $w=0.4$.

En la fig. 4 se visualizan las energías correspondientes al sistema de DQW con confinamiento finito, se encuentra una proximidad entre los estados $m = 1$ y $m = 2$, así como también entre los estados $m = 3$ y $m = 4$, más remarcable para mayor concentración de Al y ancho de la barrera central.

4. Conclusiones

En este trabajo se han calculado las energías para los primeros niveles energéticos en el sistema de DQW con potencial de confinamiento finito, compuesto por pozos de GaAs y barreras de $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$. Encontramos que el efecto de aumentar el ancho o la altura de la barrera, es disminuir la diferencia de las energías de los dobletes, desacoplando por tanto los pozos cuánticos.

Referencias

- [1] Bimberg D, Grudmann M and Ledentsov N N 1999 Quantum Dot Heterostructure (New York; Wiley)
- [2] Zrenner A 2000 *J. Chem Phys.* 112 7790
- [3] Bimberg D and Ledentsov N N 2003 *J. Phys.: Condens Matter* 15 R1063
- [4] P. Bonnel, P. Lefebvre, B. Gil, and H. Mathieu, C. Deparis, J. Massies, and G. Neu, Reflectance study of interwell couplings in GaAs-Ga_{1-w}Al_wAS double quantum wells, Physical Review Vol 42, number 6, 15 August 1990.
- [5] E. Herbert Li, Material parameters of InGaAsP and InAl-GaAs systems for use in quantum well structures at low and