

DEPENDENCIA DE LA MOVILIDAD ELECTRONICA CON LA TEMPERATURA EN ALAMBRES CUANTICOS DE $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$

J. Tutor, F. Comas y P. Pajón, Grupo de Ciencia de los Materiales, Facultad de Física, I.S.P. "E. J. Varona", Departamento de Física Teórica, Facultad de Física, Universidad de La Habana

RESUMEN

En el presente artículo, en el marco de la Teoría de Transporte de Boltzmann, se muestran los resultados de los cálculos de la movilidad electrónica en aproximación de tiempo de relajación para un gas cuasi-uni-dimensional de electrones degenerados en un alambre de $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$, de sección rectangular, para distintos mecanismos de dispersión elásticos: fonones acústicos (potencial de deformación), fonones piezoeléctricos e impurezas ionizadas (remotas y en el canal de conducción). El rango de temperaturas estudiado se encuentra entre 4.2 K y 150 K. En los cálculos se incluye el efecto de apantallamiento, en aquellas interacciones consideradas de largo alcance, a través de la función de respuesta dieléctrica estática.

ABSTRACT

Using the frame of Boltzmann's Transport Theory, there are shown results of electrons' mobility calculations in the time-relaxation approach for an almost one dimensional gas in a $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ wire with a rectangular section, for different elastic scattering mechanisms: acoustical phonons (deformation potential) piezo electric phonons and ionic impurities (remote ones and in the conduction channel) the temperature range studied is between 4.2 k and 150 k. Screen-effect is included in the calculus, in those interactions considered of big length by means of the dielectric static response function.

I. TEORIA

La expresión general de cálculo de la movilidad electrónica utilizada es:

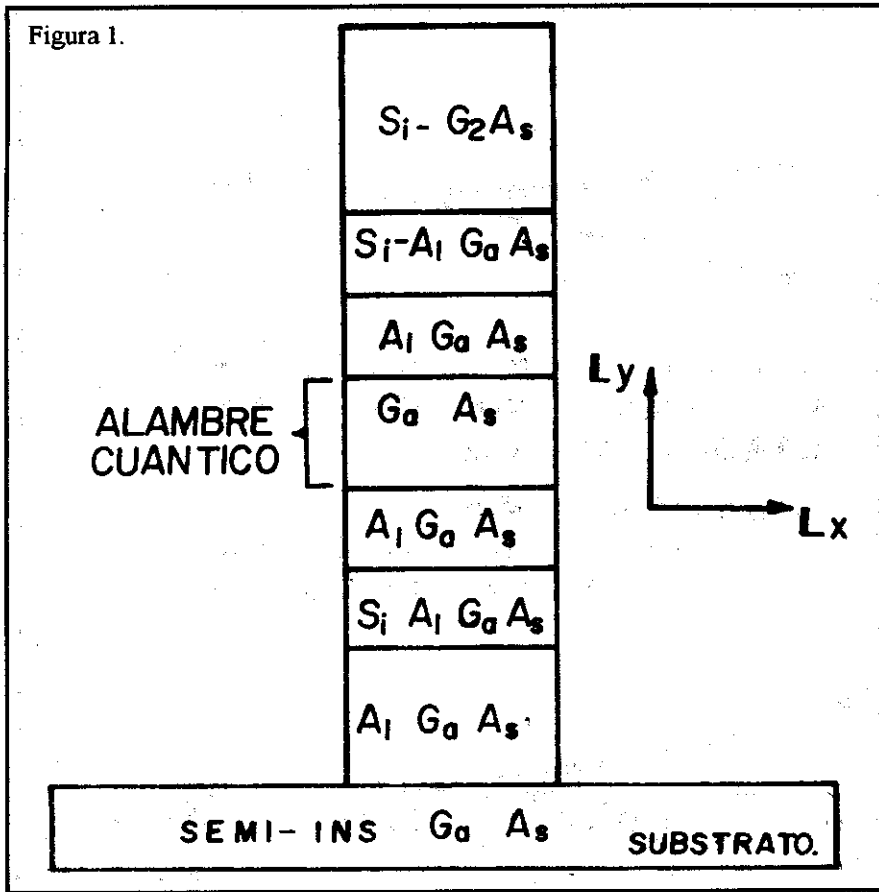
$$\mu = \frac{2^{3/2} e}{\pi (m^*)^{1/2} \hbar n_L} \int_0^\infty \frac{E_K^{1/2} [-\partial f_1^0 / \partial E_K]}{\tau_{SQL}^{-1}(E_K)} dE_K \quad (1)$$

e es el valor absoluto de la carga electrónica; m^* es la masa efectiva electrónica en el GaAs; \hbar la constante de Dirac. E_k es la energía cinética del movimiento libre de los electrones según la dirección del eje del alambre. f_1^0 es la función de distribución de Fermi-Dirac para el gas electrónico cuasi-uni-dimensional (Q1D) en equilibrio termodinámico. La expresión $\tau_{SQL}^{-1}(E_k)$ servirá para representar los inversos de tiempos de relajación para cada mecanismo de dispersión por separado y para el inverso del tiempo de relajación total siguiendo la Regla de Mathiesen. Expresiones más detalladas para este parámetro se encuentran en /1/. La modelación geométrica escogida corresponde a un alambre cuántico de sección transversal rectangular. (Ver Figura 1)

A diferencia de cálculos anteriores /2,3/, en el presente trabajo no se realiza la Aproximación de Conservación del Momentum (MCA) en la interacción electrón-fonón por considerarla una restricción demasiado fuerte. Consideramos además que el sistema alambre cuántico ($GaAs$) - recubrimiento ($Al_xGa_{1-x}As$) es un sistema dieléctricamente homogéneo con una misma constante de permitividad dieléctrica ϵ . Debe notarse que los cálculos de τ^{-1} fueron realizados en el marco de la aproximación del límite cuántico dimensional (SQL) donde sólo se consideran transiciones electrónicas intra-sub-banda. También se incluye el efecto de apantallamiento a través de la función de respuesta dieléctrica estática (FRDE) en todos los mecanismos excepto el mecanismo electrón-fonón acústico (Potencial de Deformación (DP)). En la expresión (1) también se encuentra el parámetro n_L que es la densidad electrónica lineal para el gas Q1D cuya expresión es:

$$n_L = \frac{(m^* K_B T)^{1/2}}{2^{1/2} \pi \hbar} \int_0^\infty \frac{x^{1/2}}{e^{-x-x_F1} + 1} dx \quad (2)$$

Figura 1.



volúmica de impurezas donoras neutras utilizada en la construcción de los alambres según /6,7/.

En la Figura 2 se muestra μ vs. T en un alambre rectangular para los mecanismos de dispersión electrón-fonón acústico (DP) $\Delta\Delta\Delta\Delta$; electrón-impurezas ionizadas remotas (Rem) $*-*-*$; electrón-impurezas ionizadas en el canal de conducción (Back) $*-*-*$. También se incluye la dependencia de la movilidad total (μ_T) vs. T $\Delta\Delta\Delta\Delta$. No se incluye en la gráfica el mecanismo electrón-fonón piezoeléctrico porque los órdenes de magnitud sobrepasan el valor $10^8 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Como puede observarse de la figura el mecanismo de dispersión predominante en todo el rango de temperaturas estudiado es la dispersión electrón-impurezas ionizadas

en el canal de conducción (Back) coincidiendo con los resultados experimentales obtenidos en /6,7/ a partir de mediciones de movilidad Hall en alambres crecidos por dichos autores.

En la Figura 3 se muestra la dependencia μ_T vs. T para alambre de sección rectangular. La dependencia paramétrica con L_y muestra que para un ancho estructural (L_x) fijo, el aumento de L_y provoca una disminución de los valores de μ_T influida además por el aumento de L_d y la disminución del nivel de Fermi F. El orden de μ_T para $L_y = 40 \text{ nm}$. a 4.2 K coincide con el reportado por /6,7/ medidos en alambres con igual L_y y T.

En la Figura 4 se muestra μ_T vs. T para alambres de sección rectangular. Esta vez la dependencia paramétrica es con L_x el ancho estructural. Utilizando valores de L_x y L_y análogos a los reportados experimentalmente por /7/, nuestros cálculos reproducen los órdenes y la tendencia a aumentar μ_T con el aumento de L_x observado experimentalmente en /7/.

donde $x = \frac{E_K}{K_B T}$; $x_{F1} = \frac{F - E_0}{K_B T}$ donde E_0 es la energía básica de confinamiento electrónico calculada para el gas Q1D en diferentes geometrías /1 y 2/ y F es el nivel de Fermi calculado para la heteroestructura cuasi-bidimensional (Q2D) que sirve de base para la modelación del alambre de sección rectangular.

El método de cálculo puede verse en /4/. Los parámetros K_B y T representan la constante de Boltzmann y la temperatura respectivamente.

II. RESULTADOS Y DISCUSION

Todas las constantes características del GaAs fueron tomadas de /5/. Los parámetros estructurales L_x (ancho), L_y (alto) del alambre de sección rectangular fueron tomadas a partir de los datos experimentales reportados en /6,7/. Los anchos de la zona de empobrecimiento de impurezas neutras (L_d) necesario para el cálculo del nivel de Fermi según /4/ fueron estimados racionalmente a partir de la energía de activación del $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}/\text{GaAs}$ y de la concentración

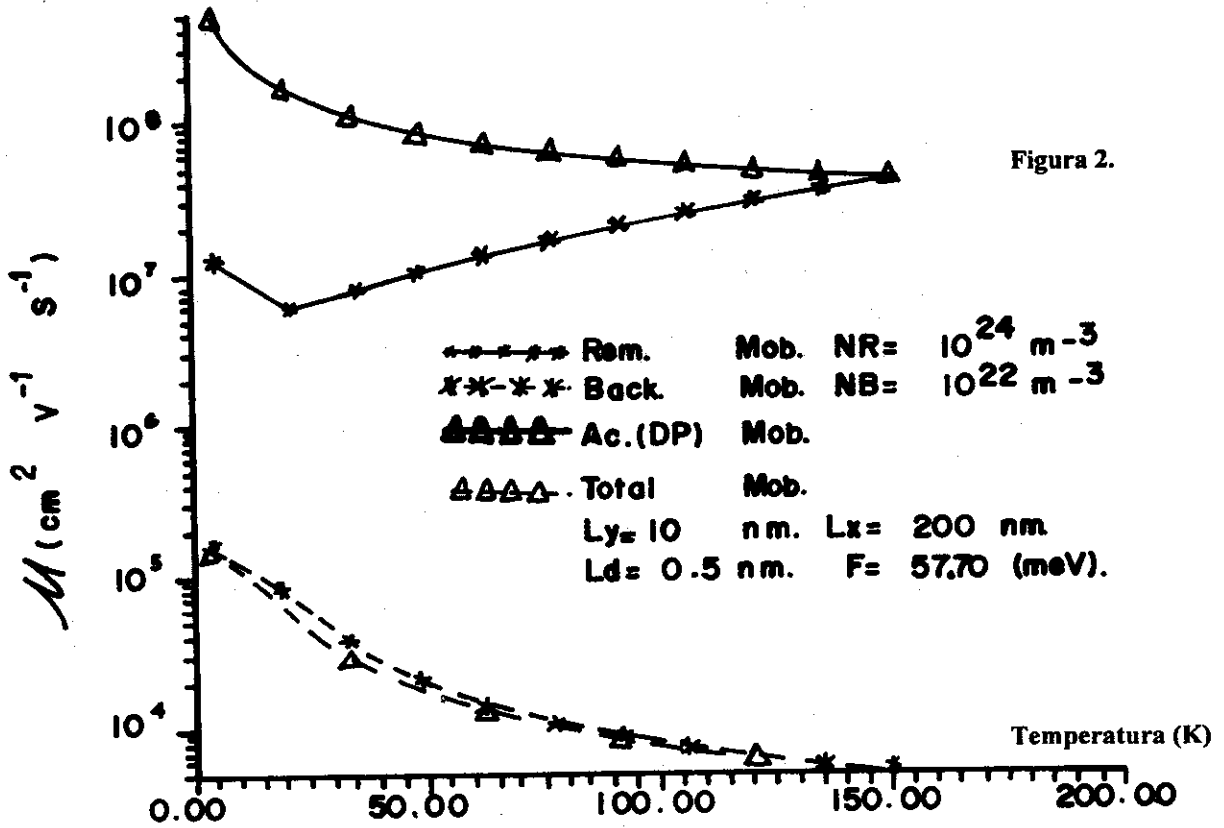


Figura 2.

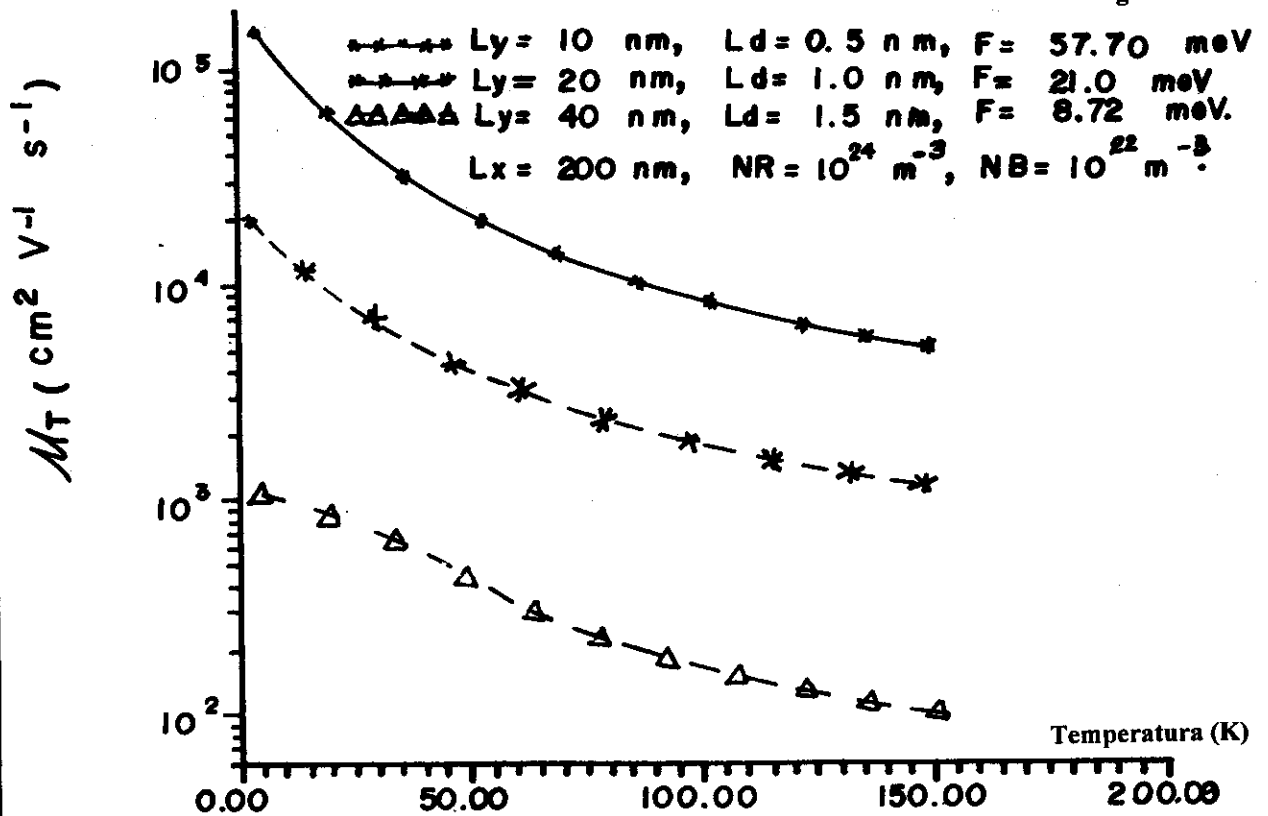
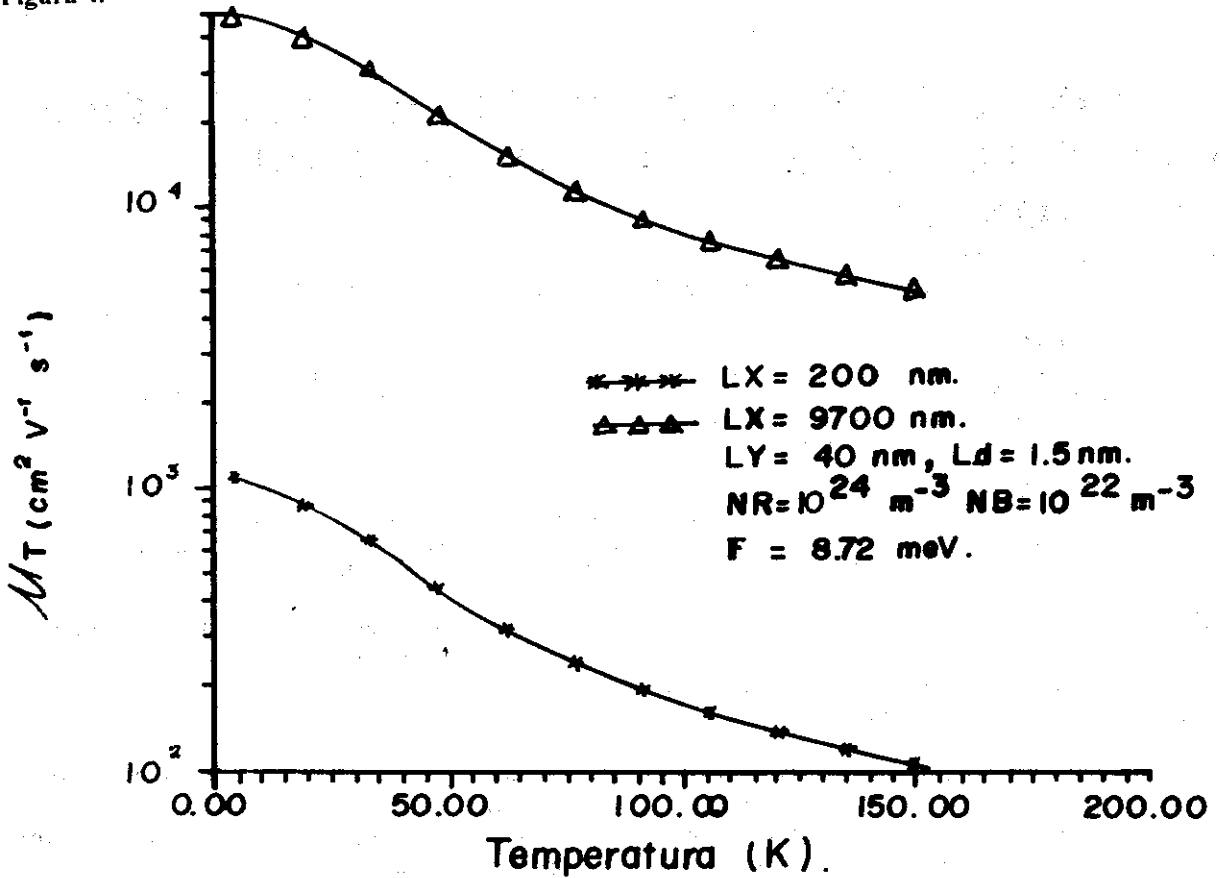


Figura 3.

Figura 4.



REFERENCIAS

1. TUTOR, J.; P. PAJON y F. COMAS: "Principales mecanismos de dispersión electrónica en la movilidad ohmica de alambres cuánticos semiconductores". (Trabajo no publicado).
2. COMAS, F.; C.TRALLERO; J. TUTOR (1987): Phys. Stat. Sol. (b). 139, 433.
3. COMAS, F.; C.TRALLERO; H. LEON; J. TUTOR (1988): Physica B, 152, p. 352-366.
4. TUTOR, J.; F. COMAS: (Trabajo en vías de publicación en la Phys. Rev. B, sobre movilidad electrónica en pozos cuánticos de Si/SiGe).
5. LANDOLT-BÖRNSTEIN (1982): "Numerical data and functional Relationship in Science and Technology", 17 Semiconductors. Springer-Verlag. Berlin.
6. ISMAIL, K.; D.A. ANTONIADIS and H.I. SMITH (1989): Appl. Phys. Lett. 54 (12), 20 March.
7. NAKATA, S.; Y. HIRAYAMA; S. TARUCHA and Y. HORIKOSHI (15 March -1991): J. Appl. Phys. 69 (6).