

ESTUDIO DEL CAMPO ELÉCTRICO INTRÍNSECO DE UNA PELÍCULA SEMICONDUCTORA GaAs:Ge ALMACENADA POR LARGO TIEMPO Y TRATADA POSTERIORMENTE CON ATAQUES QUÍMICOS

D. G. Espinosa, J. I. Marín, J. J. Prias, G. Fonthal* y H. Ariza.

Laboratorio de Optoelectrónica, Universidad del Quindío, Armenia Colombia

*Departamento de Física, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

labopt@cocora.uniquindio.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se analiza la dependencia del campo eléctrico intrínseco F , las energías de transición E_0 y E_x , y el parámetro de ensanchamiento Γ , con la temperatura, para una película epitaxial de GaAs:Ge con concentraciones de $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. La muestra estudiada fueron almacenadas por varios años en condiciones ambientales normales. La técnica experimental usada fue la fotorreflectancia a baja temperatura, tomándose espectros antes y después de realizar un decapado por ataque químico. Se encontró que los parámetros de ajuste Γ y F se encuentran fuertemente influenciados por el ataque químico. Estos comportamientos se asocian a defectos superficiales introducidos durante el envejecimiento, los cuales fueron reducidos después del decapado.

INTRODUCCIÓN

Los procesos y causas del envejecimiento en los materiales semiconductores ha sido uno de los campos de estudio de los últimos años, ya que estos influyen de manera decisiva en el desempeño y vida útil de los dispositivos electrónicos. Se encuentran reportados como principales efectos del envejecimiento la generación de óxidos en la superficie [1] y en materiales impurificados, la migración de las impurezas del sitio sustitucional a posiciones intersticiales, formando complejos [2] y clusters [1,3]. Estos procesos han sido estudiados por medio de técnicas de caracterización como fotoluminiscencia (FL) [1,2], deep level transient spectroscopy (DLTS) [3] y capacitancia-voltaje (C-V) [3], y no existen reportes de su estudio por medio de la técnica de fotorreflectancia (FR). En particular, la fotorreflectancia (FR), una técnica de reflectividad modulada, ha demostrado durante varios años ser una técnica de alta resolución para la determinación de los puntos críticos y reportes más recientes han demostrado su utilidad en el estudio de efectos superficiales y defectos [4,5,6,7].

EXPERIMENTO

La película de GaAs:Ge tipo p, 5×10^{16} fue crecidas por medio de la técnica de Epitaxia en Fase Líquida. Estas muestras fueron almacenadas durante seis años en condiciones ambientales normales. Se tomaron espectros de FR antes y después de someterla a un proceso de decapado por ataque químico con $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ en la proporción 3:1:1. Las mediciones de fotorreflectancia fueron tomadas alrededor del borde fundamental de absorción a diferentes temperaturas entre el rango de 12 a 150K, empleando como haz modulador un láser de HeNe 633nm de 35mW cortado mecánicamente a una frecuencia de 211 Hz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los espectros de FR tomados a diferentes temperaturas, antes y después de realizar el decapado por ataque químico. A alta temperatura se presentan oscilaciones Franz-Keldysh (FKO) [8,9]. La forma de línea de tercera derivada (TDLF) es aplicable en el régimen de campo bajo y las FKO en el régimen de campo medio [8], sin embargo ambas forma coinciden cuando la razón entre la energía electro-óptica ($\hbar\Omega$) y el parámetro fenomenológico de ensanchamiento (Γ) es $\hbar\Omega/\Gamma < 1/3$ [10]. La forma de línea para la transición fundamental (E_0) en el régimen de campo medio está descrito por [11] :

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{E_0} = \Re\{C \exp(i\theta)\Delta\epsilon(E)\} = \Re\left\{\frac{C \exp(i\theta)}{E^2} [G(z) + iF(z)]\right\} \quad (1)$$

con [9]: $F(z) = \pi[Ai'^2(z) - zAi^2(z)] - (-z)^{1/2}H(-z)$ (2)

$$G(z) = p[Ai'(z)Bi'(z) - zAi(z)Bi(z)] + z^{1/2}H(z)$$

y

$$z = \frac{E_0 - E + i\Gamma}{\hbar\Omega} \quad (3)$$

donde $H(z)$ es la función escalón, E_0 es la energía de la transición fundamental, C y θ son parámetros geométricos, Ai y Bi las funciones de Airy de primera y segunda clase respectivamente. Para describir mejor la oscilación de baja energía se incluyo a nuestro modelo de ajuste una contribución excitónica de primera derivada dada por la expresión [12]:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{E_x} = \text{Re} \left\{ C_{ex} e^{iq_{ex}} (E - E_x + i\Gamma_{ex})^{-2} \right\} \quad (4)$$

La presencia de transiciones excitónica en espectros que involucran FKO ha sido demostrada por medio de cálculos de primeros principios por Blosssey y Heesel [11,12].

Después de realizar los ajustes se encontró que la energía de dicha transición excitónica corresponde a la energía del excitón ligado a impureza, cuya separación en energía es cercana al valor reportado 7meV [13]. Resultados similares de la evidencia de estas transiciones en los espectros de FR fueron encontradas por Z. Yu y colaboradores [14]. La dependencia con la temperatura de la transición fundamental E_0 (figura 2) mostraron que esta ofrece un comportamiento que puede ser descrito por la expresión de Varshni para el GaAs intrínseco [15] .

En todos los espectros se observa un fuerte amortiguamiento de las oscilaciones FKO. Este amortiguamiento se presenta cuando el valor de $\hbar\Omega$ es cercana a Γ , condición verificada experimentalmente, dándonos un indicio de que los espectros de FR se encuentran en el

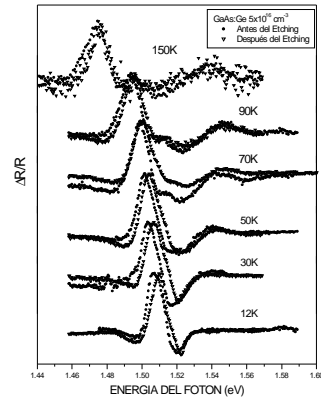


Figura 1. Espectros de fotorreflectancia a diferentes temperaturas antes y después del decapado por ataque químico.

régimen de transición de campo medio a bajo. La presencia del fuerte amortiguamiento de las FKO está reportada como una alta inhomogeneidad del campo eléctrico [4,11,12] debida a una distribución no uniforme de las impurezas. Esta distribución se originó como consecuencia del envejecimiento del material, en el cual hubo migración de átomos de Ge hacia la superficie, intentando pasivar la capa de óxidos, generando la creación de complejos y vacancias localizadas [2,3].

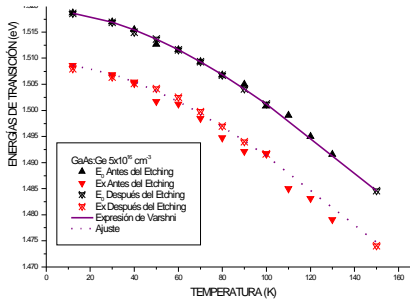


Figura 2. Dependencia con la temperatura de E_0 y E_x .

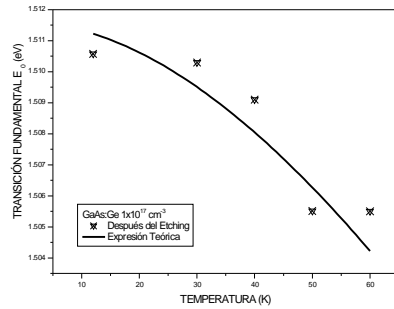


Figura 3. Dependencia con la temperatura del campo eléctrico interno (F).

Las dependencias con la temperatura del campo eléctrico intrínseco (F) y el parámetro de ensanchamiento se presentan en la figura 3 y 4. El valor de F se determina a partir de los valores experimentales de $\hbar\Omega$ con la expresión [9]:

$$(\hbar\Omega)^3 = \left(\frac{e^2 F_{\text{int}}^2 \hbar^2}{2m} \right) \quad (5)$$

donde e es la carga del electrón y μ la masa reducida interbanda involucrada en la transición ($\mu = 0.55m_e$ [15]). La dependencia del campo eléctrico interno con la temperatura muestra una pendiente más alta después del proceso de ataque químico (Figura 3). Este resultado confirma nuestro supuesto sobre la no homogeneidad del campo eléctrico, el cual cambia con el proceso de decapado. Antes del etching, el campo eléctrico era más no homogéneo que después, debido a que la capa de óxidos establecían unas condiciones superficiales diferentes.

Tanto la transición banda a banda como la transición excitónica muestran un ensanchamiento mayor en los espectros después de eliminar la capa de óxidos, esto indica que los procesos de dispersión después de realizar el decapado han aumentado en lugar de disminuir, como era de esperarse, sin embargo, las dependencias con la temperatura de Γ y Γ_{ex} , exhiben un cambio en la razón de crecimiento para $T > 50\text{K}$, comportamiento que no puede ser descrito por el modelo de dispersión fonónica de Eistein [16]. Kaneta y Adachi [6] han encontrado similares resultados para $\Gamma(T)$ en CdTe, quienes asumieron para temperaturas por encima de un valor específico un proceso de dispersión relacionado con el acoplamiento electrón-fonón (LO), que depende linealmente con la temperatura. Además, en ambos parámetros de ensanchamiento, la pendiente por encima de 50K es la misma antes y después del etching, lo que indica que los procesos de dispersión asociados a los fonones ópticos son independientes

y permanecen sin cambio después del decapado. Por debajo de 50K, hay otro proceso de dispersión involucrado el cual incrementa después del etching. Consideramos que este efecto se debe a defectos localizados muy profundamente dentro del material, los cuales fueron revelados por el decapado.

CONCLUSIONES

El espectro experimental describe dos contribuciones: i) transición banda a banda del GaAs intrínseco, y ii) transiciones excitónicas asociadas a excitones ligados a impurezas. Hay una alta no homogeneidad del campo eléctrico interno, el cual fue reducido después del decapado. Esta no homogeneidad es consecuencia del proceso de envejecimiento donde los átomos de las impurezas migraron hacia la superficie creando complejos localizados y vacancias dentro del material. El parámetro de ensanchamiento no está relacionado únicamente a una clase de proceso de dispersión. La presencia de la dispersión debida al acople electrón-fonón (LO) fue detectada para temperaturas por encima de 50K. El cual permaneció sin cambio después del proceso de decapado. Otro proceso de dispersión, sin establecer, es dominante a temperaturas por debajo de 50K e incrementa después del etching.

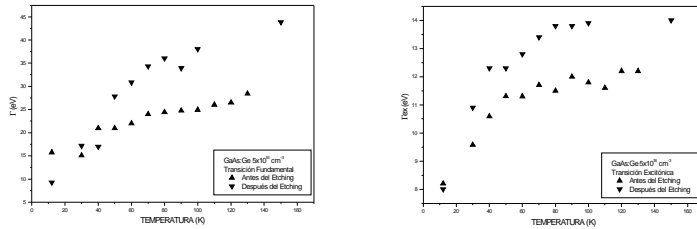


Figura 3. Dependencia con la temperatura de los parámetros de ensanchamiento de la transición interbanda (Γ) y excitónica (Γ_{ex}).

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo ha sido realizado con el apoyo financiero de Colciencias-BID y la Universidad del Quindío.

REFERENCIAS

- [1]. F. Liu, Z. Wang, G. Li, G. Wang. *J. Appl. Phys.* **83**, 3435 (1998).
- [2]. B. Monemar, E. Molva and L. S. Dang. *Phys. Rev. B.* **33**, 1134, (1986).
- [3]. P. K. Giri and Y.N. Mohapala. *J. Appl. Phys.* **84**, 1901 (1998).
- [4]. U. Behn, A. Thamm, O. Brandt, and H. T. Grahn. *J. Appl. Phys.* **87**, 4315 (2000).
- [5]. R. Beaudry, S. P. Watkins, X. Xu and P. Yeo. *J. Appl. Phys.* **87**, 7838 (2000).
- [6]. A. Kaneta and S. Adachi. *J. Appl. Phys.* **87**, 7360 (2000).
- [7]. J. H. Song, E.D. Sim, K. S. Baek and S. K. Chang. *J. Appl. Phys.* **87**, 3789 (2000).
- [8]. D.E Aspnes en *handbook of semiconductors*, editado por T.S Moss (North Holland, New York 1980)..
- [9]. P.Y. Yu and M. Cardona. *Fundamentals of Semiconductors*. 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlín 1999
- [10]. D.E. Aspnes. *Phys. Rev. B.* **10**, 4228 (1974).
- [11]. D.F.Blossey,
- [12]. H. Hessel, S. Hunsche, , K. Leo and H. Kurz *Phys. Rev. B* **47**, 16000 (1993).
- [13]. L. Pavessi, M. Guzzi. *J. Appl. Phys.* **75**, 4779 (1994).
- [14]. Z.Yu, S. G. Hofer, N.C. Giles, T. H. Myles and C.J. Summers, *Phys. Rev B.* **51**, 13789 (1995)
- [15]. Madelung, en Landolt-Börnstein, *Handbook on semiconductors*. Neue Serie (Springer-Verlag, Berlín 1987), Vol 22
- [16]. C.F.Li, Y.S. Huang, L.Malinova, F.H.Pollak.*Phys.Rev B* **55**, 9251(1997)