



## Caracterización por Fotorreflectancia de Aleaciones Semicondutoras Cuaternarias de GaInAsSb impurificadas con Telurio

J.S. Arias-Cerón<sup>1</sup>, Y.E. Bravo-García<sup>1</sup>, J.L. Herrera-Pérez<sup>1</sup>, P. Rodríguez-Fragoso<sup>2</sup>,  
F. Sánchez-Sinencio<sup>2,3</sup>, J.G. Mendoza-Álvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694, Colonia Irrigación, 11500 México D. F.

<sup>2</sup> Departamento de Física, Cinvestav-IPN. A. P. 14-740, México, D. F. 07000

<sup>3</sup> Centro Latinoamericano de Física, Río de Janeiro, R. J. Brasil

### Resumen

Se crecieron películas epitaxiales del compuesto semiconductor GaInAsSb por la técnica de Epitaxia en Fase Líquida a una temperatura de 525 °C, agregando pequeñas cantidades de Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> conseguimos impurificar las películas con una concentración de electrones en el rango de 3x10<sup>17</sup> a 6x10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>. Las películas fueron caracterizadas por Fotorreflectancia en infrarrojo (FRIR) en función de la temperatura. Los espectros de FRIR muestran que la alta impurificación con Te genera un corrimiento de la energía de banda prohibida a valores mayores. Del ajuste al modelo de tercera derivada de Aspnes encontramos que la energía de banda prohibida a 20 °K varía de 639 meV para bajas concentraciones hasta 683 meV para altas concentraciones de electrones. Este corrimiento se explica como un efecto del tipo Moss-Burstein.

### Introducción

Las aleaciones de GaInAsSb tienen una energía de banda prohibida entre 1.7 a 4.3 micras y pueden ser crecidas acopladas a sustratos de GaSb.

Creemos películas de Ga<sub>0.82</sub>In<sub>0.18</sub>As<sub>0.13</sub>Sb<sub>0.87</sub> impurificadas con Telurio, la concentración de portadores en el rango de 10<sup>17</sup> a 10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>.

Usamos la técnica de Fotorreflectancia en infrarrojo (FRIR) para caracterizar las películas de GaInAsSb en función de la temperatura y a diferentes concentraciones.

### Procedimiento Experimental

Las películas fueron crecidas por Epitaxia en Fase Líquida (LPE) en un horno de tres zonas las aleaciones cuaternarias fueron crecidas a 530 °C acoplados a sustratos (100) de GaSb de alta resistividad. La impurificación de Te fue realizada en dos formas diferentes. Para baja concentración de portadores, pequeñas cantidades de GaSb dopado con Te fueron agregados a la solución precursora. Para obtener altas concentraciones fracciones de Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> se adicionaron a la solución de crecimiento.

Para la caracterización de FRIR las muestras se colocaron en el interior de un criostato en el cual variamos la temperatura en un intervalo de 20 a 300 °K. Para el haz de prueba utilizamos una lámpara de tungsteno - halógeno de 250 W de potencia. Con un monocromador generamos radiación monocromática, la cual fue focalizada sobre la

superficie de la muestra. El haz de bombeo fue el haz de un laser He-Ne (2mW) recortado a 208 Hz. La luz reflejada se colecta en un fotodetector de InSb. Los niveles de voltaje AC y DC fueron recibidos por un amplificador Lock-In. Estas señales se registran en una PC, en un programa de ambiente gráfico de LabView.

### Resultados y Análisis

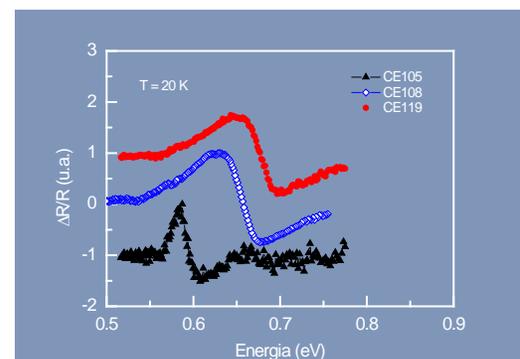
**Tabla 1.** Resumen de las muestras de GaInAsSb y la fracción molar de Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>.

Resumen de las muestras de GaInAsSb y la fracción molar de Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> adicionadas a cada una	
Muestra	Fracción molar de Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
CE-105	1.63 x10 <sup>-5</sup>
CE-102	6.12 x10 <sup>-5</sup>
CE-103	13.05 x10 <sup>-5</sup>
CE-108	25.70 x10 <sup>-5</sup>
CE-117	15.09 x10 <sup>-5</sup>
CE-118	18.76 x10 <sup>-5</sup>
CE-119	23.25 x10 <sup>-5</sup>

Todas las muestras fueron crecidas a 530 °C sobre monocristales de GaSb:Te

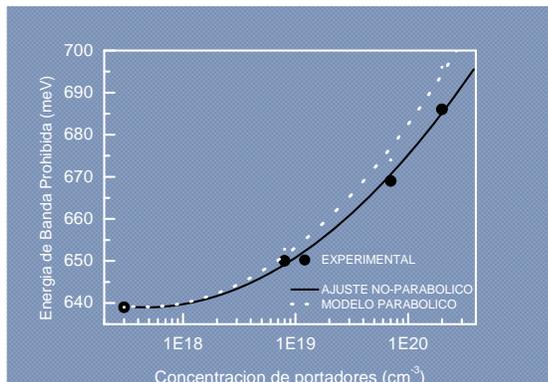
En la gráfica 1 se muestran los espectros de FRIR tomados a 20 K, en donde podemos observar el corrimiento a energías mayores cuando se incrementan la concentración de portadores.

**Gráfica 1.** Espectros de FRIR realizadas a tres muestras.





**Grafica 2.** Banda de Energía en Función de los portadores libres.



En la grafica 2 observamos la banda de energía en función de la concentración de electrones libres para InGaAsSb. La curva muestra el comportamiento parabólico y no parabólico cuyo cálculo está basado en el efecto Moss-Burstein. El comportamiento no parabólico se presenta cuando al incrementar la concentración de electrones libres, la banda de conducción se llena como se muestra esquemáticamente en el inserto.

El modelo de Kane nos da una expresión analítica de la dispersión de la banda de conducción:

$$E_c(k) = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_0} + \frac{1}{2} \left( \sqrt{E_g^2 + 4E_p \frac{\hbar^2 k^2}{2m_0}} - E_g \right)$$

Donde  $E_g = 0.638$  eV es la energía de gap intrínseca,  $m_0$  es la masa del electrón y  $E_p$  es el parámetro asociado a la energía de interacción, en nuestro caso  $E_p = 10$  eV.

### Conclusiones

Películas epitaxiales de GaInAsSb fueron crecidas por LPE sobre sustratos de GaSb.

Se obtuvieron películas tipo n impurificando con Telurio en el rango de alto y bajo dopaje.

La energía de banda prohibida se caracterizó con FRIR a diferentes temperaturas.

Usando el modelo teórico de Kane se logró explicar el corrimiento de la banda de energía en función de la impurificación de las películas.

### Agradecimientos

Agradecemos al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y a la Secretaría de Investigación, Posgrado (SIP), al CONACYT, al CINVESTAV y al Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F.(ICyTDF) por su apoyo a este trabajo.

### Referencias

- [1] R.N. Bhattacharya et al. Physical Review b 37 (8) 4044 (1988)
- [2] Aspnes, D.E. Handbook of semiconductors: Modulation Spectroscopy/Electric Field Effects on the Dielectric Function of Semiconductors, vol. 2, editorial T.S. Moss, Elsevier (New York, 1980), pg. 110
- [3] Aspnes, D. A. B. Phys. Rev. B7, 4605 (1973)
- [4] E.O. Kane, *J. Phys. Chem. Sol.* **1** (1957)