

ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE FUGA DE CORRIENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DETECTORES DE InGaAsSb

José Luis Herrera

Pérez jherrera@ipn.mx

SEPI-UPIITA, Instituto Politécnico Nacional

Delia María Hurtado Castañeda

deliamhc@gmail.com

José Saúl Arias Cerón

acjsaul@gmail.com

Departamento de Ingeniería Eléctrica,

SEES, CINVESTAV-IPN

Patricia Rodríguez

paty@fis.cinvestav.mx

Julio Gregorio Mendoza-Álvarez

Departamento de Física, CINVESTAV-IPN

Resumen

Fabricamos y caracterizamos fotodetector sensibles al infrarrojo, Usando la técnica de crecimiento de Epitaxia en Fase Líquida crecimos sobre sustratos de GaSb un fotodiodo de unión p-n que se compone una homoestructura de dos películas semiconductoras s de $In_{0.14}Ga_{0.86}As_{0.135}b_{0.87}$ impurificadas con Te para el tipo n y de Zn para el tipo p, en cada una se les evaporaron metales para formar un contacto óhmico. Presentamos los procesos de crecimiento, de caracterización de las películas y el procesamiento de las homoestructuras. Medimos sus propiedades eléctricas y ópticas. Determinamos que el funcionamiento del dispositivo está dominado por los diferentes mecanismos de fuga de los portadores. Nuestro fotodiodo InGaAsSb/GaSb funciona a temperatura ambiente. Detecta radiación en el rango entre 2255 y 1806 nm con un pico de respuesta máximo en 2067 nm. Para optimizar la eficiencia cuántica de detección y aumentar su velocidad de respuesta desarrollamos un modelo por la simulación numérica de los parámetros del dispositivo.

I. Introducción

El desarrollo tecnológico de detectores de radiación IR en base a semiconductores III-V tiene importantes aplicaciones, ya sea en la detección y monitoreo de gases atmosféricos [1, 2], para la conversión de calor en energía como dispositivos termo-fotovoltaicos [3], en la detección de una gran variedad de biomoléculas [4]. Así como en diagnóstico médico no-invasivo y en estudios espectroscópicos de moléculas [5], entre otras aplicaciones.

Nuestro grupo han logrado el crecimiento de aleaciones semiconductoras de $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ y Sb_{1-y} y sobre sustratos de GaSb con una alta calidad cristalina en un rango amplio de composiciones. Así mismo, se ha determinado el valor de su energía de banda prohibida [6]. Desarrollaron modelos teóricos propios para el cálculo de la concentración de portadores y de los tiempos de vida Auger de heteroestructuras tipo II de InGaAsSb/GaSb [7]. Para conseguir uniones semiconductoras, han logrado el control de la impurificación para obtener semiconductores tipo p y n [8]. También, han realizado un amplio estudio del efecto de la impurificación con Te y Zn de las capas de InGaAsSb en razón de la calidad de la interface capa-sustrato, obteniendo, por medio de la caracterización óptica de espectroscopía de fotoluminiscencia, la influencia de los altos niveles de impurificación con Te sobre centros de recombinación no-radiativa en la interface [8].

Con esta experiencia fabricamos un fotodiodo consistente en homoestructuras p-n usando películas de InGaAsSb tipo n seguido por el crecimiento por una película tipo p con interfaces abruptas y planas. En este informe reportamos la caracterización y el modelamiento de este dispositivo.

II. Experimental

Usamos la técnica de crecimiento de crecimiento Fase Líquida epitaxia de crecimiento (LPE) para obtener la homounión p-n que está formado por el crecimiento de una película de tipo-n de $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}_{0.13}\text{Sb}_{0.87}$ de 2 μm de espesor crecido a 530 ° C, seguido por el crecimiento de una película de 3 μm tipo p de $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}_{0.13}\text{Sb}_{0.87}$ impurificada con Zinc. La composición química elemental de las películas se determinó por espectroscopia de energía dispersiva (EDS) utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido (JEOL JSM-6390 LV). La concentración neta de donantes fue de $4.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ en las películas tipo n y en las películas tipo p la concentración de aceptores fue del orden de $7.4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Para la determinación de las concentraciones utilizamos la Espectroscopia de masas de iones secundarios (SIMS)(IMS-6F-CAMECA).

Por fotolitografía, se definió sobre el sustrato de GaSb tipo n, un anillo de $4.7 \times 10^{-3} \text{ cm}$. En seguida, se le evaporó una secuencia de películas de Pd / In / Pd / Au: Ge / Pd / Au. Posteriormente, para formar un contacto metálico, se evaporó la secuencia Pd / Au sobre la película de InGaAsSb tipo p. Por RTA (Rapid thermal annealing) se recoció a 350°C por pocos segundos.

El fotodiodo se colocó dentro de un criostato de ciclo cerrado de He (CCS-150 Janis Research). La respuesta espectral se midió usando una lámpara de cuarzo-halógeno como fuente de luz y un monocromador Oriel Cornerstone 1/8 m en un intervalo de longitud de onda entre 1500 y 2300 nm . La señal se detectó con ayuda un amplificador lock-in controlado por una PC (7265 EG & G Instruments).

Los fotodetectores se midieron bajo polarización de tensión cero y la temperatura de medición fue en el intervalo entre 20K y 300K La medida de la corriente en lo oscuro se realizó con una fuente de potencia programable NI PXI 4130.

II. Experimental

Espectro de fotoluminiscencia a baja temperatura de películas epitaxiales de $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}_{0.13}\text{Sb}_{0.87}$

En la Figura 1 presentamos el espectro de Fotoluminiscencia (PL) a 15K de una película epitaxial de $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}_{0.13}\text{Sb}_{0.87}$ dopada con una concentración de Te de $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Se utilizó como fuente de excitación un láser de Ar a una potencia de 120 mW modulada a 83 Hz. A los datos experimentales se le realizó una deconvolución en tres bandas gaussianas, para ese resultado observamos que la transición etiquetada como BE centrada a 659 meV es asociada con el decaimiento de un enlace excitónico a un aceptor neutral y la banda nombrada con la letra A observada a 636 meV es asociada a la transición nivel donador - a - banda de valencia. Además, para la transición situada a 583 meV nombrada como C, corresponde a la transición nivel donador - a - nivel aceptor.

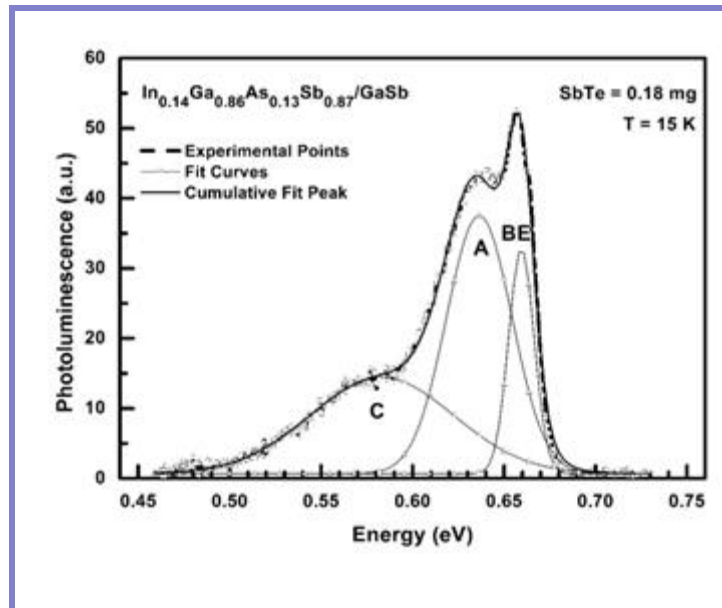


Figura 1. Espectro de FL a 15K de la película epitaxial de $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}_{0.15}\text{Sb}_{0.87}$ dopada con baja concentración de Telurio.[9]

III. Mediciones de I-V a Diferentes Temperaturas

La figura 2 ilustra la respuesta del fotodiodo de la corriente en oscuridad en función del voltaje aplicado, a diferentes temperaturas entre 20 K y 300 K. La R_oA (Resistencia dinámica por Área a cero volts) es una figura de mérito que muestra el funcionamiento de los fotodetectores. Del cálculo de $R_oA = dJ / |V=0$ obtuvimos el valor de $R_oA = 8.11 \text{ ohms-cm}^2$ a una temperatura de 20K, 0 y a 300K R_oA tiene un valor de 2.49 ohms-cm^2

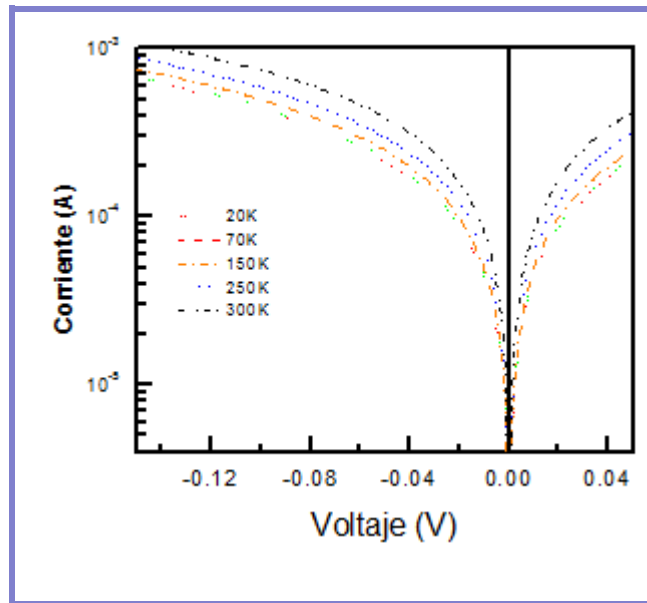


Figura 2. Mediciones de Corriente Voltaje en oscuridad en función del voltaje de polarización para el detector de InGaAsSb/GaSb a diferentes temperaturas.

La Figura 3 muestra los datos experimentales de R_oA en función del inverso de la temperatura. Podemos notar que hay esencialmente tres regiones; una región a bajas temperaturas, $T < 60K$, dominado por el proceso de tunelamiento asistido por trampas (TAT). El proceso TAT es causado por el tunelamiento asistido por las trampas dentro de la región de agotamiento causado por las transiciones entre las bandas e impurezas que son generadas dentro de esta región. En el rango entre 60K y 125K domina el proceso de generación-recombinación (G-R). El funcionamiento del fotodetector a altas temperaturas ($> 125K$) está limitado por la corriente de difusión y la corriente de G-R. Estos resultados son cualitativamente similares a los obtenidos en otros fotodetectores en base a materiales de energía de banda cercana [9].

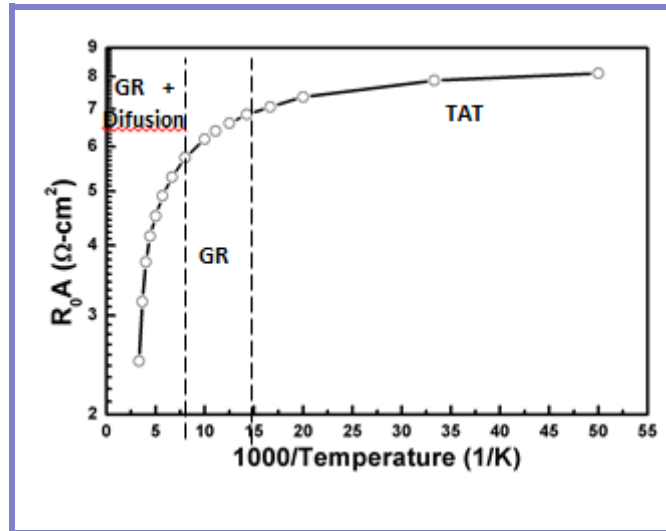


Figura 2. Datos experimentales de $R_0 A$ en función del inverso de la temperatura del detector de InGaAsSb [10].

La figura 7 muestra la respuesta espectral a diferentes temperaturas del fotodiodo InGaAsSb/GaSb cuando es iluminado por el sustrato. A 20K el pico de la respuesta espectral se encuentra en 2033nm. Para las longitudes de ondas largas, la longitud de onda de corte está en 2140 nm, que está determinado por el borde de la absorción de la película de InGaAsSb. A longitudes de ondas cortas, la respuesta espectral se corta en 1700 nm, debido al incremento de la absorción en el sustrato de GaSb. A 300 K el pico de respuesta se presenta en 2067 nm, y las longitudes de ondas de cortes están en 1806 nm y 2255 nm.

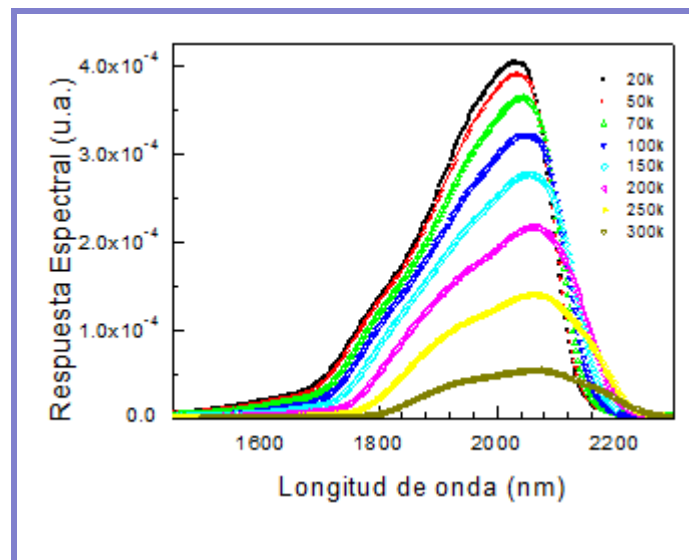


Figura 3. Respuesta espectral del fotodiodo de InGaAsSb/GaSb a diferentes temperaturas sin polarización

III. Conclusiones

Mostraron los procesos de fabricación, caracterización y funcionamiento de fotodiodos de homouniones p-n de InGaAsSb.

Determinamos que el funcionamiento del dispositivo está dominado por los diferentes mecanismos de fuga de los portadores, a temperatura ambiente está limitado por los procesos de generación-recombinación y difusión de portadores. A bajas temperaturas (20K) el mecanismo dominante esta asistido por trampas.

Nuestro fotodiodo InGaAsSb/GaSb funciona a temperatura ambiente. Detecta radiación en el rango entre 2255 y 1806 nm con un pico de respuesta máximo en 2067 nm.

Comparado con otros detectores de InGaAsSb fabricados con técnicas mucho más sofisticadas como MBE nuestro detector muestra valores comparables en la respuesta de 0.7 A/W.

IV. Referencias

- [1] J. Hodgkinson, 2013. Optical gas sensing: a review. Measurement Science and Technology Volume 24 Number 1.
- [2] Y. P. Yakovlev, 1991, Optoelectronic LED-photodiode pairs for moisture and gas sensors in the spectral range 1.8-4.8 μm , Proc. SPIE - Chemical and Medical Sensors, vol. 1510, pp. 170-177, 1991.
- [3] H. K. Choi, 1997. High-performance GaInAsSb thermophotovoltaic devices with an AlGaAsSb window, Applied Physics Letters, vol. 71, no. 26, pp. 3758-3760.
- [4] C. So, 2012. Medical Devices, vol. 5, pp. 45-52.
- [5] A. Rogalski, 2003, Infrared detectors: status and trends. Progress in Quantum Electronics, vol. 27, no. 2-3, pp. 59-210.
- [6] M Muñoz, 1995. Temperature dependence of the energy and broadening parameter of the fundamental band gap of GaSb and GaInAsSb/GaSb ($0.07 < x < 0.2$, $0.05 < y < 0.1$) quaternary alloys using infrared photoreflectance Physical Review B 62 (24), 16600.
- [7] I Riech, 2003 Effect of Te doping of InGaAsSb layers on the interface quality of InGaAsSb/GaSb heterojunctions Semiconductor science and technology 18 (8), 763.
- [8] J Díaz-Reyes, 2013. Structural and optical characterization of type II In_{0.14}Ga_{0.86}As_{0.13}Sb_{0.87}/GaSb heterostructure doped with zinc grown by liquid phase epitaxy Vibrational Spectroscopy 68, 109-114

[9] . P. Prineas, 2008, Leakage mechanisms and potential performance of molecular-beam epitaxially grown GaInAsSb 2.4 μm photodiode detectors, Journal of Applied Physics, vol. 103, no. 104511, pp. 1-9. [10] D. Hurtado-Castañeda, 2015, Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 31, pp. 52-55.