

FOTOLUMINISCENCIA DE HILOS CUÁNTICOS AUTO-SUSTENTADOS

X.J.Sánchez^a, E.Ribeiro^b, J.C.González^b

^a Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato, Lomas del Bosque 113, León, Gto., México, xjsl8@yahoo.com.mx

^b Laboratorio Nacional de Luz Sincrotón, Caixa Postal 6192-CEP 13084-971-Campinas-SP-Brasil, evaldo@lnls.br

RESUMEN

Los objetos nanométricos son aquellos que poseen dimensiones del orden de 10^{-9} m. A estas escalas nuevos fenómenos y propiedades de los estados intermedios de la materia se pueden conocer, así como las propiedades ópticas que resultan de los efectos cuánticos presentes en los materiales. El aumento en las direcciones de confinamiento de un material (bulk) da lugar a los llamados hilos cuánticos que son estructuras en que los portadores son confinados en dos direcciones. Se realizaron mediciones de fotoluminiscencia (PL) con muestras de hilos cuánticos de los grupos III-V (InP, InAs, InP/InAs/InP) con la finalidad de caracterización e innovación en el estudio de materiales sin precedentes (InAs).

1. INTRODUCCIÓN

Los hilos cuánticos fueron crecidos usando CBE (Chemical Beam Epitaxy), técnica que se lleva a cabo con un proceso similar a la técnica VLS (Vapor-Liquid-Solid Growth Method), donde los diagramas de fase pueden ser usados de forma cualitativa para predecir catalizadores y condiciones de crecimiento. En ausencia de diagramas de fase para los hilos, se escoge un catalizador indentificando metales para los cuales las componentes de los hilos sean solubles en fase líquida, pero no formen sólidos en la parte estable del crecimiento.[1-2] Usamos nanopartículas de Au con diámetros del orden de 10-50 nm como catalizadores por cumplir las características mencionadas. Las propiedades estructurales son analizadas con SEM (Scanning Electron Microscopy) y con TEM (Transmission Electron Microscopy), obteniendo sus dimensiones, forma y dirección de crecimiento.(Ver Fig 1) Analizar la PL de las muestras es de gran importancia para su caracterización, conocer la calidad del material que se esta sintetizando, así como definir en estudios futuros el potencial que los hilos muestran para responder preguntas acerca de sistemas unidimensionales y el papel central que pueden jugar en aplicaciones a optoelectrónica y otras áreas de gran interés [3-5]

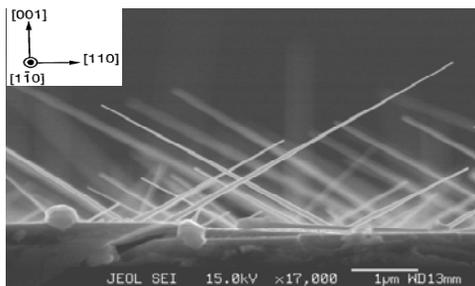


Figura 1. Fotografía SEM de hilos cuánticos de InP crecidos sobre InP (LME-LNLS).

2. TÉCNICA Y MONTAJE

La técnica de PL es una de las más simples y más utilizadas para estudiar propiedades ópticas en semiconductores. Consiste en medir la luz emitida por un material excitado por otra fuente de luz. La excitación del material produce pares electrón-hueco; por lo que la luz emitida nos da información sobre los estados de más baja energía: gap del material y los niveles de impurezas. Los electrones son confinados en la banda de conducción mientras que los huecos en la de valencia. Cuando uno de estos electrones se recombina con uno de los huecos, emite un fotón con energía $h\nu$ que tiene información de los niveles de energía del electrón y del hueco. Entonces, en la espectroscopía de PL se mide la intensidad de la luz emitida por el hilo cuántico bajo una excitación constante. Se puede hacer una asignación cualitativa de los picos de PL considerando que la energía del nivel confinado tiene una dependencia con el diámetro del hilo. Es decir, debemos observar un corrimiento hacia altas energías cuando el diámetro del hilo disminuye. Un hilo cuántico de buena calidad debe de tener un pico de PL alto y angosto.[3,4]

El proyecto tiene como objetivo realizar mediciones de PL para hilos cuánticos semiconductores de InP, InAs y heteroestructuras InP/InAs/InP a 77 K.

El arreglo experimental consiste en lo siguiente: una fuente de luz (Láser He-Ne 632.8 nm, Clase III-B, P \approx 12.7 mW (salida del láser) y 5.5 mW (antes de la muestra) pasa a través del chopper (SR540, D = 10 cm, 4 - 4000 Hz) A 200 Hz, después pasa por un espejo reflectante que dirige la luz del láser hacia una lente que la focaliza hacia la muestra. La muestra se encuentra dentro de un bulbo que nos permite mantenerla a una temperatura de 77 K utilizando Nitrógeno líquido ó para el caso de 15 K se suplanta el bulbo por un criostato de Helio. La muestra emite luz en todas direcciones, y esa luz es

focalizada hacia el espectrómetro donde se hace un barrido a varias longitudes de onda. La intensidad de emisión es medida con un detector de Germanio (EO-817L, -250 V, BIAS SUPPLY). La señal es registrada en el Lock-in que esta en comunicación con un programa en LabVIEW. (Ver Fig 3)

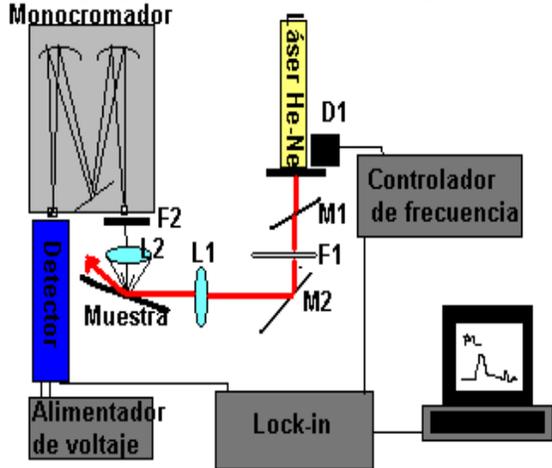


Fig 3. Montaje experimental

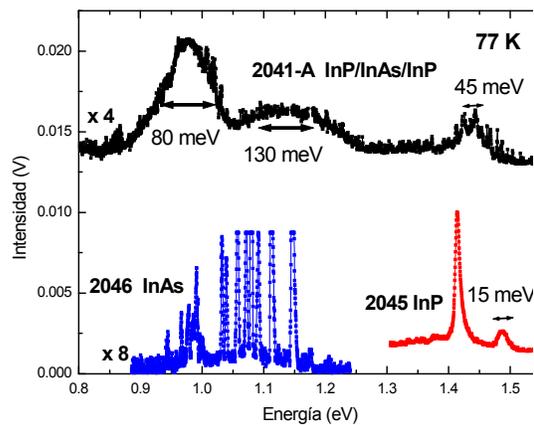
3. FOTOLUMINISCENCIA (77 K)

Muestra	Hilos cuánticos	Sustrato
2041-A	InP/InAs/InP	SiO ₂
2045	InP	InP
2046	InAs	InP

Tabla 1. Muestras utilizadas

Medimos la PL de la muestra 2041-A, 2045 y 2046, tomando en cuenta que para los hilos cuánticos de InP se tiene información previa de mediciones de PL. [4,5]

Obtenemos para la muestra 2041 tres picos, en 0.98 eV, 1.13 eV y 1.44 eV con un ancho de línea de 80, 130 y 45 meV, respectivamente. Como el sustrato de esta muestra es de SiO₂, acreditamos que todos los picos están relacionados con la emisión de los nanohilos. Para identificar de 2041-A las diferentes estructuras, medimos la 2045 y la 2046. Para la muestra 2045, se observan dos estructuras, una más estrecha e intensa en 1.41 eV que atribuimos al sustrato de InP, y otra en 1.49 eV con un ancho de línea de 15 meV que atribuimos a los hilos de InP, este pico se obtiene con un corrimiento hacia el azul de 80 meV con respecto al pico del sustrato debido al confinamiento cuántico existente en los hilos. Para la muestra 2046 a pesar de que la señal fue muy baja se puede observar un pico en 0.99 eV y otro entre 1.05-1.12 eV con un ancho de línea de 19 meV para el primero. El corrimiento hacia el azul, con respecto a la transición banda-banda del InAs bulk del pico en 0.99 eV fue de aproximadamente 580 meV. Este valor es significativamente alto si es comparado con el valor obtenido para los hilos de InP. Nosotros atribuimos este cambio a las diferencias entre las masas efectivas de electrones y huecos para InAs ($m_e^*=0.023m_0$, $m_h^*=0.41m_0$) y InP ($m_e^*=0.08m_0$, $m_h^*=0.6m_0$). Así, podemos atribuir las estructuras de mas baja energía de la 2041 - A a la porción de



Gráfica 1. PL a 77 K para 2041-A, 2045 y 2046

hilos de InAs, y el último pico corresponde a la porción de hilos de InP para esa heteroestructura InP/InAs/InP.

Se realizaron mediciones de PL a una temperatura más baja para encontrar una señal mayor y mejor definida para la PL de los hilos de InAs. Se barrieron espectros para las cuatro muestras obteniendo para algunos casos mejores señales que a 77 K y algunas diferencias en el espectro que pueden deberse a que se logra una mayor relación señal-ruido en la medición.

4. DISCUSIÓN FINAL

Las muestras estudiadas en este proyecto presentaron picos de fotoluminiscencia en 0.98 y 1.08 eV para InAs, 1.45 y 1.49 eV para InP y 1.41 eV para el sustrato de InP. Nosotros obtuvimos corrimientos de energía de 80 meV para una distribución de hilos con diámetro promedio de 100 nm. Bulks de InAs presentan pico en 0.42 eV por lo que obtenemos corrimientos de energía de hasta 710 meV para los hilos. Los datos que se obtuvieron para los hilos cuánticos de InP pueden ser comparados con los datos reportados en la literatura para las mediciones existentes de un hilo aislado de InP con diámetro de 25 nm, donde se obtiene una anchura de línea de 50-90 meV.[5] Nosotros obtuvimos anchuras de línea de 29 y 19 meV para las dos estructuras de hilos de InP de la muestra 2044; y 15 meV para el pico en 1.49 eV de la muestra 2045.

5. REFERENCIAS

- [1] Xiangfeng Duan, Charles M. Lieber, Adv. Mater 2000, 12, No. 4, 298-302
- [2] Lin Wang Zhong, Nanowires and Nanobelts Materials, vol. 1, Capitulo 1 y 2, Kluwer Academic Publishers
- [3] Jianfang Wang, Mark S. Gudiksen, Xiangfeng Duan, Yi Cui, Charles M. Lieber, Science, 2001, 293, 1455-1457
- [4] Mark. S. Gudiksen, Jianfang Wang, Charles M. Lieber, J. Phys. Chem. B 2002, 106, 4036-4039
- [5] Ayrton André Bernussi, Comunicación privada