

Desarrollo de detectores de partículas ionizantes basados en transistores de GaN

Nicolás Agustín Molina

Departamento Física de la Materia Condensada (DFMC); Departamento de Micro- y Nano-Tecnología (DMNT)

Mayo 2024

ALUMNO:

Nicolás Agustín Molina – LU: 45/20 – E-mail: nicoagustinmol@gmail.com

LUGAR DE TRABAJO:

Centro Atómico Constituyentes, CNEA. Av. General Paz 1499 (1650), San Martín.

DIRECTORA DEL TRABAJO:

Dra. Paula Giudici – E-mail: giudici@tandar.cnea.gov.ar

CODIRECTORA:

M. Dolores Perez – E-mail:

1. Introducción

La tecnología de fabricación de dispositivos basados en películas delgadas de GaN y sus compuestos cercanos, permite lograr transistores con buena respuesta eléctrica. Como contraparte, su sensibilidad como detectores de partículas resulta menor a la de un dispositivo “bulk”. Su calidad cristalina permite alcanzar grandes valores de resistencia cuando el dispositivo se encuentra fuera de su estado activo. Adicionalmente, esta tecnología posibilita lograr mayores velocidades de trabajo y consecuentemente mayores anchos de banda de los dispositivos en cuestión.

En este caso particular, se propone trabajar con heteroestructuras de GaN/AlGaIn/AlN crecidas sobre un sustrato de silicio. Como parte del proyecto de detección de partículas ionizantes, hemos demostrado que estos transistores tienen una excelente respuesta como detectores de radiación UV, ya que la respuesta eléctrica no precisa de toda la profundidad del material como en sistemas bulk.

El trabajo de investigación de tesis se centrará entonces en desarrollar centelladores orgánicos para depositar sobre el dispositivo estudiado. El objetivo es que estos centelladores conviertan la energía de las partículas ionizantes incidentes en radiación UV, detectada a su vez por el transistor de GaN.

Los semiconductores de nitruro de galio (GaN) son en la actualidad utilizados comúnmente en dispositivos optoelectrónicos y en electrónica de potencia, tales como diodos emisores de luz (LEDs), láseres, y transistores de alta movilidad de electrones (HEMTs). Debido a su gran band-gap, su gran energía de desplazamiento y su gran estabilidad térmica, este material presenta interesantes ventajas respecto a otros materiales semiconductores como el silicio (Si), silicio amorfo (a-Si:H), carburo de silicio (SiC), carburo de silicio amorfo (a-SiC) y arseniuro de galio (GaAs). En especial, el GaN presenta una gran resistencia a la radiación, característica que lo ha vuelto atractivo en diversos campos de aplicación (física, astronomía, ciencias nucleares, etc). En comparación con otros semiconductores con banda prohibida más angosta (por ejemplo, el silicio) el GaN puede funcionar a temperaturas más altas; comparando con semiconductores de gran band-gap (por ejemplo, carburo de silicio), el GaN presenta una mayor movilidad de electrones y mejores características para el transporte de portadores de carga.

Si bien los trabajos en esta área se encuentran en pleno desarrollo, diversas publicaciones han demostrado que los dispositivos en GaN pueden utilizarse como detectores de partículas y de radiación. Diversas investigaciones han mostrado la utilidad de dispositivos hechos con GaN para la detección de partículas alfa y rayos X. Adicionalmente, un estudio ha considerado el potencial uso de GaN para el desarrollo de detectores de neutrones en ambientes agresivos. Más aún, existen trabajos que indican que el GaN posee una sensibilidad intrínseca a los neutrones.

2. Desarrollo Experimental

2.1. GaN

Con el objetivo de saber en qué rangos del UV responde mejor nuestro dispositivo GaN:AlGaIn de tipo Sandwich dentro del espectrómetro UVVIS de Perkin Elmer y se lo iluminó a distintas longitudes de onda dentro del rango UV. Como el espectrómetro cambia automáticamente de lámpara UV a visible en los 326 nm la medición de 340 nm fue realizada con ambas lámparas.

2.2. Centelladores

Se realizaron centelladores en forma de films de poliestireno (Ps): Ps solo; Ps con 5 %,10 %,15 % y 20 % wt/wt de naftaleno y de Ps con 5 % y 10 % wt/wt de nanopartículas de CeF_3 . En cada film 3.5 mg de Ps fueron disueltos en 20 ml de tolueno y posteriormente se le agregó el naftaleno o las nanopartículas. Las soluciones fueron sonicadas durante 20 minutos para luego ser dejadas secando a 50°C durante 5 días.

A algunos de estos centelladores se le realizó una prueba de fotoluminiscencia con una incidencia de 260 nm a 180°.

2.3. Nanopartículas de CeF_3

Se sintetizaron nanopartículas de CeF_3 mediante una reacción de precipitación. Se utilizaron 30 mmol de fluoruro de sodio (NaF), disuelto en 80 ml de agua MQ y mezclado con 80 ml de etanol y 1,5 ml de ácido oleico. La mezcla se calentó a 80°C agitándola y con purga de gas argón. Luego se disolvieron 10 mmoles de $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ en 60 ml de agua MQ y fue añadido a la mezcla anterior gota a gota. La reacción se mantuvo a 80°C durante 4 h y luego se dejó enfriar al aire. Los precipitados se recogieron por centrifugación y lavado con etanol tres veces y luego se secó a 50°C durante 12 hs.

A las nanopartículas obtenidas se le realizó un XRD en el difractómetro Empyre equipado con un detector PixCel 3D, $CuK\alpha$ Fuente de radiación de 40mA 40Kv, y con rango de ángulos de 20° hasta 50°, empleando un tamaño de paso de 0.02° y un tiempo de paso de 1s.

3. Resultados

3.1. Respuesta del GaN

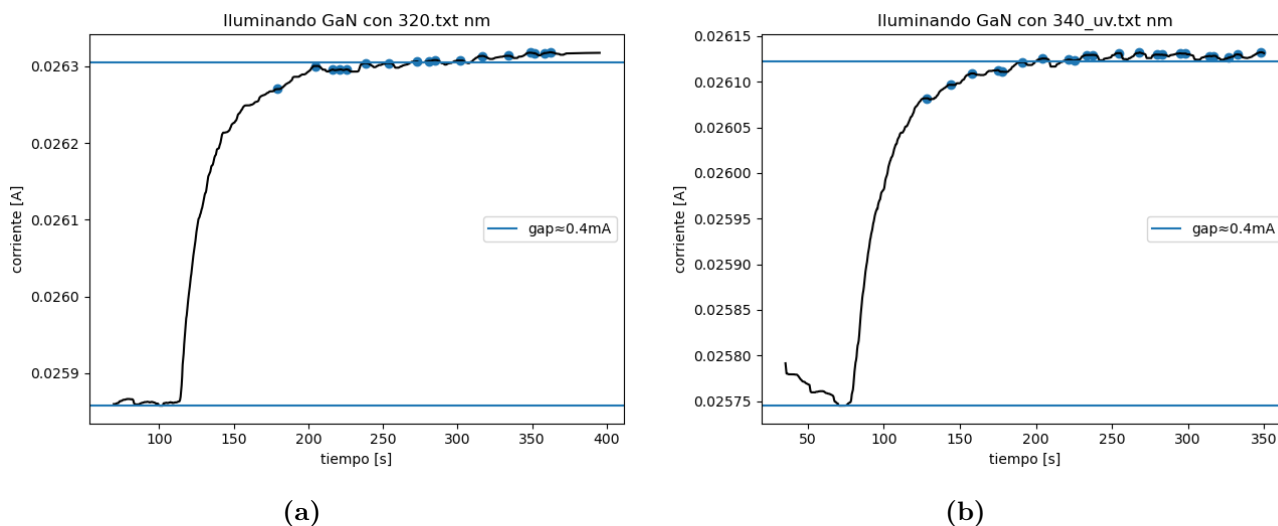


Figura 1: Subidas de corriente en el GaN al iluminarlo con distintas longitudes de onda.

Dado que el semiconductor ya está hecho y no se puede cambiar, debíamos trabajar según estos resultados. Los resultados fueron esperanzadores ya que el rango 300 - 340 nm es alcanzable utilizando Ps. Para realizar un estudio más profundo es necesario utilizar un fotodiodo, ya que no sabemos con qué potencia emite la lámpara del UVVIS en cada longitud de onda (no lo dice el manual), es decir que esta caracterización está incompleta, pero nos dejaba descartar ciertas longitudes de onda.

Además de estas mediciones de subida, se realizaron las respectivas de bajada pero como no son relevantes para el desarrollo de los centelladores las dejo en el anexo 7 junto a las subidas de las otras longitudes de onda.

3.2. Fotoluminiscencia de los centelladores

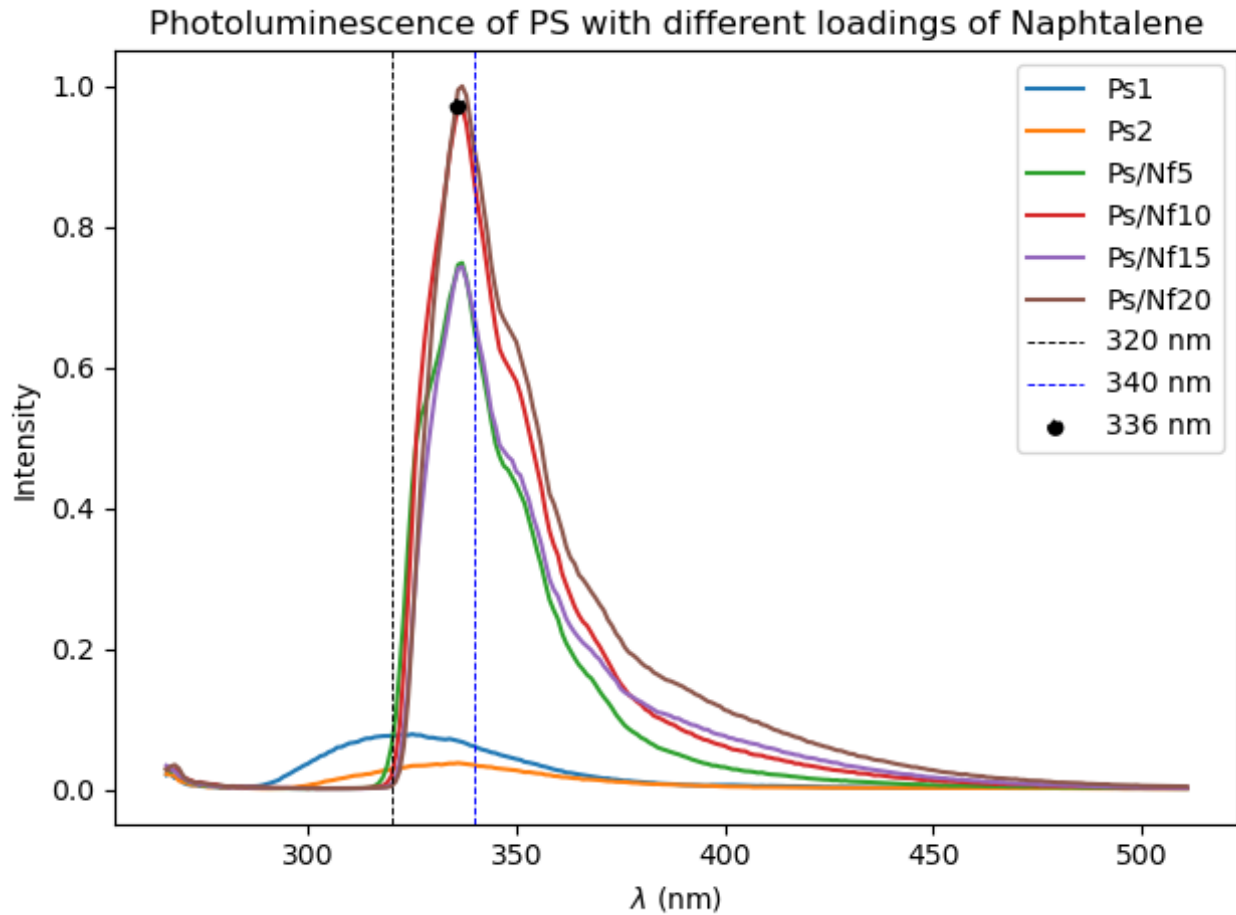


Figura 2: Espectro de emisión de los distintos films analizados. La incidencia fue realizada a 260 nm.

Se puede observar que las muestras con naftaleno emiten en 336 nm y que las muestras sin nada parecen tener un máximo más cercano a 320 nm. Esto nos dá la premisa de que los centelladores realizados con Ps y nanopartículas de CeF_3 (no corren la emisión) tendrán un pico cercano a esa longitud de onda, lo cual es mejor, pues cuanto mayor sea la energía de los fotones emitidos mayor será el "salto" de corriente que dé el GaN.

3.3. XRD a nanopartículas de CeF_3

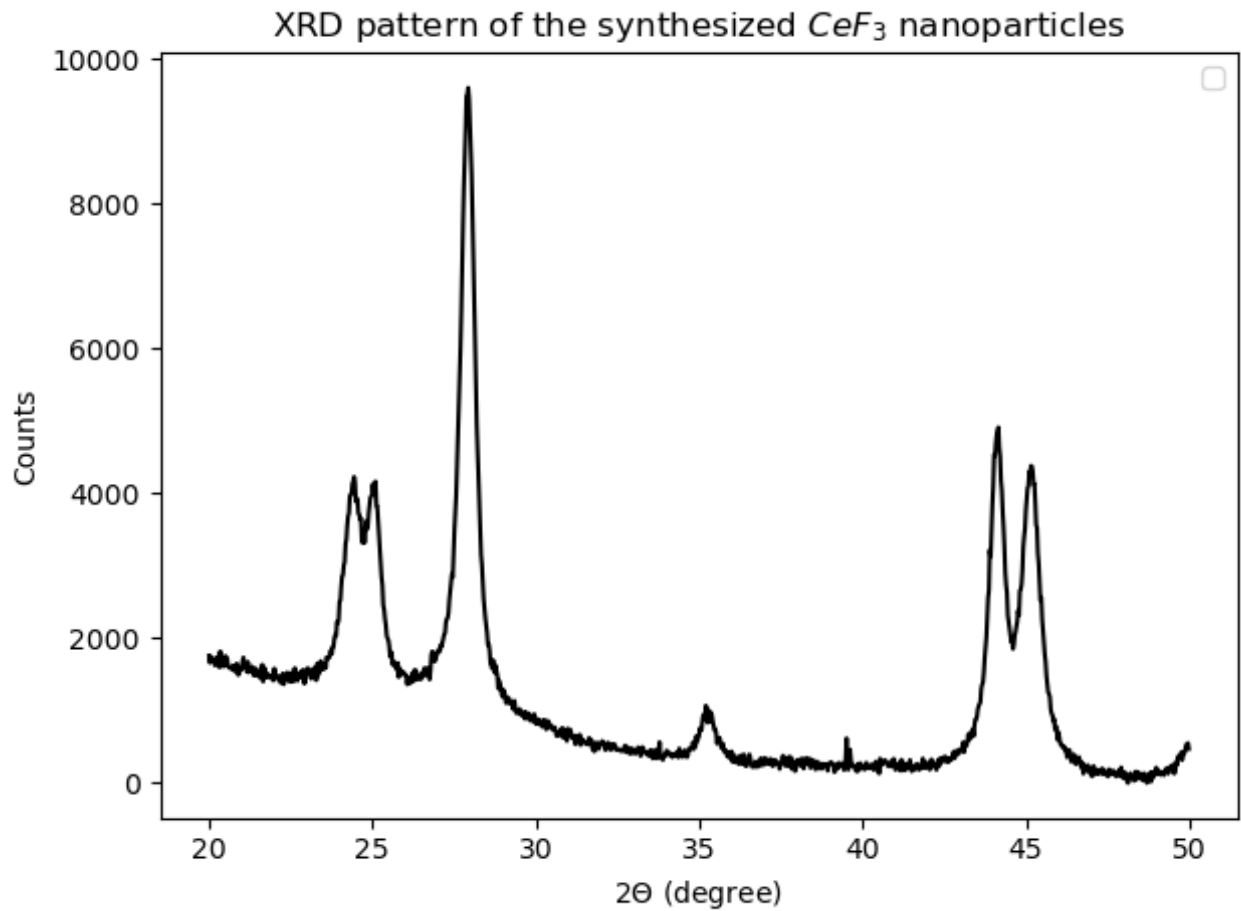


Figura 3: Difracción de rayos X para nanopartículas.

esta figura hay que cambiarla por la del programa de Vicky que le saca el offset, pero yo no tengo el programa todavía. tampoco se analizarla mucho, sé que quedó re bien, que tenemos mejor resolución que la del paper pero que nos faltó medir más a fondo (más grados) pero los importantes estaban ahí.

4. Conclusión

5. Anexo

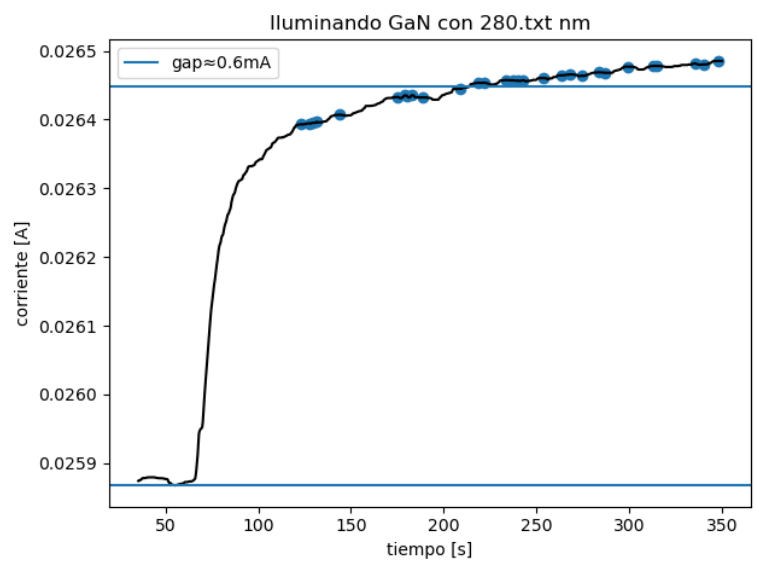


Figura 4

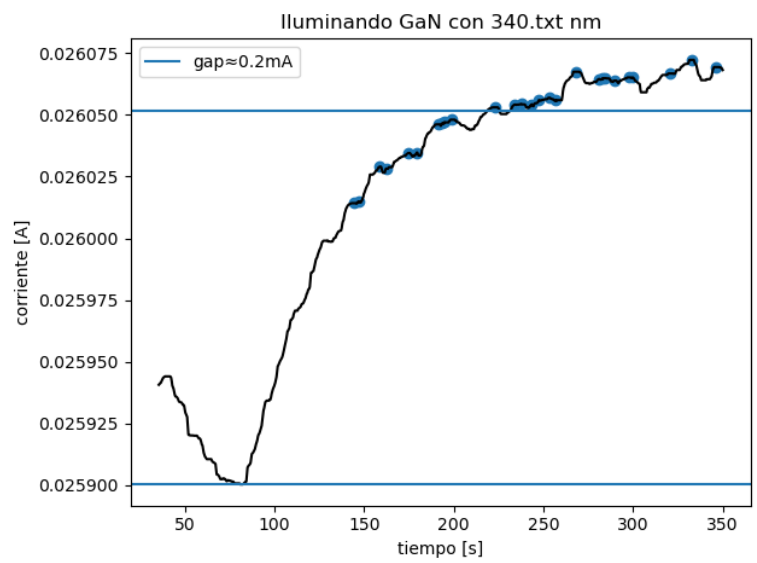


Figura 5

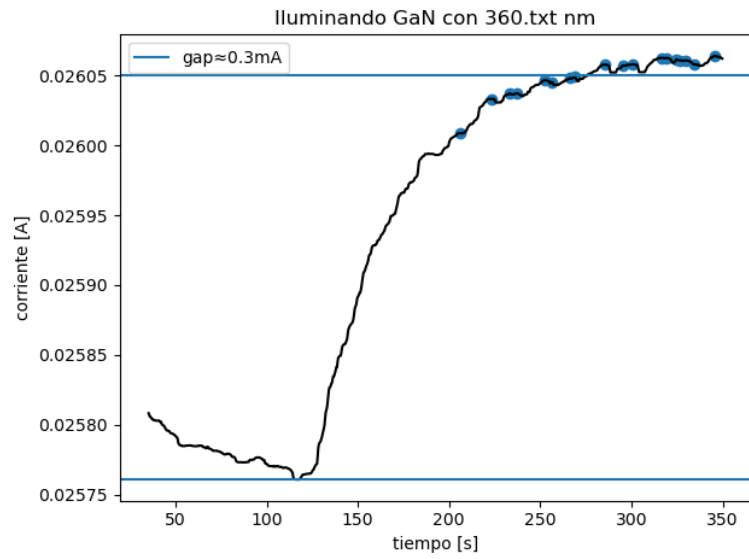


Figura 6

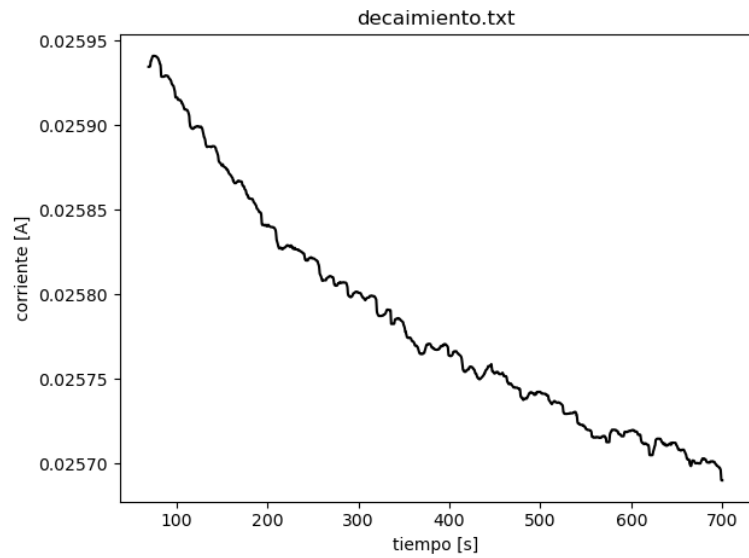


Figura 7: Decaimiento típico del GaN luego de subir por iluminarlo en el UV.