

Fabricación y Caracterización de Películas Delgadas de SiNx

Jorge de la Torre y Ramos, Claudia Sifuentes Gallardo, Manuel Gámez Medina, Maria Teresa Torres Herrera, Jesús Manuel Rivas Martínez, Manuel Reta Hernández

Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.
Av. López Velarde 801, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México, 98000.
jorgetorre@rocketmail.com, clausifuen@yahoo.com.mx

2014 Published by *DIFU*_{100ci}@ <http://www2.uaz.edu.mx/web/www/publicaciones>

Resumen

En el presente trabajo se reporta la fabricación y caracterización de películas delgadas de nitruro de silicio por medio de la descomposición de silano (SiH₄) y amoníaco (NH₃), sobre diferentes sustratos como vidrio, silicio e ITO (óxido de indio dopado con dióxido de estaño); la deposición se lleva a cabo por medio de la técnica denominada deposición química en fase de vapor asistida por ultravioleta (UVCVD). Las características ópticas y eléctricas obtenidas indican un potencial interesante de este material para aplicaciones en celdas solares convencionales, incrementando la eficiencia de conversión, así como para celdas solares de tercera generación.

Palabras clave: Caracterización de películas delgadas, UVCVD, Películas delgadas de SiNx.

1. Introducción

Las predicciones referentes a la demanda de energía eléctrica tanto a nivel mundial como para México [1], indican un incremento continuo con la consecuente necesidad de búsqueda de alternativas, tanto económicamente viables, como ecológicamente sustentables. En este contexto, la energía solar fotovoltaica aparece como una de las fuentes de energía más promisorias, debido a la capacidad de convertir la luz del sol en electricidad sin producir emisiones de CO₂. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica presenta una desventaja importante en términos de costo por *kWh* generado con respecto a las otras tecnologías de generación convencionales, esto principalmente debido a la baja eficiencia de conversión que se sitúa entre 14 % y

16 % [2].

La tecnología actual de celdas solares fotovoltaicas está basada principalmente en el silicio en sus diferentes formas (monocristalino, policristalino y amorfo) como material de partida, representando más del 70 % del mercado actual. Sin embargo, el uso del silicio como material de base de las fotoceldas implica un límite de rendimiento máximo del 31 % calculado según el modelo Schokley- Queisser [3]. Adicional al límite de rendimiento de conversión, la utilización de silicio provoca un costo elevado debido a que para la obtención del material de base se requiere material de alta pureza típicamente usado en la industria de la microelectrónica. Es por esto que la literatura [4] ha propuesto diferentes alternativas encaminadas, ya sea a aumentar el rendimiento o a disminuir el costo, tales como las celdas

a base de CdS/CdTe, CIS, a base de polímeros y celdas basadas en materiales nanoestructurados, sólo por mencionar algunas de las técnicas más importantes.

En el ámbito de las celdas a base de materiales nanoestructurados destaca el uso de nanoestructuras de silicio en una matriz de SiNx. La fabricación de dicho tipo de películas delgadas se ha basado principalmente en dos técnicas ampliamente utilizadas a nivel industrial que son el depósito químico en fase de vapor asistido por plasma (PECVD), y el depósito químico en fase de vapor a baja presión (LPCVD), teniendo ambos procesos el inconveniente de someter al material a tratamientos a altas temperaturas (mayores de 100°C).

En este trabajo se reporta la utilización de un sistema de depósito químico en fase de vapor asistido por luz ultravioleta (UVCVD) para la fabricación de capas nanoestructuradas de nitruro de silicio (SiNx) para su uso en celdas solares de la tercera generación. Los depósitos se realizan en tres diferentes sustratos: vidrio, silicio, y óxido de indio dopado con dióxido de estaño (ITO). Finalmente, se reportan los resultados de la caracterización óptica y eléctrica de diversos depósitos realizados.

2. Detalles experimentales

2.1. Diseño del sistema

El sistema UVCVD se diseñó para el crecimiento de películas nanoestructuradas de SiNx en base al arreglo esquemático ilustrado en la figura 1.



Figura 1. Sistema de depósito UVCVD

Tabla 1. Condiciones generales para los depósitos

Característica	Valor
Tiempo	30 y 40 minutos
Relación de gases (SiH4/NH3)	0.5 y 1
Temperatura	60°C y 70°C
Substrato	Vidrio, Si-p < 110 >, ITO

Tabla 2. Condiciones utilizadas para los depósitos sobre silicio

Muestra	Temp. (°C)	Tiempo (min)	Relación de gases SiH4/NH3 (sccm)
G1	70	30	50/100
G2	70	40	50/100
G3	60	40	50/100
G6	70	30	50/50

La cámara de reacción está construida con acero inoxidable con el fin de evitar que los gases utilizados para el depósito de material, como lo son el silano (SiH4) y el amoníaco (NH3), puedan degradar al reactor. Para controlar el flujo de los gases reactivos se utilizaron medidores de flujo tipo 092-04ST DWYER. La descomposición del silano requiere luz ultravioleta para lo cual se utilizó una lámpara UV modelo UVGL-58. Adicionalmente, el control de temperatura se realizó utilizando un controlador PID modelo AUTONICS TZN4S. Finalmente, el vacío necesario en la cámara de depósito se obtiene utilizando una bomba mecánica tipo ADIXEN SD2005.

Los depósitos se efectuaron a una presión de 6×10^{-2} mbar para condiciones variables como se describen en la tabla 1.

3. Resultados

3.1. Depósitos realizados

Para el sustrato de vidrio no se obtuvo depósito de material bajo ningún arreglo de parámetros.

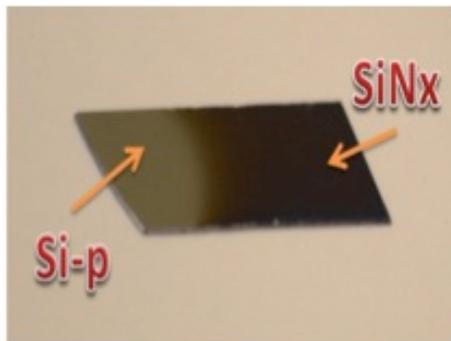
Para el caso del sustrato de silicio se obtuvieron depósitos con las condiciones descritas en la tabla 2.

Para el sustrato de ITO, en la tabla 3 se indican las condiciones para las cuales se obtuvo depósito de material.

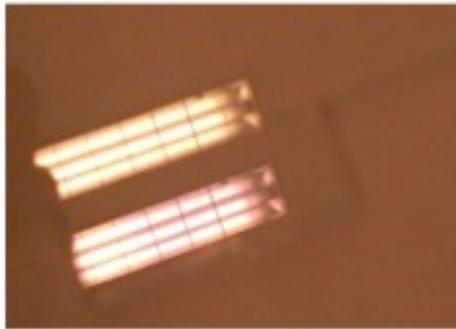
En la figura 2 se observan dos muestras depositadas sobre sustratos de silicio e ITO, respectivamente. Se observan los cambios en el índice de refracción en

Tabla 3. Condiciones utilizadas para los depósitos sobre ITO

Muestra	Temp. (°C)	Tiempo (min)	Relación de gases SiH4/NH3 (sccm)
ITO1	90	40	50/100
ITO2	120	40	50/100
ITO3	120	40	25/100
ITO4	120	20	25/100



(a) Substrato de silicio



(b) Substrato de ITO

Figura 2. Resultados de depósitos

ambos casos, siendo más evidente en los depósitos sobre silicio.

3.2. Caracterización óptica

Se llevó a cabo la caracterización óptica de algunas muestras obtenidas por medio de la técnica de fotoluminiscencia (PL). El banco de caracterización está consituído por un monocromador tipo Spectrapro 2300i, un fotomultiplicador Acton PD741 y una línea de excitación a 514 nm proveniente de una lámpara de Xenón tipo Acton.

La figura 3 presenta un espectro de fotoluminiscencia obtenido de la muestra G3. Se observan claramente hasta 3 bandas de emisión localizadas en 1.82 eV, 1.97 eV y 2.12 eV de las cuales se analizará su dependencia con respecto a los tres parámetros principales de depósito; es decir, temperatura del substrato, tiempo de depósito y relación de gases.

La figura 4 muestra el efecto de la variación en la relación de gases sobre la fotoluminiscencia. Se observa un corrimiento hacia las altas energías de la banda localizada a 1.75 eV al disminuir la relación de gases el cual pudiera indicar que el mecanismo de emisión asociado a dicha banda estaría asociado a nanoestructuras de silicio inmersas en la matriz de SiNx.

En la figura 5 se muestra el efecto de la variación del

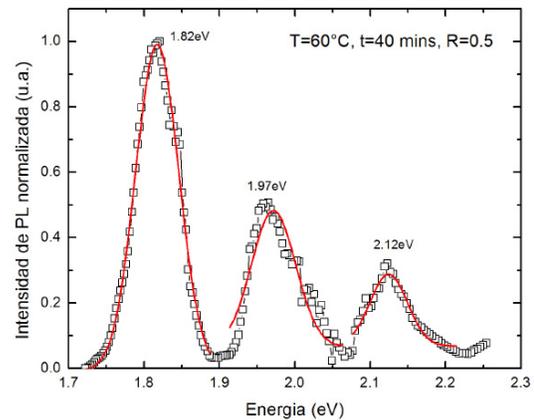
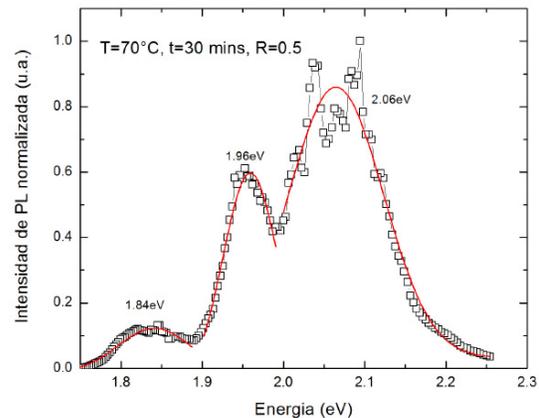
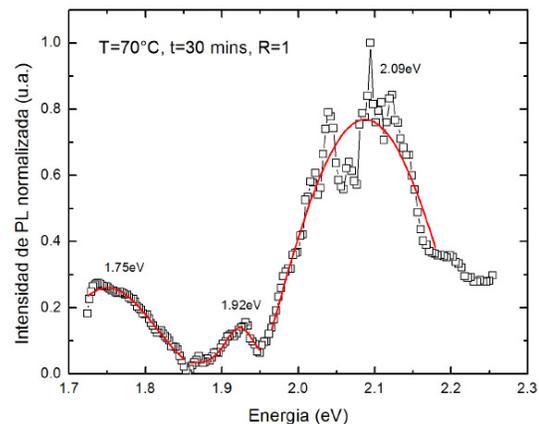


Figura 3. Espectro de PL obtenido de un depósito sobre substrato de silicio (muestra G3)

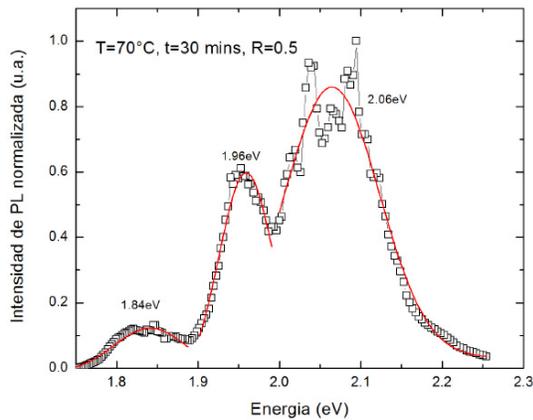


(a) Espectro de PL obtenido de la muestra G1

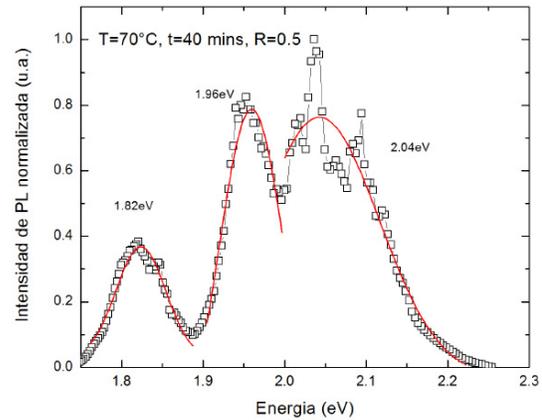


(b) Espectro de PL obtenido de la muestra G6

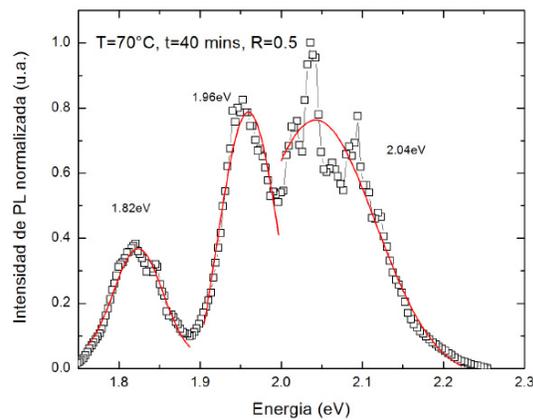
Figura 4. Espectros de PL obtenidos de las muestras G1 y G6 para analizar la influencia de la variación en la relación de gases sobre la PL.



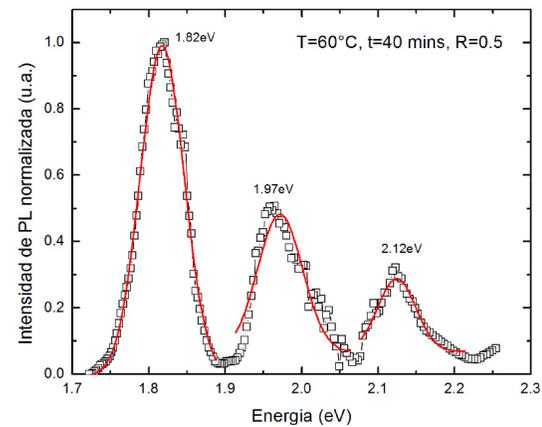
(a) Espectro de PL obtenido de la muestra G1



(a) Espectro de PL obtenido de la muestra G2



(b) Espectro de PL obtenido de la muestra G2



(b) Espectro de PL obtenido de la muestra G3

Figura 5. Espectros de PL obtenidos de las muestras G1 y G2 para analizar la influencia del tiempo de depósito sobre la PL.

Figura 6. Espectros de PL obtenidos de las muestras G2 y G3 para analizar la influencia del tiempo de depósito sobre la PL.

tiempo de depósito, se observa que un incremento en el tiempo de depósito no altera las posición de las bandas de PL; sin embargo, sí altera la intensidad de la banda a 1.82 eV. Esto último estaría asociado a un aumento en la cantidad de material depositado al incrementar el tiempo de depósito provocando que exista una mayor cantidad de nanoestructuras y por consiguiente una intensidad de emisión de dicha banda mayor.

Finalmente, en la figura 6 se muestra el efecto de la temperatura del sustrato sobre la PL. La posición energética de cada banda no se altera, solamente se observa un incremento en la intensidad relativa de emisión de la banda a 1.82 eV la cual aumenta con respecto a las otras bandas de emisión.

De los análisis de PL se puede concluir que la banda localizada a 1.82 eV estaría asociada a nanoestructuras de silicio inmersas en la matriz de SiNx, mientras que las bandas a 1.92 eV y 2.2 eV estarían más bien asociadas a defectos radiativos de la matriz SiNx, como se ha reportado en la literatura [5]. Sin embargo, hacen falta mayores estudios para corroborar estas observaciones.

4. Conclusiones

Se reporta el diseño y operación de un sistema de deposición de películas delgadas mediante la técnica de UVCVD. Se utilizaron tres tipos de sustratos vidrio, silicio e ITO para la fabricación de películas delgadas de SiNx. Los resultados preliminares muestran una banda de emisión fotoluminiscente posiblemente asociada a nanoestructuras de silicio inmersas en la matriz de SiNx. Este tipo de material posee gran potencial para aplicación en celdas solares de tercera generación así como para dispositivos electroluminiscentes.

Referencias

- [1] Secretaría de Energía. "Prospectiva del Sector Eléctrico Nacional 2013-2027", 2013. <http://www.sener.gob.mx>
- [2] T Markvart and L Casta. *Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications*, 1st Edition Elsevier, 2003, ISBN 1856173909.
- [3] W. Shockley and H.J. Queisser. "Detailed Balance limit of

- efficiency of pn junction solar cells". *J.Appl. Phys.*, Vol. 32, pp. 510, 1961.
- [4] D. Nikolic *et al.*, "A review of silicon solar cells in photovoltaics technology". 7th International Quality Conference, pp. 213, 2013 .
- [5] H.L. Hao *et al.*, "Origin of visible luminescence in hydrogenated amorphous silicon nitride". *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 91, pp. 201922-201922-3