

ALUMINUM INDUCED CRYSTALLIZATION OF AMORPHOUS SILICON CRISTALIZACIÓN DE PELÍCULAS AMORFAS INDUCIDAS POR ALUMINIO

Ricardo Pérez-Blanco^{1,2}, Alfonso Torres-Jacome¹ y Francisco Enríquez-Aguilera²

¹Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

P.O.BOX 51 and 216, Puebla. México, 72000

²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Ave. del Charro 610 NTE,, Cd. Juárez, Chihuahua, México, 32310.

riperez@uacj.mx, atorres@inaoep.mx

Abstract: In this work we present the crystallization effect in the phosphorous-doped hydrogenated amorphous silicon (n^+ a-Si:H), this crystallization is due to aluminum-induced. Thin films of n^+ a-Si:H were deposited by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD). After the drop of the aluminum films on the n^+ a-Si:H, the samples were annealing in furnace at 250 °C in nitrogen ambient for oxidation avoid. In this experiment we varied the annealing time. Raman spectroscopy was used to study the surface morphology and found evidence of the change in the structural internal of the films. The change of amorphous to microcrystalline phase transition is attributed to aluminum-induced and the annealing time.

Resumen: En este trabajo se presenta la cristalización de las películas de silicio amorfo hidrogenado dopado con fósforo (n^+ a-Si:H), esta cristalización es inducida por aluminio. Las películas de n^+ a-Si:H fueron depositadas usando un proceso químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD). Después de depositar el aluminio sobre las películas de n^+ a-Si:H, las muestras se introdujeron en un horno a 250 °C en un ambiente de nitrógeno para evitar la oxidación. En este experimento se varió el tiempo de permanencia de las muestras dentro del horno (recocido). La espectroscopia Raman se utilizó para estudiar la morfología estructural de las películas y se encontró evidencia del cambio de fase amorfa a la fase microcristalina. Este cambio de fase se atribuyó al aluminio y al tiempo de recocido.

Keywords : Amorphous Silicon, Crystallization, Annealing Time.

1. INTRODUCCIÓN

En la fabricación de dispositivos de silicio amorfo (a-Si:H) con películas delgadas como diodos, celdas solares, transistores, etc. el uso de películas amorfas altamente dopadas (n^+ a-Si:H) es necesario. Esas películas ayudan a la reducción de la barrera Schottky entre el metal y la película de a-Si:H (Wronski, 1977).

Estas películas dopadas se pueden obtener usando diferentes métodos de depósito. Sin embargo, el más utilizado es el depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD).

Esto debido a que se obtienen películas con una baja densidad de defectos y una alta eficiencia de dopado, a temperaturas bajas de depósito (Spear et al., 1976). Después del depósito del metal sobre n^+ a-Si:H, es necesario darle un tratamiento térmico a temperaturas por debajo de la temperatura de depósito. Esto para evitar la efusión del hidrógeno de la película y para activar el dopado. Esta activación del dopado ayuda a la formación de contactos óhmicos.

Sin embargo cuando el tiempo de tratamiento térmico es muy largo, la estructura interna de la película cambia de amorfa a microcristalina. Muchos investigadores han estudiado este cambio de fase usando metales como NiCr (Ishihara et al., 1982), Pt (Nemanich et al., 1983), Au (Ashtikar et al., 1994; Andrade et al., 2001) y Ni. El metal reduce la temperatura de cristalización de 600 °C (Herd et al. 1972; Bisano et al., 1985) a unos cientos de grados. La microcristalización se observa en la superficie de la película amorfa, por la creación de granos microcristalinos. Estos granos crecen con el tiempo de tratamiento térmico y tienen un efecto en la conductividad. Cuando las muestras permanecen mucho tiempo dentro del horno, existe una pérdida de hidrógeno en la película la cual crea nuevos enlaces abiertos y afecta la conductividad de las películas amorfas. En este trabajo se presenta la influencia del tiempo de recocido en las propiedades estructurales de las películas amorfas depositadas por la técnica PECVD.

2. DETALLES EXPERIMENTALES

Las películas de n^+ a-Si:H fueron depositadas en un sistema PECVD AMP 3300 con placas paralelas. La temperatura de sustrato fue de 270 °C, la cual se mantuvo constante en todos los depósitos. Las películas fueron depositadas sobre obleas de silicio cristalino de alta resistividad, tipo n y con orientación $\langle 100 \rangle$. También se depositaron sobre vidrio Corning 2947. Los gases usados fueron Silano (SiH_4) con grado electrónico y Fosfina (PH_3) al 1% diluida en H_2 . Todas las muestras fueron limpiadas por técnicas estándar antes del depósito de las películas. Los gases fueron introducidos en el sistema cuando la presión de la cámara estaba por debajo de 5 mT.

La razón de flujo ($R_p = \text{PH}_3/\text{SiH}_4$) se mantuvo a una presión constante de 0.6 Torr y a un flujo constante de 60 sccm. La densidad de potencia fue de 45 mW/cm².

Después del depósito de las películas, las muestras fueron enfriadas hasta alcanzar la temperatura ambiente. Esto para evitar la oxidación de las películas. El óxido nativo fue removido sumergiendo las muestras en una solución de HF 20-1 por tres segundos.

Esto antes de depositar el aluminio y para evitar la formación de una barrera Schottky. El recocido se realizó en un horno con temperatura de 250±5 °C, el tiempo de monitoreo fue de 1 a 11 horas. Todos los experimentos se realizaron en una atmósfera de nitrógeno, para evitar la oxidación de las muestras. Después del proceso de recocido, la capa de aluminio fue removida usando una solución química que consiste en ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno en una proporción de 7-2. La cristalinidad de las películas de n^+ a-S:H fue medida utilizando el espectro Raman. Los experimentos de espectroscopia Raman fueron realizados a temperatura ambiente usando un láser de Argón de 5145 Å con incidencia normal para su excitación.

La luz fue enfocada en un FOV de 6 μm, usando un microscopio con objetivo de 50x. La potencia del láser usada en estas mediciones fue de 20 mW. La dispersión de la luz fue analizada usando un espectrómetro triple Jobin-Yvon T64000 y un detector CCD (charge-coupled device), el cual fue enfriado a 140 °K usando nitrógeno líquido. El tiempo para la adquisición de datos fue limitado a 60 segundos, para minimizar el calentamiento de las muestras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del proceso de recocido, el aluminio fue removido y se observaron granos en la superficie de las muestras. La figura 1 muestra fotos de la evolución de estos granos con respecto al tiempo de recocido. En esta figura se observa que a un tiempo de 2 horas esos granos empiezan a mostrar unos puntos pequeños, los cuales crecen de manera desuniforme hasta casi cubrir la superficie de las películas.

Después de 8 horas, se nota una mejor incorporación del aluminio a las películas. Esta incorporación afecta la transmitancia de las películas, tal como se observa en la figura 2. En esta figura se puede visualizar el comportamiento de la transmitancia de una película amorfa sin haber recibido un tratamiento térmico (0 horas) y en función de la longitud de onda.

El comportamiento para este tiempo es típico de una película amorfa. Se puede apreciar de esta figura que al aumentar el tiempo de recocido la transmitancia va disminuyendo. Para un tiempo de 8 horas el comportamiento se empieza a linealizar, lo que nos indica la cristalización del material. La disminución de la transmitancia se atribuye a la incorporación de algún material reflejante, como lo es el aluminio, lo cual coincide con lo visto en la figura 1.

Se realizó un análisis con la espectroscopia Raman a los granos que están en la superficie de las películas para verificar la cristalinidad inducida por el aluminio a las películas amorfas. El espectro en Raman de las películas, se muestra en la figura 3. Se observa un pico definido a 520 cm^{-1} que corresponde a silicio cristalino, el cual incrementa cuando se incrementa el tiempo de recocido. El incremento del pico, indica la incorporación de aluminio a la película.

Para poder apreciar el grado de cristalinidad de nuestro material, el pico fue incrementado 10 veces. Para verificar que la cristalización del material amorfo es inducida por el aluminio, una muestra idéntica pero sin aluminio fue sujeta al mismo proceso. Esta muestra no presenta granos en la superficie y su análisis en Raman nos indica un comportamiento completamente amorfo.

En la misma figura 3 se observa el espectro para una película amorfa. Esta figura corrobora la microcristalinidad de las películas $n^+ a\text{-Si:H}$ a temperaturas de $250\text{ }^\circ\text{C}$ y la participación del aluminio en este proceso.

4. CONCLUSIONES

Se estudio la cristalización del silicio amorfo dopado inducida por aluminio, con respecto a la variación del tiempo de recocido, y una temperatura de $250\text{ }^\circ\text{C}$. Mediciones ópticas y un análisis morfológico fueron realizados para estudiar la región de interacción. Se observaron unos granos en la superficie de las películas, los cuales se incrementan con el tiempo de recocido.

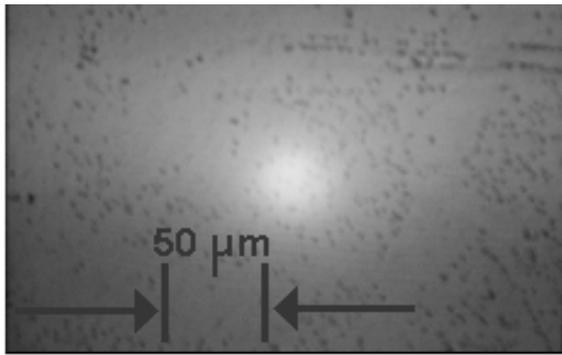
Las mediciones ópticas nos indicaron que la transmitancia disminuye y que la estructura amorfa cambia a microcristalina. Se encontró por medio de la espectroscopia Raman que el grado de cristalinidad aumenta con el tiempo de tratamiento térmico.

AGRADECIMIENTOS

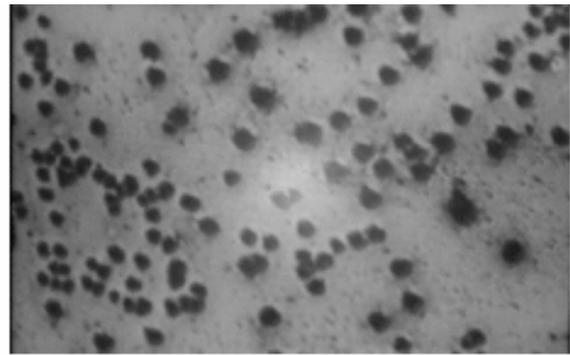
Los autores desean agradecer a los técnicos del depto de microelectrónica del INAOE, especialmente a M.C. Carlos Zúñiga, Quim. Pablo Alarcón y al Sr. Mauro Landa por la preparación de las muestras. Al Dr. U. Pal del Instituto de Física de la BUAP por realizarle la transmitancia a las películas amorfas. Al Dr. Ciro Falcony y a la I. Q. Marcela Guerrero del CINVESTAV por la realización de la espectroscopia infrarroja y finalmente al Dr. Marlon Rojas del Cicata-IPN Campus Puebla por las mediciones en Raman. CONACyT financió este trabajo bajo el proyecto 28503A.

REFERENCIAS

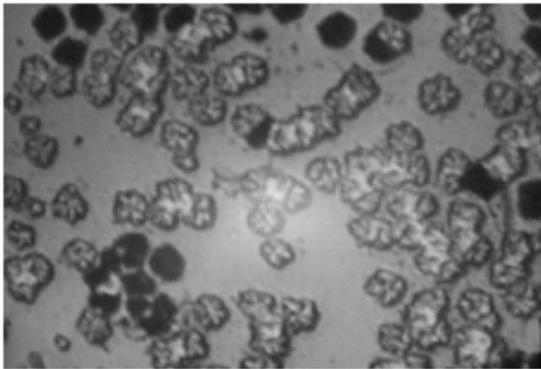
- Andrade, K. and Jang, J. J. Korean Phys. Soc, Vol. 39, S376-S381, (2001).
- Ashtikar, M.S. and Sharma, G.L. Solid State Commun. Vol 91, 831, (1994).
- Bisano, R. Magariño, J. Zellana, K. Squelard, S. Germain, P. and Morhange, J.F. Phys. Rev. B 31, 3568 (1985).
- Herd, S.R. Chaudhari, P. and Brodski, M.H. J. Non-Cryst. Solids Vol. 7, 309 (1972).
- Ishihara, S. Hirao, T. Mori, K. Kitawa, Ohno M. and Kohiki, S. J. Appl. Phys. Vol. 53, No. 5, 3909, (1982).
- Nemanich, R.J. Thompson, M.J. Warren Jackson, B. Tsai, C.C. and Stafford, B.L. J. Vac. Sci. Technol. Vol. B1, No. 3, 519, (1983).
- Spear W.E. and LeComber, P.G. Philos. Mag., Vol. 33, 935, (1976).
- Wronski C.R. and Carlson, D.E. Solid State Comm., Vol. 23, 421-424pp, 1977.



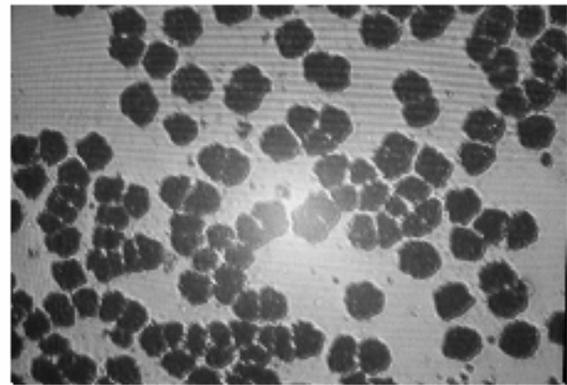
2 Horas



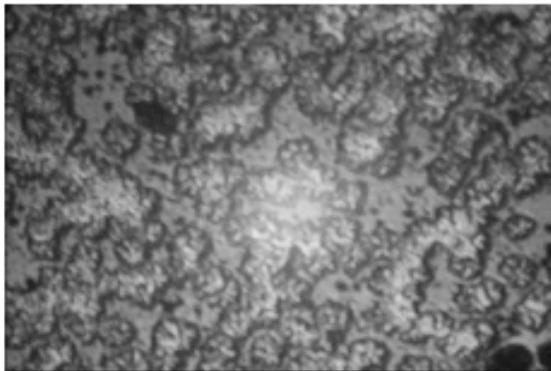
4 Horas



8 Horas



6 Horas



10 Horas



11 Horas

Fig. 1. Superficie de las películas de $n^+ a\text{-Si:H}$, después del tratamiento térmico y remover el aluminio superficial.

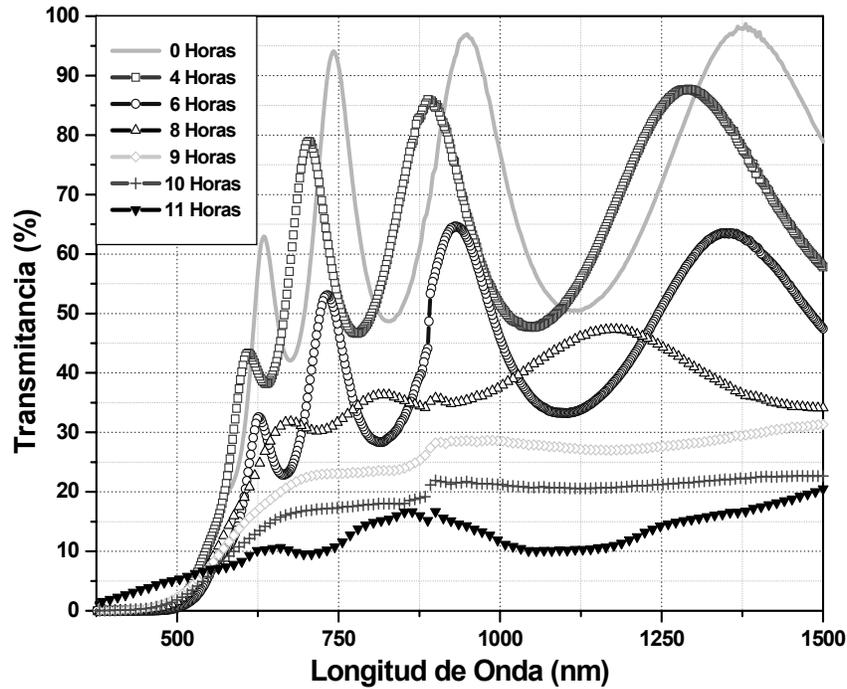


Fig. 2. Transmittancia de una muestra de n+ a-Si:H con diferentes tiempos de recocido. Después de haber removido el aluminio superficial.

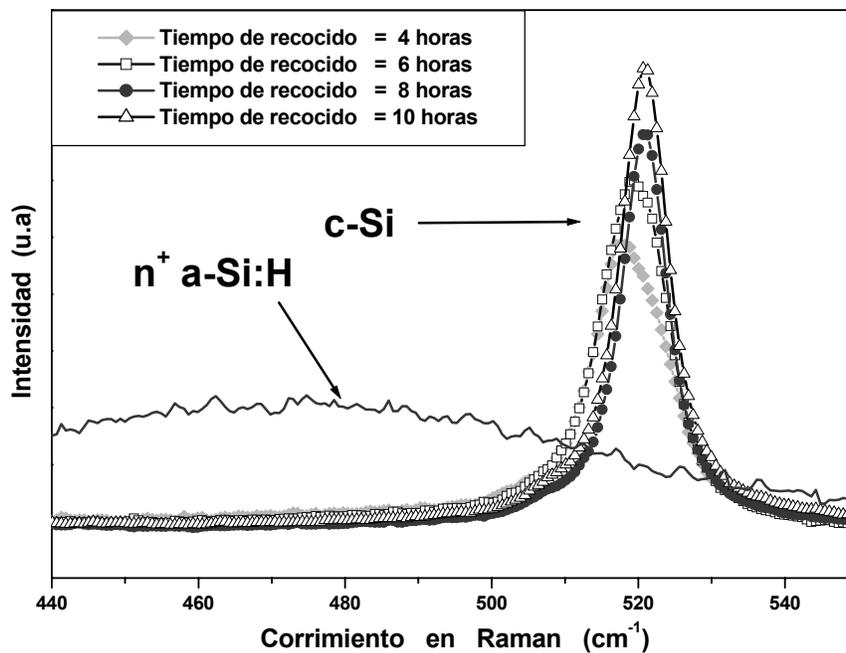


Fig. 3. Espectro en Raman de las películas n+ a-Si:H para diferentes tiempos de recocido. El máximo correspondiente al c-Si se aumentó 10 veces para su apreciación.