

**PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MORFOLOGICAS DE
PELICULAS DELGADAS DE $\mu\text{c-Si:H}$**

A. Dussan¹, R. R. Koropecski²

¹Dpto. Física – Universidad Nacional de Colombia – Bogotá

²CONICET (INTEC – UNL), Güemes 3450, Santa Fe, Argentina

(Recibido 23 de Oct. 2006; Aceptado 2 de Abr. 2007; Publicado 23 de Abr. 2007)

RESUMEN

Una serie de películas delgadas de silicio microcristalino dopadas con Boro ($\mu\text{c-Si:H}$ (B)) fueron depositadas por el método de deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PECVD). Las muestras fueron dopadas con Boro. La microestructura y morfología de las muestras fue analizada por microscopía de fuerza atómica (AFM), difracción de rayos X y espectroscopía Raman. Se observó un incremento tanto en la fracción de volumen cristalina como en el tamaño de grano a medida que se incrementó la concentración de Boro en las muestras. Las películas de silicio microcristalino dopadas con Boro presentaron una orientación cristalográfica preferencial en el plano (220).

Palabras claves: Semiconductores, Películas delgadas, Propiedades

ABSTRACT

A series of films boron doped microcrystalline silicon ($\mu\text{c-Si:H}$ (B)) was deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD). The samples were Boron doped. The microstructure and morphology of samples were analyzed by atomic force microscopy (AFM), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy. Trends of increasing crystalline volume fraction and grain size were observed with increasing boron concentration in the samples. The doped microcrystalline silicon films showed a preferential crystallographic orientation in the plane (220).

Key Words: Semiconductors, Thin Films, Properties.

1. Introducción

Las películas delgadas de silicio microcristalino han recibido gran atención durante los últimos años, como consecuencia de su enorme potencial en aplicaciones a sistemas optoelectrónicos tales como transistores basados en película delgada y celdas solares[1] entre otras. La incorporación de Boro en películas de $\mu\text{c-Si:H}$ ha mostrado ser un excelente medio para producir un material apropiado para sistemas fotovoltaicos debido a sus mejores propiedades optoelectrónicas, comparadas con películas de silicio amorfo hidrogenado tipo-p (a-Si:H: B)[2]. En este trabajo se presentan resultados de la caracterización de películas delgadas de $\mu\text{c-Si:H}$ dopadas

con Boro obtenidos a través de medidas de AFM, difracción de rayos x y espectroscopia Raman. Se encontró que el tamaño de grano y la orientación preferencial de crecimiento eran influenciados por el grado de compensación de Boro.

2. Experimento

Las muestras fueron preparadas en un reactor de PECVD con acoplamiento capacitivo operado a una frecuencia de 50MHz, cuyas características fueron descritas en un trabajo anterior[3]. Se empleó vidrio Corning 7059 como sustrato a una temperatura de 160 °C. Se usó una mezcla de 94 % de hidrógeno – 6 % de silano (SiH_4) con un flujo total de 20 sccm. La concentración de diborano (B_2H_6) en fase gaseosa fue variada entre 0 y 100ppm relativa al flujo de silano. La presión de base, previa a la deposición fue menor a 1×10^{-6} Torr. Durante la deposición la presión se mantuvo constante en 4.5×10^{-1} Torr. La densidad de potencia fue de 50 mW/cm^2 .

Las mediciones Raman se realizaron usando un espectrómetro Micro-Raman perteneciente al Ecole Polytechnique Laboratory de Francia. La potencia del láser fue de 20mW, usando un objetivo de 10X y un tiempo de exposición de 3 minutos. Todos los espectros Raman fueron obtenidos a temperatura ambiente. La fracción de volumen cristalina se estimó a partir de la deconvolución de los picos cristalino (520 cm^{-1}) y amorfo (480 cm^{-1}) de los espectros Raman; junto con un tercer pico alrededor de 510 cm^{-1} , asociado a las tensiones en los enlaces de Si-Si en las fronteras de grano.[4] Para el estudio de las propiedades morfológicas se usó un microscopio de fuerza atómica marca Park Scientific Instrument Company (PSI). La microcristalinidad de las muestras fue confirmada por difracción de rayos x. Los espectros de difracción fueron obtenidos usando un difractómetro marca Phillips (goniometer PW 1820).

3. Resultados y Discusión

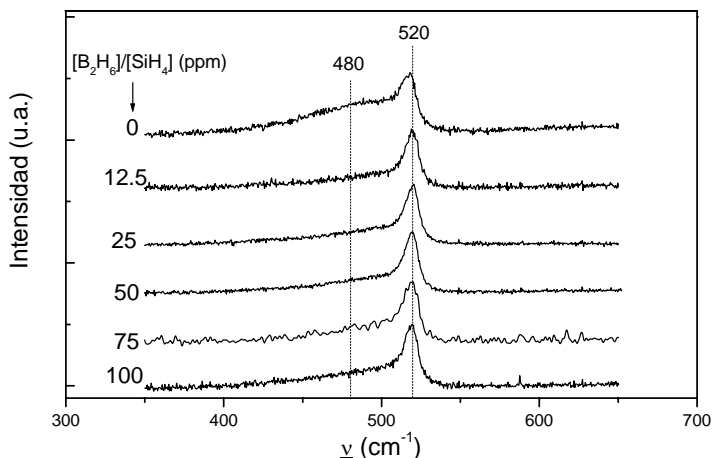


Fig.1 Espectros Raman para las muestras de silicio microcristalino hidrogenado variando la concentración de boro de 0 a 100 ppm Los espectros fueron corridos verticalmente para mayor claridad.

En la Fig. 1 se presentan los espectros Raman obtenidos para las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$ con diferentes concentraciones de microdoping en el rango entre 0 y 100 ppm. Los espectros se encuentran normalizados al pico cristalino de 520 cm^{-1} . Se puede observar para la concentración de Boro de 0 ppm, un hombro alrededor de 480 cm^{-1} junto con un pico ligeramente mas agudo para 520 cm^{-1} correspondiente al modo transversal óptico (TO) del silicio cristalino. Este hombro revela la existencia de la contribución de la fase amorfa en el material, siendo mucho menor la contribución de la fase cristalina. A partir de la deconvolución de los espectros Raman, se obtuvo la fracción de volumen cristalina (X_C) usando la relación reportada en trabajos anteriores. [5] El aumento en la concentración de Boro induce un cambio en la transición amorfa-cristalina, mostrando un aumento en X_C para las muestras con concentraciones de 0 a 75 ppm; mientras que cuando la concentración de Boro es de 100 ppm se observa una disminución de este parámetro. Este hecho está relacionado con una amorfización en el material para concentraciones de doping mayores. [5] Los valores correspondientes a X_C obtenidos para las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$ (B) se reportan en la Tabla 1.

En la Fig. 2 se muestran los espectros de XRD obtenidos para las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$ (B). El espectro de XRD del silicio cristalino, c-Si. En comparación con el c-Si se puede observar claramente una estructura microcristalina en todas las muestras, con una orientación preferencial en el plano (220). El pico difractado que aparece para $2\theta \approx 25^\circ$, puede ser atribuido a enlaces Si-O formando SiO_2 . [6]

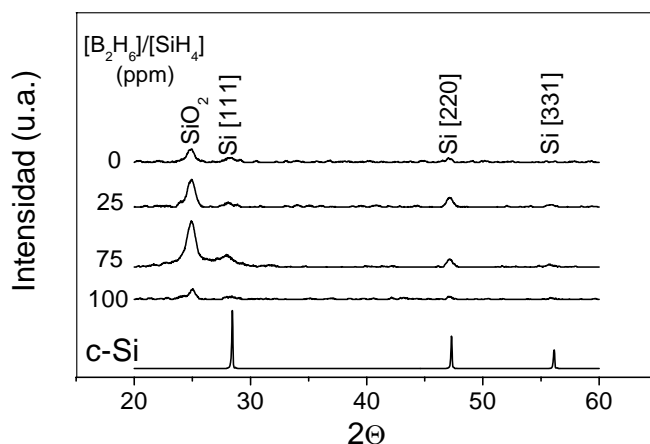


Fig. 2 Espectros de difracción de rayos x para las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$ variando la concentración de Boro entre 0 y 100 ppm. El espectro correspondiente al c-Si, aparece como referencia. A través de medidas de AFM se obtuvo información acerca de las propiedades morfológicas de las películas delgadas de $\mu\text{c-Si:H}$ dopadas con Boro. En la Fig. 3, se presentan imágenes de AFM de las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$. En esta figura se puede observar claramente un aumento en el tamaño de grano en las muestras de $\mu\text{c-Si:H}$ a medida que la concentración de Boro se incrementa en el material. Por otro lado se observa que la rugosidad en las muestras no se ve fuertemente afectada por la incorporación de Boro para concentraciones mayores a 0 ppm. Los valores

correspondientes al tamaño de grano promedio y la rugosidad (RMS), a partir de las medidas de AFM, son reportados en la Tabla 1.

Tabla No.1 Parámetros estructurales y fracción de volumen cristalina obtenidos a partir de medidas de AFM y mediciones Raman, para las muestras de $\mu\text{-Si:H(B)}$. X_C : Fracción de volumen cristalina; Z: Tamaño de grano; RMS (root means square): Rugosidad en la superficie.

$[\text{B}_2\text{H}_6]/[\text{SiH}_4]$ (ppm)	X_C (%)	Z (Å)	RMS (Å)
0	33.47	513	59.8
12.5	54.77	562	90
25	55.82	564	92.1
50	61.21	986	105
75	60.88	1040	84.7
100	52.38	1510	93.6

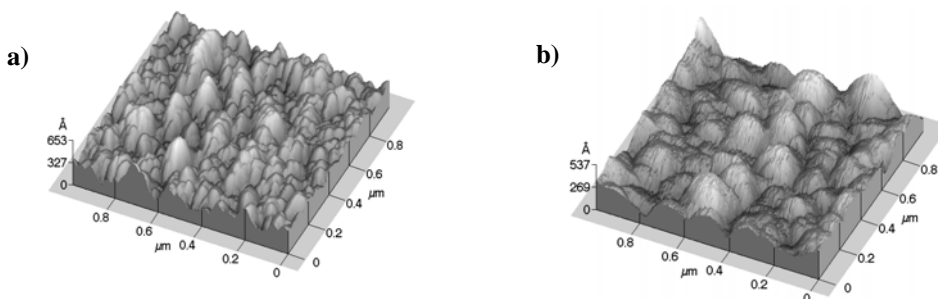


Fig. 3 Imágenes de AFM de muestras de $\mu\text{-Si:H}$ con concentraciones de Boro: a) 12.5 ppm y b) 75 ppm.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un estudio de las propiedades estructurales y morfológicas de películas delgadas $\mu\text{-Si:H}$ en función de la concentración de Boro en las muestras. Encontramos que el aumento del contenido de Boro en el material produce un incremento en el tamaño de grano. Se evidenció un aumento progresivo en la fracción de volumen cristalina para concentraciones desde 0 a 75 ppm; mientras que para una concentración de Boro de 100 ppm, se observó una reducción en su fracción cristalina, indicando una amorfización del material.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente con fondos de la ANPCyT (PICT 12-06950), Argentina. Un agradecimiento al grupo de Materiales Semiconductores y Energía Solar de la Universidad Nacional por su apoyo para las mediciones de XRD y AFM.

REFERENCIAS

- [1] A. Shah, J. Meier, E. Vallat-Sauvain, N. Wyrsch, U. Kroll, C. Droz, *Sol. Cells* **78** 469 (2003).
- [2] J. Meier, S. Dubail, R. Fluckiger, H. Keppner, A. Shah, *Appl. Phys. Lett.* **65** 860 (1994).
- [3] S. B. Concari, R. H. Buitrago, M. T. Gutierrez, and J. J. Gandia, *J. Appl. Phys.* **94**, 2417 (2003).
- [4] Ch. Ossadnik, S. Veprek, I. Gregora, *Thin solid Films*, **337** 148 (1999).
- [5] R. Saleh, N. H. Nickel, *Thin Solid Films*, **427** 266 (2003).
- [6] Liwei Li, Yuan-Min Li, J.A. Anna Selvan, Alan E. Delahoy, Roland A. Levy, *J. Non-Cryst. Solids* **347** 106 (2004).