

Elaboración del silicio poroso tipo p y caracterización morfológica mediante microscopía de fuerza atómica

H. Rosas Diaz¹ | I. Delgado¹ | J. A. Cardona Bedoya¹ | A. Calderón² | A. E. Florido Cuellar¹

Recibido:
Enero 21 de 2012

Aceptado:
Mayo 18 de 2012

Resumen

Se presenta un sistema para la elaboración del Silicio Poroso (SP) tipo p y su caracterización morfológica. El SP es elaborado mediante un ataque electroquímico de un cristal de silicio tipo p en una solución con ácido fluorhídrico (HF) dentro de una celda electroquímica a la cual es aplicada una corriente constante mediante un electrodo de platino y otro de silicio con un contacto óhmico de plata. La caracterización del SP se obtuvo mediante la técnica de microscopía de fuerza atómica (AFM)

Palabras clave: Semiconductor, Silicio poroso, ataque electroquímico, ácido fluorhídrico.

Abstract

We present a system for the preparation of porous silicon (SP) p-type and morphological characterization. The SP is produced by electrochemical etching of crystalline silicon p-type in an aqueous hydrofluoric acid (HF) solution in an electrochemical cell to which a constant current is applied through a platinum electrode and another of silicon with a silver ohmic contact. The characterization of the SP we get through the technique of atomic force microscopy (AFM)

Keywords: Semiconductor, Porous silicon, electrochemical attack, hydrofluoric acid.

¹Departamento de Física,
Facultad de Ciencias,
Universidad del Tolima, A.A.
546 Barrio Santa Helena Ibagué
jcardona@ut.edu.co

²CICATA IPN Unidad legarfa,
México D.F México
jalderona@ipn.mx

Introducción

En las últimas décadas se han encontrado nuevas aplicaciones para el Silicio (Si) en el área de la fotónica, la promoción del Si para aplicaciones fotónicas es una consecuencia de la posibilidad

de reducir su dimensionalidad mediante una técnica fácil y de bajo costo. El ataque electroquímico de Si bajo condiciones contraladas conduce a la formación de silicio porosos (SP), el cual es una red desordenada de poros dentro del Si. El silicio poroso (SP) como material semiconductor no es nuevo, fue descubierto en 1956 por Ulhir (1); se considera que el SP fue redescubierto en 1990 cuando Canham (2), mostró fotoluminiscencia visible (en el rojo, 1,4-1,6 eV) a temperatura ambiente con tiempos de 1,2 y 6 horas de electropulido. Este descubrimiento fue el punto inicial de la investigación en torno a la luminiscencia del silicio poroso.

Aunque ya han habido numerosas publicaciones acerca de la obtención y las propiedades físico-químicas del SP (3,4,5), algunos efectos de los parámetros de elaboración en las propiedades ópticas y morfológicas de SP no está aún bien establecidas, debido a la complejidad del material procesado. Los recientes informes publicados sobre el tema muestran que los investigadores aún están tratando de optimizar SP del material para diferentes aplicaciones (6,7,8).

La morfología de la capa porosa resultante depende de los parámetros del proceso de fabricación (3, 9). En nuestro caso se tuvo en cuenta los parámetros como tiempo de ataque (25 minutos), densidad de corriente ($\sim 13\text{mA}/\text{cm}^2$), características del electrolito (HF 40%, marca Panreac) distancia de separación entre los electrodos (0,5 cm) y tipo de sustrato (silicio tipo P).

Materiales y métodos

Para elaborar el SP se diseñó y se fabricó una celda de teflón (figura 1). La celda electroquímica se llenó con una solución de HF al 40% de concentración y se sumergió en ella un electrodo de platino en forma de placa plana que actúa como cátodo mientras que la muestra de Si cristalino actúa como ánodo. Se aplicó una diferencia de potencial entre los

electrodos, la cual produce una electrolisis y consecuentemente se registrará una corriente en el amperímetro. Con esto, la corriente será producida por migraciones de iones positivos H^+ (cationes) que se dirigirán al cátodo, mientras que los iones negativos F^- y OH^- (aniones) se dirigirán al ánodo, es decir hacia la muestra de silicio cristalino. La capa porosa es formada por la disolución electroquímica del Si.

Para la generación de capas porosas uniformes y homogéneas es importante tener en cuenta la limpieza del sustrato, la calidad de la disolución química, y las condiciones de anodización en la celda electroquímica (la densidad de corriente). La calidad de la disolución química depende de la concentración de ácido fluorhídrico en la solución y de su PH, ya que los iones que se generan en el proceso electrolítico van a interactuar con el silicio.

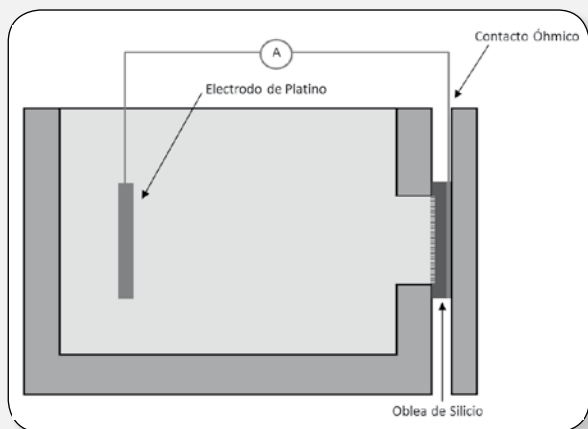
La celda de ataque electroquímico fue elaborada en teflón (figura 1), en ella se puede iluminar la muestra directamente en el área de ataque lo cual favorece la generación de par electrón-hueco, y es posible controlar la distancia entre los electrodos con lo que variará la configuración de las líneas de campo eléctrico.

Las muestras de SP fueron elaboradas en obleas de silicio cristalino tipo P, mediante ataque electroquímico en HF. Antes de la elaboración del SP, y con el fin de obtener un contacto óhmico, sobre la parte posterior de las obleas de silicio se depositó una película de plata por Sputtering en DC. Las muestras fueron colocadas en la celda y una corriente de 20 mA se aplicó a los electrodos. La distancia de separación entre los electrodos fue de 5 mm. con un tiempo del ataque de 25 minutos. Antes del ataque electroquímico todas las muestras fueron limpiadas en baño de ultrasonido primero en xileno, luego en acetona y finalmente en etanol.

Las muestras fueron caracterizadas morfológicamente mediante microscopía

de fuerza atómica, usando un microscopio nanosurf easyscan 2 en modo de no contacto como se muestra a continuación.

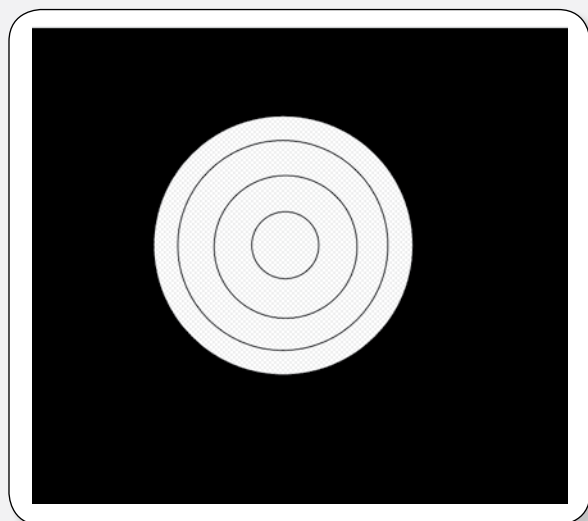
Figura 1. Configuración de la celda de ataque electroquímico



Resultados y discusión

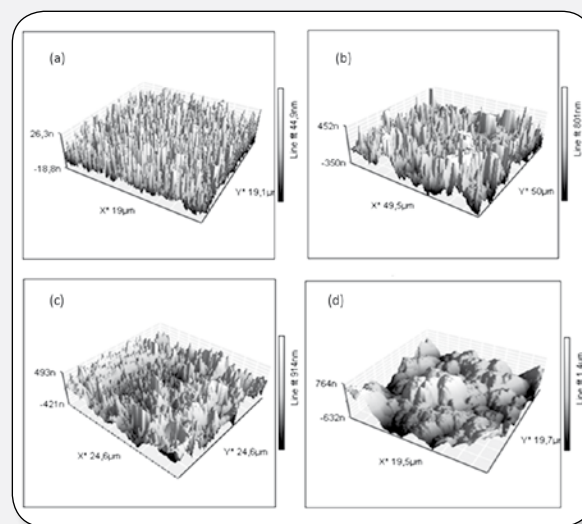
La topografía de las películas de SP se ha caracterizado mediante microscopía de fuerza atómica (AFM), para ello, se seleccionaron y se analizaron cuatro zonas de interés en diferentes lugares de una misma muestra. En la figura 2 se muestra las cuatro zonas que fueron estudiadas. El tamaño de la muestra tiene un diámetro aproximado de 14 mm.

Figura 2 Esquema de la muestra atacada electroquímicamente en la que se observa las cuatro regiones; siendo la zona 1 la más próxima al extremo del sustrato, y la zona 4 la parte central del ataque.



El área de las zonas de análisis fueron de alrededor de $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ para las zonas 1, 3 y 4, y de $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ para la zona 2. La figura 3(a) muestra una imagen típica de AFM de la película de silicio poroso, la cual fue tomada en el extremo del área de ataque (zona 1), en ella se observa claramente que la anodización del Si conduce a una superficie bien definida de poros de una profundidad aproximada de 45,1 nm. En la zona 2 (figura 3a) se aprecia un incremento en la profundidad del poro (alrededor de 800 nm) con menor uniformidad. En la figura 3(c) los poros en la estructura de Si se debilitaron, no hay uniformidad en los poros y se tiene una mayor profundidad, por último la zona 4 (figura 4(d)) revela una superficie rugosa, en lugar de los poros individuales. En consecuencia estas imágenes nos muestran que se tiene una película de silicio poroso no uniforme, en donde en el centro de la muestra se presenta mayor ataque electroquímico que en el extremo. Este comportamiento inusual está en proceso de estudio. Adicionalmente en este tipo de crecimiento está en estudio la influencia del tiempo de ataque y la densidad de corriente para el sustrato tipo P.

Figura 3 Microscopía de fuerza atómica de las diferentes zonas. (a) zona 1, (b) zona 2, (c) zona 3 y (d) zona 4.



Conclusiones

Fueron producidas películas delgadas de silicio poroso tipo p por el método de

anodización electroquímica. En las muestras se analizaron cuatro zonas en el área de ataque, obteniéndose poros de mayor profundidad en la zona 3 y 4 correspondiente a las áreas del centro de ataque electroquímico, y las zonas 1 y 2 presentan una menor profundidad y una mayor uniformidad de poros, respectivamente.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad del Tolima bajo el proyecto 90111 y la Fundación Banco de la Republica, proyecto número 2953. Los autores expresan su agradecimiento a los Drs. Juan Carlos Salcedo y Camilo Jiménez de la Universidad Javeriana por la caracterización de las muestras mediante microscopía de fuerza atómica y la evaporación de las muestras. Los autores igualmente agradecen a la Dra. Aura M. Pedroza Rodríguez por el apoyo logístico en la consecución de los reactivos.

Referencias bibliográficas

1. UHLIR, A. Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon. *Journal Bell System Technical*. 1956, 35, 333-337.
2. CANHAM L.T Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers. *Applied Physics Letter*. 1990, 57 (10), 1046-1048.
3. M. I. J. BEALE, J. D. BENJAMIN, M. J. UREN, N. G. CHEW, AND A. G. CULLIS. An experimental and theoretical study of the formation and microstructure of porous silicon. *Journal of Crystal Growth*. 1985, 73 (3), 622-636.
4. T. UNAGAMI. Formation mechanism of porous silicon layer by anodization in HF solution. *Journal of the Electrochemical Society*. 1980, 127 (2), 476-483.
5. YUEYIN SHAO, YONGQIAN WEI AND ZHENGHUA WANG. The blue cathodoluminescence and photoluminescence of porous silicon nanoribbons. *Journal of Materials Sciences and Technology*. 2011, 22, 179-182
6. JUDSON D. RYCKMAN, MARCO LISCIDINI, J. E. SIPE, AND S. M. WEISS. Porous silicon structures for low-cost diffraction-based biosensing. *Applied Physics Letter*. 2010, 96, 171103.
7. MADHURI THAKUR, MARK ISAACSON, STEVEN L. SINSABAUGH, MICHAEL S. WONG, SIBANI LISA BISWAL. Gold-coated porous silicon films as anodes for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2012, Article in press.
8. MONCEF SAADOUN, MOHAMED FETHI BOUJMIL, SELMA AOUIDA, MOHAMED BEN RABHA, BRAHIM BESSAÏS. Porous silicon-based microtexturing of textured monocrystalline silicon solar cells. 2011, 8, 1869-1873.
9. FLORIDO CUELLAR A. Estudio de propiedades Térmicas y Ópticas en silicio poroso elaborado mediante ataque electroquímico. **Tesis Doctoral**. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA, México DF, 2009.