

Caracterización eléctrica mediante C-V y C-t de dispositivos MIS con oxinitruros de silicio depositados por LPCVD

G. Francisco Pérez-Sánchez, Jesús Carrillo-López
 Centro de Investigaciones en Dispositivos semiconductores, ICUAP
 Apdo. Postal 1651, Puebla, Pue., 07200 México

Arturo Morales-Acevedo
 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
 Departamento de Ingeniería Eléctrica
 Av. IPN No. 2508, 07360 México, D. F.

Una de las técnicas más empleadas para obtener oxinitruros de silicio es la de fase vapor a baja presión (LPCVD), la cual consiste en una reacción química del silano (SiH_4), óxido nitroso (N_2O) y amoníaco (NH_3). En este trabajo se utilizaron temperaturas de 700 °C y 800 °C para el depósito de estas películas. Para llevar a cabo esto se variaron las razones de las presiones parciales del óxido nitroso a silano (R0), así como la razón de las presiones parciales del silano a amoníaco (R1), manteniendo constante la presión parcial del amoníaco; obteniendo así una diversidad de composiciones, desde SiO_2 hasta Si_3N_4 . Los índices de refracción y los espesores de las películas se determinaron por elipsometría. La caracterización eléctrica se realizó mediante mediciones C-V (Capacitancia-Voltaje) y C-t (Capacitancia-Tiempo). Se reportan resultados experimentales tales como velocidades de crecimiento, índices de refracción, constante dieléctrica, densidad de carga en el aislante, velocidad de generación y densidad de estados interfaciales y se establece la correlación entre las temperaturas de depósito y las propiedades antes mencionadas.

One of the more frequently used techniques to obtain silicon oxinitrides is by low pressure chemical vapor deposition (LPCVD), which consists of a chemical reaction of silane (SiH_4), nitrous oxide (N_2O) and ammonia (NH_3). In this work, temperatures of 700 °C and 800 °C were used for the deposition of these films. Different flows of the gaseous mixtures were used in order to obtain films with a diversity of stoichiometries by varying the ratio of the partial pressures of the nitrous oxide to the silane (R0), as well as the ratio of the partial pressures of the silane to the ammonia (R1), maintaining constant the partial pressure of the ammonia. This films cover the range from SiO_2 to Si_3N_4 . The refractive index and the thickness of the films were determined by ellipsometry. The electrical characterization was made by means of C-V (Capacitance-Voltage) and C-t (Capacitance-Time) measurements. We present experimental results such as growth velocities, refractive index, dielectric constant, charge density in the oxide, generation velocity and interfacial density of states. A correlation between the deposition temperature and these properties is established.

Keywords: LPCVD; Oxinitruros de silicio; Caracterización Eléctrica C-V

1. Introducción

En la actualidad existen múltiples aplicaciones para los oxinitruros de silicio depositados por LPCVD; principalmente en la industria microelectrónica, tales como; cap pasivantes [1], aislantes muy delgados [2], dispositivos ópticos [3, 4], circuitos integrados [5], dispositivos de memoria [6], y reducción de la degradación de dispositivos por electrones calientes [7], entre muchas otras. Por otro lado, se ha mostrado que se pueden obtener películas con muchas ventajas respecto al dióxido de silicio (baja permeabilidad para átomos de boro, baja difusión de iones alcalinos, mayor confiabilidad dieléctrica de dispositivos MIS, y altos valores de la constante dieléctrica) y al nitruro de silicio (bajo stress mecánico y un ancho de banda prohibida mayor). Por eso, en este trabajo se presenta la caracterización eléctrica y óptica, de oxinitruros de silicio crecidos por LPCVD a dos temperaturas (700 y 800 °C), cubriendo todo el rango de composiciones, desde el dióxido de silicio hasta el nitruro de silicio, variando la razón de los flujos de gases empleados.

2. Experimentos

Para realizar los depósitos se utilizaron obleas de silicio tipo n con una resistividad de 2-3 $\Omega\text{-cm}$ y orientación (100). Se hizo una limpieza convencional de los substratos, empleando las soluciones RCA I y RCA II. Previamente a la limpieza en RCA II, las obleas se introdujeron en una solución de HF al 49%. Las obleas se dividieron a la mitad, con el fin de efectuar las mediciones ópticas en la primera serie de mitades, y en la otra serie se fabricaron los capacitores MIS para hacer las mediciones eléctricas. Las razones de las presiones parciales se muestran en la Tabla 1, así como los valores de las presiones parciales para cada gas empleado (Tabla 2). Para la caracterización eléctrica se fabricaron capacitores con un área de 10^{-3} cm^2 , para lo cual se evaporaron contactos de aluminio sobre las capas de oxinitruro.

La presión total de los gases empleados estuvo en un rango de 1.225 Torrs a 2.65 Torrs para el caso de las películas de oxinitruro de silicio. Es importante notar que conforme se aumenta la razón R_2 la composición de la película se encuentra más cercana al dióxido de silicio. Si sucede lo contrario, la composición de la película se

Tabla 1. Razones de las presiones parciales empleados en los experimentos.

Oblea	$R_0 = \text{N}_2\text{O}/\text{SiH}_4$ (pp)	$R_1 = \text{SiH}_4/\text{NH}_3$ (pp)	$R_2 = \text{N}_2\text{O}/\text{NH}_3$ (pp)
Si_3N_4	0	1.6	0
1	0.5	1.875	0.9375
2	1.0	1.875	1.875
3	2.0	1.875	3.75
4	0.5	3.75	1.875
5	1.0	3.75	3.75
6	2.0	3.75	7.5
7	0.5	7.5	3.75
8	1.0	7.5	7.5
9	2.0	7.5	15
SiO_2	2.0	∞	∞

encuentra cercana al Si_3N_4 . Por otro lado, para obtener dióxido de silicio, se hizo el flujo de amoníaco igual a cero, y similarmente el flujo de óxido nitroso también se hizo cero para el caso del nitruro de silicio puro, como se indica en las tablas anteriores. Las mediciones de espesores e índice de refracción se realizaron por elipsometría. Para las mediciones C-V a alta frecuencia se utilizó un voltaje de prueba de 15 mV RMS a una frecuencia de 100 KHz.

3. Resultados y discusión

Los espesores obtenidos estuvieron en un rango de 1200 Å a 1400 Å para las películas de oxinitruro de silicio depositadas a 800° C, y en el rango de 620 Å a 880 Å y para la películas crecidas a 700° C. En el caso de los extremos, los espesores fueron notablemente mayores. Los índices de refracción se mantuvieron en el rango esperado (1.35-2).

Con estos datos disponibles se calcularon las

velocidades de crecimiento y el comportamiento del índice de refracción en función de la razón R_2 , con el objeto de monitorear que tan cerca estamos del dióxido de silicio o del nitruro de silicio.

En la figura 1 se presentan los resultados. En esta figura se puede apreciar mucho mejor la tendencia con relación a las velocidades de crecimiento para la temperatura de 700° C, mostrando que para las muestras con composiciones cercanas al Si_3N_4 la razón de crecimiento aumenta y disminuye para los valores intermedios de R_2 .

En el caso de los índices de refracción se observa un comportamiento similar para las dos temperaturas de depósito (fig. 2). De esta figura concluimos que se pueden manipular las condiciones de depósito, para obtener el índice de refracción deseado ya que este se encuentra entre los valores 1.35 y 2 conforme aumenta la razón R_1 , obteniéndose valores ligeramente mayores para la

Tabla2. Flujos de los gases precursores para los experimentos propuestos, así como los tiempos de depósito empleados.

Oblea	SiH_4 (Torr)	NH_3 (Torr)	N_2O (Torr)	Tiempo (min)	
				700°C	800°C
Si_3N_4	0.75	0.5	0.0	7	7
1	0.75	0.4	0.375	8	7
2	0.75	0.4	0.75	7	10
3	0.75	0.4	1.5	10	9
4	0.75	0.2	0.375	8	7
5	0.75	0.2	0.75	7	10
6	0.75	0.2	1.5	10	9
7	0.75	0.1	0.375	8	7
8	0.75	0.1	0.75	7	10
9	0.75	0.1	1.5	10	9
SiO_2	0.75	0.0	1.5	9	9

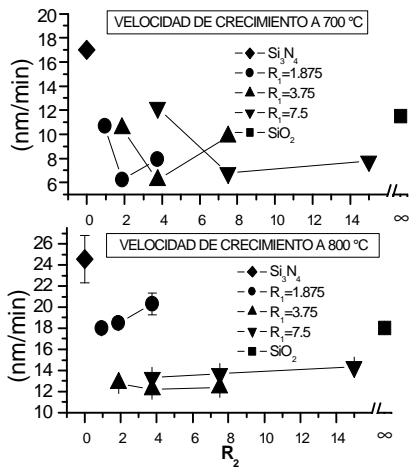


Figura 1. Velocidades de crecimiento obtenidas a las dos temperaturas de depósito 800° C y 700° C.

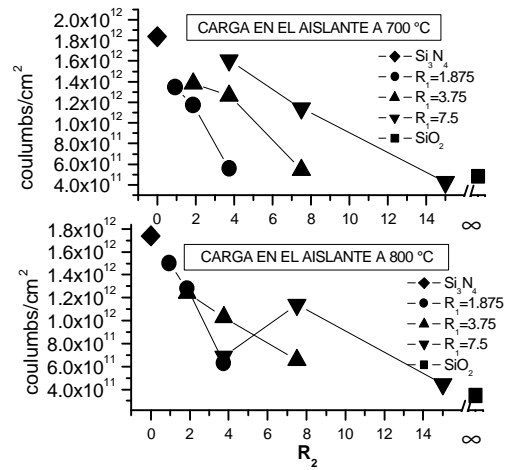


Figura 4. Densidad de carga en el aislante en función de R₂

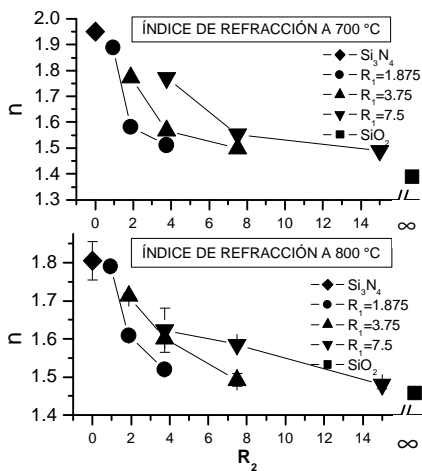


Figura 2. Comportamiento del índice de refracción en función de R₂ para las diferentes condiciones de depósito.

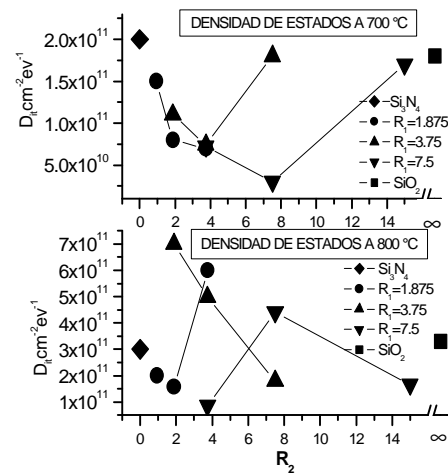


Figura 5. Densidad de estados interfaciales. Determinadas por el método de Therman, en función de R₂.

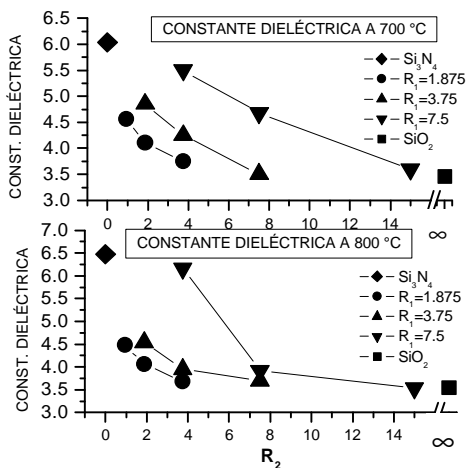


Figura 3. Comportamiento de la constante dieléctrica en función de R₂ para las diferentes condiciones de depósito.

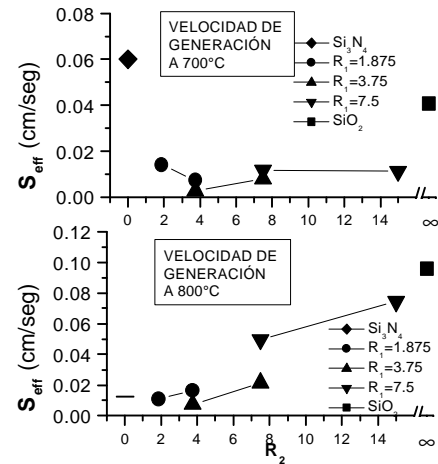


Figura 6. Velocidades de generación superficial para oxinitruros de silicio para dos diferentes temperaturas.

temperatura de 700 °C. Es preciso mencionar que para el caso de la constante dieléctrica el comportamiento es similar al caso anterior, pero se presenta una dependencia lineal respecto a R_2 para ambas temperaturas, siendo más clara para 700 °C y $R_1=7.5$, lo cual ha sido reportado anteriormente [8].

La constante dieléctrica se midió utilizando curvas capacitancia-voltaje, en donde la capacitancia del aislante se determinó en la condición de acumulación fuerte, esto es con el fin de obtener la constante dieléctrica confiablemente. En la figura 3 se muestran estas características en función de las condiciones de depósito.

En la figura 4 se muestran los resultados para la densidad de carga en el aislante. Aquí es interesante notar que conforme R_2 aumenta, la magnitud de la densidad de carga en el oxinitruro disminuye, es decir, cuando la composición del aislante se acerca al dióxido de silicio la densidad de carga en el volumen disminuye, sucediendo lo contrario cuando el oxinitruro se acerca a la composición química del nitruro de silicio. Este efecto se aprecia más claramente para las muestras que se depositaron a 700 °C. Continuando con los resultados, en la figura 5 se muestran los datos obtenidos para la densidad de estados interfaciales. Estas se obtuvieron mediante mediciones de curvas capacitancia-voltaje a alta frecuencia por el método de Therman [9].

Comparando ambas figuras, podemos decir que la densidad de estados es menor para 700 °C; además, se puede ver que tiene un valor mínimo para las razones $R_1=7.5$ y $R_2=7.5$, incrementándose para los valores cercanos a los extremos. Esto implicaría, como ha sido reportado en la literatura, que entre el límite del dióxido de silicio y el del nitruro de silicio, se puede encontrar una región para estas películas en donde se pueden combinar las mejores características de ambos materiales.

Finalmente, los resultados para la velocidad de generación superficial se muestran en la figura 6. En esta figura se puede observar que la velocidad de generación superficial para los valores intermedios de R_2 es aproximadamente del mismo orden, siendo ligeramente mayor para las muestras depositadas a 800 °C. Por otro lado, conforme se incrementa la razón R_2 la velocidad de generación es notablemente mayor para las muestras depositadas a 800 °C, lo cual era de esperarse ya que las muestras 700 °C presentaron menor densidad de estados interfaciales.

Los valores de las velocidades de generación se obtuvieron ajustando los datos experimentales C-t con la solución analítica de la ecuación de Zerbst [10] mediante mínimos cuadrados. Estos valores son típicos en silicio de la resistividad usada aquí cubierto con SiO_2 .

4. Conclusiones

Se ha presentado la caracterización eléctrica de capas de oxinitruro de silicio crecidas por LPCVD, mostrando que para la temperatura de 700 °C se obtienen mejores características (por ejemplo, menor densidad de estados),

que aquellas obtenidas a 800 °C. Se observan dependencias lineales para el índice de refracción, la constante dieléctrica y la densidad de carga en el aislante en función de R_2 para distintos valores de R_1 . También se observó que la carga en el aislante es menor cuando la composición de las muestras está cercana al dióxido de silicio, lo cual se debe principalmente a la baja permeabilidad a las especies oxidantes en las películas con composición química cercana al nitruro de silicio [11]. La densidad de estados interfaciales fue del orden de $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ para $R_1=7.5$ y $R_2=7.5$ a 700 °C, mientras que para las muestras a 800 °C todas se encuentran por encima de $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$. Esto concuerda con los datos obtenidos para la velocidad de generación superficial, siendo menor para las muestras depositadas a 700 °C.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por CONACyT mediante el proyecto G32044.-A. Agradecemos a Mauro Landa y Pablo Alarcón por su apoyo en la realización de los experimentos realizados en instalaciones del INAOE.

Referencias

- [1] J. Lowe, M. J. Powell, S. R. Elliot, J Appl. Phys. **59**, 1251 (1986).
- [2] H. Hwang, W. Ting, B. Maiti, D. L. Kwong and J. Lee, Appl. Phys. Lett. **57**, 1010(1990).
- [3] M. S. Haque, H. A. Naseem, W. D. Brown, J. Electrochemical Soc. **142**, 3864(1995).
- [4] E. S. Bulat, M. Tabasky, B. Tweed, et al., J. Vac. Sci. Tech. **A11**, 1268(1993).
- [5] W. L. Hill, E. M. Vogel, V. Misra, P.K. Mc Larty and J. S. Wortman, IEEE Trans. Electron. Devices **43**, 15(1996).
- [6] T. Hori and H. Iwasaki, IEEE Trans. Electron Dev. **29**, 498(1982).
- [7] Matsuoka, S. Taguchi, H. Ohtsuka, K. Taniguchi, C. Hamaguchi, S. Kakimoto and K. Uda, IEEE Trans. Electron Dev. **43**, 1364(1996).
- [8] D. M. Brown P. V. Gray, F. K. Heumann, H. R. Philipp and E. A. Taft, J. Electrochemical Soc. **115**, 311(1968).
- [9] G. F. Pérez-Sánchez, J. Carrillo-López, A. Luna-Flores, y A. Morales-Acevedo, Superficies y Vacío **15**, 50(2002).
- [10] J. S. Kang and D. K. Schroder, Phys. Stat. Sol. (a) **89**, 13(1985).
- [11] P. L. Castro and B. E. Deal J. Electrochemical Soc. **118**, 280(1971).