

Depósito de películas delgadas de SiO₂ obtenidas por foto-CVD

J.E. Munguía, V.M. Sánchez-R., M. Estrada

Sección de Electrónica del Estado Sólido (SEES), Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN
Av. IPN No. 2508, Apto. Postal 14-740, 07360 DF, México.

Usando la técnica de depósito fotoquímico en fase vapor (Foto-CVD) se obtuvieron velocidades menores que 0.56 nm/min para el depósito de películas de SiO₂, las cuales son adecuadas para el crecimiento de capas delgadas y ultradelgadas de SiO₂. Se seleccionó al SiH₄ como fuente de silicio y al N₂O como fuente de oxígeno. Se trabajó con presiones en el rango de 1 a 3 Torr. La temperatura de depósito fue de 200°C. Las características eléctricas de las capas depositadas fueron medidas usando las técnicas I-V y C-V, obteniéndose una densidad de estados en la interfaz aceptable, así como valores típicos de la densidad de corriente para iguales espesores de capas obtenidas por oxidación térmica y PECVD (depósito químico en fase vapor asistido por plasma).

Very low deposition rates, below 0.56 nm/min of SiO₂ were obtained using photo-induced chemical vapor deposition (Photo-CVD). These low deposition rates are adequate to grow very thin and ultra thin layers of SiO₂. SiH₄ was selected as silicon source and N₂O as oxygen source. We worked with pressures in the range of 1 to 3 Torr. Deposition temperature was 200°C. The electric characteristics of the deposited layers were measured using I-V and C-V curves. Results indicated an acceptable density of states in the interface as well as typical values of current density for good quality layers with corresponding thickness obtained by thermal oxidation and PECVD.

Keywords: Foto-CV; TMOS; SiO₂; Óxidos de compuerta

1. Introducción

En los últimos años se han desarrollado circuitos integrados cuyos transistores poseen longitudes de canal inferiores a una micra, lo cual ha requerido también del escalamiento del dieléctrico en estos dispositivos a valores menores que 15 nm. Por ésta razón los dispositivos MOS submicrométricos requieren de un espesor de compuerta muy delgado; por ejemplo los transistores MOS con longitudes de canal de 0.18 µm requieren de una capa de SiO₂ con un espesor de 4 nm o menor.

Las técnicas de depósito convencionales para la obtención de películas de SiO₂ alcanzan velocidades de depósito altas, lo que implica no tener un buen control sobre los espesores de las películas. Para poder obtener espesores delgados por debajo de 4 nm se requiere de velocidades de depósito menores a 1 nm/min. Por estas razones se ha dado a la tarea de buscar otras alternativas en el desarrollo de técnicas de depósito que permitan alcanzar bajas velocidades de depósito para la obtención de películas de SiO₂, siendo una de éstas la técnica de depósito fotoquímico en fase vapor (Foto-CVD). El uso de esta técnica ha sido reportado anteriormente para la obtención de capas de SiO₂ y de Si₃N₄ buena calidad con espesores mayores de 100 nm [1-5]. Los gases básicos que se han empleado para el suministro de átomos de oxígeno han sido O₂ [1,2], N₂O [3] y NO₂ [4]. Estos gases pueden ser disociados usando longitudes de onda entre 160 nm, 175-195 nm y de 106 nm, respectivamente. Como fuente de silicio se ha utilizado SiH₄ [1,2,3,4] y disilano [5]. Las fuentes de luz que han sido utilizadas en foto-CVD son: lámparas de mercurio a baja presión [2,3,5], lámparas de

deuterio [1], lámparas de descarga de Ar excitado con microondas, lámparas de ArF [7] y laser excimer [8]. Las capas reportadas, obtenidas por ésta técnica muestran baja densidad de carga en la interfaz y baja densidad de defectos [1,2,3,6]. Varias aplicaciones han sido reportadas, como por ejemplo, dieléctricos en estructuras MOS usando InGaAs e InP [3] y transistores de películas delgadas de polisilicio [6].

Analizando los resultados previos, se seleccionó el uso de SiH₄ y N₂O para poder realizar la fotólisis mediante una lámpara de deuterio en combinación con una ventana de zafiro trabajando en la región de 170 a 200 nm. En éste trabajo presentamos detalles de la cámara de depósito que fue fabricada, así como el estudio de la cinética de crecimiento para obtener velocidades de depósito menores que 0.5 nm/min. Se presentan los resultados de la caracterización I-V y C-V para estructuras MOS preparadas con estas capas.

2. Detalles Experimentales

Una cámara de acero inoxidable fue diseñada y fabricada en el Laboratorio. Las dimensiones fueron de 30 cm de diámetro y 5 cm de altura. Estas dimensiones fueron seleccionadas para disminuir el depósito sobre las paredes, y reducir el consumo de gases. La dependencia de la velocidad de depósito sobre la distancia entre la lámpara y el sustrato ha sido previamente reportada [5]. Estos autores reportaron que la velocidad de depósito se incrementa al aumentar la distancia entre la lámpara y el sustrato, alcanzando un máximo para luego decrecer cuando la distancia se sigue incrementando. Su modelo

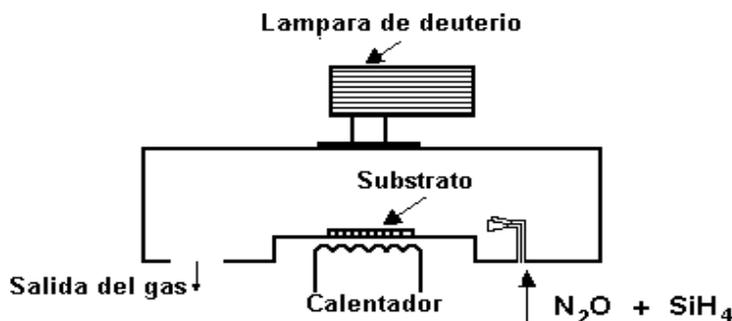


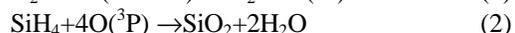
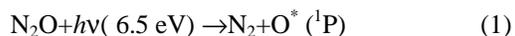
Figura 1. Diagrama esquemático de la cámara de depósito.

considera que la velocidad de depósito depende del número de moléculas o átomos de la especie activa sobre la oblea.

Un número considerable de átomos o moléculas sobre el sustrato dependerá de varios parámetros como la intensidad de la luz para el rango correcto de longitud de onda capaz de producir la fotólisis del gas; así como de la concentración de átomos de la especie activa a una distancia sobre el sustrato y de la presión de la cámara. La concentración de la especie activa con la distancia perpendicular al sustrato se considera proporcional a $\exp(-\alpha h)$, donde α es el coeficiente de extinción de la intensidad de la luz debida a los gases en la cámara y h es la distancia a partir del borde inferior de la ventana.

En nuestro caso la especie activa son átomos de oxígeno obtenidos de la fotodisociación del N_2O . Dicha especie activa tiene un tiempo efectivo en el cual puede reaccionar con el silano, debido a que ésta es constantemente extraída de la cámara a una cierta velocidad. Considerando que la velocidad de depósito varía con la naturaleza del gas y la geometría de la cámara, seleccionamos una distancia entre la lámpara y el sustrato de 3.5 cm, la cual suponemos lo suficiente pequeña para situarnos en la región de baja velocidad de depósito.

El N_2O y el SiH_4 utilizados tienen un grado de pureza 5.0 semiconductor. Se conoce que la disociación fotoquímica de N_2O requiere de más de 5 eV, es decir a una longitud de onda en el rango de 175-195 nm [3], el SiH_4 no se disocia en este rango de longitudes de onda. Las reacciones químicas que dan lugar a la formación del óxido de silicio son:



El resto de los parámetros para el depósito fueron tomados de las condiciones previamente ajustadas de un equipo de PECVD el cual está instalado en nuestro Laboratorio. La temperatura de depósito fue de 200°C; el flujo del gas de SiH_4 fue de 7.5 y 15 sccm; el flujo de N_2O fue de 15 y 30 sccm para los depósitos aquí reportados. Esto da una razón de 2 en los flujos de los gases reactivos, lo cual parece razonable para poder tener suficiente SiH_4 que reaccione con el oxígeno producido por la fotólisis. De este modo, el control de la reacción está dado por la capacidad para

disociar N_2O . La presión de la cámara se varió entre 133.3 Pa (1 Torr) y 399.9 Pa (3 Torr). Los tiempos de depósito se variaron en el rango de 30 a 90 min.

Como fuente de luz se utilizó una lámpara de deuterio de 30 W con un espectro de longitud de onda entre 200 a 170 nm. El área de incidencia de luz fue aproximadamente de 9.62 cm². Se utilizó una ventana de zafiro para permitir una transmisión de más del 50% de la intensidad de radiación a 170 nm. Las capas fueron depositadas sobre sustratos de silicio tipo P con una resistividad de 10-12 Ω -cm. En la Fig. 1 se muestra un diagrama esquemático de la cámara con dos inyectores de gas, uno para SiH_4 y otro de N_2O , los cuales están localizados cerca del sustrato para formar una cortina de gas.

Los espesores de las capas depositadas fueron medidos por elipsometría y comparadas con los valores de los espesores obtenidos a partir de la capacitancia del óxido de las estructuras MOS medidas en acumulación. Las estructuras MOS fueron preparadas con las capas de óxido depositadas. Primero se depósito aluminio en la parte trasera del sustrato de silicio para asegurar un buen contacto óhmico en la estructura, recociéndose a 450°C en ambiente de H_2 . Después se evaporó cromo como metal de compuerta sobre el óxido (sin tratamiento térmico posterior) y por último se definió por medio de fotolitografía el área de los capacitores.

3. Resultados experimentales y discusiones

Las capas de óxido de silicio fueron crecidas sobre sustratos de silicio a diferentes presiones y tiempos para obtener una curva que relacione el espesor del óxido contra el tiempo de depósito. Varias muestras fueron depositadas bajo las mismas condiciones de depósito para observar repetibilidad.

La tabla 1 muestra las velocidades de depósito promedio obtenidas para diferentes valores de presión en la cámara durante el proceso de depósito.

De la tabla 1 se observa que las velocidades de depósito obtenidas a 199.95 y 266.6 Pa (1.5 y 2 Torr) son las más convenientes para el depósito de capas en el rango de varios nm de espesor. En la Fig. 2 se muestra los espesores obtenidos a diferentes presiones y los valores promedio calculados.

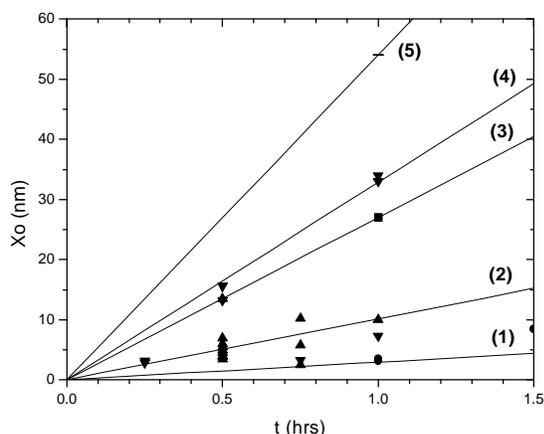


Figura 2. Dependencia del espesor de la capa sobre el tiempo de depósito para diferentes valores de presión. La curva 1 corresponde para una presión de cámara de 133.3 Pa, y flujos de 7.5 sccm de SiH₄ y 15 sccm de N₂O. La curva 2 para 199.9 Pa, 7.5 sccm de SiH₄ y 15 sccm de N₂O, la curva 3 para 133.3 Pa, 15 sccm de SiH₄ y 30 sccm de N₂O, la curva 4 para 266.6 Pa, 7. sccm de SiH₄ y 15 sccm de N₂O y por último la curva 5 para 399.9 Pa, 7. sccm de SiH₄ y 15 sccm de N₂O. Todos los puntos son datos experimentales.

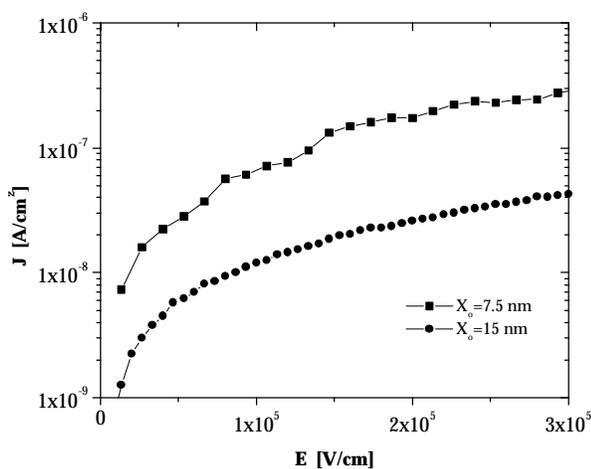


Figura 3. Curvas I-V para estructuras MOS con espesores de 7.5 y 15 nm.

Tabla 1. Velocidad de depósito en función de la presión en la cámara

Presión		Velocidad de depósito promedio [nm/min]
[Pa]	([Torr])	
133.3	(1)	0.08
199.95	(1.5)	0.16
266.6	(2)	0.56
399.9	(3)	0.9

Los procesos de depósito a 1 Torr fueron difíciles de repetir indicando que a esta presión las condiciones de depósito son críticas. Pequeñas variaciones en la presión a velocidades pequeñas de depósito causan una gran diferencia en el espesor final. Se observó que a presiones menores a 1 Torr no hay depósito de SiO₂.

4. Características eléctricas de las capas depositadas

Estructuras MOS fueron fabricadas usando como dieléctrico el SiO₂ depositado mediante el proceso de depósito descrito anteriormente, a 1.5 y 3 Torr. Las estructuras con espesores de hasta 7.5 nm fueron caracterizadas usando las técnicas de C-V e I-V. La Fig. 3 muestra las características de I-V para dos muestras con espesores de óxido de 7.5 y 15 nm.

Las estructuras con 15 nm de espesor de dieléctrico muestran densidades de corriente menores comparadas con aquellas estructuras con espesor de dieléctrico de compuerta de 7.5 nm, como era de esperarse.

La Fig. 4 muestra curvas características de C-V para estructuras MOS teniendo unos espesores de 30 nm (a) y 7 nm (b). Se obtuvieron valores de densidad de estados en la interfaz con una densidad de carga efectiva entre 0.8–3x10¹¹ cm⁻², la cuál se obtuvo mediante la ecuación de bandas planas y la capacitancia del óxido medida por C-V.

5. Conclusiones

Utilizando la técnica de Foto-CVD se obtuvieron velocidades de depósito menores que 0.56 nm/min. Estas bajas velocidades de depósito son adecuadas para el depósito de capas delgadas y ultradelgadas de SiO₂. Las características eléctricas de las capas depositadas se midieron usando las técnicas I-V y C-V, las cuales mostraron una densidad de estados en la interfaz y densidades de corriente del orden a las obtenidas en capas de SiO₂ mediante PECVD pero con velocidades de depósito menores. Otra de las ventajas de utilizar esta técnica de depósito es que se utilizan bajas temperaturas de depósito.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por CONACYT proyecto 34400-A. Queremos agradecer a Olga Gallegos y Enriqueta Aguilar por la preparación de las muestras.

Referencias

[1]. Y. Toyoda, K. Inoue, M. Okuyama, Y. Hamakawa, Jap. J. of App. Phys. **26**, 835 (1987).
 [2]. Y. Tarui, J. Hidaka, K. Aota, Jap. J. of Appl. Phys. **23**, L827 (1984).
 [3]. J.W.Peters, IEDM, 1981,10.5
 [4]. J. Marks R. Robertson, Appl. Phys. Lett. **52** 81 (1988).
 [5]. T. Inushima, N. Hirose, K. Urata, T. Sato and S. Yamazaki, Appl. Surf. Scie. **33/34**, 420 (1988)

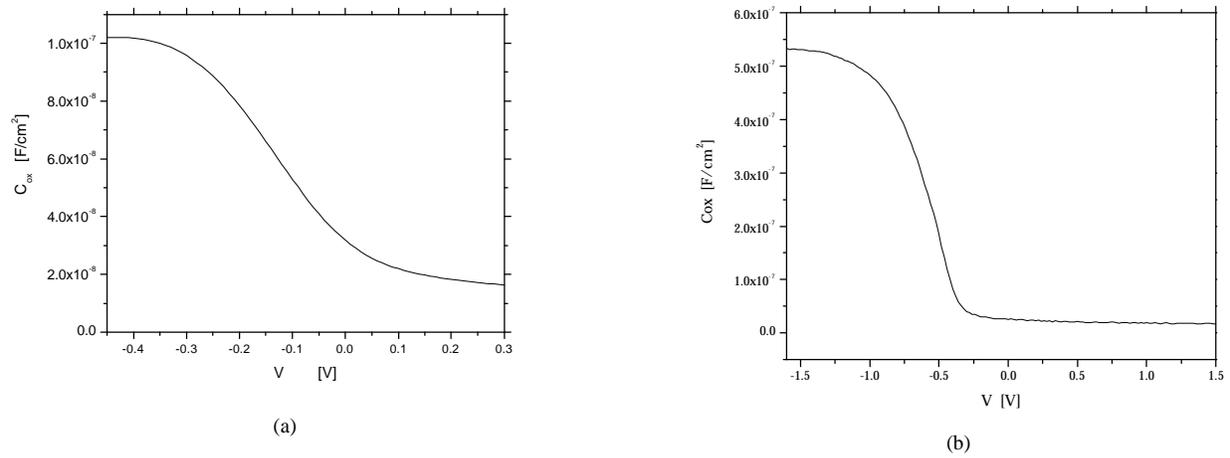


Figura 4. Curvas C-V para estructuras MOS fabricadas con capas de óxido con espesores de 30 nm (a) y 7nm (b).

- [6]. A. Mimura, T. Suzuki, N. Konishi, T. Suzuki, K. Miyata, IEEE Tran on ED **9**, 290 (1988).
- [7]. M. Tsuji, N. Itoh, Y. Nishimura, Jap. J. of Appl. Phys. **30**, 2868 (1991).
- [8]. K. Kurokawa, H. Yanagida, N. Takezoe, Y. Kawasaki, G. Figita, J. Milano, A. Yokotani, "Silica film preparation by chemical vapor deposition using vacuum ultraviolet excimer lamps" Conference on Lasers and Electro-optics, 7-12 May, 2000.