

Caracterización eléctrica de películas delgadas de Al₂O₃ depositadas sobre GaAs por la técnica de rocío pirolítico

CHÁVEZ-RAMÍREZ, J.^{I,II}; AGUILAR-FRUTIS, M.^{III}; BURILLO, G.^{IV}; LÓPEZ-ROMERO, S.^V; ALVAREZ-FREGOSO, O.^V; FALCONY, C.^{VI}; FLORES-MORALES, C.^V

^IFacultad de Química, UNAM, Coyoacán 04510, México DF, México

^{II}ENP-4, UNAM, Miguel Hidalgo 11860, México DF, México

e-mail: jchavezr@correo.unam.mx

^{III}CICATA, IPN, Miguel Hidalgo 11500, México DF, México

e-mail: mfrutis@yahoo.com.mx

^{IV}ICN, UNAM, Coyoacán 04510, México DF, México

e-mail: burillo@nucleares.unam.mx

^VIIM, UNAM, Coyoacán 04510, México DF, México

e-mail: sebas@servidor.unam.mx, oaf@servidor.unam.mx, kafo60@msn.com

^{VI}CINVESTAV, IPN, Apdo. Postal 14-740, 07000 México DF, México

e-mail: cfal@fis.cinvestav.mx

RESUMEN

Se estudiaron las características eléctricas de películas delgadas de óxido de aluminio preparadas por la técnica de rocío pirolítico ultrasónico. Las películas delgadas se depositaron a partir de una solución de acetilacetato de aluminio en N,N-dimetilformamida sobre sustratos monocristalinos de GaAs (100) tipo-p. La temperatura de depósito fue de 300 a 600 °C. Las propiedades eléctricas de las películas en función de la temperatura de sustrato se determinaron por medidas de capacitancia y corriente contra voltaje mediante la incorporación de las películas en estructuras tipo MOS (metal-óxido-semiconductor). La densidad de estados de interfaz resultó del orden de 10¹² 1/eV-cm² y el dispositivo MOS soportó campos eléctricos mayores a 5MV/cm, sin mostrar rompimiento dieléctrico. El índice de refracción se determinó por elipsometría a 633nm, con un valor máximo del orden de 1.64.

Palabras claves: Estructuras MOS, transistor de efecto de campo (FET), materiales dieléctricos, propiedades eléctricas e interfaces.

Electrical characterization of thin films of Al₂O₃ deposited on GaAs by spray pyrolysis technique

ABSTRACT

Electrical characteristics of thin films of aluminum oxide prepared by spray pyrolysis were studied. The films were prepared from solution onto single crystal GaAs (100) substrates at temperatures from 300°C to 600°C. The electrical characteristics of these films as a function of the substrate temperature were determined from the capacitance and current versus voltage measurements of metal-oxide-semiconductor (MOS) structures incorporating them. The interface states density was of the order of 10¹² 1/eV-cm² and the films can stand electric fields higher than 5MV/cm, without observing destructive dielectric breakdown. The refractive index at 633 nm near to 1.64 was measured by ellipsometry.

Keywords: MOS structures, field effect transistor (FET), dielectric materials, electrical properties and interfaces.

1 INTRODUCCIÓN

Los semiconductores de la tabla periódica III-V, ocupan un lugar importante en la industria microelectrónica. Amplificadores, interruptores, moduladores, limitadores de corriente y circuitos integrados de alta velocidad basados en Transistores de Efecto de Campo (FET) de GaAs han sido desarrollados. Las

ventajas básicas de los dispositivos de GaAs incluyen una velocidad y movilidad electrónica alta que conduce a un tiempo de tránsito menor y una respuesta rápida respectivamente, a su vez el sustrato de GaAs reduce capacitancias parásitas y simplifica el proceso de fabricación. Por todo lo anterior surge el interés de estudiar materiales aislantes sobre semiconductores de arseniuro de galio (GaAs) que han llamado la atención en los últimos años debido a las aplicaciones en donde se requiere emplear un consumo de potencia bajo así como un incremento en la complejidad y en la frecuencia de operación de productos de comunicación inalámbrica. La fabricación de una interfaz óxido-GaAs termodinámicamente estable con una baja densidad de estados de interfaz, sin embargo, ha sido uno de los retos más importantes en compuestos semiconductores durante las últimas tres décadas [1]. Por otro lado, el óxido de aluminio Al_2O_3 es considerado como uno de los mejores candidatos para aplicaciones como dieléctrico compuerta ya que es un compuesto muy estable con un alto campo de rompimiento dieléctrico, una alta estabilidad química y resistencia a la radiación respectivamente. En particular, la interfaz $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{InP}$ ha mostrado excelentes resultados en estructuras MOS [2], por lo que, en el presente trabajo nos enfocamos a estudiar la interfaz $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaAs}$ a través de la fabricación de estructuras tipo MOS (Metal-Oxido-Semiconductor) debido a que el GaAs es un material con amplias aplicaciones electrónicas.

Las características ópticas de las películas (índice de refracción y composición química) son parecidas a las reportadas para el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ [5]. También se ha encontrado que las películas soportan campos eléctricos mayores a 5 MV/cm sin observarse rompimiento dieléctrico, así como una densidad de estados de interfaz del orden de 10^{-12} $1/\text{eV}\cdot\text{cm}^2$.

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las películas de óxido de aluminio fueron depositadas sobre sustratos de GaAs monocristalino (100) dopado tipo-p con Zn de alto y bajo dopaje, utilizando la técnica de Rocío Piroclítico Ultrasónico.

Después de clivar los sustratos que fueron del orden de 1 cm^2 , se siguió el proceso de limpieza de los mismos, el cual consistió en lo siguiente: Se les hizo un ataque químico en una solución de $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ con una razón 3:1:1 a una temperatura de 60°C en un tiempo de 90 segundos, seguido de un enjuague en agua desionizada ($18\text{ M}\Omega/\text{cm}$) durante 15 minutos y finalmente un secado en nitrógeno de alta pureza N_2 .

El sistema de depósito consiste de un generador ultrasónico utilizado para la generación del rocío [3, 4], el cual es transportado a través de un tubo de vidrio hacia la superficie del sustrato donde se lleva a cabo la reacción pirolítica. El sustrato se coloca en un baño de estaño que sirve como sistema de calor. El gas transportador del rocío fue aire a una razón de flujo de 8 l/min. Como material fuente se utilizó una molaridad de 3 gramos de acetilacetato de aluminio en 100 mL de dimetilformamida (N, N-DMF). Todas las muestras se depositaron con un vapor de agua paralelo al depósito de las películas. Los depósitos de las películas de óxido de aluminio se hicieron en un intervalo de temperatura del sustrato de 300 a 600°C . Una vez obtenidas las películas de óxido de aluminio se procedió a evaporar térmicamente sobre ellas pequeños contactos metálicos de aluminio con un área de $1.1 \times 10^{-2}\text{ cm}^2$ para formar las estructuras MOS. Las mediciones eléctricas se llevaron a cabo en un sistema automático comercial de medidas de corriente y capacitancia contra voltaje (I-V y C-V) marca Keithley. Una estimación de la estequiometría de las películas se llevó a cabo mediante Espectroscopía de rayos-X Dispersados (EDS) usando un equipo Jeol 6300 Scanning Electrón Microscope (SEM) operado a 3 KeV, además de medidas de elipsometría para determinar su espesor e índice de refracción respectivamente por medio de un elipsómetro marca Gaertner, modelo L117 a una longitud de onda de 633 nm.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las películas de óxido de aluminio depositadas sobre sustratos de GaAs muestran un índice de refracción máximo cercano a 1.64 con una composición química que depende de la temperatura de sustrato.

La figura 1 muestra el comportamiento de la curva de capacitancia contra voltaje en alta y baja frecuencia para una película depositada a temperatura de 400°C sobre GaAs (100), con un contacto metálico de aluminio depositado por evaporación térmica. De estas curvas se obtuvo una constante dieléctrica mayor a 10 en la región de acumulación. La figura 2 muestra el perfil de la densidad de estados de interfaz obtenido a partir de las gráficas de la figura 1. De la figura 2 se determinó que la densidad de estados de interfaz a la mitad de la banda de energías prohibidas (bandgap) es del orden de 10^{-12} $1/\text{eV}\cdot\text{cm}^2$ [5-7], este valor es sin embargo un orden de magnitud mayor que el obtenido cuando el óxido de aluminio es depositado sobre sustratos de InP, usando la técnica de PECVD. En la figura 3, el comportamiento de la corriente en función del voltaje compuerta muestra las propiedades aislantes de las películas de óxido de aluminio, en estas se observa una densidad de corriente del orden de 10^{-10} amp/cm^2 para campos eléctricos mayores a 2 MV/cm, la

cual es debida a la corriente de desplazamiento asociada con el voltaje rampa aplicado a la estructura MOS. Se observa también que a campos eléctricos mayores a 2 MV/cm existe inyección real de carga en la película. Las películas tal como son depositadas soportan campos eléctricos mayores a 5 MV/cm, sin observarse rompimiento dieléctrico [8-10]. De igual forma se encuentra que existe atrapamiento de carga en las películas que se deduce de la separación que existe entre el trayecto de ida y de retorno de la rampa de corriente aplicada.

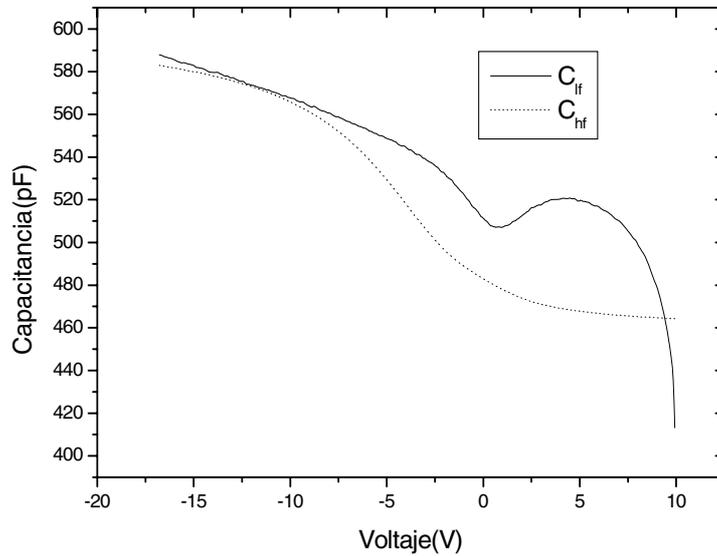


Figura 1: Capacitancia contra voltaje (C-V), en alta frecuencia (línea de trazos), cuasiestática (línea continua) para una película depositada a 400°C.

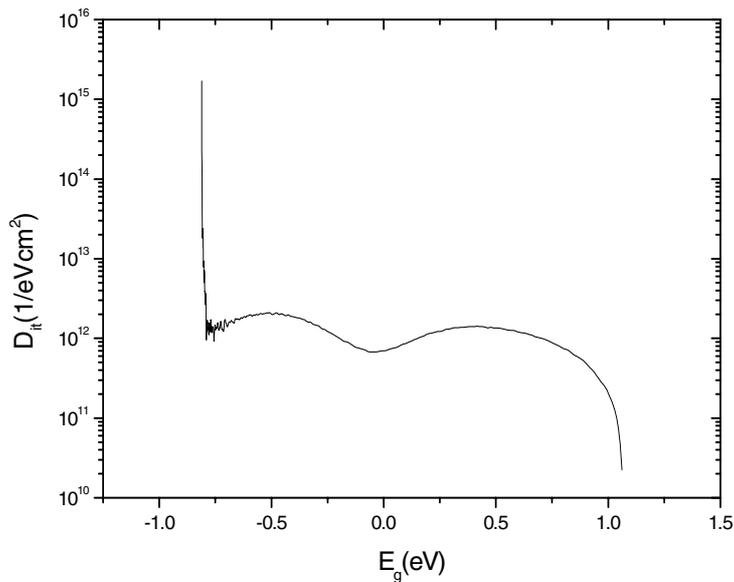


Figura 2: Densidad de estados de interfaz como función del bandgap del GaAs para una película de óxido de aluminio depositada a 400°C

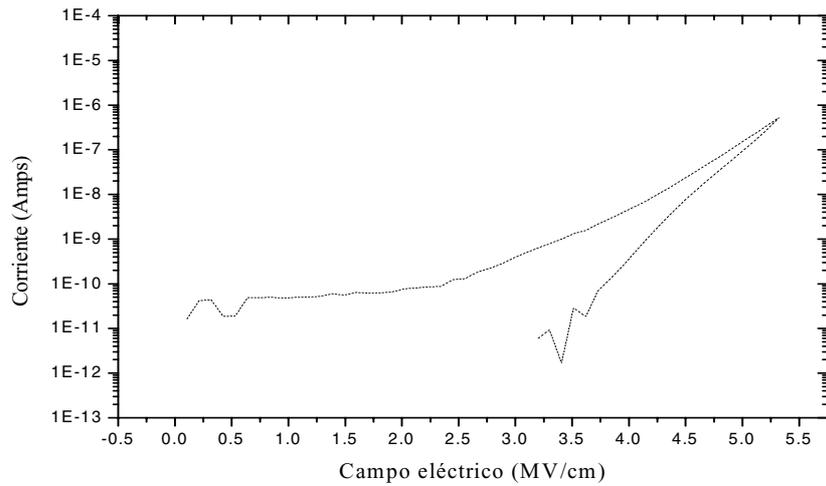


Figura 3: Densidad de corriente como función del campo eléctrico para un capacitor MOS formado con película de óxido de aluminio sobre GaAs a una temperatura de 600°C

La composición química de las películas de óxido de aluminio dependen de la temperatura de sustrato, lo que se muestra en la figura 4. En esta se observa una razón de oxígeno-aluminio cercana al óxido de aluminio estequiométrico ($O/Al = 1.5$) para una temperatura del sustrato de 350°C, luego tiende a aumentar a una razón del orden de 1.2 para una temperatura de 450°C y luego tiende a disminuir. La figura 5 muestra el comportamiento del índice de refracción en función de la temperatura de depósito de las películas de óxido de aluminio. En esta figura se observa que el índice varía de aproximadamente 1.52 a 1.64, el cual es consistente con un óxido de aluminio amorfo de buena calidad, el espesor de las películas es del orden de 1000 Å. Estos valores de la caracterización óptica son similares a los obtenidos por otros autores para películas de óxido de aluminio depositadas sobre silicio [5]. Todos estos resultados obtenidos son de una importancia relevante para el campo de la industria microelectrónica ya que como técnica de depósito se utiliza una técnica barata, y que no hace uso de altos vacíos.

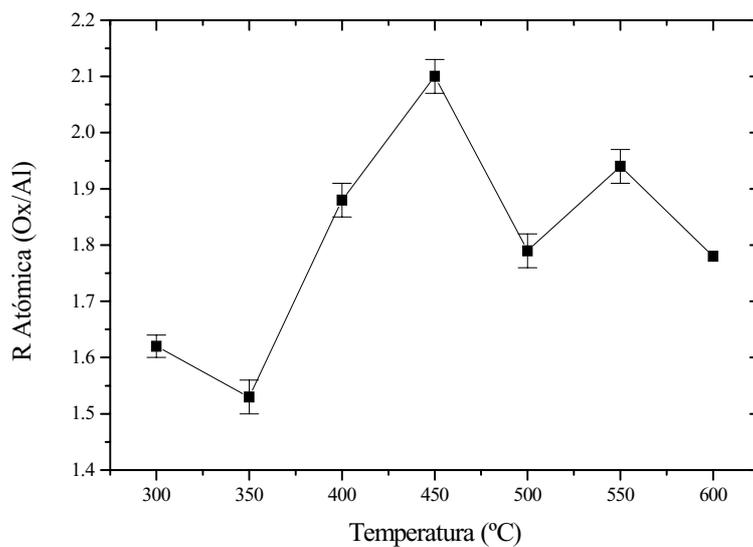


Figura 4: Razón atómica como función de la temperatura para películas de óxido de aluminio depositadas sobre GaAs

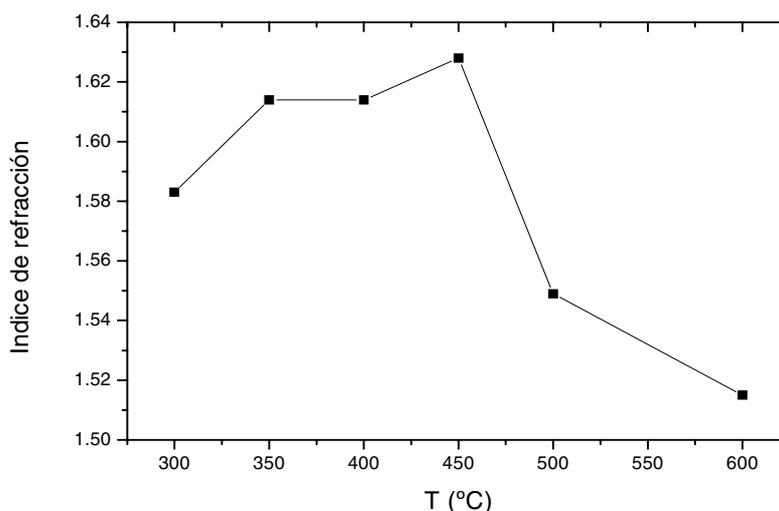


Figura 5: Índice de refracción como función de la temperatura para las películas de óxido de aluminio depositadas sobre GaAs

4 CONCLUSIONES

- 1) Fue posible obtener películas delgadas de Al_2O_3 de buena calidad sobre sustratos de GaAs (100) a partir de acetilacetato de aluminio ($\text{Al}(\text{acac})_3$) y dimetilformamida (N, N-DMF) como materiales fuente, usando la técnica de Rocío Piroclítico Ultrasónico para temperaturas entre 300 y 600°C.
- 2) Para las películas de óxido de aluminio depositadas a las temperaturas de 350 a 450°C, se determinó una constante dieléctrica en acumulación mayor a 10, la cual es el doble de la reportada para el sistema óxido de silicio sobre silicio.
- 3) La densidad de estados de interfaz obtenida es del orden de 10^{12} $1/\text{eV}\cdot\text{cm}^2$, indicando que las corrientes de fuga en dispositivos tipo MOS serán pequeñas, por lo cual, su probable aplicación en circuitos de control es ampliamente recomendado.
- 4) Las películas soportan campos eléctricos mayores a 5 MV/cm, sin ocurrir rompimiento dieléctrico. Esta propiedad dieléctrica es cercana a la reportada para el sistema óxido de silicio sobre silicio. Es importante remarcar que esta interface tiene buenas características dieléctricas únicamente para temperaturas de depósito de las películas de 350 a 450°C.
- 5) Las películas depositadas a 350 y 400°C resultaron con una composición química cercana a la composición química de un óxido de aluminio estequiométrico y con valores de índice de refracción del orden de 1.64, cercanas al índice de refracción reportado por [5] para el sistema óxido de aluminio sobre silicio, lo cual muestra que las películas de óxido de aluminio son de buena calidad y adecuadas para aplicarse como compuertas tipo MOS.
- 6) Finalmente, mencionamos el uso de nuestro sistema de depósito el cual es económico y no necesita altos vacíos.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos hacer patente nuestro agradecimiento a los ingenieros Juan García Coronel, A. B. Soto, Angel Guillén, S. Cortés y R. Pérez por su apoyo técnico. José Chávez-Ramírez fue apoyado por CONACYT-México.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] PASSLACK, M., HONG, M., MANNAERTS, J.P., *Solid-State Electronics*, v. 39, n. 8, pp. 1133-1136, 1996.
- [2] MORIKITA, S., MOTEGI, T., IKOMA, H., *Jpn. J. Appl. Phys.*, v. 38, pp. 1512-L1514, 1999.
- [3] LANGLET, M., JOUBERT, J.C., in *Chemistry of Advanced Materials*, edited by C. N. R. Rao, Blackwell Science, Oxford, England, pp. 55, 1993.
- [4] BLANDENET, G., COURT, M., LAGARDE, Y., *Thin Solid Films*, v. 77, pp. 81-90, 1981.
- [5] AGUILAR-FRUTIS, M., GARCIA, M., FALCONY, C., *Appl. Phys. Lett.*, v. 72, pp. 1700, 1998.
- [6] TIWARI, S., WRIGTH, S.L., BATEY, J., *IEEE Electron Device Lett.*, v. 9, n. 9, pp. 488, 1988.
- [7] OTT, A.W., KALUS, J.W., JOHNSON, J.M., GEORGE, S.M., *Thin Solid Films*, v. 292, pp. 135, 1977.
- [8] ZAININGER, K.H., WAXMANN, A.S., *IEEE Trans. Electron Devices ED.*, v. 16, pp. 333, 1969.
- [9] PATIL, P., BENDALE, D., PURI, R., PURI, V., *Thin Solid Films*, v. 288, pp. 120, 1996.
- [10] KAMIMURA, K., SAKAI, Y., *Thin solid Films*, v. 56, pp. 215, 1979.