

PEQUEÑO REACTOR DE BAJO COSTO PARA DEPOSITAR CAPAS DELGADAS DE POLISILICIO POR EL MÉTODO CVD.

J. Folgueras, L. D. Méndez
Actualmente en el ICID, INSAC.

F. Rodríguez, I. Echevarría, F. Linares, J. Linares y
J. Fontaine.
Centro de Investigaciones en Microelectrónica
CIME, ISPJAE.

RESUMEN

En la actualidad se emplean varios métodos para obtener capas delgadas de silicio policristalino, comúnmente conocido como polisilicio. Una de las técnicas empleadas en la deposición química a partir de la fase gaseosa (CVD), que permite obtener capas de polisilicio con diferente resistividad, así como capas de otros materiales, empleando reactores verticales u horizontales.

En este trabajo se describe un reactor vertical para estos fines y se presentan algunos resultados obtenidos al emplearlo para depositar polisilicio bajo diferentes condiciones de operación. Se concluye que el reactor es útil para obtener capas de polisilicio en condiciones de laboratorio.

ABSTRACT

Actually, several methods are employed for obtaining thin films of polycrystalline silicon, commonly known as polysilicon. One of the techniques used is Chemical Vapor Deposition (CVD), which allows polysilicon films to be obtained with different resistivities, as well as films of other materials, employing vertical or horizontal reactors.

In this work a vertical reactor for these purposes is described and some of the results obtained when using it for the deposition of polysilicon, under different operating conditions are presented. It is concluded that the reactor is useful in laboratory conditions for obtaining polysilicon films.

INTRODUCCIÓN

Como es conocido, el método de deposición a partir de la fase gaseosa -CVD- se aplica para la obtención de capas delgadas de diversos materiales, tanto semiconductores como aisladores y se fundamenta en el empleo de gases que, mediante reacciones químicas o descomposición pirolítica, permiten depositar capas de un material específico sobre un sustrato que se mantiene a alta temperatura⁽¹⁾.

El desarrollo de los circuitos integrados ha estado fuertemente ligado al surgimiento de nuevas tecnologías de fabricación⁽²⁾, a la disponibilidad de nuevos procesos tecnológicos, al perfeccionamiento del equipamiento utilizado o a la combinación de estos factores.

Entre los materiales más usados en microelectrónica se encuentran el óxido de silicio (SiO_2), el polisilicio y el nitruro de silicio (Si_3N_4). Los dos primeros se suelen emplear dopados o no, mediante la adición controlada de impurezas que se pueden mezclar a la corriente de gas y se incorporan a la capa durante el proceso de su deposición.

Aún cuando en la actualidad han cobrado importancia otros métodos para obtener capas de diversos materiales, tales como la deposición a baja presión, conocida como LPCVD⁽³⁾ -Low Pressure CVD- o la deposición a partir de plasma, que se conoce como PCVD -Plasma CVD-⁽⁴⁾, el método de CVD mantiene su vigencia y sigue empleándose abundantemente debido, entre otras causas, a su relativa sencillez.

A continuación se describirá un nuevo reactor vertical de bajo costo, diseñado y construido en el Centro de Investigaciones en Microelectrónica -CIME-, que se ha dedicado a la deposición de capas de polisilicio, mostrándose algunos de los resultados alcanzados mediante su empleo.

Descripción del Reactor

En otro trabajo⁽⁵⁾ se ha descrito la instalación empleada en el CIME con anterioridad, que adolecía de las siguientes limitaciones:

1. área útil de trabajo pequeña, con un diámetro menor que 40 mm,
2. poca homogeneidad en la temperatura del soporte sobre el

cual se colocan las obleas, debido a la existencia de puntos calientes,

3. fragilidad, por tratarse de un sistema de vidrio.

Por ello se planteó como objetivo diseñar un reactor que permitiera mejorar los aspectos anteriormente señalados e hiciera posible una operación más confiable, para lograr lo cual se partió de la concepción de lograr una instalación resistente, simple y segura.

El reactor, de tipo vertical, se concibió tal como se muestra en la Fig. 1, con calentamiento del sustrato por resistencias y con un área útil de la zona de trabajo de un diámetro aproximado de 80 mm. La cubierta o campana, de acero inoxidable, se enfría mediante agua a presión, que circula por un tubo de cobre soldado a la superficie externa de aquella.

Los gases se introducen en la cámara de reacción por la parte superior y su salida al exterior se efectúa a través del plato metálico mostrado en la misma figura. El ajuste entre la campana y el plato se garantiza con un sello elástico de sección circular ("O-Ring") y cuatro piezas de fijación no mostradas en la figura. La marcha del proceso de deposición puede ser observada continuamente a través de un visor o mirilla con doble pared de vidrio enfriada por agua.

Dentro del soporte del calefactor se ha dispuesto una salida para los gases que puedan producirse durante el proceso, producto del calefactor, el soporte, etc. En la Fig.2

se ha representado una sección del sistema de calefacción, donde se pueden apreciar sus diferentes partes, entre ellas la resistencia de Kanthal enrollada en espiral.

Los sustratos sobre los cuales se realizará la deposición se colocan sobre el soporte de níquel, que se muestra en la misma figura. La parte inferior de éste se encuentra en contacto estrecho con la resistencia de calentamiento, colocada dentro del soporte de material refractario, de forma que se garantiza una máxima radiación del calor hacia el níquel. Sobre el plato que soporta la campana metálica se fija además la estructura anterior, mediante un cilindro de cuarzo con un diámetro de 100 mm y un sistema metálico de soporte. No se ha representado en la Fig. 2 los dos pases metálicos enfriados por agua que alimentan la resistencia con energía eléctrica; ambos se encuentran dentro del cilindro de cuarzo y permiten la comunicación con el exterior.

El sistema de alimentación, mezcla y distribución de los gases empleados es convencional y garantiza la purga de las tuberías que así lo requieran, por lo cual no se ha representado. Se han previsto facilidades para añadir gases como diborano, fosfamina o arsenamina a la mezcla gaseosa, para depositar capas dopadas tipo P o N. Igualmente es posible la deposición de SiO_2 empleando la instalación.

El sistema de calentamiento se alimenta mediante un transformador de 4 kVA, con un voltaje a circuito abierto en el

secundario igual a 50 V, diseñado para este fin. La potencia se regula mediante un rectificador bidireccional controlado (TRIAC), colocado en serie con el primario del transformador y controlado por un sistema regulador de temperatura por banda proporcional⁽⁶⁾. El elemento captador es un termopar de Pt-Pt/Rh 13%, introducido en el plato de níquel, tal como se muestra en la Fig. 2.

Obtención de capas de Polisilicio

Como parte de la evaluación del reactor se depositaron capas de polisilicio a partir de una mezcla comercial de argón y silano ($\text{Ar}/2\% \text{SiH}_4$), empleando argón como gas portador para diferentes regímenes de flujos de los gases, temperatura y tiempos de deposición.

Todos los sustratos utilizados fueron láminas de silicio tipo N, con resistividad de 3 a 6 Ohm-cm y orientación cristalográfica (111), oxidadas en oxígeno seco a 1050°C durante 50 minutos para obtener una capa de óxido con un espesor de 125 nm.

Como paso previo a la deposición se realizó el calentamiento del reactor a la temperatura de trabajo, en atmósfera de argón con un flujo de 8 ℓ/min o mayor. Una vez colocado el sustrato a depositar y antes de elevar la temperatura se mantuvo el flujo de argón durante cinco minutos. Después que el sustrato alcanzaba la temperatura de deposición se introducía la mezcla de $\text{Ar}/\text{Ar} + 2\% \text{SiH}_4$ y al trans-

currir el tiempo deseado se efectuaba una purga rápida de todo el sistema para eliminar el silano del interior de la campana. En todos los casos el enfriamiento se llevó a cabo manteniendo un flujo de argón de 2 ℓ/min .

El espesor de las capas depositadas se determinó empleando el método de la perforación esférica⁽⁷⁾, aunque para los espesores más pequeños se utilizó un equipo Tally-Surf (Rank, Taylor & Hobson, Inglaterra).

En la Fig. 3 se muestran algunos de los resultados obtenidos para dos flujos diferentes de la mezcla $\text{Ar} + 2\% \text{SiH}_4$, manteniendo constantes el flujo de gas portador y la temperatura del sustrato. Para los dos casos mostrados las velocidades de deposición obtenidas fueron de 150 nm/min (0,15 $\mu\text{m}/\text{min}$) y 30 nm/min (0,03 $\mu\text{m}/\text{min}$) respectivamente, que hacen posible la obtención de capas de polisilicio con un espesor adecuado para las compuertas de los dispositivos MOS empleados en circuitos integrados, en tiempos que permiten controlar el espesor de la capa satisfactoriamente.

Las capas obtenidas son insensibles a la acción del HF y del atacante tampón (buffer) empleados en microelectrónica, y se atacan a una temperatura de 22°C con una velocidad aproximada de 200 nm/min en una solución de $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$, en la proporción 1:50:40, sin ultrasonido.

Una de las láminas depositadas, con un espesor de 1,3 μm se sometió a un recocido en nitrógeno durante 15 minu-

tos a una temperatura de 1150°C, difundiendo posteriormente con boro a 1025°C durante 30 minutos. La medición de la resistencia de capa empleando el método de las cuatro puntas arrojó un valor promedio de 120 Ohm, con valores máximo y mínimo de 160 Ohm y 100 Ohm respectivamente, lo que se considera aceptable⁽⁸⁾.

El polvo depositado en el interior de la campana se analizó mediante espectrometría de emisión, detectándose la presencia de Fe en concentraciones entre 100 y 30 ppm, lo que se atribuye al acero inoxidable de que está construida. No se pudo detectar el efecto del Fe sobre la resistividad de las capas sin difundir, lo que permite suponer que no contienen este elemento o su concentración es mucho menor que la indicada anteriormente.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha descrito un reactor vertical pequeño, diseñado y construido en el CIME (Centro de Investigaciones en Microelectrónica), que ha sido destinado a la deposición de capas de polisilicio. Sus características son tales que permiten la obtención de capas de polisilicio y óxido de silicio sin adición de impurezas, aunque es igualmente posible obtenerlas con impurezas incorporadas durante el proceso de deposición, así como emplearlo para la deposición de capas de nitruro de silicio.

Las velocidades de deposición obtenidas permiten el em-

pleo de capas de polisilicio del espesor típicamente empleadas en la fabricación, a escala de laboratorio, de circuitos integrados MOS.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento al Lic. Gastón Mora por el análisis espectrométrico y a la Lic. Teresa Álvarez, Ing. Luis A. Powell e Ing. Ricardo Pérez por su colaboración en distintas etapas de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Grove, A.S.:
"Physics and Technology of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1967.
2. Vadasz, L.L.; A.S. Grove.:
"Silicon Gate Technology", IEEE Spectrum, Vol. 6, 10, pp. 28-35, Oct. 1969.
3. Shuegraf, K.K.:
"Chemical-Vapor-Deposition Technology for Integrated Circuit Manufacturing", Microelectronic Mfg. and Testing, pp. 35-37, Jun. 1981.
4. McMullen, J.J.:
"Plasma Chemical Vapor Deposition", Microelectronic Mfg. and Testing, pp. 38-39, Jun. 1981.

5. Rodríguez, F.:

"Fabricación de transistores y circuitos integra dos MOS con compuerta de silicio", Rev. Ciencias Técnicas, Electrónica, No. 3, Ago. 1978.

6. Cerdeira, A.; M. Estrada, M. Hernández.:

"Construcción de hornos y sus controles de tempe ratura para el desarrollo de la tecnología pla nar", Monografías Ciencias, Univ. de La Habana, Serie 2-Física, No. 4, Mar. 1972.

7. Martínez, O., F. Linares.:

"Medición de la profundidad de uniones P-N utili zando perforación esférica", Rev. Ciencias Técni cas, Electrónica, No. 3, Ago. 1978.

8. Jund, C. et al.:

"Etude de la Technologie Grille en Silicium pour les Circuits a Transistors MOS", Compte Rendu Final. 1970.

Recibido: 21-9-82.

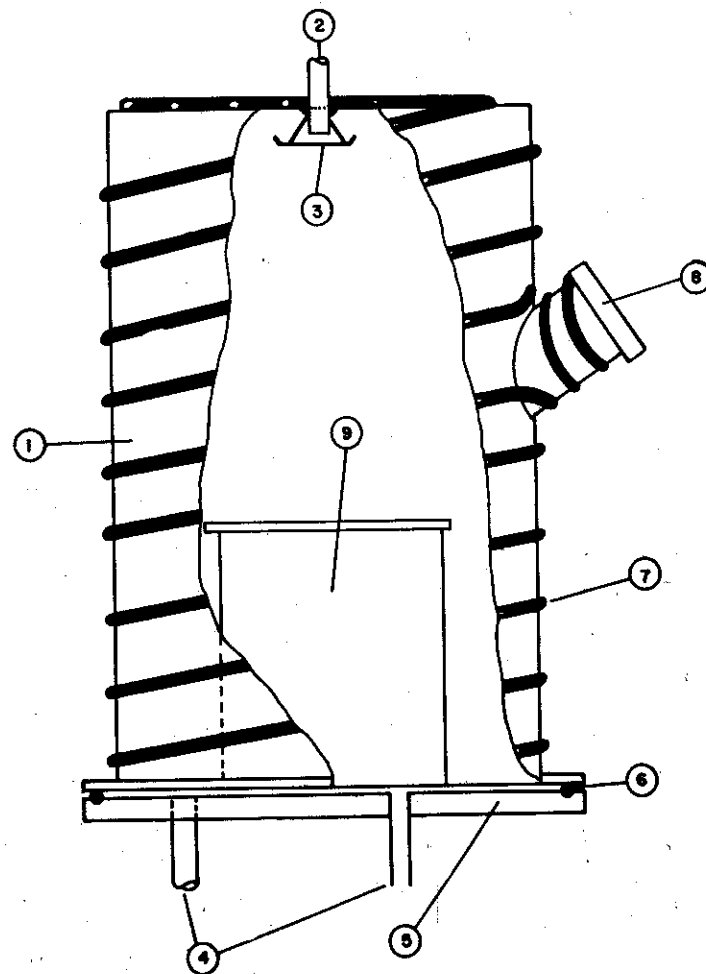


Fig. 1 Vista seccionada del reactor mostrando sus diferentes partes. 1: campana de acero inoxidable, 2: entrada de los gases, 3: difusor de níquel, 4: salida de los gases, 5: plato de acero inoxidable, 6: junta elástica de sección circular, 7: tubería de enfriamiento, 8: mirilla enfriada por agua, 9: soporte y elemento de calefacción.

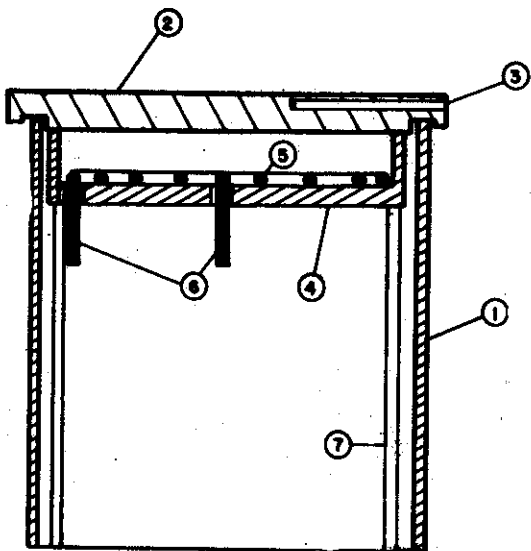


Fig. 2 Vista en sección del soporte de níquel y elemento calefactor. 1: cilindro de cuarzo, 2: soporte de níquel, 3: orificio para el termopar, 4: soporte de material refractario, 5: resistencia de calentamiento, 6: puntos de conexión de la alimentación eléctrica, 7: soporte metálico.

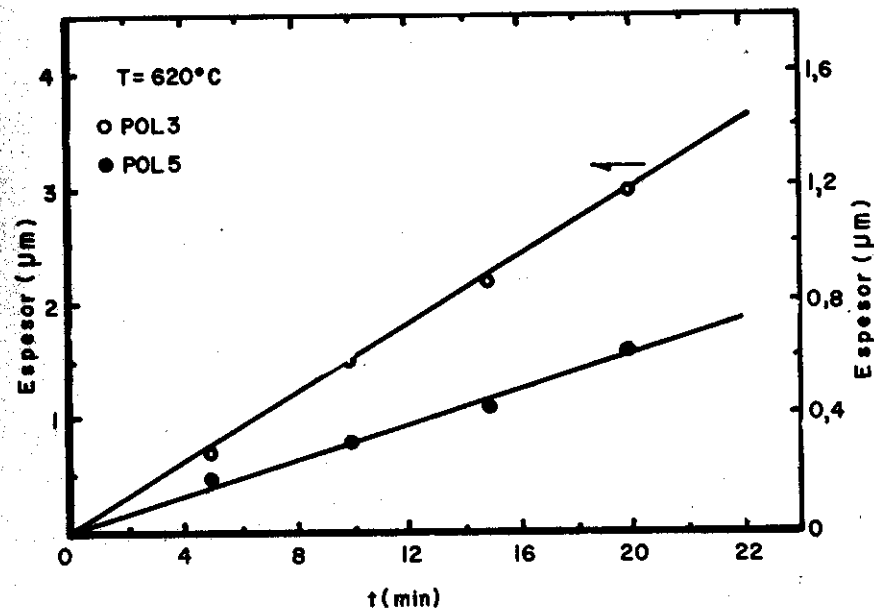


Fig. 3 Variación del espesor de la capa de polisilicio depositada en función del tiempo de deposición. La muestra POL-5 se depositó empleando un flujo de 220 ml/min de la mezcla Ar/2% SiH₄, mientras que la POL-3 se obtuvo con un flujo de 650 ml/min. En ambos casos se empleó Ar como gas portador, con un flujo de 4 l/min.