

## CAMBIA-MASCARILLAS PARA USO EN LA FABRICACION DE JUNTAS TUNEL

M.A. Ocampo\*, J.L. Heiras, R. Escudero<sup>†</sup>  
y T.A. Will

Instituto de Investigaciones en Materiales, U.N.A.M.

Apartado Postal 70-360, Cd. Universitaria.

México 20 D. F.

(recibido febrero 12, 1981; aceptado mayo 12, 1981)

### RESUMEN

Se ha diseñado y construido un dispositivo para cambiar, externamente a una evaporadora, las mascarillas que definen la geometría de las películas delgadas utilizadas en juntas túnel. Este aparato permite la evaporación de una secuencia de películas sobre un sustrato sin necesidad de exponer la junta túnel al ambiente. Las juntas fabricadas así tienen un alto grado de reproducibilidad en cuanto a las propiedades de la barrera aislante. Además, usado en conjunción con un sistema de ultra alto vacío, el dispositivo permitiría la formación controlada de interfaces entre películas de diferente geometría, de utilidad en estudios de la física de superficies.

### ABSTRACT

A device to change masks without breaking the vacuum has been designed and built. Such masks are used in defining the geometry when one evaporates thin films to make tunnel junctions. The device allows evaporation in sequence of films onto a single substrate without having to expose the tunnel junction to the environment. Junctions produced in such controlled conditions have a high degree of reproducibility on their properties, specially those of the insulating barrier. Furthermore, if the device were to be used on an ultra-high vacuum system one could control the formation of interfaces which are of great interest on surface physics studies.

---

\*Dirección actual: Department of Physics, Univ. of Alberta, Edmonton, Alberta, Canadá T6G 2J1.

†Dirección actual: Department of Physics, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá N2L 3G1.

## INTRODUCCION

La sensibilidad de espectroscopía por medio de tunelaje electrónico<sup>(1,2)</sup> es tal, que para muchos propósitos la fabricación de juntas túnel tiene que realizarse bajo un control estricto de condiciones, tanto de evaporación como de oxidación y envenenamiento. Por ejemplo, en los estudios de tunelaje inelástico<sup>(3)</sup> es indispensable controlar rigurosamente la contaminación indeseada para no opacar los espectros de las moléculas bajo investigación<sup>(4)</sup>. Cualquier factor fuera de control en el proceso de fabricación puede resultar en juntas inadecuadas al propósito específico del experimento y, en todo caso, conduciría a un porcentaje inaceptable de juntas inservibles debido a que su conductancia nominal caiga fuera del intervalo para el cual el circuito de medición fue diseñado<sup>(5)</sup>.

En muchos laboratorios de tunelaje la apertura de la evaporadora de alto vacío, para cambiar las mascarillas que definen la forma geométrica de las películas delgadas, es el paso que introduce más factores aleatorios en la estructura y la composición de la barrera y de la interface barrera/electrodo. En particular, nuestro análisis conduce a la conclusión de que esta acción ha sido la causa principal de juntas inservibles en nuestro laboratorio.

Para evitar las condiciones variables ocasionadas por la abertura de la campana, hemos diseñado y construido un sistema cambia-mascarillas que permite evaporar secuencialmente hasta seis películas delgadas de diferente forma, sin necesidad de romper el vacío. De esta manera se reduce notablemente la variación azarosa en las características de juntas preparadas bajo condiciones similares y se fabrican secuencias de juntas sobre el mismo sustrato, todas teniendo barreras esencialmente iguales.

Cabe mencionar que se pueden conseguir comercialmente sistemas de cambia-mascarillas. Sin embargo, se estimó conveniente diseñar y construir un sistema que se adapte perfectamente a la evaporadora disponible, satisfaciendo a la vez los requerimientos específicos de la fabricación de juntas túnel de diversos tipos.

A continuación describiremos el cambia-mascarillas y su funcionamiento. Presentaremos asimismo algunas evidencias atestiguando la reproducibilidad de las características obtenidas en juntas fabricadas con este dispositivo.

## DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL CAMBIA-MASCARILLAS

El porta-mascarillas consiste esencialmente de una placa perforada, en la que están colocadas las mascarillas, con un eje de soporte y control externo (véase la Fig. 1). Asociado está el porta-substratos, fijo directamente encima de la fuente de evaporación, y diseñado especialmente para que embone en él perfectamente bien la mascarilla elegida. También importantes en la fabricación en forma controlada de juntas túnel son los siguientes dispositivos: (i) Torrete giratorio de fuentes de evaporación, controlado desde afuera de la campana de vacío. Este permite la evaporación de hasta seis diferentes sustancias, colocando directamente debajo del substrato la fuente seleccionada a unos 20 cm de distancia. La contaminación de una fuente debido a las emisiones de otras se evita colocando chimeneas de Pyrex alrededor de cada fuente. (ii) Obturador, que permite depositar la película sobre el substrato una vez establecida la rapidez ( $\text{Å}/\text{seg}$ ) deseada de evaporación. (iii) Monitor piezoeléctrico (Sloan Technology Corp. modelo DIM-4) de espesor de películas. (iv) Electrodo anular para lograr una descarga eléctrica uniforme alrededor de la junta. Esta descarga puede hacerse con un gas inerte y se usa para limpiar superficies;  $\text{O}_2$  ó  $\text{N}_2$  se usa para formar la barrera aislante. Cobre fue elegido como material del aro porque en una descarga de  $\text{O}_2$ , este metal chispea despreciablemente en comparación con otros metales usados como electrodos<sup>(6)</sup>. (Tal chispeo resulta en óxidos finamente perforados, lo que conduce a juntas túnel con puentes metálicos conectando los electrodos). Los dispositivos aquí descritos están instalados en una evaporadora Edwards, modelo 19E7.

La idea central en el funcionamiento del porta-mascarillas consiste en los dos movimientos (longitudinal - en este caso, vertical - y giratorio) que puede tener una barra - el eje - que cruza un atravesador a prueba de fugas. Tal atravesador forma parte del equipo de la evaporadora; el sello se logra con dos arosellos a presión contra la barra, utilizando un diseño similar al descrito en la Ref. 7. Esta combinación de movimientos permite colocar y retirar las mascarillas de una cavidad practicada al porta-substratos. Esta forma de acoplamiento (véase la Fig. 2) fue determinada por la restricción fundamental sobre el diseño, en el sentido de que la mascarilla en uso tendría que hacer

un contacto perfecto con el sustrato, a fin de lograr una definición perfecta de los bordes de las películas. Todas las piezas salvo los resortes son de acero inoxidable, escogido por su bajo desprendimiento de materiales aun en la presencia de una descarga eléctrica, por sus características de rigidez, dureza y elasticidad, y porque entre superficies lisas en vacío hay poca fricción.

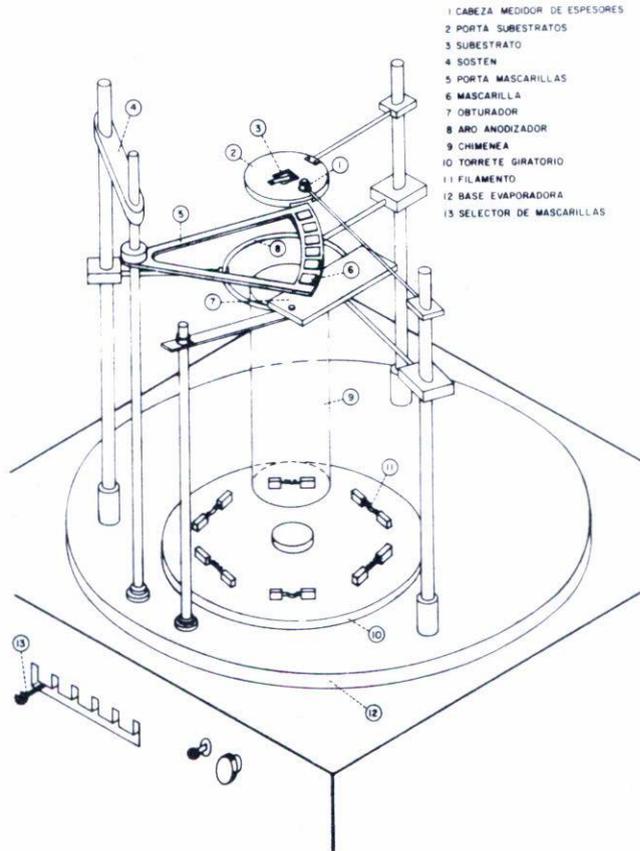


Fig. 1 La disposición de aparatos en la campana de la evaporadora. El cambia-mascarillas consiste del porta-mascarillas y el porta-substrato, cuyo funcionamiento y operación se describen en el texto. Otros dispositivos incluyen: torrete giratorio de las fuentes de evaporación; obturador; monitor de espesores; electrodo anular.

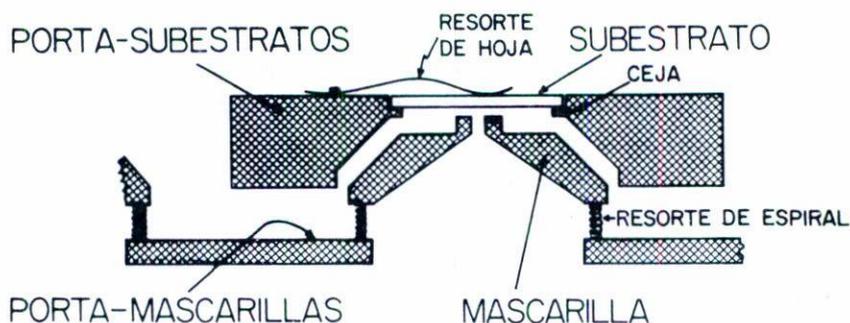


Fig. 2. Detalle de una mascarilla, mostrando cómo se soporta por medio de resortes encima de la placa del porta-mascarillas y su manera de enchufarse en el porta-substratos. En la posición para evaporar, el substrato descansa sobre los bordes elevados de la mascarilla, contrapresionado por el resorte de hoja.

A continuación se describen las piezas.

El porta-substratos tiene forma de un disco; se ha practicado en él un agujero de la forma del substrato en donde descansa éste sobre cuatro pequeñas y delgadas cejas, presionando el substrato por un resorte de hoja. Las paredes del agujero están inclinadas para lograr el perfecto asentamiento de la mascarilla, asegurando así contacto entre el substrato y las partes de la mascarilla que definen la forma de la película evaporada.

Las mascarillas están dispuestas uniformemente en un arco sobre la placa del porta-mascarillas, cada una sostenida encima de un agujero por medio de cuatro resortes de espira. Los resortes, que dan una necesaria flexibilidad al enchufar una mascarilla en el agujero del porta-substratos, se embonan tanto en las mascarillas como en la placa por medio de clavitos pegados a su vez a cada extremo del resorte con epoxy de baja presión de vapor. Las paredes inclinadas de las mascarillas permite guiarlas al entrar en el agujero del porta-substratos.

La placa de la porta-mascarillas está sujeta rígidamente a una barra que sirve como soporte y proporciona los movimientos mencionados anteriormente. El atravesador a prueba de fugas en la base de la evaporadora y un sostén en el extremo superior de la barrera permiten su movimiento vertical y giratorio, eliminando movimientos laterales. Como

se notó anteriormente, esta combinación es suficiente para retirar una mascarilla y posicionar otra. Además la placa puede girarse a una posición alejada del porta-substratos para evitar asimetrías en la descarga eléctrica alrededor de la junta.

Para seleccionar la mascarilla deseada desde el exterior se fijó un vástago a la parte inferior del eje, por debajo de la base de la evaporadora. El selector tiene forma de un peine; al entrar el vástago en una ranura se determina cuál mascarilla se enchufa en el porta-substratos. Por debajo de las ranuras del selector hay una vía conectando todos; cuando el vástago está en la vía la placa gira libremente.

El aparato construido consiste de seis mascarillas, permitiendo así la preparación de hasta cinco juntas túnel sobre un mismo substrato. El establecimiento de condiciones óptimas en la fabricación de juntas es posible puesto que se han eliminado los factores azarosos introducidos anteriormente al abrir la campana. En particular, un investigador experimentado tiene un rendimiento de casi 100% de juntas de buenas características, mientras que sin el sistema de cambia-mascarillas el rendimiento era del orden de 40%.

En un trabajo<sup>(8,9)</sup> diseñado para observar el efecto de la rapidez de la evaporación de la sobrecarga en juntas de Al/óxido/Pb, se evaporó el Pb con una diferente rapidez en cada una de cinco tiras depositadas sobre un electrodo común de Al oxidado. En las juntas de control, evaporadas con la misma rapidez (dentro de  $\pm 1.5\%$ ), la conductancia diferencial a polarización cero variaba sólo en un intervalo de  $\pm 10\%$ <sup>(10)</sup>. A manera de comparación, el efecto de variar la rapidez de evaporación de Pb en un orden de magnitud es el de modificar la conductancia a polarización cero en un factor de tres. (Pb, por su gran tamaño atómico, produce un efecto bastante reducido en comparación con otros electrodos de menor tamaño atómico)<sup>(11)</sup>.

Quizá una mejor indicación del grado de control logrado sea en función de la extrema sensibilidad de la conductancia diferencial de una junta túnel al espesor efectivo de la barrera aislante<sup>(12)</sup>. Una modificación de sólo 1 Å en el espesor efectivo en una barrera típica (de 15 Å) resulta en un cambio en la conductancia de más de un orden de magnitud. En las juntas de control mencionadas, pues, las variaciones en el espesor efectivo de las barreras preparadas sobre un mismo substrato se

mantienen debajo de un décimo de Å. En cambio, si la junta es expuesta al ambiente antes de evaporar la sobrecapa, H<sub>2</sub>O y otros contaminantes (especialmente hidrocarburos) pueden ser quemisorbidos en la barrera aislante, produciendo grandes cambios de conductancia<sup>(13)</sup>. Aun si la junta ya formada es expuesta al ambiente, la infusión de contaminantes a través de la sobrecapa (en la presencia de H<sub>2</sub>O) puede reducir la conductancia a polarización cero en un factor de 10 ó más<sup>(14)</sup>.

#### CONCLUSIONES

El cambia-mascarillas descrito, usado en conjunción con otros dispositivos en una evaporadora, permite eliminar los factores azarosos que surgen en la fabricación de juntas túnel al romper el vacío antes de completar la junta. Con este dispositivo se logra un control riguroso sobre las características de las juntas fabricadas, permitiendo la realización de estudios de espectroscopía por tunelaje inelástico y alcanzando un alto rendimiento de juntas servibles.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las contribuciones teóricas de R. Barrio y las técnicas de A. Estrada e I. López.

#### REFERENCIAS

1. Wolf, E.L., Nonsuperconducting Electron Tunneling Spectroscopy en Solid State Physics, Academic Press (Nueva York), 30, p.1-91 (1975).
2. Hansma, P.K., Inelastic Electron Tunneling en Physics Reports, North Holland Publishing Co. (Amsterdam), 30C, p. 145-206 (1977). véase especialmente la sección 5.1.
3. Lambe, J. y Jaklevic, R.C., Phys. Rev. 165, (1968) 821.
4. Magno, R. y Adler, J.G., Phys. Rev., B13 (1976) 2262.
5. Will T.A. y Heiras J.L., Rev. Mex. de Fís., 23 (1974) FA30.
6. La importancia de usar cobre como electrodo nos fue indicada por Adler, J.G.
7. Adler, J.G. y McClung, H.A., J. Vac. Sci. and Tech., 7 (1970) 558.
8. Ocampo, M.A. Efectos de la Rapidez de Evaporación de la Sobrecapa en Juntas Túnel Al-Óxido-Pb, tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. Dic. 1979.
9. Ocampo, M.A., Heiras, J.L. y Will, T.A., J. Appl. Phys., por publicarse.
10. En juntas con recocido térmico de más de 25 min. a 300°K.
11. Handy, R.M., Phys. Rev., 126 (1962) 1968.

12. Brinkman, W.F., Dynes, R.C. y Rowell, J.M., J. Appl. Phys., 41 (1970) 1915.
13. Magno, R. y Adler, J.G., Surf. Sci. Lett., 77 (1978) L250; J. Appl. Phys., 49 (1978) 4465.
14. Heiras, J.L., "Estudios de Infusión con Espectroscopía por Tunelaje Electrónico Inelástico", tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, Mayo 1980.