

Nuevo método para realizar experimentos de tunelaje electrónico en materiales de forma irregular o en estado cristalino: el caso del 1T-TaS₂

D. Mendoza

Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 70-360, 04510 México, D.F.

(recibido el 30 de octubre de 1986; aceptado el 11 de marzo de 1987)

Resumen. En este trabajo se presenta un nuevo método para poder realizar experimentos de tunelaje electrónico en materiales que estén en estado cristalino, tengan forma irregular o que sea muy difícil su evaporación para poder formar películas delgadas. El método consiste en usar un aceite de bomba de difusión a base de silicatos como la barrera aislante, mercurio como uno de los electrodos y el material en estudio como el otro electrodo. El método se aplica al caso particular del 1T-TaS₂ para rastrear la evolución con la temperatura de la brecha de ondas de densidad de carga.

Abstract. A new method to be able to measure the tunneling characteristic of junctions made with materials in crystalline state, irregular form or very difficult to evaporate is presented. This method is based on the use of diffusion pump fluid (a silicone fluid) as an insulator barrier, along with mercury as one of the electrodes of the junction and the material in study as the other one.

As an application of this method, the evolution with the temperature of the charge-density wave gap of the 1T-TaS₂, is measured.

PACS: 71.20.-b; 73.40.Qv; 71.30.+h

1. Introducción

Es conocido que la técnica de tunelaje electrónico ha surgido como una herramienta poderosa para el estudio del espectro de excitacio-

nes elementales en sólidos [1,2,3]. Comúnmente las juntas túnel son fabricadas con películas delgadas obtenidas por evaporación y como barrera de potencial un óxido es crecido sobre una de las películas.

Por ejemplo, por la dureza y uniformidad del Al_2O_3 , se usa aluminio como uno de los electrodos de la junta; exponiendo esta película a una atmósfera de oxígeno, se forma una capa delgada de óxido y luego se deposita sobre el óxido el otro material que se desea estudiar. Si el grosor del óxido está dentro del orden de 10 Å a 30 Å, aproximadamente, la intersección de la película de Al y la del material en estudio es la junta túnel. El grosor del óxido se regula mediante el tiempo de exposición a la atmósfera oxidante y la temperatura del sustrato. Existe otro método para formar la barrera de potencial entre los dos electrodos que es el de evaporar directamente un aislante eléctrico adecuado sobre una de las películas; el inconveniente más grande que tiene este método es el de no poder obtener películas delgadas uniformes ya que, en el orden del grosor requerido, las películas están formadas de cúmulos de material separados entre sí [4], y esto puede provocar problemas de corto circuito entre los dos electrodos.

Un problema más grave existe cuando el material en estudio es muy difícil de evaporar o si este material está en estado cristalino. En este trabajo se expone un método simple para fabricar juntas túnel con materiales en forma cristalina; aun si éstos tienen una forma irregular.

En lo que sigue se describirá tal método y su aplicación al caso particular del 1T-TaS₂ en la medición de la evolución con la temperatura de la brecha de ondas de densidad de carga.

2. Descripción del método y aplicación

El método consiste en el uso de mercurio como uno de los electrodos de la junta túnel y una mezcla de hexano con aceite de silicatos de bomba de difusión (H-AS) como barrera aislante¹ Este

¹ Se podría usar por ejemplo: *Dow Corning 704 Diffusion Pump Fluid (A Silicone Fluid)*.

aceite tiene la característica de formar capas muy delgadas sobre superficies, dependiendo el grosor de qué tanto es diluido en algún solvente adecuado (hexano). En el caso tratado aquí se ha usado una solución 1:1 en volumen de hexano y aceite.

Una vez puestos los contactos eléctricos adecuados sobre la muestra en estudio se baña ésta con la solución H-AS, inmediatamente el hexano se evapora y la muestra queda cubierta por una capa de aceite. La muestra preparada de esta manera es sumergida en el mercurio teniendo cuidado de no hacer cortos eléctricos con las regiones no cubiertas por el aceite; la posible junta túnel puede ahora ser medida (ver Fig. 1). Es claro que aunque la muestra tenga forma irregular, el mercurio en estado líquido se acomodará de acuerdo al contorno que tenga dicha muestra.

Algunas veces la junta puede tener muy baja resistencia, en este caso se tiene que bañar nuevamente la muestra con la solución H-AS; cuando se tiene el caso opuesto, alta resistencia eléctrica, se puede probar otra solución H-AS con más hexano que en la solución 1:1.

A temperatura ambiente uno puede obtener una característica eléctrica adecuada de la junta túnel y entonces comenzar a bajar la temperatura. En el caso que se reporta aquí se usó un termo con doble camisa; en el bote exterior se puso nitrógeno líquido y en el interior la muestra en atmósfera normal; de esta manera la temperatura empieza a bajar lentamente pudiéndose regular ésta subiendo o bajando la varilla porta-muestra.

Usando la técnica de modulación [5] se midió la resistencia diferencial contra voltaje de la junta; una curva típica aparece en la figura 2.

De acuerdo a la interpretación que dieron Esaki y colaboradores [6] a este tipo de curvas, cambios bruscos en la curvatura o mínimos en las curvas de resistencia contra voltaje son tomadas como bordes de banda; esto es, de hecho, una generalización de la interpretación de las curvas R contra V de juntas túnel hechas con superconductores.

El $1T-TaS_2$ que se está tratando como caso particular, pertenece a la familia de los dicalcogenuros y es un compuesto laminar que

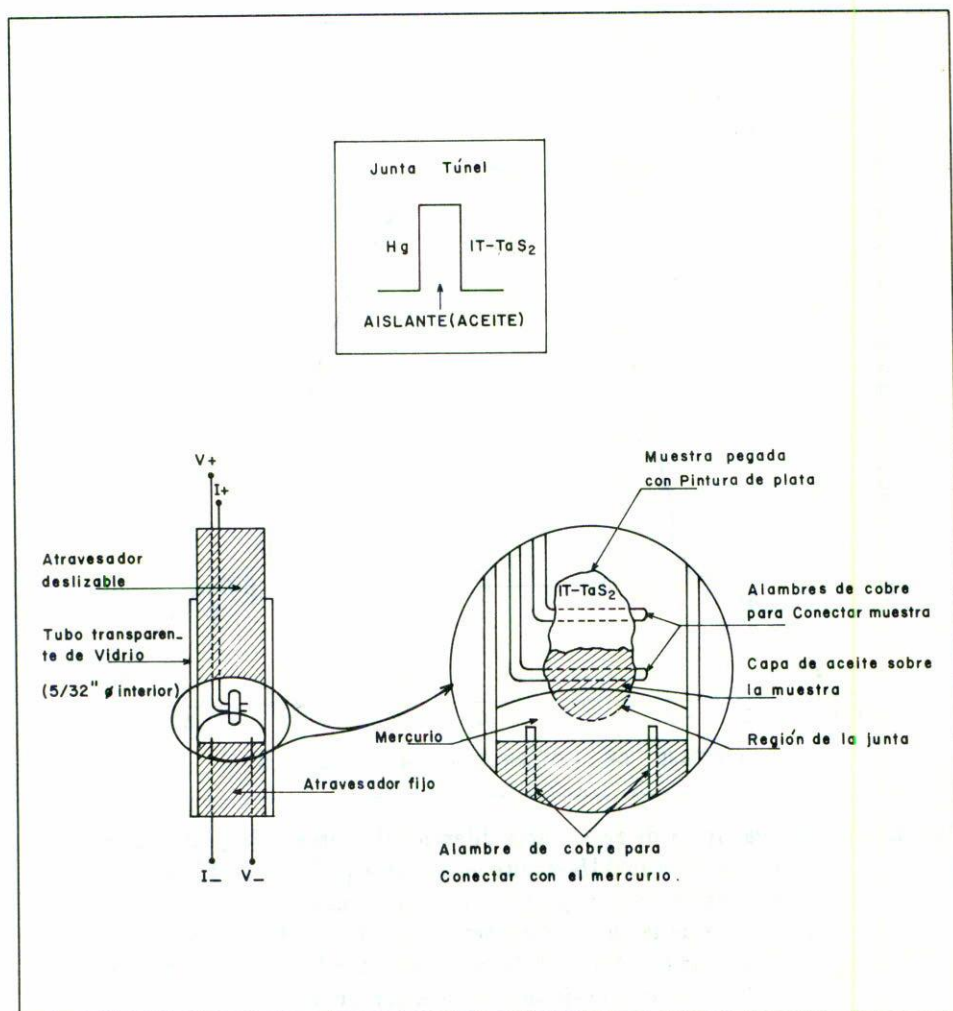


FIGURA 1. Dibujo esquemático del portamuestra con conexiones para realizar mediciones a cuatro terminales. Se usa un tubo transparente para tener control visual del acercamiento de la muestra hacia el mercurio líquido por medio del atravesador deslizable. En el recuadro aparece un esquema de la disposición de la junta túnel.

presenta propiedades físicas de materiales bidimensionales [7]. Por

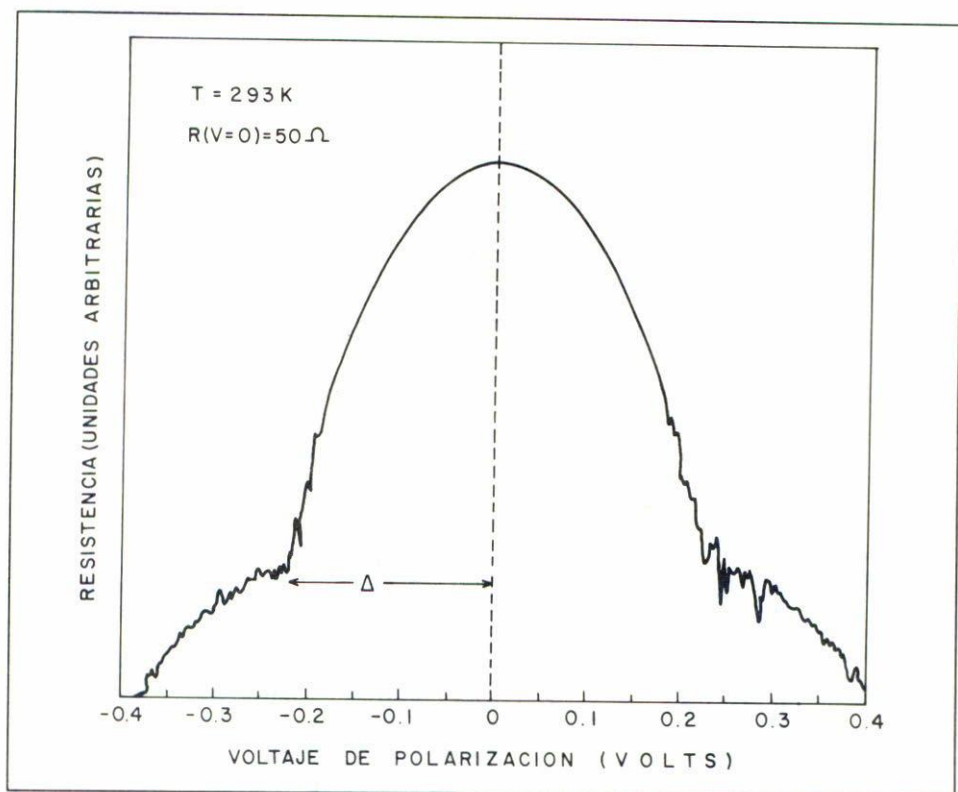


FIGURA 2. Curva típica de resistencia diferencial contra voltaje de polarización de una junta túnel Hg-aceite de silicatos ($1T\text{-TaS}_2$). El cero de voltaje es el nivel de Fermi y el voltaje donde sucede el cambio brusco de curvatura de la curva R contra V es el borde de banda. La magnitud de la brecha es 2Δ y está dada por eV , donde e es la carga del electrón en MKS y V el voltaje de polarización en volts.

ejemplo, desde el punto de vista de la resistividad eléctrica, este compuesto es altamente anisotrópico; teniendo una relación $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel} \sim 400 - 800$ con $1.3k < T < 240$ K, donde ρ_{\perp} y ρ_{\parallel} son las resistividades perpendicular y paralela a las capas del cristal, respectivamente [8].
 - El interés en este caso es realizar mediciones de tunelaje electrónico en la dirección paralela a las placas del cristal. En primer lugar

es imposible evaporar este material ya que perdería sus propiedades de anisotropía; en segundo lugar tener una junta túnel por contacto no es posible por la irregularidad que presenta el borde del cristal (la apariencia de estos cristales es la de pequeñas plaquetas de 1 mm^2 a 4 mm^2 de área y un grosor menor de 0.1 mm). En este caso, pues, la técnica que se presenta resulta idónea para realizar experimentos de tunelaje en el 1T-TaS_2 . Otra propiedad interesante de este material es la de presentar una transición metal-semiconductor a aproximadamente 350 K [7] debido a un cambio en los parámetros de red y la consiguiente apertura de una brecha al nivel de Fermi. A la distorsión de la red en conjunto con una modulación en la densidad de carga electrónica se le conoce como una onda de densidad de carga (ODC) [9] y a la transición como una transición de ondas de densidad de carga. La brecha energética que se abre por la transición de ODC evoluciona con la temperatura partiendo a la temperatura de la transición y creciendo conforme se baja la temperatura.

Precisamente el tunelaje electrónico es una técnica sensible a variaciones en la densidad de estados electrónica y por tanto pueden ser medidas brechas en la densidad electrónica de estados.

Una gráfica del parámetro Δ (Δ está definido en la figura 2), que es justamente la mitad de la brecha, contra la temperatura aparece en la figura 3.

De esta figura puede notarse que el tamaño de la brecha aumenta al bajar la temperatura, existiendo un cambio brusco alrededor de 150 K debido a una transición de fase de primer orden que sufre el material [7]. Un comportamiento similar en la evolución de la brecha ha sido encontrado en el 2H-TaSe_2 , el cual es un material que sufre el mismo tipo de transiciones [10].

Por otro lado, Barker *et al.* [11], por medio de estudios de reflectancia en el infrarrojo, han encontrado que a 80 K la densidad de estados de 1T-TaS_2 disminuye en un rango de aproximadamente 0.5 eV , pero sin estar bien definido el borde de la brecha. Como en los experimentos de tunelaje electrónico los bordes de banda se pueden definir claramente, entonces, como resultado del experimento reportado en este trabajo, se encuentra que el valor asintótico de la

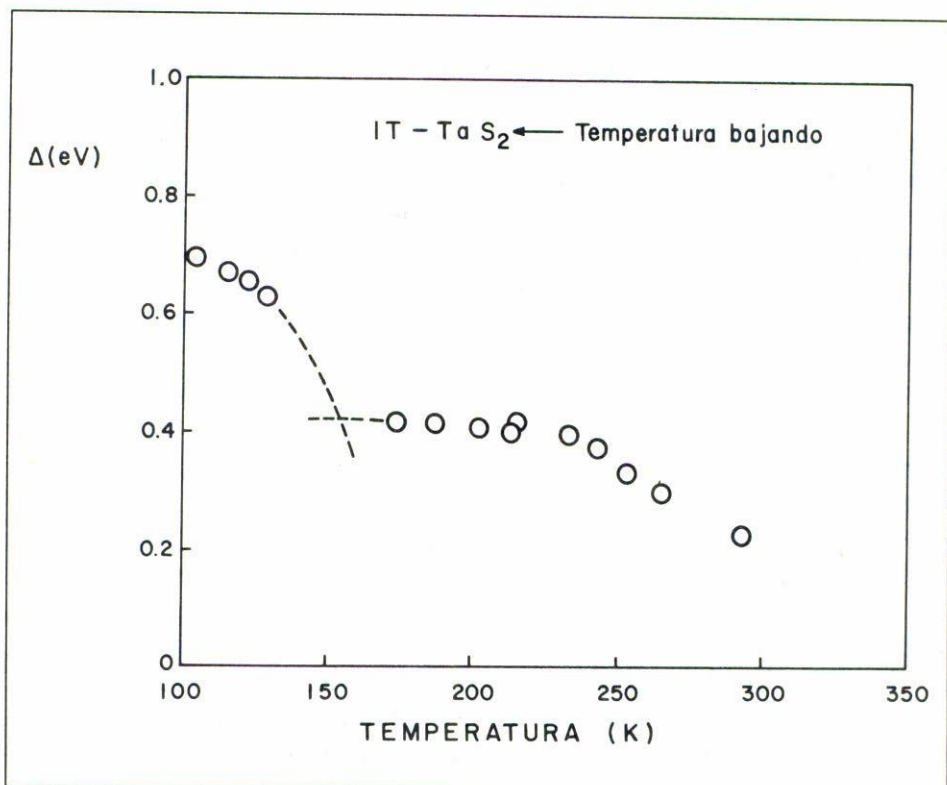


FIGURA 3. Evolución con la temperatura de la brecha de ondas de densidad de carga del 1T-TaS₂, donde la magnitud de la brecha es 2Δ . La línea punteada muestra el posible camino que seguiría el sistema al sufrir la transición de fase de primer orden alrededor de los 150 K. (Ver el texto). Los experimentos fueron hechos partiendo de temperatura ambiente hacia bajas temperaturas.

brecha para temperaturas menores de 100 K está dentro de 1.4 eV y 1.6 eV.

Agradecimientos

Deseo agradecer al Dr. Roberto Escudero por proporcionarme

los cristales de $1T-TaS_2$ y por sus útiles comentarios; también quiero dar un reconocimiento al Dr. Víctor Manuel Chapela por haberme informado que el aceite de silicatos formaba capas muy delgadas, dándome esto la idea del desarrollo del método reportado en el presente trabajo.

Referencias

1. C.D. Duke, *Tunneling in Solids*, Academic Press (1969).
2. L. Solymar Chapman and L.T.D. Hall, *Superconductive tunneling and Applications*.
3. P.K. Hansma, *Inelastic Electron Tunneling*, North-Holland Publishing Company (1982).
4. K.D. Leaver and B.N. Chapman, *Thin Films: The Wykeham Science Series*, Springer-Verlag, New York (1971).
5. T.A. Will y J.L. Heiras A., *Rev. Mex. Fís.* **23** (1974) FA39.
6. L. Esaki and P.J. Stiles, *Phys. Rev. Lett.* **14** (1965) 902.
7. A.H. Thompson, F.R. Gamble and J.F. Revelli, *Solid States Commun.* **9** (1971) 981.
8. P.D. Hambourger and F.J. DiSalvo, *Physica* **99B** (1980) 173.
9. F.J. DiSalvo, *Surface Science* **58**, (1976) 297.
10. F.J. DiSlavo and T.M. Rice, *Physics Today*, (April 1979) p. 32.
11. A.S. Barker, J.A. Ditzenberger and F.J. DiSalvo, *Phys. Rev.* **B12** (1975) 2049.