

**METAL ELECTRODES QUANTIC PROPERTIES APLICATION IN
NANOTECHNOLOGY****APLICACIÓN DE PROPIEDADES CUÁNTICAS DE ELECTRODOS
METÁLICOS EN NANOTECNOLOGÍA****PhD. Ariel Becerra A. R., MSc. Cesar Augusto Peña****Universidad de Pamplona**
Grupo INTEGRAR
{arielb, cesarapc}@unipamplona.edu.co

Abstract: This document analyzes the quantum behavior of a system metal-dielectric-metal and a method of acquisition and data processing for its later application in the construction of a scan tunnel microscope.

Resumen: Este documento analiza el comportamiento cuántico de un sistema metal-dieléctrico-metal y un método de adquisición y procesamiento de datos para su posterior aplicación en la construcción de un microscopio túnel de rastreo.

Keywords: Data acquisition, Data processing, Measuring spectroscopy

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nanotecnologías es una tarea actual de las ciencias y muy importante en el progreso de la humanidad. Las teorías cuánticas ya han descrito muchos fenómenos a nivel atómico y subatómico con precisión satisfactoria. Lógicamente estas teorías vienen a ser aprobadas en su totalidad cuando son verificadas experimentalmente. Un paso muy importante en el desarrollo de tecnologías en los últimos tiempos ha sido crear la posibilidad de manipular individualmente partículas tan pequeñas como los átomos (Binnig and Rohrer, 1982) e inclusive los fotones. Esta posibilidad ha abierto campo a muchas ramas en el desarrollo tecnológico a nivel micrométrico y nanométrico formando así un área independiente, pero a su vez multidisciplinaria, como es la nanotecnología.

El estudio hecho en el presente trabajo está basado en cálculos cuánticos del comportamiento de la corriente túnel que pasa por dos electrodos metálicos aislados por un vacío entre ellos, el cual hace las veces de dieléctrico. Como es sabido, este fenómeno cuántico es utilizado en dispositivos capaces de recolectar información sobre relieves y propiedades de superficies metálicas a nivel atómico, en la manipulación de átomos y otras aplicaciones no menos importantes. El presente trabajo forma parte de un proyecto consistente en el diseño y construcción de un dispositivo de este tipo, como es el Microscopio Túnel de Rastreo, y se presentan resultados de dos partes importantes en el proceso de construcción: el análisis de la teoría que rige el efecto túnel y la elaboración de la tarjeta de adquisición de datos para dicho microscopio.

El funcionamiento del Microscopio Túnel se puede describir a grandes rasgos de la siguiente manera: Una sonda muy fina, la cual juega el papel del primer electrodo, es acercada a una superficie conductora, que sirve a su vez como segundo electrodo. La sonda es llevada casi hasta la superficie sin permitir el contacto con ella, a una distancia aproximada de 5-10 Angstrom. Esto puede lograrse gracias a la presencia sobre la superficie de los electrodos de una corriente llamada corriente túnel, la cual puede ser aumentada aplicando a los electrodos una diferencia de potencial aproximada de 0-7 voltios. Dicha corriente túnel, con un valor de 0-7 nA dependiendo del voltaje aplicado, es detectada por un picoamperímetro y luego llevada por medio de una interface al un computador para su procesamiento y obtención de gráficos. La sonda está ligada a tres piezoeléctricos que juegan el papel de motores y es controlada por el computador y por un sistema de retroalimentación.

2. SISTEMA METAL-DIELECTRICO-METAL (MDM)

2.1. Corriente túnel en el sistema MDM.

La corriente túnel en un sistema MDM para una barrera potencial de forma arbitraria está dada por la fórmula de John G. Simmons (Simmons, 1963):

$$J = \frac{\alpha}{\delta_z^2} \{ \bar{\varphi} \exp(-A\delta_z\sqrt{\bar{\varphi}}) - (\bar{\varphi} + eV) \exp[-A\delta_z\sqrt{\bar{\varphi} + eV}] \} \quad (1)$$

Donde $A = 2\beta\sqrt{2m}/\hbar$, $\alpha = e/(4\pi^2\beta^2\hbar)$,

δ_z $\bar{\varphi}$ son el grosor y el valor medio de la barrera potencial respectivamente. En la fórmula (1) se tienen en cuenta los siguientes aspectos: primero se considera el modelo de Sommerfield y los electrones no interactúan entre sí; debido a esto último, la solución de la ecuación de Schrodinger para un sistema de electrones se reduce a la solución de esta ecuación para un electrón que se mueve en un campo medio, lo cual permite utilizar el método de aproximación WKB para hallar el coeficiente de transparencia de la barrera potencial. Además, como se está analizando una caja potencial con fondo suave, la energía depende de los vectores de onda de acuerdo a la relación $E = p^2/2m = (\hbar k)^2/2m$, para el electrón libre en el espacio vacío y para el cual se le considera una masa isotropa en el espacio.

La expresión (1) para la corriente túnel puede variar dependiendo de la diferencia de potencial que se le aplique al sistema.

2.2. Corriente túnel para voltaje bajo

Cuando el voltaje es bajo $\bar{\varphi} \gg eV$ y la expresión (1) toma la forma:

$$J = \frac{\gamma\sqrt{\bar{\varphi}}V}{\delta_z} \exp(-A\delta_z\sqrt{\bar{\varphi}}), \quad (2)$$

Donde

$$\gamma = e\sqrt{2m}/(4\beta\pi^2\hbar^2)$$

Entonces se puede considerar que $\bar{\varphi}$ no depende de V, y por lo tanto la corriente túnel depende linealmente de V. Para este caso corresponde el segmento AB en la figura 1.

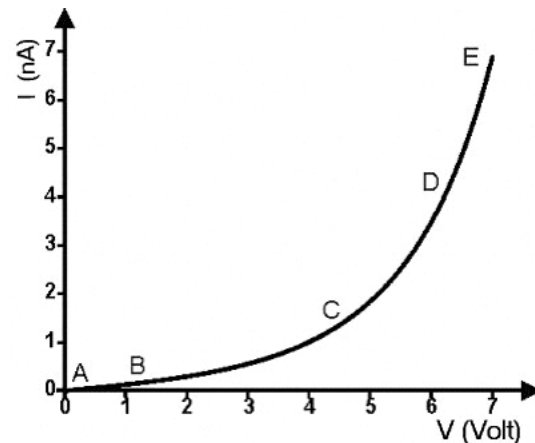


Fig. 1. Característica voltios-amperios para el caso de un electrodo de Carbono y un electrodo de Platino-Iridio y un grosor de la barrera potencial de $\delta_z = 5\text{\AA}$.

2.3. Corriente túnel para voltaje medio

Si $eV < \varphi_2$, entonces $\bar{\varphi} = (\varphi_1 + \varphi_2 - eV)/2$, φ_1 y φ_2 son los trabajos de escape para los metales 1 y 2 respectivamente (el potencial positivo lo tiene φ_2). En este caso para (1) se obtiene (segmento BC en la figura 1):

$$J = \frac{\gamma\sqrt{\bar{\varphi}}}{\delta_z} \exp(-A\delta_z\sqrt{\bar{\varphi}})(V + \sigma V^3), \quad (3)$$

Donde:

$$\sigma = \frac{(Ae)^2}{96\bar{\varphi}\delta_z^2} - \frac{(Ae)^2}{32\delta_z\bar{\varphi}^{3/2}}$$

2.3. Corriente túnel para voltaje alto

Para $eV > \varphi_2$, $\delta_z = L\varphi_1(\varphi_1 - \varphi_2 + eV)$, L es ahora la distancia entre los electrodos, $\bar{\varphi} = \varphi_1/2$. Luego de reemplazar estos valores en (1), se obtiene para la corriente túnel:

$$J = \frac{e^3 F^2}{8\pi^2 \hbar \varphi_1 \beta^2} \left\{ \exp \left[-\frac{2\beta}{eF} \varphi_1^{3/2} \frac{\sqrt{2m}}{\hbar} \right] - \left(1 + \frac{2eV}{\varphi_1} \right) \exp \left[-\frac{2\beta}{eF} \varphi_1^{3/2} \frac{\sqrt{2m}}{\hbar} \sqrt{1 + \frac{2eV}{\varphi_1}} \right] \right\} \quad (4)$$

Donde $F = V/L$ es la tensión del campo eléctrico, $\beta = 23/24$. El segmento CD en la figura 1 corresponde a este caso.

Cuando el voltaje es muy alto, $eV > \varphi_1 + \mu$, donde μ es el potencial químico (el cual se halla de las condiciones de normalización), el nivel de Fermi del segundo electrodo se encuentra más abajo del fondo de la zona de conductividad del primer electrodo. Por eso en estas condiciones los electrones no pueden tunelar del segundo electrodo al primero ya que no hay niveles libres. En la dirección contraria sucede el caso contrario pues los electrones del primer electrodo se vuelven accesibles en todos los niveles del segundo (segmento DE, figura 1).

3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL MICROSCOPIO TÚNEL

Se ha elaborado una interfase para la adquisición e interpretación de los datos que corresponden a la corriente túnel y que permiten obtener información del relieve de la superficie en estudio.

La posición de la sonda es controlada por 3 piezoeléctricos, que corresponden al movimiento en las tres dimensiones del espacio. Los piezoeléctricos correspondientes a los ejes X y Y son controlados por el computador por medio de un programa especializado.

El piezoeléctrico del eje Z es controlado por un sistema de retroalimentación que a su vez está controlado por el computador. Este sistema de retroalimentación permite mantener la sonda a una distancia constante de la superficie de la muestra (manteniendo constante la corriente túnel).

La tarjeta de adquisición de datos junto con el software elaborado permite recibir los datos en intervalos de tiempo y construir a partir de ellos una gráfica de la superficie en estudio. Estos datos son los valores de la corriente túnel a medida que la sonda va rastreando la superficie.

Para el procesamiento de los datos se ha hecho una emulación a escala grande del movimiento de la sonda en el intervalo de 0 a 5 V. Los datos han sido procesados con ayuda del programa MatLab. En la figura 2 se puede observar lo que se obtiene en el rastreo a lo largo del eje X y con una variación del voltaje de entrada, lo que correspondería al movimiento en el eje Z.

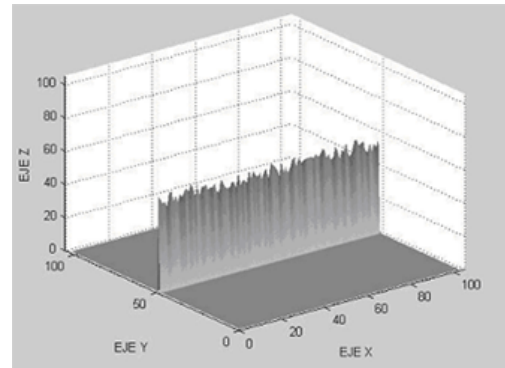


Fig. 2. Recopilación de datos a lo largo del eje X.

Una vez obtenida la información a lo largo del eje X, se procede a correr la sonda un paso a lo largo del eje Y (el cual, en el microscopio túnel puede alcanzar una resolución de hasta 0.5 Ångstrom, dependiendo de factores como la fidelidad del sistema electrónico, calidad de los piezoeléctricos y otros.) Luego se inicia la adquisición de datos de nuevo y así sucesivamente.

Estos datos, que inicialmente tienen carácter discreto, se van uniendo en líneas con ayuda del programa hasta formar una rejilla, a la cual se le hace un recubrimiento que, a su vez, dependiendo de las necesidades o de los propósitos de la investigación, se le pueden asignar colores de acuerdo a la altura, variación de relieve, etc., obteniendo de esta manera una imagen como la que se muestra en la figura 3.

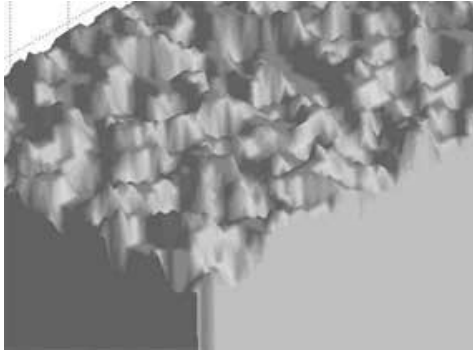


Fig. 3. Resultado final obtenido después de la recopilación de los datos que vienen de la tarjeta y su posterior procesamiento en MatLab.

Cabe destacar que para la obtención de imágenes con resolución atómica es necesario además el uso de una sonda con punta muy aguda, es decir con un radio de unos cuantos átomos.

Afortunadamente, esto no se puede calificar como obstáculo en la construcción del microscopio, pues actualmente existen varios métodos relativamente sencillos y no costosos para la obtención de dichas sondas.

4. CONCLUSIONES

Se ha hecho un estudio teórico sobre la corriente túnel para obtener valores de la misma lo más cercano posible al experimento. Se puede concluir que existe una dependencia corriente túnel - voltaje aplicado a los electrodos. El intervalo de voltaje aplicable al microscopio túnel es de 0 a 7 voltios aproximadamente. A más de 7 voltios empieza a tener lugar un fenómeno parecido al de emisión fría.

La tarjeta de adquisición de datos elaborada permite “visualizar” la superficie del material en estudio y puede ser trabajada en cualquier programa para adquisición de datos. En el presente trabajo se utilizó el programa MatLab en el cual se construyó el respectivo código programático.

REFERENCIAS

- Kittel Ch. (1978) Introduction to Solid State Physics. Nauka Press, Moscow.
- Burshtein, E. and . Lundkvist. S (1973) Tunneling Effect in Solids. Mir, Moscow.
- Simmons J. (1963) J. Appl. Phys. 34, 1793.
- Simmons J. (1963) J. Appl. Phys. 34, 238.
- Binnig. G. and Rohrer. H. (1982) Scanning tunneling microscopy Helv. Phys. Acta. 55, 726.
- Grafstrom S., Kowalski J. and Neumann R. (1990), Design and detailed analysis of a scanning tunneling microscope, Meas. Sm. Technol, 1 139.
- PiezoMechanik GmbH (2003), Piezo-Mechanics: An Introduction, Munich.