

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Diciembre 2006, Vol. 4, N°3, pp 855-864

Análisis de Superficies de un Diodo Fotoluminiscente tipo FABRY-PEROT con Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

L. Ramírez Díaz^{1*}, B. A. Ramírez Solís²

¹Facultad de Ingeniería Industrial,
e-mail: klak9@hotmail.com

²Facultad de Ciencias de la Electrónica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
72000 Puebla, México.

recibido: 27 de Agosto 2006

revisado: 21 de Octubre 2006

publicado: 15 de Noviembre 2006

Citation of the article:

L. Ramírez Díaz, B. A. Ramírez Solís, Análisis de Superficies de un Diodo Fotoluminiscente tipo FABRY-PEROT con Microscopía de Fuerza Atómica (AFM), Internet Electrón. J. Nanocs. Moletrón. 2006, Vol. 4, N° 3. pags. 855-864

copyright © BUAP 2006

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

Análisis de Superficies de un Diodo Fotoluminiscente tipo FABRY-PEROT con Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

L. Ramírez Díaz^{1*}, B. A. Ramírez Solís²

¹Facultad de Ingeniería Industrial,
e-mail: klak9@hotmail.com

²Facultad de Ciencias de la Electrónica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
72000 Puebla, México.

recibido: 27 de Agosto 2006

revisado: 21 de Octubre 2006

publicado: 15 de Noviembre 2006

Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón. 2006, Vol. 4, No.3, pags. 855-864

Resumen

La Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) permite el estudio de superficies sólidas en el rango geométrico de nanómetros. En el presente trabajo se muestran resultados de la topografía de tres diferentes tipos de superficies, a saber la región p-n semiconductor de un diodo fotoluminiscente de GaAs tipo FABRY-PEROT, la región del contacto metálico en el lado tipo n, formado por oro, y la región del contacto metálico en el lado tipo p, formado por plata.

Ya en escalas de pocos micrómetros se detectan claras diferencias de la topografía y rugosidad, que son resultado de los distintos procesos de fabricación del diodo. Futuros estudios se orientan a regiones más extensas de las superficies con el objetivo de cuantificar las diferencias entre ellas.

Introducción

La calidad de superficie en dispositivos electrónicos determina en gran medida las propiedades integrales de los mismos. Defectos en las superficies, sean estos montículos, escalones o huecos, van a tener efectos adversos más pronunciados, mientras más pequeñas son las dimensiones geométricas de la estructura bajo estudio. La creciente miniaturización en la micro- y optoelectrónica requiere, que los dispositivos sean más y más perfectos en su fabricación. Existe una serie de técnicas analíticas [1] para estudiar la calidad de superficies, muchas veces en forma integral. Las técnicas de “scanning probe microscopy” (SPM por sus siglas en inglés) permite el estudio en el rango de pocos nanómetros, que nos lleva a resultados mucho más finos.

En el presente trabajo estudiamos tres caras diferentes de un diodo fotoluminiscente tipo FABRY-PEROT, utilizando como instrumento de detección el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) modelo JSPM-5200 de Jeol.

1 La Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

Las letras AFM son las siglas en inglés de Microscopía de Fuerza Atómica, que forma parte de la familia de métodos SPM o Microscopio de Rastreo de Prueba. Es una técnica de imagen de alta resolución que puede resolver características tan pequeñas como un patrón atómico en espacio real. Permite observar y manipular características a nivel molecular y atómico.

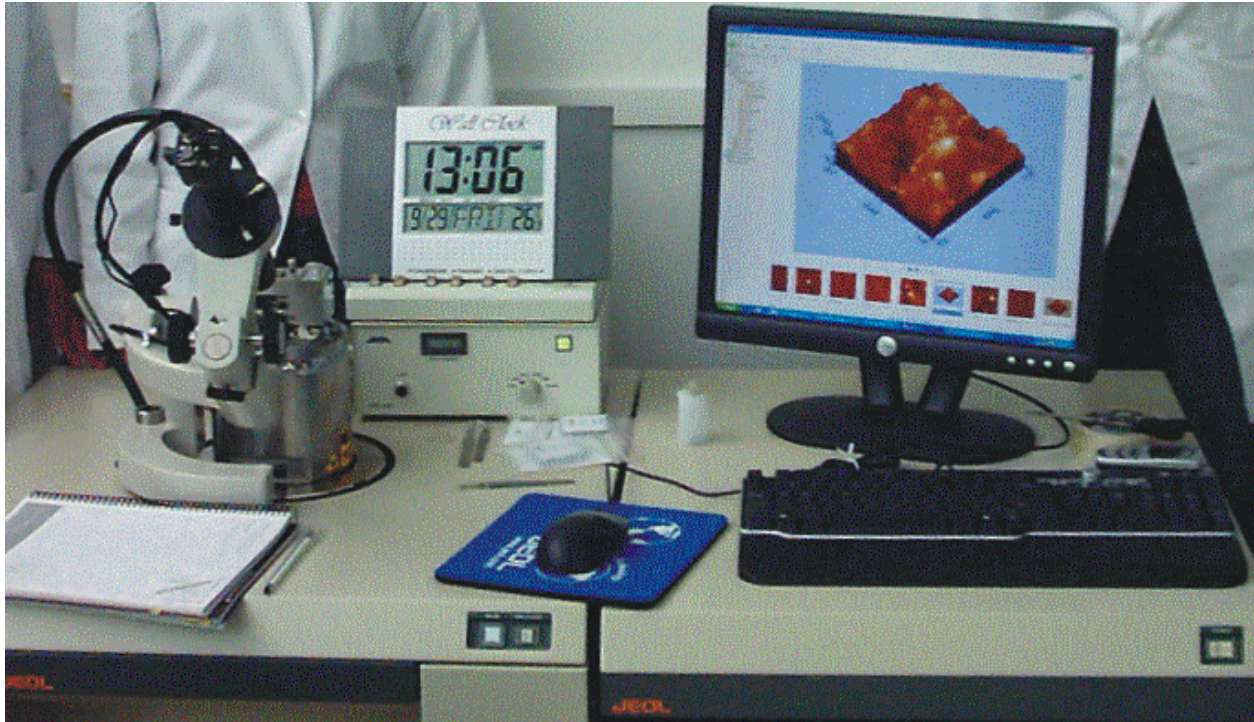


Figura 1. Microscopio de Fuerza Atómica en el Laboratorio de Nanotróica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (www.labnanotronica.ece.buap.mx).

Su funcionamiento se basa en la detección de las minúsculas fuerzas atómicas o moleculares de interacción entre una aguja microscópica y la superficie del material a estudiar. Ésta mide apenas 5 nanómetros y recorre a cierta distancia la superficie de un material, midiendo la fuerza de interacción Van Der Waals de los átomos del material y de la aguja.

Más detalladamente, ilustrado en la Figura 2, el AFM trabaja llevando la punta del cantilever en contacto con la superficie de la muestra. La fuerza repulsiva de los átomos en la superficie de la punta dobla el cantilever hacia arriba. La cantidad de doblamiento se mide por un punto láser que se refleja en un foto detector. La fuerza se mantiene constante cuando se rastrea la superficie, así el movimiento vertical de la punta sigue el perfil de la superficie y se graba como la topografía de la superficie por el AFM [2].

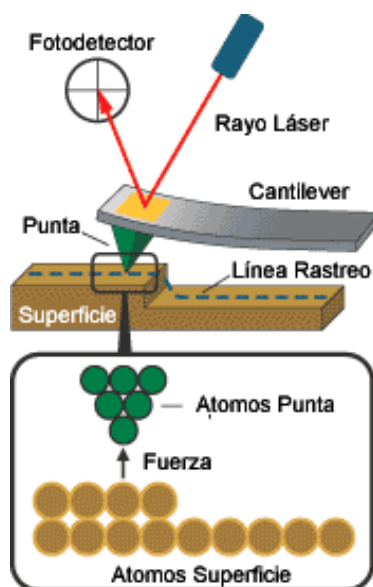


Figura 2. Diagrama esquemático del funcionamiento de un AFM.

El AFM cuenta con un potencial muy amplio y diversas aplicaciones por que se puede usar para realizar imágenes de cualquier superficie conductiva o eléctricamente aislante. Se ha ido incrementando el número de aplicaciones para AFM desde que fue inventado [3] y ahora incluye varios campos de nanociencia y nanotecnología, pues ofrece la oportunidad de ver y entender eventos mientras ocurren a nivel molecular, brinda información de alta resolución y tridimensional en espacio real que se obtiene de manera sencilla, con poca preparación de la muestra y a bajo costo lo cual aumenta el entendimiento de cómo trabajan los sistemas y lleva a nuevos descubrimientos en varios campos [4]. Estos incluyen las ciencias de la vida, la ciencia de los materiales, electroquímica, polímeros, biofísica, nanotecnología y biotecnología.

2 Experimentación

Se eligieron muestras de diodos fotoluminiscentes con uniones p-n en estructura FABRY-PEROT que cuentan en sus caras inferiores y superiores con una capa de contacto metálico, esta es en un lado de oro y en el lado opuesto de plata. La estructura del diodo se muestra en la Figura 3.

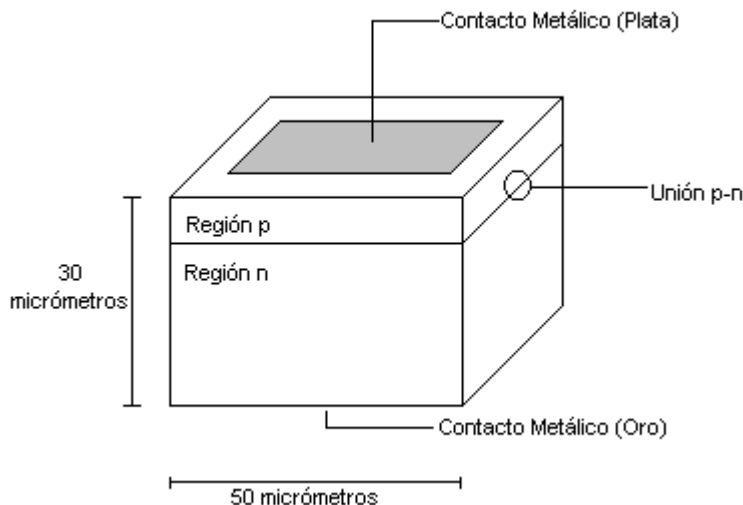


Figura 3. Estructura geométrica de un diodo fotoluminiscente tipo FABRY-PEROT.

Un diodo típico mide menos de 100 micrómetros y pesa una fracción de un gramo. Se estudiaron las seis caras y se enfatizó en los lados metálicos para observar como se depositó el metal. Así mismo se localizaron los lados del diodo en los cuales se pudiera observar la unión p-n que tiene un ancho químico aproximado de 100 nm.

El Microscopio de Fuerza Atómica realiza perfiles de altura de las muestras, con las cuales su programación nos permite calcular la rugosidad cuadrada media R_{rms} (*root-mean-squared roughness*) de acuerdo con la siguiente fórmula [5]:

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{\sum (Z_n - Z_{av})^2}{(n-1)}}$$

donde Z_{av} representa la altura promedio de todo el perfil y n el número total de datos medidos. Entre mayor sea R_{rms} mayor será la rugosidad de la superficie.

El software del AFM nos permite saber estos datos mediante una gráfica o simplemente proporcionando los datos como Mean, R_{rms} y Ra. Mean indica los valores de la media, mientras que Ra se refiere al valor promedio de rugosidad.

3 Resultados

La figura 4 presenta una imagen en dos dimensiones de la superficie de Oro del diodo, obtenida con el AFM. En ésta se puede apreciar las diferentes líneas sobre las que fue realizado el análisis de rugosidad generando los perfiles de las alturas correspondientes.

Además podemos notar la gran topografía con la que cuenta la muestra, y los datos obtenidos fueron Mean = 65.0 nm, R_{rms} = 9.48 nm y Ra = 6.79 nm.

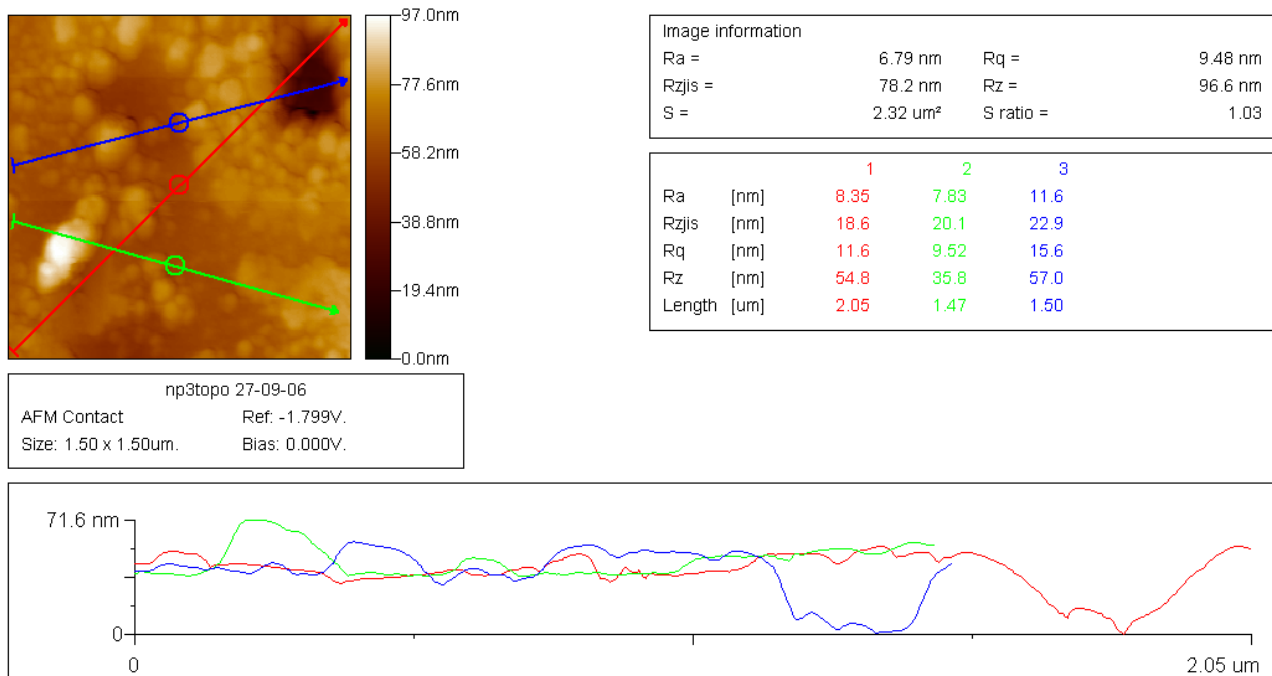


Figura 4. Imagen 2-D donde se presenta la medición de la altura y sus perfiles.

Este mismo análisis se realizó para cada cara de la muestra. En la figura 5 se observa el lado de Plata del diodo. En ésta se realizó otro tipo de análisis con los que cuenta el software. Se establecen medidas de referencia para la topografía de la muestra y se obtiene de nuevo la rugosidad, en este caso fue Mean = 89.3 nm, R_{rms} = 8.77 nm y Ra = 12.7 nm.

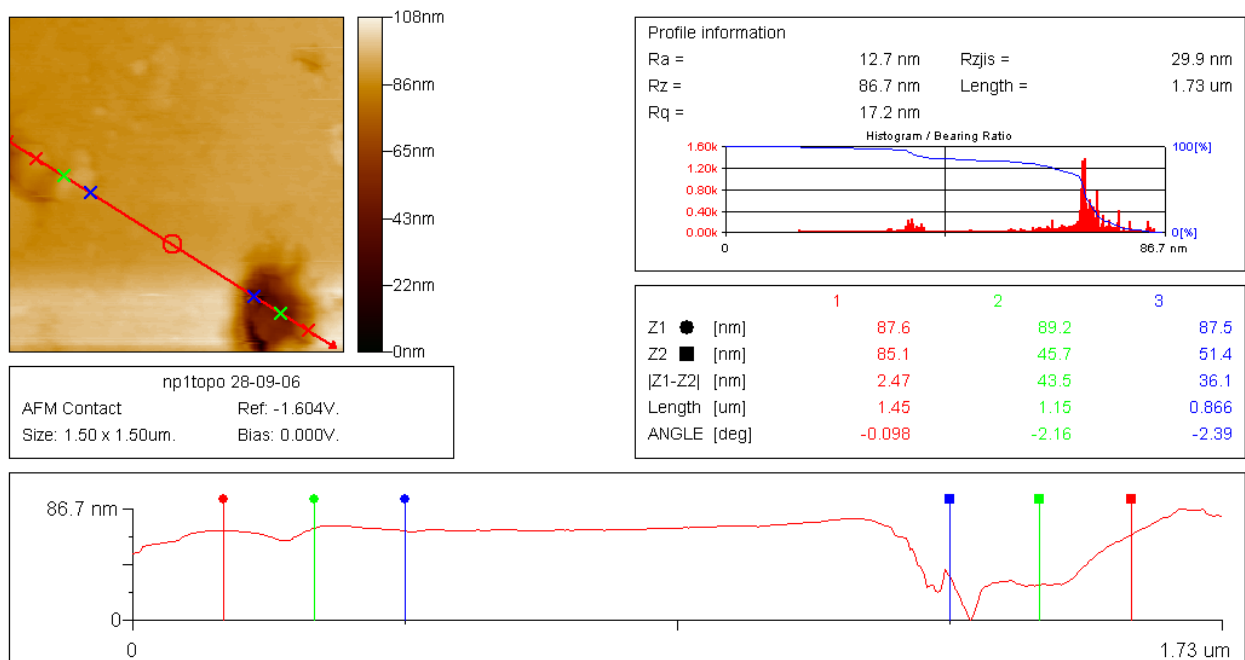


Figura 5. Imagen 2-D de la superficie de Plata y su perfil de altura.

Los resultados anteriores fueron producto del análisis de imágenes en forma topográfica. Otra variación del Microscopio de Fuerza Atómica es realizar imágenes de tipo Fuerza, en las cuales se proyecta en la pantalla la fuerza de atracción o repulsión de la muestra y no su topografía.

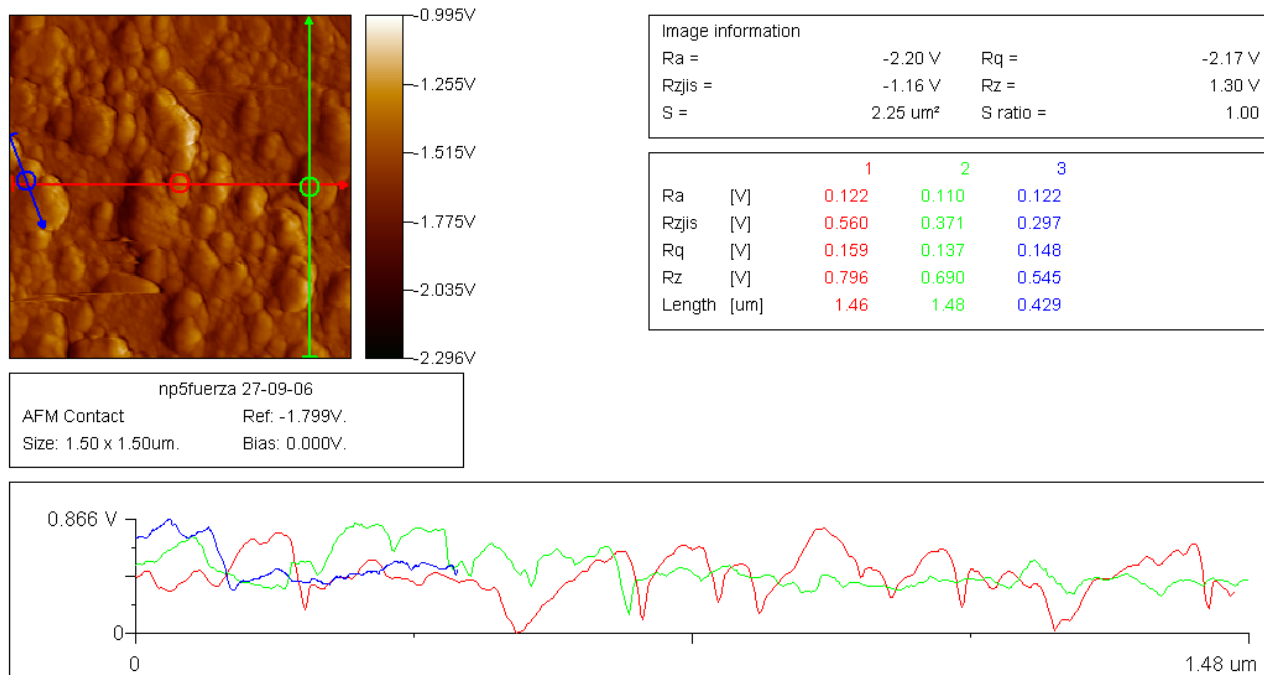


Figura 6. Imagen tipo Fuerza de la cara de Oro del diodo.

En las figuras 7 y 8 se observan imágenes 3-D de las superficies de Oro y Plata. En ellas se pueden ver crestas y valles que conforman la topografía de la muestra.

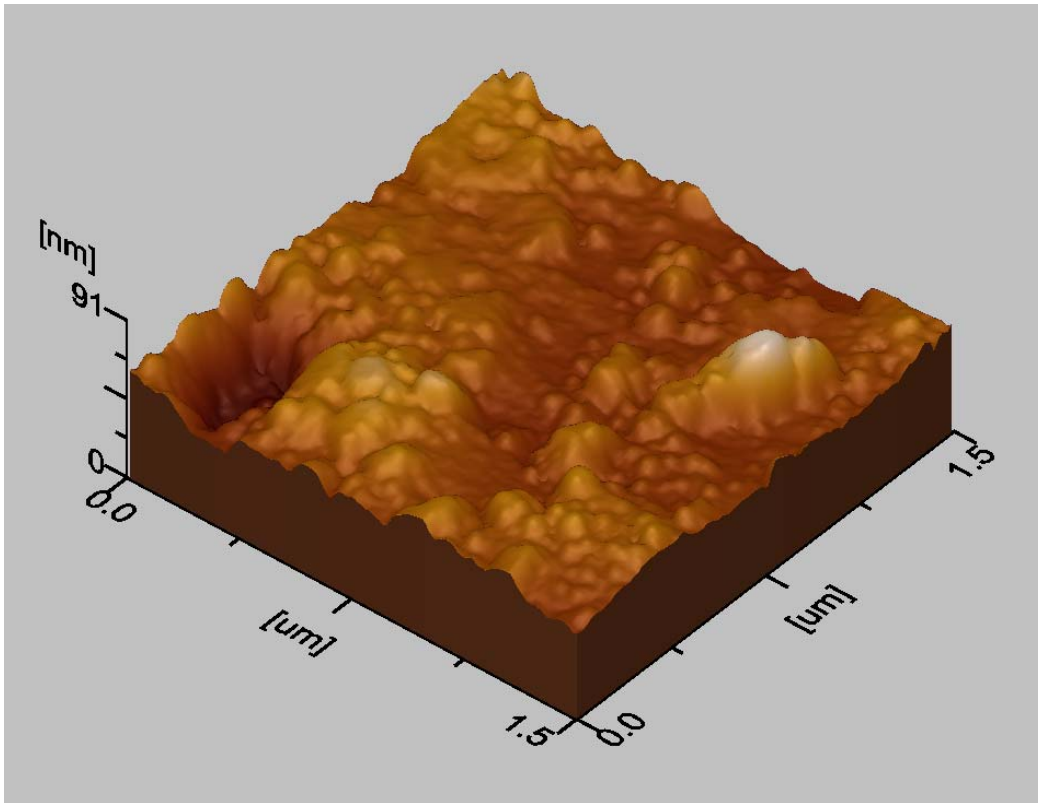


Figura 7. Superficie del contacto de oro

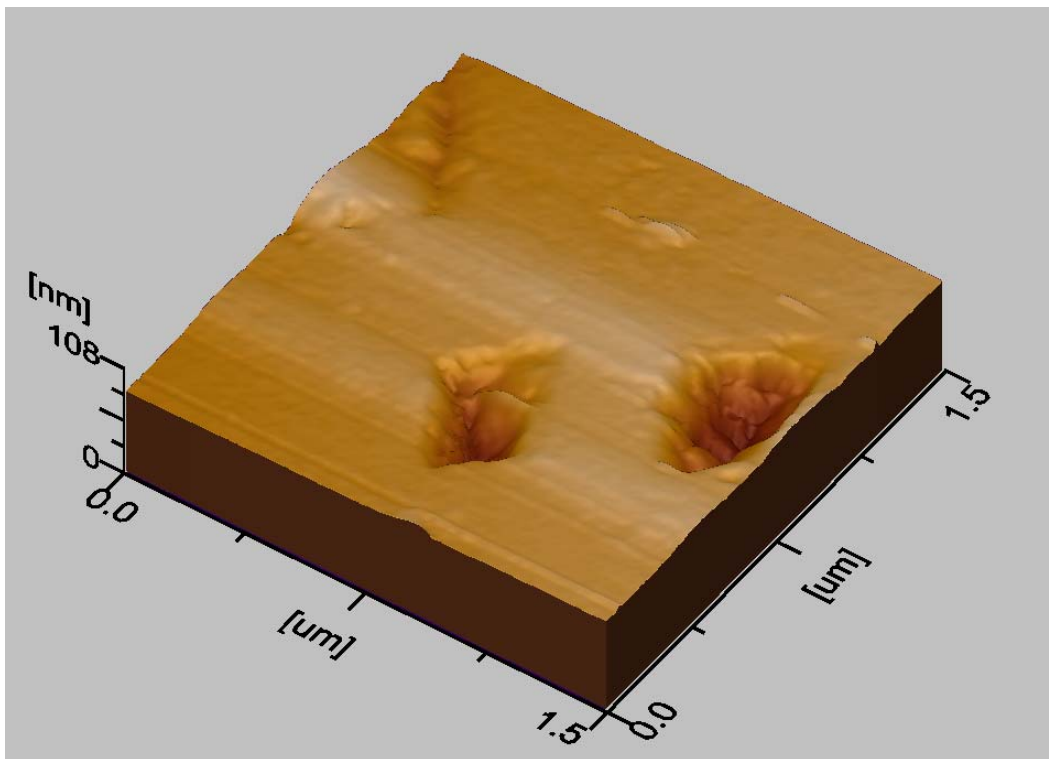


Figura 8. Superficie del contacto de Plata.

4 Discusión y Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos, se establece que las superficies de la muestra no son planas aunque a simple vista de microscopía óptica así lo parezca, y la palabra pulido no significa que la muestra sea completamente lisa a nivel nanométrico. Los contactos metálicos se depositan en el diodo mediante la evaporación de éstos, y se puede concluir que el Oro y la Plata se comportan de manera muy similar al ser evaporados, sin embargo el Oro cuenta con una superficie topográfica con muchos mas valles y crestas que la Plata. Suponemos en primera aproximación, que esto es causado por diferencias en el régimen de temperatura durante la evaporación. La semejanza entre ellos resulta por su posición vecina en el Sistema Periódico de Elementos (PSE).

Además la obtención de rugosidad cuadrática media en la superficie del diodo nos permite establecer de manera cuantitativa la calidad de los diodos. La diferencia en R_{rms} del Oro y Plata es de 7.5% en desfavor del contacto de Oro.

Agradecimientos

Los Autores quieren agradecer al Prof. Dr. Alfred F.K. Zehe por dar la oportunidad de adentrarse en el mundo de la nanotecnología y su análisis, además de permitir el aprendizaje de la utilización del Microscopio de Fuerza Atómica en el Laboratorio de Nanotrónica de la BUAP. L.R.D. agradece además a la VIEP de la BUAP por el apoyo financiero en el Programa *La Ciencia en tus Manos 2006*.

Referencias

- [1] Zehe, A. "*Herramientas Analíticas de Interfases Sólidas*", Ed. Intercon Verlagsgruppe, Dresden 2002.
- [2] Bharat Bhushan; Harald Fuchs. "*Applied Scanning Probe Methods II: Scanning Probe Microscopy Techniques*", Ed. Springer, Berlin 2006.
- [3] Binnig, G., Quate, C.F. and Gerber, Ch. Phys. Rev. Lett. 56, 930 (1986).
- [4] Zehe, A. "*Moletrónica*" www.moletronica.buap.mx (2002).
- [5] JEOL Instructivo de Operación del JSPM-5200, www.jeol.com

*Laura Ramírez Díaz es integrante del Programa Jóvenes Creativos de la BUAP y estudiante de la Facultad de Ingeniería Industrial.