

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Junio 2012, Vol. 10, N°1, pp. 1845-1856

Los nanosensores en el Microscopio de Fuerza Atómica

E. G. Hernández

Laboratorio de Nanotrónica, www.nanored.buap.mx
Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Cs. de la Electrónica
Ciudad Universitaria, 72000 Puebla, México

recibido: 16.05.12

revisado: 22.05.12

publicado: 31.07.12

Citation of the article:

E. G. Hernández, Los nanosensores en el Microscopio de Fuerza Atómica, Int. Electron J. Nanoc. Moletrón, 2012, Vol. 10, N°1, pp 1845-1856

Copyright © BUAP 2012

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

Los nanosensores en el Microscopio de Fuerza Atómica

E. G. Hernández

Laboratorio de Nanotrónica, www.nanored.buap.mx
Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Cs. de la Electrónica
Ciudad Universitaria, 72000 Puebla, México

recibido: 16.05.12

revisado: 22.05.12

publicado: 31.07.12

Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón., 2012, Vol.10, N° 1, pp 1845-1856

Resumen

En este trabajo se presenta una investigación acerca de los sistemas nanométricos que son utilizados por el Microscopio de Fuerza Atómica. El AFM como herramienta para el análisis de micrografías sobre las superficies de muestras como materiales semiconductores, hace uso de un sistema mecatrónico para la obtención, procesamiento y presentación de información, donde es de importancia conocer la interacción de los dispositivos transductores (sensores) a escalas nanométricas que lo conforman, y que permiten obtener información precisa con resoluciones desde 0.1 nm hasta 0.001nm.

Introducción

Una de las técnicas para la caracterización de superficies en sólidos desde su invención, es el STM (microscopio de escaneo por tunelamiento), que es un instrumento para la generación de imágenes a nivel atómico. Su desarrollo en 1981 le valió a sus inventores Gerd Binnig y Heinrich Rohrer el premio nobel Física [1]. En el cual una buena resolución es considerada entre 0.1 nm en su resolución lateral y 0.001 nm en resolución de profundidad, con esta resolución, átomos individuales dentro de los materiales son puestos en una imagen. El STM no sólo se usa en alto vacío sino también en aire, agua, entre otros varios líquidos o gases y en temperaturas que oscilan entre los cero Kelvin hasta cientos de grados Celcius [2].

Como precursor el STM, desde su aparición en 1986, el *Microscopio de Fuerza Atómica* (AFM), ha sido un equipo importante para la elucidación de la microestructura de materiales, desde que Binnig, Quate y Gerber lo inventaron. Basado en la interacción local entre la punta y la superficie de una muestra, proporciona imágenes tridimensionales de superficies con alta resolución espacial en tiempo real. Debido a esto, el AFM es utilizado en la caracterización de materiales para determinar sus propiedades físicas [3].

El Microscopio de Fuerza Atómica trabaja en diferentes modos de operación como Tapping, Contacto e Imagen de Fase para obtener la topografía de la superficie de la muestra. También determina las propiedades físicas de los materiales como: viscoelasticidad, fuerza eléctrica y fuerza magnética [3], todo esto lo hace gracias a la conjunción de dispositivos transductores (sensores) para la recopilación de información y su posterior procesamiento.

Desarrollo

El Microscopio de Fuerza Atómica (AFM, de sus siglas en inglés Atomic Force Microscope) es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los piconewtons. Al rastrear una muestra, es capaz de registrar continuamente su topografía mediante una sonda o punta afilada de forma piramidal o cónica. La sonda va acoplada a un listón o palanca microscópica muy flexible de sólo unos 200 μm .

El principio físico del Microscopio de Fuerza Atómica se basa en que al acercar el cantiléver a la superficie de la muestra, las fuerzas de mecánicas de contacto entre la punta y la muestra deflecan el cantiléver según la ley de Hooke.

$$F = -kx \quad (1)$$

Y a través de la reflexión de un laser hacia un arreglo de fotodiodos que junto con el uso de un transductor piezoeléctrico que permite controlar la posición espacial de la punta del cantiléver con mucha precisión, permite mapear la propiedad de la superficie de la muestra a una escala atómica o manométrica.

La microscopia por sonda de barrido y la microscopia por fuerza atómica son formas de microscopia en donde la sonda puntiaguda hace un barrido de la superficie de la muestra, y de esta manera haciendo un monitoreo de las interacciones que ocurren entre la punta y la muestra en cuestión.

El AFM es una de las herramientas de imagen con un amplio rango dinámico, que abarca una amplia gama de aplicaciones dentro del grupo de los microscopio mecano ópticos donde éste se le es considerado como un perfilador con una resolución en tres dimensiones (3D), gracias a su sistema electrónico, mecánico y su sistema de control en lazo cerrado que permite grandes precisiones en la obtención de imágenes [4].

Las aplicaciones de esta herramienta mecatrónica por así llamarle, tiene diversas aplicaciones entre las que se pueden mencionar, medidas de propiedades como la conductividad superficial, distribución de carga estática, fricciones localizadas, campos magnéticos, modulación elástica entre muchas otras.

En el manejo del AFM es de vital importancia conocer algunos puntos de su principio de operación como lo es la selección de la sonda de acuerdo al tipo de muestra y a las propiedades que se deseen obtener. El AFM hace uso de un escáner o sensor piezoeléctrico que cambia de dimensiones como respuesta a un voltaje aplicado por un circuito de retroalimentación en su interior. Este escáner se caracteriza por tener tres grados de libertad, es decir por medio de la aplicación de un voltaje determinado y apropiado éste puede expandirse en una dirección y contraerse en otra.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se ha hecho uso del Microscopio de Fuerza Atómica mostrado en la figura 1. Para analizar algunos de los elementos constituyentes del AFM de mayor importancia para la adquisición de datos del medio físico.



Figura 1 Microscopio de Fuerza Atómica utilizado en el Laboratorio de Nanotrónica de la Facultad de Ciencias de la Electrónica-BUAP.

El funcionamiento básico del AFM está basado en el uso de un cantiléver, un arreglo de fotodiodos, un laser, un sensor piezoeléctrico, un sistema de retroalimentación y un software para la obtención de los datos que se muestran en la figura 2.

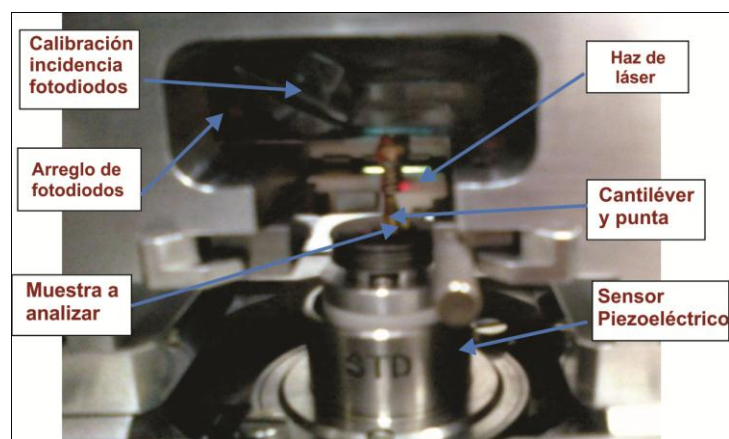


Figura 2 Elementos fundamentales del Microscopio de Fuerza Atómica.

A continuación se da una breve descripción de los elementos que conforman al AFM en su estructura y funcionamiento.

Arreglo de fotodiodos

El AFM cuenta con un arreglo de fotodiodos (figura 3), los cuales se encuentran organizados en cuatro cuadrantes. El arreglo de foto diodos permite conocer la posición de la punta en el cantiléver debido a la reflexión del haz de láser. La incidencia del láser sobre el arreglo permite conocer una posición relativa en cuatro cuadrantes. La información obtenida por los fotodiodos es amplificada y comparada con una referencia, la cual determina un error de posición, el cual será procesado y generar información correcta sobre la superficie de una muestra dentro de la computadora.

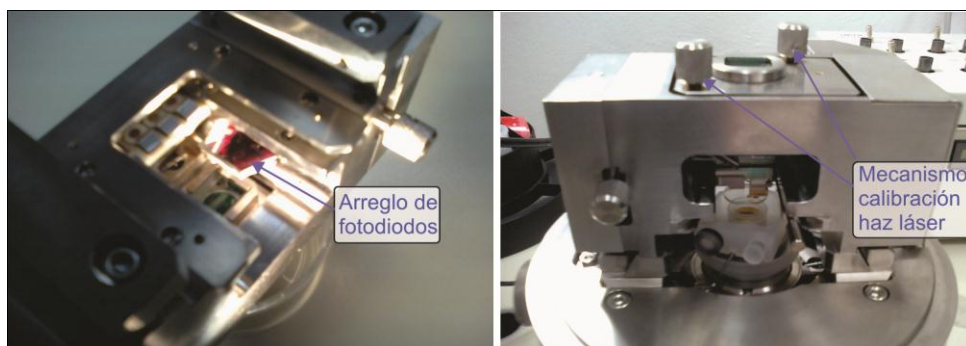


Figura 3 Ubicación del Arreglo de fotodiodos de un Microscopio de Fuerza Atómica.

Figura 4 Mecanismo utilizado para la calibración de la incidencia del haz láser sobre la muestra y el arreglo de fotodiodos.

Haz láser

Dentro de los componentes principales del AFM es el haz láser, que es emitido desde un punto estratégico hacia un lente al cual se le puede cambiar la posición por medio del mecanismo descrito en la Figura 4. El haz de láser (Figura 5) se hace incidir sobre la punta del cantiléver para ser reflejado sobre el arreglo de fotodiodos y de esta manera obtener la posición del cantiléver.

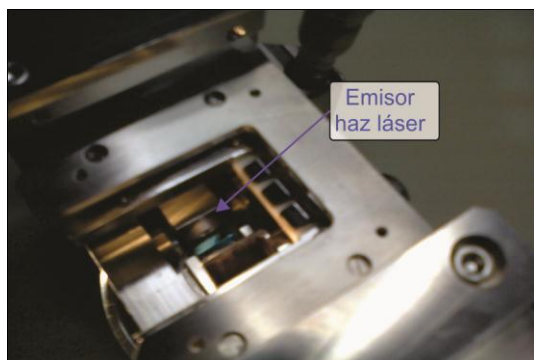


Figura 5 Ubicación en el Microscopio de Fuerza Atómica el emisor del haz láser.

Descripción de la punta y cantiléver.

La punta se selecciona de acuerdo al tipo de muestra y a las propiedades que se desean obtener, es decir la punta puede variar en tamaño (Figura 6), en puntas de radio de curvatura que van de los 20 a los 60 nm, dependiendo de la precisión que se desea obtener así como también del material a utilizar, como por ejemplo los mas estudiados Silicio y Nitruro de Silicio.

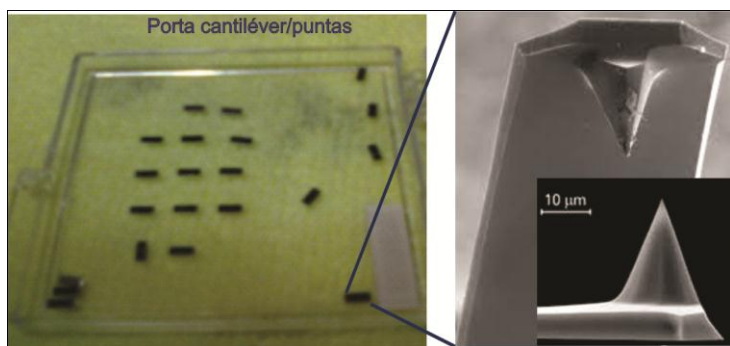


Figura 6 Puntas utilizadas en el Microscopio de Fuerza Atómica, se muestra un porta cantiléver y el tamaño de las puntas utilizadas.

Descripción del sensor piezoeléctrico.

El sensor piezoeléctrico en el AFM presenta una característica muy importante, que es el dimorfismo (Figura 7). Este dispositivo es utilizado para obtener la cercanía apropiada de la muestra hasta la punta, esto es debido al sistema de retroalimentación del sensor a la computadora. Éste es un sistema de seguridad para no dañar el cantiléver, y obtener una cercanía de la punta y la muestra en donde pueden interactuar las fuerzas de van der Waals.

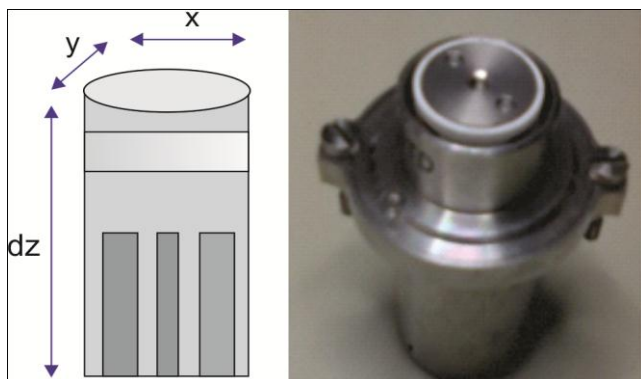


Figura 7 Imagen del sensor piezoeléctrico y su propiedad de dimorfismo.

Descritos a grandes rasgos los elementos fundamentales del Microscopio de Fuerza atómica, se deben conocer algunos de los modos de medición de la microscopia por fuerza atómica, siendo éstos los siguientes.

Representación esquemática

El Microscopio de Fuerza Atómica es un instrumento mecano óptico capaz de detectar fuerzas del orden de nanonewtons, gracias a su mecanismo de operación. Al analizar una muestra, se registra continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal (Figura 8), esta diferencia de altura es detectada en el arreglo de fotodiodos que a su vez es pre-amplificada la señal y comparada con una referencia, siendo sensible a efectos de fuerzas de sólo 200 microm de longitud. La información obtenida de la sonda es procesada por un sistema digital, pudiendo generar una imagen tridimensional de la superficie de la muestra. Por otro lado el circuito de retroalimentación permite que el escáner o sensor piezoeléctrico de material cerámico cambie de dimensiones como respuesta a un voltaje aplicado. Este escáner se caracteriza por tener tres grados de libertad y por su frecuencia de resonancia con un rango de operación de 100 micras en movimiento lateral y 10 micras en movimiento vertical.

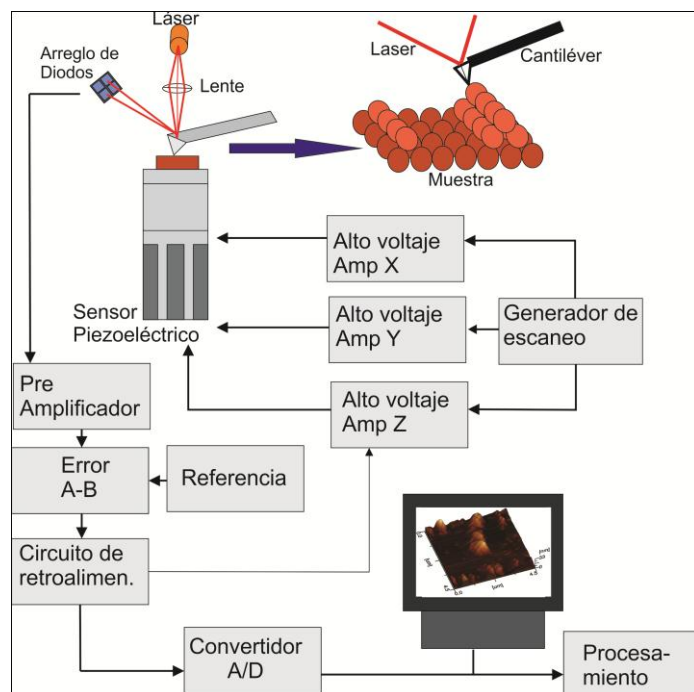


Figura 8 Representación esquemática del funcionamiento de un Microscopio de Fuerza Atómica.

La interacción del sistema compuesto por la punta a escala nanométrica, el cantiléver, el haz laser y el arreglo de diodos con la muestra, es uno de los más importantes en la adquisición de información. Es sistema descrito anteriormente elemento por elemento, proporciona la información posteriormente procesada como se muestra en el diagrama de la figura 8. El uso de una punta a escalas nanométricas permite resoluciones en la superficie tan pequeñas que sin este elemento no sería posible obtener micrografías de superficies de elementos semiconductores como el SiC, donde se han hallado montículos cuánticos de dimensiones 10nm (altura) x 5nm (base) [5].

Con el uso de este sistema nanométrico en punta-cantiléver permite hacer diferentes estudios en el AFM, haciendo uso de distintos modos de medición. Los modos utilizados por el AFM son los siguientes: Modo contacto, modo no contacto y modo tapping son las más utilizados para la descripción de las superficies a escalas nanométricas.

Conclusiones

El uso del Microscopio de Fuerza Atómica proporciona nuevo conocimiento de las estructuras a escala nanométrica, lo cual genera nuevos avances en la investigación de la Nanotrónica, pero todo esto es posible a la conjunción de un número determinado de sistemas mecano-ópticos, electrónicos y el procesamiento digital.

Dentro de los sistemas mecano-ópticos como se describió se encuentra la interacción de la punta-cantiléver, el haz laser y el arreglo de diodos. Un sistema de retroalimentación que con una aplicación de voltaje a un sensor piezoeléctrico permite el movimiento de la muestra en las tres dimensiones para un mejor análisis. Un sistema de acondicionamiento de señales. Un sistema de procesamiento de señales, así como un sistema de control en lazo cerrado, lo cual permite al AFM obtener muestras con resoluciones extraordinarias.

El AFM, sus sistemas, y elementos a escala nanométrica, permiten conocer la importancia de los elementos transductores a escalas nanométricas que nos dan oportunidad de trabajar y conocer más el superficies de las mismas dimensiones. El hecho de trabajar con este proyecto permite conocer un conjunto de sistemas y nanosensores (por así llamarlos) que podrías ser aplicados en nuevos sistemas de trabajo sobre nanoestructuras como para la manipulación de las misma y su modificación para un mejor desempeño de nuevos dispositivos electrónicos, o incluso desarrollo en dispositivos MEMS y NEMS.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Nanotrónica, al Dr. Alfred Zehe y a la Dra. B. Araceli Ramírez Solís, por brindarme la oportunidad de trabajar en un proyecto como este, en especial por darme la confianza, por permitirme estar bajo su tutela, por su ayuda, y por compartirme sus conocimientos en el área de la investigación. Agradezco también a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por este tipo de programas, y con especial agradecimiento por la oportunidad de ser parte del programa Jóvenes Investigadores Primavera VI.

Referencias

- [1] "The Nobel Prize in Physics 1986 Ernst Ruska, Gerd Binnig, Heinrich Rohrer" (Doc. Web), http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html, (revisado Octubre 2011).
- [2] Chunli Bai (2000), "Scanning tunneling microscopy and its applications", segundaedición, Ed. Springer, USA.
- [3] Mary Cruz Reséndiz González y Jesús Castellón-Urbe (2005), "Microscopio de Fuerza Atómica", Encuentro de Investigación en Ingeniería Eléctrica.

[4] Gómez Puerto Ramiro A. (2010), "Estudio de objetos a nano-escala en la superficie de Carburo de Silicio por Microscopio de Barrido por Sonda y su potencial uso para dispositivos nanotrónicos", Tesis de maestría.

[5] R. Gómez Puerto, A. Ramírez Solís, A. Zehe, "Emisión por Campo de Electrones desde Arreglos Nanométricos", Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón. Vol. 9, N° 2 (2011)

