

INSTRUMENTACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE NANOSISTEMAS

Por Inga. Andrea Rodas, aerm_iq@yahoo.es
Dra. Verónica Chapetón, veronicachapeton@hotmail.com
Ing. Renato Escobedo, renato.e@provelec.com
Lic. Mario Rodas, mmrodas@mac.com
Ing. Federico Salazar, correo@fsalazar.bizland.com

RESUMEN

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación y modificación de estructuras a nivel atómico-molecular para producir materiales de uso y aplicación en todas las áreas de la ciencia y tecnología. Diversos estudios concluyen sobre la importancia de capacitar y desarrollar la Nanotecnología como vía para el desarrollo en países del tercer mundo. En este artículo, los integrantes de uno de los grupos de estudio del Primer Curso a Nivel de Posgrado sobre Nanotecnología en Guatemala reportan en uno de los módulos sobre los equipos utilizados para la caracterización de sistemas y nanosustancias.

DESCRIPTORES

Nanotecnología, caracterización de sustancias, equipos de alta precisión, microscopía, espectrometría

ABSTRACT

Nanotechnology is the study, design, creation and modification of atomic/molecular level structures to produce material useful in all areas of science and technology. Studies conclude on the importance of training and developing nanotechnology as a means for development in third world countries. In this article, members of one of the First Course of Postgraduate level on Nanotechnology in Guatemala reported, in one of the modules of the course, the equipment used for the characterization of nanosubstances and systems related.

KEYWORDS

Nanotechnology, chemical compounds characterization, high accurate equipments, microscopy, spectrometry

INSTRUMENTACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE NANOSISTEMAS

PRESENTACIÓN

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación y modificación de estructuras a nivel atómico-molecular, a escala de 1 a 100 nm, para producir materiales de uso y aplicación en todas las áreas de la ciencia y tecnología. Varios estudios sociales, han concluido la importancia de capacitar y desarrollar la Nanotecnología como vía para de desarrollo en países del tercer mundo.

El siguiente trabajo corresponde al Informe Final del Modulo III del Curso de Especialización en Nanotecnología realizado en la Universidad de San Carlos de Guatemala durante el año 2009, bajo la coordinación de la Dirección General de Investigación DIGI. El informe del módulo consistió en una investigación bibliográfica sobre los equipos de precisión utilizados para al caracterización de partículas nanométricas.

ANTECEDENTES

Desde el discurso célebre de Feynman, en 1959, han pasado casi 50 años. Aunque la investigación y aplicación en nanotecnología es un asunto que cuenta con experiencia de más de cuatro décadas en países desarrollados, como lo es Estados Unidos y Europa; la mayoría de investigación-desarrollo en América Latina, aún se encuentre en sus fases iniciales. La investigación-desarrollo de nuevas tecnologías en los países en vías de desarrollo están sujetos a algunas situaciones clave, entre la mayor importancia se encuentran: Infraestructura, Capacidad humana, Costo, Derechos de propiedad intelectual, Educación, Barreras comerciales y Contexto político.

En los países de América latina, cada vez más, se le ha dado importancia, a incluir dentro de sus Planes Nacionales, a las tecnologías emergentes, como es el caso de la nanotecnología. El impulso a las nanotecnologías está asociado a la búsqueda de reorientar las economías para hacerlas menos dependientes de las exportaciones agropecuarias, mineras y otros sectores ligados a los recursos naturales (Foladori y Fuentes, 2007.2).

Según el artículo de Guillermo Foladori [1] casi la totalidad de los países de América Latina plantean explícitamente el objetivo de acelerar el desarrollo y la integración de la nanotecnología en la industria y el comercio, a fin de incrementar la competitividad nacional. Una de las características más importantes, para el desarrollo científico y tecnológico de América Latina y el Caribe, es la formación del Consejo Latinoamericano de Investigación Científica (CLIC), integrado por representantes de las cinco subregiones de la red (cono sur, sector andino, Centroamérica, Caribe y México) para crear una plataforma regional de investigación científica, en 10 líneas prioritarias. Entre las líneas prioritarias, se encuentran la Nanotecnología y nuevos materiales.

La mayoría de países centroamericanos cuentan, con un Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Entre los países centroamericanos que cuentan con la Nanotecnología dentro de sus Programas o Planes, se encuentra, Guatemala, El Salvador [2], Costa Rica y Panamá. Aunque entre estos países, Costa Rica es el más avanzado en materia de Nanociencia y Tecnología. Cuenta con el primer laboratorio especializado en Nanotecnología, en el Istmo y uno de los pocos en Latinoamérica. El LANOTEC (Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Microsensores y Materiales Avanzados) es un centro de excelencia en el estudio para la investigación, diseño, desarrollo e innovación en materias, como nanotecnología, microtecnología y ciencia de los materiales, en complemento a las existentes en las universidades de dicho país.

El Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2005-2014, de Guatemala se realizó consultando y revisando Planes Nacionales de Ciencia y Tecnología, de países como Canadá, México, España, Brasil, Costa Rica, Chile entre otros. De estos planes surgió la inquietud de incorporar las nuevas tecnologías (Biotecnología, Materiales Finos, Nanotecnología y Tecnologías de la Información y Comunicación). Los primeros pasos en el desarrollo de la Nanociencia y Tecnología en Guatemala, fueron impulsados por el Dr. Hugo Figueroa, Asesor de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), quien ha mostrado interés en que las universidades de Guatemala impulsen un proyecto conjunto que viabilice la creación de un Laboratorio de Nanociencia y Tecnología.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de su política de investigación ha respaldado al Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial de la Dirección General de Investigación (PUIDI-DIGI), quien ha tomado esta iniciativa. La Coordinación del PUIDI ha colaborado para realizar reuniones de trabajo que permitan vincular academia e industria, formalizando dicha intención. Para ello, el PUIDI ha organizado varias actividades, con el fin de impulsar la nanotecnología en Guatemala, siendo estas las más importantes:

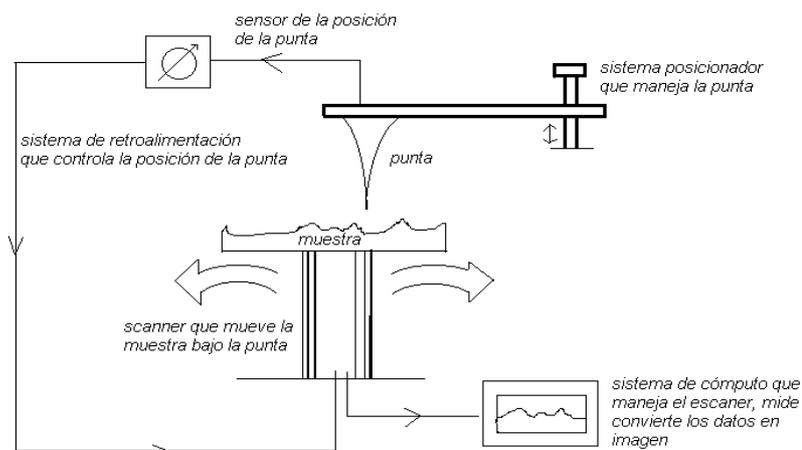
- dos Talleres de Nanotecnología, coordinados por la Dirección General de Investigación (DIGI) con el apoyo de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Los talleres, se llevaron por medio de un proyecto en la línea de Fondo de Apoyo a la Ciencia y Tecnología -FACYT- titulado Talleres para la difusión de la Nanotecnología y sus aplicaciones, (Proyecto FACYT No. 35-2006)
- Primer Simposio en Educación de Nanotecnología –NANOSIMP-, llevado a cabo, también por un proyecto en la línea de Fondo de Apoyo a la Ciencia y Tecnología – FACYT- (proyecto Facyt No. 40-2008)
- Primer Curso de Especialización en Nanotecnología a nivel de posgrado,
- Creación y coordinación de la primera Red Nacional para la Implementación de la Nanotecnología en Guatemala –REDNANOTEG-

Se presenta a continuación una selección de los equipos de alta precisión comunmente utilizados en la caracterización de partículas nanométricas.

MICROSCOPIA DE EXPLORACIÓN DE SONDA (SCANNING PROBE MICROSCOPE - SPM)

Este tipo de microscopios, forman una imagen por medio de una sonda, o una punta que explora a la muestra. Las técnicas SPM, proporcionan imágenes tridimensionales en tiempo real, permitiendo monitorear un área localizada para obtener las propiedades físicas de los materiales simultáneamente (Bonnell, 2001). Todos los SPM's tienen 5 elementos fundamentales: la punta, el escáner, el detector, el sistema de control electrónico y el sistema de aislamiento de vibración como se muestra en la figura 1. El diseño del escáner tiene forma de tubo y es de un material cerámico piezoeléctrico que cambia de dimensiones como respuesta a un voltaje aplicado, se caracterizan por tener tres grados de libertad, expandiéndose en una dirección y contrayéndose en otra como resultado del voltaje aplicado (Cruz y Castellón-Urbe, 2005.9). Entre las ventajas de utilizar un SPM, es que la resolución de los microscopios no es limitada por la difracción, la interacción punta-muestra, puede utilizarse para modificar la muestra y crear estructuras (nanolitografía), hay varios tipos de SPM, entre ellos, se encuentra microscopio de fuerza atómica (AFM), el microscopio de efecto de túnel (STM), el microscopio de fuerza magnética (MFM), el microscopio de fuerza de resonancia magnética (MRFM), el microscopio de efecto de túnel por exploración de fotón (PSTM) y el microscopía de exploración electroquímica (SECM).

Figura No. 1. Esquema General de un SPM



Fuente: Mary Cruz y Jesús Castellón. Microscopio de Fuerza Atómica, Pág. 9.

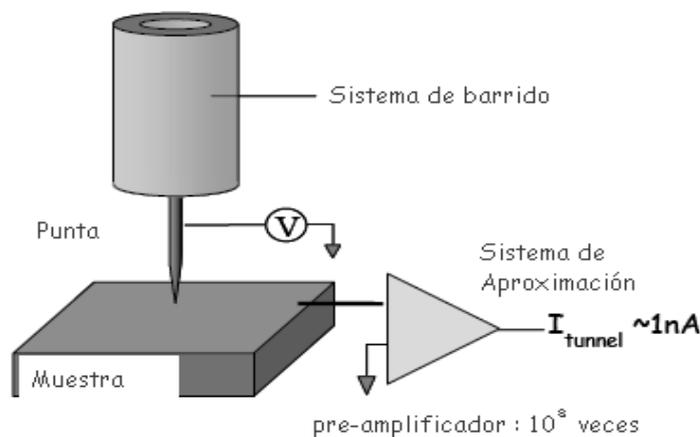
MICROSCOPIO EFECTO DE TÚNEL (MBT O STM, SIGLAS EN INGLES)

Este microscopio se desarrolló en 1981, por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (Premio Nóbel en 1986), en el Laboratorio de IBM (*IBM Research Laboratory*). En 1990 se publicó, la famosa imagen de I.B.M. con 35 átomos de xenón individuales, que se realizó manipulando cada átomo con un STM. La imagen que se obtiene por medio éste instrumento involucra el movimiento de la punta por encima de la superficie para obtener la

información topográfica, como analogía puede compararse con un lector Braille y como éste va tocando la superficie para obtener una imagen del objeto palpado. En la figura se muestra el esquema del funcionamiento del microscopio, basado en el control de la corriente que, por efecto túnel aparece entre la punta del microscopio y una superficie metálica cuando se aplica un pequeño voltaje entre ambas (alrededor de una décima de voltio). Al ajustar la corriente se controla por medio de un piezoeléctrico, la distancia de la punta-muestra a un nanómetro con una precisión de 0.01 nanómetros .

La punta se mueve, en el modo corriente, a lo largo y ancho de la superficie, efectuando un barrido por encima de la superficie de una muestra eléctricamente conductora (Group ETC, 2003.17 a), controlando que la distancia permanezca constante (para un voltaje fijo)

Figura No. 2. Esquema de un microscopio efecto de túnel



Fuente: Andrew Parella and Monica Plish. *Atomic Resolution with Scanning Tunneling Microscopy*, pág. 33.

Al aplicar un ligero voltaje, las reglas de la mecánica cuántica hacen que los electrones salten y fluyan “como en un túnel” atravesando el espacio entre la punta y la muestra (Terra, P., 1998). Conforme la punta se mueve por la superficie de la muestra, se realizan constantes ajustes a la posición de la punta para asegurar la distancia (por lo tanto la corriente eléctrica) para mantenerla constante (Biel et. al., 2006.17). De esta forma se obtiene un mapa de la corrugación superficial con detalles de su estructura atómica (lo que se debe a la fuerte localización especial de la corriente túnel) (Biel et. al., 2006). Dado que esta técnica se basa en el flujo eléctrico entre la punta y la muestra, el STM sólo puede usarse para materiales conductores. El STM puede usarse en ultra vacío, aire u otros ambientes.

Preparación de la muestra

La resolución inherente del STM, es una consecuencia directa del efecto cuántico de túnel que se da entre la muestra y la punta, esta corriente depende tanto de la anchura y de la

altura de la barrera túnel como de la estructura electrónica de la punta y la muestra (Alba M., 2006.65). La punta del microscopio, es el elemento más crítico de un STM, ya que al final es la que determina la resolución y la calidad de la imagen en general, se utiliza generalmente de hilos de Tungsteno y Platino/Iridio y existen varios métodos de preparación de las mismas (Alba M., 2006.61). Entre los métodos para la preparación de la punta, se encuentra el dispositivo de grabado electroquímico. Al pasar una corriente a través de una disolución de NaOH, utilizando un electrodo de grafito como positivo y el cable de tungsteno como negativo, la parte que está sumergida en la disolución de este último acaba por caerse, dejando así una punta afilada en el otro extremo que está en el aire. En ese momento ha de cerrarse la fuente de tensión (Weinstein et. al, 1995.3075). La muestra requiere ser semiconductor, para muestras biológicas puede agregarse una pequeña capa de oro o carbono. Para trabajar esta técnicas al vacío se requiere modificar el equipo, a un STM de alto vacío.

MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (AFM POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

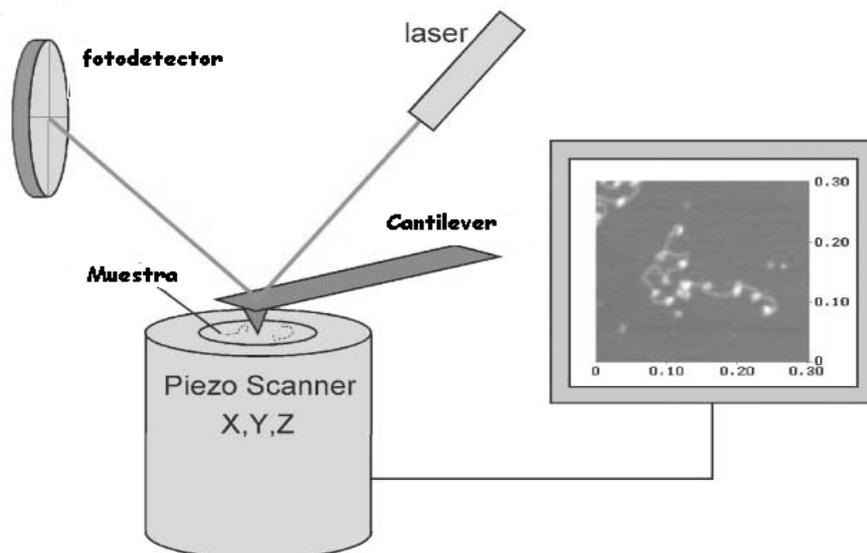
El microscopio atómico de fuerza, fue desarrollado para superar una desventaja básica del STM, de utilizarse únicamente en superficies semiconductoras. El AFM sin embargo, tiene la ventaja de proyectar casi cualquier tipo de superficie, incluyendo los polímeros, la cerámica, los cristales y muestras biológicas. El AFM es un microscopio de proximidad basado en la detección de la fuerza que actúa entre la punta del microscopio y una superficial metálica o aislante. El AFM, monitorea la superficie de la muestra con una punta de radio de curvatura de 20 a 60 nm que se localiza al final de un cantilever.

Las fuerzas entre la punta y la muestra provocan la deflexión del cantilever, simultáneamente un detector mide esta deflexión a medida que la punta se desplaza sobre la superficie de la muestra generando una micrografía de la superficie. La fuerza interatómica que contribuye a la deflexión del cantilever es la fuerza de Van der Waals (Cruz y Castellón-Urbe, 2005.9).

En la figura 3 se muestra el esquema de funcionamiento de un AFM, el movimiento del cantilever, se mide por medio de la luz que se refleja del lado de arriba del cantilever y es registrada por un fotodetector.

Preparación de la muestra

La ventaja del microscopio de fuerza atómica AFM, es la versatilidad del mismo. Puede utilizarse bajo vacío, en medio líquido (para muestras biológicas) y aire ambiente. Analiza tanto materiales aislantes como conductores, no hay restricciones en el tipo de muestra y no requieren una preparación especial y tampoco un sistema de vacío. Por ejemplo, en componentes biológicos (células, tejidos, proteínas, etc.) no requiere de procesos previos de recubrimiento, teñido, etc. En el caso de materiales, los polvos, deben ser suspendidos en una monocapa, los sólidos, deben adherirse sobre una superficie.

Figura No. 3. Esquema del funcionamiento de un AFM

Fuente: J.H. Hafner, C.L. Cheung, A.T. Woolley, C.M. Lieber. *Structural and functional imaging with carbon nanotube AFM probes*, pág. 76.

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN (TEM POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Un microscopio electrónico de Transmisión (TEM) utiliza un haz de electrones para visualizar un objeto debido a que la potencia amplificadora de un microscopio óptico está limitada por la longitud de onda de la luz visible. Debido a que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor (0.005 nm), permite un alto poder de resolución. El microscopio electrónico se asemeja en algunos aspectos al microscopio óptico, ya que consta de sistema de iluminación, sistema de manipulación de la muestra, sistema de formación y proyección de la imagen. La fuente de iluminación es un fino filamento de tungsteno (cátodo) que al ser calentado por el paso de una corriente emite electrones, los cuales son desprendidos a gran velocidad al establecerse una diferencia de potencia eléctrica entre el cátodo y el ánodo, pasando a través de este último por una apertura hacia una columna metálica hueca, donde existe un alto vacío. Una vez acelerados los electrones por el ánodo, atraviesan un campo magnético producido por la condensadora, la cual concentrará los electrones en un haz fino y lo dirigirá hacia la muestra.

Esta última se introduce dentro de la columna por un dispositivo especial que expone el objeto a estudiar al haz de electrones el cual constituye el sistema de manipulación de la muestra. El choque de los electrones con los átomos de la muestra, provocan que estos pierdan velocidad y varíen su trayectoria. Los electrones que no chocan se proyectan sobre

una pantalla fluorescente, placa fotográfica o CCD, formando imágenes reales. A medida que aumenta el espesor de la muestra la imagen resulta más confusa y menos luminosa debido a la pérdida de electrones. La muestra debe ser procesada a fin de obtener secciones ultrafinas (60 nm) para poder visualizar en el TEM. Se utiliza para estudios biológicos, micropartículas y nanopartículas, estructura interna de láminas delgadas, etcétera.

Preparación de la muestra

Las muestras para un TEM, requiere ser lo suficientemente delgadas para que los electrones las traspasen, esto dependerá de la densidad del material en cuestión por ejemplo, un polímero tendría que tener entre 60 u 80 nm de espesor. Las muestras a estudiar requieren una preparación compleja específica y la obtención de secciones ultrafinas mediante ultramicrotomía. En general se requiere muestras conductoras y sin humedad. En el caso de determinadas muestras biológicas tales como bacterias, macromoléculas y otras pequeñas partículas se requieren técnicas especiales de preparación, comúnmente se recubre con oro o carbono de unos cuantos nm de espesor.

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM POR SUS SIGLAS EN INGLES)

El microscopio de barrido (SEM) es similar a un microscopio electrónico de transmisión (TEM), ambos tienen características comunes. Entre ellas se encuentran un cañón de electrones, lentes condensadores, objetivo y sistema de vacío. La diferencia principal, entre ellos, es la manera en que forman y magnifican la imagen. Los electrones no pasan a través de la muestra, sino exploran a través de la superficie de la muestra, para crear una imagen de alta resolución tridimensional. Además de la imagen también existe la posibilidad de realizar análisis químico en la muestra de estudio. Para ello, el microscopio lleva acoplada una sonda de análisis de energías dispersivas de rayos X. Una de las señales que emite la muestra al incidir sobre ella el haz de electrones es la de rayos X. Estos rayos son característicos de cada elemento, por lo que se puede determinar y cuantificar la cantidad de cada elemento que posee la muestra, es decir, permite un análisis químico.

El SEM, es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se produce distintos tipos de señal que se generan desde la muestra, esta equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución, un detector de electrones retrodispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de superficie, además del detector de energía dispersiva (Rayos X). Las aplicaciones del SEM, son muy variadas, como petroquímica, metalúrgica, medicina forense, ciencia de los materiales, geología entre otros. Puede mostrar detalles muy finos de la morfología y la topografía exterior de muestras biológicas y no biológicas. Las ampliaciones de 10 a 300,000 veces son comunes.

Preparación de la muestra

Debido a que existe una gran variedad de campos de aplicación del SEM, hay muchos tipos de muestras que pueden ser observadas. Se han desarrollado diversas técnicas de preparación que dependen de la muestra. En general, requieren un tamaño reducido de hasta 7 cm., la muestra debe estar limpia y seca, se debe mantener la morfología original y no debe tener cargas electrostáticas. Algunas muestras se deben preparar y cubrir cuidadosamente con una capa delgada de metal de oro para asistir a la formación de la imagen.

ESPECTROSCOPIA

Los métodos espectroscópicos se basan en las transiciones que se producen entre los diferentes estados energéticos de los átomos o las moléculas como consecuencia de la interacción entre la materia y una radiación electromagnética de determinada energía (Martínez; Gil, y Barón, 2006.790). Se pueden producir espectros ya sea por emisión o absorción de energía. Entre los espectrómetros utilizados se encuentran:

ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF)

Dentro de la caracterización de los materiales, el XRF, es una técnica utilizada para cuantificar materiales (Nebesny et. al., 1989.453). Es un conjunto de técnicas que permiten detectar y cuantificar la composición de una muestra de material desconocido irradiándola con Rayos X. Esta técnica es utilizada para llevar a cabo análisis cualitativos de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.), sin preparación de la muestra, el único requisito es que ésta tenga un tamaño inferior al del portamuestras, son capaces de proporcionar análisis cuantitativos de materiales complejos con una precisión bastante aceptable (Martínez; Gil, y Barón, 2006.792).

ESPECTRÓMETRO FOTOELECTRÓNICO DE RAYOS X (XPS)

En esta técnica los fotones incidentes causan la emisión de electrones, en energías características de un nivel atómico particular (Mathew et. al., 2005.85). La medición de la energía emitida por los fotoelectrones, permiten determinar la composición superficial de los sólidos, la aproximación estequiométrica se mide con la intensidad correcta de la ionización elemental. Los cambios pequeños de energía de los fotoelectrones reflejan los enlaces de determinado átomo (Mathew et. al., 2005.85). Se utiliza para analizar químicamente y cuantitativamente la superficie de materiales, además de presenta la composición química de materiales.

ESPECTROSCOPIA RAMAN

A lo largo de los años, se han desarrollado varias técnicas basadas en la espectroscopia Raman, entre ellas, se encuentra la espectroscopia Raman con transformadas de Fourier, que permiten analizar materiales orgánicos e inorgánicos, verificar reacciones químicas, analizar polímeros y sus modificaciones, además de observar muestras de origen biológico. Otros equipos desarrollados dentro de la nueva instrumentación Raman, se encuentra el sistema de alta eficiencia de sistemas Raman que incorporan láseres de bajo poder. Estos sistemas que permiten mediciones más exactas en la nanoescala incorporando equipo microscopio, el Raman-SEM. Entre las aplicaciones de la Espectroscopia Raman, se encuentra la caracterización de los materiales (películas, etc.), en medicina, en muestras biológicas, etc.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Para el análisis de difracción por rayos X normalmente se utilizan radiaciones de Cu, Co, Fe, y Cr, cada uno de ellos tiene diferente poder de difracción y longitudes de onda características. La muestras, no se coloca en un recipiente determinado, ya que, la radiación con rayos X afecta a los electrones de las capas más internas de los átomos del analito, por lo tanto, no importa si la muestra es líquida, sólida o gaseosa. Esta técnica permite identificar, cuantificar y caracterizar toda clase de materiales sólidos, identificando y cuantificando los elementos contenidos en la muestra. Determina parámetros asociados con la estructura cristalina tales como, fases presentes, orientación preferencial, tamaño de grano, porcentaje de cristalinidad.

Se presentan en la Tabla No. 1 el resumen de los diferentes tipos de espectrómetros utilizados en un laboratorio de nanotecnología.

OTRAS TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN UTILIZADAS

RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

La resonancia magnética nuclear (RMN) utiliza una combinación de imanes grandes, radiofrecuencias y una computadora para producir imágenes detalladas de los órganos y las estructuras de la muestra. El campo magnético, junto con una radiofrecuencia, altera el alineamiento natural de los átomos de hidrógeno en la muestra y posteriormente se usan computadoras para formar imágenes bidimensionales de la estructura de la misma basándose en la actividad de los átomos de hidrógeno. Para detectar más detalles, se pueden obtener vistas transversales. La RMN no utiliza radiación.

Tabla No. 1. Resumen de los diferentes espectrómetros empleados en un laboratorio de Nanotecnología enfocado en el área de materiales

Sigla	Equipo	Definición	Aplicaciones
STM	Microscopio de Efecto de Túnel	Microscopio de gran eficiencia que permite ver y manipular las superficies a escala atómica	Se utiliza para aplicaciones físicas, químicas, biológicas y de ciencia de los materiales
AFM	Microscopio de Fuerza Atómica	Obtiene imágenes basadas en el funcionamiento de barrido de una punta a distancias atómicas de la muestra. Las deflexiones de la punta que resulta de este contacto adquieren información sobre las características físicas de la superficie.	Se utiliza en la caracterización de materiales, películas, etc. es un ensayo no destructivo. Permite medir la fuerza superficial sobre una muestra del material.
TEM	Microscopio Electrónico de Transmisión	Obtiene imágenes de alta resolución por medio de electrones, se utiliza mayormente en estudio de materiales y superficies	Ciencia de los Materiales, Geología, Morfología, Estructuras Cristalinas, composición Química, muestras biológicas.
XRF	Espectroscopi a Fluorescencia de Rayos X	Técnica que permite conocer la composición elemental de una muestra, analizando la emisión de rayos X	Se utiliza para determinar contaminantes en: agua, aceite, gasolina, polímeros, concretos (Wirth, 1990.58) Además en mineralogía, geología, cerámica, cementos, metales, etc.
XPS	Espectroscopi a de Fotoelectrones de rayos X	En esta técnica los fotones incidentes causan la emisión de electrones, en energías características de un nivel atómico particular.	Se utiliza para analizar químicamente y cuantitativamente la superficie de materiales, presenta la composición química de materiales.
RS	Espectroscopi a Raman	Técnica que hace pasar un haz de luz a través de un medio, cierta cantidad de la luz se dispersa y puede detectarse efectuando observaciones en sentido perpendicular al haz incidente.	Puede procesar muestras, acuosas, sólidas, gaseosas, transparentes u opacas. Se utiliza para caracterización en ciencia de los materiales, medicina.
NMR	Resonancia Magnética Nuclear	Técnica que utiliza un campo magnético estático que permite que los spines nucleares distintos de cero, absorban energía cuando se irradian con una fuente de energía de radiofrecuencia	Se utiliza para realizar análisis cualitativos y cuantitativos, (moléculas orgánicas e inorgánicas), la principal limitación de esta técnica es su escasa sensibilidad. Se utiliza para caracterizar materiales (Listerud; Sinton, and Drobný, 1989.147)

Fuente: Rodas Morán, A.E.. Compilación Monográfica de Información para un Proyecto de Desarrollo de la Nanotecnología en Guatemala.

ELIPSOMETRÍA

Es una técnica de análisis óptica que se basa en el cambio del estado de polarización de la luz que se incide sobre un material. Dicho análisis es no destructivo y es útil para la determinación de espesores de películas delgadas, y constantes ópticas de materiales (índices de refracción). Existen diferentes formas de polarización, las que típicamente se estudian en esta técnica son la polarización lineal y la polarización elíptica. La primera de ellas ocurre cuando las componentes E_z y E_y del vector eléctrico se mantiene constantes a través del tiempo y la segunda cuando existe una variación de ambos componentes que den como vector resultante aquel que traza una elipse. La interacción luz-sólido se relaciona con el hecho de que parte de la luz es reflejada por el sólido por medio de las leyes de transmisión y reflexión de ondas planas, los coeficientes de Fresnel y la ley de Snell.

ESPECTROSCOPIAS ÓPTICAS

Llamada también espectroscopia de campo o espectroscopia de emisión, la espectroscopia óptica para el estudio de plasmas es una técnica de caracterización que permite conocer las propiedades de un plasma. Suele utilizarse como una herramienta auxiliar en sistemas de crecimiento de láminas delgadas tales como ablación láser y sputtering. En este tipo de procesos se generan plasmas dentro de cámaras de alto vacío. Es deseable estudiar la composición química y demás características de dichos plasmas para conocer la fisicoquímica, es decir, las reacciones que se llevan a cabo al crear estos nuevos materiales. De manera similar se utiliza la espectroscopia de emisión para el estudio de plasmas astrofísicos al ser montado el equipo en el sistema de un telescopio.

TERMOGRAVIMETRÍA CON ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL (TG-ATD)

Las termobalanzas están equipadas con sistemas de balanzas digitales, construidas en vertical con una disposición de carga de muestras por la parte superior y medición directa de la temperatura en la muestra. Casi todos los modelos trabajan al vacío. Junto con el registro exacto de los cambios de masa en función de la temperatura y la atmósfera, puede calcularse opcionalmente información sobre los procesos endotérmicos y exotérmicos.

TÉCNICAS DE ADSORCIÓN FÍSICA - POROSIDAD

La adsorción física (o fisorción) de gases y vapores (adsorbatos) en sólidos (adsorbentes) es una de las técnicas más usadas para el estudio de la textura porosa de sólidos de todo tipo, aunque no es la única. Existen otras técnicas como la porosimetría de mercurio, técnicas calorimétricas, difracción de rayos-X, microscopía electrónica, aunque estas últimas permiten el estudio de la porosidad en un intervalo algo más restringido. En la caracterización de la textura porosa de un sólido los parámetros a determinar son el área

superficial (o superficie específica) y el volumen y la distribución de tamaño de poros. Para la determinación de estos parámetros se puede recurrir, entre otros, a la adsorción de un gas (N_2 , CO_2 , hidrocarburos) a temperatura constante (para N_2 77K, para CO_2 273K, etc...), obteniéndose así la isoterma de adsorción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ALBA BUENO, MANUELA** (2006). Estudio y Caracterización con Microscopía de Escaneo de Nano-materiales empleables en nuevas arquitecturas para memorias. Doctor.Universidad de Granada. Departamento de Arquitectura y Tecnología. Pp. 1-211.
2. **BARANABY, J. FEDER** (2002). "At IBM, a Tinier Transistor Outperforms Its Silicon Cousins". New York Times - 20 de mayo.
3. **BIEL B. ET. AL** (2006). "Nanociencia: Manipulación a Escala Atómica y Molecular". Revista Sistema. Madrid
4. **BIEL B. ET. AL** (2005). "Santa Barbara, CA: Veeco Instruments Inc.
5. **BOOKER, RICHARD AND BOYSEN, EARL** (2005). Nanotechnology for Dummies. Estados Unidos: Wiley Publishing Inc.
6. **BONNELL, D.A.** (2001). Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy. 2nd. Ed. USA: Wiley-VCH.
7. **COMUNIDAD DE MADRID** (2006). "Nanociencia y Nanotecnología I". Revista Miod. Vol. 34, enero-febrero. España. Consultado en: <http://www.madrimasd.org/revista/revista34/sumario.asp>
8. **COMUNIDAD DE MADRID** (2006). "Nanociencia y Nanotecnología II". Revista Miod. No. 35, marzo-abril. España . Consultado en: <http://www.madrimasd.org/revista/revista35/sumario.asp>
9. **CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.** (2006). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. El Salvador
10. **CRUZ M. Y CASTRELLÓN-URIBE, J.** (2005). "Microscopio de Fuerza Atómica". Encuentro de Investigadores en Ingeniería Eléctrica. Memorias. Marzo 17-18, 39600 pp. Zacatecas.
11. **DRESSELHAUS M.S. ET. AL.** (2002). "Raman Spectroscopy of Nanoscale Carbons and of an Isolated Carbon Nanotube". Mol. Cryst. Liq. Cryst. (Vol. 387).[245]/21-[253]/29.
12. **ENOMOTO KAZUKI ET. AL.** "Measurement of Young's modulus of carbon nanotubes by nanoprobe manipulation in a transmission electron microscope". Applied Physics Letters. (No. 88, 153115 (2006)).153115-1/153115-4 pp. 2006
13. **GROUP ETC.** (2003). La Inmensidad de los Mínimo. Grupo ETC.

14. **GUERRA C. Y ZYPMAN F.** (2000). "Microscopio Educativo de Fuerza Atómica". Journal of Materials Education. (México).(Vol. 22, No. 1-3). 34-38 pp. Disponible en la red: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/266/26622306.pdf>
15. **INTI-INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL.** Proyectos del INTI en Nanotecnología. Argentina: INTI, s.a.
16. **LISTERUD, J.M.; SINTON, S.W. AND DROBNY, G.P.** (1989). "NMR, Imaging of Materials". Analytical Chemistry. (vol. 61, No. 1, January). 148-158 pp.
17. **MARTÍNEZ, D.; GIL, O.D. Y BARÓN, A.J.** (2006). "Espectrometría de Fluorescencia de rayos X". Revista Colombiana de Física. (Vol. 38, No. 2) 790-794 pp. Colombia
18. **MATHEW, A. ET. AL.** (2005). "X-ray Photoelectron Spectroscopy of High-k Dielectrics". Characterization and Metrology for ULSI Technology. (CP788). 85-92 pp.
19. **MENDOZA G. Y RODRÍGUEZ J.L.** (2007). "La Nanociencia y La Nanotecnología: Una revolución en curso". Perfiles Latinoamericanos. México. (enero-junio, No. 027). 161-186pp.
20. **MULLER, T.** (2005). "Scanning Tunneling Microscopy: A Tool for Studying Self-Assembly and Model Systems for Molecular Devices". Veeco Instruments Inc. (Santa Barbara, CA)(AN 85, Rev AO, 1/05).
21. **NEBESNY, K.W.; MASCHHOFF, B.L. AND ARMSTRONG N.R.** (1989). "Quantitation of Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopies". Analytical Chemistry. (Vol. 61, No. 7 April). 452-459 pp.
22. **WIRTH, M.J.** (1990). "Ultrafast Spectroscopy". Analytical Chemistry. (Vol. 62, No. 4, February) 57-63 pp.
23. **ZHOU, LI AND SUN, YAN** (2006). "Storage of Hydrogen on Carbon Materials: Experiments and Analyses". Chem Eng. Comm. (No. 193). 564-579pp.