



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO

FORMATO GUÍA PARA REGISTRO DE ASIGNATURAS

Hoja 1 de 3

I. DATOS DEL PROGRAMA Y LA ASIGNATURA

1.1 NOMBRE DEL PROGRAMA: Programa de Doctorado en Red en Nanociencias y Micro-Nanotecnología

1.2 COORDINADOR DEL PROGRAMA: _____

1.3 NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Microscopia Electrónica de Transmisión

1.4 CLAVE: _____ (Para ser llenado por la SIP)

1.5 TIPO DE ASIGNATURA:

	OBLIGATORIA	<input type="checkbox"/>	OPTATIVA	<input checked="" type="checkbox"/>
	SEMINARIO	<input type="checkbox"/>	ESTANCIA	<input type="checkbox"/>

1.6 NÚMERO DE HORAS:

	TEORÍA	<input type="text" value="4"/>	PRACTICA	<input type="text" value="2"/>	T-P	<input type="text"/>
--	--------	--------------------------------	----------	--------------------------------	-----	----------------------

1.7 UNIDADES DE CRÉDITO:

1.8 FECHA DE LA ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA:

	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	d	m	a

1.9 SESIÓN DEL COLEGIO DE PROFESORES EN QUE SE ACORDÓ LA IMPLANTACIÓN DE LA ASIGNATURA:

	SESIÓN No.	<input type="text"/>	FECHA:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
				d	m	a

1.10 FECHA DE REGISTRO EN SIP: (Para ser llenado por la SIP)

	d	M	a
--	---	---	---

II. DATOS DEL PERSONAL ACADÉMICO

2.1 COORD. ASIGNATURA: HECTOR CALDERON BENAVIDES CLAVE: _____

2.2 PROFR. PARTICIPANTE: GEORGINA CALDERON CLAVE: _____

HUGO MARTINEZ GUTIERREZ CLAVE: _____

III. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

III.1 OBJETIVO GENERAL:

El estudiante conocerá los principios teórico-prácticos de técnicas de microscopía electrónica de transmisión y transmisión barrido utilizadas para la caracterización de nanomateriales y materiales aplicables en micro y nanotecnología, así como las bases de funcionamiento del equipo involucrado.

III.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

TEMAS Y SUBTEMAS	TIEMPO
1. Microscopia Electrónica de Transmisión	4
1.1. Historia de la microscopia electrónica de transmisión. Desarrollo de los microscopios electrónicos de transmisión. Microscopía y el uso de electrones. Interacción de los electrones con la materia. Profundidad de campo. Difracción.	
1.2. Limitaciones del MET. Muestreo. Interpretación de las imágenes de transmisión. Daño por el haz electrónico y seguridad. Preparación de muestras. Propiedades fundamentales del electrón.	
1.3. Óptica y lentes. Óptica geométrica. Lentes electrostáticas. Lentes magnéticas. Aberraciones de las lentes y defectos.	
2. Microscopio electrónico: el instrumento y modos de operación.	4
2.1. Componentes del microscopio electrónico de transmisión. El microscopio electrónico. Cañón de electrones. Sistema condensador. Formación de imágenes. Detección de electrones y grabado de imágenes.	
2.2. Principios de formación de imagen. Introducción. Difracción e imagen. Dispersión y difracción. Dispersión elástica. Muestras delgadas débilmente dispersoras. Muestras delgadas fuertemente dispersoras. Objetos periódicos delgados: cristales. Cristales gruesos y muy gruesos.	
3. Preparación de Muestras.	3
3.1. Preparación de muestras. Preparación de laminillas delgadas. Muestras sobre rejillas. Réplicas.	
3.2. Preparación de muestras, fijación de tejidos y muestras biológicas, métodos de deshidratación con soluciones o al punto crítico, micrótomos y criostatos, tipos de corte, tinciones diferenciales, tinciones con fluoróforos y cromóforos, montaje y fijación en porta muestras.	
4. Difracción en el Microscopio Electrónico.	8

<p>4.1. Uso de la difracción en el MET. Ley de Bragg. Introducción a efectos dinámicos. Uso de índices en patrones de difracción. Formación de patrones de difracción. Espacio recíproco. El vector g. Las ecuaciones de Laue y su relación a la Ley de Bragg. La esfera de reflexión de Ewald. El error de excitación s.</p> <p>4.2. Indexación de patrones de difracción. Técnicas experimentales. La proyección estereográfica. Indexación de patrones de difracción de cristales simples. Patrones de anillos de materiales policristalinos. Patrones de anillos de materiales amorfos. Doble difracción. Orientación de la muestra. Relaciones de Orientación. Análisis de computadora.</p> <p>4.3. Difracción de Kikuchi. Origen de las líneas de Kikuchi. Líneas de Kikuchi y dispersión de Bragg. Construcción de mapas de Kikuchi. Orientación de cristal y líneas de Kikuchi.</p>	
<p>5. Formación de imágenes en el MET.</p>	<p>16</p>
<p>5.1 Contraste. Bandas de espesor. Contornos de doblez. Defectos Planares. Fallas de apilamiento en materiales ccc. Otras translaciones: bandas π y δ. Límites o fronteras de fase. Formación de imágenes cuantitativa.</p> <p>5.2 Campos de deformación. Ecuaciones de Howie-Whelan. Contraste de una dislocación aislada. Campos de desplazamiento y esfera de Ewald. Nodos y redes de dislocaciones. Dislocaciones e interfaces. Defectos volumétricos y partículas. Simulación de imágenes.</p> <p>5.3 Imágenes de contraste de fase. Introducción. El origen de las bandas de red. Formación de imágenes de bandas de red sobre ejes. Patrones de Moire. Contraste de Fresnel.</p> <p>5.4 MET de alta resolución. Principios de la formación de imágenes. Transferencia en la muestra. Resolución. La función de transferencia del microscopio. Desenfoque de Scherzer. Enfoque óptimo. Consideraciones experimentales. Ejemplos. Simulación de imágenes.</p> <p>5.5 Microscopia con corrección de aberración. Interacción electrón-muestra. Corrector de aberración esférica, Corrector de aberración cromática y Monocromador. Transferencia de información en un MET con corrección de Cs. Métodos Holográficos. Combinación con equipo con corrección de aberración Cs. Aplicaciones.</p>	
<p>6. Microscopía Electrónica de Transmisión-Barrido (STEM)</p>	<p>16</p>
<p>6.1. Introducción. Teoría básica de formación de imágenes en STEM. Imágenes de campo claro coherente con un detector puntual en eje. Formación de imágenes incoherente con un detector de campo oscuro anular. Mecanismos de dispersión de ángulo alto. Teorías dinámicas de formación de imágenes en campo oscuro con electrones TDS (thermal diffuse scattering).</p> <p>6.2. Resolución de sub-angstrom por medio de corrección de aberraciones.</p> <p>6.3. Ejemplos de aplicación</p>	
<p>7. Espectroscopía de rayos X en el MET.</p>	<p>8</p>
<p>7.1. Espectrometría de rayos X. El espectrometro de dispersión de energía. Detectores y su resolución. Variables del detector y del procesamiento. Espectrometros de dispersión de longitud de onda.</p>	

<p>7.2. La interfase microscopio-espectrometro. Relación de intensidad pico a ruido. Precauciones del análisis. Selección de parámetros experimentales. Análisis cualitativo, variables del microscopio, adquisición de un espectro, visibilidad e identificación de picos.</p> <p>7.3. Análisis cuantitativo de rayos X. Esquemas de cuantificación. Corrección por fluorescencia y por absorción. Análisis de laminillas delgadas. Determinación de factores k. Estadística. Ensanchamiento del haz y resolución espacial. Resolución espacial y detectabilidad mínima. Medición de espesor.</p>	
<p>8. Espectroscopia de pérdida de energía (EELS).</p>	<p>8</p>
<p>8.1. Introducción: Definición, técnicas experimentales, el espectro de EELS, el pico de pérdida cero, plasmones, transiciones de inter e intra banda, el espectro de pérdida alta, ionización de capa interna, características de borde-ionización.</p> <p>8.2. Instrumentación. El prisma magnético, adquisición de un espectro. Espectrometros de imagen. Obtención de espectros.</p> <p>8.3. Microanálisis cuantitativo de datos de pérdida de energía. Desconvolución de espectros de pérdida baja. Análisis de Kramers-Kronig, Desconvolución de datos de pérdida de centro. Cuantificación elemental.</p> <p>8.4. Aplicaciones en el MET de EELS. Medición del espesor, espectroscopia de baja pérdida, imágenes filtradas de energía y patrones de difracción, Análisis elemental a partir de espectroscopia de pérdida del centro. Resolución espacial y límites de detección.</p>	

III.3 BIBLIOGRAFIA UTILIZADA EN LA ASIGNATURA

1. Transmission Electron Microscopy. D.B. Williams, B. Carter. 1996 Plenum Press New York.
2. Transmission Electron Microscopy. L. Reimer. Optical Sciences, Vol. 36. 1993 Springer Verlag.
3. Scanning Transmission Electron Microscopy. Eds. S.J. Pennycook, P.D. Nellist. 2011 Springer Verlag.
4. Probing the Nanoworld. 38th IFF Spring School 2007. Forschungszentrum Jülich.
5. Electron Microdiffraction, J.C.H. Spencer, J. M. Zuo, 1992 Plenum Press, New York.
6. Electron Microscopy of Thin Crystals. P. Hirsch, A. Howie, R. B. Nicholson, D. W. Pashley, M. J. Whelan. 1977 Robert E. Krieger Publishing Company.
7. Advances in Imaging and Electron Physics Vol 96. The Growth of Electron Microscopy. 1996 Academic Press.
8. Principles of Analytical Electron Microscopy. D.C. Joy, A. D. Romig Jr., J. I. Goldstein. 1986 Plenum Press.
9. Transmission Electron Microscopy. L. Reimer, H. Kohl, 5ª Edición, Physics of Image Formation. Springer Optical Sciences Vol. 36, 2008, Springer.

