



Información General sobre Materiales, Seguridad y Equipos para la Nanotecnología

ESC 211

*Traducción: Prof. Amilcar A. Rincón Charris - Inter American University of Puerto Rico - Bayamon Campus y
Prof. Edwar Romero (Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Turabo, Puerto Rico)*

© 2013 The Pennsylvania State University

Unidad 5

Herramientas Básicas de Caracterización

Conferencia 1

Herramientas Básicas de Caracterización

Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría (Spectrophotometry)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Herramientas Básicas de Caracterización

- La humanidad ha estado usando la nanotecnología por más de 2000 años
- La razón por la que está siendo conocida es porque ahora podemos “ver” lo que estamos haciendo, lo que nos permite controlar el proceso.
- El poder “verlo” se llama caracterización.

Herramientas Básicas de Caracterización

- Esta sección está diseñada para dar una breve introducción a algunas herramientas de caracterización comunmente usadas en micro y nanofabricación.
- En el laboratorio se tendrá una demostración de las herramientas, entrenamiento por un ingeniero/científico, y práctica con el equipo.

Contenido

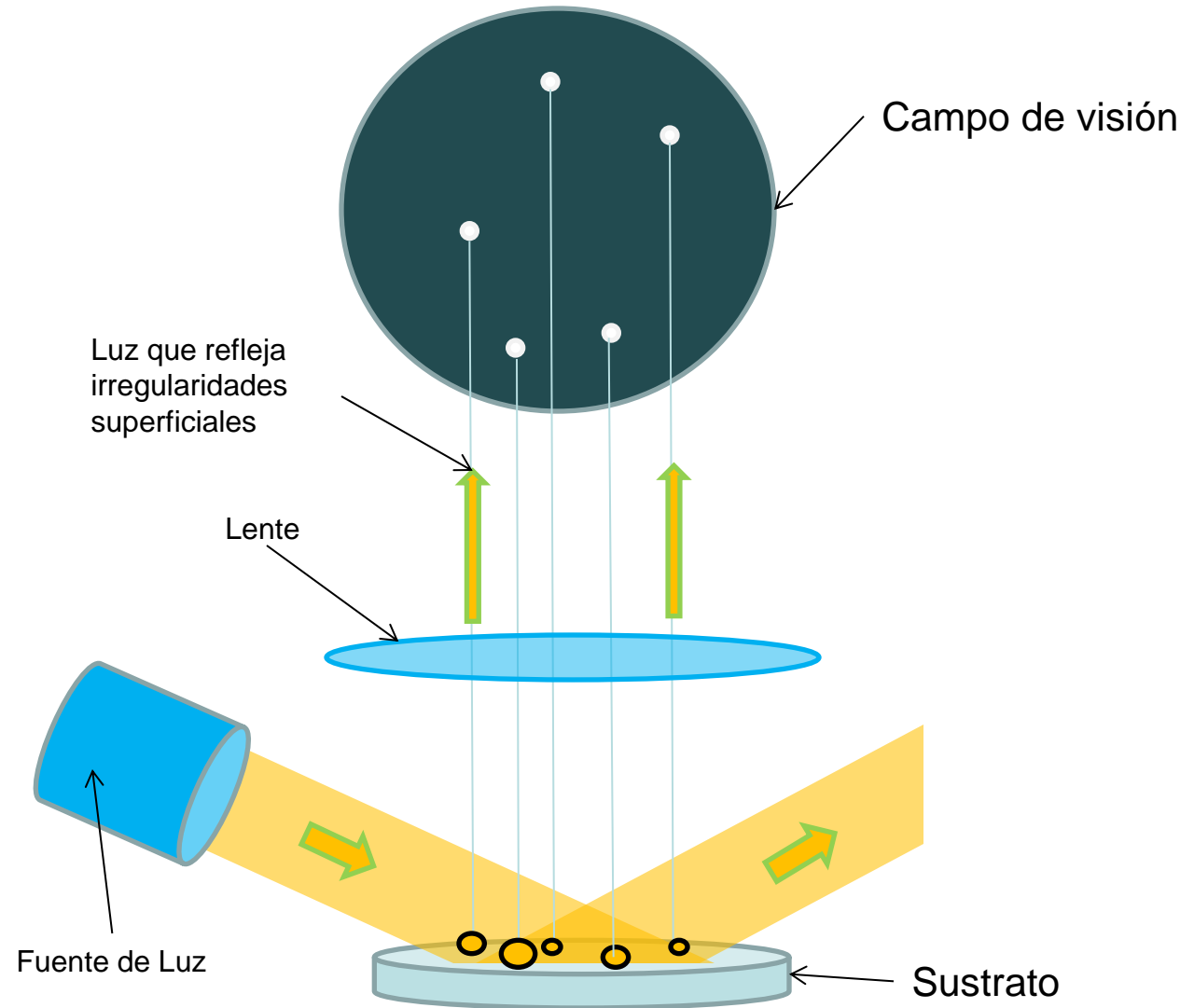
- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría (Spectrophotometer)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Microscopía Óptica

- El microscopio óptico es el más antiguo tipo de microscopio y usa luz visible y un sistema de lentes para aumentar o magnificar una imagen.
- Debido al tamaño de onda de la luz usada, solamente imágenes con poca magnificación son posibles (1,000x).
- Algunos microscopios ópticos pueden ser conectados a cámaras y computadores por ser poco complicado y ser costo efectivo para la detección de defectos.

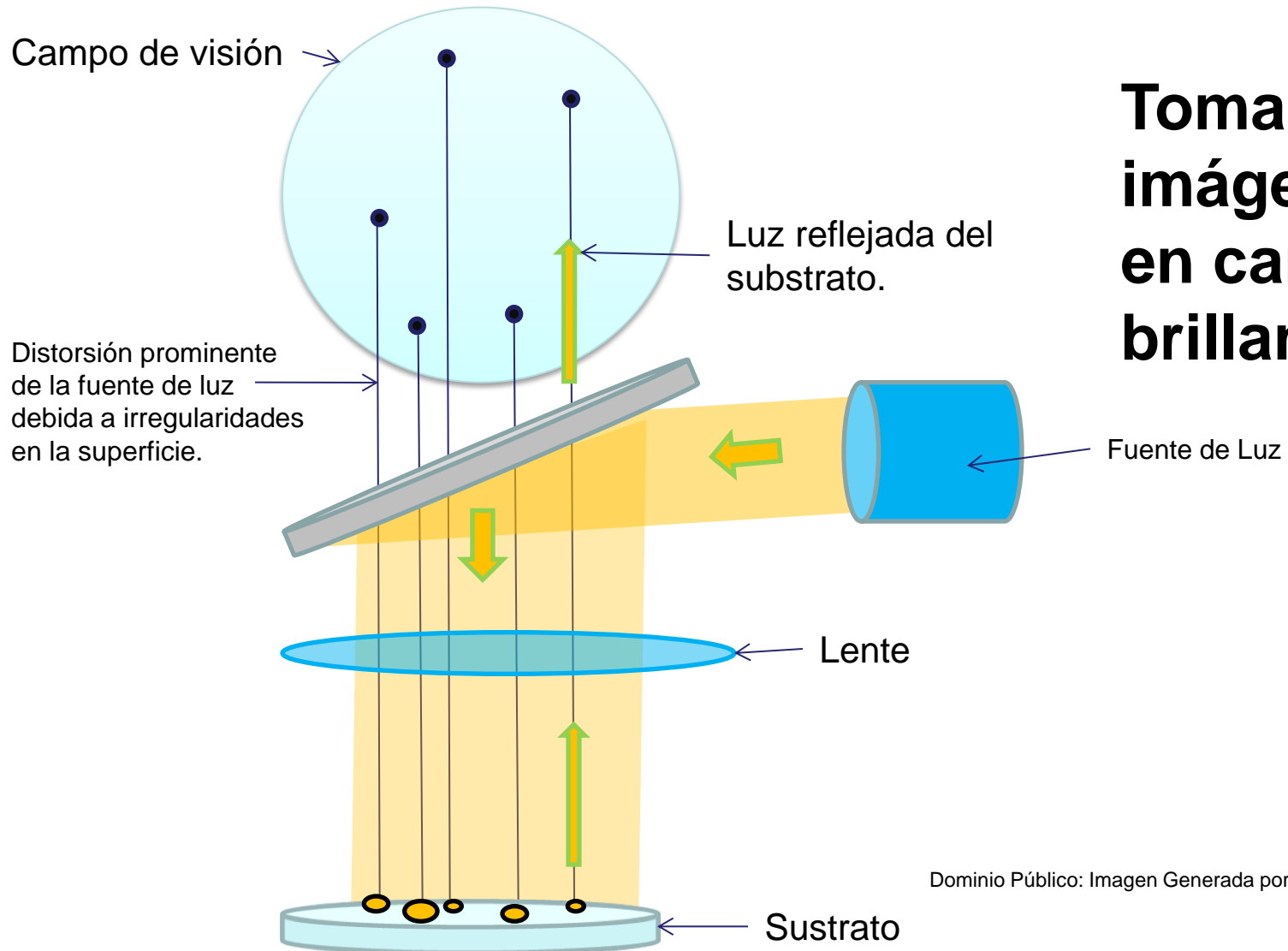
Microscopía Óptica

Toma de Imágenes en Campo Oscuro



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Microscopía Óptica



**Toma de
imágenes
en campo
brillante.**

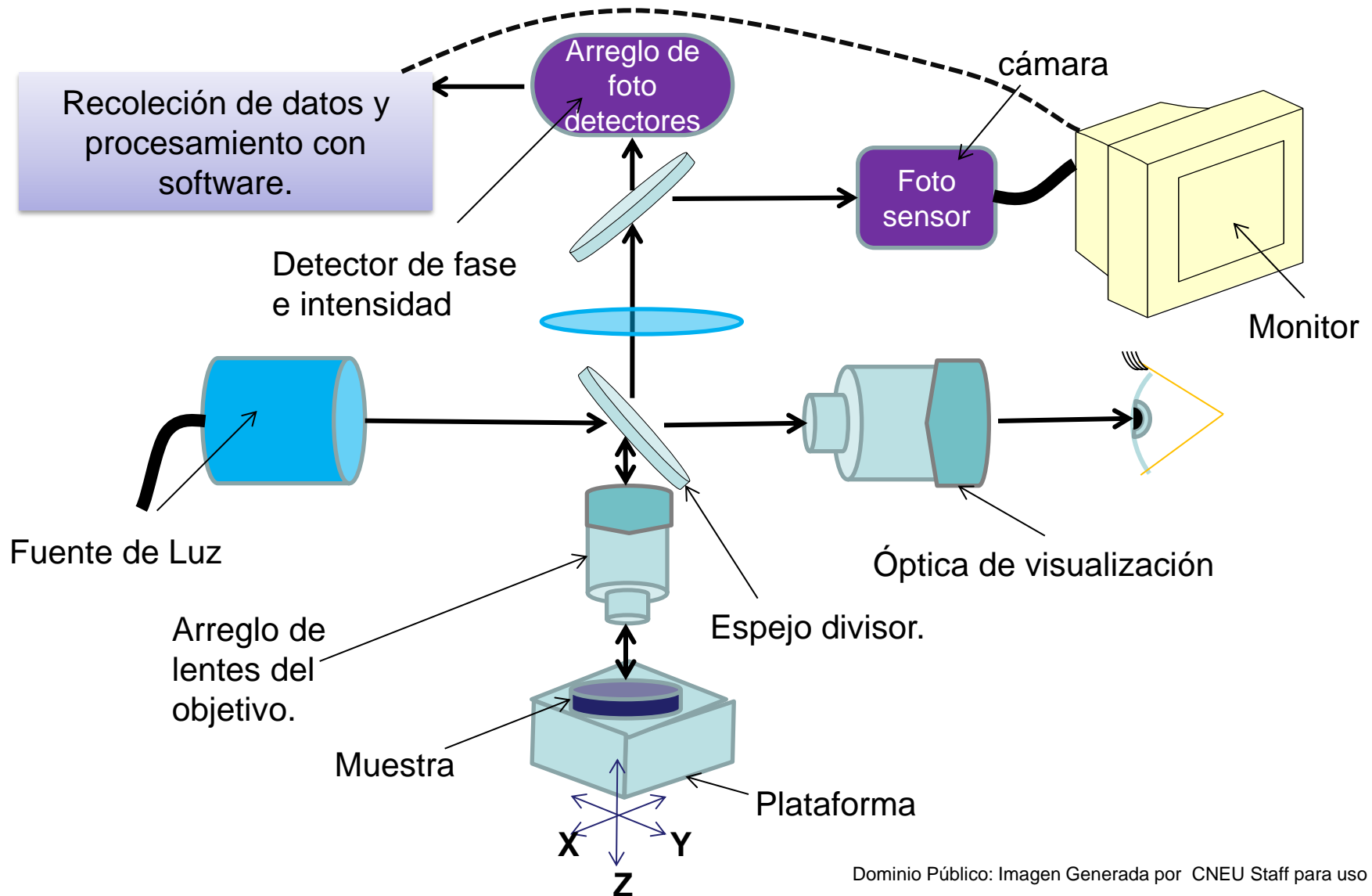
Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Microscopía Óptica



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Microscopía Óptica



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Microscopía Óptica

<u>Especificaciones</u>	(CNEU) Leitz Ergolux
Base con ajuste grueso/fino	Iluminador vertical para campo oscuro y brillante
Lámpara de 12V y 100W	Cabeza ergonómica inclinable trinocular
Pareja de oculares de 10x	
Cambio de lentes motorizada de 5 posiciones	Objetivos de 5x, 10x, 20x, 50x, 100x BF/DF
Plataforma mecánica de 6" x 6" X-Y con placa de cristal	
Cámara CCD	Software de edición de imágenes
<u>Ventajas</u>	
Capaz de observar una variedad de muestras	Facilidad de uso
Modos de Campo Oscuro y Brillante	Habilidad de capturar imagenes con la cámara
<u>Desventajas</u>	
Rango limitado de magnificación (5 – 1000x)	No puede medir profundidad en sustratos con patrones grabados
Software de imágenes requiere ajuste manual	

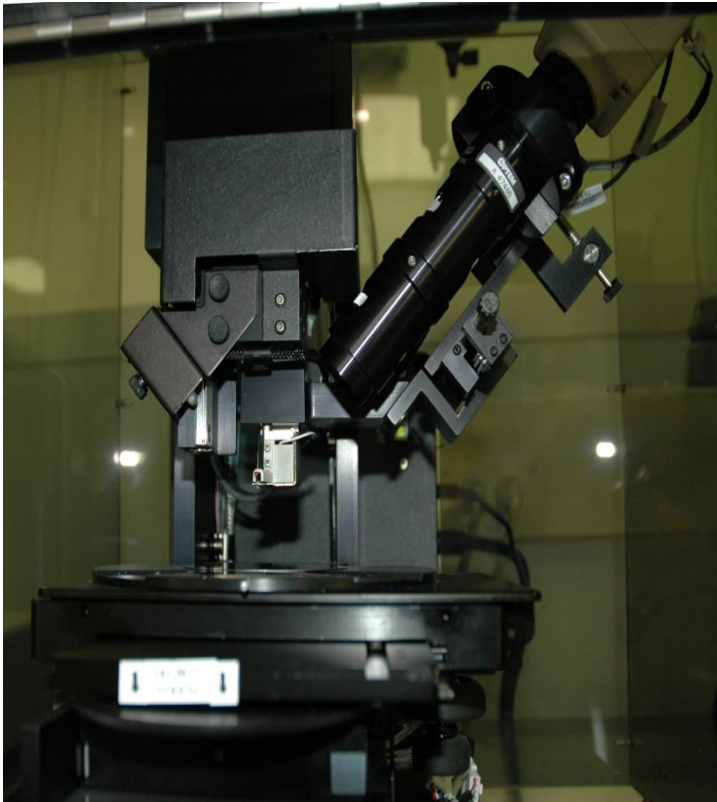
Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría (Spectrophotometer)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Perfilometría

- Típicamente usa una sonda con punta de diamante que hace contacto físico con la superficie para determinar la topografía de la superficie del sustrato.
- Usado para medir:
 - Grosor de películas
 - Topografía de Superficie
 - Altura de escalones

Veeco Dektak 6



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Specification	Standard	Option
Vertical Range	50 Å to 2,620 kÅ	1 mm maximum
Vertical Resolution (at various ranges)	1 Å/65 kÅ, 10 Å/655 kÅ, 40 Å/2620 kÅ	160 Å 1 mm
Scan Length Range	50 µm to 30 µm (2 mils to 1.18 in)	
Scan Speed Ranges	3 seconds to 100 seconds	
Software Leveling	Two-point programmable or cursor leveling	
Stage Leveling	Manual	
Stylus (standard)	Diamond, 12.5 µm radius	0.2 µm, 0.7 µm, 2.5 µm, 5 µm
Stylus Tracking Force	Programmable, 1-15 mg	
Maximum Sample Thickness	31.75 mm (1.25")	
Sample Stage Diameter	6" for 150 mm and smaller samples	
Manual Stage Position Translation	X Axis, 20 mm Y Axis, 77mm	
Sample Stage Rotation	Manual Theta, 360°	
Power Requirements Current Phase	120 V, 60 Hz, 5A@ 120 (+/-10%) Single Phase	
Camera Field of View	2.6 mm horizontal field of view.	1.1- 4.6 mm zoom
Color Camera	45° side view	

Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- **Elipsometría**
- Espectrofotometría (Spectrophotometer)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Elipsometría

- Elipsometría es una técnica de medición que usa luz de láser para determinar el grosor de una película.
- Es una técnica no destructiva y que no hace contacto.
- Es el método más popular para medir el grosor de películas

Elipsometría

- Usa luz de láser polarizada de forma lineal de tal forma que cuando es reflejada sobre una muestra se convierte en elípticamente polarizada.
- Luz polarizada: ondas de luz con un campo eléctrico (o magnético) orientado (o polarizado) de una manera específica
- El cambio de polarización después de ser reflejado es medido y el grosor de la película se determina basado en la información:
 - Ángulo de reflexión
 - Índice de refracción

Elipsometría

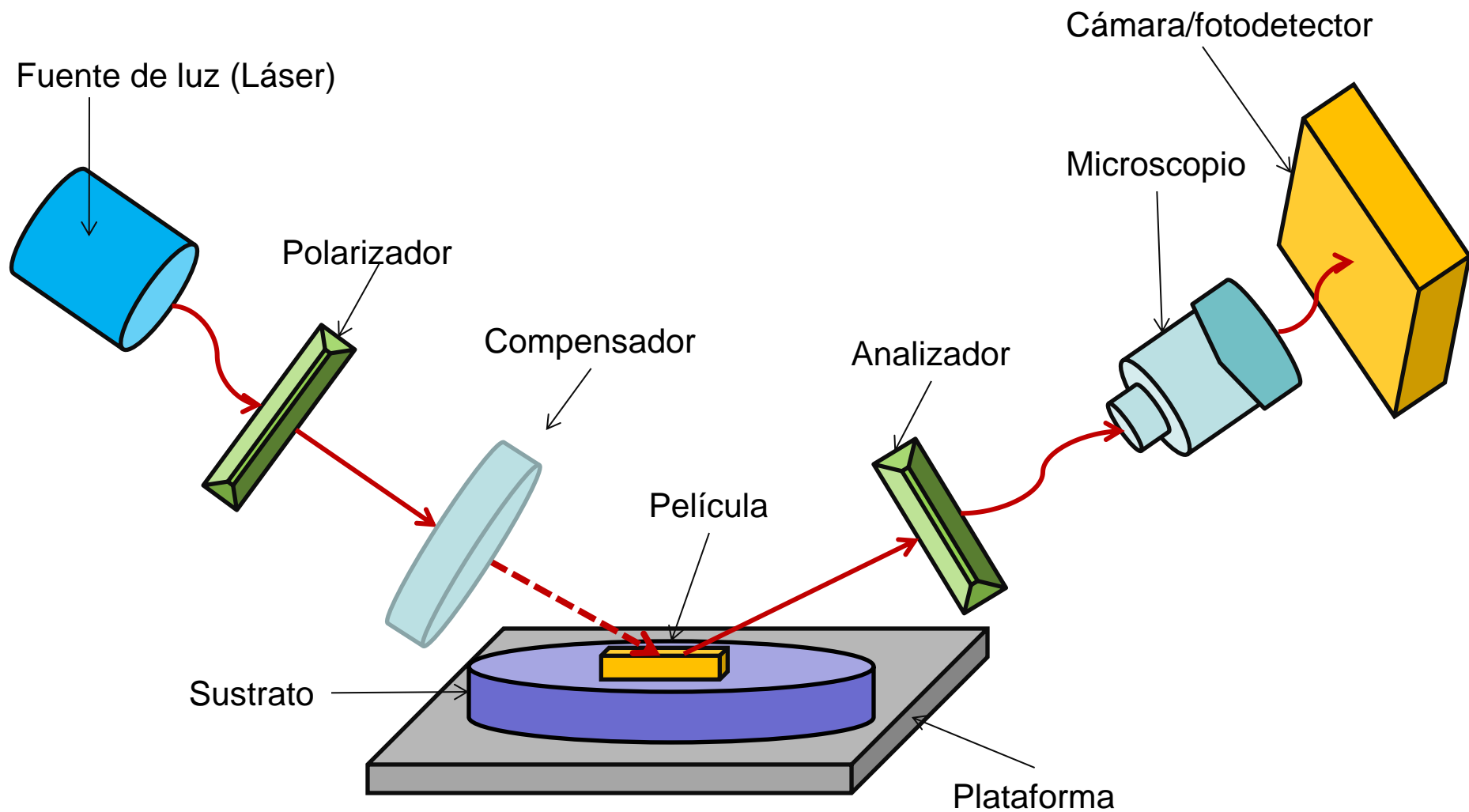
El elipsómetro en el Nanofab (PENN State University) es un Elipsómetro Espectroscopico de Angulo variable.
(Gaertner Scientific L116C Ellipsometer).

Esto se refiere a la habilidad de la máquina de variar el ángulo de luz incidente, optimizando las mediciones.



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Elipsometría



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Elipsometría

<u>Especificaciones</u>	Gaertner L115S-8
Fuente de luz láser	Helio-Neón de 632.8 nm (color rojo)
Ángulos de incidencia	50° y 70° son los más usados
Dimensiones del haz (rayo)	1.0 x 1.6 mm a 50° y 1.0 x 3.0mm a 70°
Método de Medición	Cuatro detectores de voltaje son usados para determinar el estado de la polarización de la luz del haz/rayo reflejado. Son calculados los parámetros de superficie Psi y Delta, el índice de refracción y el grosor de película
Rango de grosor de películas	0 a 6000 nm
Exactitud	± 3 Angstroms
Repetibilidad	± 1 Angstrom
Índice refractivo	± 0.005
Modos de barrido	Seleccionable por el operador; 5 puntos, 9 puntos, rejilla XY o mapa de contorno
Etapas de barrido	Rotación con etapas de traslación con motores paso a paso
Control del motor paso a paso (Stepping Motor Drive Source)	Dos ejes, controlador programable; manualmente o controlado por computador
Incremento de barridos	0.01° rotación por paso ; 0.01 mm translación por paso

Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría (Spectrophotometer)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

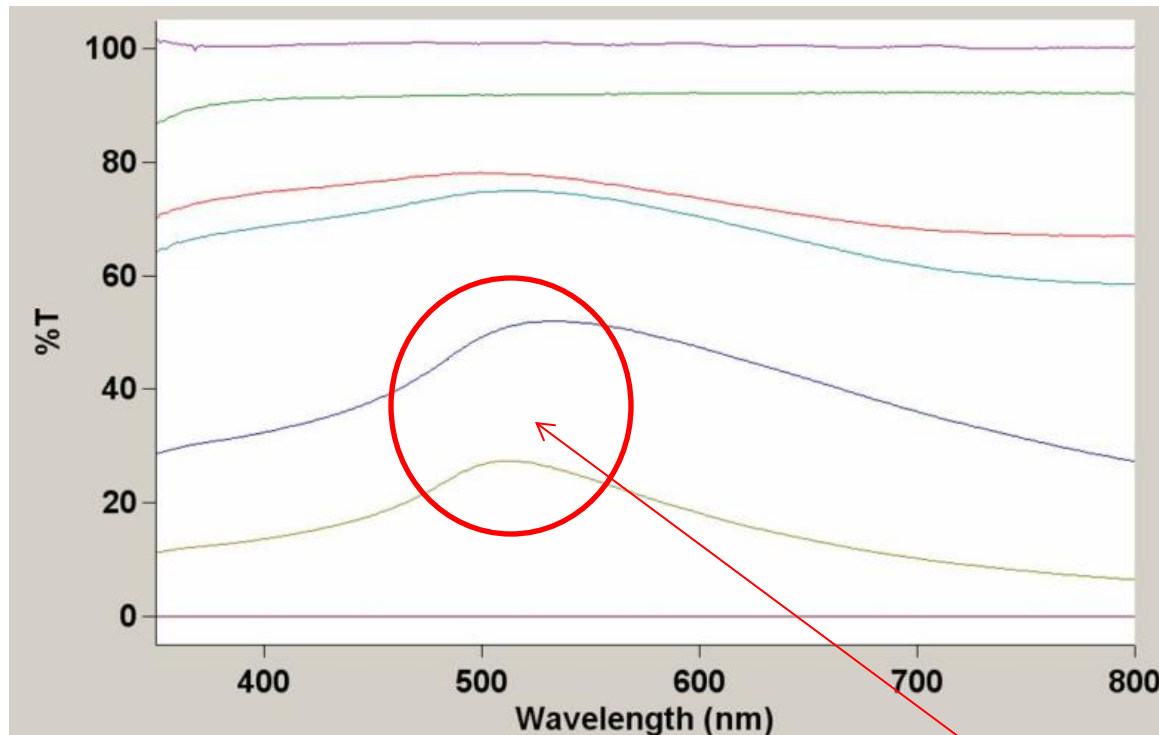
Espectrofotometría

- Se utiliza un espectrofotómetro para medir la absorción de la luz, como una función de la longitud de onda.
- En el rango ultra violeta visible, los metales de transición, compuestos orgánicos, y nanopartículas pueden ser identificados.
- Muy a menudo, los líquidos son el medio de muestra, pero los gases y los sólidos también se pueden utilizar.

Espectrofotometría

- Hay tres componentes principales:
 - Una fuente de luz
 - Un soporte de muestras.
 - Un detector
- La luz pasa a través de la muestra y el porcentaje de luz que alcanza el detector se mide y se compara con un control.
- Espejos, lentes, fotodiodos, divisores de haz y monocromadores se utilizan para dirigir la luz a través del sistema.

Gráficas de Espectrofotometría



Este gráfico muestra espectros de transmisión de varios espesores de deposición de nano arreglos de oro como una función del tiempo de deposición.

Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Plasmon

Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)

- Un microscopio que produce una imagen utilizando electrones retro dispersos o secundarios, generados a partir de un emisor.
- El haz de electrones explora la superficie de un objeto creando una imagen.
- Consiste de un cañón de electrones que produce electrones, elementos que enfocan y que dan forma a la dirección de un haz de electrones y un sistema de enfoque que direcciona los electrones para que golpeen la muestra dentro de un punto nominal de 2 - 6 nm.

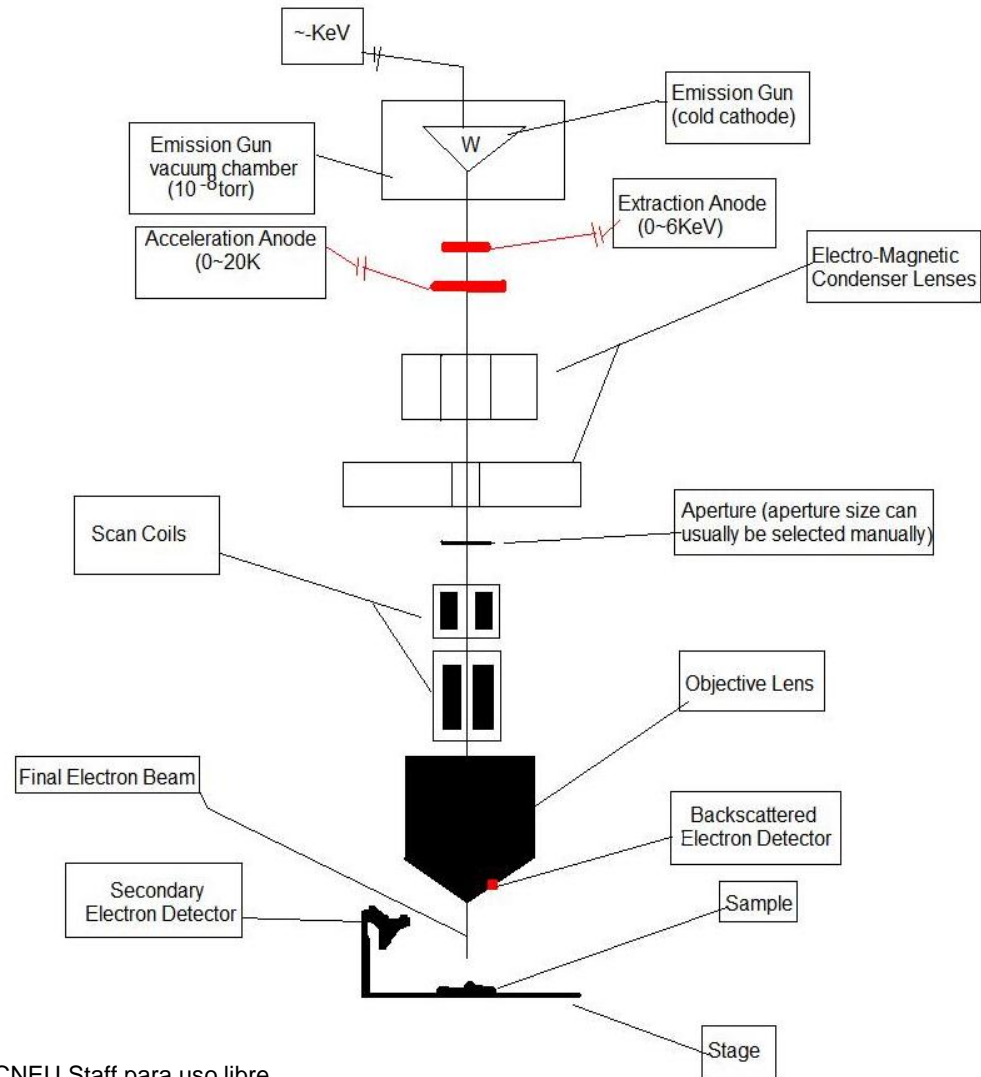
Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)

- Tiene capacidad de aumento desde 100,000 hasta 300,000x.
- Capacidad de resolución posible de 4 a 5 nm.
- Se utiliza principalmente para observar defectos y medición de dimensiones críticas (CD).

Emisión

- Se utiliza un cátodo caliente en un SEM.
- El cátodo menos costoso es una punta de tungsteno afilada.
- LaB_6 es un cátodo más costoso y tiene un haz de electrones más nítido.
- Un cátodo enfriado con agua fría o magnéticamente ofrece un haz más nítido en un Microscopio de Barrido Electrónico con Emisión de Campo FESEM).
- FESEM provee la mejor resolución (hasta $\sim 1 \text{ nm}$)

SEM



Ejemplo de SEM

<u>Especificaciones</u>	Características del SEM
Filamento	Alambre de Tungsteno
Rango de Voltaje	2kV - 15kV
Detector de electrones secundarios	Everhart-Thornley
Detector de electrones de retrodispersión	Estado sólido anular
Magnificación	10x-200,000x
Detector de Rayos X	Análisis elemental
Presión	10⁻⁶ Torr

Contenido

- Introducción
- Microscopía Óptica
- Perfilometría
- Elipsometría
- Espectrofotometría (Spectrophotometer)
- Microscopio de Barrido Electrónico (SEM)
- Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

- Se utiliza para medir la topografía de superficies.
- Escaneo del sistema basados en sondas física a través de la superficie.

Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

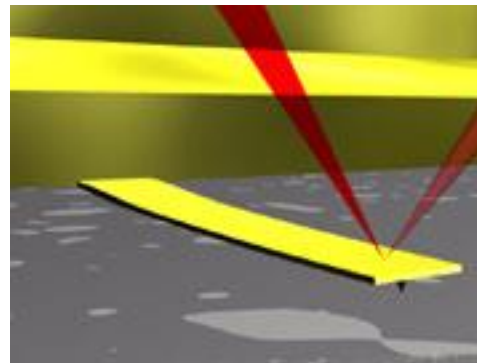
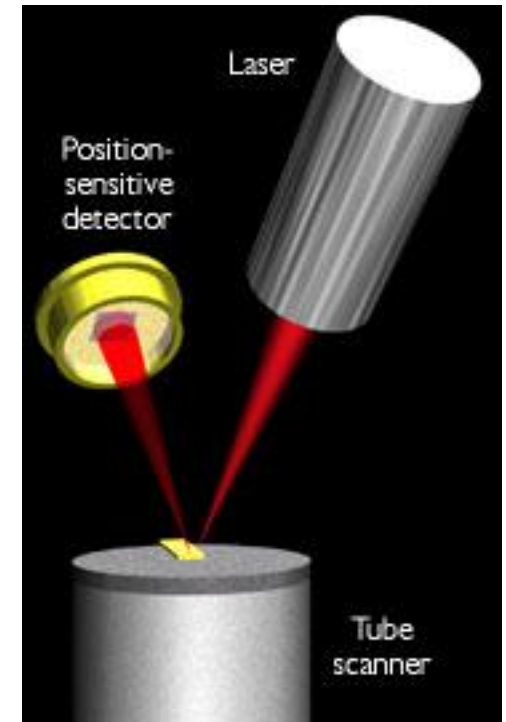
- Los microscopios tradicionales se ven limitados por la calidad de la lente y la pérdida de difracción.
- Los sistemas con sondas de escaneo no usan lentes; la agudez de la sonda generalmente limita la resolución
- Se reúne información de la deflexión de la sonda mediante el uso de un láser y un detector sensible a la posición.

Configuración Básica de un AFM

Los datos son derivados de la interacción del laser y la sonda.

Note que el tubo de escaneo mantiene el voladizo (“cantilever”) en posición.

El tubo de escaneo es un material piezoeléctrico.



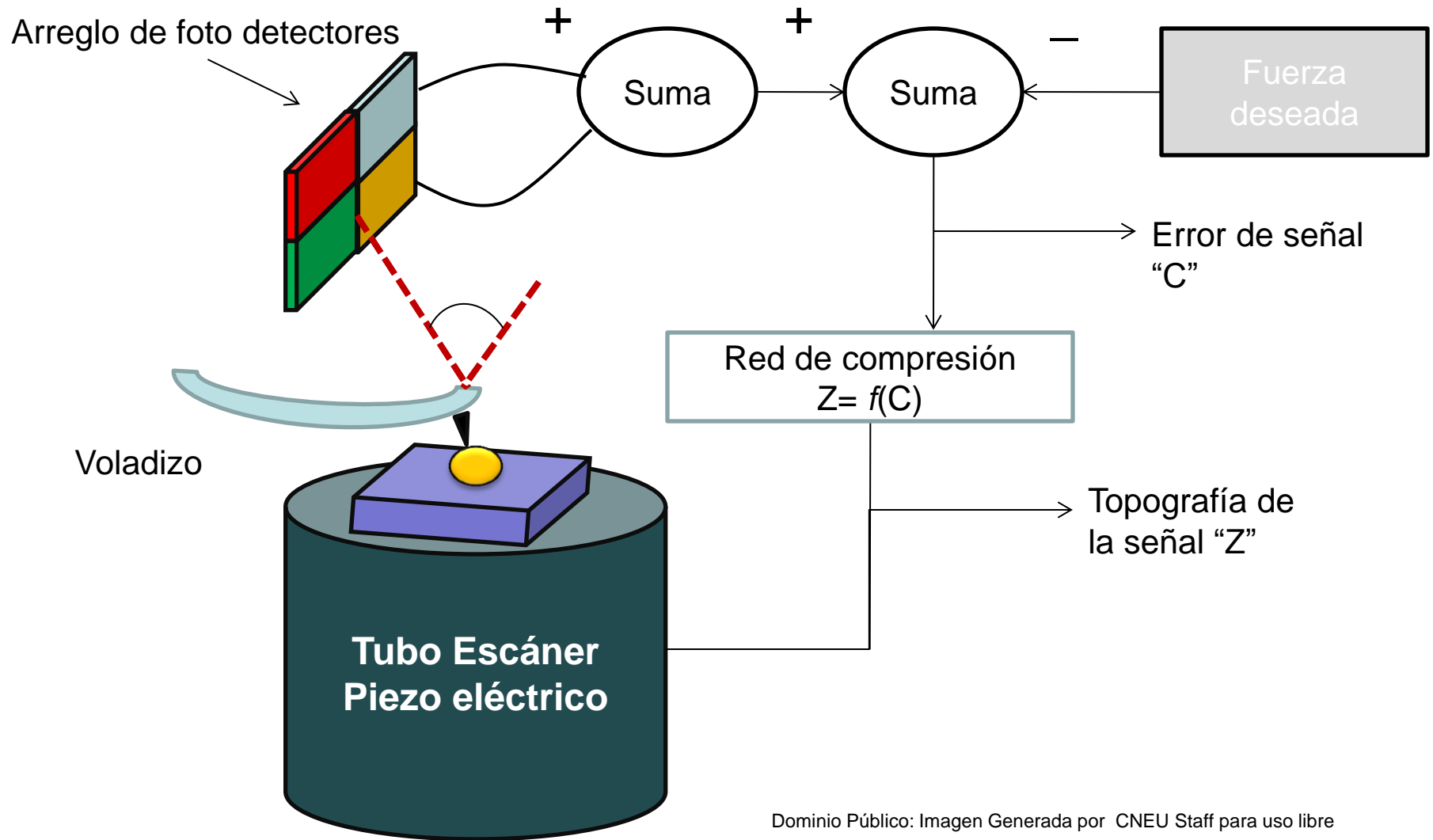
David Baselt, California Institute of Technology, Copyright © 1993 by David Baselt.

Posicionando la muestra

1. El tubo escáner controla la altura de la muestra.
2. La interacción del laser con el voladizo permite determinar la altura de la muestra.
3. Un circuito de retroalimentación mantiene constante la deflexión del voladizo mediante el ajuste de la tensión aplicada al tubo de escáner.

David Baselt, California Institute of Technology, Copyright © 1993 by David Baselt.

Posicionando la muestra



Dominio Público: Imagen Generada por CNEU Staff para uso libre

Modo de Operación de un AFM

- Un AFM puede ser operado en muchos diferentes modos.
- Tres modos serán los más vistos:
 - Contacto
 - Sin contacto
 - Modo de repiqueteo (“tapping mode”)
- Cada modo tiene sus ventajas y compensaciones.

Modo de contacto

- En el modo de contacto, la topografía de la muestra se mide mediante el escaneo de la punta, que contacta con la superficie, a través de la muestra.
- Este es un modo popular.
 - Se puede crear fuerzas de fricción considerables y puede dañar la muestra.

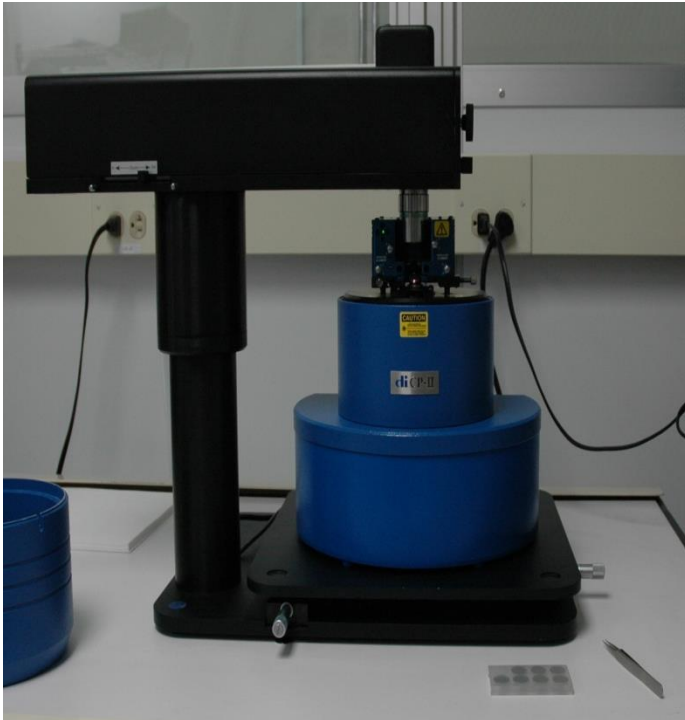
Modo sin contacto

- En el modo sin contacto, el instrumento detecta las fuerzas de atracción de Van der Waals entre la superficie y la sonda que se mantiene por encima de la superficie.
- Este modo tiene una resolución menor que la de modo de contacto.
- Elimina el daño a la superficie.

Modo de repiqueteo

- En este modo, el voladizo se excita cerca de su frecuencia de resonancia por un accesorio externo de cerámico piezoeléctrico.
- Las frecuencias de resonancia son típicamente desde los 15 kHz a 500 kHz.
- A medida que la punta se aproxima a la superficie, aumenta las fuerzas de atracción, lo que lleva a una disminución de la frecuencia de resonancia.

Veeco DI CP-II AFM System



Public Domain: Image Generated by CNEU Staff for free use

DI CP-II SPECIFICATIONS AND PERFORMANCE	
System Configurations	
Probe Head	Operates in C-AFM, NC-AFM, IC-AFM, LFM, and STM modes. Operation in other modes (e.g., FMM, SThM) requires purchase of optional toolkits.
Measurement Performance	
Standard	
Scanner	Large Area (~90 μm) piezoelectric scanner
Scan range	Maximum lateral scan range: ~90 μm . Maximum vertical scan range: 7.5 μm .
Control solution	Maximum DAC lateral resolution: 0.0013 \AA . Maximum DAC vertical resolution: 0.009 \AA
Microscope Stage	
Translation range	8 mm x 8 mm.
Sample size	50 mm (w) x 50 mm (l) x 20 mm (h).
Tip-sample approach	Automatic with 3 independent stepper motors
Optical microscope	On-axis microscope with color video monitor for probe tip and sample view. 5:1 zoom, up to 3,500X magnification. Standard 20X objective
Acoustic isolation	Optional acoustic isolation chamber.
Workstation	
AEM	20-bit DACs for x, y, and z axes.