



The Abdus Salam
International Centre for Theoretical Physics

United Nations
Educational, Scientific
and Cultural Organization

International Atomic
Energy Agency

FIRST ICO-ICTP-TWAS Central American Workshop in Lasers, Laser Applications and laser Safety Regulations



M8: Solid State Lasers (SSL) and their Applications Pulse Laser Deposition

Prof. Luis V. Ponce
CICATA IPN

INDICE

Recubrimiento de capa delgadas, aplicaciones y técnicas de obtención
Funcionamiento de la técnica de PLD
Mecanismos físicos
Ventajas y desventajas
Control de espesor
Técnicas de control y monitoreo del proceso
Aplicaciones

Recubrimientos en capa delgada



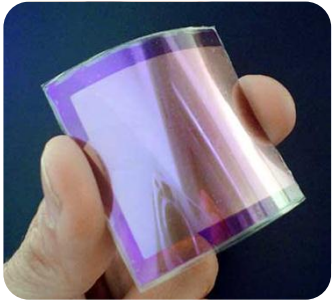
Resistencia al desgaste



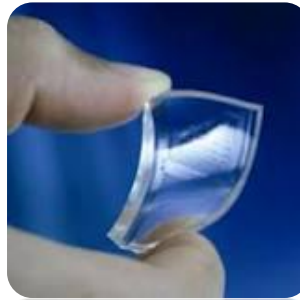
Resistencia a la corrosión



Cambio de dureza



Propiedades ópticas



Propiedades eléctricas



Propiedades magnéticas

Recubrimientos en capa delgada

Óptica: espejos, divisores de haz, filtros, etc.

Eléctrica y electrónica: capas aislantes, conductores laminares, semiconductoras, celdas solares, dispositivos electrónicos, Herramientas de corte sofisticadas

Mecánica: películas lubricantes, capas resistentes al desgaste, desgaste, barreras de difusión, recubrimientos duros para herramientas de corte

Química: recubrimientos contra corrosión química, catalíticos, etc.

Biomédica: recubrimientos para implantes

Técnicas de producción de capas delgadas

Depósito Físico



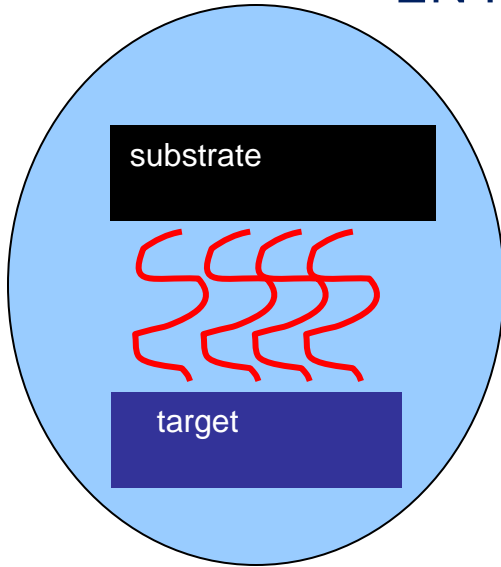
Evaporación en Vacío
Pulverización Catódica
Haces de iones
Pulverización por plasma
Ablación láser

Depósito Químico

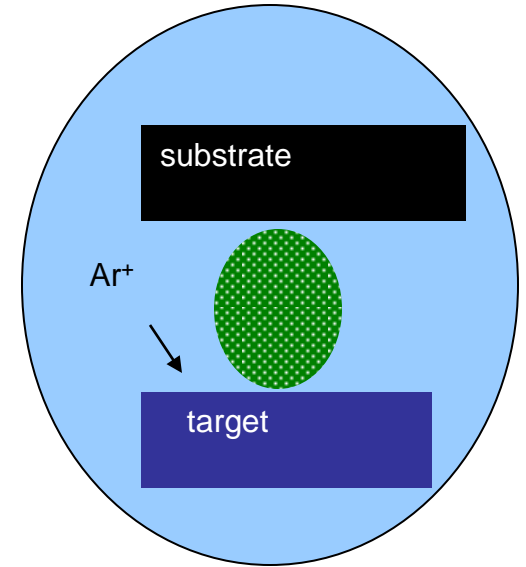


Depósito Químico en Fase Vapor (CVD)
Oxidación Térmica
Métodos Electroquímicos

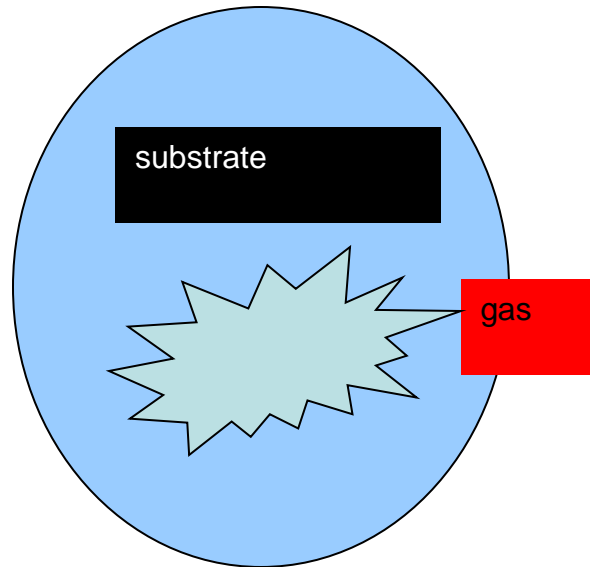
ALGUNAS TECNICAS DE RECUBRIMIENTO EN FASE VAPOR



(Molecular beam epitaxy-
MBE)



Sputtering



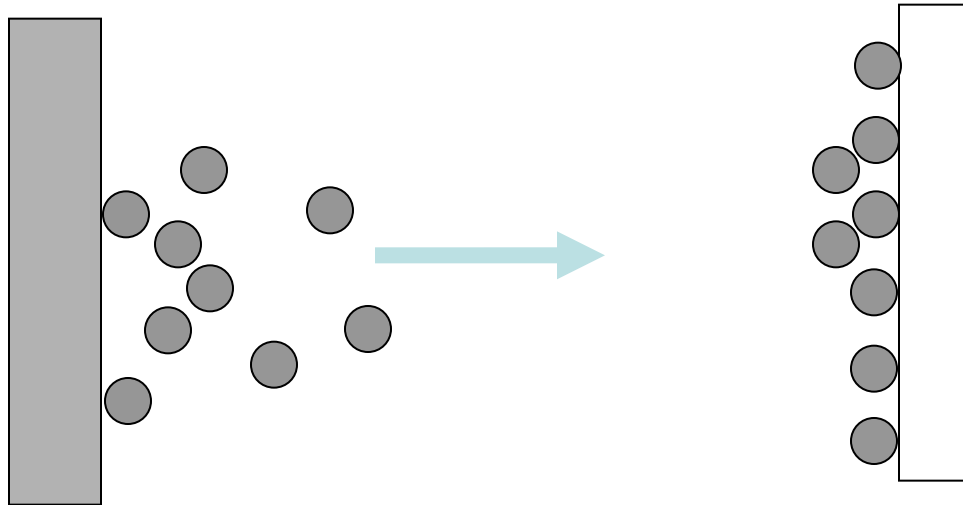
Chemical vapor
deposition-CVD

Evaporación térmica en vacío

- * La técnica de deposición por evaporación térmica en vacío consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material que se pretende depositar.
- * El vapor del material termina condensándose en forma de lámina delgada sobre las superficies frías del sustrato y las paredes de la cámara de vacío.
- * Normalmente la evaporación se hace a presiones reducidas, del orden de 10^{-6} o 10^{-5} Torr, con objeto de evitar la reacción del vapor con la atmósfera ambiente. A estas presiones bajas, el recorrido libre medio de los átomos de vapor es del orden de las dimensiones de la cámara de vacío por lo que estas partículas viajan en línea recta desde la fuente de evaporación (crisol) hasta el sustrato.

Obtención de una capa delgada por técnicas en fase vapor

Transfer atoms from a target to a vapor (or plasma) to a substrate



After an atom is on surface, it diffuses according to: $D = D_0 \exp(-\varepsilon_D/kT)$

ε_D is the activation energy for diffusion ~ 2-3 eV

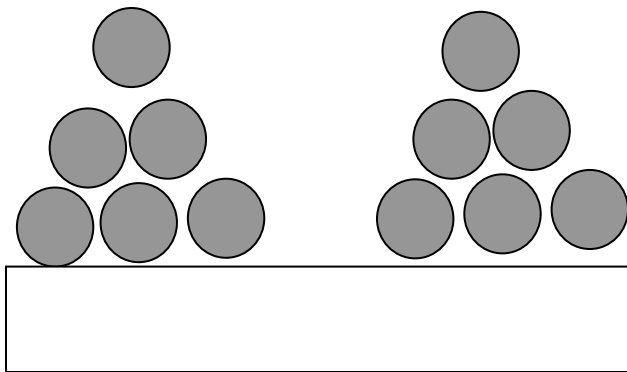
kT is energy of atomic species.

Want sufficient diffusion for atoms to find best sites.

Either use energetic atoms, or heat the substrate.

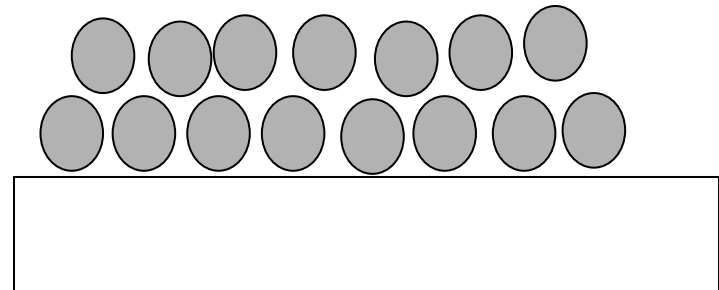
Depósito a baja energía
(MBE): ~ 0.1 eV

Pueden formarse islas
Debe calentarse el
substrato a alta T



Depósito con alta energía
(Sputtering ~ 1 eV)

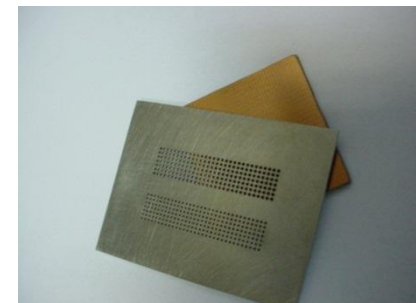
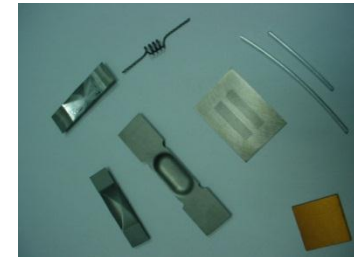
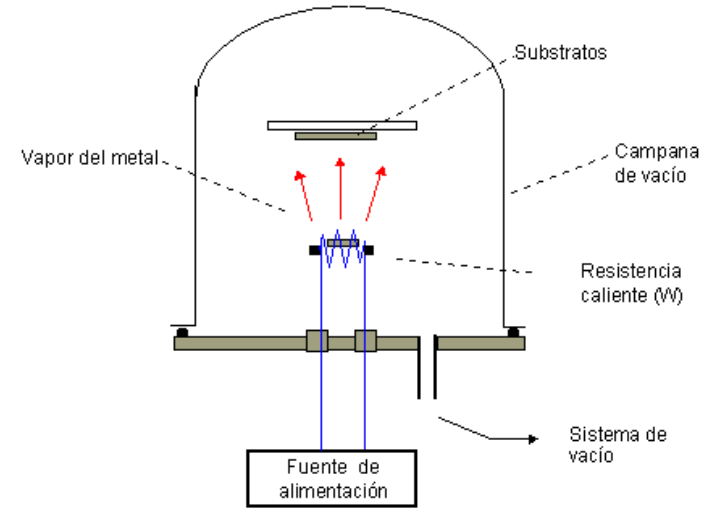
Capas de calidad con T
de substrato mas bajas



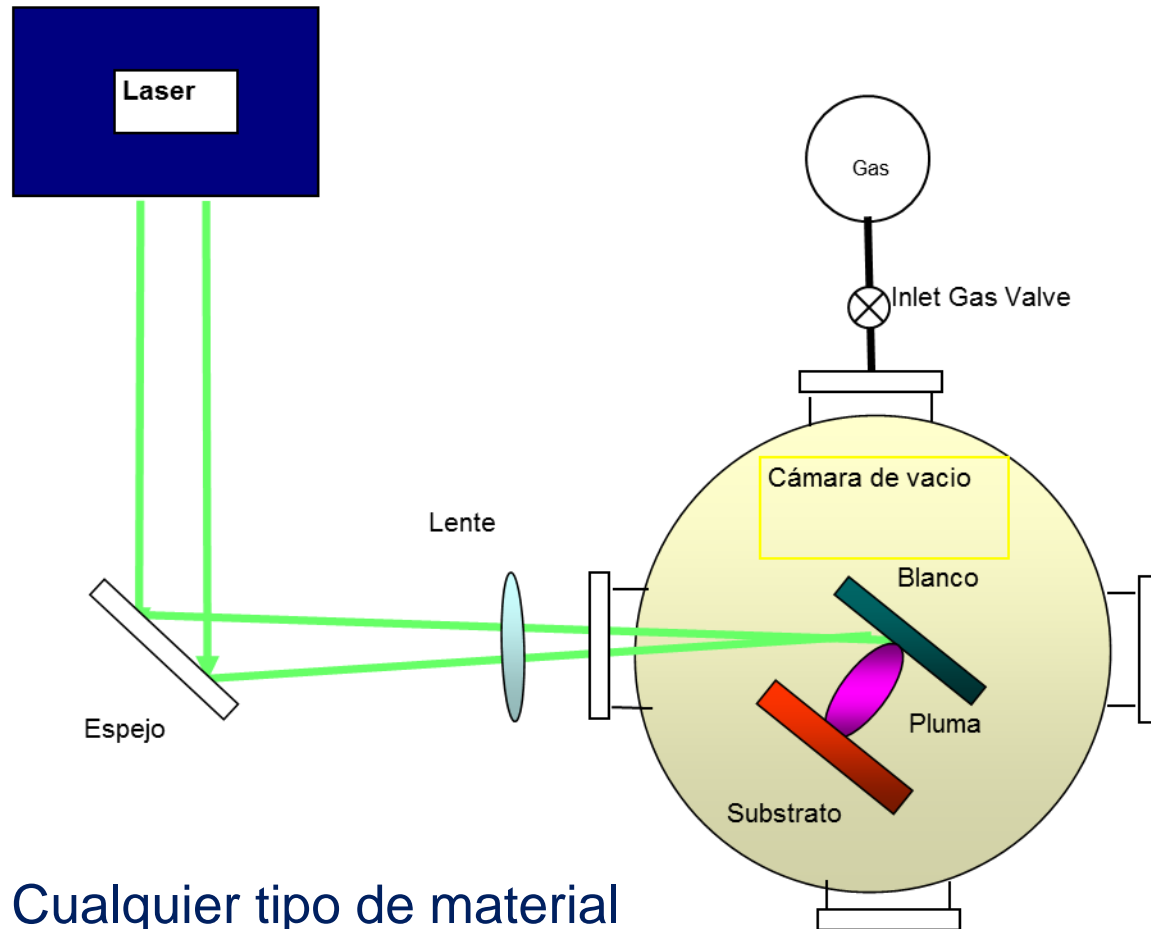
Evaporación por calentamiento mediante resistencia

En la técnica de deposición mediante evaporación, el calentamiento del material hasta la fusión se lleva a cabo mediante el paso de corriente eléctrica a través de un filamento o placa metálica sobre el cual se deposita el material (efecto Joule). El material en forma de vapor se condensa entonces sobre el sustrato.

Los metales típicos usados como resistencia de calentamiento son:
El tantalio (Ta), Molibdeno (Mo), Wolframio o Tungsteno (W),



Pulsed Laser Deposition



El blanco: Cualquier tipo de material

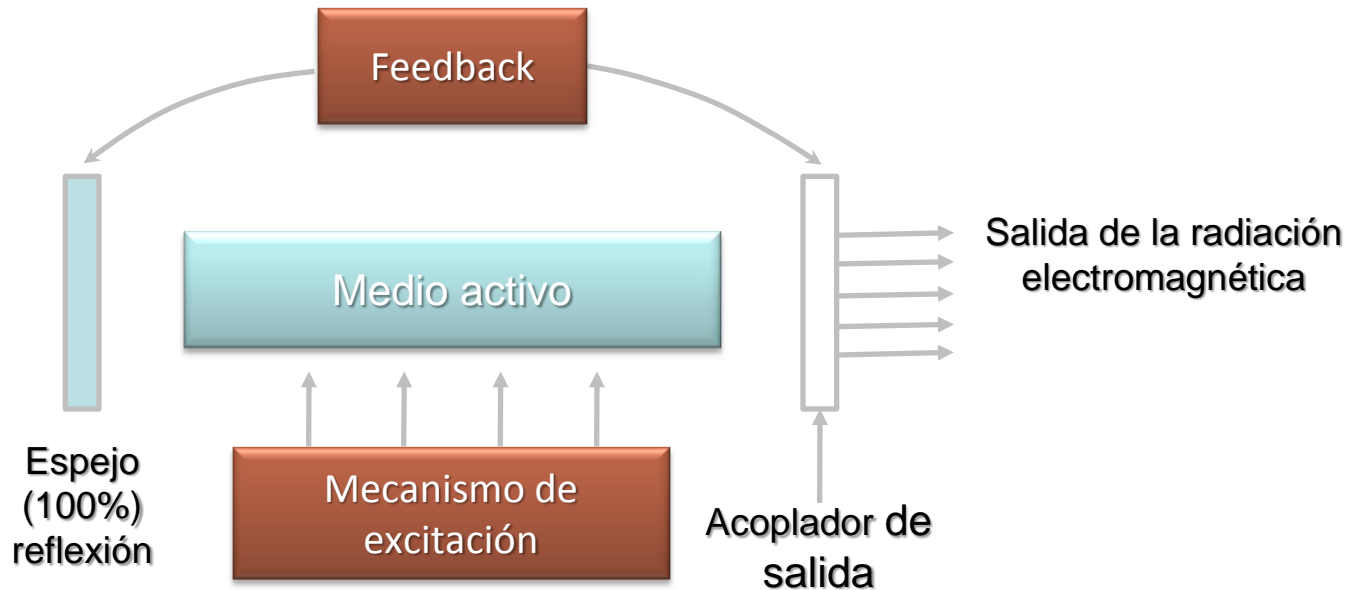
Laser: Los mas usados excimero y Nd:YAG)

Atmósferas de gases seleccionados o simplemente vacio

Como funciona PLD

- Dentro de una cámara de vacío se colocan un blanco del material de interés y el substrato sobre el que se quiere depositar la película.
- La luz intensa de un láser pulsado (del orden de entre 10^8 Wcm^{-2} a 10^{10} Wcm^{-2}), al enfocarse sobre el blanco, proporciona la energía para la evaporación.
- Se produce un plasma que emite luz en muchas frecuencias (pluma).
- Los átomos, iones y moléculas que forman parte del plasma se condensan sobre el substrato depositando la película

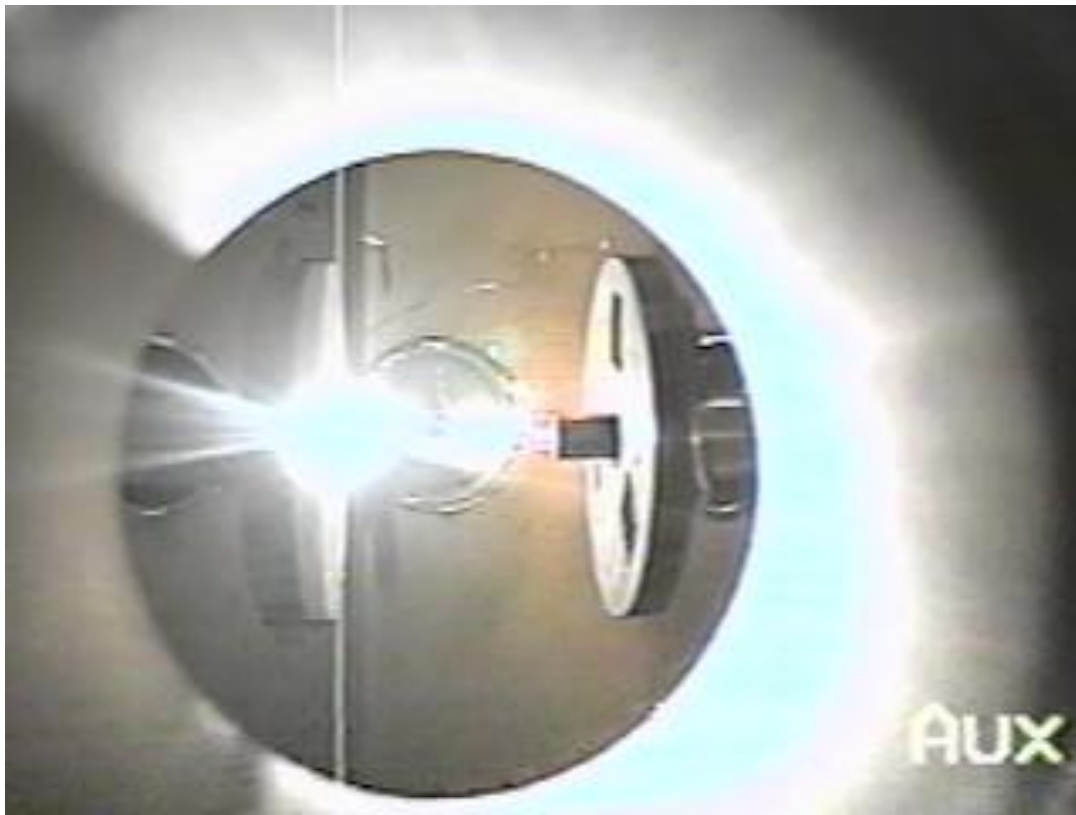
LASER



En PLD se utilizan láseres de pulsos:

- Nanosegundos
- Picosegundos
- Femtosegundos

PLD SETUP



PARAMETROS:

- Longitud de onda
- Energía de pulso
- Duración de pulso
- Número de pulsos
- Distancia blanco-substrato
- Vacío o atmósfera de gas

Aspectos a considerar

1. La absorción de luz, la generación de calor y la ablación o expulsión de las especies del blanco
2. La dinámica del material evaporado en su ruta hacia el substrato
3. Condensación y crecimiento de la película

Mecanismos

No térmicos <

- foto-químicos
- por colisiones

Son aquellos en los que la radiación provoca la expulsión de material sin pasar por un proceso térmico.

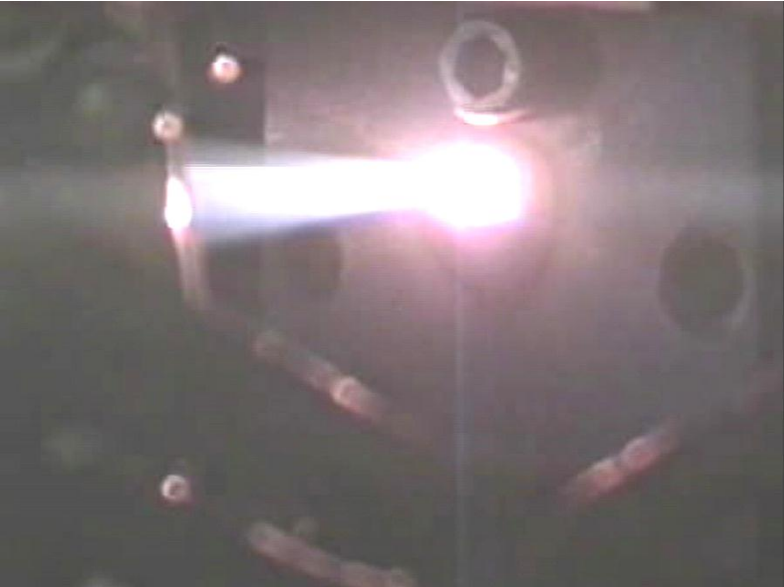
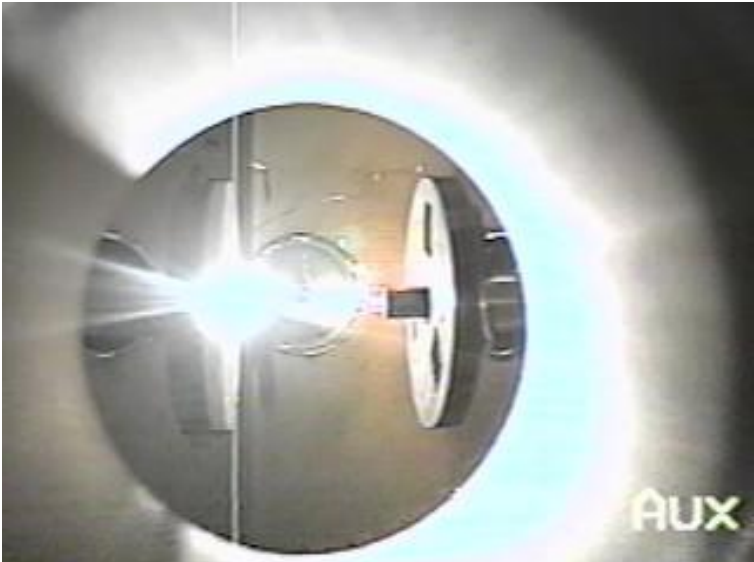
Se desprende material por colisiones de partículas energéticas contra el blanco

Foto-térmicos <

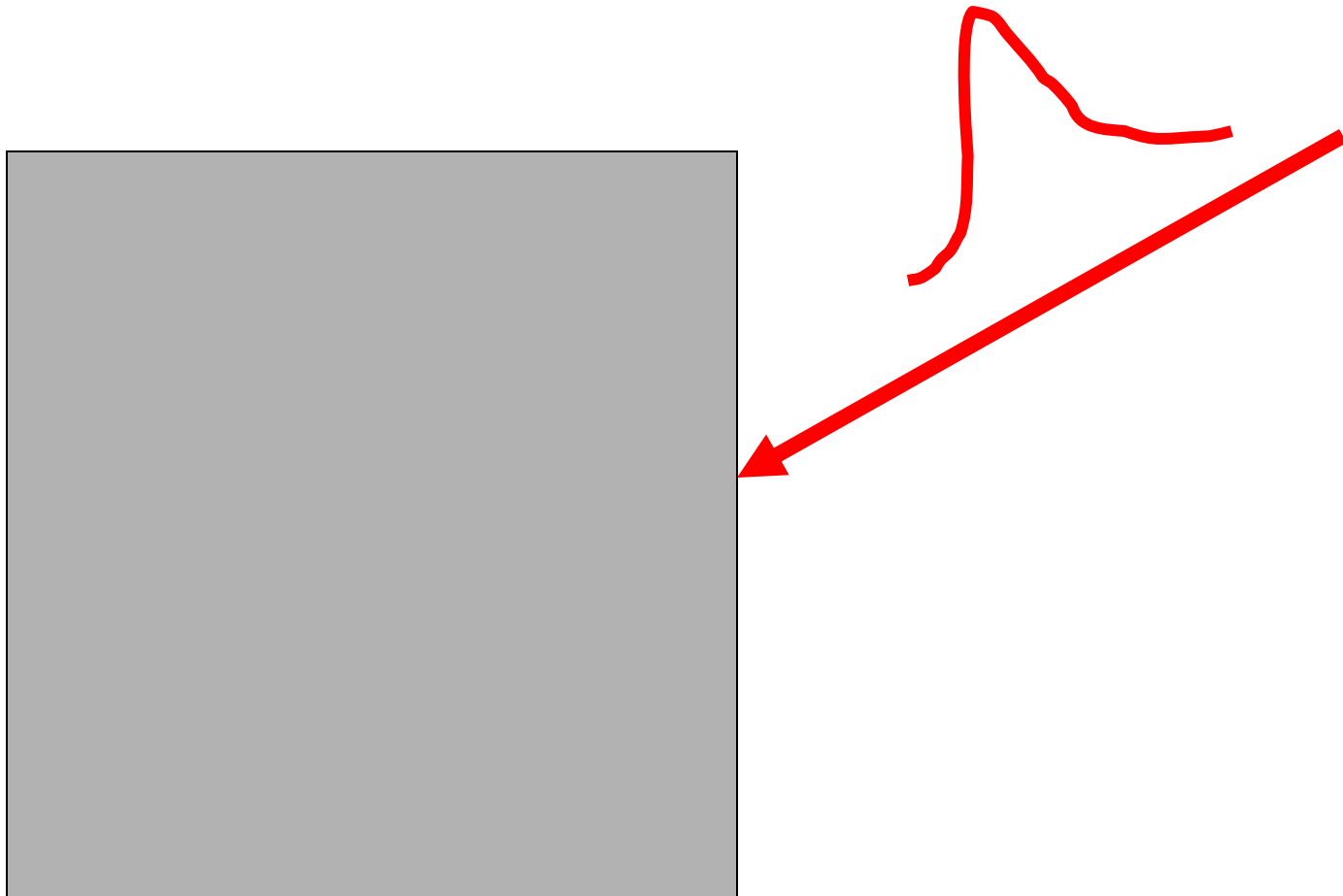
- por temperatura solamente
- por tensiones y esfuerzos mecánicos

La energía del láser se traduce en energía térmica y se evapora material en consecuencia.

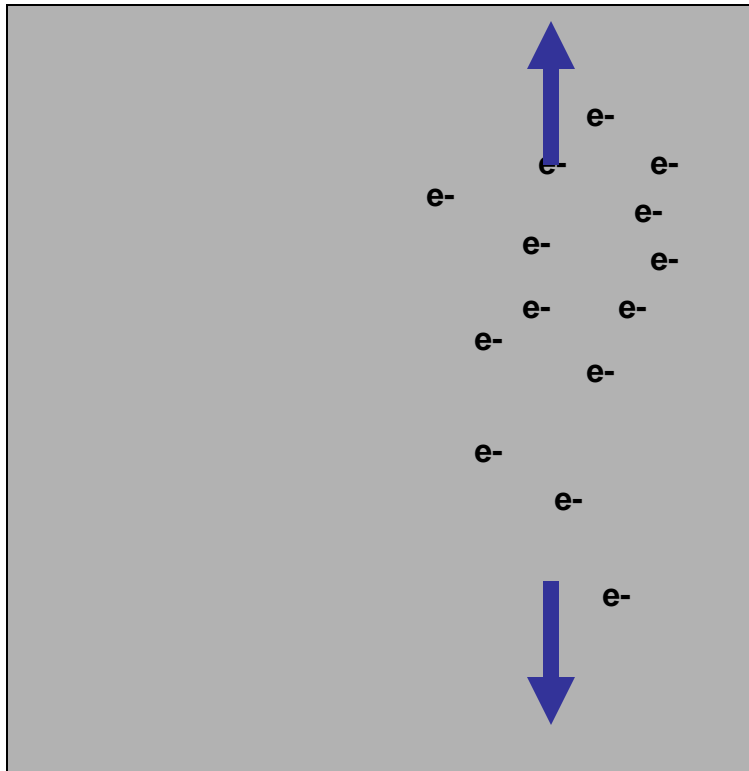
Puede haber desprendimientos de material a consecuencia de esfuerzos mecánicos producidos por gradientes térmicos



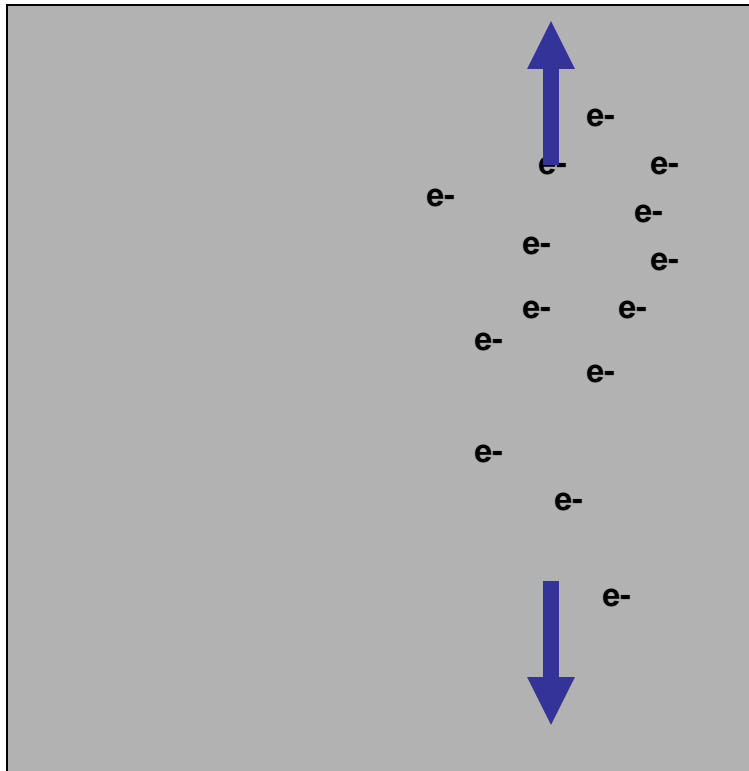
Processes in PLD



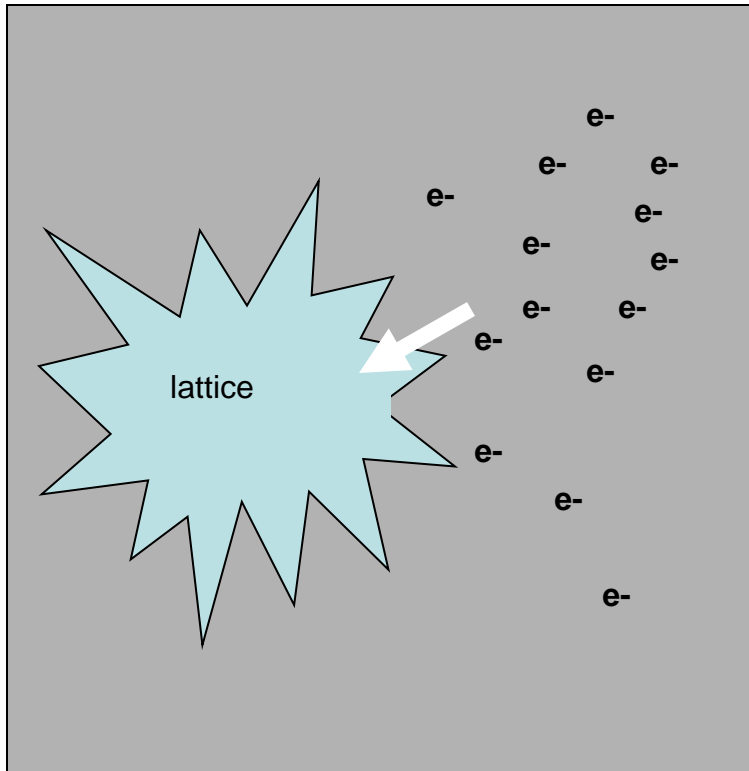
Processes in PLD



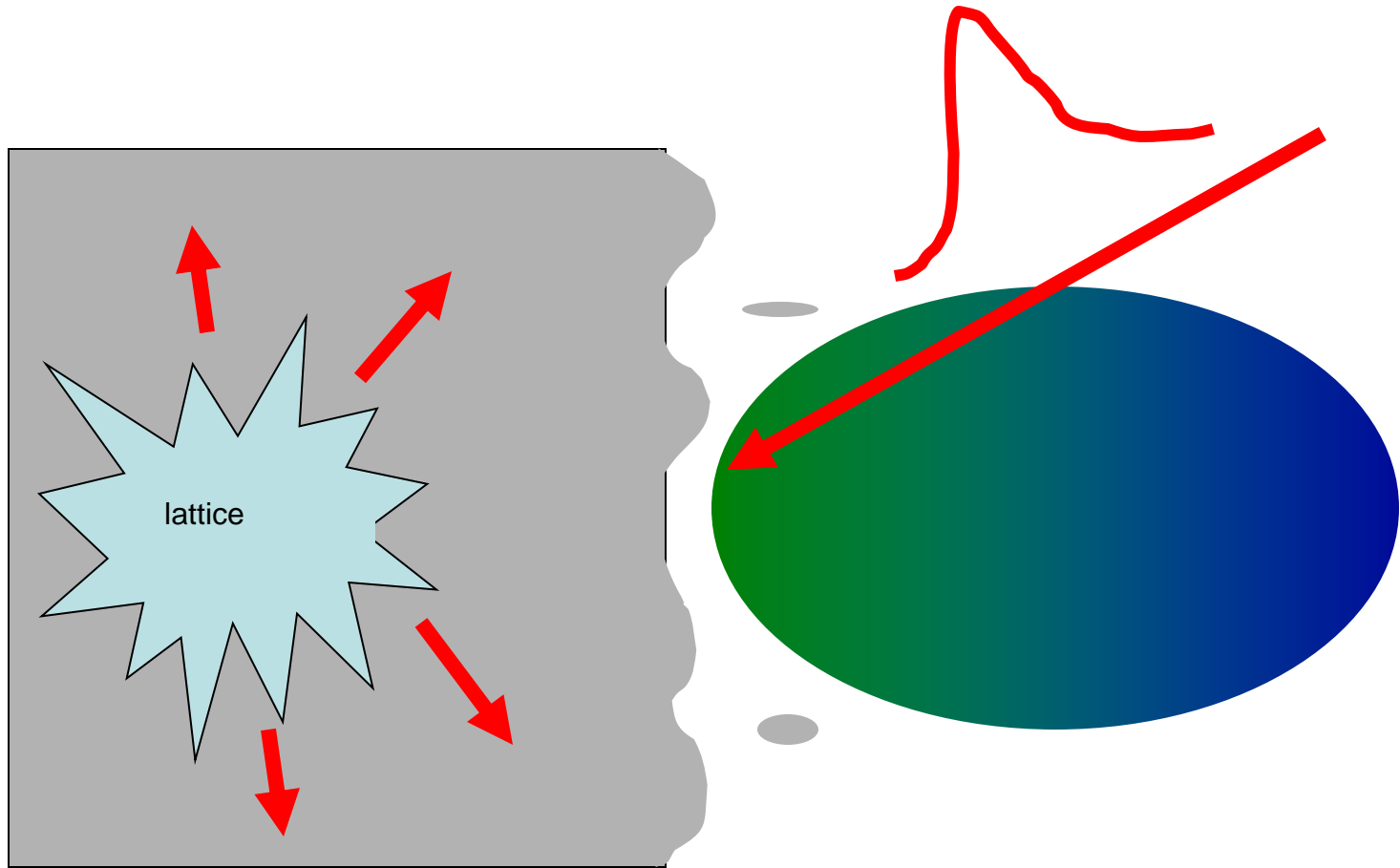
Processes in PLD



Processes in PLD



Processes in PLD



Un proceso de no equilibrio extremo!!

- En el pico máximo del pulso láser, se alcanzan temperaturas en el blanco de $>10^5$ K (> 40 eV!)
- Campos eléctricos $> 10^5$ V/cm
- Temperaturas de plasma 3000-5000 K
- Especies ablacionadas con energías 1 –100 eV

VENTAJAS DE PLD

- Flexible, fácil de implementar
- Posibilidad de crecer en diferentes atmósferas
- Buena conservación de la estequiometría (ej. YBCO)
- Velocidad de crecimiento fácil de modificar
- Puede obtenerse un crecimiento epitaxial a menores temperaturas
- Posibilidad e interacciones resonantes (plasmones en metales, picos de absorción en dieléctricos y semiconductores)
- Excelente control del crecimiento a través de los parámetros del láser

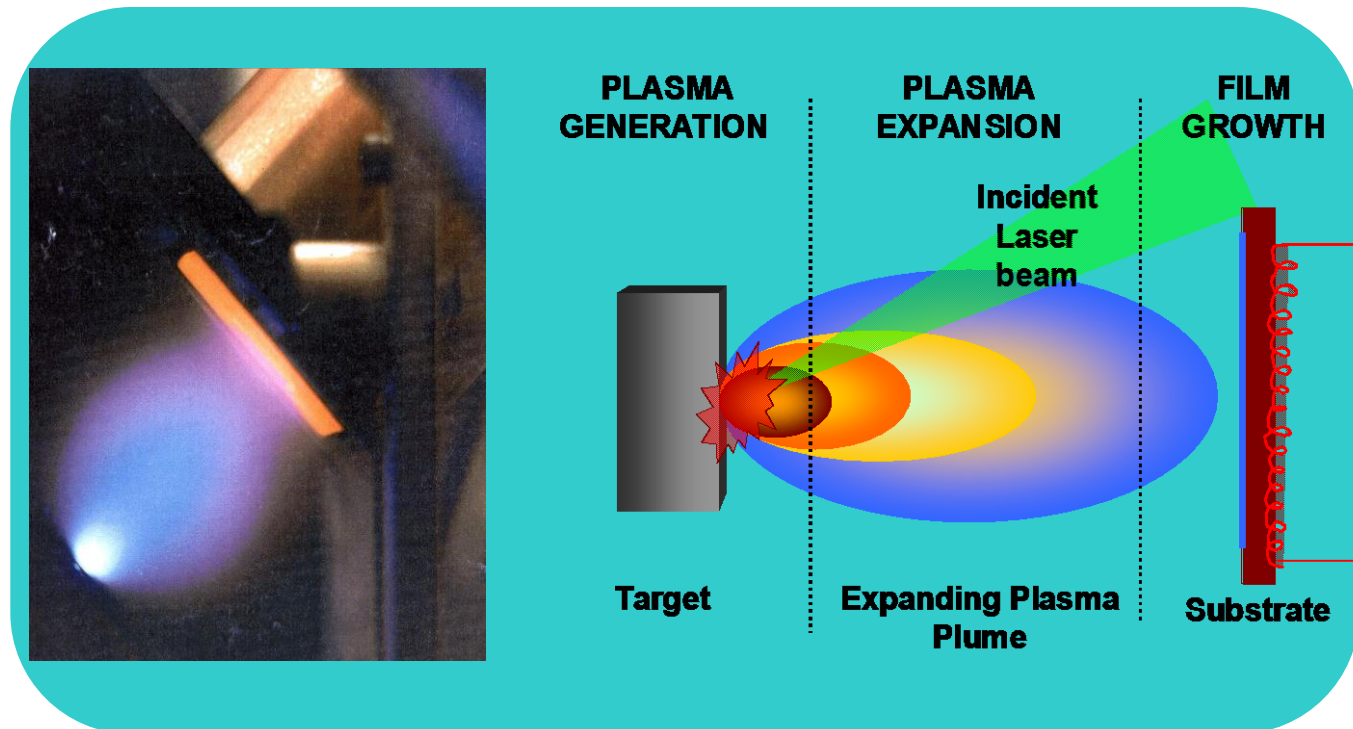
Desventajas

- Dificultades con la homogeneidad para áreas grandes
- Defectos por emisión de micropartículas
- Complejidad de mecanismos de crecimiento y manejo de parámetros

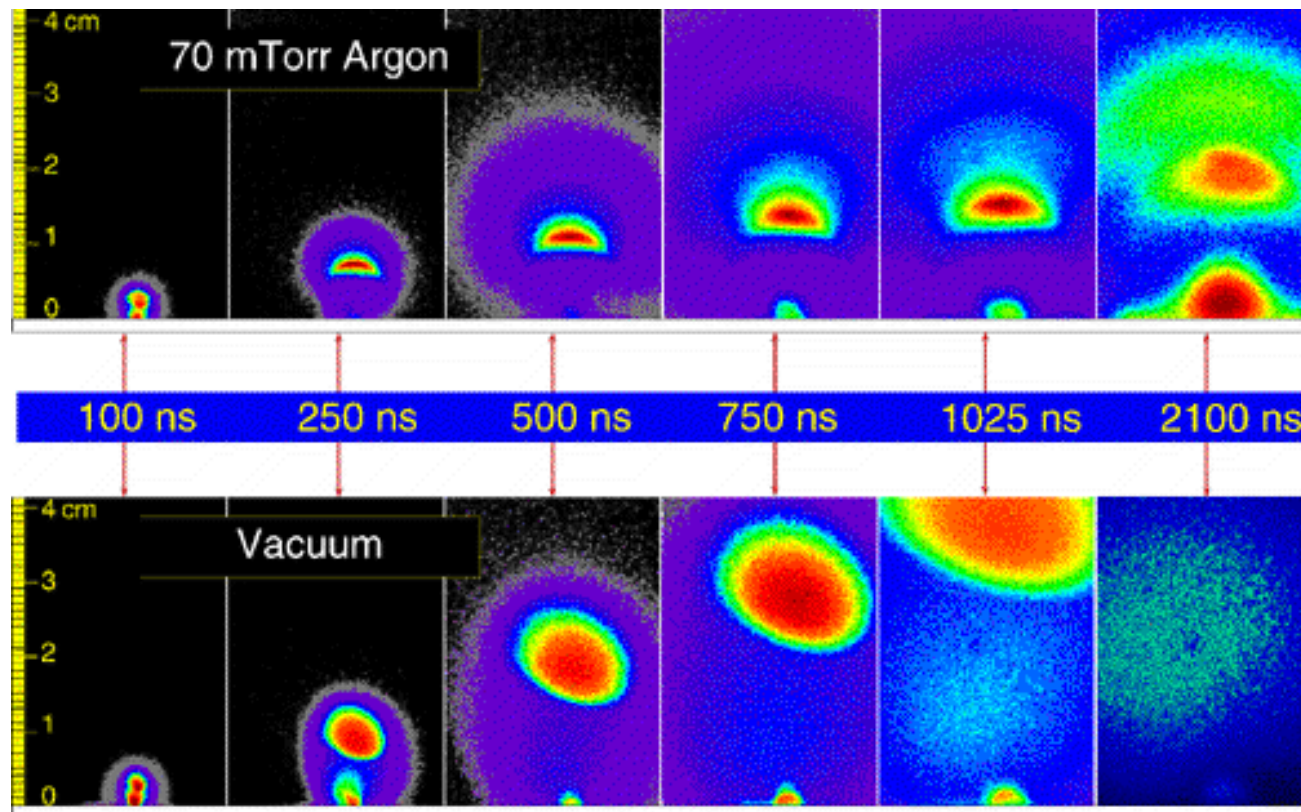
Control de la velocidad de crecimiento

- Fluencia del pulso láser
- Frecuencia de los pulsos
- Presión del gas ambiente
- Distancia del blanco al substrato

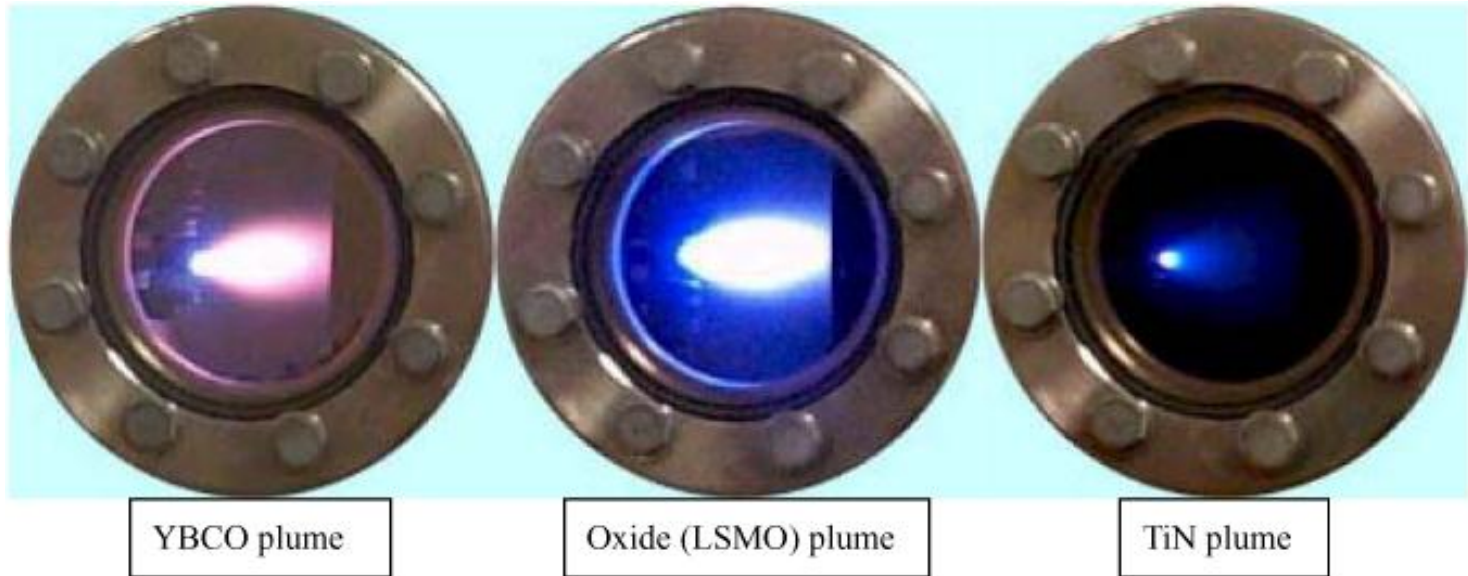
El proceso de ablación en vacío



Monitoreo del proceso de ablación a través de la emisión óptica del plasma

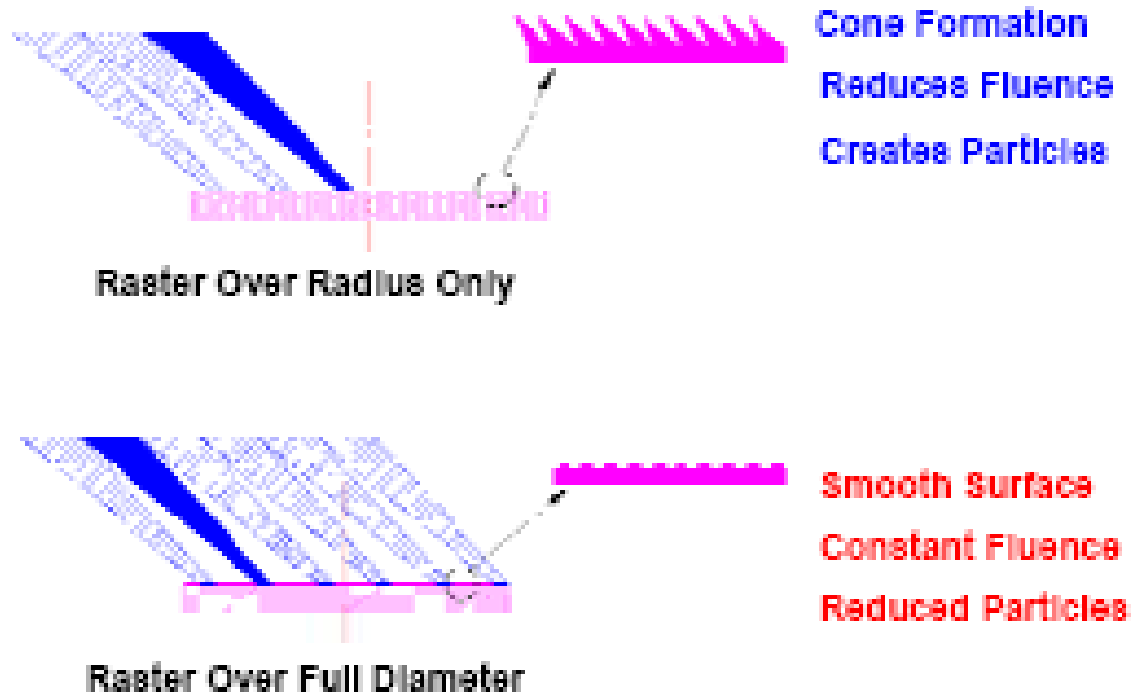


Monitoreo del proceso de ablación a través de la emisión óptica del plasma



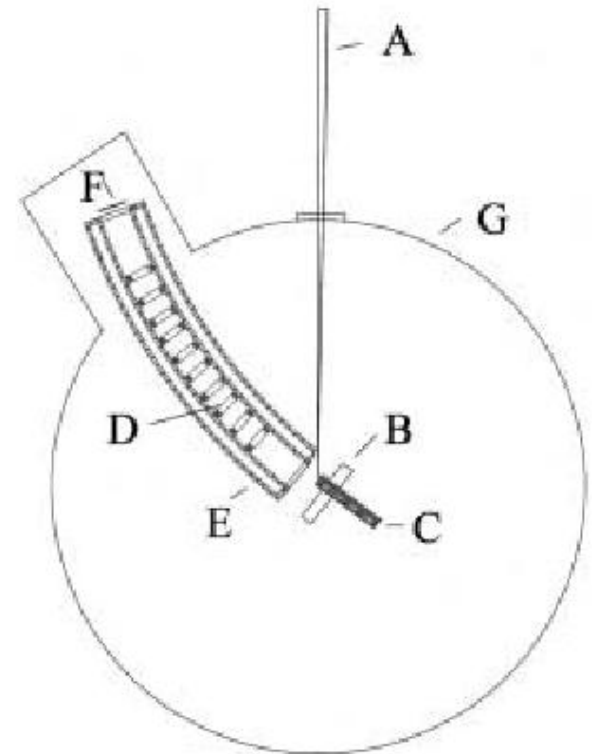
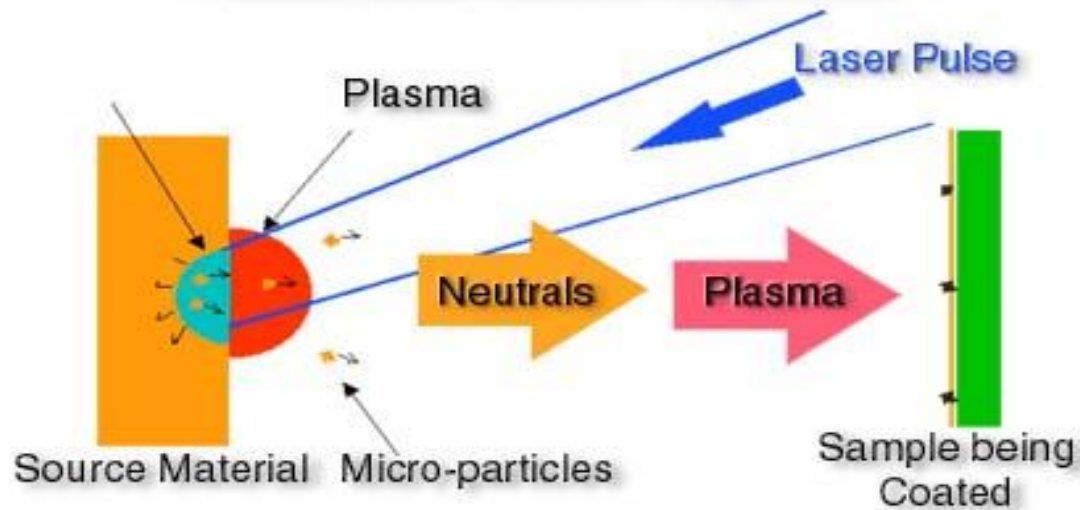
Barrido del blanco

- Rotación del blanco y del substrato
- Barrido del rayo láser sobre el blanco



Eliminando la producción de micropartículas

Pulsed Laser Ablation Deposition

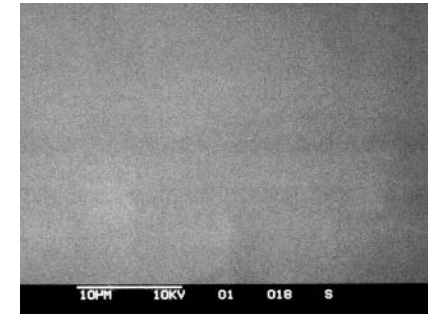
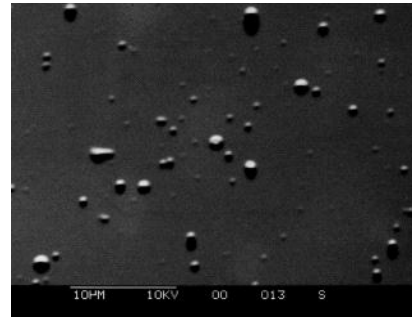


Eliminando la producción de micropartículas

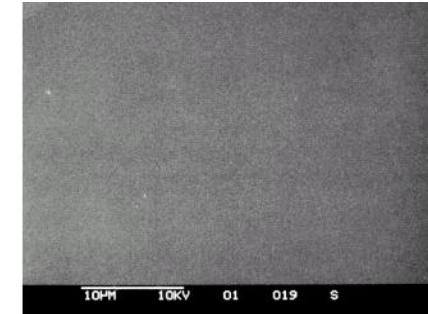
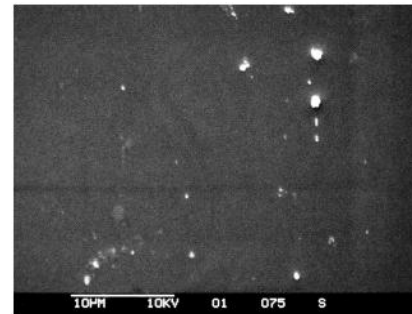
conventional
PLD

MGPLD

Copper - 3,000 times debris
reduction



Carbon (DLC) - 20 times debris
reduction



MATERIALES QUE SE PUEDEN CRECER POR PLD

- Superconductores
- Ferroeléctricos
- Semiconductores
- Dieléctricos
- Aleaciones
- Multicapas
- Polímetros
- Biomateriales
- Nanopartículas y materiales nanoestructurados

Monitoreo del proceso de ablación a través de la emisión óptica del plasma

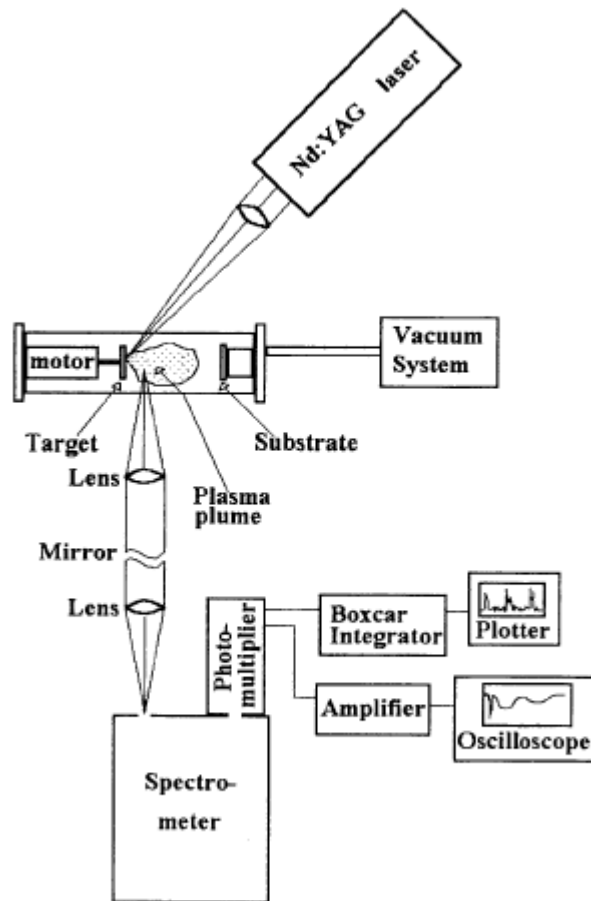


Fig. 1. Experimental setup

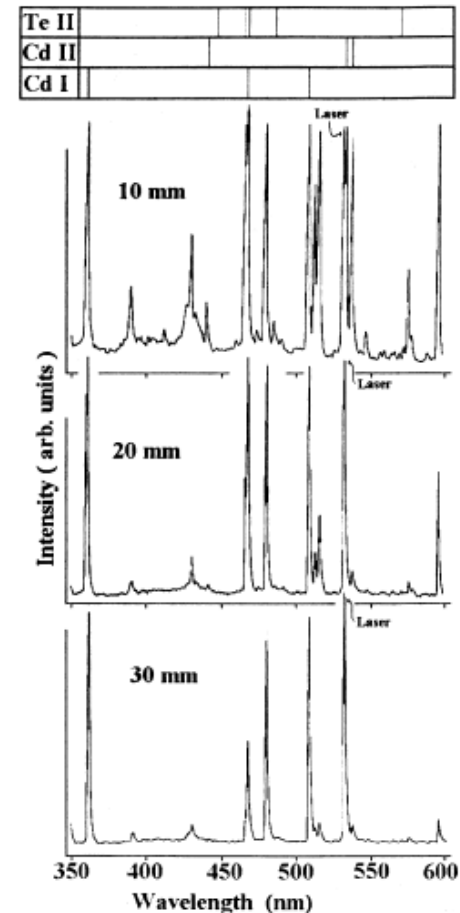
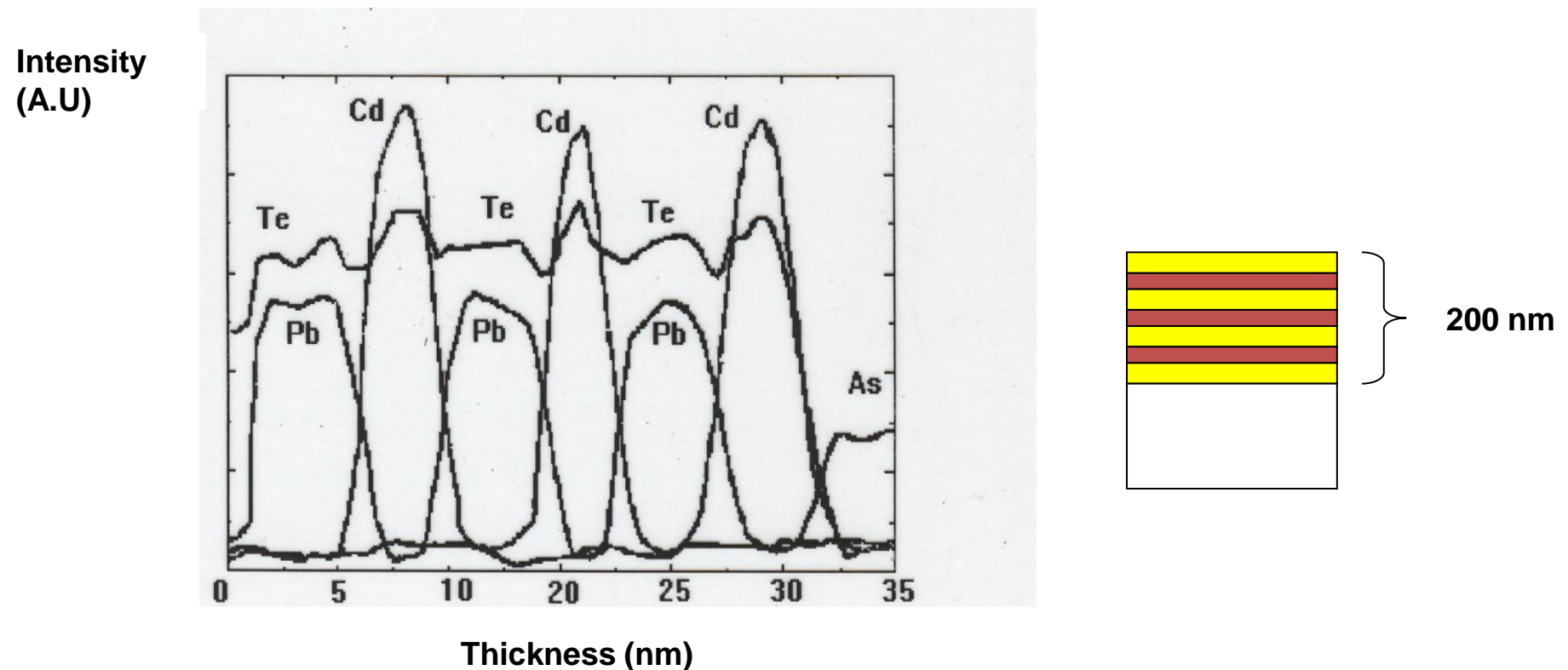


Fig. 4. Emission spectra of the plasma at 10, 20 and 30 mm from the target surface, with a 220 J/cm^2 laser pulse energy density. Intense tabulated lines for Cd I, Cd II, Te II are shown at the top

APLICACIONES

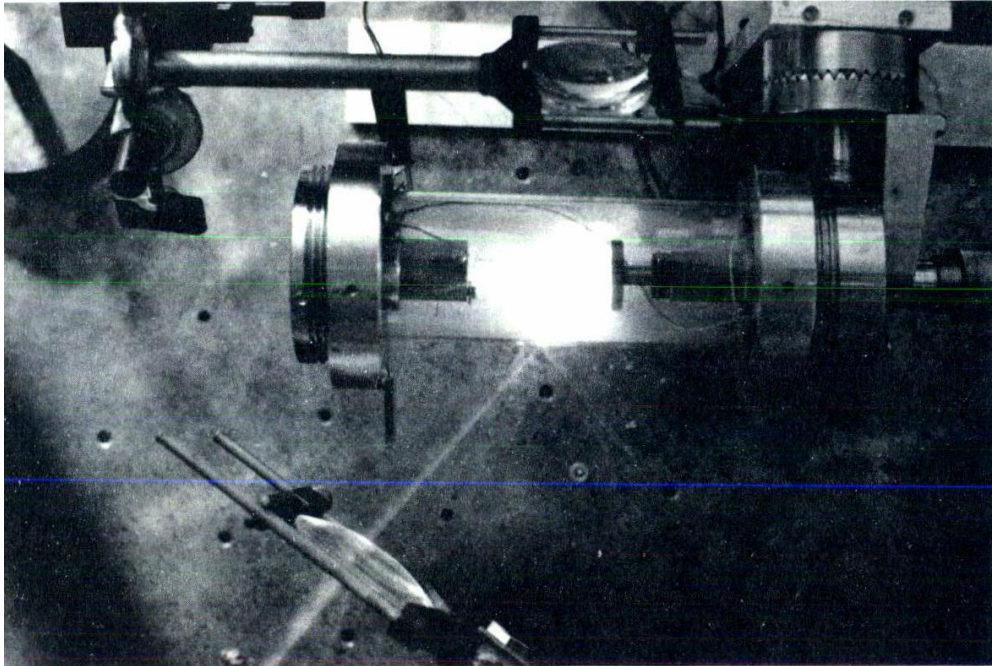
Multicapa de CdTe/PbTe obtenida por PLD.
Se observa la composición elemental en la profundidad



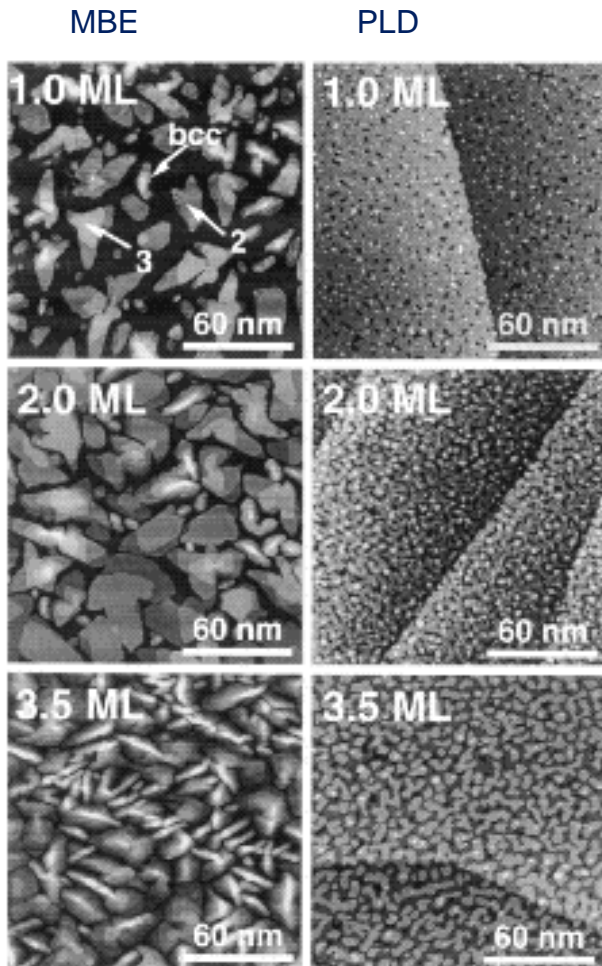


APLICACIONES

Imagen de la primera cámara de PLD creada en México en la UAM Iztapalapa (1993)



APLICACIONES



Recubrimientos de fcc Fe(111) Ultrafinos depositados sobre Cu para capas con elevadas propiedades magnéticas

APLICACIONES

- Grabado directo de componentes electrónicos durante el proceso de crecimiento
- No requiere máscaras ni agentes químicos
- Posible la fabricación en tres dimensiones

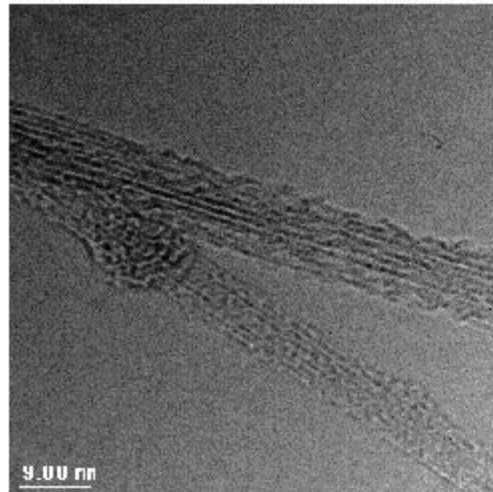


APLICACIONES

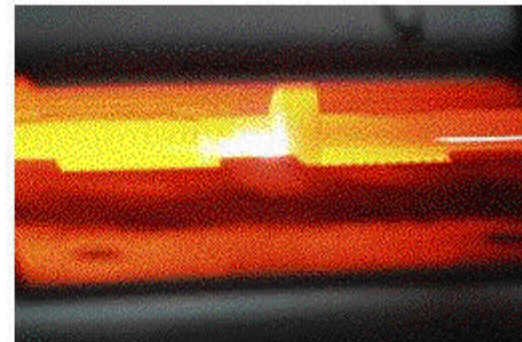
Carbon Nanotubes Grown by Laser Ablation at ORNL

D. B. Geohegan, A. A. Puretzky, X. Fan, S. J. Pennycook - SSD
M. L. Simpson and M. Guillorn - I&C

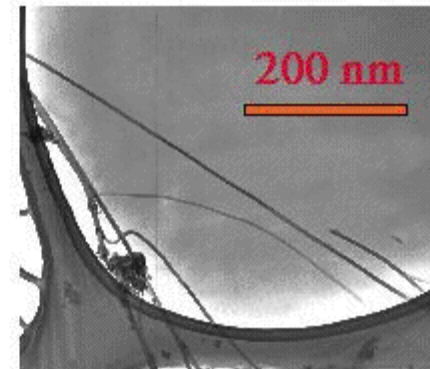
Single-walled nanotubes of carbon have been grown by the laser ablation method at ORNL. Research centers on understanding and controlling the growth mechanism to produce defect-free tubes for molecular electronic applications.



bundled ropes of
single-walled
nanotubes



laser ablation of a graphite-1% Ni/C target inside a tube furnace produces soot containing a high fraction of carbon nanotubes





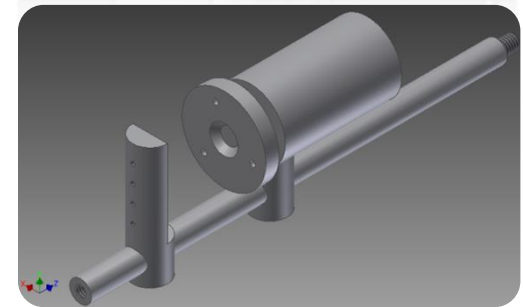
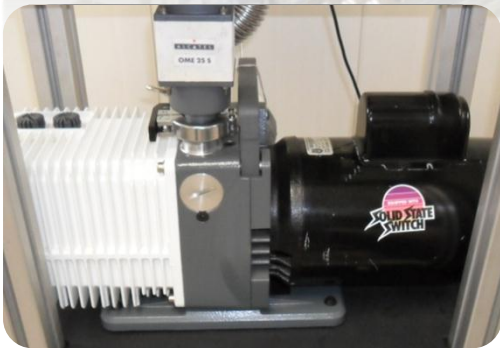
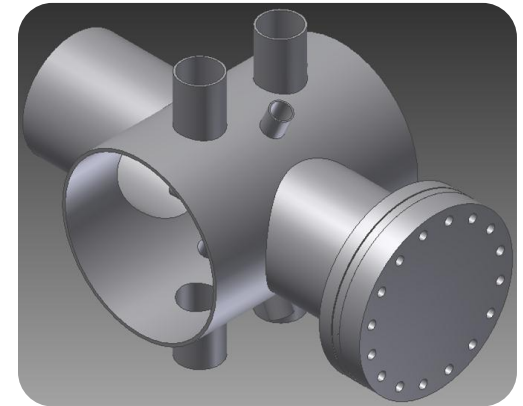
En el CICATA:

Infraestructura disponible:

- Laser de Nd:YAG con emisión en infrarrojo, verde y ultravioleta, pulsos en rango de nanosegundos
- Cámara de bajo vacío para crecimientos en atmósferas de gases
- Cámara de alto vacío con sputtering incorporado
- Sistema de monitoreo espectral de la emisión del plasma

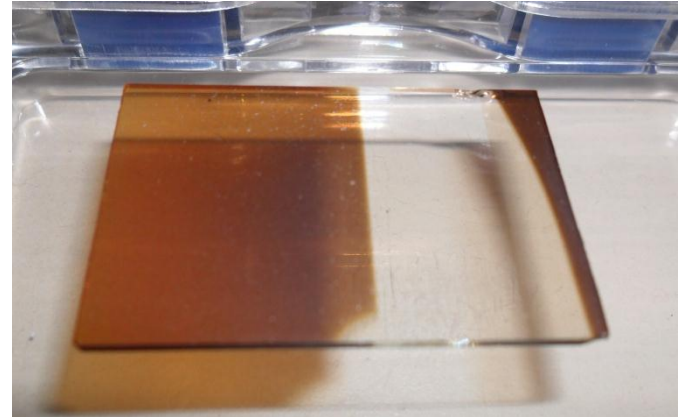
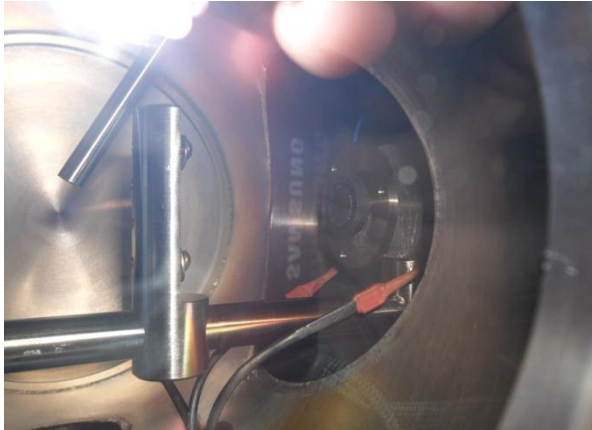
Resultados Preliminares

Diseño y construcción de la instalación



Obtención de capa de carbono en el CICATA

Tesis del estudiante Jose Fernando Martinez Rocha



Parámetros del crecimiento:

- Target: Carbono (99.9% de pureza)
- Distancia sustrato – blanco: 50 mm.
- Duración del crecimiento: 60 seg.
- Frecuencia: 21hz.
- Presión de vacío: 18 mtorr.

Fecha: 14 de septiembre del 2011

Que haremos en el CICATA

- **Grafito, carbono, diamante**
- **Capas con espesores nano (los espejos multicapa para la lanceta Laser)**



Conclusiones

- Por sus ventajas PLD es una técnica de obtención de capas delgadas extremadamente versátil
- Posee un amplio campo de aplicaciones. En el Laboratorio de Tecnología Láser se acometerá el desarrollo de celdas solares concentradoras, espejos multicapa para láseres, recubrimientos tribológicos, etc)

GRACIAS