

Información General sobre Materiales, Seguridad y Equipos para la Nanotecnología

ESC 211

Traducción de Eileen Cruz Pastrana-Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

© 2013 The Pennsylvania State University

Unidad 2

Infraestructura de Procesamiento y de Manufactura

Conferencia 4

Más Información Sobre Sistemas de vacío, Parte I

Esquema de la Unidad

- Infraestructura
 - * ¿Qué es?
 - * ¿Por qué lo necesitamos en la nanotecnología?
- Instalaciones
- Tipos de Sistemas
 - * Sistemas Basados en Vacío
 - * Sistemas Basados en No-vacío

Esquema de las Clases 4 (parte 1), 5 (parte II), y 6 (parte III)

- Resumen de Sistemas de vacío
 - Conceptos básicos de vacío
 - Controladores de flujo masivo (MFC)
 - Manómetros y válvulas de vacío
 - Bombas y fugas de vacío

Clase 4 esbozo

- Resumen de Sistemas de vacío
 - Conceptos básicos de vacío
 - Controladores de flujo masivo (MFC)

Sistemas Basados en Vacío

- Como hemos visto, muchos tipos de equipo usan sistemas basados en vacío
- ¿Por qué? Debido a que son muy útiles para el control de la contaminación y en procesamiento, para controlar el proceso de fabricación
- Comprender los sistemas de vacío es muy importante.

¿Por qué es importante la tecnología de vacío?

- Vacío = Limpio
- Los procesos basados en vacío son comunes en la nanofabricación debido a que ofrecen una reducción en la contaminación ambiental, las condiciones son reproducibles y el vacío es necesario para la alta proporción de aspecto en el procesamiento con plasma

Vacío

- La eliminación de moléculas de gas (aire, humedad y residuos de gas) en un recipiente cerrado para lograr una presión inferior a la atmosférica
- Sin este concepto fundamental, muchos procesos comunes en la nanofabricación moderna no existirían. Este proceso no sólo es importante para la transformación material, también es de vital importancia para muchas técnicas de caracterización.

Condición de Vacío	Beneficio
Crear Ambiente Limpio	Elimina las partículas, los gases no deseados, la humedad y los contaminantes
Baja Densidad Molecular	Reduce el número de moléculas en el sistema para reducir la contaminación y la interferencia
Aumentar el Camino Libre Medio	Proporciona la condición necesaria para crear plasma. Afecta la "energía" del plasma.

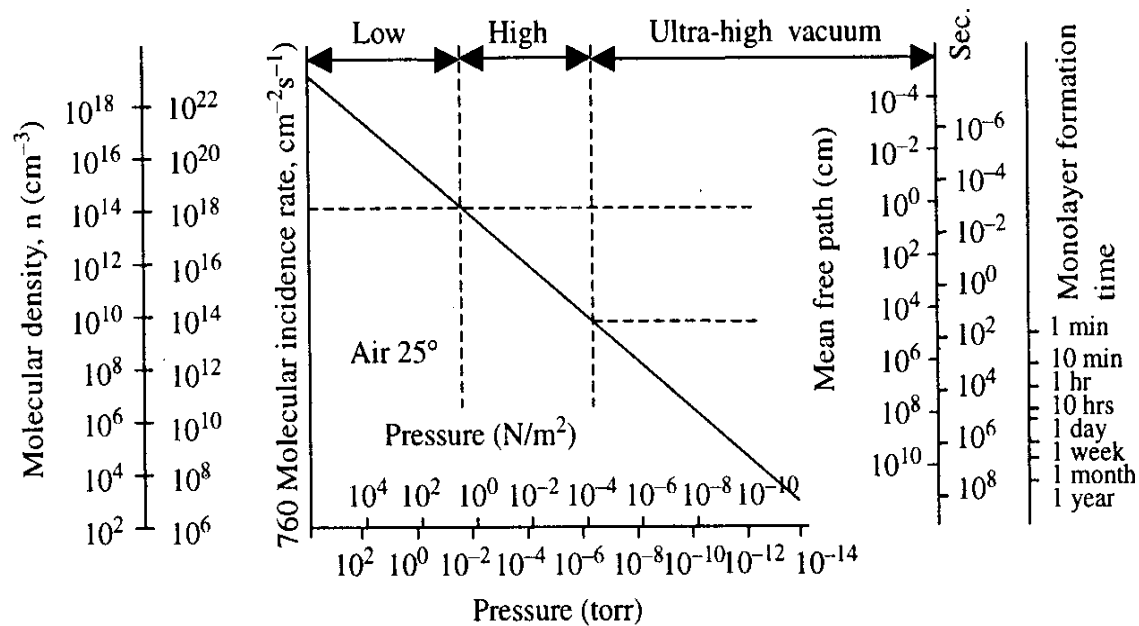
Rangos de Vacío

- El vacío se mide normalmente en Torr (T)
 - Presión atmosférica = 760 T
 - 1 Atmósfera = 760 T
- En general, hay tres rangos de vacío:
 - Vacío Bajo
 - Vacío Alto
 - Vacío Ultra Alto

Rangos de Presión

Gama de vacío	Valor Numérico
Vacío Bajo	760 T - 10^{-3} T
Vacío Alto	10^{-1} T \rightarrow 10^{-3} T
Vacío Ultra Alto	$\downarrow 10^{-6}$ T

Resumen del Fenómeno del Vacío



Summary of molecular density, incident rate, mean free path, and monolayer formation time as a function of pressure. [A. Roth, *Vacuum Technology*, North-Holland, Amsterdam, 1976.]

Guozhong, C. *Nanomateriales y nanoestructuras. Síntesis, propiedades y aplicaciones*. Imperial College Press. Londres. 2006

Gases y Vacío

- Para comprender el vacío, tenemos que comprender los gases
- El vacío se utiliza para controlar o eliminar gases

Propiedades de los gases

- Los gases con igual volumen y presión tienen el mismo número de moléculas.
- Los gases son compresibles
- Los gases se expanden con un aumento de la temperatura.
- Los gases se mezclan completamente.
- La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones individuales de cada gas en la mezcla.
- Los gases llenan un recipiente completamente, independientemente de la presión y la forma del recipiente.

La Teoría Cinético Molecular de los Gases

- Los gases son pequeñas partículas en continuo movimiento, moviéndose a alta velocidad
- Su velocidad está influenciada por la temperatura, es decir $v \propto T^{1/2}$

Presión

- Una medida de la fuerza ejercida sobre una unidad de área
 - La "fuerza" se genera a partir de las colisiones de las partículas del gas
- Un sistema al vacío tiene una porción de estas partículas extraídas
 - Esto reduce la probabilidad de colisión
 - Colisiones reducidas = presión reducida

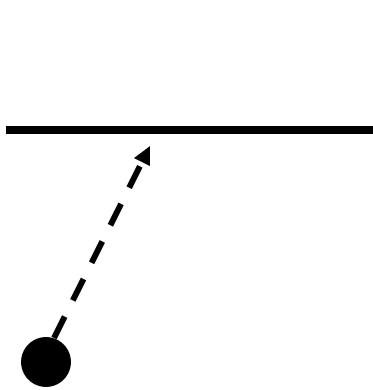
Teoría de la presión

- Presión (P) es la fuerza (F) ejercida sobre una unidad de área (A)

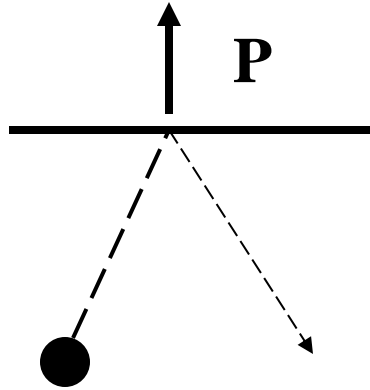
$$P = F/A$$

- Cuando un átomo de gas choca con una pared, éste rebota con su velocidad y su momentum en una dirección diferente
- Dado que el momentum total debe conservarse, éste es transferido a la pared

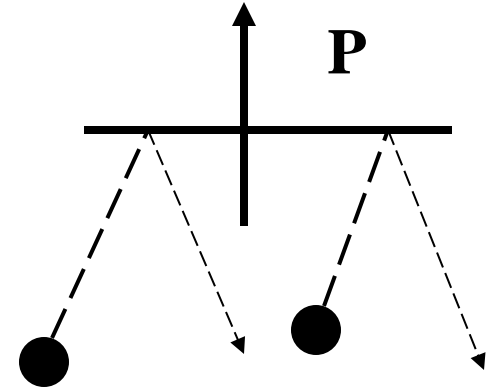
Teoría de la presión



Antes de la colisión



Después de la colisión



Múltiples colisiones

- El momentum P del átomo justo antes de golpear la pared debe ser igual a la suma vectorial del momentum P' del átomo al rebotar más el momentum P_w dado a la pared
- El bombardeo continuo en la pared por los átomos del gas produce una fuerza constante en la pared

El Barómetro de Mercurio

- Se utilizaba comúnmente para la medición de la presión atmosférica
- Funcionaba equilibrando el peso conocido de un fluido (mercurio) contra el peso del aire
- Desarrollado a mediados de los 1600's por Evangelista Torricelli
- La unidad de presión, **Torr**, es llamada así en honor de Torricelli

El Barómetro de Mercurio

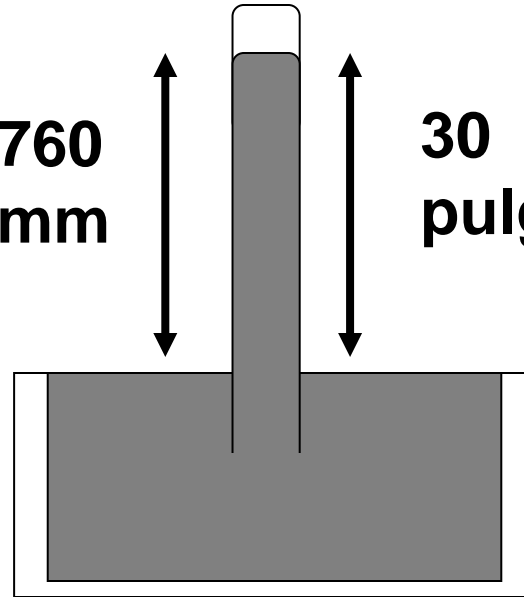
**Presión media ejercida sobre
la superficie de la Tierra a
nivel del mar**

760 mm = 760 Torr



**760
mm**

**30
pulgadas**



**Dominio público: generada por
CNEU personal para uso libre**

Propiedades atmosféricas

- Nuestra atmósfera está compuesta de una mezcla de gases
- A nivel del mar se compone de 78,08 % de nitrógeno (N_2), 20,95 % de oxígeno (O_2), 0,93 % de argón (Ar), y muy pequeñas cantidades de Dióxido de Carbono (CO_2), Neón (Ne), Helio (He), Kriptón (Kr), hidrógeno (H_2), y Xenón (Xe)

Tipo de Gas en el aire	Símbolo	% Volumen	Presión parcial (Torr)
Nitrógeno	N ₂	78	593
Oxígeno	S ₂	21	159
Argón	Ar	0,93	7,1
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,03	0,25
Neon	Ne	0,0018	1,4X10 ⁻²
Helio	He	0,0005	4,0X10 ⁻³
Krypton	Kr	0,0001	8,7 X10 ⁻⁴
Hidrógeno	H ₂	0,00005	4,0X10 ⁻⁴
Xenón	Xe	0,0000087	6,6X10 ⁻⁵
Agua	H ₂ O	Variable	5 a 50 Torr

Presión atmosférica

- El aire que nos rodea ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra de $14,7 \text{ libras/in}^2 = 760 \text{ Torr}$
- Esta masa de aire empujando sobre la superficie de la Tierra se conoce como presión atmosférica

Camino libre medio (MFP)

- La distancia promedio que una molécula de gas recorre antes de que golpee a otra molécula de gas
- Cuando la presión se reduce en un vacío, el espacio entre las moléculas del gas aumenta:
 - Esto es importante para la generación de plasma, la conformalidad y el control del perfil de grabado
- El MFP varía según el rango de vacío

MFP y densidad Molecular frente a presión

Presión	760 Torr	1×10^{-3} Torr	1×10^{-9} Torr
# De moléculas/cm ³	3×10^{19}	4×10^{13}	4×10^7
Camino libre medio	5×10^{-6} cm	5 cm	48 km

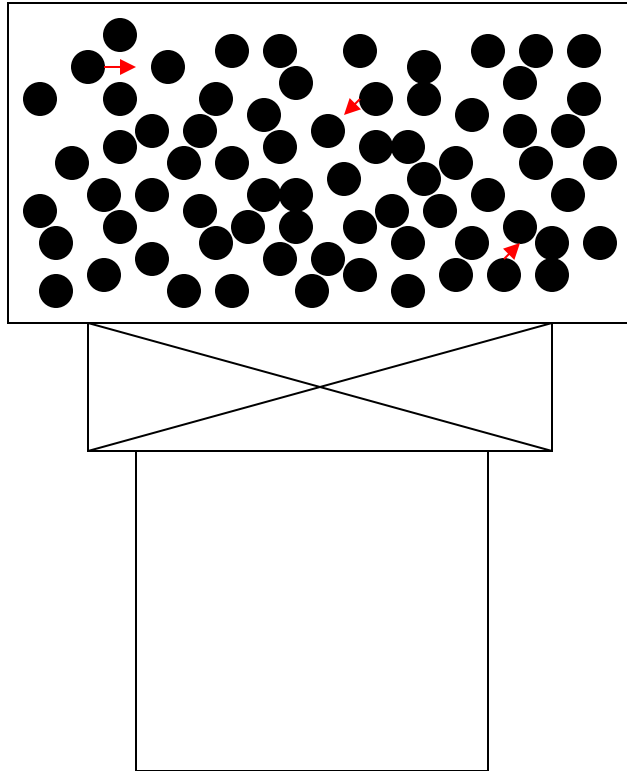
MFP y Densidad Molecular

- La tabla anterior nos da una perspectiva de diseño del sistema y de problemas por contaminación.
- Como puede ver, el camino libre medio puede establecer el tamaño de un instrumento de proceso.
- La distancia del camino libre medio también es crucial para entender la disociación en el procesamiento con plasma.
- Por lo tanto, entender un vacío es necesario para comprender el procesamiento de materiales y el diseño de sistemas.

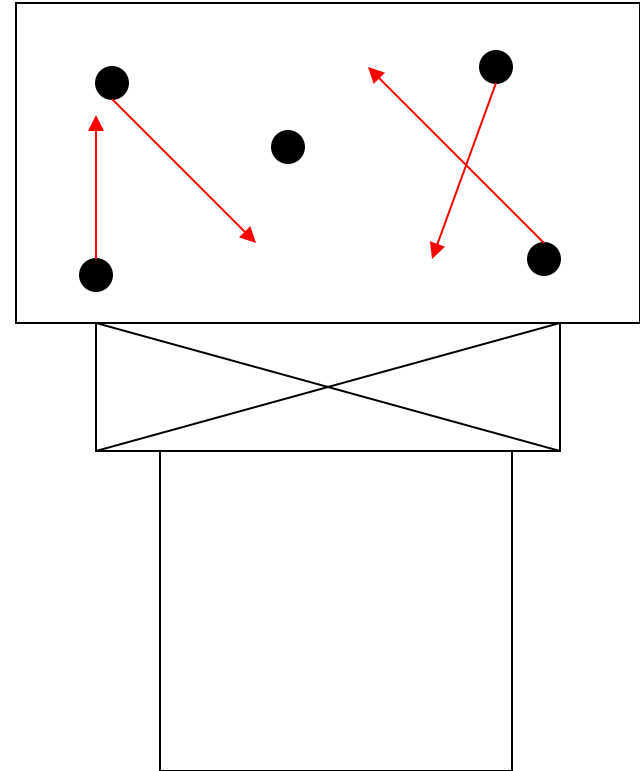
Flujo de Gas

- Dos tipos de flujo de gas se observan en función de la densidad de las moléculas de un gas en una determinada cámara:
 - Viscoso
 - Molecular

Flujo Molecular vs Flujo Viscoso



Flujo Viscoso



Flujo Molecular

Dominio público: generada por
CNEU personal para uso libre

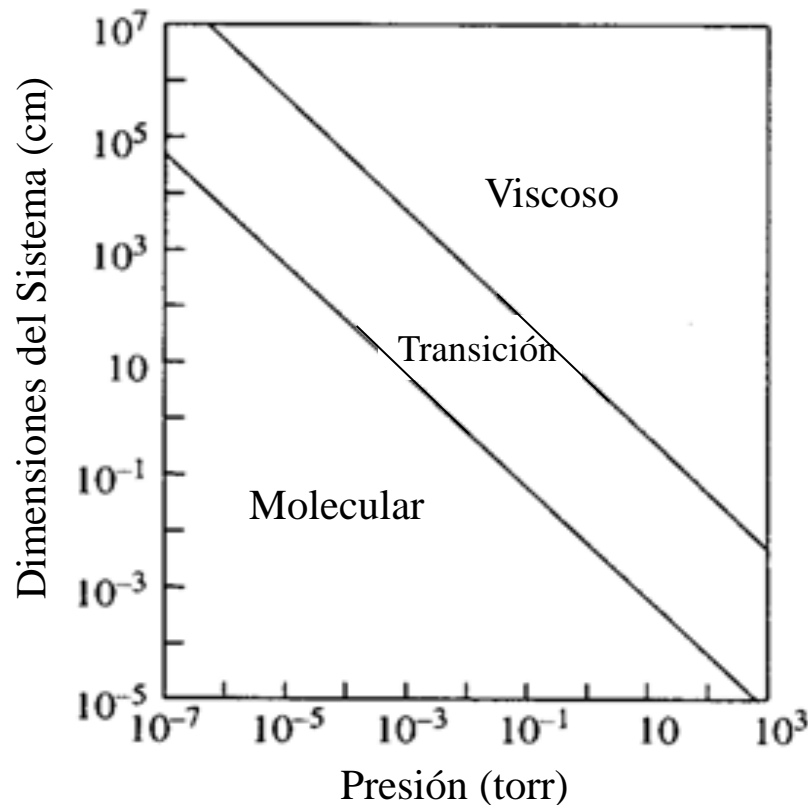
Flujo Viscoso

- Las moléculas del gas están estrechamente empaquetadas y están constantemente chocando entre sí
- Las moléculas están tan estrechamente empaquetadas que cuando una bomba de vacío elimina algunas de ellas, otras entran rápidamente a ocupar el espacio liberado
- Las condiciones de flujo viscoso permiten el movimiento de grandes cantidades de moléculas por unidad de tiempo

Flujo Molecular

- Se produce cuando la mayoría de las moléculas de gas se han retirado de la cámara
- Las moléculas están tan distantes que ya no tienen ninguna influencia sobre las demás
- Estadísticamente hablando, una molécula de gas podría viajar pulgadas, pies, o millas, antes de chocar con otra molécula de gas, dependiendo del nivel de vacío

Flujo Molecular vs Flujo Viscoso



Regímenes de flujo de gas en un tubo como función de las dimensiones y la presión del sistema

Guozhong, C. *Nanomateriales y nanoestructuras. Síntesis, propiedades y aplicaciones*. Imperial College Press. Londres. 2006

Clase 4 Resumen

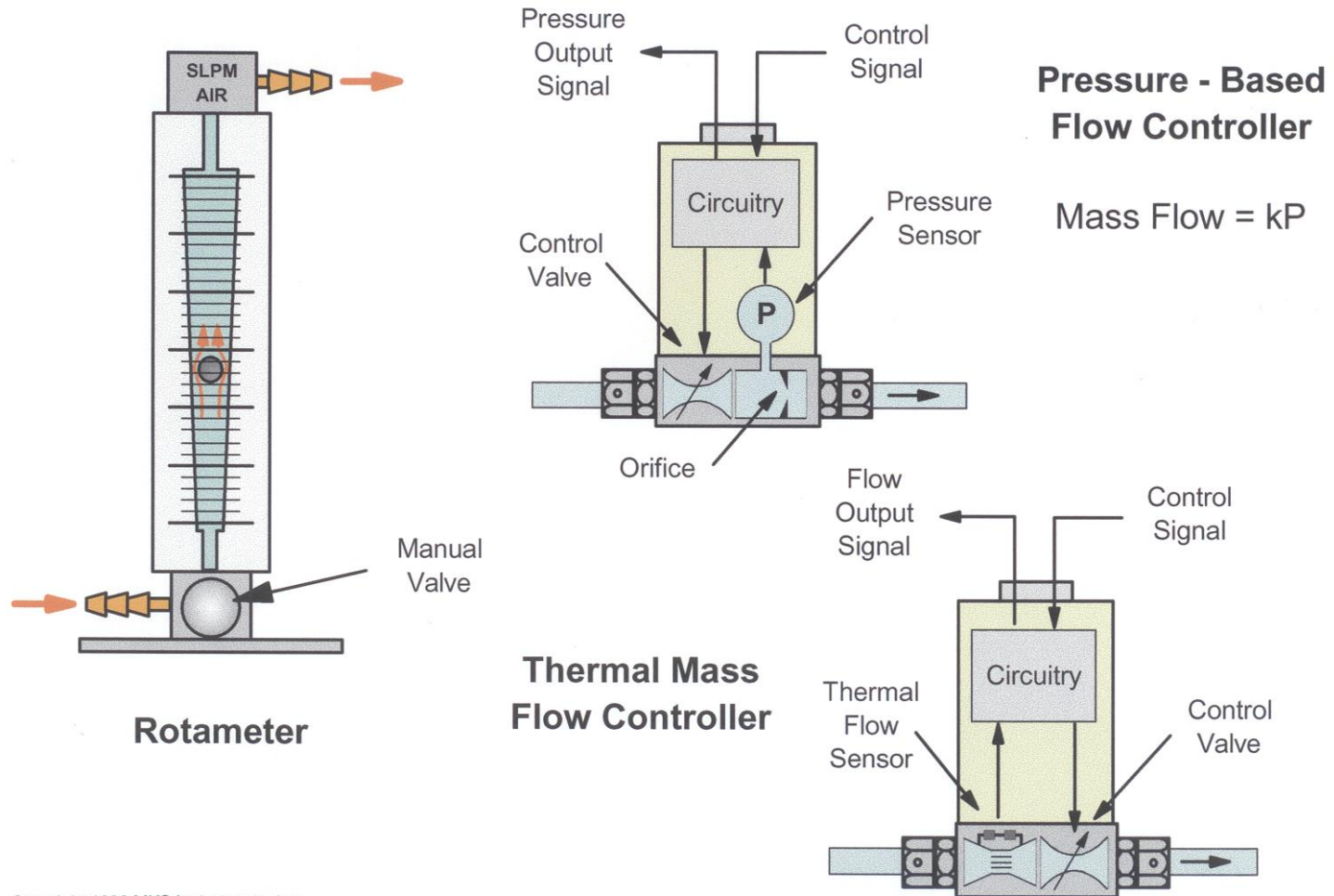
- Resumen de Sistemas de Vacío
 - Conceptos básicos de vacío
 - Controladores de flujo masivo (MFC)

Controlador de Flujo de Masa (MFC)

- A menudo, se desea introducir gases en una cámara al vacío controladamente
- Un MFC controla el flujo de gas en un sistema
- Para sistemas pequeños los MFC están clasificados entre 1-100 sccm
- Sistemas más grandes necesitan unidades clasificadas SLM
- Los MFCs que utilizan transferencia de calor se calibran para el calor específico de un gas. El gas estándar de calibración es el nitrógeno. Si se utiliza otro gas la tasa de flujo se ajusta por un factor de corrección.

Controlador de Flujo de Masa (MFC)

Various Mass Flow Control Methods



Copyright 1998 MKS Instruments, Inc.