Orozco González Luis René **Tarea - #1**
Email: reneg@ciencias.unam.mx
Técnicas de Crecimiento de Películas Delgadas y Recubrimientos en Vacío
Profesor: M. en I. Perla Patricia Hernández Colorado Fecha de entrega: 24 de Marzo de 2020

Problem 1
Calcula el camino libre medio de las partículas de aluminio en la cámara de evaporación térmica al vacío, si la presión de trabajo es de 6×10^-6 Torr y la temperatura circundante al sustrato es de 50°C.

Solution: Los datos que nos dan son los siguientes:

$$P_{trabajo} = 6 \times 10^{-6} Torr = 7.99932 \times 10^{-04} Pa, \quad tal \quad que \qquad 1 Torr = 133.322 Pa.$$
$$T = 50°C = 323.15K, \quad k = 1.3806 \times 10^{-23}\frac{J}{K}, \quad \phi_{Al} = 2\mathring{A} = 2 \times 10^{-10} m$$

Usando la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi P \phi^2} ....(\alpha)$$

Donde:

- λ es el camino libre medio en metros [m].
- T es la temperatura en Kelvin [K].
- P es la presión de trabajo en pascales [Pa].
- ϕ es el diámetro atómico del material en metros [m].
- k la constante de Boltzmann en $[\frac{J}{K}]$

Si sustituimos los valores dados por el enunciado en la relación (α).

$$\begin{aligned}
\lambda &= \frac{(1.3806 \times 10^{-23}\frac{J}{K})(323.15K)}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot (7.99932 \times 10^{-4} Pa)(2 \times 10^{-10} m)^2} \\
&= \frac{(4.46 \times 10^{-21} J)}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot (7.99932 \times 10^{-4} J \cdot m^{-3})(4 \times 10^{-20} m^2)} \\
&= \frac{4.46 \times 10^{-21}}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot (3.20 \times 10^{-23} m^{-1})} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot (1.39 \times 10^2 m) \\
&\approx 3.13 \times 10^1 m \\
&\approx 31.28 m
\end{aligned}$$

Problem 2
¿Cual es la presión de trabajo en la cámara de evaporación térmica al vació, si el camino libre medio de las partículas de cobre es de $\lambda = 247m$ y la temperatura al interior de la cámara se estima en $70°C$?

Solution: De la relación (α) utilizada en el problema anterior despejamos la presión
El radio atómico del cobre (Cu) es: $r_{Cu} = 1.57$ Å

$$\left[\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot P\cdot\phi^2}\right]\cdot P$$

$$P\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot \cancel{P}\cdot\phi^2}\cdot\cancel{P}$$

$$\left[P\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot\phi^2}\right]\cdot\frac{1}{\lambda}$$

$$\frac{P\cancel{\lambda}}{\cancel{\lambda}} = \frac{1}{\lambda}\cdot\frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot\phi^2}$$

$$P = \left(\frac{1}{\lambda}\cdot\frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot\phi^2}\right)\text{....}\,(\beta)$$

El diámetro atómico del cobre es: $\phi_{atom} = 3.14$ Å
T = 70 $°C$ = 343.15 K y λ = 247 m
Sustituyendo los valores conocidos en (β) obtenemos:

$$\begin{aligned}
P &= \frac{1}{247m}\cdot\frac{\left(1.3806\times10^{-23}\frac{J}{K}\right)(347.15K)}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot(3.14\times10^{-10}m)} \\
&= \frac{1}{247m}\cdot\frac{4.74\times10^{-21}J}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot 9.81\times10^{-20}m^2} \\
&= \frac{4.74\times10^{-21}J}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot 2.44\times10^{-17}m^3} \\
&\approx 4.37\times10^{-5}\frac{J}{m^3} \\
&\approx 4.37\times10^{-5}Pa \\
&\approx 3.28\times10^{-7}Torr
\end{aligned}$$

Problem 3
Calcula el tiempo de formación de mono-capa para una película delgada de cobre (Cu), crecida por la erosión iónica (*Sputtering*) a una presión de trabajo de 2×10^{-4} Torr.

Solution:
Considerando:
$T = 80°C = 353.15K$
$r_{atom} = 1.57$ Å
Peso atómico $= W_{atom} = 63.54\ g \cdot mol^{-1} = 0.06354\ Kg \cdot mol^{-1}$
Presión de trabajo $= P_{trabajo} = 2\ \times 10^{-4}$ Torr $= 0.0266644$ Pa
1gr = 0.001 Kg
$A_{sustrato} = 1\ pulg^2 = 1\ in^2 = 0.00064516\ m^2$

Calculando el numero de partículas por unidad de área y por unidad de tiempo con la siguiente relación:

$$z = \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot P_{trabajo}}{(T \cdot W_{atom})^{\frac{1}{2}}}$$

Sustituyendo los valores

$$z = \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot (0.0266644Pa)}{[(353K) \cdot (0.06354Kg \cdot mol^{-1})]^{\frac{1}{2}}}$$

Recordando que $1Pa = \frac{Kg}{m \cdot s^2}$

$$z = \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot \left(0.0266644\frac{Kg}{m \cdot s^2}\right)}{\left[22.439151\frac{K \cdot Kg}{mol}\right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$z = 4.69 \times 10^{20}\frac{mol}{K \cdot m \cdot s^2}$$

Ahora calculamos la cantidad de partículas necesarias para formar una mono-capa, z_m, con la siguiente relación:

$$z_m = \frac{\text{Área dada}}{\text{Área de la esfera}}$$

Como el Área de la esfera se determina con la siguiente relación

$$A_{esfera} = 4\pi r^2 = 4\pi \left(1.57 \times 10^{-10}m\right)^2$$

$$\begin{aligned} z_m &= \frac{\text{Área dada}}{\text{Área de la esfera}} \\ &= \frac{0.00064516\cancel{m^2}}{4\pi \left(2.4649 \times 10^{20}\cancel{m^2}\right)} \\ &= 2.08 \times 10^{15} \end{aligned}$$

El tiempo que toma formar una mono-capa sobre un sustrato se calcula mediante la división del numero de partículas necesarias para formar una mono-capa entre el numero de partículas por unidad de área y por unidad de tiempo.

$$
\begin{aligned}
\tau &= \frac{z_m}{z} \\
&= \frac{2.08 \times 10^{15}}{4.69 \times 10^{20}} \\
&= 4.44 \times 10^{-6} s
\end{aligned}
$$

Problem 4
Determina que películas delgadas se pueden crecer más rápido, ¿Las de Hierro (Fe) o las de Rodio (Rh)?

Solution: Considerando:
$P_{\text{trabajo}} = 2 \times 10^{-4} Torr = 0.0266644 Pa$
$T = 80°C = 353.15K$
Sabemos que el radio y peso atómico del Fe son los siguientes:
$r_{Fe} = 1.26$ Å$= 1.26 \times 10^{-10} m$
$W_{Fe} = 55.847 g \cdot mol^{-1} = 0.055847 \frac{Kg}{mol}$

Calculando el numero de partículas por unidad de área y por unidad de tiempo.

$$
\begin{aligned}
z &= \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot P_{trabajo}}{(T \cdot W_{atom})^{\frac{1}{2}}} \\
&= \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot 0.0266644 \frac{Kg}{m \cdot s^2}}{\left[353.15K \cdot 0.055847 \frac{Kg}{mol}\right]^{\frac{1}{2}}} \\
&= 5.00 \times 10^{20}
\end{aligned}
$$

y después calculamos la cantidad de partículas necesarias para formar una mono-capaz_m.

$$
\begin{aligned}
A_{esfera} &= 4\pi r^2 \\
&= 4\pi \left(1.26 \times 10^{-10} m\right)^2 \\
&= 2 \times 10^{-19} m^2
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
z_m &= \frac{0.00064516 \cancel{m^2}}{2 \times 10^{-19} \cancel{m^2}} \\
&= 3.23 \times 10^{15}
\end{aligned}
$$

y como τ esta dado como:

$$
\begin{aligned}
z &= \frac{z_m}{z} \\
&= \frac{\left(3.23 \times 10^{15}\right)}{\left(5 \times 10^{20}\right)} \\
&= 6.46 \times 10^{-6} s
\end{aligned}
$$

Para el el rodio (Rh) sabemos que su peso y radio atómico es:
$r_{Rh} = 1.34$ Å$= 1.34 \times 10^{-10}$ m
$W_{Rh} = 102.905 \ \frac{g}{mol} = 0.102905 \ \frac{Kg}{mol}$
Calculamos z, tal que:

$$\begin{aligned} z &= \frac{8.33 \times 10^{22} \cdot (0.0266644Pa)}{\left[(353.15K)\left(0.102905Kg \cdot mol^{-1}\right)\right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= 3.29 \times 10^{20} \end{aligned}$$

Ahora calculamos z_m, consideramos el área de la esfera con el radio atómico del Rh.

$$\begin{aligned} A_{esfera} &= 4\pi r^2 \\ &= 4\pi \left(1.34 \times 10^{-10} m\right)^2 \\ &= 2.26 \times 10^{-19} m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_m &= \frac{0.00064516\cancel{m^2}}{2.26 \times 10^{-19}\cancel{m^2}} \\ &= 2.85 \times 10^{15} \end{aligned}$$

Calculando τ

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{z_m}{z} \\ &= \frac{2.85 \times 10^{15}}{3.29 \times 10^{20}} \\ &= 8.68 \times 10^{-6} s \end{aligned}$$

$\therefore \tau_{Fe} < \tau_{Rh}$ lo que quiere decir que las películas delgadas de Fe crecen más rápido.