

**Exercício 1**

Uma câmara cilíndrica de aço inoxidável é evacuada por uma bomba de ultra alto vácuo de velocidade de bombeamento  $S$  através de um tubo de condutância  $C_T$  e de uma válvula de condutância  $C_V$ . A taxa de desgaseificação das paredes da câmara é  $q$ . Determine

1. A condutância do conjunto tubo-válvula.
2. A velocidade de bombeamento na boca da câmara.
3. A pressão final (mínima pressão) na câmara.

Dados: altura da câmara:  $H = 40$  cm; diâmetro da câmara:  $D = 25$  cm, taxa de desgaseificação das paredes da câmara:  $q = 3,0 \times 10^{-10}$  Torr litro  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; condutância do tubo:  $C_T = 750$  litro  $\text{s}^{-1}$ ; condutância da válvula:  $C_V = 550$  litro  $\text{s}^{-1}$ ; velocidade de bombeamento da bomba:  $S = 880$  litro  $\text{s}^{-1}$ .

Obs. Como a superfície interna da câmara é muito maior que a do tubo e da válvula, considere apenas a taxa de desgaseificação da câmara.

**Exercício 2**

Deseja-se manter uma pressão de argônio de 50 mTorr numa câmara de vácuo para um processo de deposição de filme por sputtering. Emprega-se para isso um fluxômetro ligado a um tanque de argônio que admite esse gás na câmara. A câmara é bombeada por uma bomba Roots que mantém uma velocidade de bombeamento na câmara  $S = 6,5$   $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ .

Determine o fluxo de argônio admitido (corrente molecular) em Torr litro  $\text{s}^{-1}$  e em sccm.

Obs. A unidade típica de fluxo medida em fluxômetros de gás é sccm. (Standard  $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$  e  $1 \text{ sccm} = 1,27 \times 10^{-2}$  Torr litro  $\text{s}^{-1}$ ).

**Exercício 3**

Em um sistema de sputtering, um filme de titânio é depositado. O gás de sputtering é argônio e a corrente de íons  $\text{Ar}^+$  é  $I = 170$  mA. O alvo é uma placa de Ti plana e circular de área  $A = 44,2$   $\text{cm}^2$  e o substrato é uma lâmina metálica circular de mesmo diâmetro que o alvo, colocada próxima e paralelamente ao alvo. O sistema alvo-substrato tem simetria cilíndrica. A tensão dc aplicada ao alvo é 500 V e o substrato é aterrado. Supondo que todos os átomos ejetados do alvo por sputtering se depositem no substrato, calcule

- a. A taxa de deposição de Ti em  $\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .
- b. A taxa de crescimento do filme em  $\text{nm s}^{-1}$ .
- c. Em realidade, as taxas calculadas nesses dois itens estão um pouco acima daquelas que se observaria numa deposição real. Explique porque.

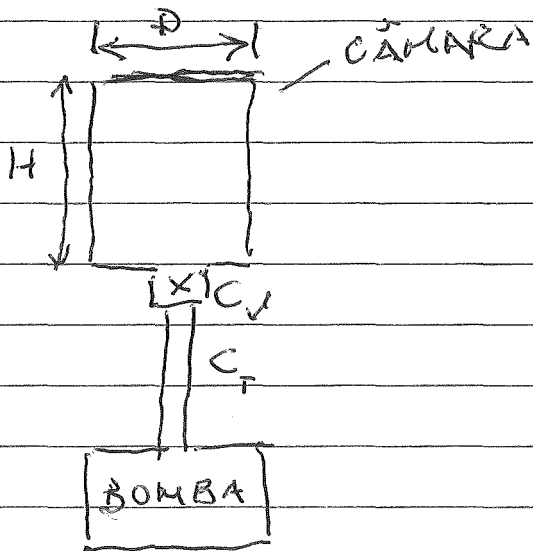
Rendimento de sputtering a 500 V:  $S = 0,731$ ; peso atômico do Ti:  $M = 47,9$  g; densidade do Ti =  $4,5$  g  $\text{cm}^{-3}$ ; carga do elétron:  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C; probabilidade de adesão do Ti no substrato:  $\alpha = 1$ .

#### Exercício 4

Um feixe de elétrons de 100 eV e  $3,5$   $\mu\text{A}$  atravessa gás neônio numa pressão de  $3,0 \times 10^{-5}$  Torr. Determine o número de pares elétron-ion gerados por segundo quando o feixe atravessa 10 cm no gás.

~~Seção de choque do neônio:  $q = 6,4 \times 10^{-16}$   $\text{cm}^2$~~ ; carga do elétron:  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C; temperatura do gás:  $T = 300$  K.

## Exercício 1



$$\begin{aligned}
 S &= 880 \text{ l s}^{-1} \\
 C_T &= 750 \text{ l s}^{-1} \\
 C_V &= 550 \text{ l s}^{-1} \\
 q &= 3 \times 10^{-10} \text{ Torr l s}^{-1} \\
 D &= 25 \text{ cm} \\
 H &= 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

1. Condutância do conjunto,  $C_{TOT}$

$$\frac{1}{C_{TOT}} = \frac{1}{C_T} + \frac{1}{C_V} \rightarrow C_{TOT} = 317 \text{ l s}^{-1}$$

2. Vel. de bombeamento na boca da câmara

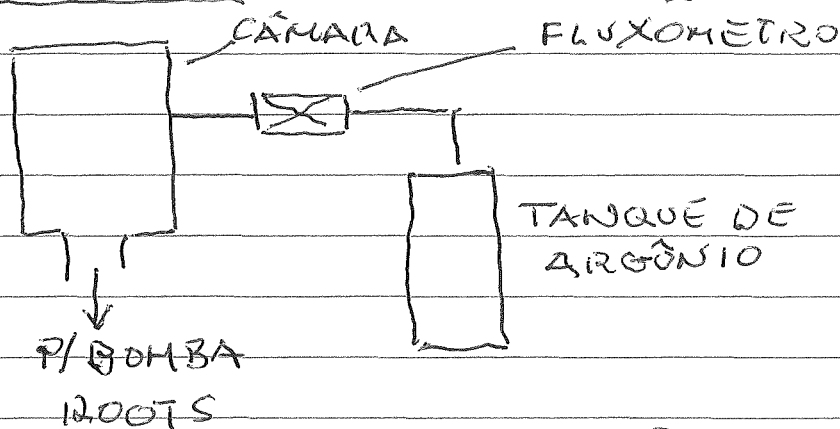
$$S_c = \frac{S C_{TOT}}{C_{TOT} + S} \rightarrow S_c = 233 \text{ l s}^{-1}$$

3. Pressão de equilíbrio

$$P_{eq} = \frac{q \times \text{área interna da câmara}}{S_c} = \frac{qA}{S_c}$$

$$A = 2 \times \frac{\pi D^2}{4} + \pi D H \rightarrow A = 4,12 \times 10^3 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow P_{eq} = 5,3 \times 10^{-9} \text{ Torr}$$

Exercício 2

$$P = 50 \times 10^{-3} \text{ Torr}$$

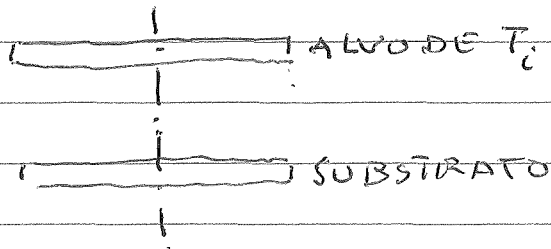
$$S = 6,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$P = \frac{Q}{S} \rightarrow Q = PS$$

$$\rightarrow Q = 9,03 \times 10^{-2} \text{ Torr L s}^{-1}$$

ou

$$\rightarrow Q = 7,11 \text{ sccm}$$

Exercício 3

$$I = 170 \text{ mA}$$

$$A = 44,2 \text{ cm}^2$$

$$V = 500 \text{ V}$$

$$S = 0,731$$

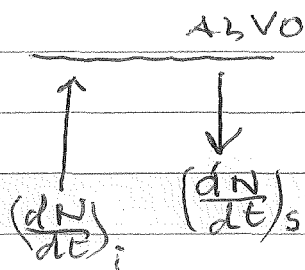
$$M_{Ti} = 47,9 \text{ g}$$

$$\alpha = 1$$

$$\rho_{Ti} = 4,5 \text{ g cm}^{-3}$$

$$Q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

a) Taxa de deposição



$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_i = (\text{átomos de } \text{Ar}^+ \text{ que bombardeiam o alvo}) \bar{s}$$

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_s = (\text{átomos de } Ti \text{ ejetados por spattering}) \bar{s}$$

$$S' = \frac{\left(\frac{dN}{dt}\right)_s}{\left(\frac{dN}{dt}\right)_i} = \text{rendimento de Spattering}$$

$m \times \left(\frac{dN}{dt}\right)_s \times \frac{1}{A} = \text{massa de } T_i \text{ ejetada } \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$   
 $= \text{ " " " depositada } \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

$m = \text{massa de 1 átomo de } T_i$

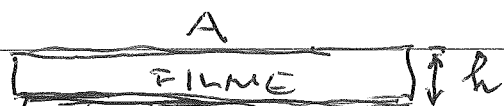
$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_i = \frac{I}{e}$$

Logo, a massa de  $T_i$  depositada  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

$$\frac{dm}{dt} = m \frac{SI}{eA} = \frac{M}{6,02 \times 10^{23}} \times \frac{SI}{eA}$$

$$\rightarrow \frac{dm}{dt} = 1,40 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

b) Taxa de crescimento



$$\text{massa do filme} = \rho_{T_i} A h$$

$$\frac{d(\text{massa do filme})}{dt} = \rho_{T_i} A \frac{dh}{dt}$$

Logo

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{\rho_{T_i}} \frac{dm}{dt}$$

$$\rightarrow \frac{dh}{dt} = 3,11 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$$

$$= 3,11 \text{ nm s}^{-1}$$

c) Taxas calculadas > taxas reais; porquê?

- parte dos átomos de Ti ejetados é desviada por colisões na fase gasosa
- parte da corrente (170 mA) é devida a elétrons coletados no substrato (se este for condutor) embora esta última seja geralmente pequena.

#### Exercício 4

Foi resolvido em sala.

Lembrando:

$$\beta = 1,61 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

Também pode ser calculado no SI

$$1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa}$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$