

Lista de Exercícios CTFF
Caps. 1 e 2
Prof. Humberto / 2020

[Smith, Cap. 1]

1.1) Liste o maior número possível de aplicações de filmes finos entre os produtos industriais ou de consumo que você conhece. Para cada um deles liste as propriedades requeridas para que os filmes funcionem efetivamente.

1.2) Quais são os quatro passos principais envolvidos nas tecnologias de deposição de filmes finos? Destaque pelo menos um ponto de cada passo que você gostaria de saber melhor.

[Smith, Cap. 2]

2.1) Liste 6 moléculas que sejam gases (excluindo os gases nobres) e seis que sejam vapores a temperatura ambiente. Faça uma distinção entre os vapores citados, de acordo com o fato desses apresentarem ou não pressão de vapor acima de 1 atm a temperatura ambiente.

2.3) Mostre que $1 \text{ sccm} = 4.48 \times 10^{17} \text{ molec/s}$.

2.4) Mostre que o fator de proporcionalidade é realmente 2.63×10^{20} na Eq.2.19.

2.5) Um filme de Al está sendo depositado a uma taxa de $5 \mu\text{m/h}$ em uma pressão de fundo de 1×10^{-7} torr de O_2 . Qual é a máxima porcentagem de oxigênio atômico que pode ser incorporada no filme?

2.6) Para um gás de moléculas de $0,3 \text{ nm}$ de diâmetro à pressão de 1 bar e 25°C , pede-se: (a) Qual é a fração do volume total ocupada pelas moléculas? (b) Qual a razão entre o livre caminho médio e o diâmetro das moléculas?

2.8) Mostre que a concentração molecular é $2.69 \times 10^{19} \text{ molec/cm}^3$ nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP¹).

2.9) Um cristal de Si está sendo depositado a uma taxa de $1.0 \mu\text{m/h}$ sobre a face de um substrato de 4 polegadas de diâmetro, o qual encontra-se aquecido em um processo de pirólise (decomposição térmica) do reagente diclorosilano (SiH_2Cl_2) fluindo a 10 sccm. Qual fração do reagente utilizada nesta deposição?

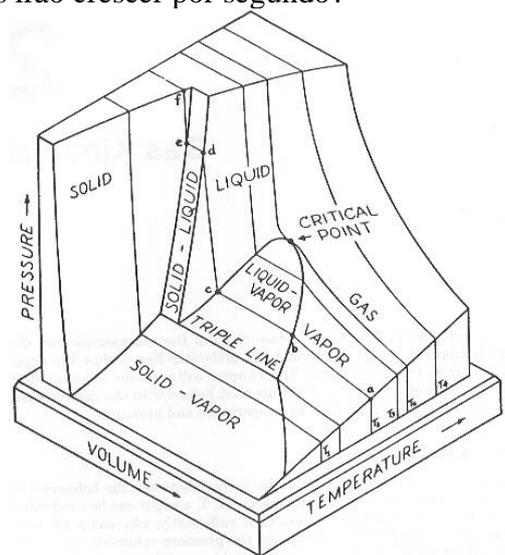
2.10) Deduza a partir de princípios básicos a equação do fluxo molecular de deposição J_r ($\text{molec/cm}^2 \cdot \text{s}$) em função da taxa de deposição $\frac{dh}{dt}$ ($\mu\text{m/h}$) em micrômetros/hora (Eq. 2.21 do Smith).

2.11) (a) Qual seria o mínimo fluxo molecular incidente (*em molec/cm².s*) em uma superfície de crescimento, necessário para crescer um filme de grafite à mesma taxa que o crescimento de um fio de cabelo humano? (b) Caso a área recoberta pelo grafite seja uma lâmina de $5,0 \text{ cm}$ de diâmetro, qual seria o menor fluxo de metano (em sccm)

¹ CNTP no SI correspondem a $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, $273,15 \text{ K}$.

necessário para produzir esse crescimento? (c) Supondo que cada monocamada de grafite tenha uma espessura de 0,35 nm, quantas monocamadas irão crescer por segundo?

2.12) Dado o diagrama PVT da figura, correspondente a um dado material, pede-se: (a) Cite os estados físicos do material em cada trecho demarcado sobre a curva a-f do diagrama e descreva brevemente as características desse estado. (b) explique o significado do ponto crítico indicado na figura. Explique o significado da linha demarcada como linha tripla. (c) Marque na figura quais regiões do diagrama você usaria para construir uma célula de evaporação para deposição de filmes finos usando esse material. Explique sua escolha.



2.13) Estime a máxima contaminação por oxigênio para um filme de GaAs crescido por MBE, a uma taxa de 1 micron/hora em pressões residuais de H_2O de (a) 1×10^{-6} torr. (b) 1×10^{-8} torr. (c) 1×10^{-10} torr. (d) Compare os níveis de contaminação obtidos com níveis típicos de dopagem (intencional) em semicondutores.

2.14) Em alguns sistemas de vácuo há uma válvula gaveta que consiste em uma lâmina de metal munida com sistema de vedação nas extremidades, que desliza na superfície de um orifício, deixando maior ou menor a abertura. Quando está completamente fechada a ação dessa válvula é isolar a câmara que está acima da válvula das bombas que estão abaixo. (a) Uma amostra é introduzida na câmara a 760 torr, enquanto as bombas ficam isoladas a uma pressão de 1×10^{-6} torr. (a) Para uma abertura de 25 cm de diâmetro, qual é a força que age na válvula para mantê-la fechada? (b) A câmara é agora bombeada para uma pressão de 1×10^{-2} torr. Qual a força agora? (c) Considerando que o gás de trabalho é o nitrogênio e que a câmara está a T ambiente, quantas colisões por cm^2/s corresponde a pressão de 1×10^{-2} torr e 1×10^{-6} torr? [Ohring, 2.8]

Extras

- Usando argumentos da física estatística clássica deduza a distribuição de Maxwell e Boltzmann.
- Deduza a expressão da velocidade média, velocidade quadrática média, e velocidade mais provável das moléculas de um gás ideal.
- Faça gráficos da distribuição de velocidades para os seguintes gases (a) N_2 a 300 K, (b) N_2 a 1000K, (c) He a 300K, (d) He 1000K, (f) Kr a 300 K, (g) Kr a 1000 K.
- No exercício anterior determine a v_{rms} de cada um dos gases citados.
- Mostre que o valor médio de velocidade na direção x das moléculas de um gás em estado estacionário relaciona-se com a sua velocidade média por:

$$\overline{v_x} = \overline{v}/2$$

- Determine o fluxo molecular incidente (molec/ $cm^2 \cdot s$) nas seguintes condições:
 - $T = 300$ K, $p(\text{torr}) = 1000, 1, 1 \times 10^{-3}, 1 \times 10^{-6}$, gases: argônio, N_2 , H_2 .
 - $T = 1200$ K, $p(\text{torr}) = 1000, 1, 1 \times 10^{-3}, 1 \times 10^{-6}$, gases: argônio, N_2 , H_2 .

- G. A temperatura crítica do óxido nitroso N_2O é $T_c = 37^\circ C$. Qual é o motivo pelo qual esse vapor é geralmente tratado como gás nos processos de deposição de filmes finos a T ambiente?
- H. Mostre que a constante numérica da expressão abaixo (Eq.2.21) é realmente $1,67 \times 10^{16}$.

$$J_r \left(\frac{\text{moléc}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \right) = 1,67 \times 10^{16} \frac{\frac{dh}{dt} (\mu\text{m}/\text{h}) \cdot \rho (\text{g}/\text{cm}^3)}{M (\text{g}/\text{mol})}$$

Glossário/definições:

sccm = standard cubic centimeter per minute (centímetro cúbico padrão por minuto).

mc/s = molec/s (moléculas por segundo).