

Lista de Exercícios – CTFE - POSMAT/Unesp

Prof. José Humberto Dias da Silva

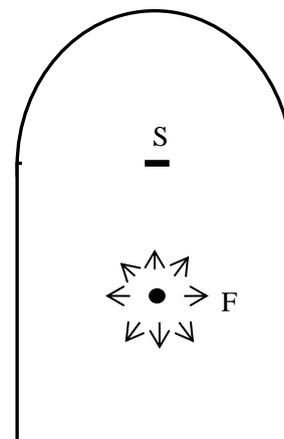
Evaporação Térmica

- (Smith 4.2) A temperatura de sublimação T do TiF_4 é 284°C . A essa temperatura T , $\Delta_f H_c = -1639 \text{ kJ/mol}$ e $\Delta_f H_v = -1551 \text{ kJ/mol}$. (a) Escreva a equação para p_v (Pa) em função de T (K), sendo T a única incógnita. (b) Determine p_v para T_{amb} (25°C). (c) Qual é a taxa de efusão do TiF_4 de uma célula de Knudsen ideal, a temperatura ambiente, com orifício de diâmetro de 1 mm?
- (Smith 4.3) Para água em equilíbrio com seu vapor a 100°C , pede-se: (a) Qual é o tempo médio entre as chegadas de moléculas de vapor dentro de um raio de três distâncias interatômicas (cerca de 1 nm) de um sítio particular na superfície? (b) Quanto tempo leva uma molécula incidente, em média, para atravessar as últimas 3 distâncias interatômicas acima da superfície? (c) Qual a probabilidade de que haja uma molécula incidente dentro de 3 distâncias interatômicas da superfície, em relação a um determinado sítio?
- (Smith 4.13) Quantos cm^3 de MgF_2 deve ser colocado em um cadinho para depositar 10 μm de filme em um substrato colocado perpendicular ao eixo do cadinho e centrado em relação a esse eixo, a uma distância de 30 cm. Assuma efusão do tipo cosseno, S_c unitário, e que apenas 80% do MgF_2 seja consumido.

- (M.B.) No desenho ao lado F representa uma fonte de vapor constituída por uma esfera de metal de 5 mm de diâmetro. A bola é aquecida a uma temperatura T tal que sua pressão de vapor seja de 1×10^{-2} torr. Nessas condições ela emite vapor isotropicamente dentro de uma campânula de vácuo e um filme do metal vai se depositar no substrato S, constituído por um pequeno quadrado de cerca de 5 mm de lado, distando 50 cm da fonte F.

Considere os casos em que a fonte é constituída por Al, Au e W. Encontre nesses casos:

- a) a temperatura da bola correspondente à pressão de vapor 1×10^{-2} torr.
- b) a taxa de evaporação da bola (em g/s)
- c) a taxa de evaporação da bola (em átomos/s)
- d) a taxa de deposição no substrato (em $\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$)
- e) a taxa de deposição no substrato (em átomos/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
- f) a taxa de crescimento do filme (em Angstrom/s).



Utilize as seguintes aproximações: que todo átomo que atinge o substrato se condensa; que $\alpha_v = 1$ nas fórmulas que dão a taxa de evaporação (o que geralmente é muito boa aproximação); que o tamanho da bola praticamente não varia durante a experiência; que a densidade do filme no substrato seja a mesma do material que lhe deu origem.

- Deduza a equação de Clausius e Clapeyron utilizando as leis da termodinâmica e as aproximações de que o volume de um mol da substância na fase vapor seja muito maior que o volume de um mol na fase condensada, e supondo válida a equação de estado dos gases ideais.

6. (a) Para uma fonte de evaporação em forma de ponto, ou de esfera, e assumindo que não há colisões entre o evaporando e moléculas de gás na câmara de evaporação, mostre que o perfil de espessura do filme formado no substrato¹ é dado por:

$$h(x) = \frac{M_{evap}}{4\pi\rho} \frac{r_o}{(r_o^2 + x^2)^{3/2}}$$

onde r_o é a distância entre a fonte e o centro do substrato, x é a distância do ponto de crescimento ao centro do substrato, M_{evap} é a massa de material evaporado e ρ é a densidade do filme. (b) Para uma fonte em forma de disco, mostre que o perfil de espessura, para condições similares ao item (a), é:

$$h(x) = \frac{M_{evap}}{\rho\pi} \frac{r_o^2}{(r_o^2 + x^2)^2}$$

7. Qual a massa de Al deve ser utilizada para depositar um filme de 60 nm de espessura em seu ponto mais espesso, em uma evaporadora que usa um cadinho em forma de disco, cuja distância ao substrato é 15 cm? Qual o tamanho do substrato para que na beirada do filme sua espessura seja 95% da espessura no centro?
8. (Smith, 4.1) A entalpia de vaporização do Al é $\Delta H_V = 318 \text{ kJ/mol}$, quando o Al está a 1100°C . Assumindo que o vapor de Al é atômico, qual fração da energia vai para $p\Delta V$, qual fração vai para energia cinética, e qual fração vai para energia potencial?
9. (Harsha 5.2) Um sistema de evaporação térmica tem um cadinho que está a 50 cm do substrato. A pressão na câmara é 1×10^{-5} torr. Calcule a fração de átomos evaporados que serão espalhados por colisão antes de atingirem o substrato.
10. Considere o diagrama de pressões de vapor em anexo. Determine: (a) a temperatura de evaporação do zircônio (Zr). (b) O valor da diferença de entalpia de vaporização do zircônio. (c) Determine a expressão da pressão de vapor do Zr em função da temperatura. (d) considerando que em uma evaporação em vácuo de uma certa quantidade de Zr a área aquecida de um cadinho de molibdênio (Mo) é aproximadamente dez vezes da área recoberta pelo Zr a ser evaporado, estime a proporção entre átomos de Zr e átomos de Mo evaporados no fluxo atômico que emerge do cadinho durante a evaporação.

Exercícios Adicionais.

- Explique por que as substâncias evaporam.
- Explique por que as substâncias condensam.
- Explique a diferença entre J_v e Q_v .
- Explique as relações entre J_v e J_{vo} , e J_c e J_{co} .
- Enuncie a equação de Clausius e Clapeyron e explique o significado de cada termo.
- Explique como se pode verificar se a solução da equação de Clausius e Clapeyron se aplica bem em casos práticos?
- Qual é a diferença entre um processo de evaporação em equilíbrio de um fora do equilíbrio?
- O que se pode fazer para que processos de evaporação fora do equilíbrio ocorram em condições similares os processos que ocorrem no equilíbrio?

¹ Supondo que a superfície do é perpendicular à linha que o une à fonte.