

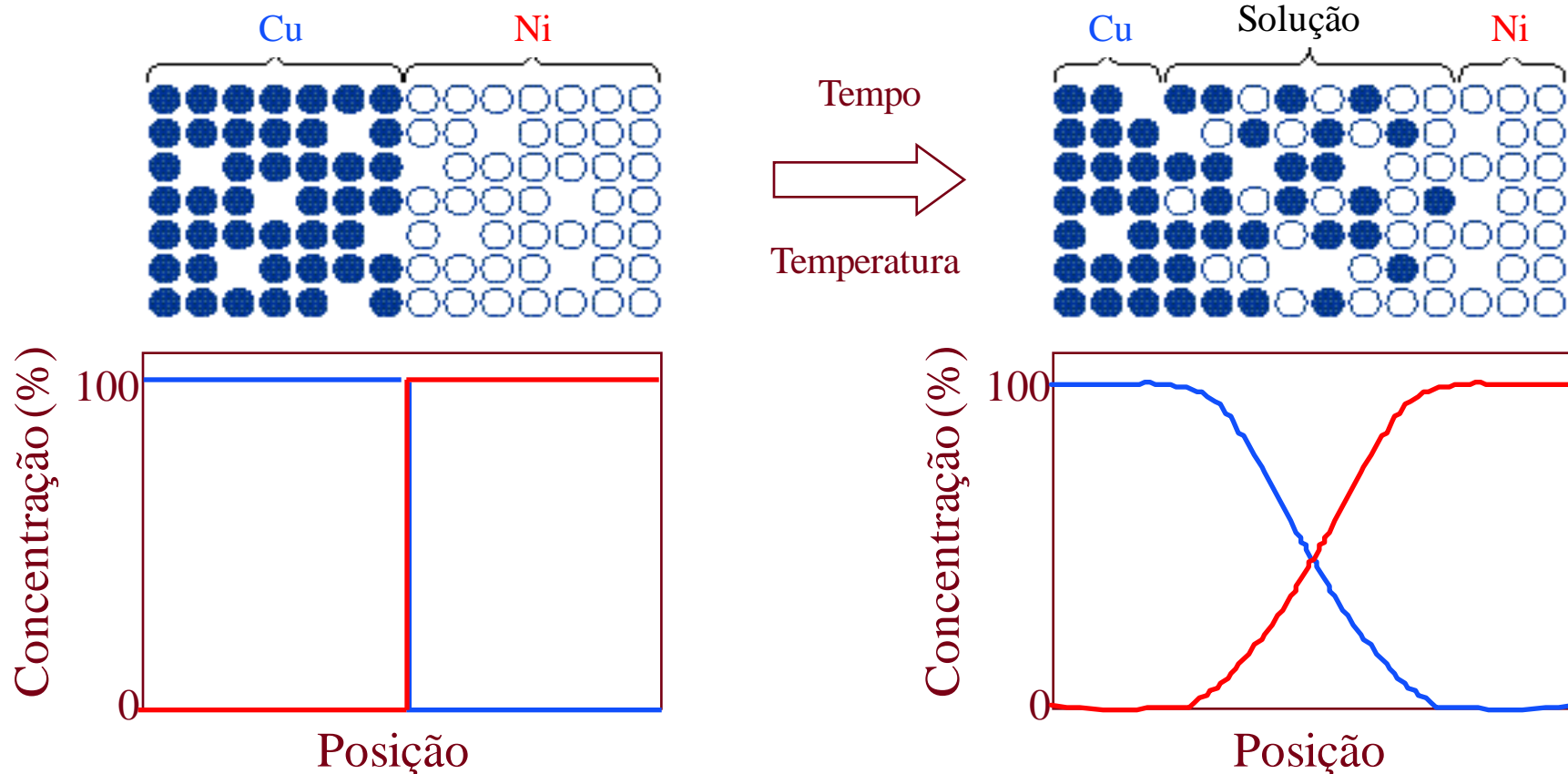
DIFUSÃO

Livro Texto - Capítulo 5



Difusão

- Como já vimos, devido à presença de vacâncias e interstícios, é possível haver movimento de átomos de um material dentro de outro material.



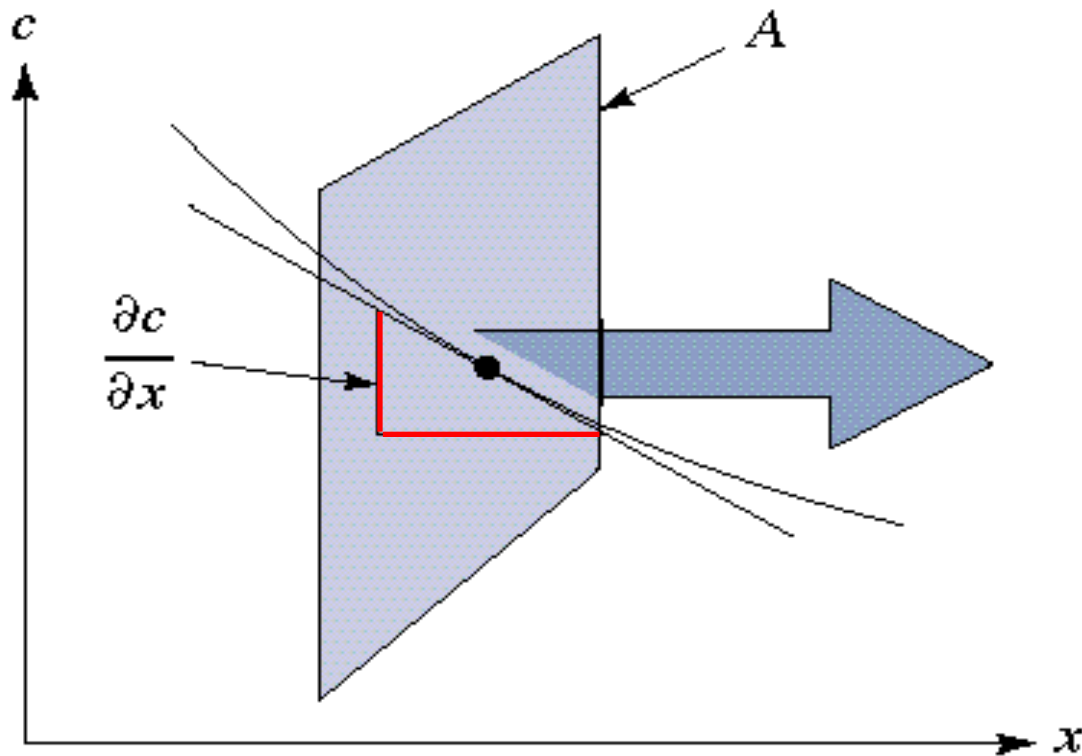
Demo



As leis de Fick

- 1ª Lei

- O fluxo da impureza na direção x é proporcional ao **gradiente de concentração** nesta direção.



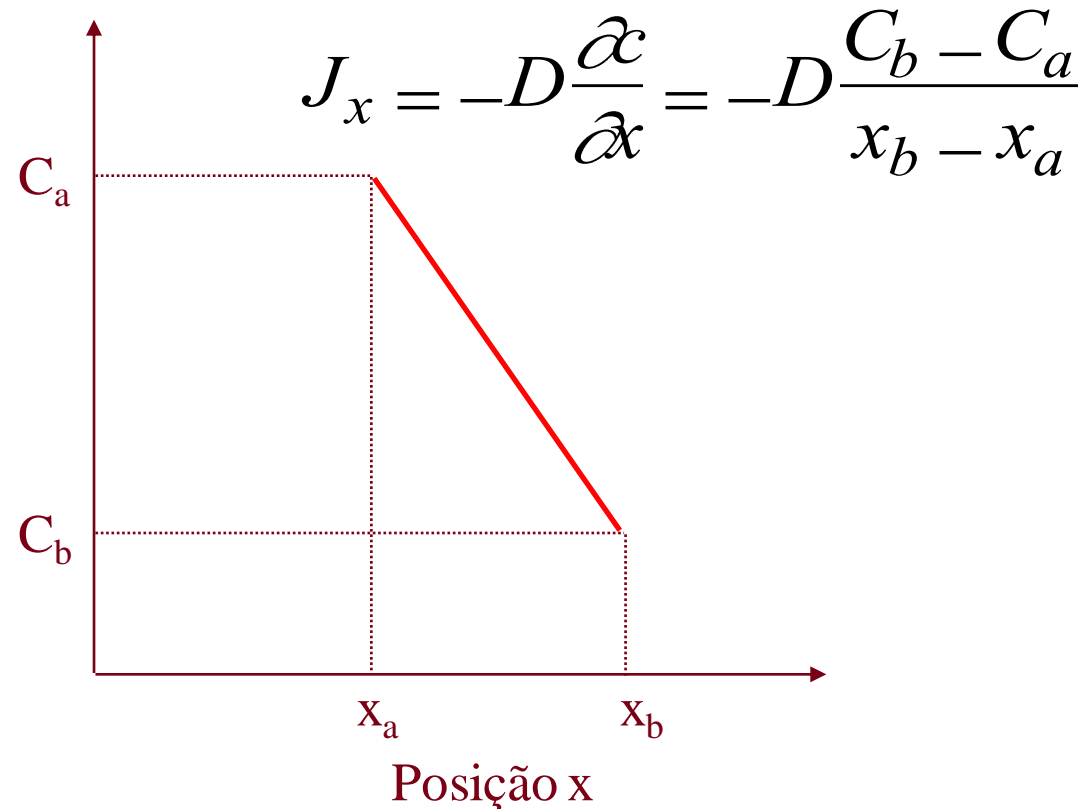
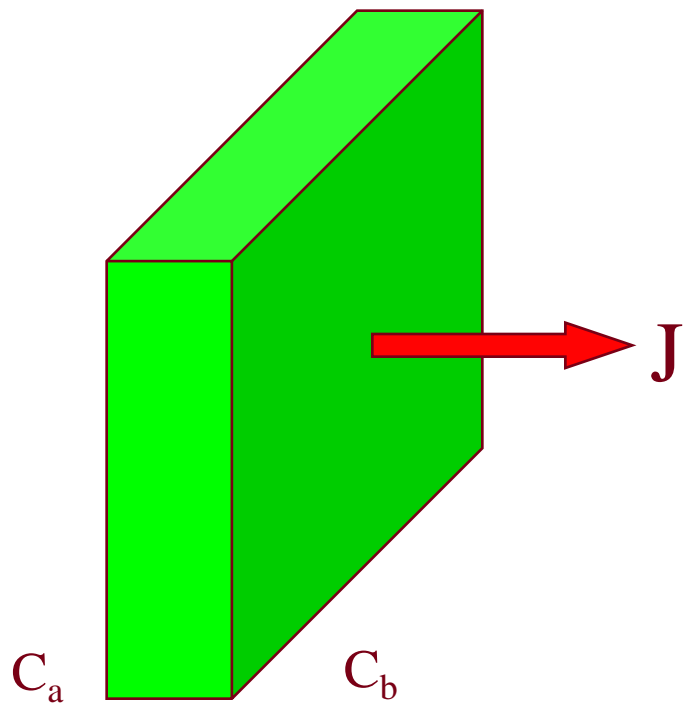
$$J_x = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

J_x = Fluxo de átomos através da área A [átomos/m².s]

D = coeficiente de difusão ou difusividade [m²/s]

Difusão em Estado Estacionário

- Estado estacionário \Rightarrow J constante no tempo
 - Ex: Difusão de átomos de um gás através de uma placa metálica, com a concentração dos dois lados mantida constante.



Exemplo

- Exemplo 5.1 (Callister) - Calcular J para :
 - Uma placa de ferro exposta a uma atmosfera rica em carbono de um lado, e pobre do outro.
 - Temperatura de 700°C
 - Concentração de carbono
 - 1.2 kg/m³ a uma profundidade de 5 mm
 - 0.8 kg/m³ a uma profundidade de 10 mm
 - Difusividade = $3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

$$J_x = -D \frac{C_b - C_a}{x_b - x_a} = -(3 \times 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{s}) \frac{(1.2 - 0.8) \text{ kg} / \text{m}^3}{(5 \times 10^{-3} - 10^{-2}) \text{ m}}$$

As Leis de Fick (cont.)

- 2ª Lei

- A taxa de variação da concentração com o tempo, é igual ao gradiente do fluxo

$$\frac{\partial c_x}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c_x}{\partial x} \right)$$

- Se a difusividade não depende de x

$$\frac{\partial c_x}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c_x}{\partial x^2}$$

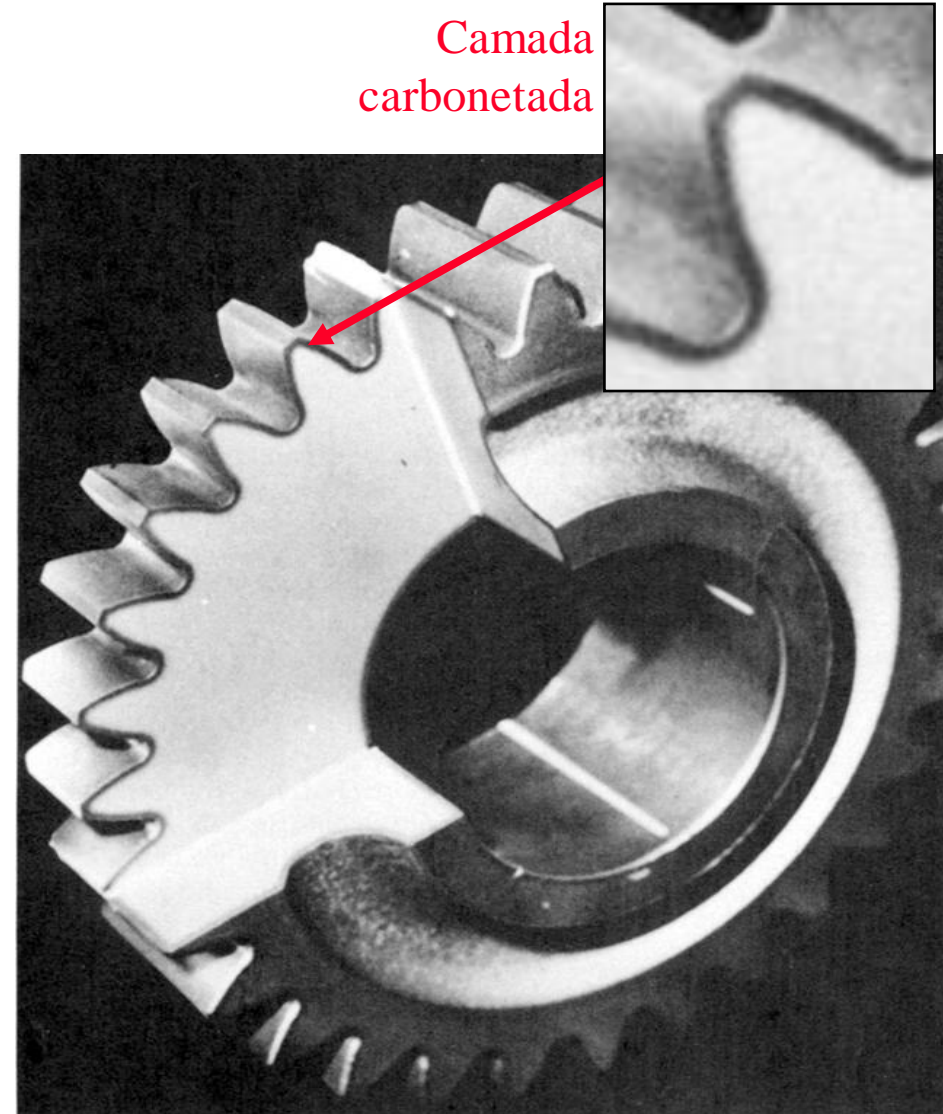
- Esta equação diferencial de segunda ordem só pode ser resolvida se forem fornecidas as **condições de fronteira**.
- Este problema não será tratado neste curso.



Aplicações

- Carbonetação

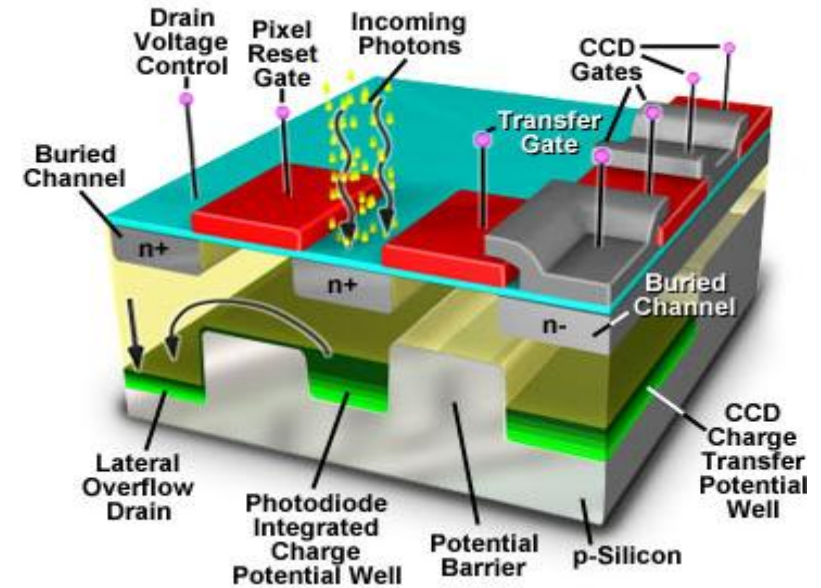
- É possível endurecer uma camada superficial de uma peça de aço através da difusão de carbono.
- Isto é obtido expondo a peça a uma atmosfera rica em hidrocarbonetos (ex. CH_4) a alta temperatura.
- Controlando tempo e temperatura pode-se atingir uma concentração desejada de carbono nesta camada superficial.



Aplicações

- Dopagem de Semicondutores

- Para serem utilizados em circuitos eletrônicos os semicondutores puros devem ser *dopados* com impurezas que alteram sua condutividade.
- Isto é obtido através da difusão desta impurezas no semicondutor, com tempo e temperatura finamente controlados.



Esquema de um pixel de um sensor CCD, usado em câmeras digitais. Cada região é formada por silício dopado com diferentes impurezas para gerar as propriedades desejadas de detecção de luz.

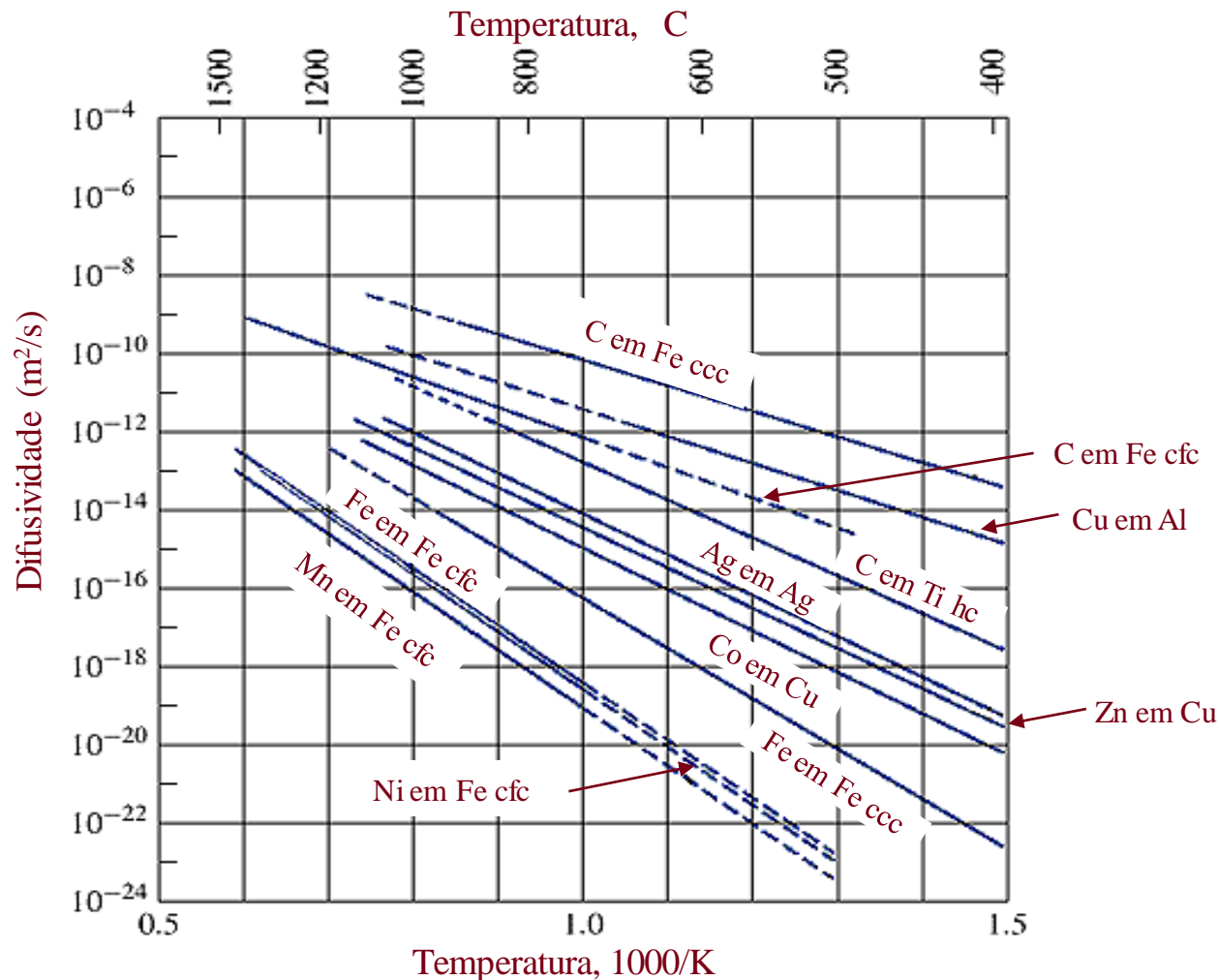
Mecanismos de difusão

- Pode haver difusão de átomos do próprio material, *auto-difusão*, ou de impurezas, *interdifusão*.
- Ambas podem ocorrer através da ocupação do espaço vazio deixado por vacâncias.
- A interdifusão também pode ocorrer através da ocupação de interstícios.
 - Este mecanismo é mais veloz porque os átomos das impurezas são menores e existem mais interstícios do que vacâncias.
 - Lembre-se que os interstícios estão sempre presentes e não dependem da temperatura, enquanto a concentração de vacâncias diminui com a diminuição da temperatura.



Difusividade

- Tudo isto indica uma dependência da difusão com o tipo de impureza, o tipo de material e a temperatura.



No gráfico as curvas de maior valor de difusividade correspondem a solutos intersticiais (p.ex. carbono em ferro), enquanto as curvas de menor valor correspondem a solutos substitucionais (p.ex. manganês em ferro).

