

www.mientayvn.com

Dịch tiếng anh chuyên ngành khoa học tự nhiên và kĩ thuật.

Dịch các bài giảng trong chương trình học liệu mở của học viện MIT, Yale.

Tìm và dịch tài liệu phục vụ cho sinh viên làm seminar, luận văn.

Tại sao mọi thứ đều miễn phí và chuyên nghiệp ???

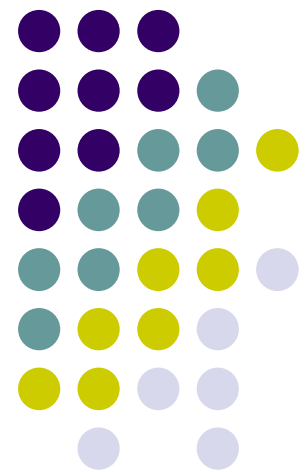
Trao i tr c tuy n t i:

http://www.mientayvn.com/chat_box_li.html

CÔNG NGHỆ và KHOA HỌC VÀ TLI U I C NG

Nguyễn Minh Tuấn

Chánh V
Khu vực





Khuếch tán

DIFFUSION IN SOLIDS

ISSUES TO ADDRESS...

1. How does diffusion occur?
2. Why is it an important of processing?
3. How can the rate of diffusion be predicted for some simple cases?
4. How does diffusion depend on structure and temperature?



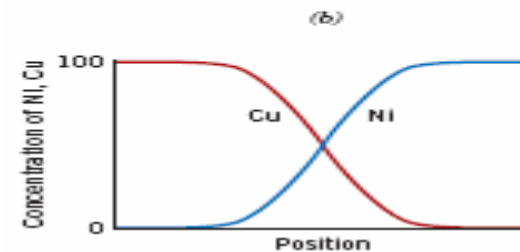
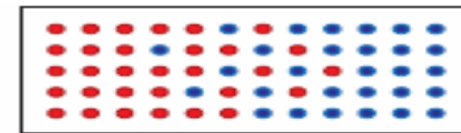
from Materials
Science: A Multimedia
Approach
by John C. Russ.



Khuếch tán

- Các cơ chế của quá trình khuếch tán
 - Khuếch tán qua các nút khuyết (vacancy)
 - Khuếch tán qua kênh
 - Tách
- Toán học của khuếch tán
 - Sự khuếch tán đẳng hướng (nhất luật Fick thứ nhất)
 - Sự khuếch tán không đẳng hướng (nhất luật Fick thứ hai)

- Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình khuếch tán
 - Các thành phần khuếch tán
 - Cấu trúc
 - Nhiệt độ
 - Vị trí



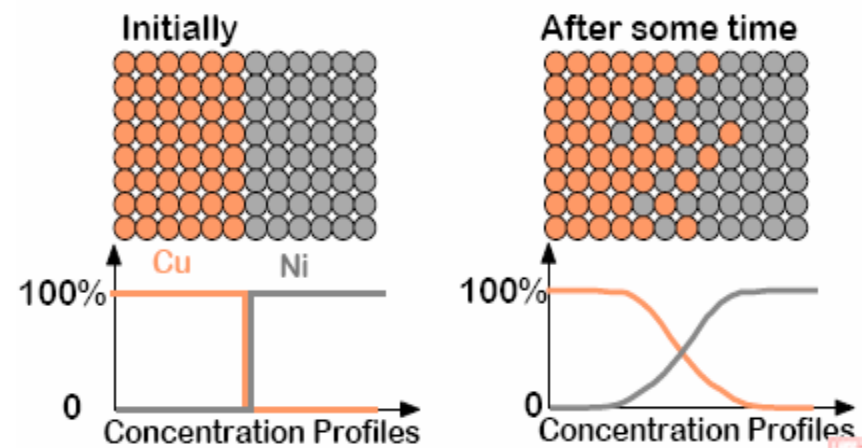


Khuếch tán

- Khuếch tán xuất hiện trong các môi trường rắn, lỏng, khí
- Phân bố lại các phân tử, nguyên tử/phân tử (khuếch tán tập thể hoặc khuếch tán riêng)
- Sự chuyển động hỗn loạn của các nguyên tử/công có thể xuất hiện trong các chất không đồng nhất về mặt hóa học (tự khuếch tán)

DIFFUSION: THE PHENOMENON

- **Interdiffusion:** in a solid with more than one type of element (an alloy), atoms tend to migrate from regions of large concentration.

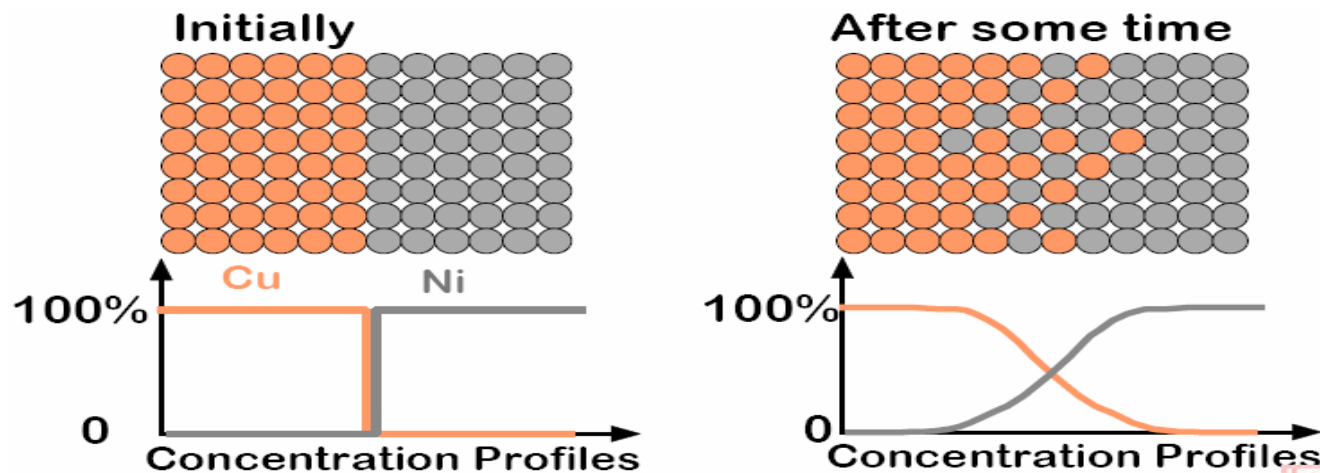


Khuếch tán riêng



Khuếch tán

- Khuếch tán đồng thể (**interdiffusion**), khuếch tán dị thể (**impurity diffusion**): trong chất rắn có nhiều nguyên tử thành phần (hợp kim), các nguyên tử có xu hướng di chuyển từ vùng có nồng độ lớn. Các nguyên tử Ni khuếch tán vào Cu và các nguyên tử Cu khuếch tán vào Ni

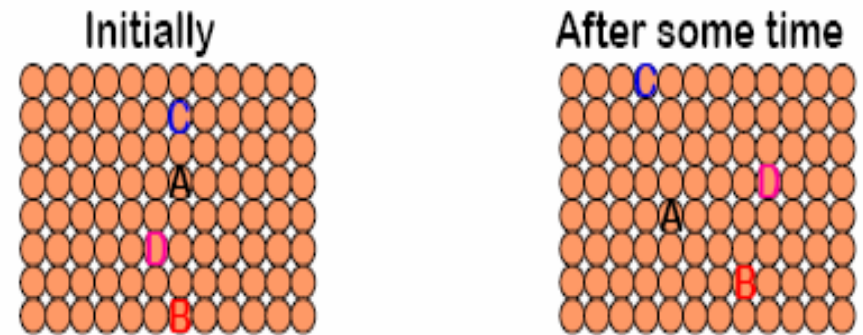




Khuếch tán

- Sự khuếch tán cũng xảy ra trong kim loại tinh khiết: các nguyên tử trong mạng tinh thể trao đổi vị trí cho nhau gọi là **tự khuếch tán**
- Tự khuếch tán: các nguyên tử trong mạng tinh thể đang di chuyển
- → Tự khuếch tán thường ít được quan tâm nghiên cứu do không quan sát được những thay đổi vị trí một cách trực tiếp

• **Self-diffusion**: In an **elemental solid**, atoms also migrate.



Sự tự khuếch tán

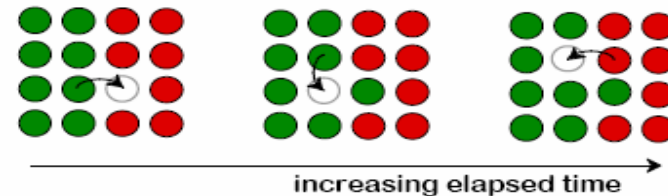
Cách Khuếch tán



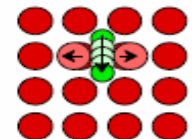
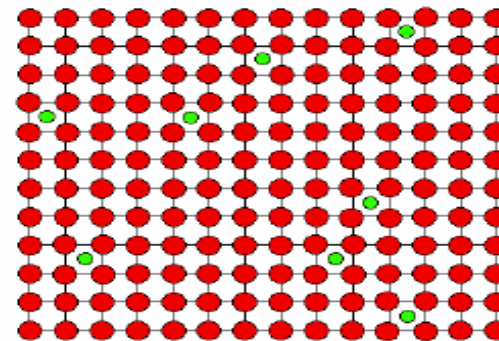
- Khuếch tán là sự di chuyển của các nguyên tử từ vị trí này tới vị trí kia trong mạng
- Có 2 cơ chế:
 1. Cơ chế này có một vị trí trống ngay kề bên
 2. Nguyên tử phải có năng lượng lớn phá vỡ liên kết với các nguyên tử lân cận và nguyên tử có khả năng tạo vài bị nhiễu loạn trong mạng tinh thể trong khi thay vị trí (đặc biệt khi tăng nhiệt độ)

DIFFUSION MECHANISMS

- **Substitutional Diffusion:**
 - applies to substitutional impurities
 - atoms exchange with vacancies
 - rate depends on:
 - number of vacancies
 - activation energy to exchange

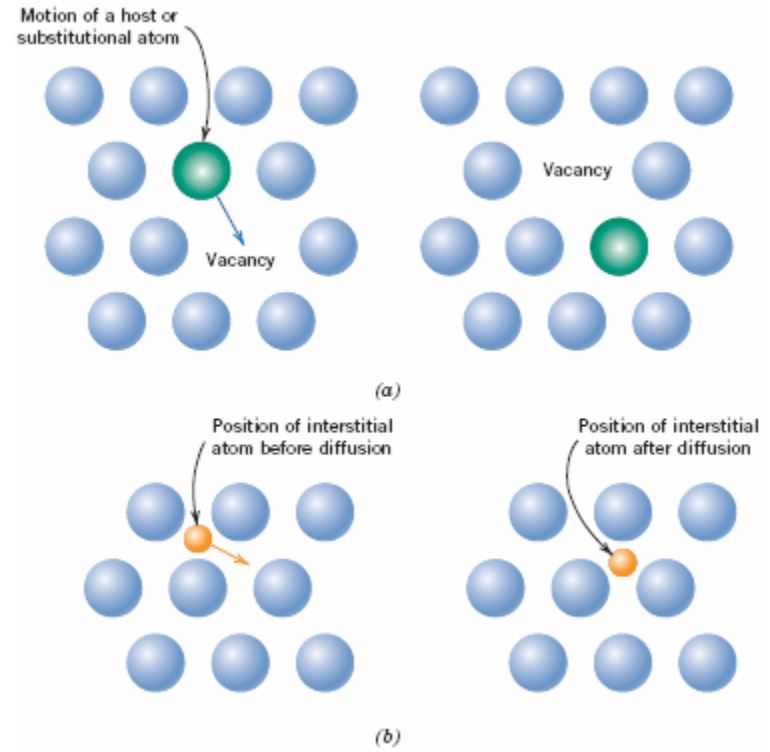
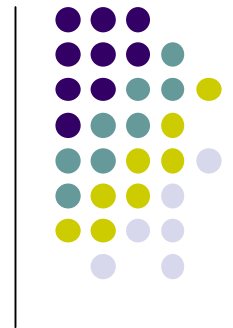


- **Interstitial Diffusion:**
 - applies to interstitial impurities
 - more rapid than vacancy diffusion



Cơ chế Khuếch tán

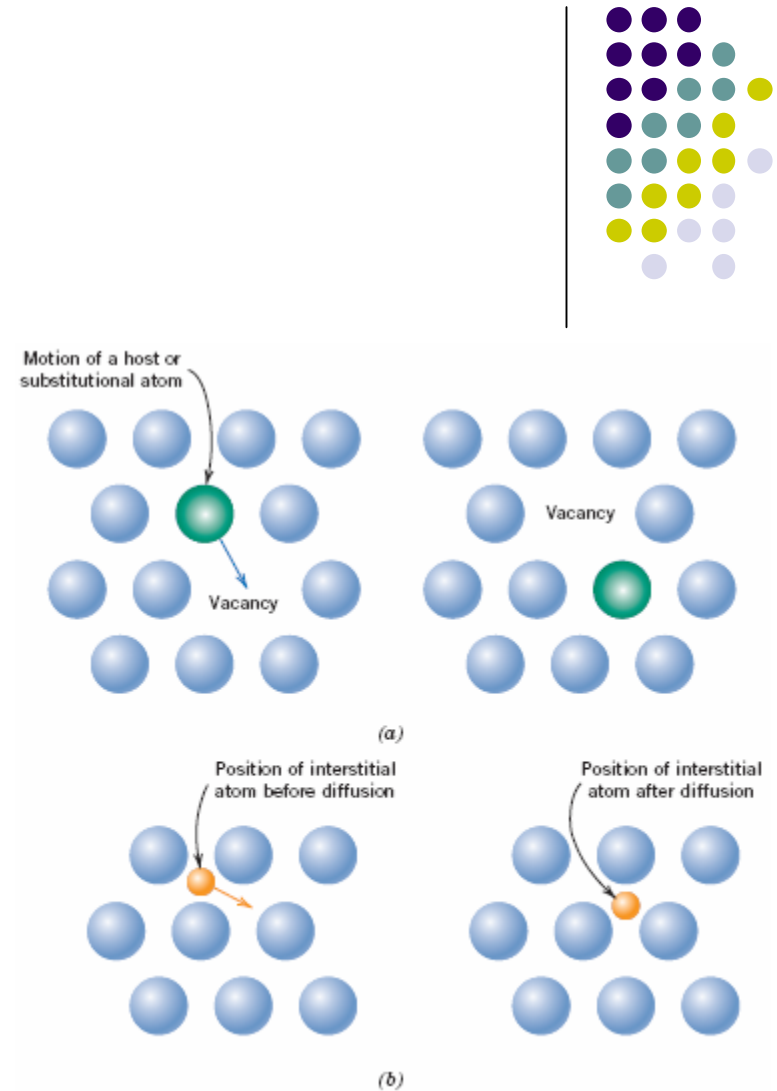
- Khuếch tán qua chỗ trống (vacancy diffusion)
 - Cơ chế liên quan tới việc thay đổi vị trí các nguyên tử trong mạng tinh thể bình thường tới vị trí còn trống bên trong mạng. Nguyên tử và chỗ trống chuyển ngược trái chiều
 - Chuyển động khton và khton ngược chiều cùng theo cơ chế này
- Khuếch tán qua khe hở (interstitial diffusion)
 - Nguyên tử di chuyển tới vị trí xen kẽ tới vị trí xen kẽ liên tiếp còn trống. Cơ chế này có trong khton tinh thể của các tinh thể như hydro, carbon ... có kích thước nhỏ nguyên tử



Schematic representations of (a) vacancy diffusion and (b) interstitial diffusion

Cách Khuếch tán

- Trong hầu hết các hợp kim, cách khuếch tán qua khe hở (interstitial diffusion) thường **bao giờ cũng xảy ra nhanh hơn nhiều** cách khuếch tán qua các chỗ trống (vacancy diffusion) do kích thước các nguyên tử xen kẽ thường nhỏ hơn và do vậy có năng lượng hoạt hóa thấp hơn
- Hình ảnh bao giờ các vị trí xen kẽ còn trống (interstitial positions) cũng nhiều hơn các chỗ trống nguyên tử (vacancy positions)

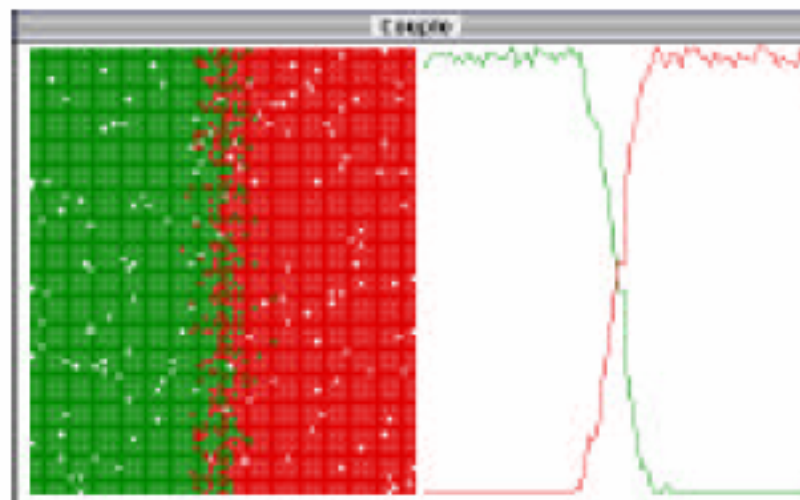


Schematic representations of
(a) vacancy diffusion and (b) interstitial diffusion



Cặp Khuếch tán

DIFFUSION COUPLE MOVIE



From Materials
Science:
A Multimedia
Approach,
by John C. Russ

Rate of substitutional diffusion depends on
-vacancy concentration
-frequency of jumping

Note: Authorware called "Couple" in Materials Science: A
Multimedia Approach demonstrates this well.



Khuếch tán



PROCESSING USING DIFFUSION

- **Case Hardening**

Diffuse carbon atoms into the host iron atoms at the surface

Interstitial diffusion



Callister Fig. 5.0

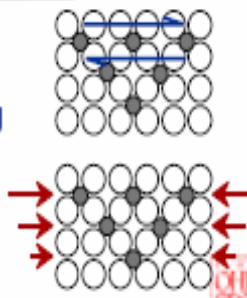
- **Result: The “Case” is**

- hard to deform

- C atoms “lock” planes from **shearing**

- hard to crack

- C atoms put surface in **compression**



PROCESSING USING DIFFUSION

- **Doping Silicon** with P for n-type semiconductors

Doping process:

1. Surface deposit P rich layers



2. Heat it

3. Result: Doped semiconductor regions

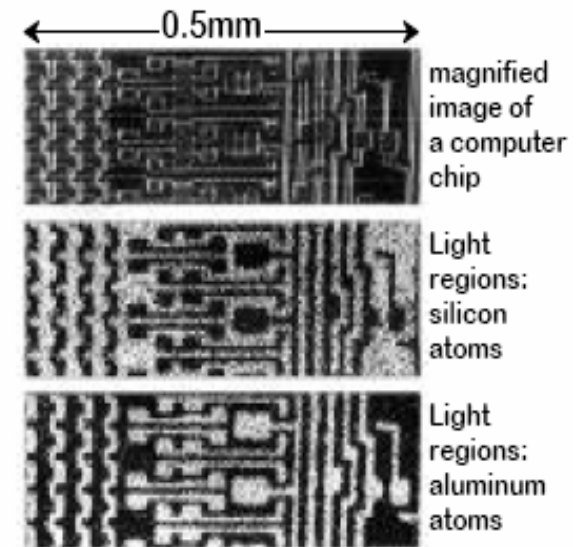
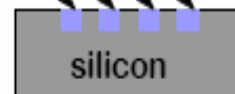


Figure 19.0, Callister

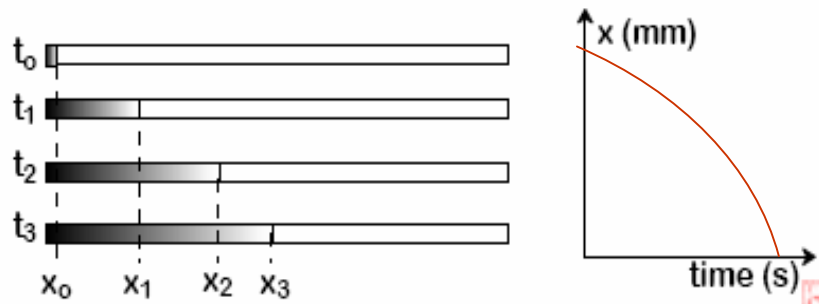


Khuếch tán



DIFFUSION DEMO

- Glass tube-filled with water
- At time = 0, add some drops of ink to one side.
- Measure the diffusion distance, x , over time.
- Compare the results with theory.

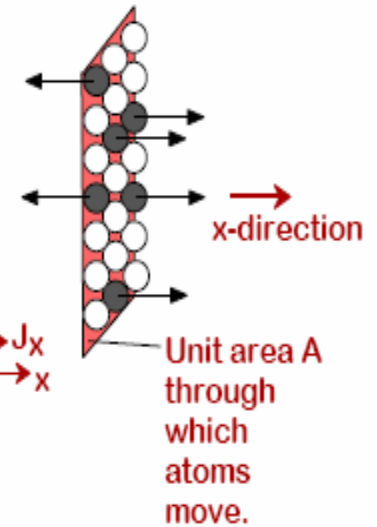
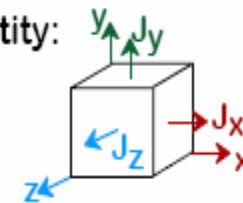


Modeling Diffusion: FLUX

- Definition

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt} \Rightarrow \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} \right] \text{ or } \left[\frac{\text{atoms}}{\text{m}^2\text{s}} \right]$$

- Directional quantity:



- Flux can be measured for:
 - vacancies
 - host (A) atoms
 - impurity (B) atoms





Profile Khuếch tán

- Khuếch tán là quá trình phân tử chuyển vào thời gian – tốc độ khuếch tán hoặc tốc độ chuyển vận vật chất theo thời gian – công thức này nghĩa là dòng khuếch tán (J) (diffusion flux – J)
- Dòng khuếch tán (J) xác định lượng M (hoặc tổng lượng các nguyên tử) khuếch tán vuông góc qua một diện tích A trong một đơn vị thời gian

$$J = \frac{M}{At}$$

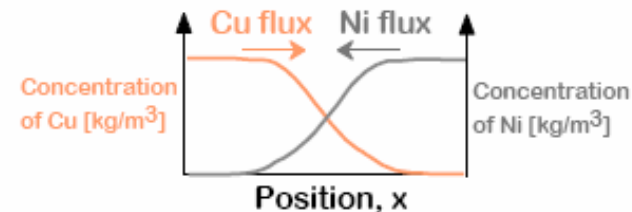


$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

vì A là diện tích dòng khuếch tán đi qua

CONCENTRATION PROFILES AND FLUX

- Concentration profile, $C(x)$: [kg/m³]



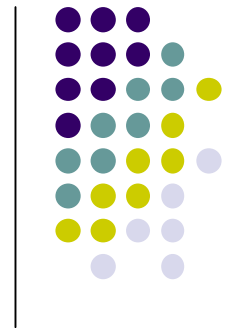
- Fick's First Law:

$$\text{flux in x-dir. [kg/m}^2\text{-s]} \rightarrow J_x = -D \frac{dC}{dx} \leftarrow \text{concentration gradient [kg/m}^4\text{]}$$

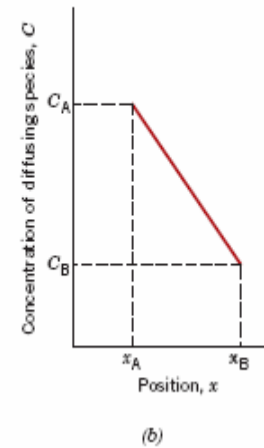
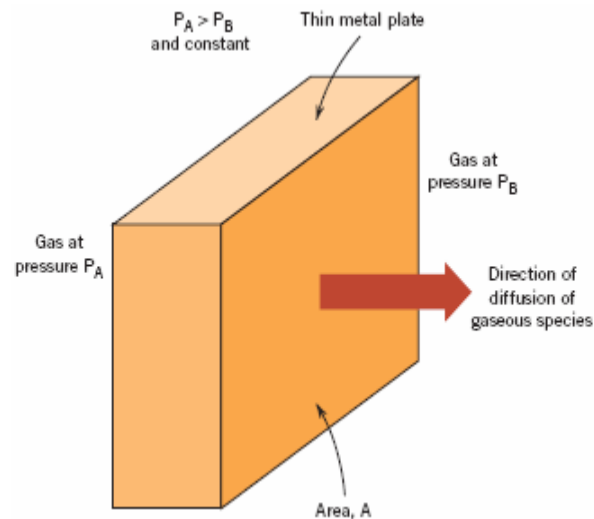
Diffusion coefficient [m²/s]

The steeper the concentration profile, the greater the flux!

Khuếch tán trạng thái dừng



- Khuếch tán trạng thái dừng (Steady-State Diffusion) qua màng bán thấm
- Nếu dòng khuếch tán J không thay đổi theo thời gian \rightarrow Khuếch tán trạng thái dừng
- Nếu (áp suất) các mặt phẳng khuếch tán 2 phía cân bằng molar không đổi
- Mối quan hệ cân bằng C và x theo x có thể là *profile tuyến tính*, đặc trưng cho quá trình khuếch tán là *gradient tuyến tính* \Rightarrow



- (a) Khuếch tán trạng thái dừng qua màng bán thấm.
- (b) Profile nồng độ tuyến tính cho quá trình khuếch tán (a)

$$\text{Gradient tuyến tính} = \frac{dC}{dx}$$



Khuếch tán trạng thái dừng

- **Khuếch tán trạng thái dừng** theo chiều x sẽ có dòng khuếch tán J là thu nhập và gradient khuếch tán

nh
luật
Fick I

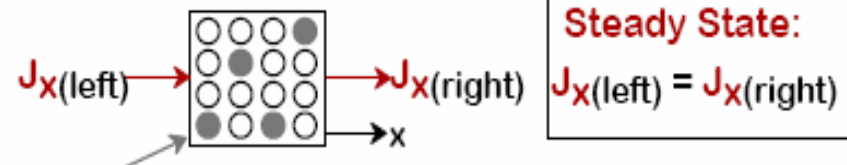
$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

- Hằng số D gọi là **hệ số khuếch tán**, dấu âm (-) cho thấy chiều khuếch tán theo gradient nồng độ ngược chiều tăng cao tới nồng độ thấp

- \rightarrow luật Fick thành $J(\mathbf{r}, t) = -D \nabla c(\mathbf{r}, t)$

STEADY STATE DIFFUSION

- **Steady State:** the concentration profile doesn't change with time.



Concentration, C , in the box doesn't change w/time.

- Apply Fick's First Law:

$$J_x = -D \frac{dC}{dx}$$

If $J_{x(\text{left})} = J_{x(\text{right})}$, then $\frac{dC}{dx}_{(\text{left})} = \frac{dC}{dx}_{(\text{right})}$

\Rightarrow the slope, dC/dx , is constant.
(does not vary with position)!

$$\text{concentration gradient} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

Case Study

inc u



Diffusion Flux Computation

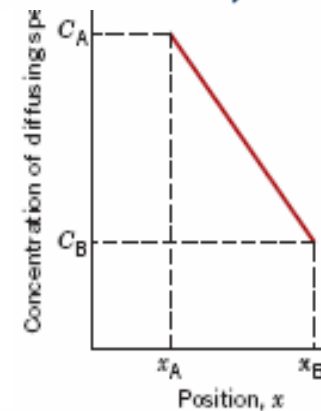
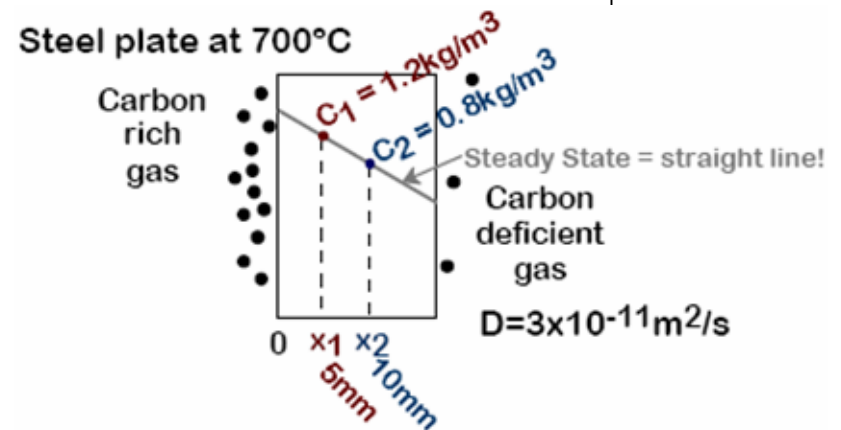
A plate of iron is exposed to a carburizing (carbon-rich) atmosphere on one side and a decarburizing (carbon-deficient) atmosphere on the other side at 700°C (1300°F). If a condition of steady state is achieved, calculate the diffusion flux of carbon through the plate if the concentrations of carbon at positions of 5 and 10 mm (5×10^{-3} and 10^{-2} m) beneath the carburizing surface are 1.2 and 0.8 kg/m³, respectively. Assume a diffusion coefficient of 3×10^{-11} m²/s at this temperature.

Solution

Fick's first law, Equation 5.3, is utilized to determine the diffusion flux. Substitution of the values above into this expression yields

$$J = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B} = -(3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}) \frac{(1.2 - 0.8) \text{ kg/m}^3}{(5 \times 10^{-3} - 10^{-2}) \text{ m}}$$

$$= 2.4 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{-s}$$



$$\text{concentration gradient} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

Case Study i n c u

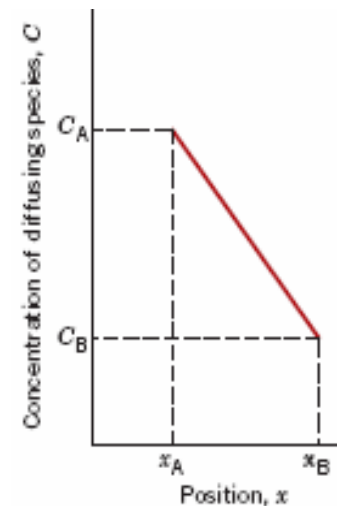
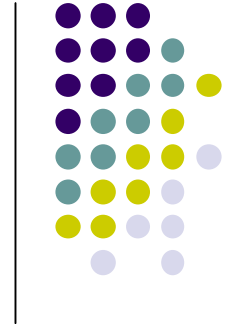
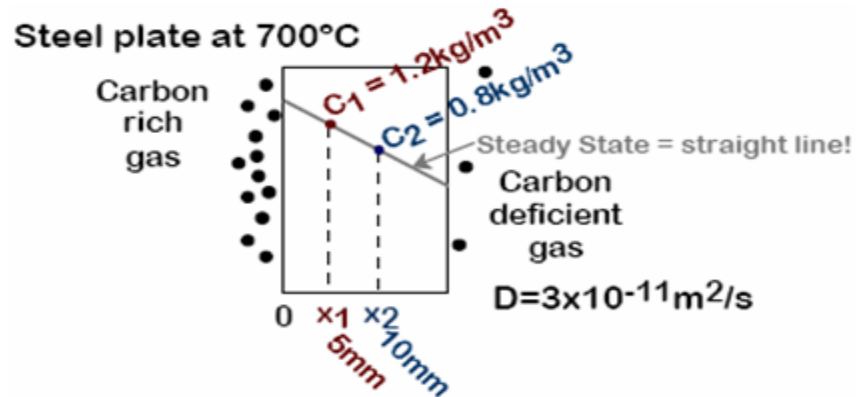
Tính dòng khuếch tán

- Một miếng thép ở nhiệt độ 700°C (1300°F) trong môi trường có một phía giàu carbon và phía kia nghèo carbon. Trong điều kiện trạng thái dừng, hãy tính dòng khuếch tán carbon đi qua miếng thép. Biết nồng độ carbon ở vị trí 5 mm và 10 mm bên dưới bề mặt thép carbur hóa lần lượt là 1,2 và 0,8 kg/m³, hệ số khuếch tán nhiệt này là 3×10⁻¹¹m²/s

Lời giải

- Theo định luật Fick thứ nhất, dùng phương trình xác định dòng khuếch tán, thay các giá trị vào ta thu

$$J = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B} = -(3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}) \frac{(1.2 - 0.8) \text{ kg/m}^3}{(5 \times 10^{-3} - 10^{-2}) \text{ m}} = 2.4 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{-s}$$



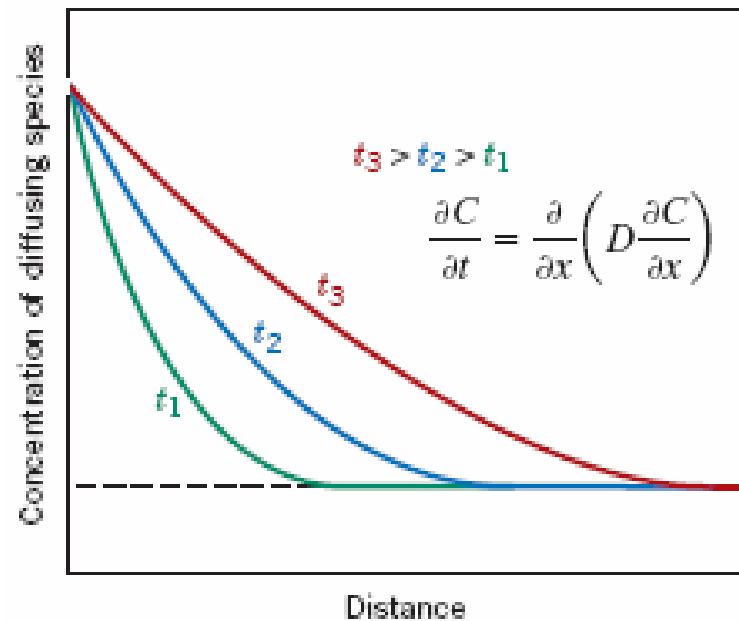


Khuếch tán trạng thái không dừng

- Khuếch tán trạng thái không dừng** (Nonsteady-State Diffusion) là trường hợp các đặc tính thay đổi theo thời gian, do các tập chất khuếch tán tăng lên (giàu lên) hoặc giảm đi (nghèo đi) trong quá trình khuếch tán (theo hình vẽ) → **nhу luật Fick**

thứ 2

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



Profiles nồng độ của khuếch tán trạng thái không dừng 3 m c thời gian t_1 , t_2 , và t_3

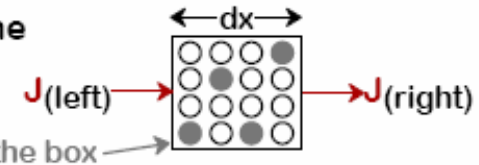


Khuếch tán trạng thái không dừng

- Cho chất rắn bán vô hạn với nồng độ trên bề mặt tại thời điểm $t=0$, nồng độ khuếch tán trong pha rắn là hàm của vị trí và thời gian không dừng
1. Trước khi khuếch tán, tất cả các nguyên tử phân bố đều trong chất rắn với nồng độ là C_0
 2. Giá trị tại bề mặt là zero (0) và tăng theo chiều sâu vào chất rắn
 3. Thời gian lấy giá trị zero (0) ngay trước khi quá trình khuếch tán bắt đầu

NON-STEADY STATE DIFFUSION

- C changes with time



- To conserve matter:

$$\frac{J(\text{right}) - J(\text{left})}{dx} = -\frac{dC}{dt}$$

$$\frac{dJ}{dx} = -\frac{dC}{dt}$$

- Fick's First Law:

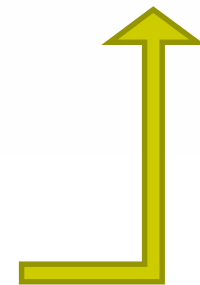
$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad \text{or}$$

$$\frac{dJ}{dx} = -D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (\text{if } D \text{ does not vary with } x)$$

- Governing Eqn: $\Rightarrow \frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}$

nh
lu t
Fick II

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



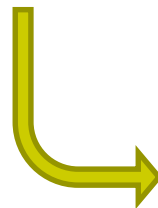


Khuếch tán trạng thái không dừng

nh
luật
Fick II

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

- Nghiệm của phương trình theo luật Fick 2 xác định theo giá trị của **hàm sai số** Error Function với các điều kiện biên
- Các điều kiện biên của bài toán xác định cho

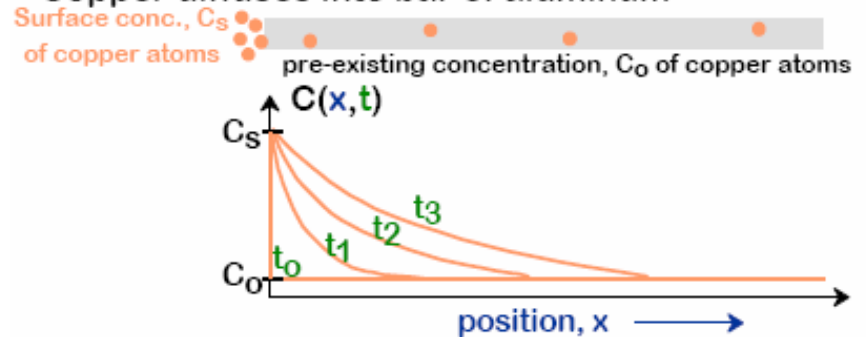


For $t = 0$, $C = C_0$ at $0 \leq x \leq \infty$

For $t > 0$, $C = C_s$ (the constant surface concentration) at $x = 0$
 $C = C_0$ at $x = \infty$

EX: NON-STEADY STATE DIFFUSION

- Copper diffuses into bar of aluminum



- General solution:

$$\frac{C(x,t) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

"error function"

(Values tabulated in Callister, Table 5.1)





Khuếch tán trạng thái không ổn định

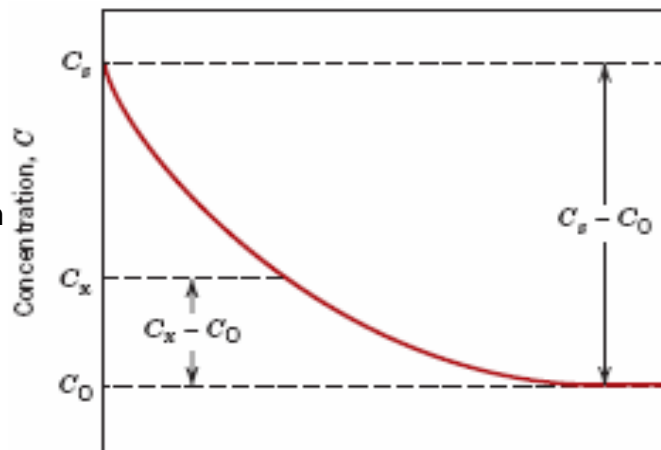
$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

- Vị trí hàm sai số Gauss xác định bởi

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy$$

vị trí $z = x/2\sqrt{Dt}$:

Profile khuếch tán cho khuếch tán trạng thái không ổn định

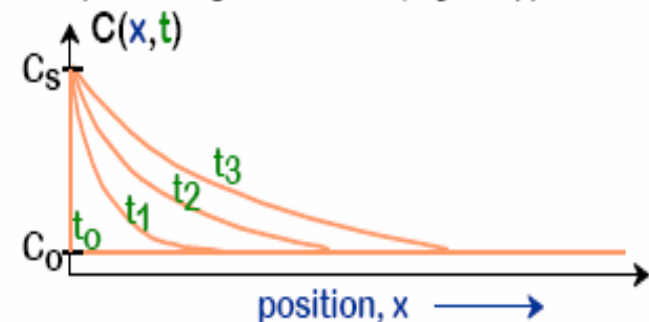


Distance from interface, x

EX: NON-STEADY STATE DIFFUSION

- Copper diffuses into bar of aluminum

Surface conc., C_s of copper atoms
 pre-existing concentration, C_0 of copper atoms



General solution:

$$\frac{C(x,t) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

"error function"

(Values tabulated in Callister, Table 5.1)





Khuếch tán trạng thái không dừng

Case Study - Diffusion

The diffusion coefficients for copper in aluminum at 500 and 600°C are 4.8×10^{-14} and $5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$, respectively. Determine the approximate time at 500°C that will produce the same diffusion result (in terms of concentration of Cu at some specific point in Al) as a 10-h heat treatment at 600°C.

Solution

This is a diffusion problem in which Equation 5.6b may be employed. The composition in both diffusion situations will be equal at the same position (i.e., x is also a constant), thus

$$Dt = \text{constant} \quad (5.7)$$

at both temperatures. That is,

$$D_{500}t_{500} = D_{600}t_{600}$$

or

$$t_{500} = \frac{D_{600}t_{600}}{D_{500}} = \frac{(5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s})(10 \text{ h})}{4.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}} = 110.4 \text{ h}$$



Khuếch tán trạng thái không dừng

Case Study - Diffusion

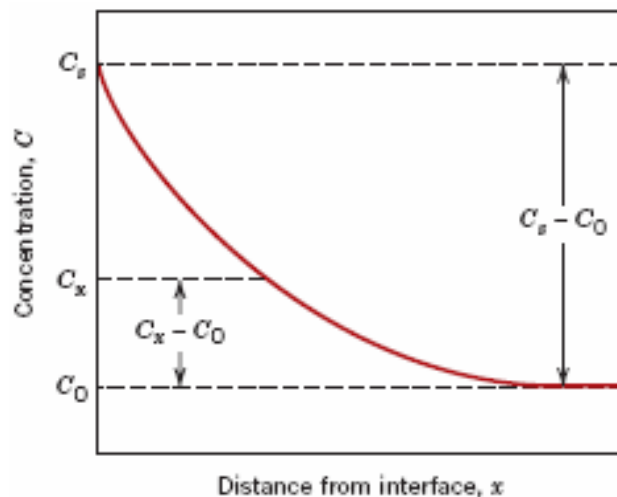
PROCESSING QUESTION

- Copper diffuses into bar of aluminum.
- 10 hrs at 600°C gives desired C(x).

Q: How many hours would it take to get the same C(x) if we processed at 500°C?

Key point 1: $C(x, t_{500^\circ\text{C}}) = C(x, t_{600^\circ\text{C}})$

Key point 2: Both cases have the same C_0 and C_s



$$\frac{C(x, t) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \Rightarrow (Dt)_{500^\circ\text{C}} = (Dt)_{600^\circ\text{C}}$$

Values of D are given to you.

$$t_{500} = \frac{(Dt)_{600}}{D_{500}} = 110 \text{ hr}$$

Annotations: $5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ points to $(Dt)_{600}$; 10 hrs points to $(Dt)_{600}$; $4.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ points to D_{500} .

TCVE



Khuếch tán trạng thái không dừng

Case Study - i n c u

- Ngôi ta làm công nghệ và công bên trong của thép bằng cách tổng hợp kim sắt-carbon trên bề mặt và thực hiện quá trình tôi (carbon hóa). Một miếng thép khi đó được nung nóng trong môi trường giàu khí hydrocarbon như là metal (CH_4). Giả thiết là ban đầu miếng thép này chứa 0,25 wt% carbon phân bố đều và được nung tới 950°C (1750°F). Nồng độ carbon trên bề mặt được nâng lên và duy trì mức 1,20 wt%. Vấn đề cần bao lâu để nồng độ carbon 0,80 wt% sâu 0,5 mm tính từ bề mặt. Hệ số khuếch tán của carbon vào sắt nhiệt độ này là $1,6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ và miếng thép là bán vô hạn.

L i g i

- Đây là bài toán về khuếch tán trạng thái không dừng vì bề mặt không đổi nên ta áp dụng phương trình 5.5 với các thông số bài toán đã cho là

$$\begin{aligned}
 C_0 &= 0.25 \text{ wt\% C} \\
 C_s &= 1.20 \text{ wt\% C} \\
 C_x &= 0.80 \text{ wt\% C} \\
 x &= 0.50 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 D &= 1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

Do đó

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \text{erf} \left[\frac{(5 \times 10^{-4} \text{ m})}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}} \right]$$

$$0.4210 = \text{erf} \left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{t}} \right)$$

Ta phải xác định giá trị của z từ bảng 5.1 của hàm sai số và xác định $\text{erf}(z) = 0,4210$, từ phép nội suy tính được $z = 0,392$ như sau

z	$\text{erf}(z)$
0.35	0.3794
z	0.4210
0.40	0.4284

$$\frac{z - 0.35}{0.40 - 0.35} = \frac{0.4210 - 0.3794}{0.4284 - 0.3794}$$

do đó

$$\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{t}} = 0.392$$

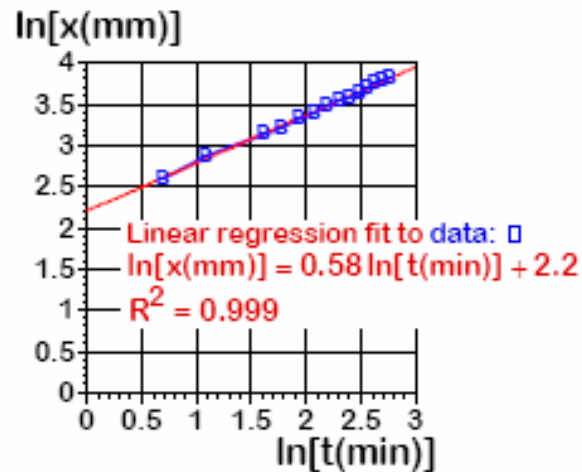
và giải ra tính được thời gian t

$$t = \left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{0.392} \right)^2 = 25,400 \text{ s} = 7.1 \text{ h}$$



Khuếch tán trạng thái không dừng

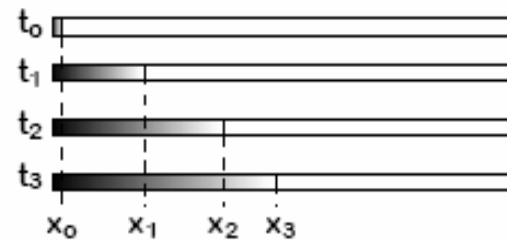
Data from Diffusion Demo



- Experimental results show $x \propto t^{0.58}$
- Theory predicts $x \propto t^{0.50}$
- Reasonable agreement!

Analysis of Diffusion Demo

- The experiment: we recorded combinations of t_i, x_i that kept C constant.



$$\frac{C(x_i, t_i) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x_i}{2\sqrt{Dt_i}}\right) \quad (= \text{a constant here})$$

- Diffusion Depth given by

$$x_i \propto \sqrt{Dt_i}$$





Các yếu tố ảnh hưởng

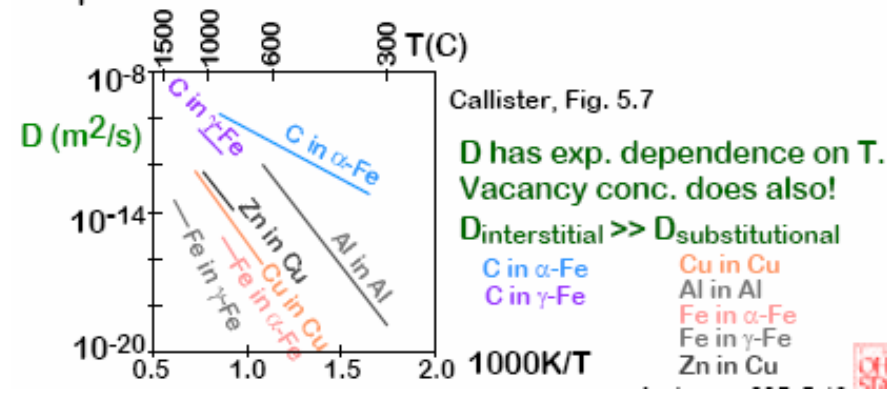
- Tốc độ khuếch tán
 - Các chất khuếch tán có ảnh hưởng khác nhau đến hệ số khuếch tán D . Ví dụ khác nhau trong quá trình thấm carbon vào pha α ở 500°C . Là sự thấm theo cơ chế thấm lờng, trong khi thấm carbon vào γ là theo cơ chế xen kẽ
- Nhiệt độ khuếch tán T
 - Nhiệt độ xem là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất tới hệ số khuếch tán và tốc độ khuếch tán. Sự phụ thuộc nhiệt độ của hệ số khuếch tán là

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$

D_0 là hằng số không phụ thuộc vào nhiệt độ (m²/s)
 Q_d là năng lượng hoạt hóa của khuếch tán (J/mol hoặc eV/atom)
 R là hằng số khí
 T là nhiệt độ tuyệt đối (°K)

Diffusion occurs faster at higher T

- Observed fit: $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$
 - D_0 : pre-exponential [m²/s] (see Table 5.2)
 - Q_d : activation energy [J/mol], [eV/mol] (see Table 5.2)
 - R : gas constant [8.31 J/mol-K]
- Experimental data:



$$\Rightarrow \ln D = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$



Các yếu tố ảnh hưởng

ảnh hưởng của cấu trúc lên khuếch tán

Khuếch tán nhanh hơn khi	Khuếch tán chậm hơn khi
Open crystal structures	Close packed structures
Lower melting temp. mat'ls	High melting temp. mat'ls
Mat'ls w/secondary bonding	Mat'ls w/covalent bonding
Cations	Anions
Smaller Diffusing atoms	Larger diffusing atoms
Lower density mat'ls	Higher density mat'ls



Các yếu tố ảnh hưởng

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$

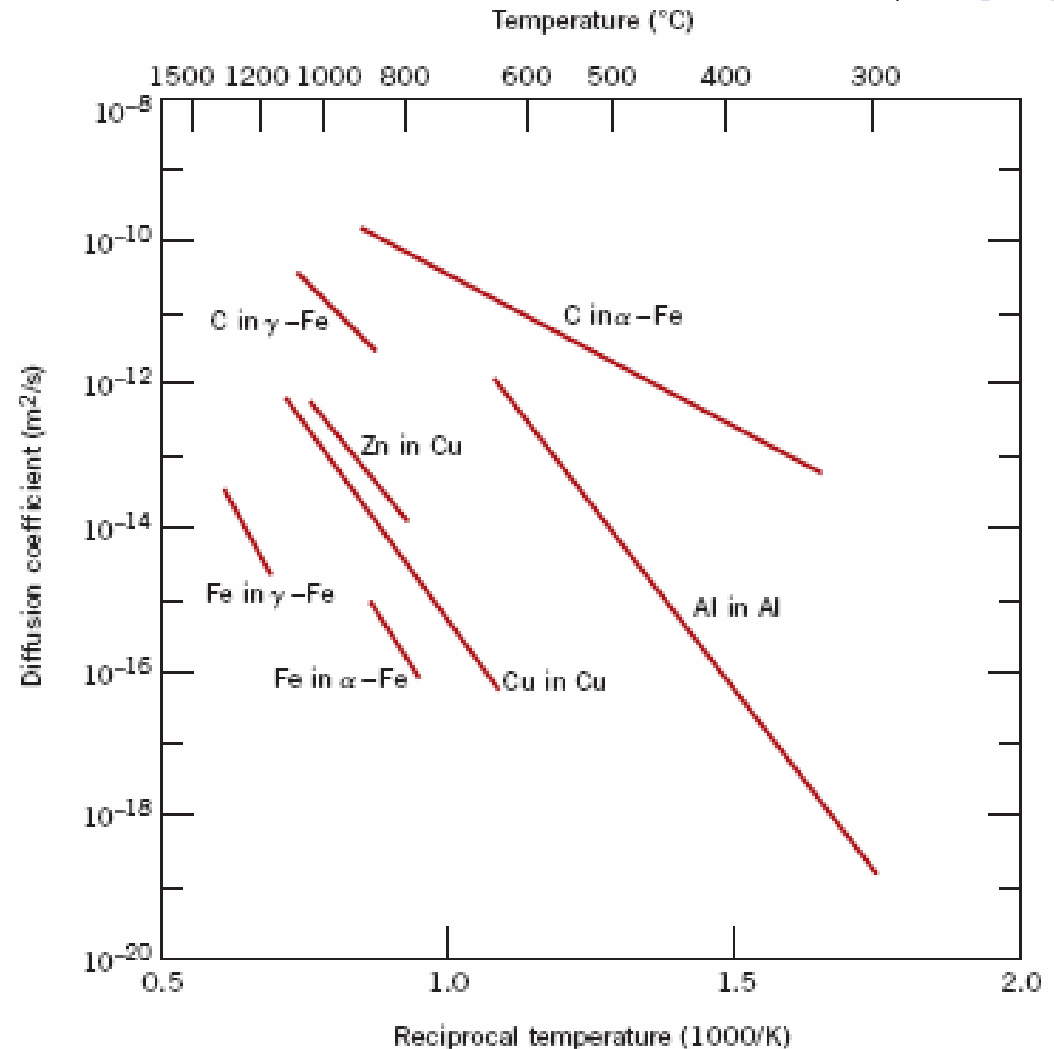
<i>Diffusing Species</i>	<i>Host Metal</i>	$D_0(m^2/s)$	<i>Activation Energy Q_d</i>		<i>Calculated Values</i>	
			<i>kJ/mol</i>	<i>eV/atom</i>	<i>T(°C)</i>	<i>D(m²/s)</i>
Fe	α -Fe (BCC)	2.8×10^{-4}	251	2.60	500	3.0×10^{-21}
					900	1.8×10^{-15}
Fe	γ -Fe (FCC)	5.0×10^{-5}	284	2.94	900	1.1×10^{-17}
					1100	7.8×10^{-16}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	0.83	500	2.4×10^{-12}
					900	1.7×10^{-10}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	5.9×10^{-12}
					1100	5.3×10^{-11}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	2.19	500	4.2×10^{-19}
Zn	Cu	2.4×10^{-5}	189	1.96	500	4.0×10^{-18}
Al	Al	2.3×10^{-4}	144	1.49	500	4.2×10^{-14}
Cu	Al	6.5×10^{-5}	136	1.41	500	4.1×10^{-14}
Mg	Al	1.2×10^{-4}	131	1.35	500	1.9×10^{-13}
Cu	Ni	2.7×10^{-5}	256	2.65	500	1.3×10^{-22}



Các yếu tố ảnh hưởng

$$\log D = \log D_0 - \frac{Q_d}{2.3R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

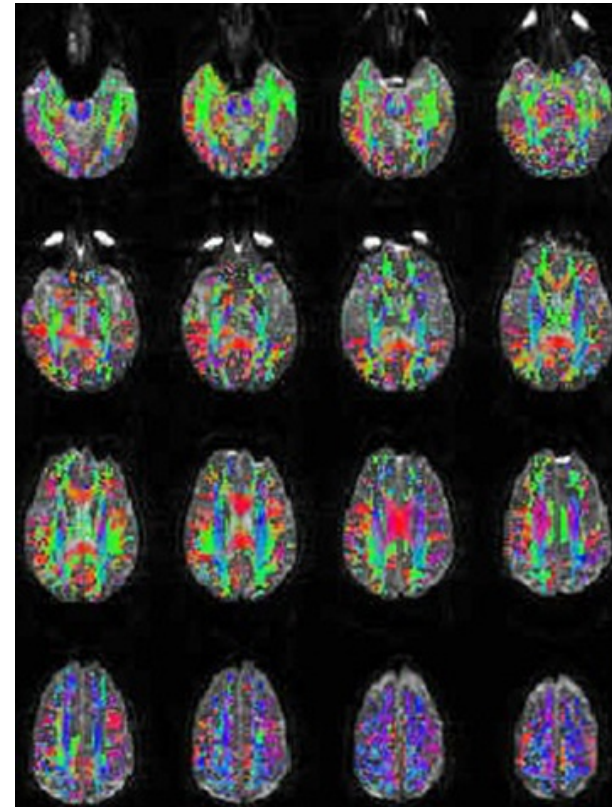
th logarithm
c a h s khu ch
tán D v i thang
ngh ch o c a
nhi t tuy t i
 $1/T$ c a m t vài
kim lo i ch ra m i
quan h tuy n tính





Con đường khuếch tán khác

- Các nguyên tố có thể phân bố theo các nguyên lý hình học, các biên hình và bố cục bên ngoài của vật liệu → gọi là **con đường khuếch tán theo nguyên tố** (short circuit diffusion paths)
- Cấu trúc này có thể khuếch tán nhanh hơn khuếch tán trong khối
- Tuy nhiên vai trò của cấu trúc này đóng góp lại không đáng kể do tỉ lệ diện tích của con đường khuếch tán này trong vật liệu là vô cùng nhỏ





Tóm l i

- **C h khu ch tán**

- Khu ch tán trong ch tr n là s d ch chuy n tu n t c a các nguyên t v i s l ng l n trong v t li u. T khu ch tán “self-diffusion” là khái ni m v s d ch chuy n c a các nguyên t ch t ch ; i v i các nguyên t t p ch t ng i ta dùng khái ni m khu ch tán t ng h “interdiffusion”. Có hai c ch khu ch tán: khu ch tán qua ch tr ng “vacancy” và khu ch tán qua khe h “interstitial”. i v i v t li u ch là kim lo i, các nguyên t t p ch t xen k th ng khu ch tán nhanh h n

- **Khu ch tán tr ng thái d ng, Khu ch tán tr ng thái không d ng**

- i v i khu ch tán tr ng thái d ng, profile n ng c a t p ch t khu ch tán là không ph thu c vào th i gian, và dòng khu ch tán J_t l v i gradient n ng mang d u âm theo nh lu t Fick th nh t. Khu ch tán tr ng thái không d ng c miêu t v m t toán h c b i nh lu t Fick th hai – là ph ng trình o hàm riêng. Nghi m cho tr ng h p i u ki n biên b m t không i là hàm sai s Gauss

- **Các thông s nh h ng n khu ch tán**

- l n c a h s khu ch tán D cho th y t c di chuy n c a các nguyên t , nó ph thu c m nh vào vi c t ng nhi t theo hàm m



Bảng các giá trị hàm sai số Gauss

Table 5.1 Tabulation of Error Function Values

z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.9340
0.025	0.0282	0.60	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.6420	1.5	0.9661
0.10	0.1125	0.70	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.1680	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.20	0.2227	0.80	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.30	0.3286	0.90	0.7970	2.0	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8209	2.2	0.9981
0.40	0.4284	1.0	0.8427	2.4	0.9993
0.45	0.4755	1.1	0.8802	2.6	0.9998
0.50	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

³ This Gaussian error function is defined by

$$\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy$$

where $x/2\sqrt{Dt}$ has been replaced by the variable z .