

# Bölüm 5: Yayınma (Difüzyon)

- Yayınma nasıl gerçekleşir?
- İşlemdeki önemi nedir ?
- Yayınma hızı bazı basit durumlar için nasıl tahmin edilir?
- Yayınma yapıya ve sıcaklığa nasıl bağlıdır?



# Yayınma (Difüzyon)

**Diffusion** - atomsal hareketlerle kütle t

## Mekanizmalar

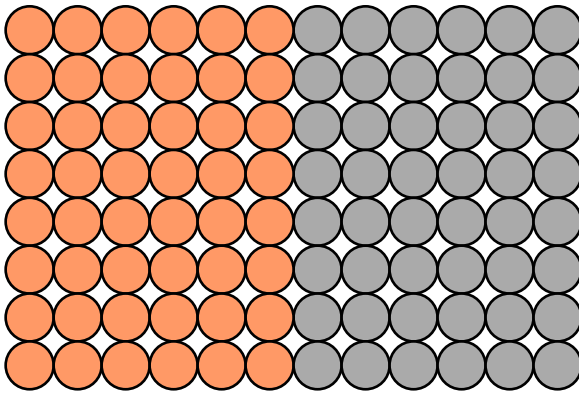
- gazlarda & sıvılarda – rastgele (Brownian) hareket
- katılarda – boşluklara yayınma yada arayerlere yayınma



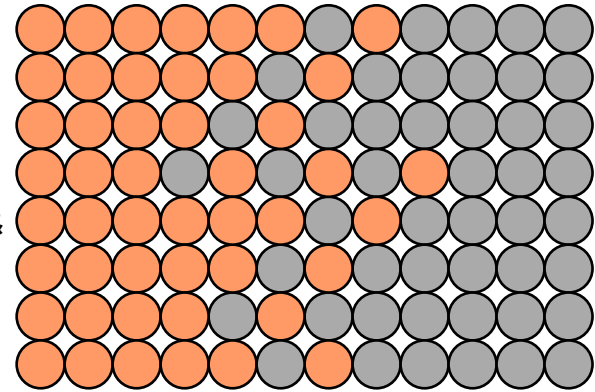
# Yayınma (Difüzyon)

- **Arayayınımı:** Alaşımlarda , atomlar yüksek konsantrasyolu Bölgelerden düşük konsantrasyolu bölgelere göçederler.

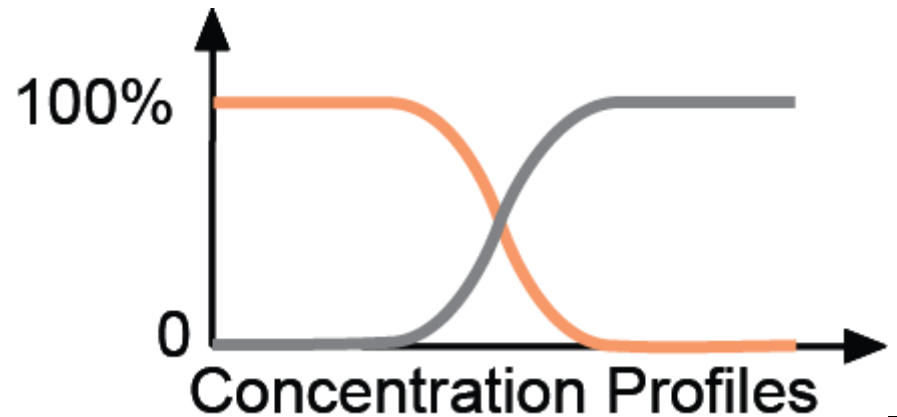
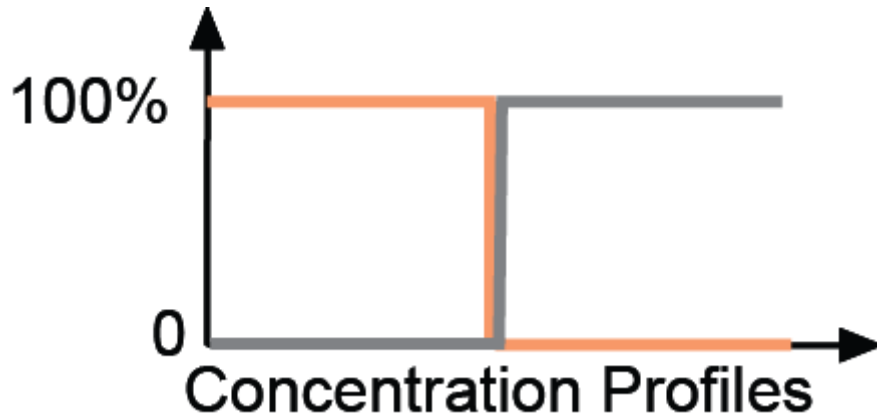
başlangıçta



Bir süre sonra



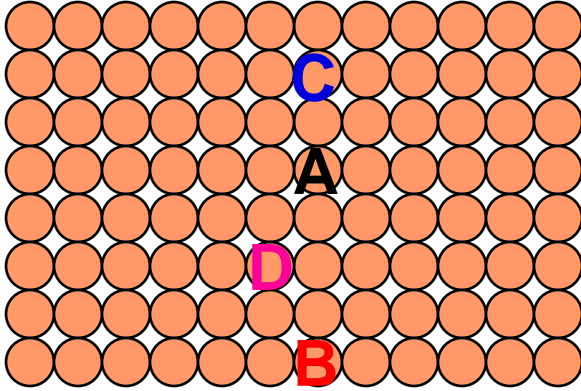
Adapted from  
Figs. 5.1 and  
5.2, *Callister &  
Rethwisch 8e.*



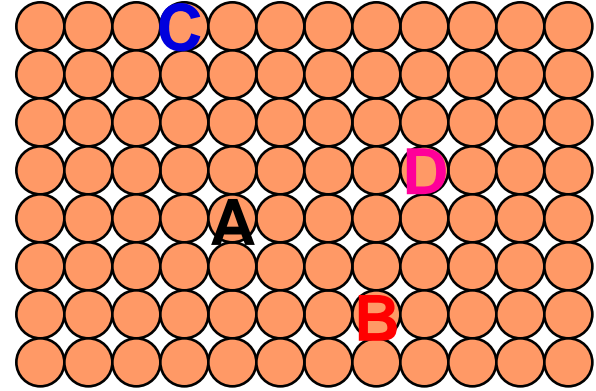
# Yayınma (Difüzyon)

- **Kendi-yayınma:** tek atomdan oluşan temel metallerde de, atomlar yer değiştirirler.

Bazı atomlar işaretlenmiştir



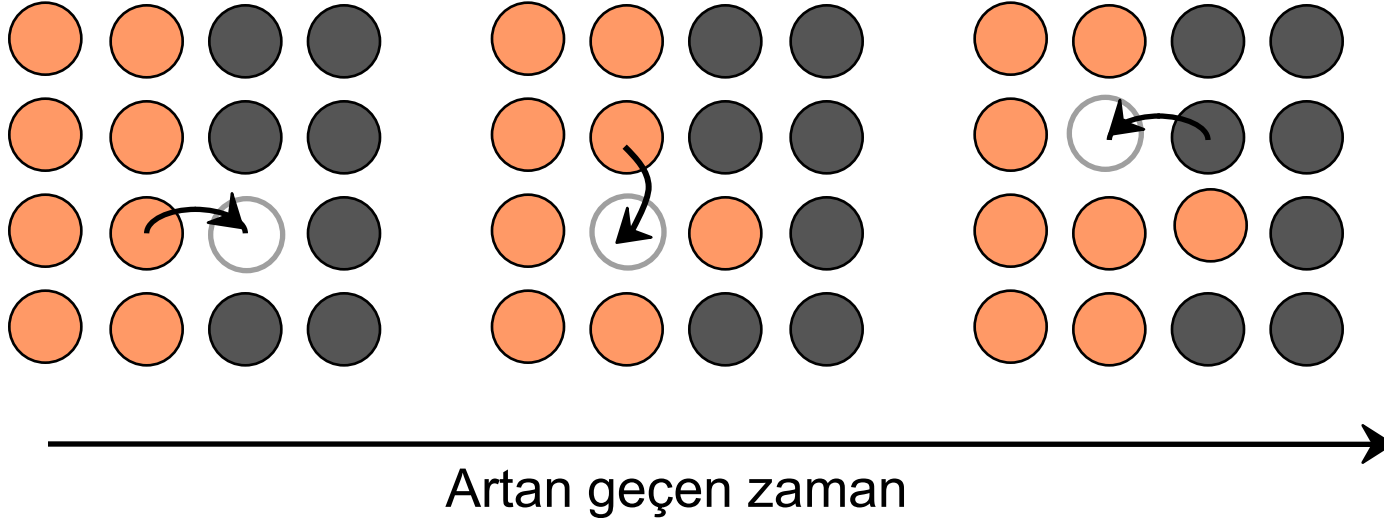
Bir süre sonra



# Yayınma Mekanizmaları

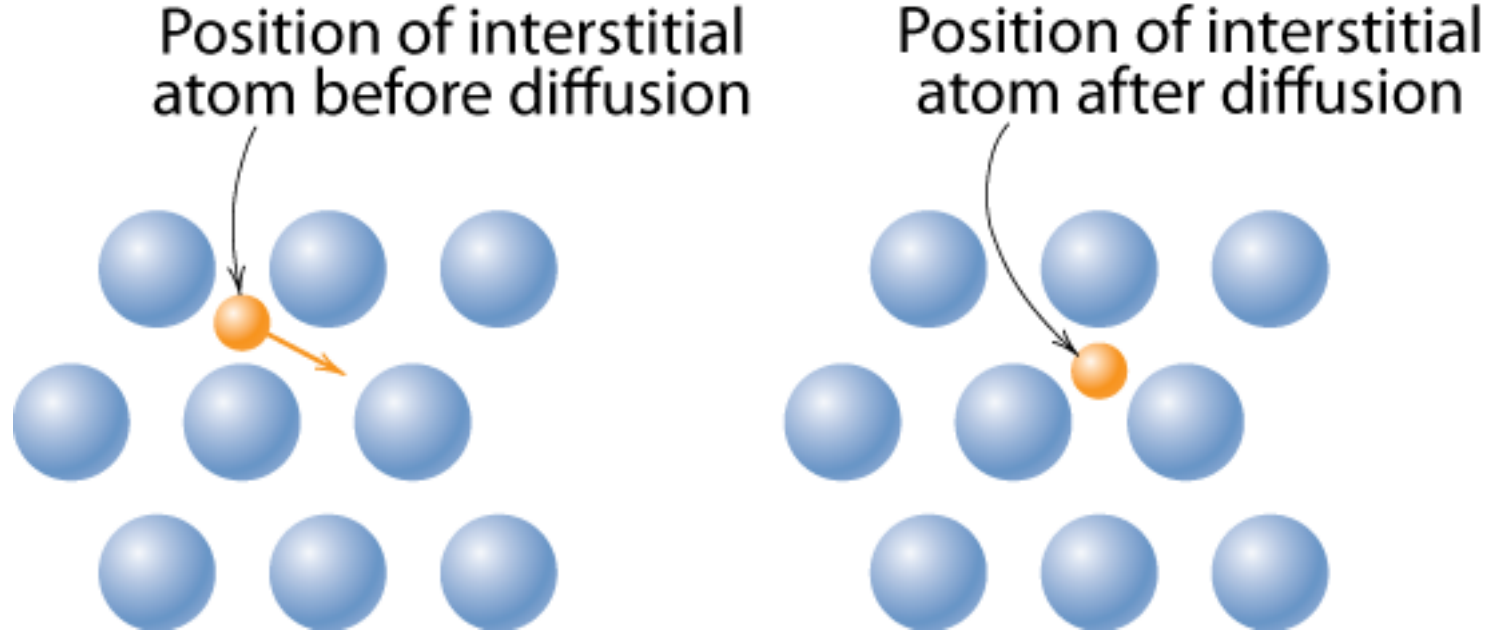
## Boşluk yayınımi:

- atomlar boşluklarla yer değiştirir
- yeralan impürite atomları içinde geçerlidir
- yayınma hızı:
  - boşluk sayısına ve
  - aktivasyon enerjisine bağlıdır.



# Yayınma Mekanizmaları

- **Arayer yayınımi**– küçük atomlar atom aralarından yayınırlar.



Adapted from Fig. 5.3(b), *Callister & Rethwisch 8e.*

Boşluk yayınımindan daha hızlı gerçekleşir.

# Yayınım Kullanılan İşlemler

- **Yüzey sertleştirme:**
  - Karbon atomları evsahibi demir atomlarının yüzeyinin üzerine yayılır.
  - Yüzey sertleştirilmesi uygulanmış çelik dişli örnek verilebilir .



Adapted from chapter-opening photograph, Chapter 5, *Callister & Rethwisch 8e.* (Courtesy of Surface Division, Midland-Ross.)

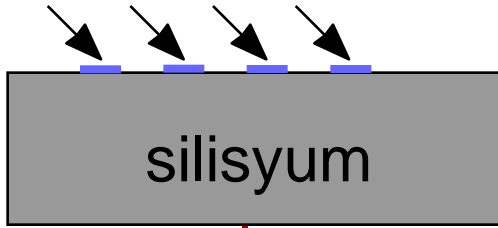
- **Sonuç:** C atomlarının varlığı demiri (çeliği) daha sert yapar.



# Yayınım Kullanılan İşlemler

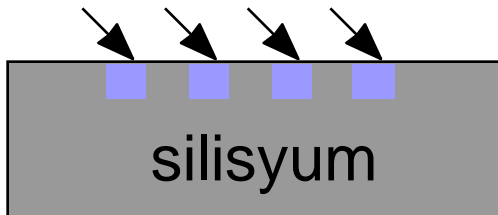
- Fosfor **Katkılı** n- çeşit silisyum yarıiletkeni
- İşlem:

1. P den zengin yüzey Si üzerine biriktirilir .

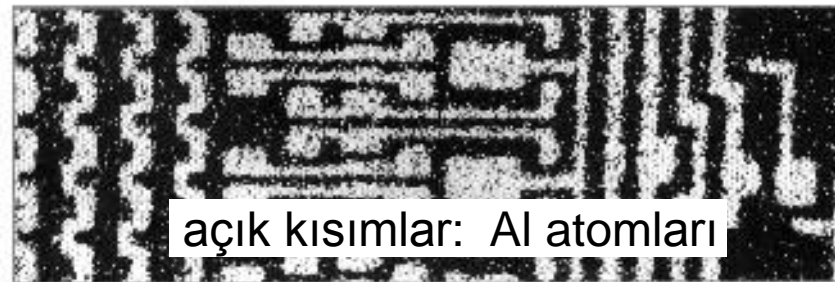
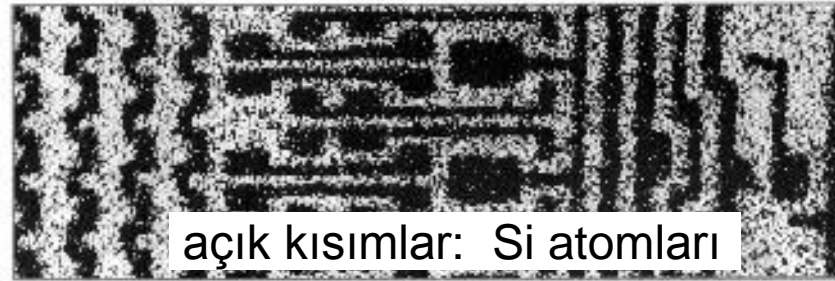


2. Isıtılır.

3. Sonuç: Katkılı yarıiletken bölgeleri



← 0.5 mm →



Adapted from Figure 18.27, *Callister & Rethwisch 8e.*



# Yayınım

- Yayınımın miktarını ve hızını nasıl tayin ederiz?

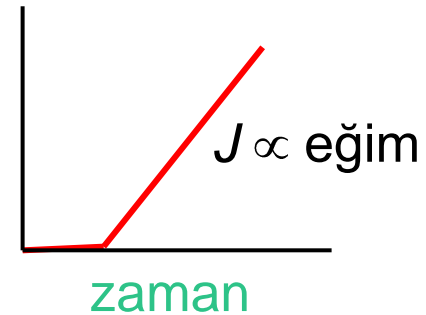
$$J \equiv \text{YAYINIM AKISI} \equiv \frac{\text{yayıyayı molü (yada kütlesi)}}{\text{[ yüzey alan [ zaman ]}} = \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2 \text{s}} \text{ yada } \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

- Deneysel ölçülür

- Yüzey alanı bilinen ince bir film (membran) alınır
- Konsantrasyon gradyanı oluşturulur
- Atom veya molekülün membrandan ne kadar hızlı yayındığı ölçülür.

$$J = \frac{M}{At} = \frac{l}{A} \frac{dM}{dt}$$

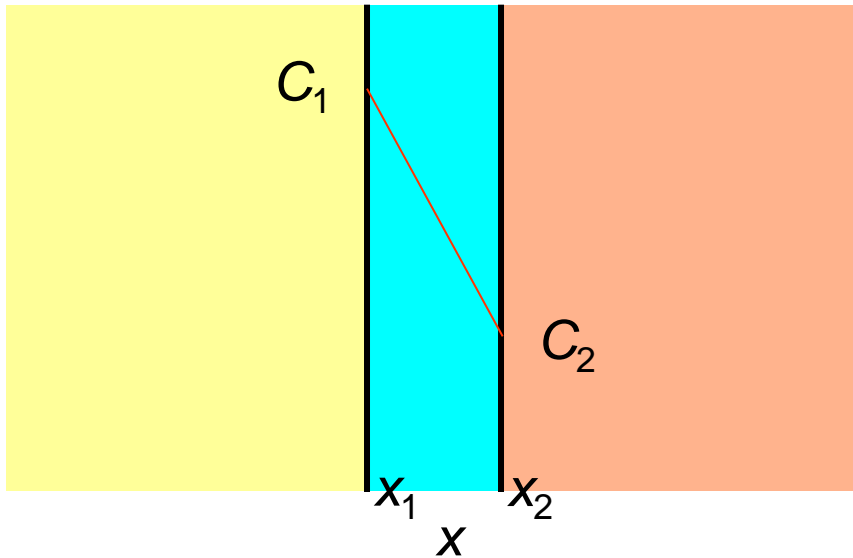
$M =$   
Yayınan  
kütle



# Kararlı Yayınma

Yayınma zaman bağılı değilse=Kararlı yayınma

Yayınma akısı konsantrasyon gradyanı  $\frac{dC}{dx}$  ile doğru orantılı.



Fick'in Birinci Yayınma Kanunu

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

$D \equiv$  Yayınma katsayısı

Eğer lineerse  $\frac{dC}{dx} \cong \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_2 - C_1}{x_2 - x_1}$

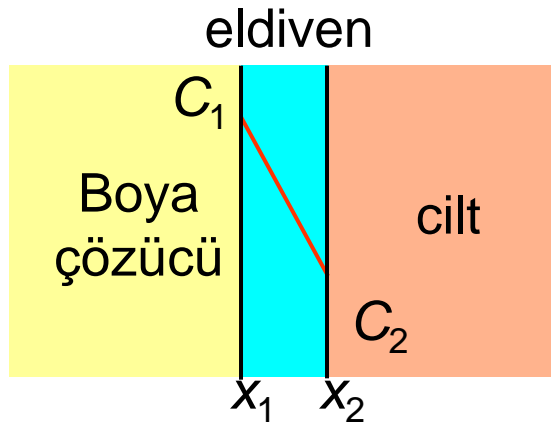
# Örnek: Kimyasal Koruyucu Giydirme (KKG)

- Metilen klorid boya çözücü en çok kullanılan malzemesidir. İritan olmasının yanında cilt tarafından absorbe edilir. Boya çıkarma işleminde koruyucu eldiven giyilmelidir.
- Eğer bütül kauçuk eldiven (0.04 cm kalınlığında) kullanılacaksa, metil kloridin eldivenden yayınma akısı nedir?
- Data:
  - Bütül kauçuğun yayınma katsayısı:  
 $D = 110 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$
  - Yüzey konsantrasyonları:  $C_1 = 0.44 \text{ g/cm}^3$   
 $C_2 = 0.02 \text{ g/cm}^3$



# Örnek (devam)

- **Çözüm**– lineer konsantrasyon gradyanı kabul edilir



$$J = -D \frac{dC}{dx} \cong -D \frac{C_2 - C_1}{x_2 - x_1}$$

Data:  $D = 110 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$

$$C_1 = 0.44 \text{ g/cm}^3$$

$$C_2 = 0.02 \text{ g/cm}^3$$

$$x_2 - x_1 = 0.04 \text{ cm}$$

$$J = -(110 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}) \frac{(0.02 \text{ g/cm}^3 - 0.44 \text{ g/cm}^3)}{(0.04 \text{ cm})} = 1.16 \times 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{cm}^2\text{s}}$$



# Yayınma ve Sıcaklık

- Artan  $T$  ile yayınma katsayısı  $D$  artar.

$$D = D_o \exp \left( - \frac{Q_d}{R T} \right)$$

$D$  = yayınma katsayısı [ $m^2/s$ ]

$D_o$  = sıcaklıktan bağımsız katsayı [ $m^2/s$ ]

$Q_d$  = yayınma için gereken aktivasyon enerjisi [ $J/mol$  or  $eV/atom$ ]

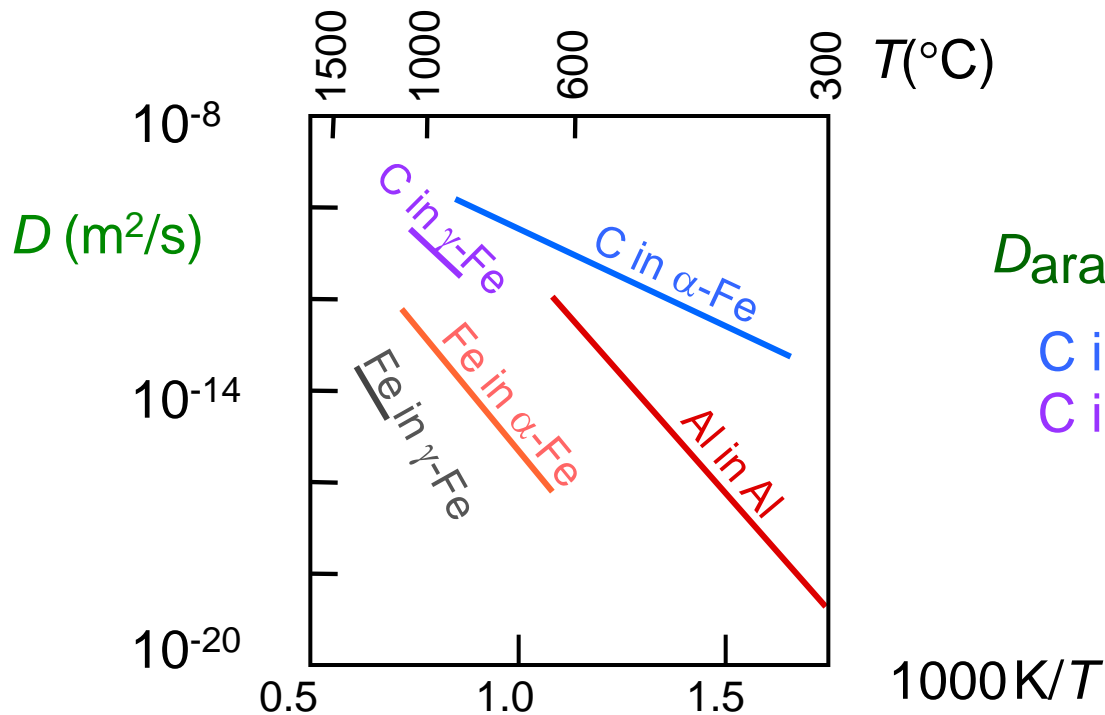
$R$  = gaz sabiti [ $8.314 J/mol-K$ ]

$T$  = mutlak sıcaklık [ $K$ ]



# Yayınma ve Sıcaklık

$D$   $T$ 'ye üstel bağıllık gösterir.



$D_{\text{arayr}} \gg D_{\text{yeralan}}$

$\text{C in } \alpha\text{-Fe}$   
 $\text{C in } \gamma\text{-Fe}$

$\text{Al in Al}$   
 $\text{Fe in } \alpha\text{-Fe}$   
 $\text{Fe in } \gamma\text{-Fe}$

Adapted from Fig. 5.7, Callister & Rethwisch 8e. (Date for Fig. 5.7 taken from E.A. Brandes and G.B. Brook (Ed.) *Smithells Metals Reference Book*, 7th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1992.)

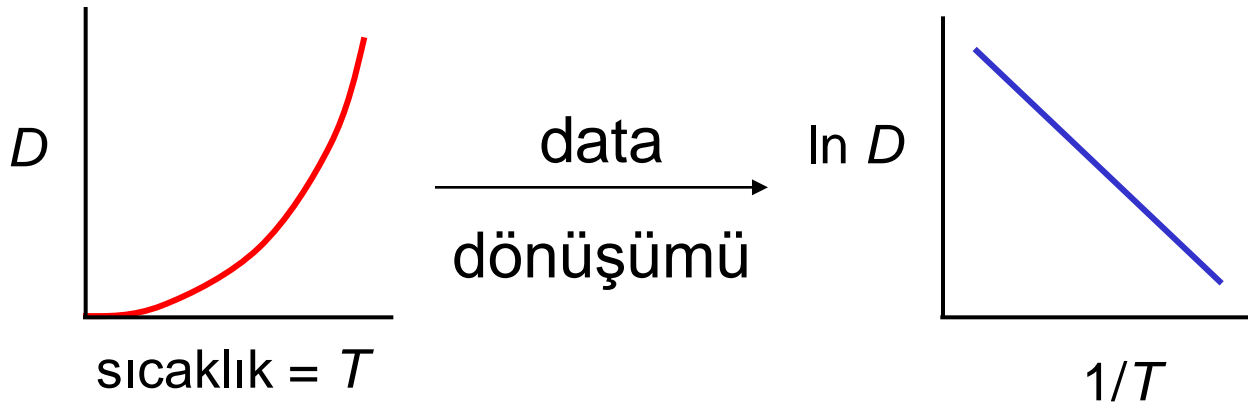


**Örnek :** 300°C'de Cu'nun Si içinde yayınma katsayısı ve aktivasyon enerjisi;

$$D(300^{\circ}\text{C}) = 7.8 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_d = 41.5 \text{ kJ/mol}$$

350°C'deki yayınma katsayısını hesaplayınız ?



$$\ln D_2 = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R} \left( \frac{1}{T_2} \right) \quad \text{ve} \quad \ln D_1 = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R} \left( \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\therefore \ln D_2 - \ln D_1 = \ln \frac{D_2}{D_1} = -\frac{Q_d}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$



# Örnek (devam)

$$D_2 = D_1 \exp \left[ -\frac{Q_d}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$T_1 = 273 + 300 = 573 \text{ K}$$

$$T_2 = 273 + 350 = 623 \text{ K}$$

$$D_2 = (7.8 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}) \exp \left[ \frac{-41,500 \text{ J/mol}}{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}} \left( \frac{1}{623 \text{ K}} - \frac{1}{573 \text{ K}} \right) \right]$$

$$D_2 = 15.7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$





# Kararsız Yayınım

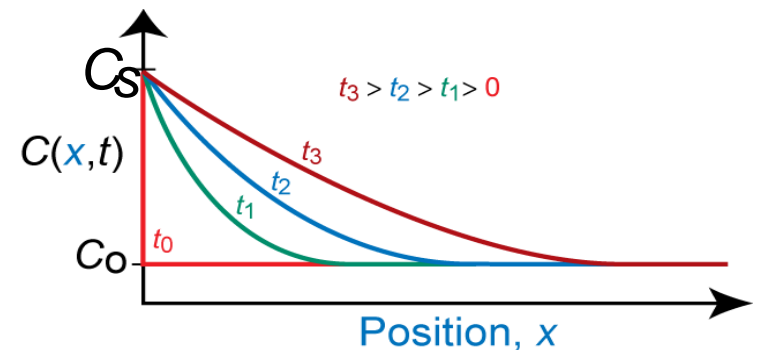
- Yayınım yapan parçacıkların konsantrasyonu hem zamanın hemde konumun fonksiyonudur  $C = C(x,t)$
- Bu durumda **Fick'in İkinci Kanunu** kullanılır

Fick'in İkinci Kanunu

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

**Çözüm:**

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



# Kararsız Yayınım

- Örnek problem: YMK yapıya sahip demir-karbon alaşımı başlangıçta ağırlıkça % 0.20 C içermektedir ve sıcaklık arttırılarak atmosferik basıçta yüzey karbon konsantrasyonu ağırlıkça % 1.0 oluncaya kadar karbürize edilmektedir. 49.5 saat sonra yüzeyden 4.0 mm derinlikte karbon konsantrasyonu ağırlıkça % 0.35 ise, işlemin gerçekleştiği sıcaklığı bulunuz.

- **Çözüm:** Denklem 5.5'i kullan 
$$\frac{C(x,t) - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$



**Çözüm (devam):** 
$$\frac{C(x,t) - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

–  $t = 49.5$  saat

$x = 4 \times 10^{-3}$  m

–  $C_x = 0.35$  %

$C_s = 1.0$  %

–  $C_o = 0.20$  %

$$\frac{C(x,t) - C_o}{C_s - C_o} = \frac{0.35 - 0.20}{1.0 - 0.20} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = 1 - \operatorname{erf}(z)$$

$\therefore \operatorname{erf}(z) = 0.8125$



## Çözüm (devam):

Tablo 5.1'den 0.8125 hata fonksiyonuna denk gelen  $z$ 'nin değerini buluruz. İnterpolasyon işlemi gereklidir;

$z$	$\text{erf}(z)$
0.90	0.7970
$z$	0.8125
0.95	0.8209

$$\frac{z - 0.90}{0.95 - 0.90} = \frac{0.8125 - 0.7970}{0.8209 - 0.7970}$$

$$z = 0.93$$

Denklem  $D$  için çözülür  $z = \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \Rightarrow D = \frac{x^2}{4z^2t}$

$$\therefore D = \left( \frac{x^2}{4z^2t} \right) = \frac{(4 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{(4)(0.93)^2 (49.5 \text{ h})} \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$



## Çözüm (devam):

- Bulduğumuz D'nin gerçekleştiği sıcaklığı bulmak Denklem (5.9a) yeniden düzenlenir;

$$T = \frac{Q_d}{R(\ln D_o - \ln D)}$$

Tablo 5.2 den, C'nin YMK Fe'de yayılımı

$$D_o = 2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_d = 148,000 \text{ J/mol}$$

$$\therefore T = \frac{148,000 \text{ J/mol}}{(8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K})(\ln 2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} - \ln 2.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$T = 1300 \text{ K} = 1027^\circ\text{C}$$



# Özet

## Yayınım HIZLI ...

- seyrek kristal yapı
- ikincil bağa sahip malzeme
- yayınım atomları küçük
- düşük yoğunluktaki malzeme

## Yayınım YAVAŞ ...

- sıkı paketlenmiş kristal yapı
- covalent bağa sahip malzeme
- yayınım atomları büyük
- yüksek yoğunluktaki malzeme

