

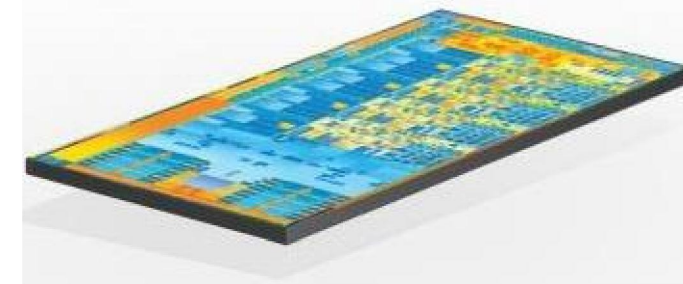
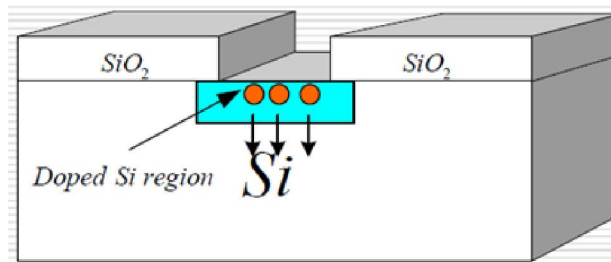
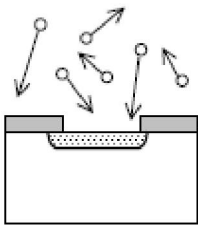
Kütle taşınımı - Difüzyon

- Konsantrasyon gradyanı nedeniyle meydana gelen kütle transferi
- Şekerin çayı tatlandırması, şeker konsantrasyon profili
- Kütle transferi iki şekilde gerçekleşebilir
 - Bir maddenin diğer bir madde içerisinde konsantrasyon farkı nedeniyle moleküler iletimi - Difüzyon
 - Yığın akışı ile (konvektif kütle transferi)
- Katılar içerisinde akış mevcut olmadığı için kütle transferi sadece difüzyon ile meydana gelir.
- Malzeme mühendisliğinde en önemli kütle taşınım olayları katılarda gerçekleşmektedir.
- Difüzyon (yayınma): Malzemenin bir yerden başka yere konsantrasyon gradyanı nedeniyle yayınması



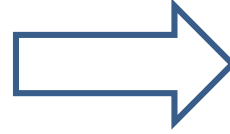
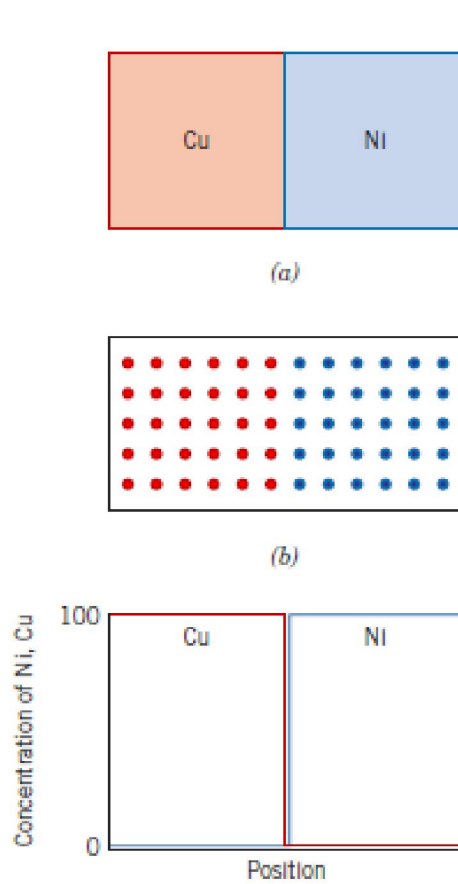
Malzeme Mühendisliğinde Difüzyon

- Çeliğin yüzeyinin sertleştirilmesi ile aşınma direncinin artırılması
 - Yüzeyinde Karbonca zengin bir tabakanın difüzyon ile oluşturulması
 - Demirin içinde Karbon'un difüzyonu
 - Yüksek sıcaklıkta Karbon ortamında yüzeyden içeri doğru yayılımı
 - Yayınım hızının kontrolü ve koşulların belirlenmesi
- Entegre devre üretiminde silisyumun özelliklerinin empürite atomlarıyla değiştirilmesi için sıklıkla difüzyon kullanılır.
 - Fosfor (P) ilavesiyle n-tipi (fazladan elektron)
 - Bor (B) ilavesiyle p-tipi (fazladan elektron boşlukları)



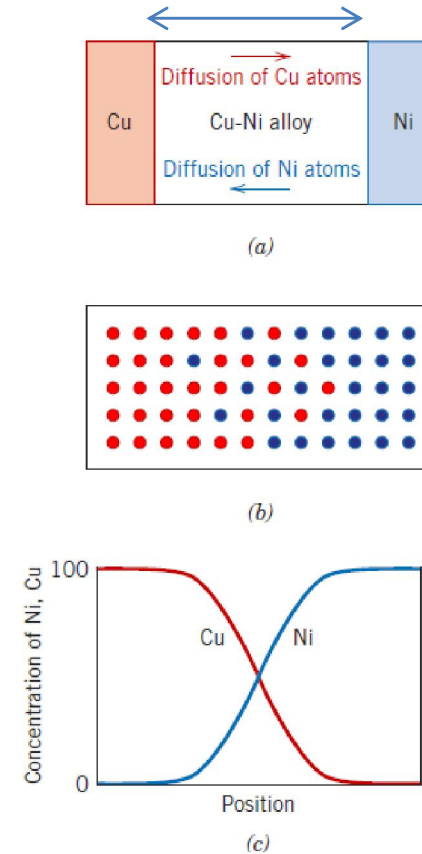
Difüzyon

- Birbirlerine sıkı bir şekilde temas ettirilmiş Bakır ve Nikel çubuk



Metallerin ergime sıcaklığının altında uzunca bir süre ısıtılması ve arkasından oda sıcaklığına soğutma

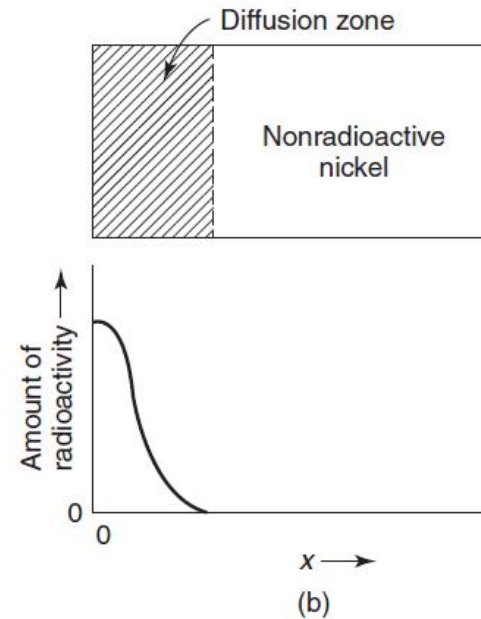
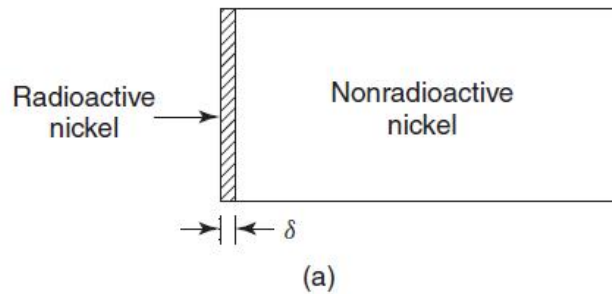
Alaşım bölgesi



- Birbirinde difüzyon (interdiffusion): Bir metala ait atomların diğeri içerisinde difüzyonu
- Kendinde difüzyon (self-diffusion): Saf metallerde de ısıtma işlemi sonucu atomlar hareket eder. Ama konum değiştiren atomlar, aynı tür atomlardır.

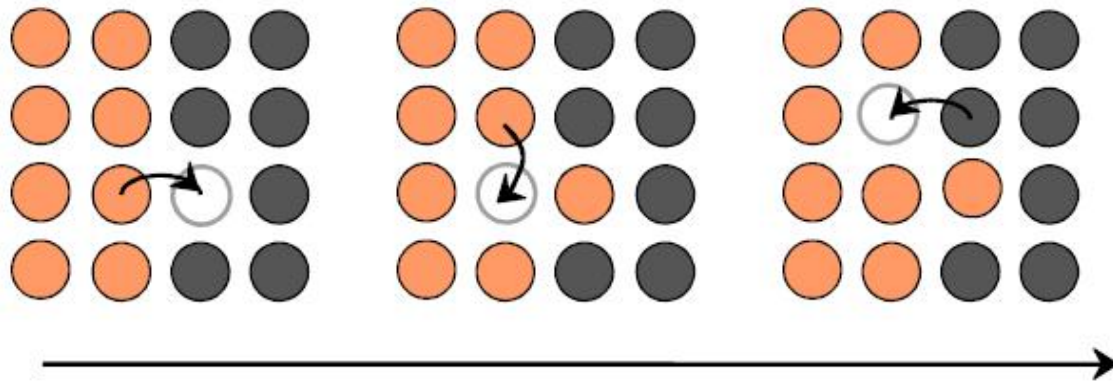
Katılarda kendinden difüzyon

- Difüzyonun gerçekleşmesi için konsantrasyon gradyanı gereklidir.
- Bununla birlikte radyoaktif iz sürücüler ile yapılan deneyler, konsantrasyon gradyanı bulunmayan sistemlerde de difüzyonun meydana geldiğini göstermiştir.
- Kendinde difüzyon adı verilen bu atomik hareketliliklerin nedeni, katılardaki atomik titreşimlerdir.
- Buna göre latis içindeki atomlar rastgele hareket etmekte ve kendinde difüzyona yol açmaktadır.



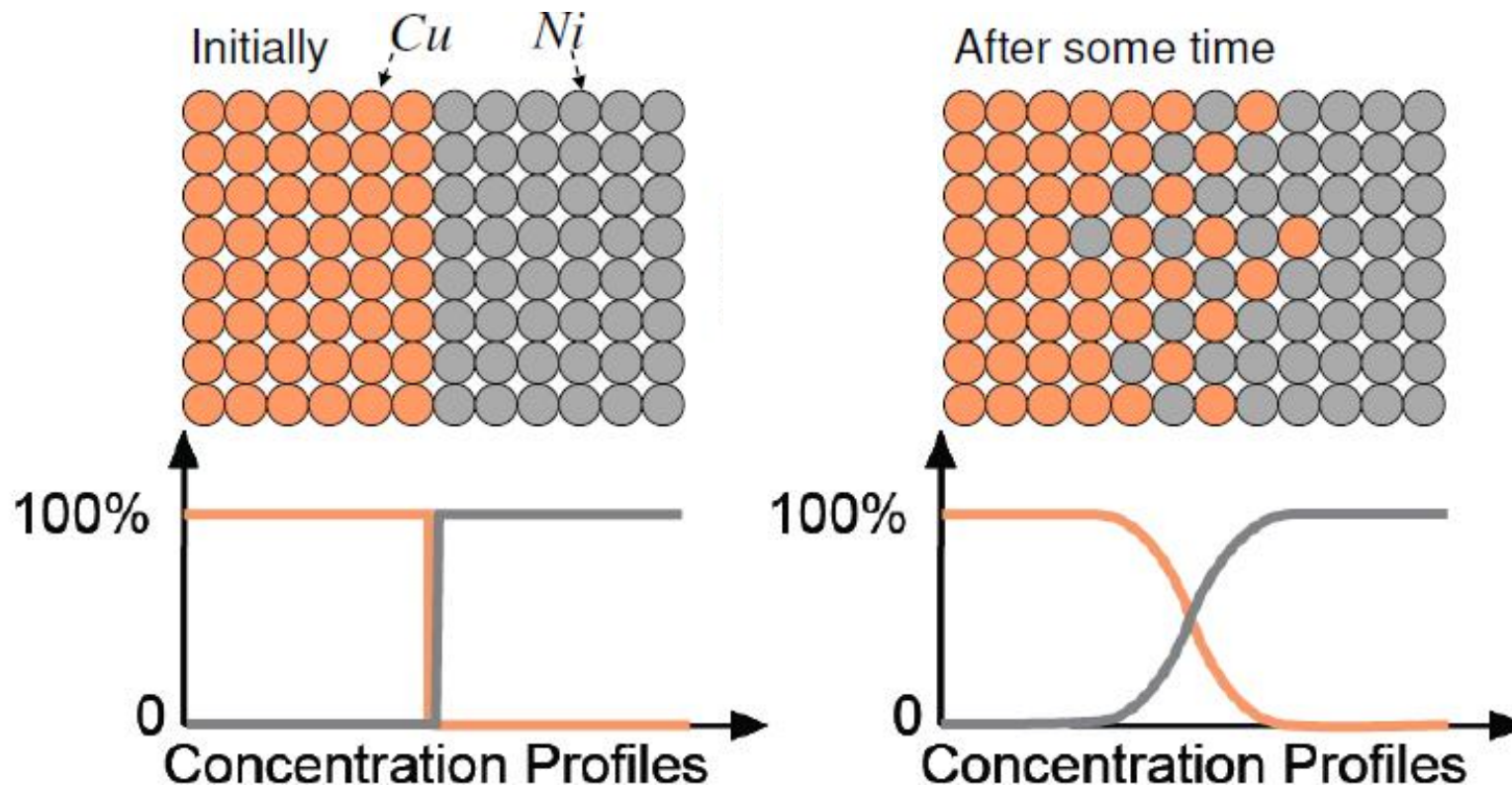
Katılarda Difüzyon Mekanizmaları

- Atomik olarak yayılım, atomların bir kafes boşluğundan diğerine adım adım yaptıkları yer değiştirmedir.
- Katı malzemelerdeki atomlar sürekli hareket halindedir ve hızlı bir şekilde yer değiştirmektedirler
- Bir atomun bu hareketi yapabilmesi için:
 - Bitişğinde boş bir yer bulunmalı
 - Komşu atomlarla arasındaki bağı koparacak ve sonrasında yer değiştirme sırasında oluşacak kafes çarpışmalarını karşılayacak kadar enerjiye sahip olmalıdır.
- İhtiyaç duyulan bu enerji atomların titreşimini sağlayan enerjidir.
 - Atomların hepsi aynı anda aynı frekans ve enerjide titreşmez
 - Sıcaklığın artışıyla birlikte yayılım yapabilecek kadar enerjiye sahip atomların sayısı artar



Katılarda Difüzyon Mekanizmaları

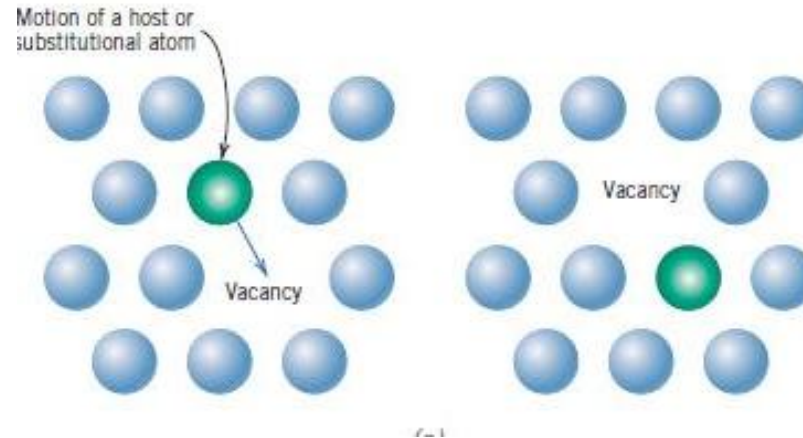
- Katılarda konsantrasyon gradyanı nedeniyle bir maddenin diğeri içerisinde difüzyonu genel olarak 3 farklı mekanizma ile olur
 - Boşluk (Vacancy) difüzyonu
 - Arayer (Interstitial) difüzyonu
 - Yer değıştirme (Interchange) difüzyonu



Katılarda Difüzyon Mekanizmaları

Boşluk (Vacancy) difüzyonu

- Normal kafes noktasındaki bir atom ile komşu kafes boşluğunun yer değiştirmesi ile olur
- Bu mekanizma için boş yerlerin bulunması gerekir.
- Difüzyonun etkinliği var olan bu boşlukların sayısına bağlıdır.
- Birçok metalde en çok görülen mekanizmadır. Bunun nedeni birçok metalde nispeten düşük bir aktivasyon enerjisi gerektirmesi ve çok sayıda boş noktaların bulunmasıdır.
- Atomların difüzyonu ile boşlukların difüzyonu zıt yöndedir.
- Difüzyon hızı
 - Boşlukların sayısına
 - Aktivasyon enerjisine bağlıdır.

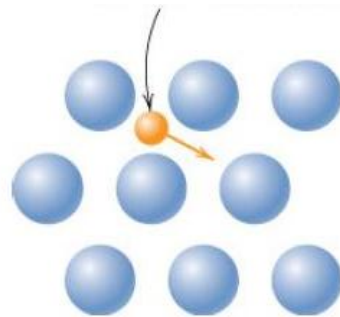


Katılarda Difüzyon Mekanizmaları

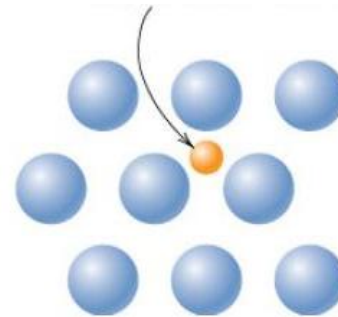
Arayer (Interstitial) difüzyonu

- Arayer konumunda bir atom, komşu bir diğer arayer boşluğuna difüze olur.
- Küçük çaplı atomlarda görülen bir mekanizmadır.
 - Hidrojen, Karbon, azot ve oksijen gibi arayer boşluğuna yerleşebilecek kadar küçük empürite atomlarının difüzyonu bu mekanizmayla gerçekleşir.
- Boşluk difüzyonuna göre daha hızlıdır.
 - Arayer atomlarının daha küçük ve daha yüksek hareket etme yeteneğine sahip
- Arayer boşluklarının sayısı, atomsal boşluklara göre daha fazla
 - Bu nedenle arayer difüzyonunun gerçekleşme olasılığı boşluk difüzyonundan daha büyüktür.

Difüzyon öncesi

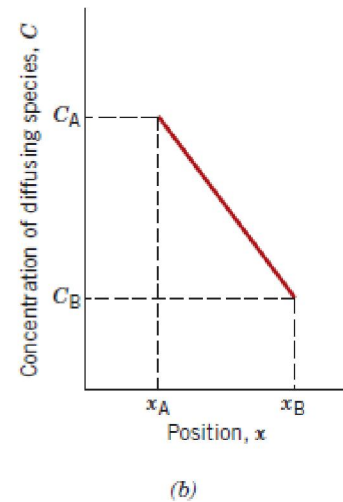
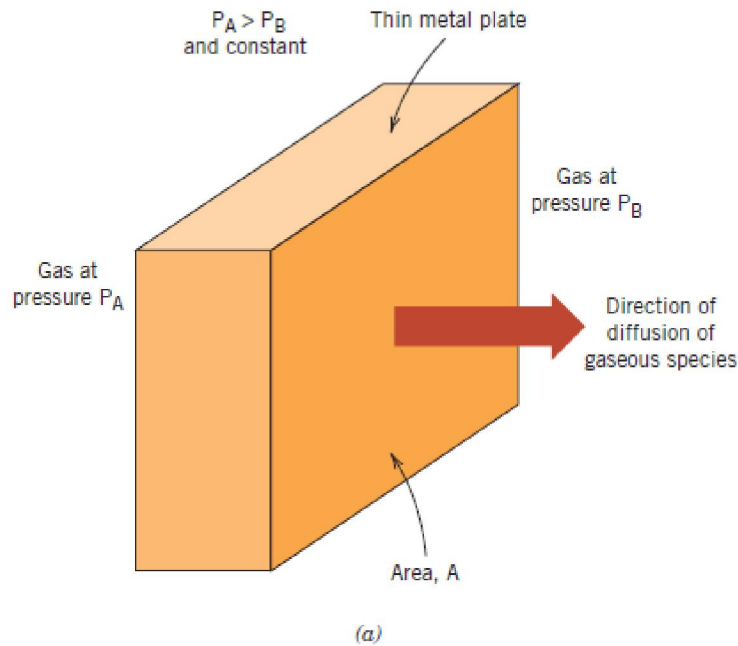


Difüzyon sonrası



Fick'in I. Kanunu

- Kararlı hal için geçerlidir.
- Her iki yüzeyindeki konsantrasyonun (veya basıncın) sabit tutulduğu bir metal plakada, kesit boyunca gaz atomlarının difüzyonu



$$J_{AB} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy}$$

Konsantrasyon gradyanı

$$\frac{dC_A}{dy} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

Fick'in I. Kanunu

- **Örnek:** 700 °C sıcaklıktaki demir plakanın bir yüzeyi karbonca zengin karbürleme atmosferine, diğer yüzeyi ise karbonca fakir dekarbürizasyon atmosferine maruz bırakılmıştır. Kararlı difüzyon durumunda, karbürleme yüzeyinden 5 ve 10 mm derinlikteki karbon konsantrasyonları, sırasıyla 1,2 ve 0,8 kg/m³ değerlerinde olduğuna göre, plaka boyunca karbonun kütlece akısını hesaplayınız. Bu sıcaklıkta karbonun demir içerisindeki difüzyon katsayısı 3×10^{-11} m²/s alınabilir.

Fick'in I. Kanunu

- **Örnek:** Diklorometan (DKM) boya sökücü olarak kullanılmaktadır. Sağlığa zararlı olduğu için DKM ile çalışırken eldiven kullanılması gerekmektedir. Yapılan bir ölçümde DKM'nin eldivenin dış ve iç yüzeyindeki konsantrasyonu sırasıyla 0,44 g/cm³ ve 0,02 g/cm³ bulunmuştur. Bu koşullarda kararlı halde birim zamanda birim alandan ne kadar DKM insan vücuduna iletilmektedir. DKM'nin eldiven içerisindeki difüzyon katsayısı $110 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ alınabilir. Eldivenin kalınlığı 0,4 mm'dir.