

Mühendislik Malzemeleri

Mekatronik Mühendisliği
Metaller ve İç Yapıları



Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

DERS 5

1

Mühendislik Malzemeleri

Elektriksel Özellikler

KRİSTALLERDE HATALAR

2

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

- ❑ Metal elementleri küçük kristallerden oluşur, bu kristaller tek başına büyütülebildikleri gibi bir çok yönlenebilir farklı kristallerden yani tanelerden de oluşabilir.
- ❑ ymk, sph, hmk, hmt.... Her kristalin kendine has özellikleri vardır. Bir çok mekanik ve fiziksel özellik kristalin farklı doğrultu ve düzlemlerinde farklılık gösterebilir.
- ❑ Farklı kristaller tane sınırı olarak adlandırılan bölgelerle birbirlerinden ayrılır.
- ❑ Kristaller mükemmel değildirler.
- ❑ Özellikleri kontrol eden hatalardır. İsimleri hata da olsa bize inanılmaz özellikler sunarlar.
- ❑ Hataları nasıl görürüz.

3

Bölüm 5

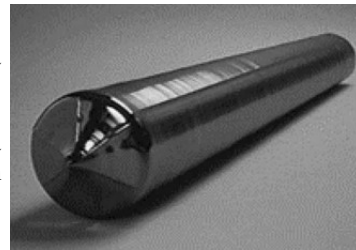
Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

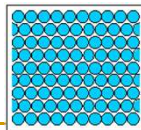
KRİSTAL YAPILI OLAN VE OLMAYAN MALZEMELER

TEK KRİSTALLER

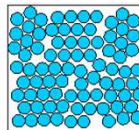
Tekrar eden atom düzeninin numunenin tamamı boyunca kesintisiz devam etmesi durumunda meydana gelirler. Tek kristallerde tüm birim hücreler aynı yönde uzanırlar. Doğada bulunabildikleri gibi yapay olarak da üretilebilirler fakat çok kontrollü bir ortam gerektiği için tek kristal büyütme işlemi oldukça zordur.



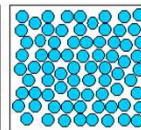
Özellikle son yıllarda silisyum veya diğer yarı iletken tek kristallerin kullanıldığı elektronik mikro devreler önemli örneklerdir.



Single crystal
Periodic across the
whole volume.



Polycrystal
Periodic across
each grain.



Amorphous solid
Not periodic.

4

Bölüm 5

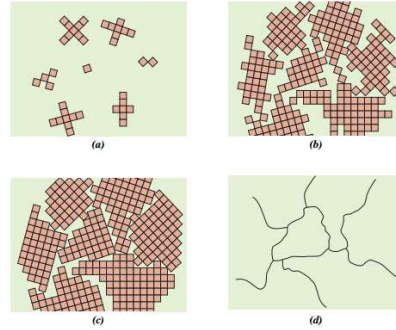
Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

KRİSTAL YAPILI OLAN VE OLMAYAN MALZEMELER

ÇOK KRİSTALLİ MALZEMELER

Kristal katıların çoğu çok sayıda küçük kristalden ya da taneden meydana gelmiştir. Bu tür malzemeler çok kristalli olarak adlandırılır. Tanelerin her birinin yönelimleri farklıdır. Ergiyikte bulunan atomların oluşmakta olan kristallere katılmasıyla bu taneler büyür. Katılmanın sonuna doğru taneler birbirine temas eder ve oluşan tane sınırları ile birbirlerinden ayrılırlar. Bu temas bölgeleri aslında atomsal düzensizliklerdir.



5

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

İZOTROPİK VE ANİZOTROPİK DAVRANIŞ

Bir kristalde bulunan doğrultu ve düzlemlerdeki atomik dizilimin farklı olması özelliklerin değişimine neden olur. Malzemenin özellikleri tüm doğrultularda aynı ise malzeme kristalografik olarak izotropik şeklinde tanımlanır.

Fakat malzemeler kristalografik olarak anizotropik olsa da çok kristalli olduklarından izotropik davranış sergilerler.

Fakat tek kristaller ve kontrollü oryante edilmiş tane yapısına sahip malzemeler anizotropik davranış sergilerler.

Özellikle optik ve manyetik özellikler açısından önemlidir.

6

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

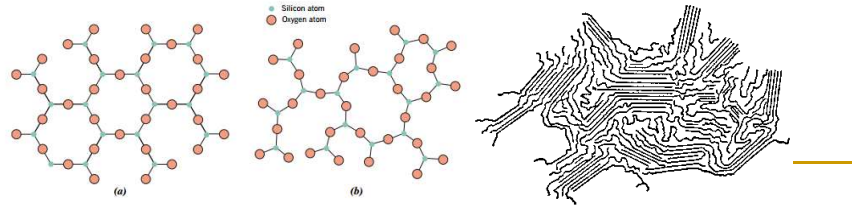
Kristallerde Hatalar

KRİSTAL YAPILI OLAN VE OLMAYAN MALZEMELER

KRİSTAL DIŞI KATILAR

Düzenli bir atom dizilişinin bulunmadığı malzemeler amorf (kelime anlamı olarak formu olmayan ya da şekli olmayan) veya atomsal yapıları sıvılarınkine benzediği için aşırı soğutulmuş sıvı olarak adlandırılırlar.

Metaller kristal yapıda katılaşıır. Seramiklerin bazıları kristal yapıda bazıları ise amorf yapıda bulunur. Polimerler ise tamamen amorf yapıda olabildikleri gibi çeşitli kristallik derecesine sahip olabilirler.



Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

Kafes veya kristal hataları olarak adlandırdığımız unsurlar, metalurjik açıdan bazı sistemlerin iyi çalışması için aranan özellikler arasındadır.

Gerçek kristallerin hacim kafesi ideal düzenli yapıdan birçok sapmalar gösterir. Bu sapmaların her biri kafesin bozulmasına ve gerilmesine neden olur. Böylece kristalin enerjisi (gerilmiş bir yaya benzer şekilde) ARTAR.

Bunun sebebi nedir?

8

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

Çünkü kusursuz bir kafeste iki atom arasındaki en küçük dengeli uzaklık r_0 , aynı zamanda potansiyel enerji eğrisinde minimuma denk gelir ve bağ enerjisi olarak adlandırılır.

Kafes yapısındaki her kusur atomların bir kısmının denge uzaklığında kalamaması ve dolayısıyla daha yüksek enerji seviyelerinde bulunması sonucunu doğurur.

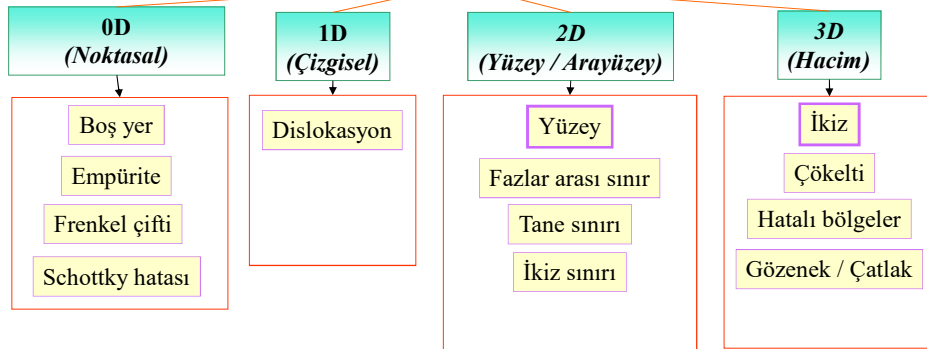
Bölüm 5

9

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

BOYUT İLE İLİŞKİLİ OLARAK HATALAR

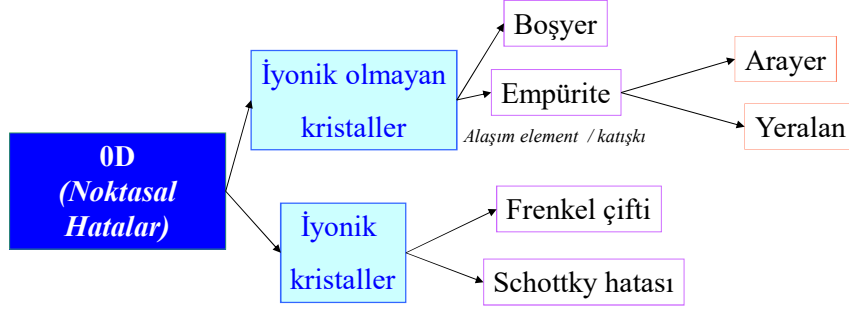


Bölüm 5

10

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar



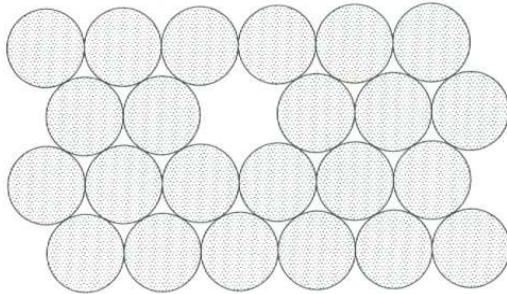
Bölüm 5

11

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

- Elektriksel özellikler için çok önemli
- Herhangi bir mikroskop türü ile rutin olarak görüntülenemez
- Bir atomik sitede oluşur.



Atomal boşluk

12

Mühendislik Malzemeleri

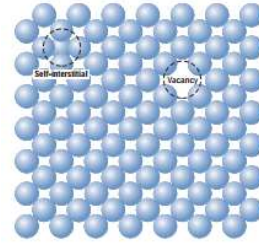
Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

BOŞYERLER:

Herhangi bir atom tarafından doldurulmayan kafes yerleridir. Bir atomun bulunması gerekirken boş kalan atomsal boşluklar (boşyerler) en basit noktasal kusurlardır. Atomal boşluklar bütün kristal malzemelerde bulunurlar ve bu kusurların bulunmadığı malzemelerin üretilmesi imkansızdır.

Atomal boşlukların bulunması kristalin düzensizliğini (entropisini) artırır.



13

Bölüm 5

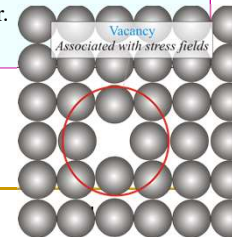
Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

BOŞYERLER:

- Boş yer etrafındaki atomlar artık denge konumlarından uzaklaşmışlardır.
- Bu durum beraberinde bir gerilme alanı oluşmasına neden olur (Termodinamik koşullar nedeniyle sıcaklığın bir fonksiyonu olarak boş yerler oluşabilir).
- Boş yerler rastgele veya düzenli olabilirler. Bir dizilime sahip iseler kristal yapının bir unsuru haline gelirler ve artık bir hata olarak tanımlanmasalar da doğrudur.
- Boş yerlerin denge dışı konsantrasyonları;
 - Yüksek sıcaklıktan su verme
 - Yüksek enerjili partiküllerle bombardıman etme
 - Plastik deformasyon vb. bazı diğer sebeplerden kaynaklanabilir.



Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

BOŞYERLER:

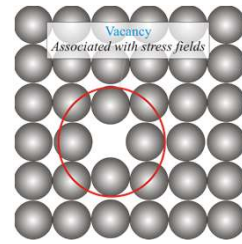
0D
(Noktasal)

Denge durumu için bir malzemede bulunan atomsal boşluk sayısı sıcaklığa bağlı olarak artar.

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

N, birim hacimdeki kafes noktalarının toplam sayısı,
Q, bir boşluğun oluşması için gerekli enerji,
T, Kelvin cinsinden sıcaklık
k, Boltzmann sabiti, $1,38 \times 10^{-23}$ J/atom.K

Sıcaklık arttıkça boşluk sayısı üstel olarak artar.
Çoğu metal için ergime sıcaklığının hemen altında
 N_v/N oranı yaklaşık 10^{-4}
Yani her 10000 kafes noktasından birisi boştur.



15

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

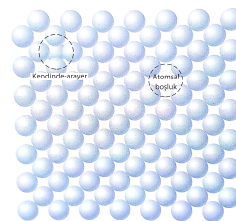
KENDİNDE ARAYER

0D
(Noktasal)

Kristali oluşturan atomlardan biri normal şartlarda atomların bulunmadığı arayer boşluklarına yerleşebilir. Bu tip atomlara kendinde-arayer atomu denir.

Bu arayerlere yerleşen atomların boyutu arayerin boyutuna göre daha fazla olduğundan kafeste yüksek çarpımlara neden olurlar.

Bu tip kusurların oluşma olasılığı yüksek değildir. Dolayısıyla atomsal boşluk miktarına oranla çok daha az miktarlarda bulunur.



16

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YABANCI ATOMLAR:

Malzemede bulunan yabancı atomlarda kristal kusurlarıdır.

Sadece tek bir element atomlarından oluşan yabancı atomların bulunmadığı tamamen saf bir metalin bulunması imkansızdır.

Gelişmiş tekniklerin kullanılması sayesinde dahi %99,9999'dan daha yüksek saflığa sahip olacak şekilde bir metalin elde edilmesi çok zordur.

Bu saflık derecesinde bile bir metreküp malzemede 10^{22} , 10^{23} mertebelerinde empürite atomu bulunur.

Bölüm 5

17

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YABANCI ATOMLAR:

Fakat malzemelere belirli özellikler kazandırmak için yabancı atomlar ilave edilir ve alaşım olarak kullanılırlar.

Örnek, Sterlin gümüşü. % 92.5 Ag, %7.5 Cu

Saf gümüş oldukça yumuşaktır. Bakır ile alaşımlandırma sayesinde gümüşün korozyon dayanımını düşürmeden mekanik özellikleri oldukça iyileştirilir.



https://en.wikipedia.org/wiki/Sterling_silver

Bölüm 5

18

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

YABANCI ATOMLAR SAYESİNDE KATI ÇÖZELTİ OLUŞUMU

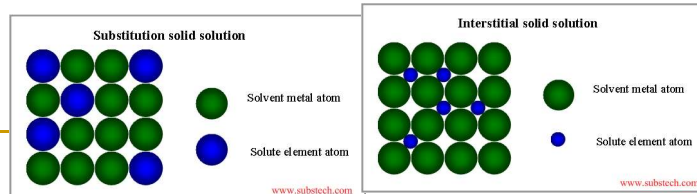
0D
(Noktasal)

İkinci bir atom türünün büyük miktarlarda (% 0.1 mertebesinde) başlayan çeşitli ağırlık oranlarında) ana kafeste bulunması ile elde edilen kristal yapıya katı çözelti (katı ergiyik olarak da adlandırılır) denir. Katı çözeltiler metal alaşımlarında büyük önem taşırlar. Bu kristallerde kafesin yabancı atomlar nedeni ile gerilmesi, dayanımın artmasına yol açar (katı çözelti sertleşmesi).

Alaşımları oluşturan elementlerin anlatımında çözen ve çözünen terimleri kullanılır.

Çözen, alaşımın ana yapısını oluşturan ve en fazla oranda bulunan element atomları için kullanılır.

Çözünen ise az miktarda bulunan element için kullanılır.



Bölüm 5

www.substech.com

www.substech.com

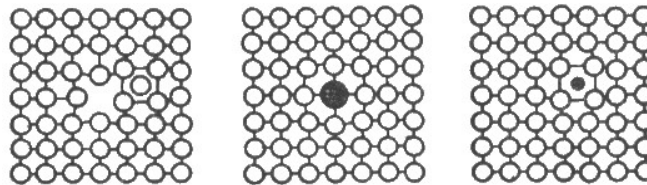
Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YABANCI ATOMLAR:

Yabancı atomlar ana kafes noktalarının yerlerini alırlarsa YERALAN, Bunların aralarına yerleşirlerse ARAYER olarak adlandırılırlar.



Bölüm 5

20

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar (Noktasal)

❑ Kafesin esas elementinin dışındaki bir elementin atomları mevcut atomların arasındaki yerlere veya esas atomların kendi yerlerine yerleşebilirler.

Genellikle arayer atomları boşyerlerden daha büyük boyuta sahiptir

Basma gerilmesi

Basma gerilmesi

Çekme gerilmesi

Empürite
veya alaşım elementi

Arayer

Yeralan

❑ Yeralan elementi için örnek

- Yabancı atom kristalin esas atomunun yerini alır
- **Cu** KYM merkezli kafeste Ni atomlarının yerine yerleşir.

❑ Arayer elementi için örnek

- Yabancı atom kristalin boş yerlerine yerleşir.
- **C** Demirin kafesinin boşyerlerine yerleşir.

21

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar (Noktasal)

YABANCI ATOMLAR:

Oluşan katı çözeltilerde sıvılardaki gibi homojen bir konsantrasyona sahiptir ve empürite atomları katı içinde üniform bir dağılım oluşturacak şekilde gelişigüzel bir şekilde bulunur.

Empürite atomlarının çözen atomlar içinde ne kadar çözünebiliyor olduğu bazı şartlara bağlıdır.

22

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YERALAN KATI ERGİYİK: Etki eden faktörler

1. Atomsal boyut faktörü
2. Kristal yapıları
3. Elektronegativiteleri
4. Değerlikleri

23

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YERALAN KATI ERGİYİK: Etki eden faktörler

1. Atomsal boyut faktörü

Katı ergiyikte kayda değer miktarda çözünen atom bulunabilmesi için iki elementin atom yarıçapları arasındaki farkın % 15'den az olması gerekir. Katı ergiyik oluşumu ve dayanım artışının temeli kafeste oluşturulan distorsiyondur.

Eğer boyut farklı % 15'den fazla ise çözünen atomlar kafeste önemli miktarda çarpılmaya yol açar ve yeni bir faz oluşur.

$$\frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 = \%14 - 15$$

Sıcaklık arttıkça sınırlı katı ergiyik bölgesi genişler ve alaşım çökelti sertleşmesine uygun hale gelmiş olur.

24

Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YERALAN KATI ERGİYİK: Etki eden faktörler

1. Atomal boyut faktörü, %15'den az olmalı
2. Kristal yapıları, aynı olmalı
3. Elektronegativiteleri, yakın olmalı, aksi halde bileşik oluşur. Elektronegativite diğer atomdan bir elektronu kendine çekme gücüdür. Bu katı ergiyik veya bileşik oluşturmada etkin rol oynar. Çözünen elementin elektronegativitesi, çözen elementin ise elektropozitivitesi arttıkça veya tam tersi durumda kararlı bileşikler oluşur.
4. Değerlikleri, diğer şartlar sağlandığında, bir metal değerliği kendinden daha düşük olan bir metale göre, değerliği daha fazla olanı çözmeye daha yatkındır. Yani düşük valanslı bir metal yüksek valanslı bir metali bünyesinde daha fazla eritir. Bunun nedeni ise, düşük valanslı metalin bünyesinde yüksek valanslı elementi eriterek ortalama valans değerini yükseltmek istemesidir.

Bölüm 5

25

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

YERALAN KATI ERGİYİK: Örnek

Bahsedilen şartları sağlayan elementlere örnek: Cu ve Ni

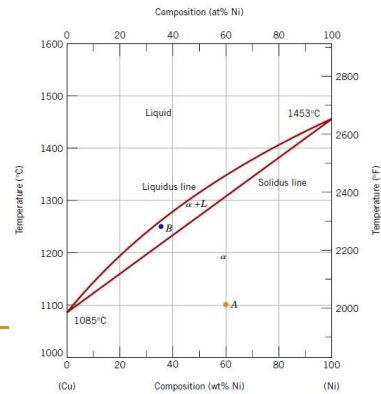
Bakır ve nikel birbiri içinde sınırsızca çözünerek yeralan katı çözeltilisi oluşturur.

Bakırın atom yarıçapı, 0,128 nm ve nikelin atom yarıçapı 0,125 nm 'dir.

Elektronegativiteleri, Cu 1,9 ve Ni 1,8

Değerlikleri, +1 ve +2

Her ikisinde YMK



Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

ARAYER KATI ERGİYİK

Arayer katı çözeltilerinde, empürite atomları arayer boşluklarını doldurur. Dolayısıyla arayer empürite atom çapının çözen atomlarınkine göre oldukça küçük olması gerekir.

Genellikle arayer boşluklarından daha büyük oldukları için en küçük empürite atomları dahi çevrelerinde bulunan matris atomlarında kafes şekil değişimleri oluştururlar.

Yeralan katı ergiyiğinde verilen şartlardan farklı olarak arayer katı ergiyiğindeki fark sadece atomik boyut farkından kaynaklanır.

Küçük boyutlu atomlar kafesdeki atomlararası boşluklara yerleşerek arayer katı ergiyiği oluştururlar.

Bölüm 5

27

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

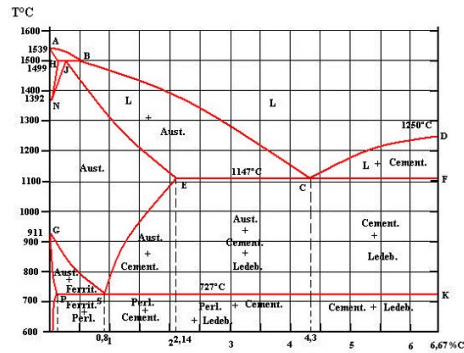
ARAYER KATI ERGİYİK

ÖRNEK:

Karbon atomları demire ilave edildiğinde arayer katı çözeltisi oluşturur.

Karbonun demirdeki maksimum çözünürlüğü yaklaşık %2'dir.

Karbonun atom yarıçapı 0,071 nm, demirin 0,124 nm'dir.



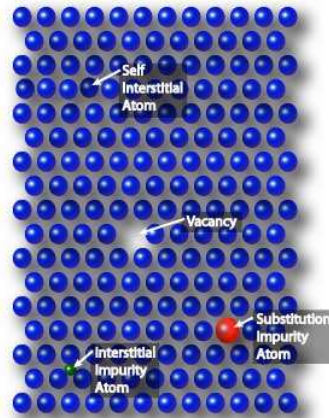
Bölüm 5

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

NOKTASAL HATALAR, ÖZET

0D
(Noktasal)



Bölüm 5

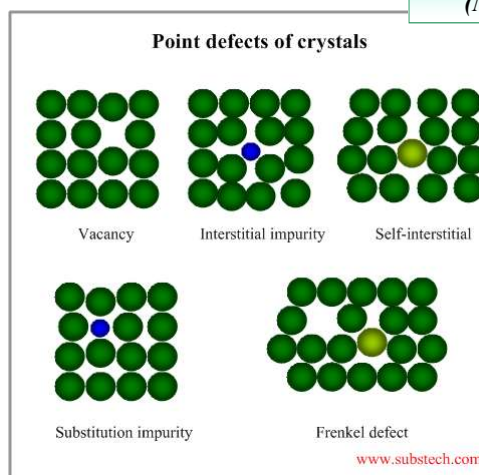
29

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

FRENKEL ÇİFTİ

0D
(Noktasal)



Bölüm 5

30

Mühendislik Malzemeleri

Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

FRENKEL ÇİFTİ

Kafes yerinde bulunması gereken bir atom ara yere dışlanmış olabilir. Böyle bir kusur çoğunlukla atomun kafes yerinden ayrılıp ardında boşyer bırakmasıyla oluşur. FRENKEL çifti.

Frenkel çiftleri malzemeye yüksek enerjili nükleer radyasyon uygulanması ile oluşabilir.

Noktasal kusurların mekanik özelliklere etkisi önemsizdir fakat elektriksel özellikleri önemli oranda etkiler. Aynı zamanda atomsal yayılımı kolaylaştırır.

Bölüm 5

31

Mühendislik Malzemeleri

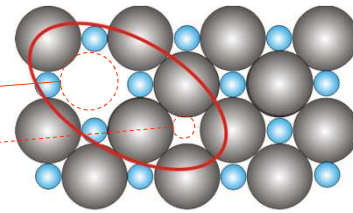
Kristallerde Hatalar

0D
(Noktasal)

Schottky hatası

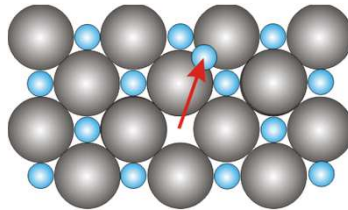
Kayıp anyon

Kayıp katyon



Schottky hatası bir çift anyon ve katyon boşluğundan oluşur. Bu sayede nötr yapı korunur.

Frenkel hatası



İyonik kristal

İyonik kristallerde, hatanın oluşumunda ön planda bulundurulması gereken nokta elektriksel nötrlüğün korunmasındaki zorunluluktur.

Bölüm 5

32