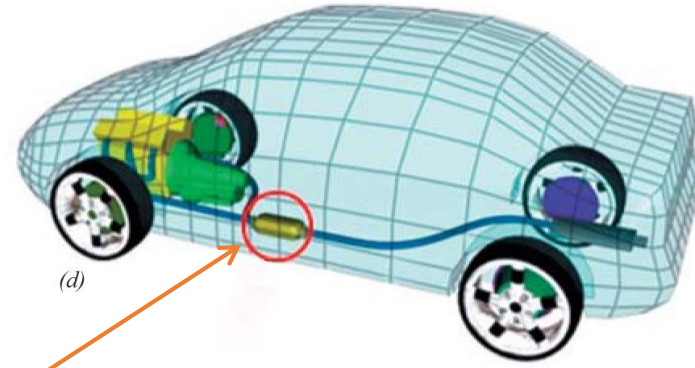


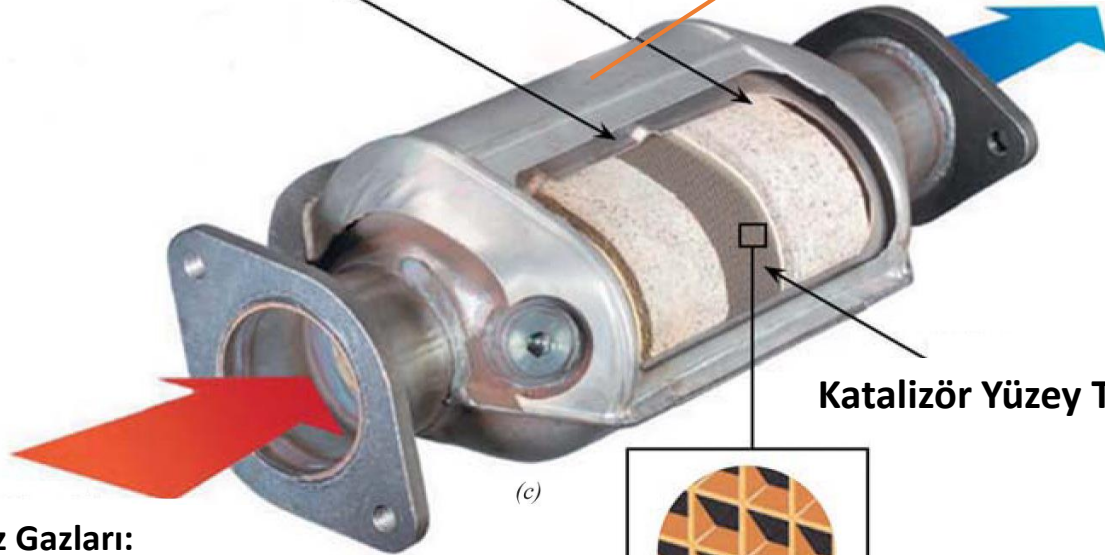
Bölüm 4 Katılarda Kusurlar



Egzoz Emisyonları:
Su
Karbondiyoksit
Azot

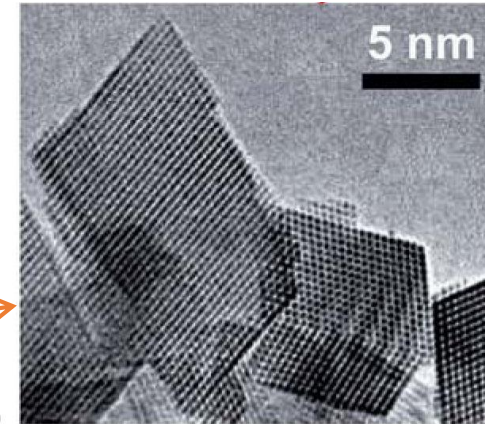
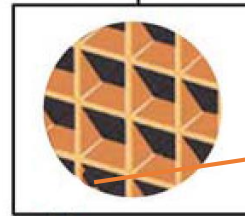
Paslanmaz
Çelik
Gövde

Yalıtım Sargısı



Katalizör Yüzey Tabakası

Egzoz Gazları:
Hidrokarbonlar
Karbon Monoksit
Azot Oksitleri



4.1 GİRİŞ

- Bu bölüme kadar, açıkça ifade edilmese de kristal malzemelerde, atomsal ölçekte mükemmel bir düzenin bulunduğu varsayımı yapılmıştır. Ancak gerçekte böyle mükemmel bir kristal yoktur ve bütün kristallerde çeşitli türde çok sayıda **kusur** bulunur.
- Bu bölümde, (bir ya da iki atom konumu ile ilgili olan) **noktasal**, (bir boyutlu) çizgisel ve (iki boyutlu) arayüz ya da sınır kusurları olmak üzere üç çeşit kristal yapı kusuru anlatılacaktır.

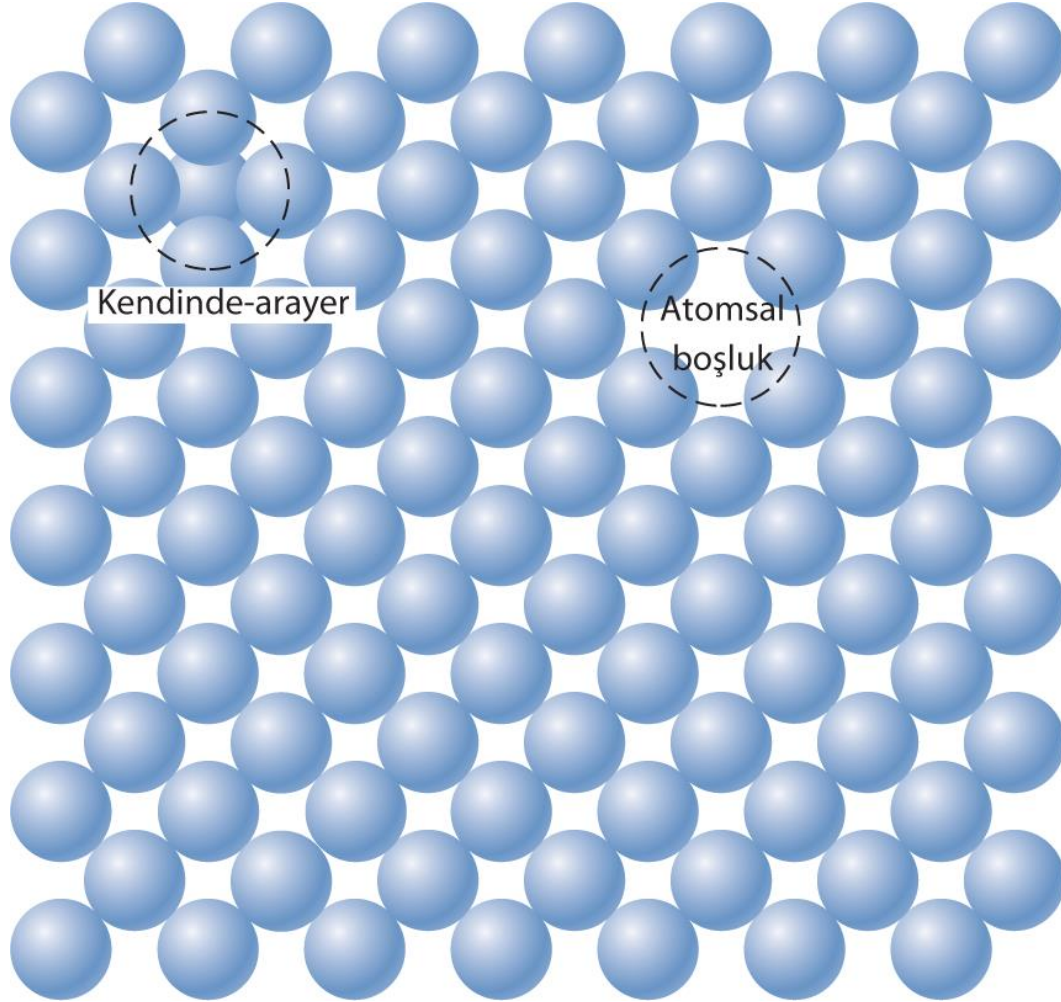
Noktasal Kusurlar

4.2 ATOMSAL BOŞLUK (BOŞYER) VE KENDİNDE-ARAYER ATOMLARI

- Bir atomun bulunması gerekirken boş kalan **atomsal boşluk** (boşyer) veya diğer bir ifadeyle boş kafes noktaları en basit noktasal kusurlardır ([Şekil 4.1](#)).

Denge durumundaki boşyer sayısının sıcaklığa bağlı olarak değişimi

$$N_b = N \exp \left(-\frac{Q_b}{kT} \right) \quad (4.1)$$



Şekil 4.1 Atomsal boşluk ve kendinde-arayer atomu kusurlarının iki boyutta şematik olarak gösterimi. (W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, p.77 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup, John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

$$N_b = N \exp \left(-\frac{Q_b}{kT} \right) \quad (4.1)$$

- Bu ifadede, N birim hacimdeki kafes noktalarının toplam sayısı, Q_b bir boşluğun oluşması için gerekli enerji, T Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık, k ise gaz ya da **Boltzmann sabiti**dir.
- Kristali oluşturan atomlardan biri, normal şartlarda atomların bulunmadığı arayer boşluklarına girebilir. Bu tip atomlara **kendinde-arayer atomu** denir. [Şekil 4.1](#)'de bu tür bir kusur da gösterilmiştir.

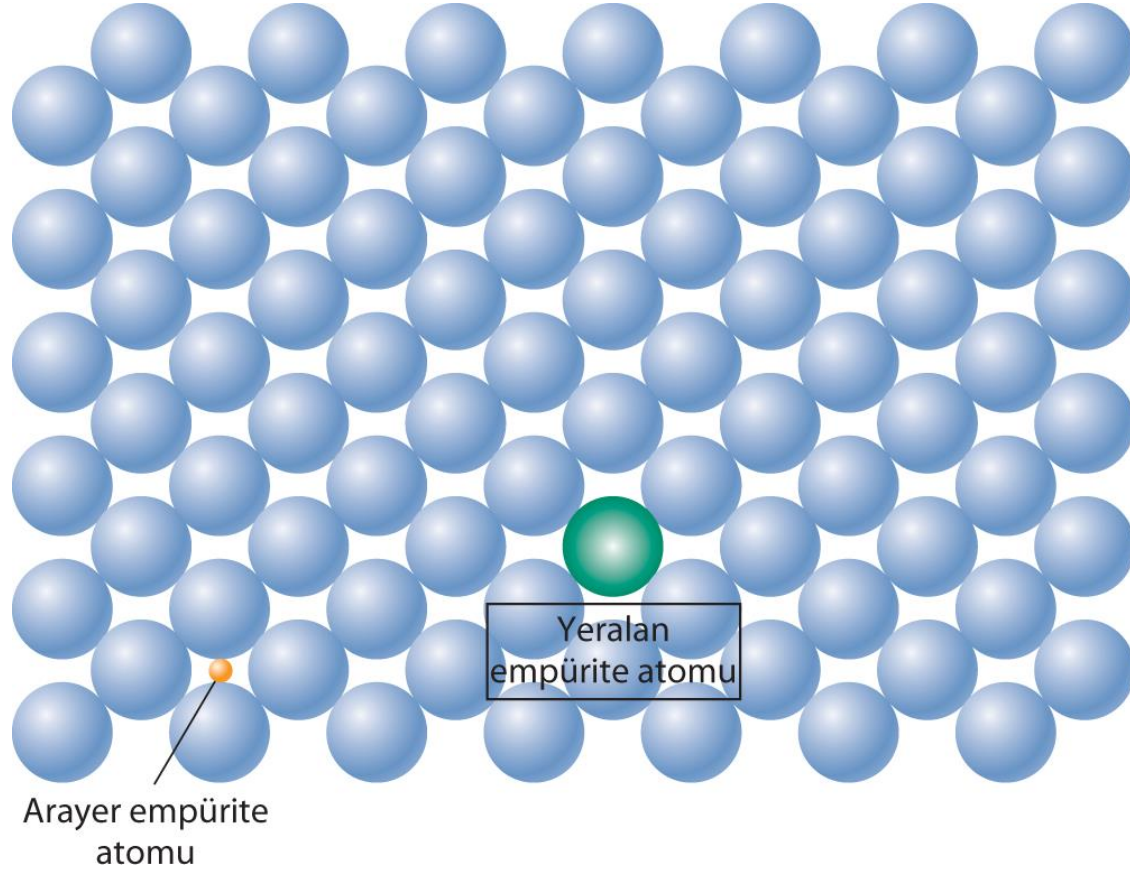
4.3 KATILARDA EMPÜRİTELER

- Yaygın olarak kullanılan metallerin çoğunda, malzemelere belirli özellikler kazandırmak üzere empürite atomları bilerek ilave edilir ve dolayısıyla saf metallerin yerine, daha çok **alaşım**ları kullanılır.
- Bir metale empürite atomlarının ilave edilmesi sonucu, empüritenin türüne, konsantrasyonuna ve alaşımın sıcaklığına bağlı olarak **kati çözelti** ve/veya *yeni ikinci bir faz* oluşabilir.

- Alaşımları oluşturan elementlerin anlatımında daha çok **çözen** ve **çözünen** terimleri kullanılır.
- *Çözen*, alaşımın ana yapısını oluşturan ve en yüksek miktarda bulunan element atomları için kullanılır.
- Daha az miktarda bulunan element için ise *çözünen* ifadesi kullanılır.

Katı Çözeltiler

- Empürite noktasal kusurları, katı çözeltilerde buldukları yere göre **yeralan** ve **arayer** olmak üzere ikiye ayrılır.
- Yeralan türünde, çözünen ya da empürite atomları bazı kafes noktalarında, çözen atomlarının yerlerini alır ([Şekil 4.2](#)).



Şekil 4.2 Yeralan ve arayer empürite atomlarının iki boyutta şematik gösterimi (W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p.77 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

4.4 BİLEŞİMİN BELİRLENMESİ

- Genellikle, bir alaşımın içerdiği elementlere göre **bileşiminin** (ya da *konsantrasyonunun*) belirtilmesi gerekir.
- **Ağırlık oranı (yüzdesi)** (ağ.%) bir alaşımın yapısında bulunan belirli bir elementin ağırlığının, alaşımın toplam ağırlığı içindeki yüzde oranıdır.

İki elementten oluşan
bir alaşımda ağırlık
oranının hesaplanması

$$C_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100 \quad (4.3)$$

- **Atom yüzdesi** (at.%) alaşımı oluşturan belirli bir elementin mol sayısının, alaşımın içindeki elementlerin toplam mol sayısı içindeki yüzde oranıdır.

İki elementten
oluşan bir alaşımda
atom yüzdesinin
hesaplanması

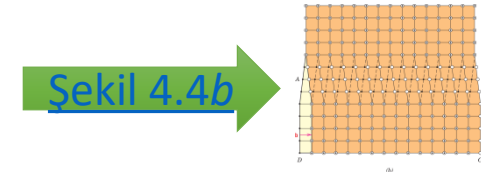
$$C'_1 = \frac{n_{m1}}{n_{m1} + n_{m2}} \times 100 \quad (4.5)$$

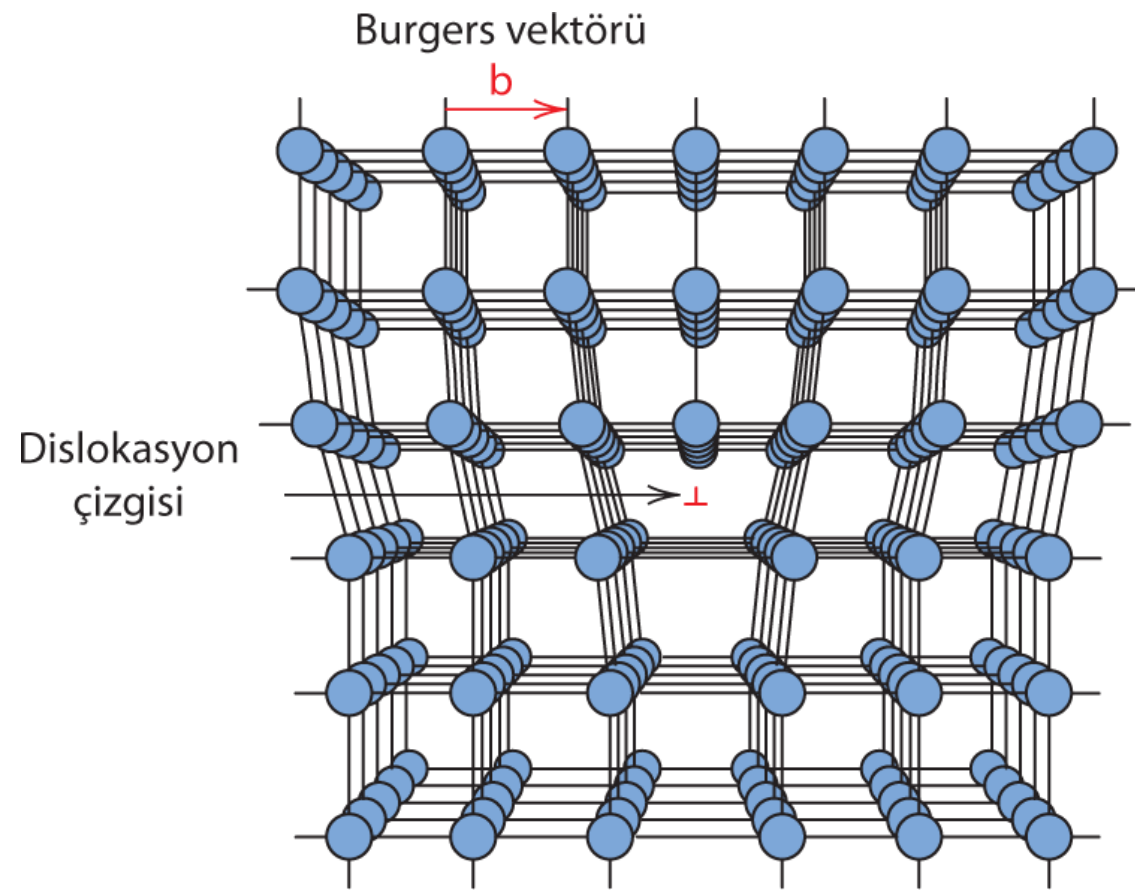
Diğer Kusurlar

4.5 DİSLOKASYONLAR–ÇİZGİSEL KUSURLAR

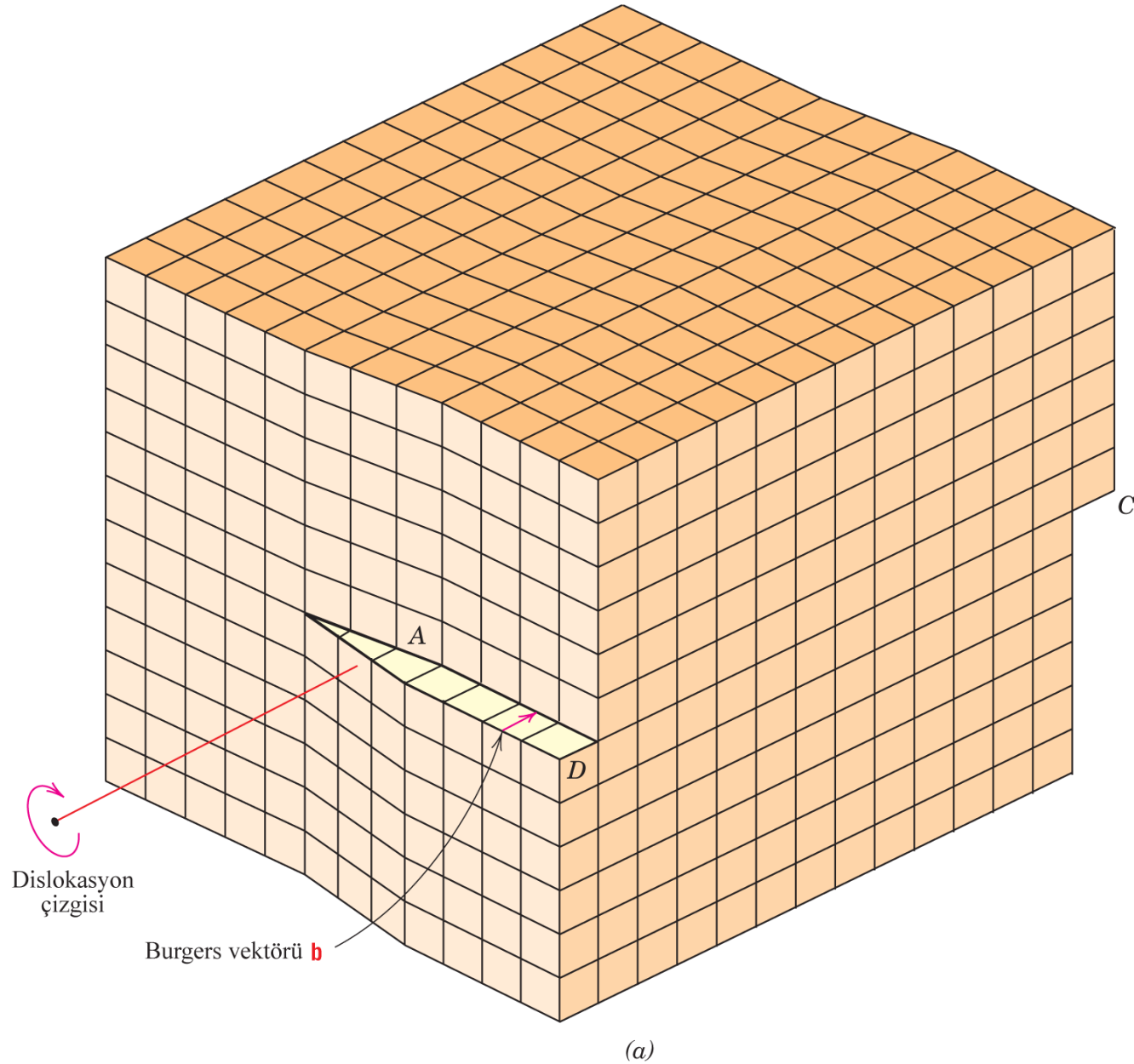
- *Dislokasyonlar*, çevrelerindeki bazı atomların kristal içindeki düzene bir miktar aykırı olarak konumlandıkları çizgisel veya tek boyutlu kusurlardır.
- Bir kristalin içerisinde sona eren bir ek (ilave) düzlem veya ek yarı düzlemin bulunduğu [Şekil 4.3](#)'te dislokasyon türlerinden biri olan **kenar dislokasyon** şematik olarak gösterilmiştir.

- Dislokasyonun merkezinde yer alan ve ek yarı düzlemin kristal içinde sonlandığı kenar boyunca tanımlanan çizgiye **dislokasyon çizgisi** denir. [Şekil 4.3](#)'teki kenar dislokasyonu için dislokasyon çizgisi sayfa düzlemine dik olarak uzanmaktadır.
- Bir diğer dislokasyon türü de **vida dislokasyonudur**. Bu kusurun [Şekil 4.4a](#)'da gösterilen çarpılmayı oluşturacak şekilde uygulanan bir kayma gerilmesi sonucu meydana geldiği düşünülebilir.



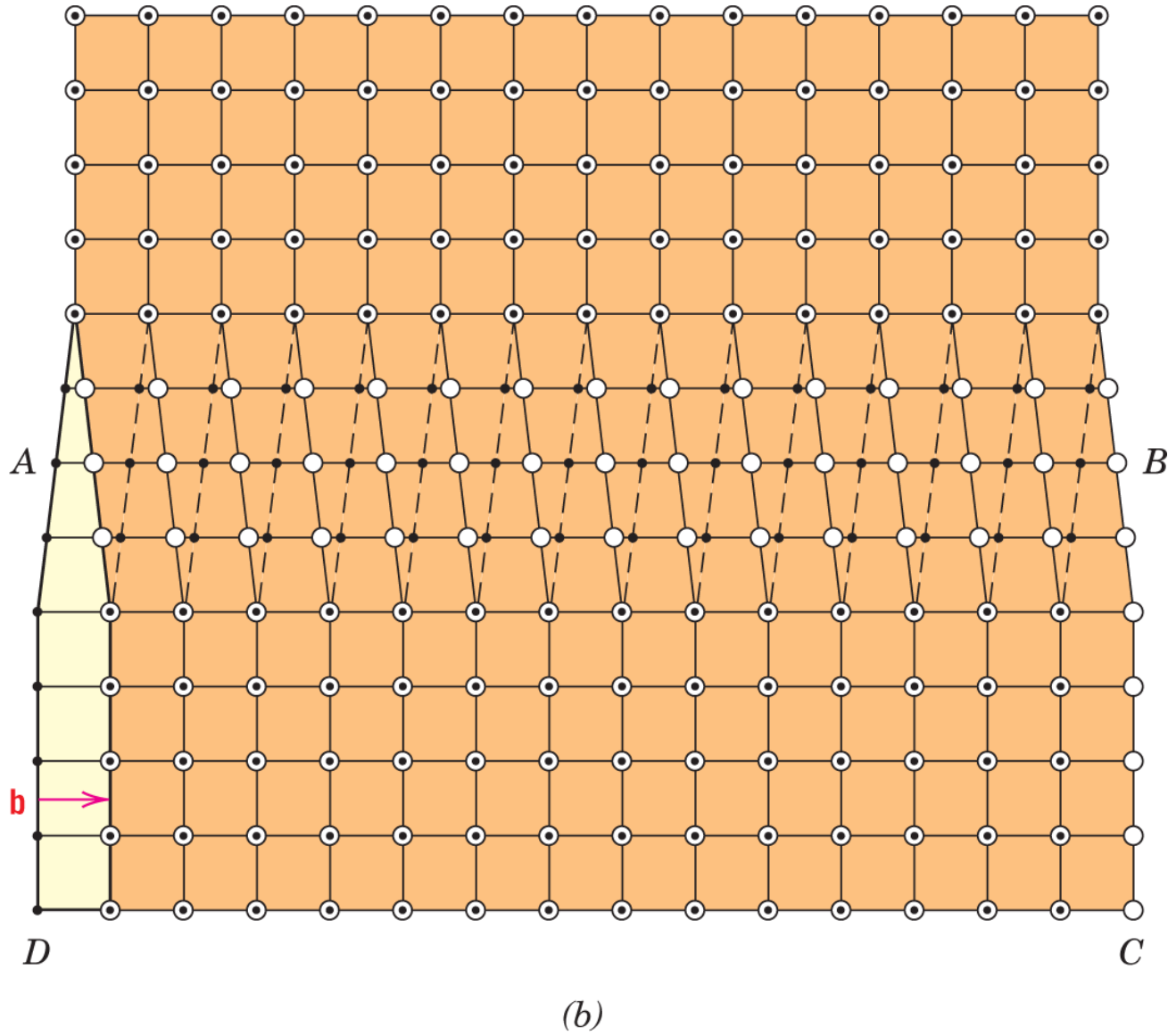


Şekil 4.3 Bir kenar dislokasyonu etrafındaki atom konumlarının şematik gösterimi. Atomlar sayfa düzleminde içeri doğru üç boyutlu olarak gösterilmiştir. (A.G. Guy, *Essentials of Materials Science*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976, p.153).



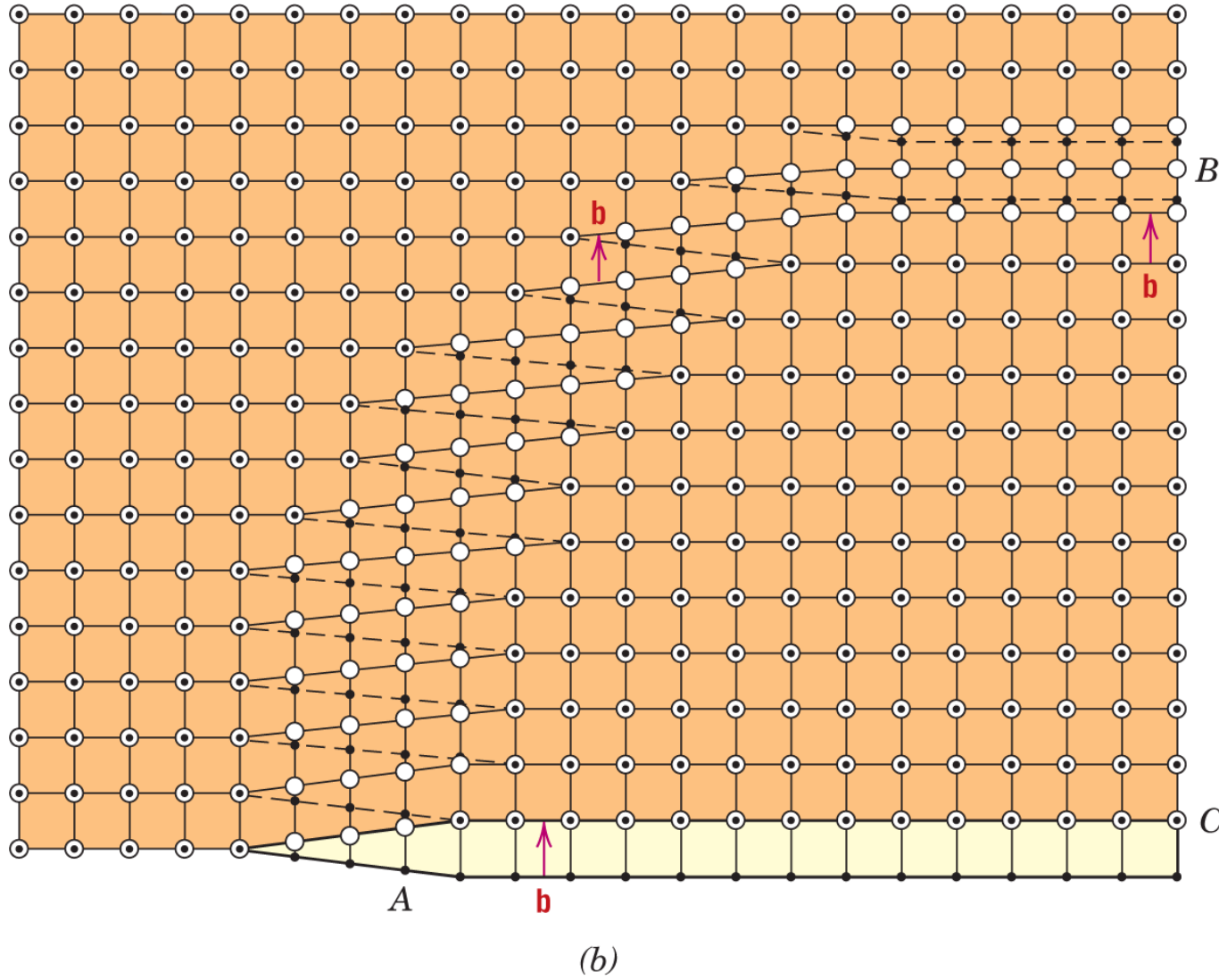
Şekil 4.4 (a) Kristal yapıda bir vida dislokasyonu (b) (a) şikkındaki dislokasyonun üstten görünüşü. Dislokasyon çizgisi *AB* boyunca uzanmaktadır. Kayma düzleminin üzerindeki atomların yerleri içi boş dairelerle, altındakiler ise içi dolu dairelerle gösterilmiştir. [Şekil (b) W.T. Read, Jr., “*Dislocations in Crystals*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.]

Şekil 4.4b



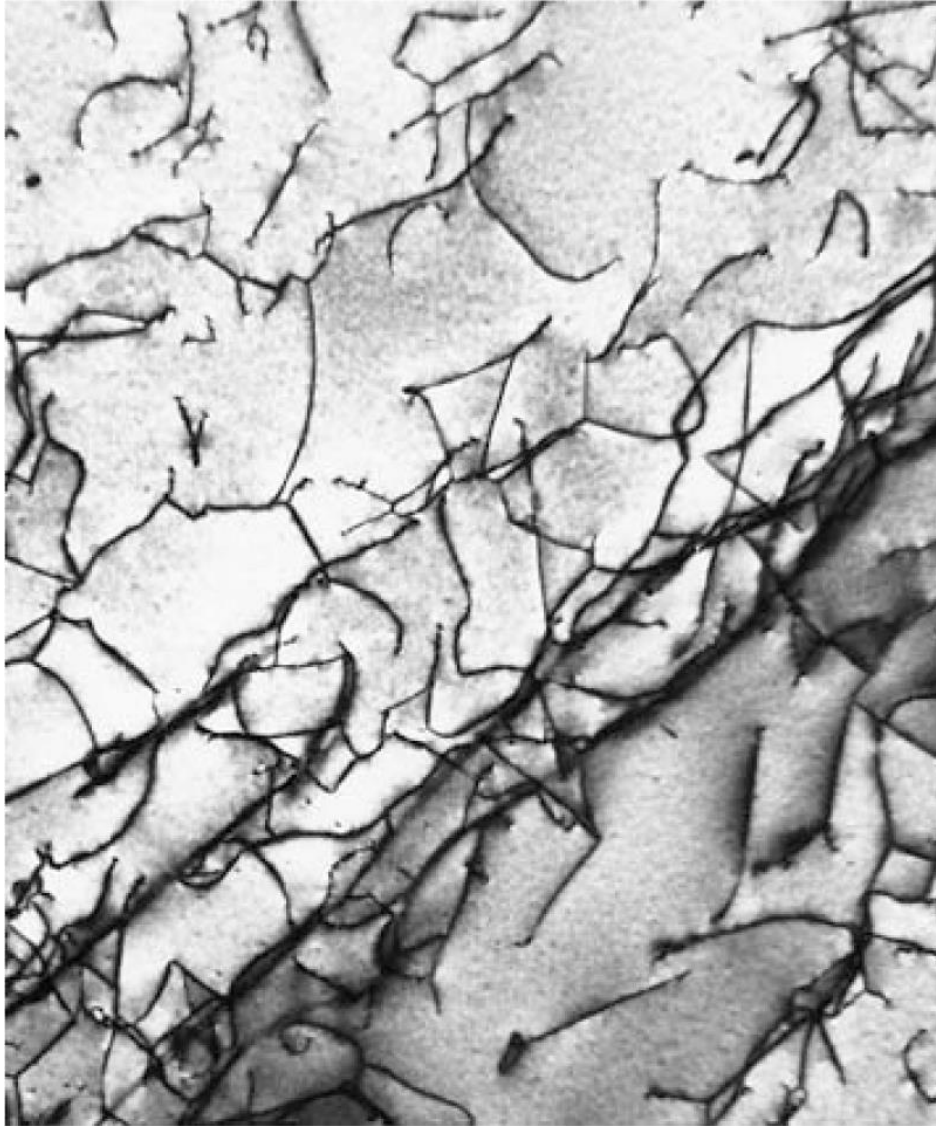
Şekil 4.4 (a) Kristal yapıda bir vida dislokasyonu (b) (a) şıkkındaki dislokasyonun üstten görünüşü. Dislokasyon çizgisi AB boyunca uzanmaktadır. Kayma düzleminin üzerindeki atomların yerleri içi boş dairelerle, altındakiler ise içi dolu dairelerle gösterilmiştir. [Şekil (b) W.T. Read, Jr., “*Dislocations in Crystals*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.]

- Kristal malzemelerde dislokasyonların çoğu tek türde yani sadece kenar veya vida dislokasyonu halinde bulunmaz. Daha çok her iki türün bir arada bulunduğu yani vida ve kenar bileşenlerinden oluşan **karişik dislokasyon** hâlinde bulunurlar. [Şekil 4.5](#)'te bu üç dislokasyon türü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5 (a) Kenar, vida ve karışık dislokasyonların şematik gösterimi. (b) Bu dislokasyonun üstten görünüşü. Kayma düzleminin üzerindeki atomların yerleri içi boş dairelerle, altındakiler ise içi dolu dairelerle gösterilmiştir. *A* noktasında sadece vida dislokasyonu, *B* noktasında ise sadece kenar dislokasyonu söz konusudur. Dislokasyon çizgisinin eğrisel halde bulunduğu *A* ile *B* arasındaki kısımda, dislokasyon vida ve kenar bileşenlerinin bulunduğu karışık karakterdedir. [Şekil (b) W.T. Read, Jr., "Dislocations in Crystals, McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.]

- Bir dislokasyonun kafeste oluşturduğu çarpılmanın yönü ve büyüklüğü, **b** harfi ile gösterilen **Burgers vektörü** ile ifade edilir. [Şekil 4.3](#) ve [4.4](#)'te kenar ve vida dislokasyonları için Burgers vektörleri gösterilmiştir.



0.2 μm

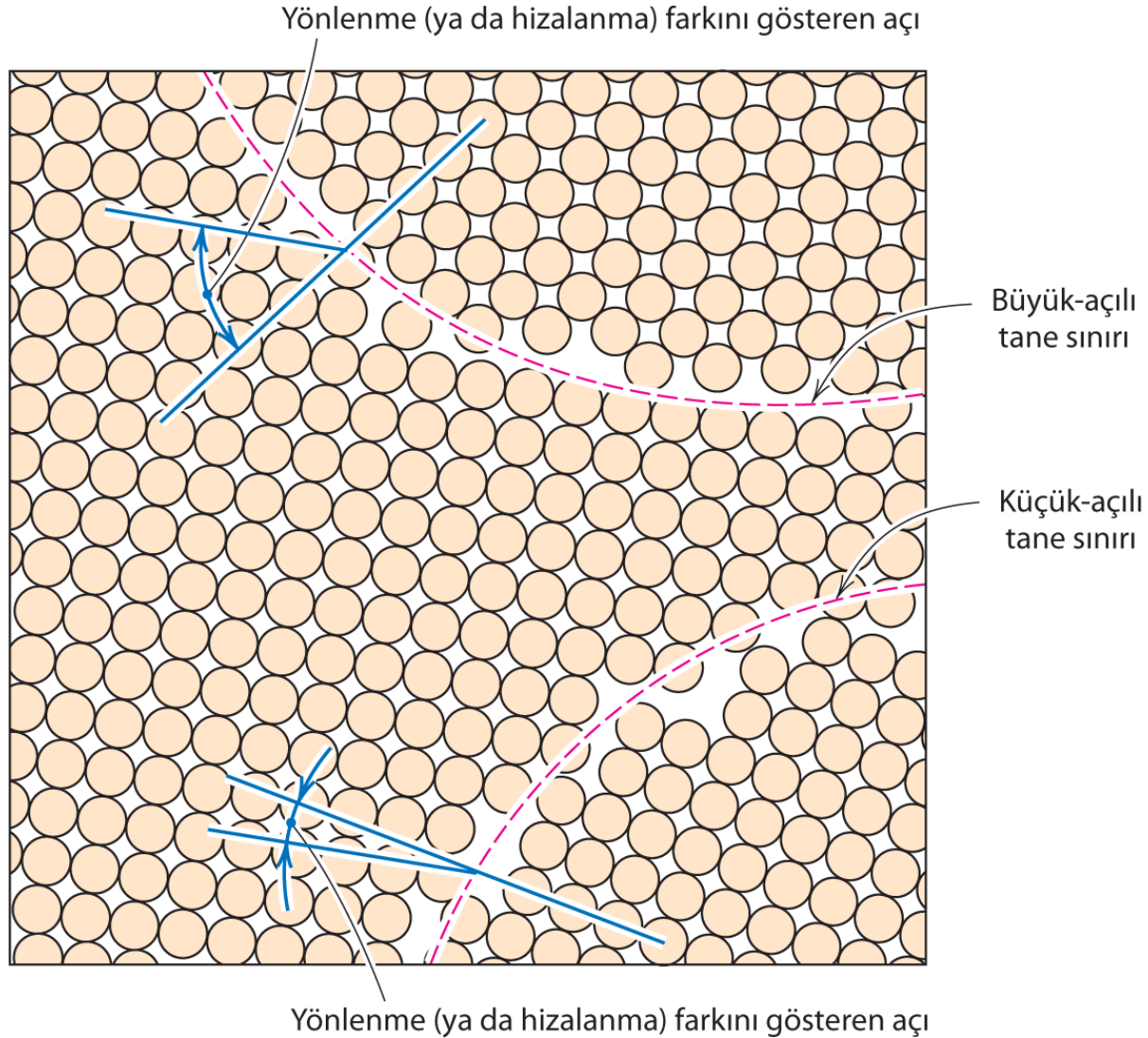
Şekil 4.6 Bir titanyum alaşımının transmisyon elektron mikroskobu görüntüsü. Dislokasyonlar koyu çizgiler şeklinde görülmektedir. $\times 51450$. [M.R. Plichta'nın izniyle, Michigan Technological University.]

4.6 ARAYÜZ KUSURLARI

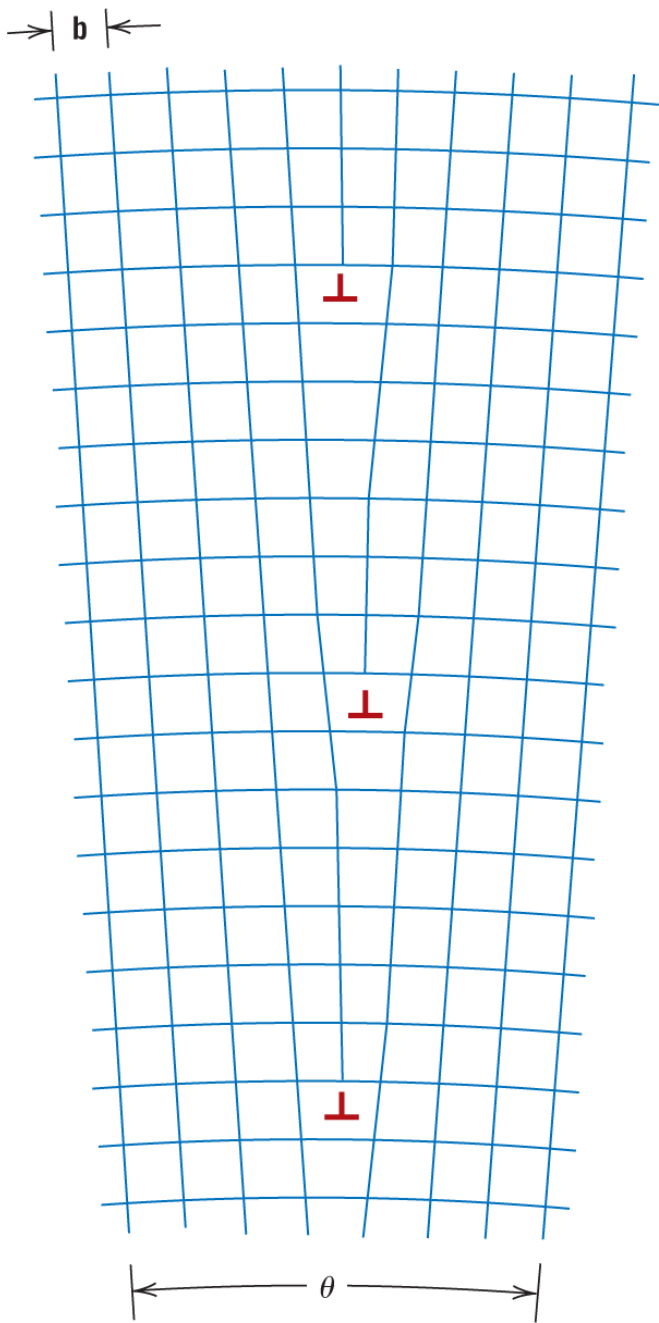
Dış Yüzeyler

- En belirgin arayüz kusurlarından olan dış yüzeylerde, kristal yapı sona erer.
- Yüzey atomları yapabileceklerinden daha az sayıda komşu atom ile bağ yaptıkları için, iç kısımlardaki atomlara göre enerjileri daha yüksektir.

Tane Sınırları



Şekil 4.7 Küçük ve büyük açılı tane sınırlarının ve tane sınırı civarındaki atom konumlarının şematik gösterimi

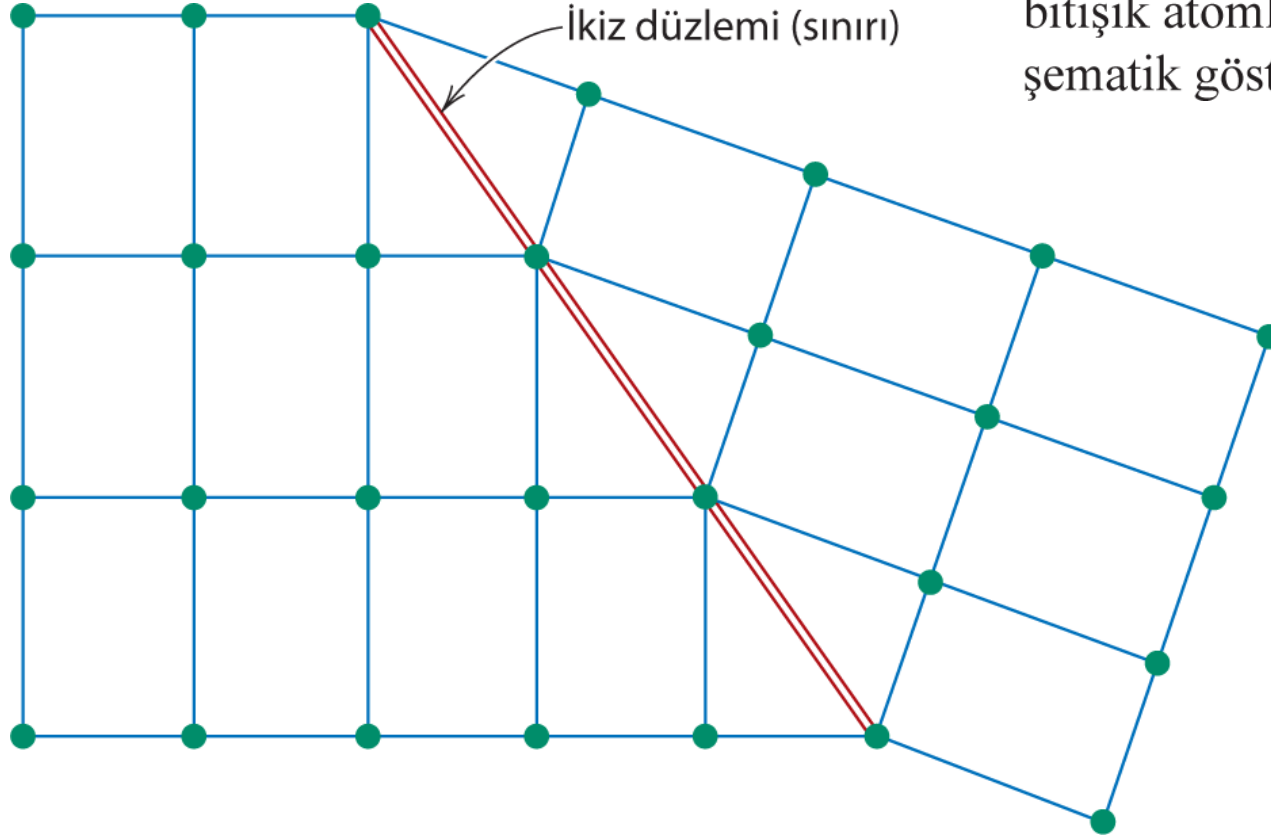


Şekil 4.8 Kenar dislokasyonların hizalanmasıyla yönlenme farkının θ olduğu bir eğik sınırın nasıl oluştuğunu gösteren şematik çizim

Faz Sınırları

- Çok fazlı malzemelerde, sınırın iki tarafında başka fazların bulunduğu *faz sınırları* bulunur.
- Ayrıca alaşımı oluşturan her fazın kendine özgü fiziksel ve/veya kimyasal özellikleri vardır.

İkiz Sınırları



Şekil 4.9 İkiz düzlemi ya da sınırı ve bitişik atomlara (içi dolu daireler) ait şematik gösterim

Diğer Arayüz Kusurları

- Diğer arayüz kusurları olarak dizi hataları ve ferromanyetik domain sınırları sayılabilir.
- **Dizi hataları**, YMK kristal yapılı metallerde sıkı-paketlenmiş (istiflenmiş) düzlemlerin *ABCABCABC . . .* şeklindeki dizilişlerinde meydana gelen bir kesinti sonucu oluşur.
- Ferromanyetik ve ferrimanyetik malzemelerde değişik manyetiklenme yönlerine sahip bölgeleri ayıran sınırlar **domain sınırı** olarak adlandırılır.

4.7 HACİM KUSURLARI

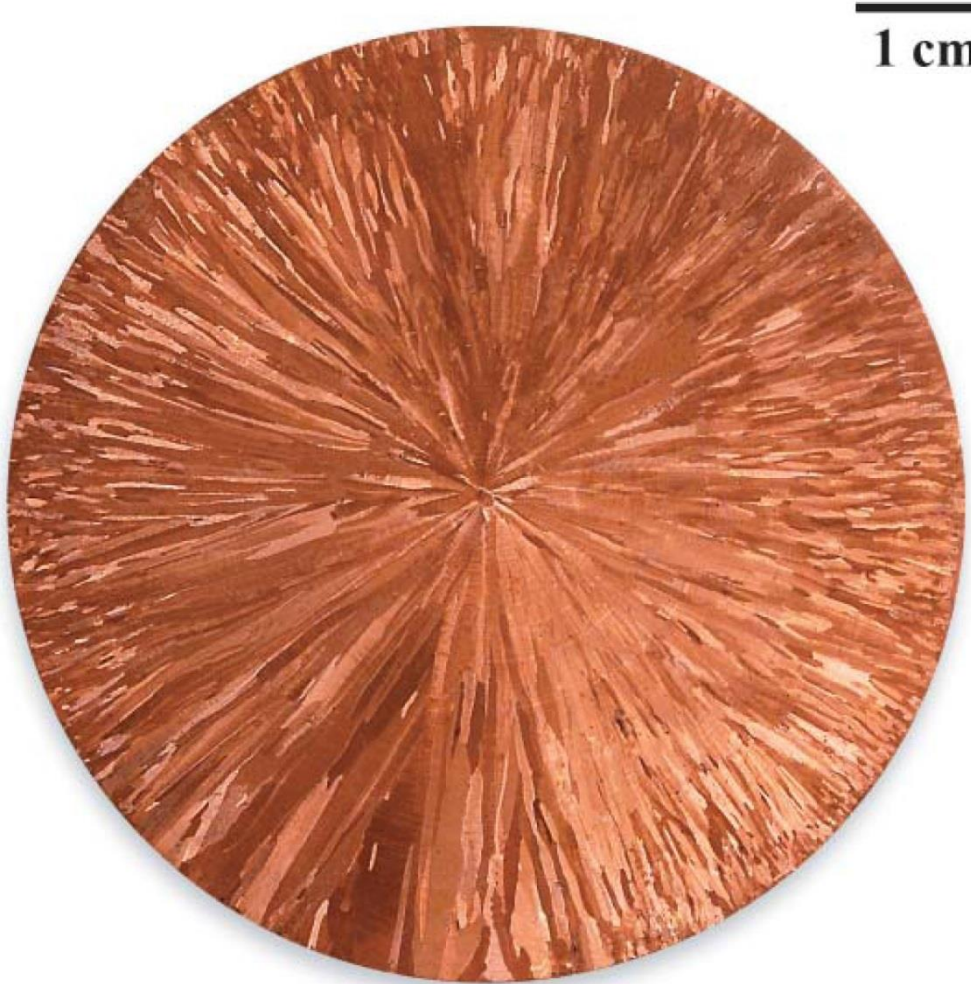
- Bütün katılarda, imalat ya da üretim aşamaları sırasında oluşan gözenekler, çatlaklar, yabancı katışımlar ve diğer fazlar gibi buraya kadar anlatılanlara göre çok daha büyük olan kusurlar da bulunur.

4.8 ATOM TİTREŞİMLERİ

- Katı malzemelerdeki bütün atomlar, kristal kafes noktalarında çok hızlı bir şekilde titreşir.
- Atomların yerlerinde sabit durmadıkları göz önüne alındığında, **atom titreşimleri** de kusur olarak düşünülebilir.

Mikroskopik İnceleme (Muayene)

4.9 MİKROSKOBİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR



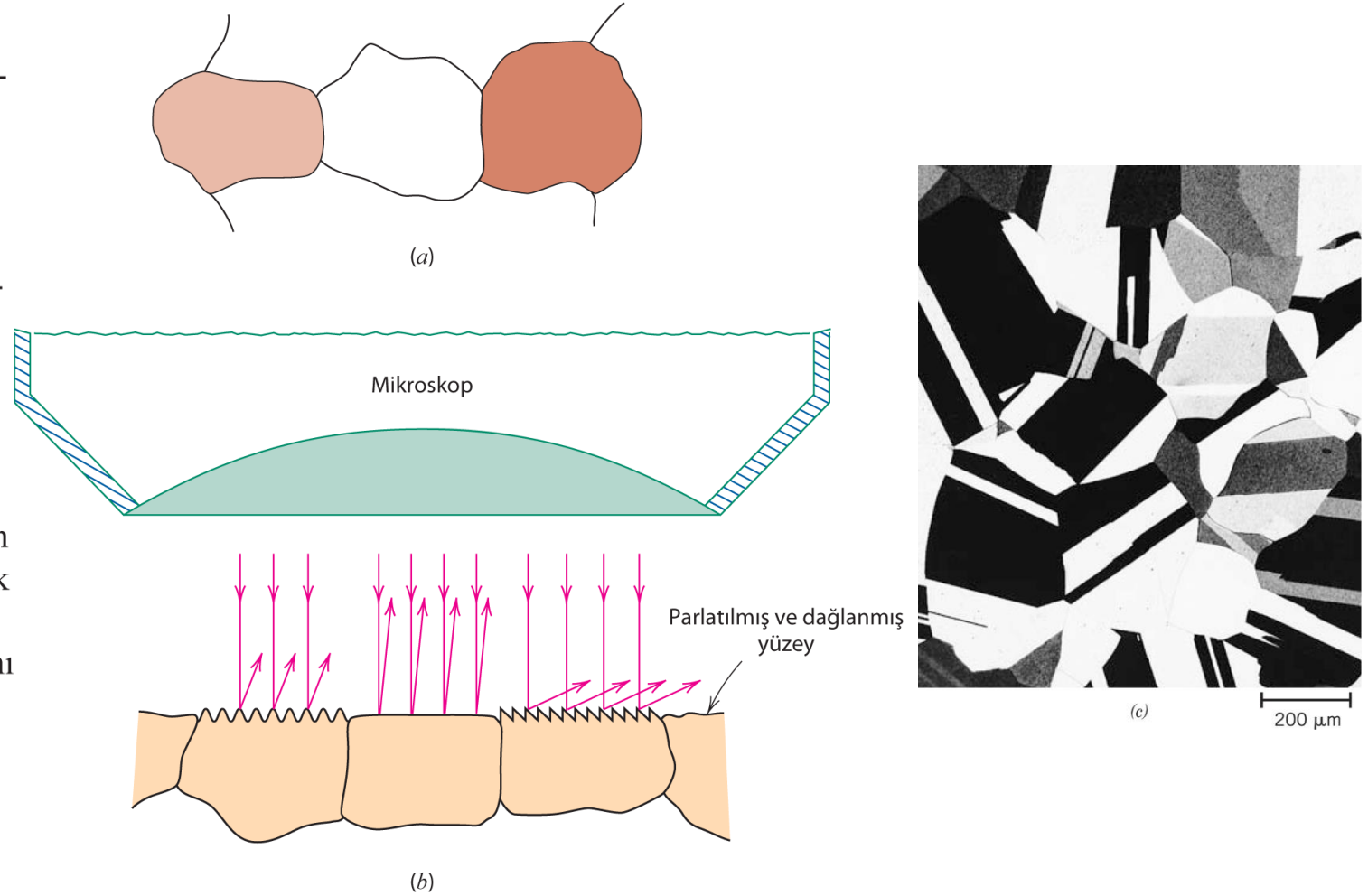
Şekil 4.12 Merkezden dışarı doğru uzanan iğne şeklinde tanelerin görüldüğü silindirik bir bakır ingot kesiti

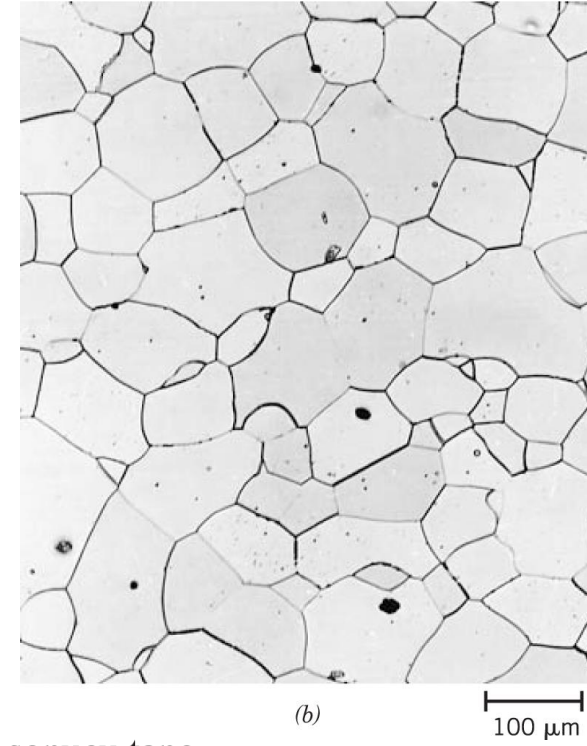
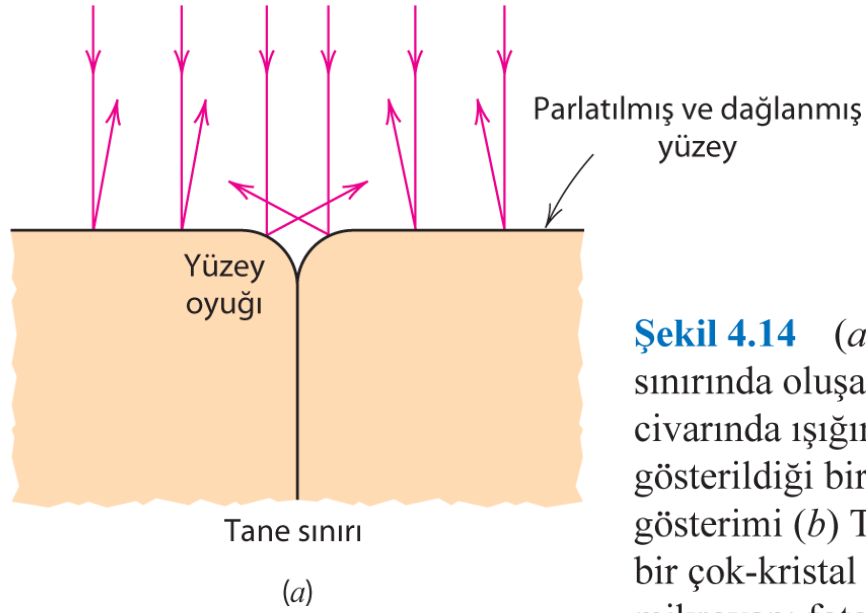
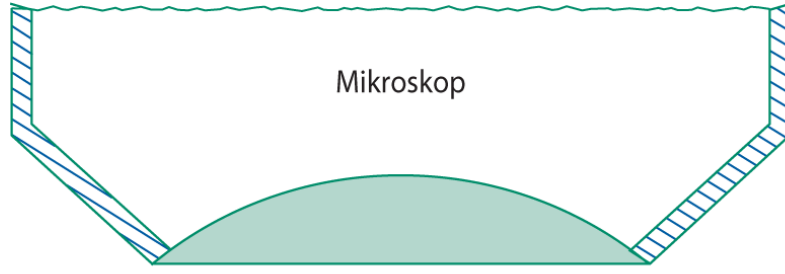
- Tane boyutu ve şekli **mikroyapı** özelliklerinden iki tanesidir.
- Malzemelerin mikroskopik incelenmesinde optik, elektron ve tarama uç (tarama prob) **mikroskop**ları yaygın olarak kullanılır. Bütün malzeme türleri için, mikroyapı özelliklerinin incelenmesinde bu araçlar kullanılmaktadır.
- Bu tekniklerin bazılarında mikroskopun yanında bir fotoğraf çekme ünitesi de bulunur ve bu ünite vasıtası ile çekilen ve kaydedilen fotoğraf **fotomikrograf** olarak adlandırılır.

4.10 MİKROSKOBİK İNCELEME YÖNTEMLERİ

Optik Mikroskop ile İnceleme

Şekil 4.13 (a) Parlatılmış ve dağlanmış tanelerin optik mikroskopta nasıl görünebileceğini, (b) (a) şikkında görülen tanelerin bulunduğu bölgenin kesitinde kristal yönlenmelerinin farklı olmasından dolayı, dağlama davranışlarının ve dağlama sonucu oluşan yüzey dokularının, taneden taneye nasıl değişebileceğini gösteren şematik resimler. (c) Çok kristalli bir pirinç numunenin mikroyapısını gösteren fotoğraf. $\times 60$ [İç yapı görüntüsü J.E. Burke'nin izniyle kullanılmıştır. General Electric Co.]





Şekil 4.14 (a) Dağlama sonucu tane sınırında oluşan oyuğun ve bu oyuğun civarında ışığın muhtemel yansıma şeklinin gösterildiği bir tane sınırı kesitinin şematik gösterimi (b) Tane sınırlarının koyu gösterimi bir çok-kristal demir-krom alaşımının mikroyapı fotoğrafı. $\times 100$. [İç yapı görüntüsü L. C. Smith ve C. Brady'in izniyle kullanılmıştır. (artık the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. olan) the National Bureau of Standards Washington, DC.]

Elektron Mikroskobu ile İnceleme

- Bir optik mikroskop ile elde edilebilecek en büyük büyütme oranının üst sınırı yaklaşık 2000 büyütmedir. Bunun yanında, bazı yapısal öğeler optik mikroskop ile inceleme yapılmasına olanak vermeyecek kadar ince ve küçüktür. Bu gibi durumlarda, çok daha büyük büyütmelerin mümkün olduğu **elektron mikroskopları** kullanılabilir.

Transmisyon (geçirimli) Elektron Mikroskobu

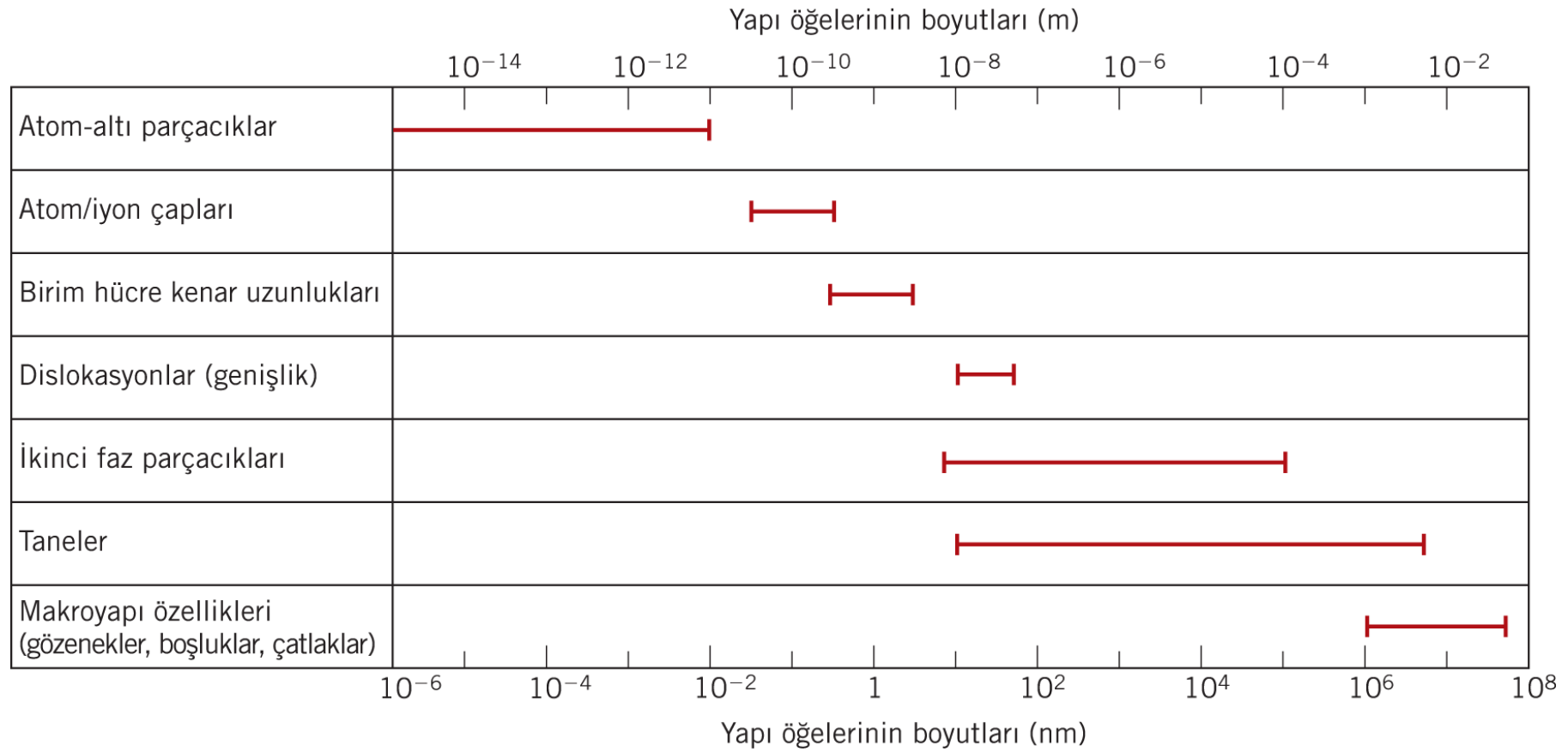
- Bir **transmisyon elektron mikroskobu (TEM)** ile elde edilen bir görüntü, numune içinden geçen elektron ışınları tarafından oluşturulur ve bu yöntem ile numunenin iç kısımlarında bulunan mikroyapı ayrıntılarının gözlenmesi mümkündür.

Tarama Elektron Mikroskobu

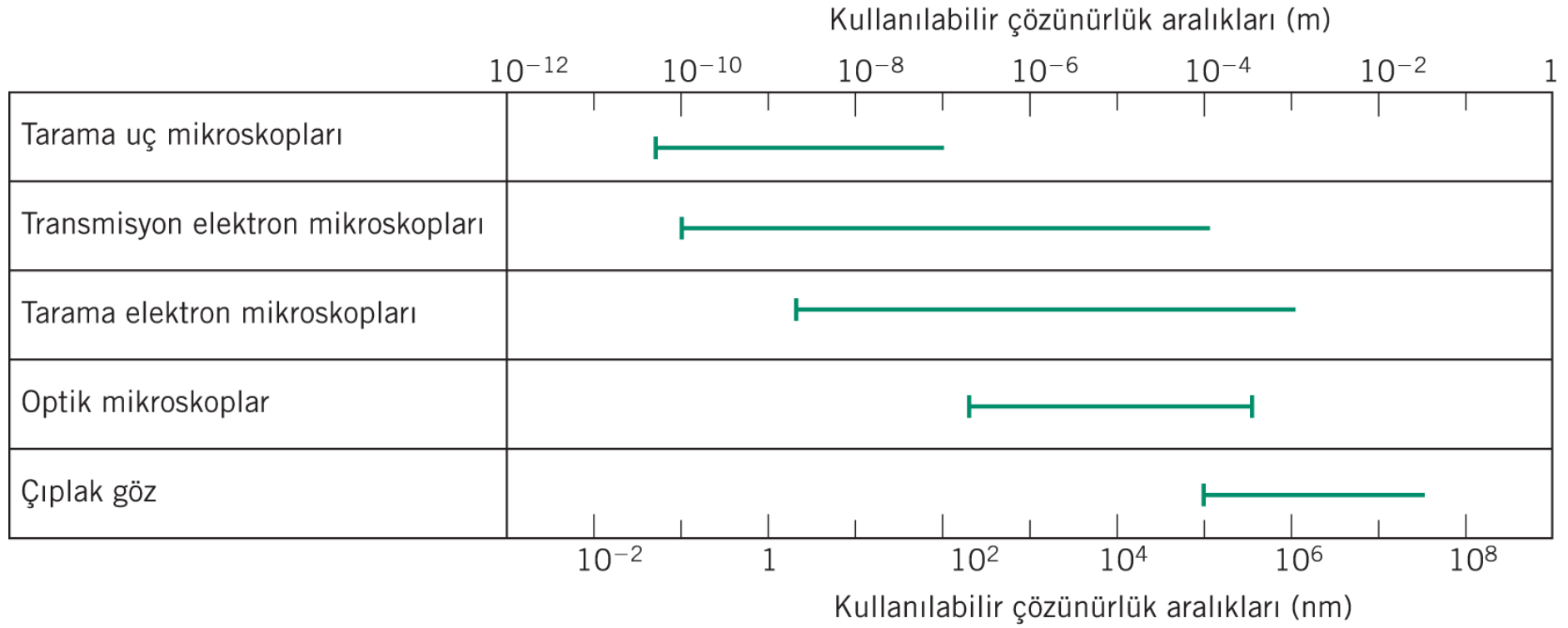
- **Tarama elektron mikroskobu [Scanning electron microscopy (SEM)]** çok daha yeni ve son derece kullanışlı bir inceleme aracıdır. İncelenecek numunenin yüzeyi bir elektron demeti ile taranır ve yansıyan (ya da geri-saçınan) elektron ışınları toplanır ve tarama hızı ile aynı hızda (tüplü televizyon ekranlarında olduğu gibi) katot ışınım tüpü üzerinde gösterilir.

Tarama Uç (probe) Mikroskobu

- Son on beş yıl içinde tarama uç mikroskop ailesinin gelişmesi ile mikroskopi alanında bir devrim yaşanmıştır. Birkaç farklı çeşidi bulunan **tarama uç mikroskobu (TUM)** görüntünün oluşturulmasında ışık veya elektron kullanmadığı için optik ve elektron mikroskoplarından ayrılır.
- Bu mikroskop diğerlerinden farklı olarak atomsal ölçekte, incelenen numunenin yüzey özelliklerini ve detaylarını temsil eden bir topoğrafik harita oluşturur.



Şekil 4.15 (a) Malzemelerde bulunan bazı yapıların boyut aralıklarını (b) bu bölümde anlatılan mikroskopik yöntemler ve çıplak göz ile gerçekleştirilen incelemeler için kullanışlı boyut çözünürlük aralıklarının yatay çizgilerle gösterildiği grafikler. (Prof. Sidnei Paciornik, DCMU PUC-Rio de Janeiro, Brazil ve Prof. Carlos Pérez Bergmann, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil'in izni ile basılmıştır.)



Şekil 4.15 (a) Malzemelerde bulunan bazı yapıların boyut aralıklarını (b) bu bölümde anlatılan mikroskopik yöntemler ve çıplak göz ile gerçekleştirilen incelemeler için kullanışlı boyut çözünürlük aralıklarının yatay çizgilerle gösterildiği grafikler. (Prof. Sidnei Paciornik, DCMM PUC-Rio de Janeiro, Brazil ve Prof. Carlos Pérez Bergmann, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil'in izni ile basılmıştır.)

4.11 TANE BOYUTUNUN BELİRLENMESİ

- Çok kristalli malzemelerin özellikleri açısından genellikle **tane boyutu**nun bilinmesi gerekir.

ASTM tane boyutu numarası ile bir santimetre karede bulunan ortalama tane sayısı ($\times 100$ büyütme için) arasındaki ilişki

$$N' = 0,155 \times 10^{(0,301)(n-1)} \quad (4.16)$$