

MÜHENDİSLER İÇİN YARIİLETKEN FİZİĞİ

FIZ1951

Ders Adı	Kodu	Yerel Kredi	AKTS	Ders (saat/hafta)	Uygulama (saat/hafta)	Laboratuvar (saat/hafta)
Mühendisler için Yarıiletken Fiziği	FIZ1951	3	5	3	0	0

Ara Sınavlar	2	60
Final	1	40
TOPLAM		100

Hafta	Konular	DERS İÇERİĞİ
1	Ders içeriği tanıtımı, Yarıiletken Fiziği-1 (Elektriksel, optik, manyetik) Yarıiletkenlerin Uygulamaları	
2	Elektriksel Özellikler Maddelerin elektriksel özelliklerine göre sınıflandırılması. (Özdirenç ve sıcaklıkla değişimi, Bant yapıları)	
3	Yarıiletken tipleri (Saf, n-tipi, p-tipi)	
4	Denge durumunda yarıiletkenlerde taşıyıcı konsantrasyonu Enerji ve durum yoğunluğu	
5	Dağılım fonksiyonu Akım Yoğunluğu, Taşıyıcı Sürüklenmesi ve Difüzyon akımı, Jenerasyon ve Rekombinasyon	
6	Optik Özellikler Elektromanyetik dalga-yarıiletken etkileşimi Fotoiletkenlik, Foto ışıma ve elektrolüminesans	
7	Manyetik Özellikler Elektronun spin ve yörünge hareketi Mıknatıslanma çeşitleri (ferromanyetizma, paramanyetizma, diamanyetizma)	
8	Ara Sınav 1	
9	Yarıiletkenlerin Uygulamaları p-n eklemler, diyotlar (Schottky)	
10	Transistörler (eklem transistörler ve alan etkili transistörler)	
11	LED, OLED	
12	LASER	
13	Ara Sınav 2	
14	Güneş pilleri	
15	Final	

- Modern Fizik; J.R.Taylor, C.Zafaritos Çev.Prof.Dr.B.Karaoğlu.
- Fen ve Mühendislik için Fizik R.A.Serway Çev: K.Çolakoğlu, Palme Yayıncılık.
- Katıların Fiziği Richard Turton; Çeviren: Yahya Kemal Yoğurtçu Aktif Yayınevi; Erzurum, 2005.
- Yarıiletken Fiziği1 Prof.Dr.Tayyar Caferov YTÜ Yayınları.
- Katıhal Fiziğine Giriş, Prof.Dr. Mustafa Dikici
- Katıhal Fiziğine Giriş, Prof.Dr. Tahsin Nuri Durlu, AÜ, 1996
- Katıhal Fiziği, J.R. HOOK & H.E. Hall, çeviri: F. Köksal, M. Altunbaş, M. Dinçer, E. Başaran, Literatür Yayınları, 1998
- Katıhal Fiziği Temelleri: Ercüment Akat, Papatya Yayıncılık, 2010.
- Yarıiletken Fiziği, Donalt Neamen Ceviri Mustafa Sağlam,
- Optoelektronik - TÜBA Açık Ders, H.Sarı,
- Elementary Solid State Physics: Principles and Applications, M. Ali OMAR, 1974

ELEKTRİKSEL DİRENÇ/İLETKENLİK TANIMI

Elektrik iletimi

- Bir malzeme içinde kaç tane hareketli elektron (taşıyıcı yoğunluğu)?
- Ne kadar kolay hareket ediyorlar (hareketlilik)?

$$V = IR$$

$$J = \frac{I}{A}$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$J = \sigma E$$

V – Uygulanan voltaj (Volt, (V))

I – akım (Ampere, (A))

R – elektriksel Direnç (Ohm, (Ω))

J – Akım yoğunluğu (Ampere/m², (A/m²))

A – Kesit alanı (metre kare, (m²))

ℓ – Uzunluk (metre, (m))

ρ – Öz direnç (Ohm metre, ($\Omega \cdot m$))

E – Elektrik alan (V/m)

σ – iletkenlik (1/ Ohm metre, ($\Omega \cdot m$)⁻¹)

μ – mobilite (m²/V.s)

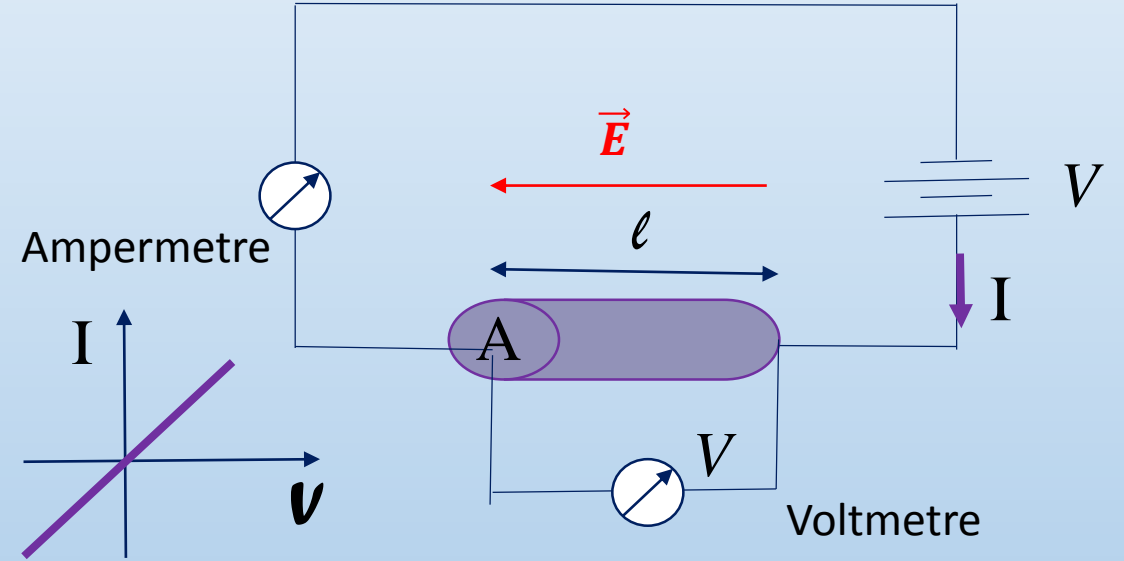
n- Serbest yük Taşıyıcısı sayısı

e- elektronun yükü (1.6x10⁻¹⁹ Coulomb)

$$\rho = \frac{1}{ne\mu}$$

$$\sigma = ne\mu$$

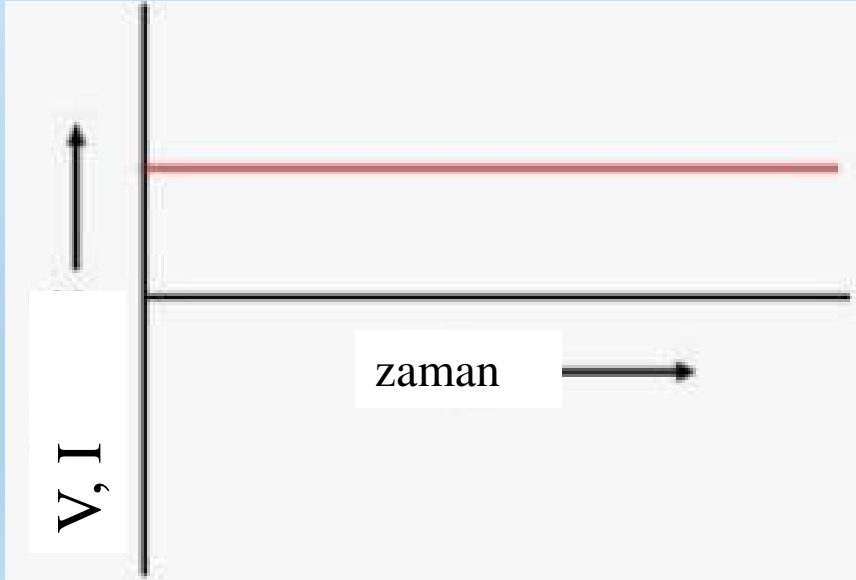
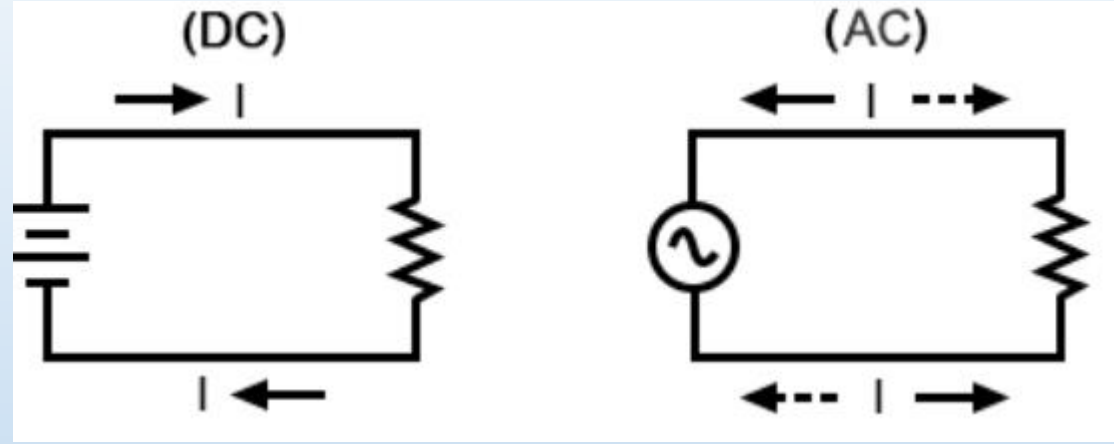
- Bir malzemenin elektriksel iletkenliği, malzemenin içersinde yük taşıyıcı akışı kolaylığı/zorluğu ile alakalıdır.
- Elektronlar, iyonlar, yüklü boşluklar ve bunların kombinasyonları yük taşıyıcısı olabilir.
- Ohm yasası bu yük akışının teorik bir ifadesini sağlar.



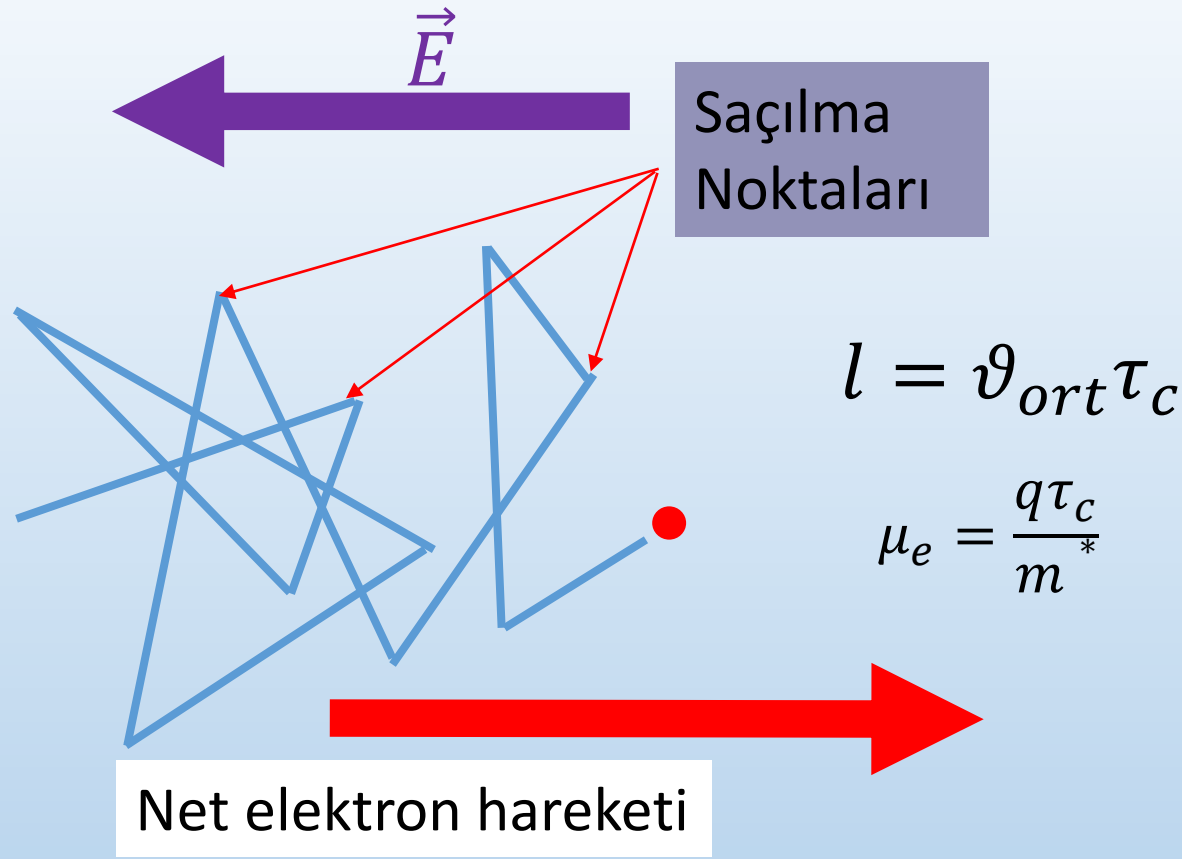
Malzemenin elektrik direnci, maddeye özgü bir özellik DEĞİLDİR yani nesne geometrisine bağlıdır. Öz direnç, maddeye özgü bir özelliktir geometriden bağımsızdır, tersi iletkenlik olarak adlandırılır.

ELEKTRİKSEL DİRENÇ/İLETKENLİK TANIMI

Alternatif ve doğru güç kaynağı/Akım/gerilim Nedir?



ELEKTRİKSEL DİRENÇ/İLETKENLİK TANIMI



- Elektrona etki eden kuvvet

$$\vec{F} = -e\vec{E}$$

Burada e , elektron yükü

Bu kuvvet, sabit bir ivme üretir, böylece engellerin yokluğunda elektron bir elektrik alanında sürekli olarak hızlanır.

Gerçek bir katıda, elektronlar kusurlarla çarpışmalar ve atomik termal titreşimler nedeniyle saçılır. Saçılmalar elektron hareketinin net sürüklenme hızını belirler.

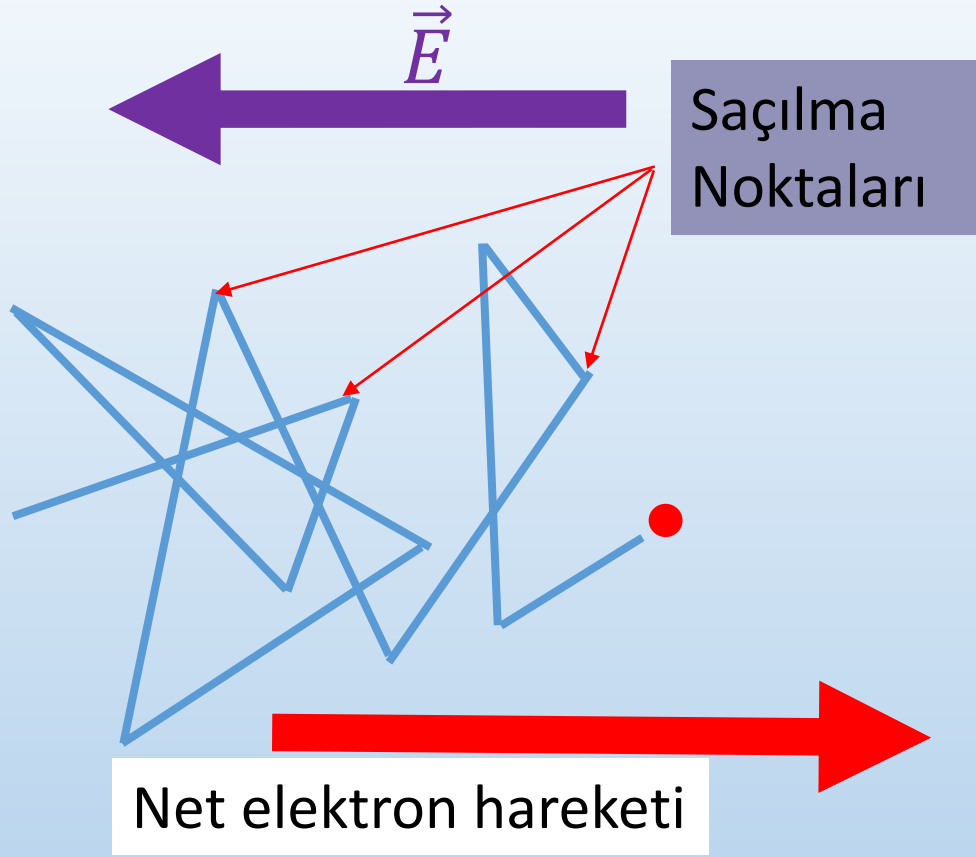
$$\rho = \rho_{ısı} + \rho_{katkı} + \rho_{defekt}$$

$$\vec{v}_d = \mu_e \vec{E}$$

Elektronun Mobilitesi

Elektronun Sürüklenme (Drift) hızı

ELEKTRİKSEL DİRENÇ/İLETKENLİK TANIMI



Malzeme (@300 K)	Mobilite $\mu (m^2/V.s)$	Yük taşıyıcı yoğunluğu $n(m^{-3})$	İletkenlik $\sigma(\Omega.m)^{-1}$
Aluminyum (Al) -Metal	0.0053	2.60×10^{28}	3.80×10^7
Gümüş (Ag)- Metal	0.0057	5.90×10^{28}	6.25×10^7
Altın (Au)- Metal			4.30×10^7
Silisyum (Si)- Yarıiletken	0.15	1.50×10^{10}	4.00×10^{-4}
GaAs- Yarıiletken	0.85	1.80×10^6	2.50×10^{-7}
Kuartz			$.. \times 10^{-13}$
Sülfür			$.. \times 10^{-14}$

$$\begin{aligned}n_{metal} &\gg n_{Yarıiletken} \\ \mu_{metal} &< \mu_{Yarıiletken} \\ \sigma_{metal} &> \sigma_{Yarıiletken}\end{aligned}$$

$$\sigma = ne\mu$$

$$\vec{v}_d = \mu_e \vec{E}$$

Elektronun Mobilitesi

Elektronun Sürüklenme (Drift) hızı

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER MADDELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Elektriksel Özelliklerine Göre Madde Sınıflandırılması

İLETKENLER (METALLER)

Özdirenç: 10^{-6} - 10^{-4} Ohm.cm

Değerlik elektronları bir "elektron gazı" oluşturur ve belirli bir iyonla bağlı değildir.

YARIİLETKENLER

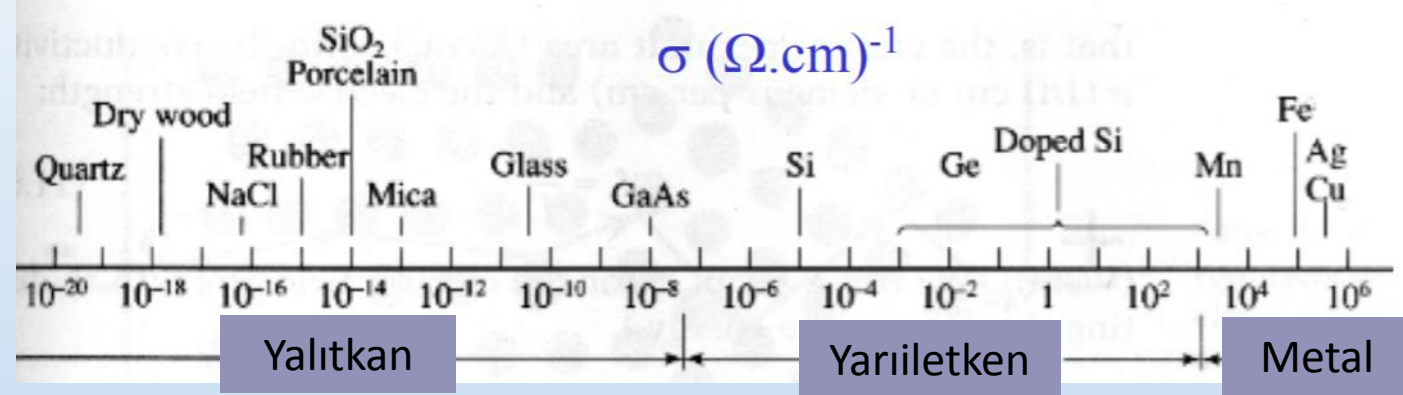
Özdirenç: 10^{-4} - 10^{10} Ohm.cm

Çoğunlukla kovalent bağlanma ve zayıf bağlar

YALITKANLAR

Özdirenç: $\geq 10^{10}$ Ohm.cm

Değerlik elektronları sıkıca bağlanır (veya bireysel atomlarla paylaşılır - en güçlü iyonik (kısmen kovalent) bağlanma.



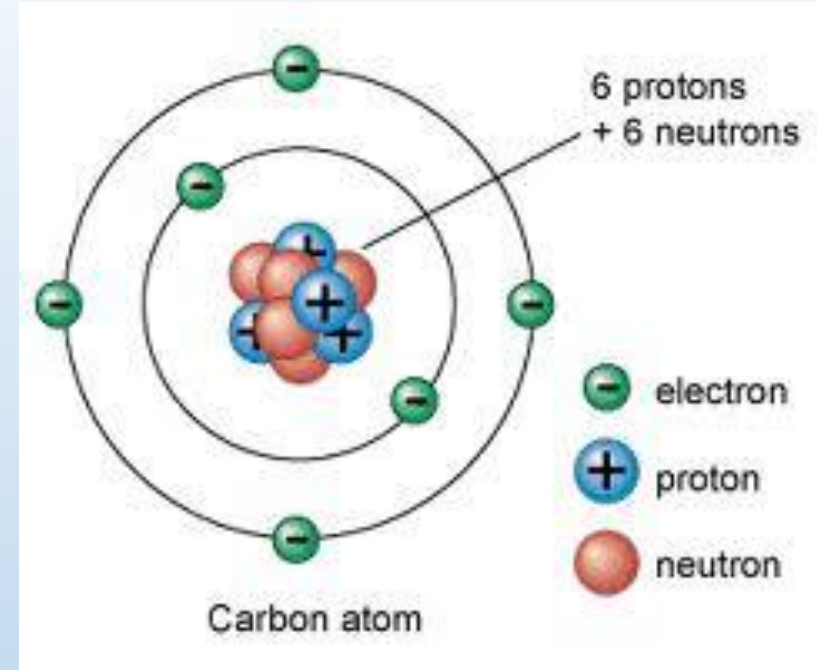
İletken ile yalıtkan elektriksel direnç $>10^{20}$ mertebe fark var!!!!

BAND YAPISI

- Hem iletken hem yalıtkan yapmak mümkün!!!
- Katkılama, sıcaklık,... ile yük taşıyıcı sayısı ve çeşidi değişebilir!!!
- Katkılama ile yapı içerisinde yapısal E oluşturulabilir!!!

Katılarda basitleştirilmiş bağlanma modelleri

- İyonik**
- Kovalent**
- Metallik**
- Van der Waals**
- Hidrojen**



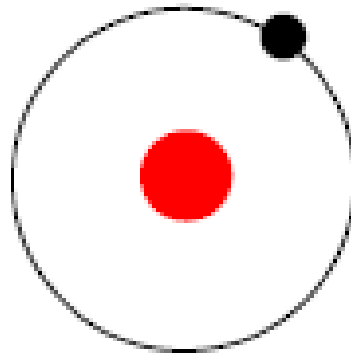
Bir atomun yapısı şu bileşenlerden oluşur

- Protonlar "+" yüklü $kütlesi=1.67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
- Nötronlar yüksüz $kütlesi=1.67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
- Elektronlar "-" yüklü $kütlesi=9.11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

Atom numarası(Z):Protonların sayısı

Atom ağırlığı(A):Proton ve nötronların kütlelerinin toplamı.

Hidrojen (H) Atomu



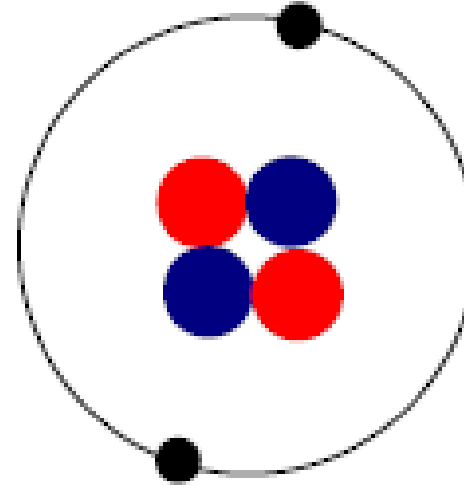
1 proton: $Z=1$

Atom ağırlığı

$$A = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$A = 1 \text{ gr/mol}$$

Helyum (He) atomu



2 proton: $Z=2$

Atom ağırlığı

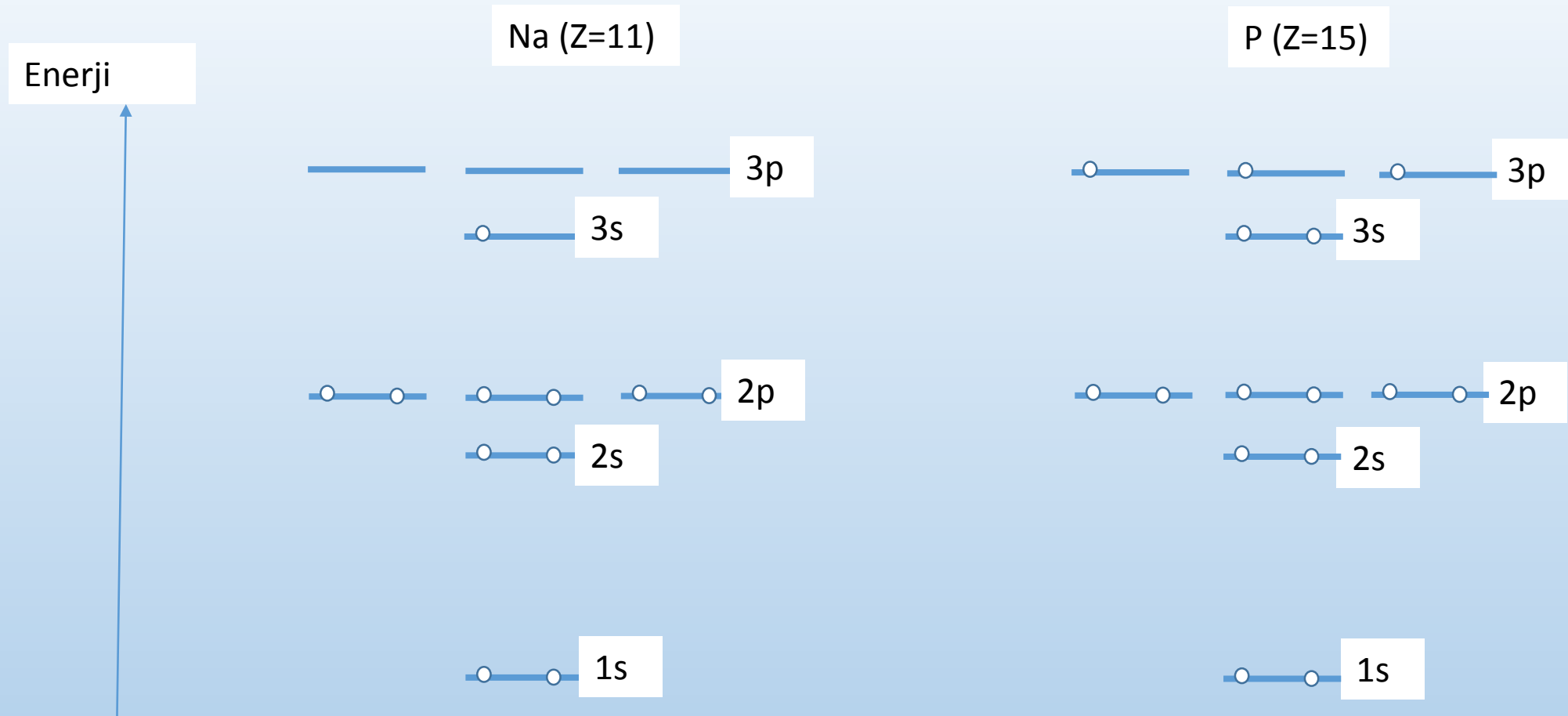
$$A = 4 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}$$

$$A = 4 \text{ gr/mol}$$

KATILARDA BAĞLAR

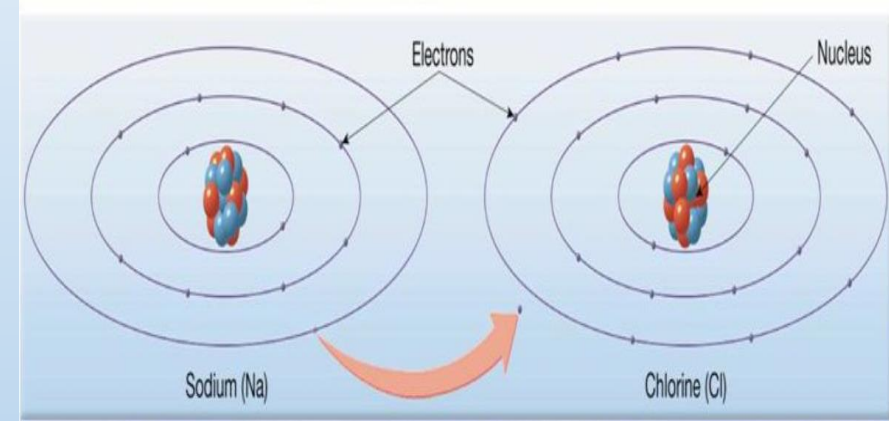
Kuantum Numarası	Ana Orbital İsmi	Alt Orbitaller	Alt Orbital Sayısı	<u>Elektron Sayısı</u>	
				Alt Orbital	Ana Orbital
1	K	s	1	2	2
2	L	s p	1 3	2 6	8
3	M	s p d	1 3 5	2 6 10	18
4	N	s p d f	1 3 5 7	2 6 10 14	32

KATILARDA BAĞLAR



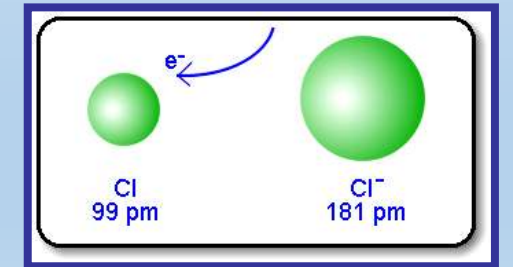
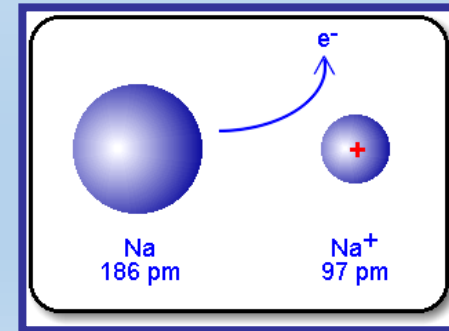
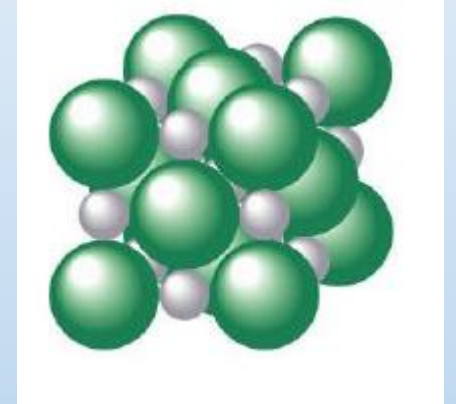
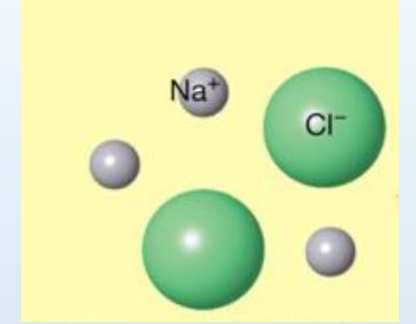
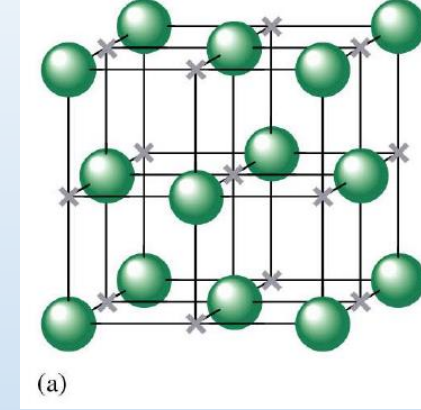
İYONİK BAĞ

- İyonik bağ, iki atomun bir veya daha fazla dış elektronun bir atomdan diğerine aktarılacağı şekilde birleşmesiyle oluşur.
- İyonik bağlar temel olarak zıt yüklü iyonlar arasındaki Coulomb etkileşmesinden kaynaklanır.
- Bir elektron $E = 0$ 'dan bir negatif enerji durumuna geçiş yaptığında, enerji açığa çıkar.
- Bu enerjinin miktarı, atomun elektron afinitesi olarak adlandırılır.
- Ayrışma enerjisi, moleküler bağları kırmak ve nötr atom üretmek için gerekli olan enerji miktarıdır.
- Molekölün enerjisi, iki nötr atom sisteminin enerjisinden daha düşüktür.



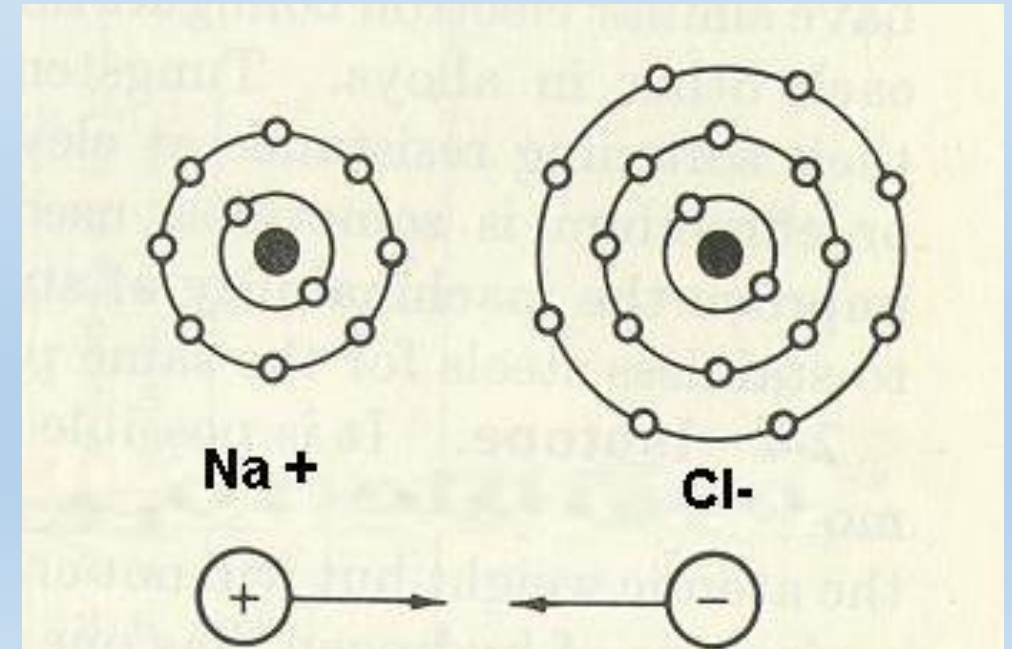
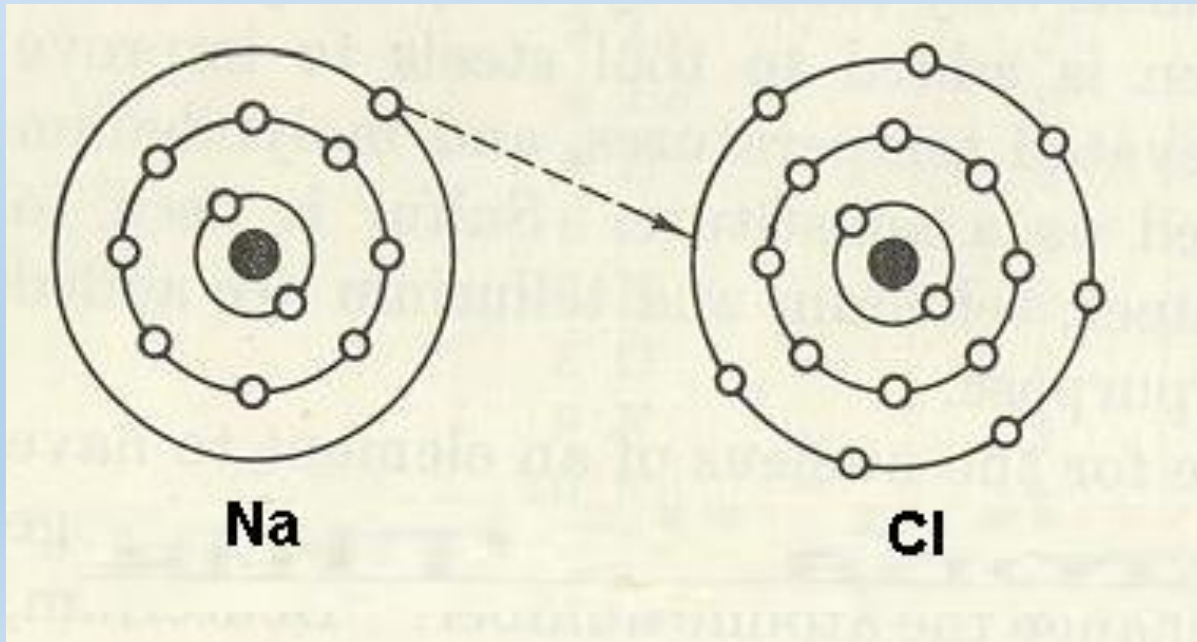
İYONİK BAĞ

- Elektronun elektropozitif iyondan elektronegatif iyonla aktarılması
- Coulomb etkileşimleri önemli bir rol oynar
- İyonlar arasındaki elektro-negatiflik farkı iyonik bağlanma gücüne karar verir.
- İyonik kristallerde bağlanma enerjisine esas katkı elektrostatik olur ve Modelung enerjisi adını alır.
- Pozitif iyonlar, bir veya daha fazla dış kabuk elektronunun kaybı nedeniyle nötr atomdan daima daha küçüktür.
- Negatif iyonlar, elektron kazandıkları için nötr atomdan daima daha büyüktürler.



İYONİK BAĞ

- Sodyum, Na: $Z=11$: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
 - ◆ Pozitif bir iyon üretmek için bir elektronu kaybeder
- Klor, Cl: $Z=17$: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
 - ◆ Negatif bir iyon üretmek için bir elektron kazanır.

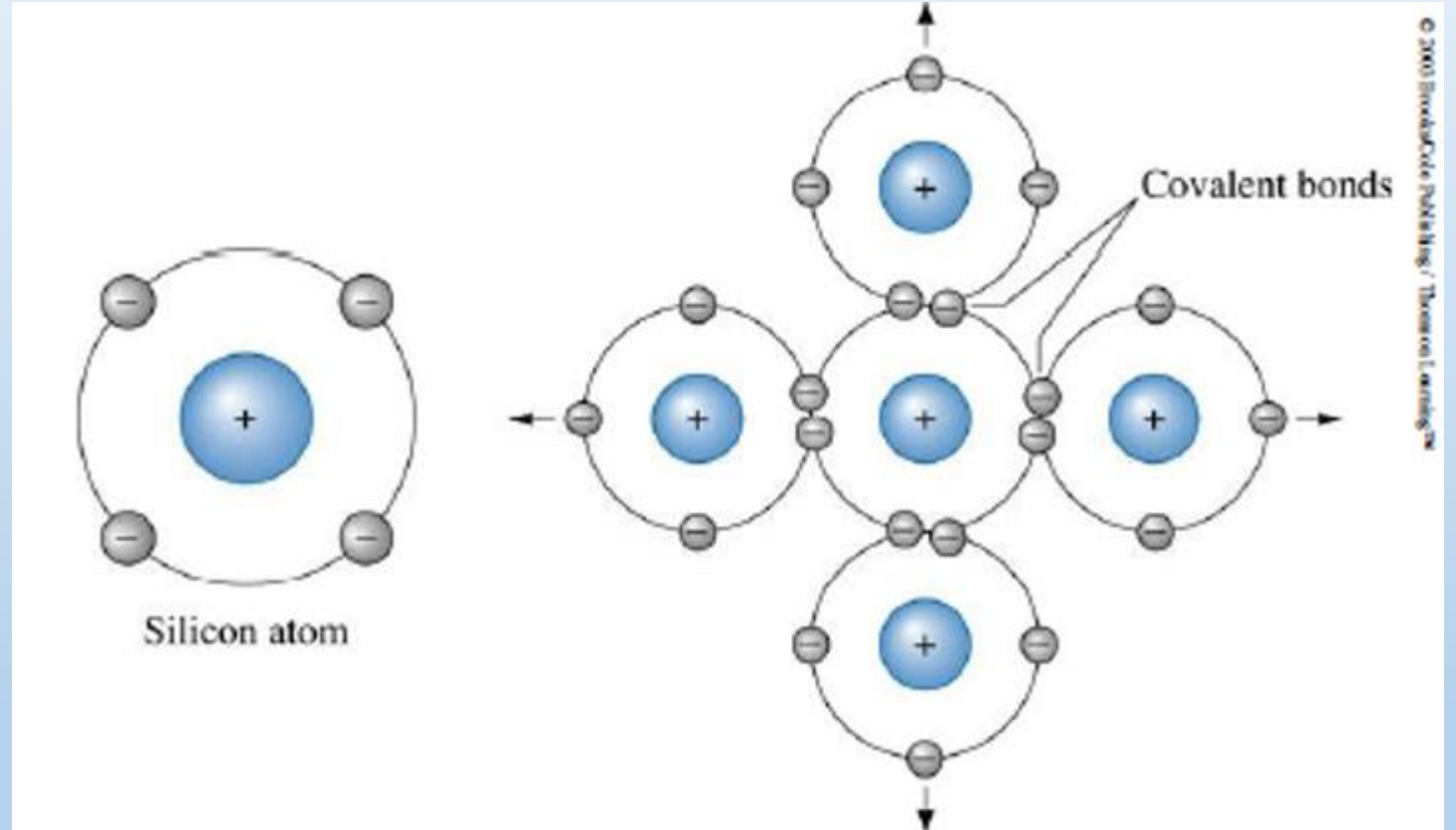


İYONİK BAĞ

- Nispeten kararlı, sert kristaller oluştururlar.
- Zayıf elektrik ve ısı iletkenleridir
- Serbest elektron içermezler.
- Her elektron iyonlardan birine sıkıca bağlanır
- Yüksek erime noktalarına sahipler
- Işık geçirgen, ancak kızılötesi bölgede güçlü soğurucudurlar.
- Elektronların oluşturduğu kabuklar, görünebilir ışığın, bir sonraki izin verilen kabuğa elektronları ilerletmek için yeterli enerjiye sahip olmadığı çok sıkı bir şekilde bağlıdır.
- Kızılötesi güçlü bir şekilde emilir, çünkü iyonların titreşimleri düşük enerjili kızılötesi bölgede doğal rezonans frekanslarına sahiptir.

KOVALENT BAĞ- (A METAL-A METAL ARASINDA)

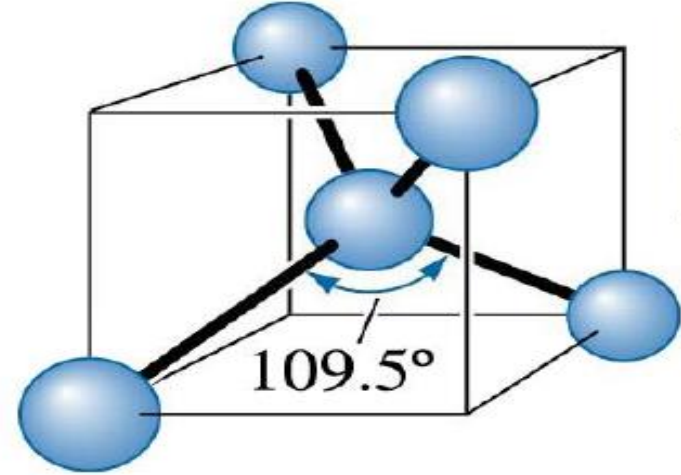
- İki elementin elektron afinitesi (Elektron alma eğilimi) birbirine yakınsa, iyonik bağ yerine kovalent bağ kurarlar.
- İki veya daha fazla atom arasında elektronların paylaşıldığı bağ türüdür



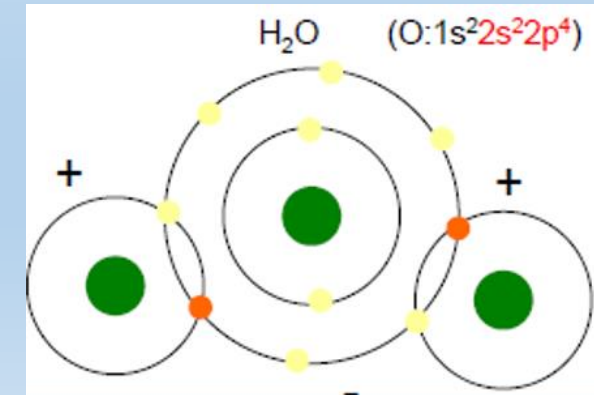
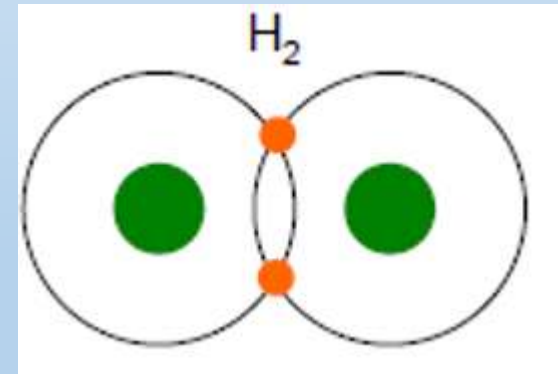
KOVALENT BAĞ- (A METAL-A METAL ARASINDA)

- Güçlü bağlardır
 - Yöne bağımlı bağlardır
 - Silisyumda tetrahedral yapı oluşur açı yaklaşık $109,5^\circ$ dir.
 - Elektriği çok iyi iletmezler
 - **Polar olmayan Kovalent Bağ:**
- H_2 oluşumunda her iki Hidrojen atomu afinitesi de aynı olduğu için paylaşılan elektronlar üzerine uygulanan çekim kuvvetleri eşit olur ve polarizasyon gözlenmez.

- **Polar Kovalent Bağ:**
- H_2O molekülü oluşumunda h atomları valans elektronlarına, O atomu tarafından uygulanan çekim kuvveti H atomları tarafından uygulananlardan daha şiddetli olduğundan paylaşılan elektronlar O atomuna daha yakın olur. Polarizasyon oluşur.

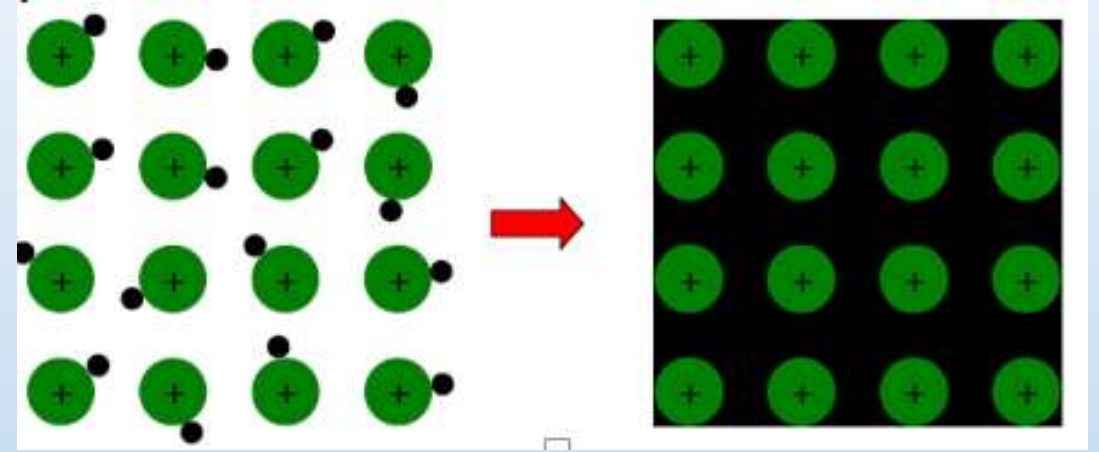
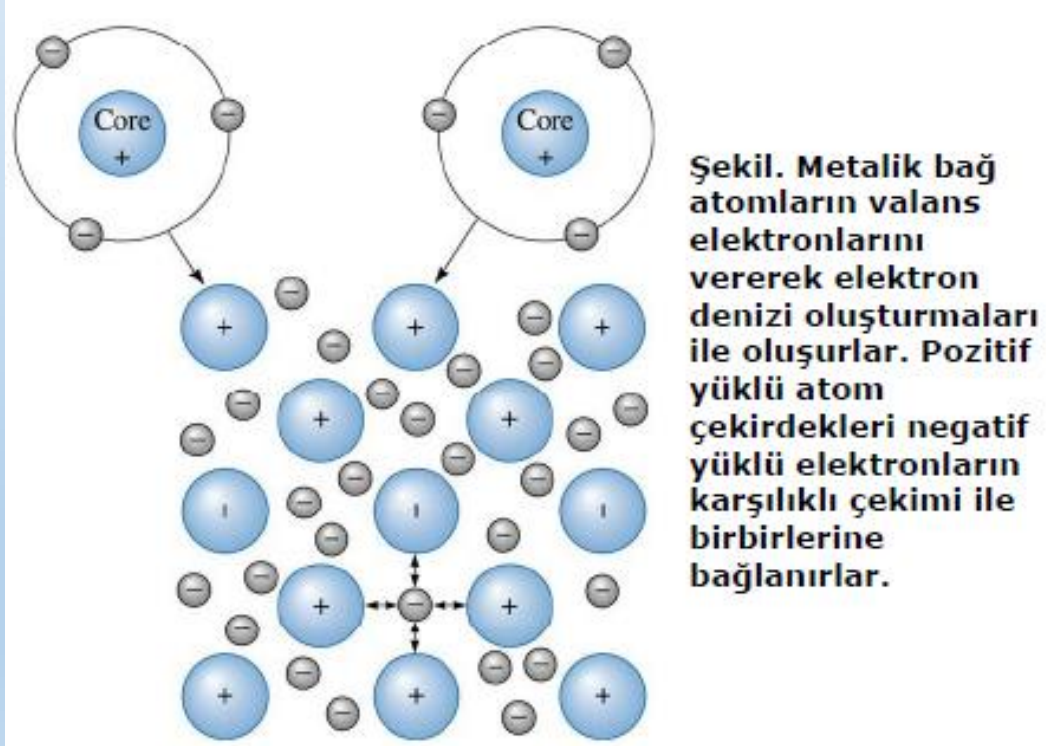


Şekil. Kovalent bağlar yöne bağımlı bağlardır. Silisyumda, tetrahedral yapı $109,5^\circ$ açı ile oluşur.



METALİK BAĞ- (METAL- METAL ARASINDA)

- Düşük sayıda valans elektronuna sahip elementler arasında oluşur
- Elektron paylaşımı içeren yönden bağımsız bir bağ çeşididir.



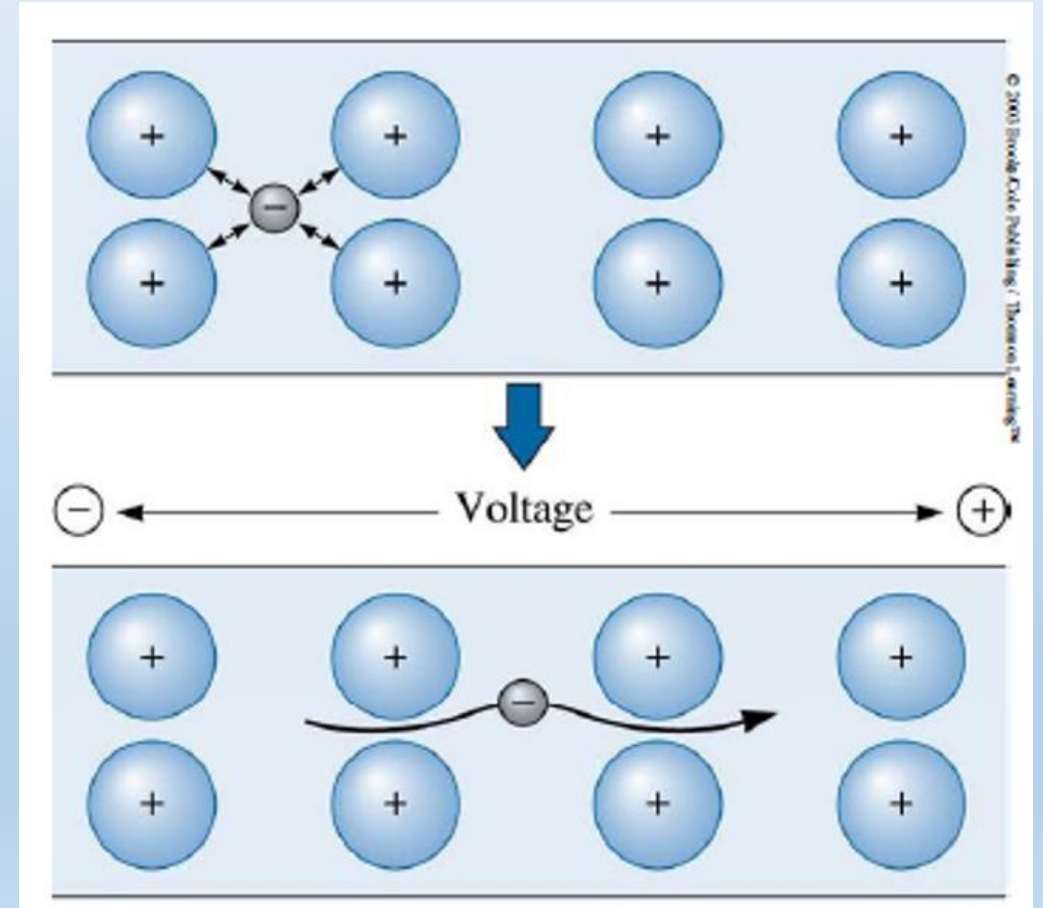
METALİK BAĞ- (METAL- METAL ARASINDA)

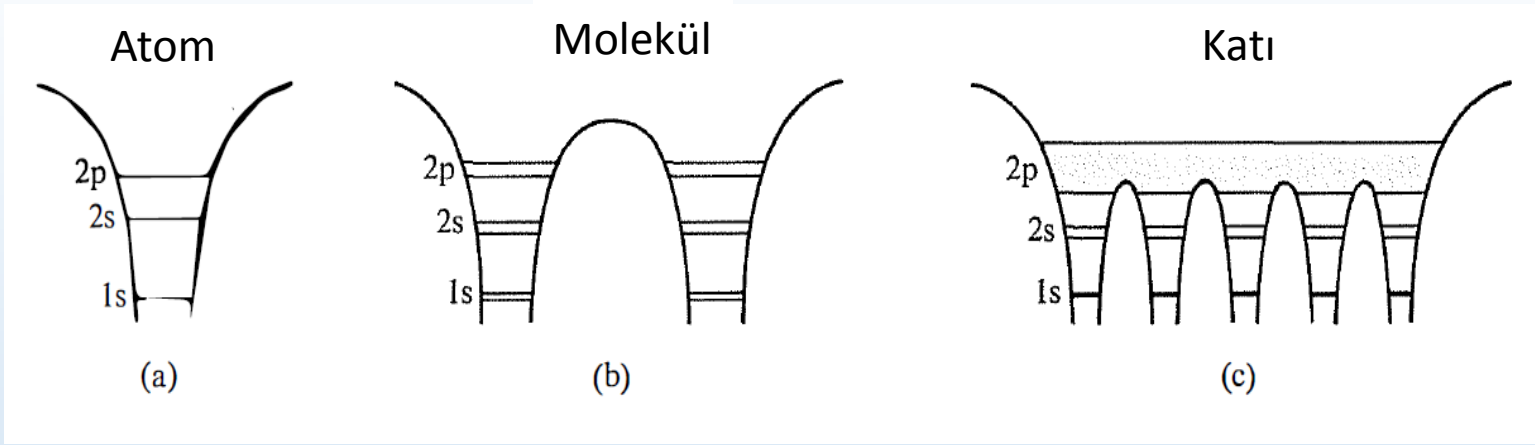
- Metale bir dış gerilim kaynağından gerilim uygulandığında elektron denizindeki elektronlar kolayca hareket ederler.

Serbest elektronların sayısı ne kadar artarsa bağın kuvveti de o derece artar.

- Sodyum: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ $T_{\text{erg}} = 371^\circ\text{K}$, $T_{\text{kay}} = 1156^\circ\text{K}$
- Magnezyum: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ $T_{\text{erg}} = 922^\circ\text{K}$ $T_{\text{kay}} = 1363^\circ\text{K}$

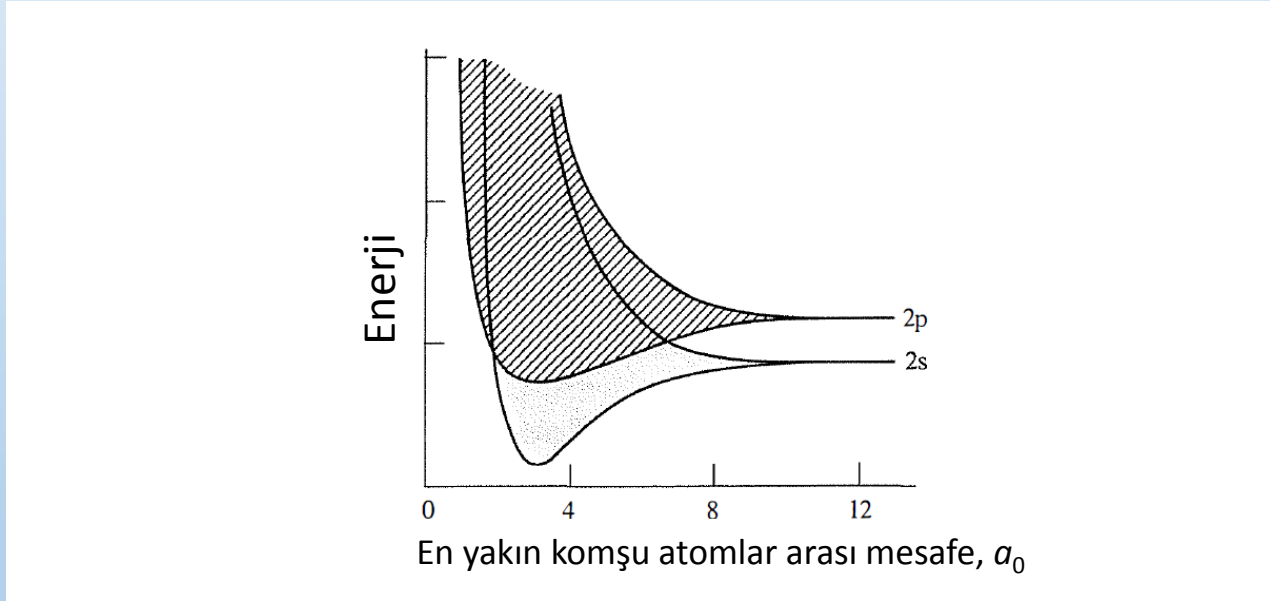
- Güçlü bağlardır
- Yöne bağımlı değildir. Atomları bir arada tutan elektronlar belirli bir yöne sabitlenmemişlerdir.
- Elektriği çok iyi iletirler.



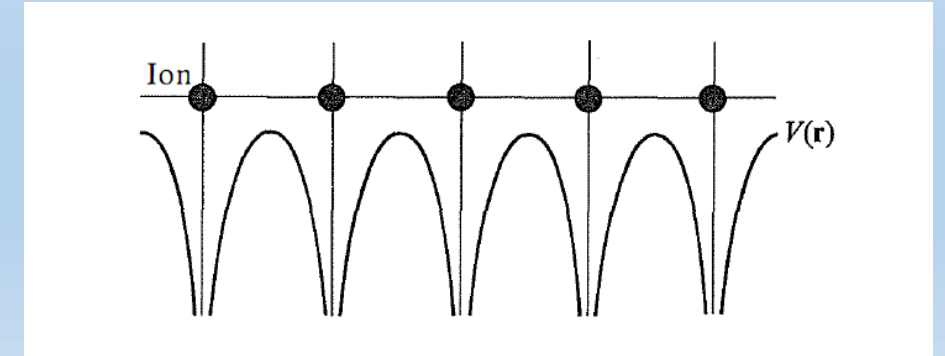


Atomlar birbirine yaklaştıkça bantlar genişler, çekirdekten daha uzak bantlar daha fazla genişler, çünkü çekirdekten uzaklaştıkça atomik orbitallerin yarıçapı büyür, ve atomik orbitallerin etkileşmesi daha fazla olur. Daha fazla etkileşme de bant genişliğini arttırır. Çekirdeğe yakın alt yörüngelerin yarıçapları daha küçük ve çekirdeğe daha sıkı bağlıdır, dolayısıyla bunların etkileşmesi daha az ve bant genişlemesi çok daha küçük olacaktır. Artık kristalde, atomik orbitaller yerine, elektronların hareket edebileceği katı boyunca yayılmış kristal orbitalleri vardır.

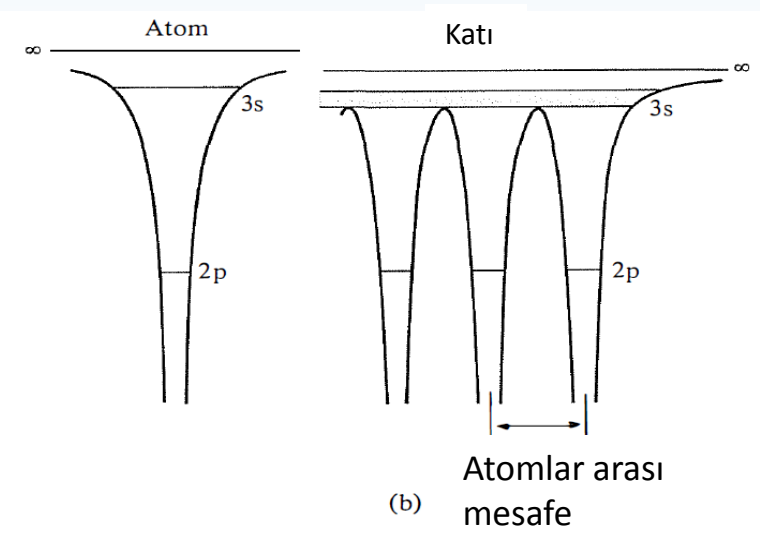
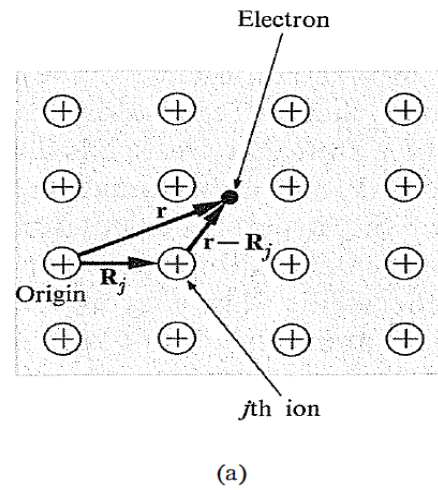
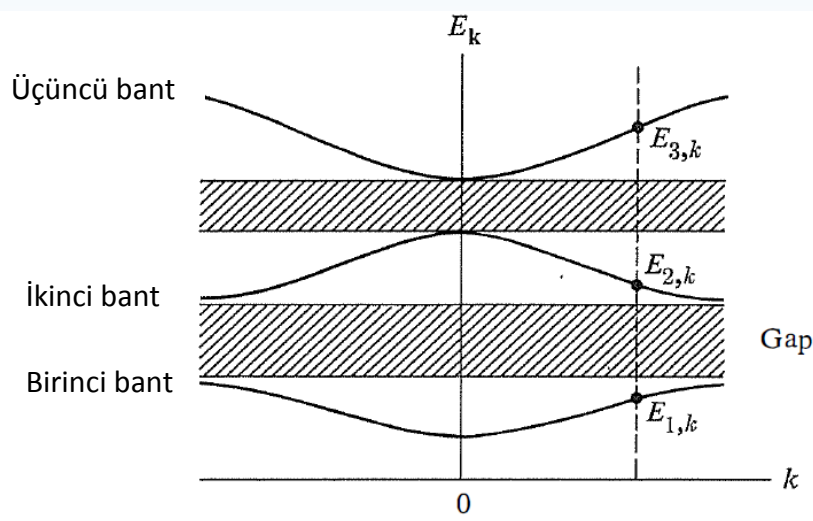
Bir atomdan (a) bir moleküle (b) ve bir katıya (c) Li enerji spektrumunun oluşması



Bir lityum kristalinde 2s ve 2p seviyelerinin enerji bantlarına genişlemesi (a_0 , Bhor yarıçapı, 0.53 Å), dikkat edilirse, atomlar arası mesafe yaklaşık $6a_0$ a düştüğünde, bant genişlemesinden dolayı bantlar üst üste biniyor ve yasak bant aralığı ortadan kalkıyor.



Elektron tarafından görülen kristal potansiyeli



Bir elektronun kristal örgüde hareketi, genellikle, serbest uzaydakinden farklı olacaktır. Dışardan uygulanan kuvvete ilaveten pozitif yüklü iyon veya proton ve negatif yüklü elektronlardan dolayı iç kuvvetler de vardır, dolayısıyla bu iç kuvvetler örgüde elektronların hareketini etkileyecektir. İlgili atomun alt yörüngelerdeki elektronların ve çekirdeğin yükü birlikte düşünüldüğünde, atomun bu kısmı (alt yörünge elektronları ve çekirdek) son yörünge elektronuna bir pozitif iyon gibi davranacaktır. Bu iç kuvvetlerin etkisini hesaplamak karmaşık ve zor olduğundan bu iç kuvvetlerin etkisi etkin kütle olarak hesaba katılır. Etkin kütle, kuantum mekaniksel sonuçları klasik kuvvet denklemlerine bağlar. Çoğu durumda, iç kuvvetler ve kuantum mekaniksel özellikler etkin kütle içinde hesaba katılmak şartıyla, iletkenlik bandının dibindeki elektrona klasik bir parçacık gibi bakılabilir ve onun hareketi klasik mekanikle modellenenebilir.

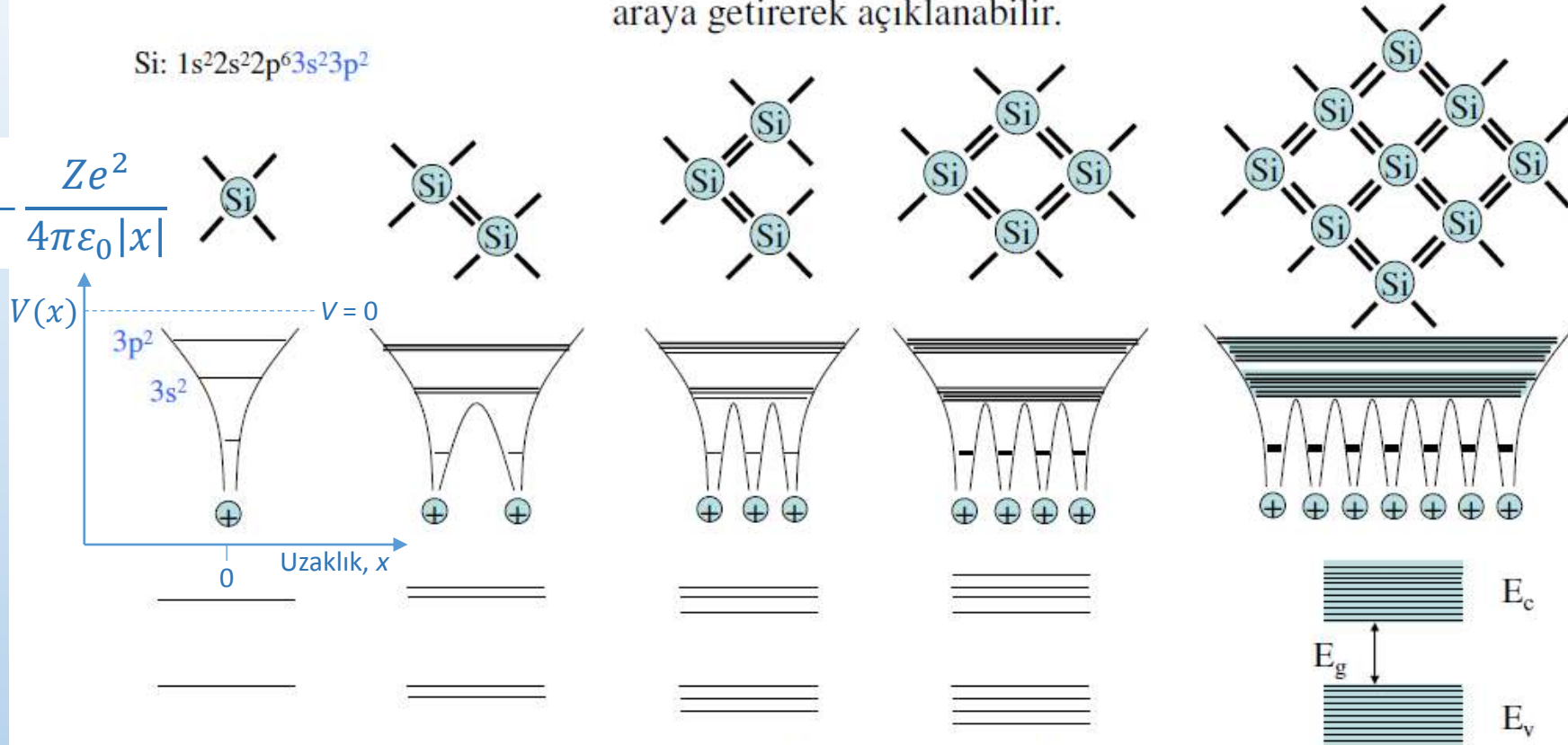
$F_{\text{top}} = F_{\text{dış}} + F_{\text{iç}} = ma$, burada iç kuvvetleri hesaplamak zor olduğundan $F_{\text{dış}} = m^*a$ yazılır. a dış kuvvetle doğru orantılı ivmedir. m^* parametresi de etkin kütle olarak isimlendirilir, ve hem parçacık kütlesini hem de iç kuvvetlerin etkisini hesaba katar. İletkenlik bandının dibindeki elektrona bir elektrik alan uygulandığında $a = -\frac{eE}{m_n^*}$ olur. m_n^* elektronun etkin kütlesidir. Etkin kütle pozitif de olabilir negatif de olabilir. İletkenlik bandı dibi yakınında elektronun etkin kütlesi pozitif, valans bandı tepesi yakınında negatiftir. Burada $a = -\frac{eE}{-m^*} = \frac{eE}{m^*}$ olur. Dolayısıyla bu da pozitif etkin kütleli bir parçacık davranışı ile aynıdır. O da holün etkin kütlesine karşılık gelir.

BAND YAPISI ve YASAK BAND ARALIĞI KAVRAMI

Yarıiletkenlerde bant yapısının oluşumunu silikon atomlarının kristali oluşturmak için bir araya getirerek açıklanabilir.

Si: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

$$V(x) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0|x|}$$



Ayrık Si atomunun 3s ve 2p yörüngeleri yarımlı doludur.

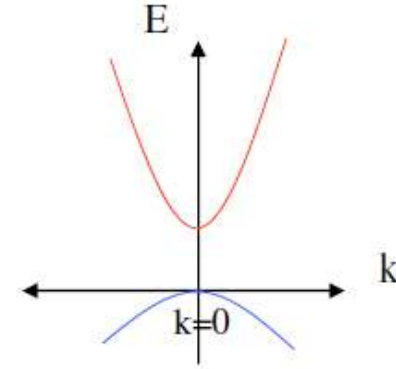
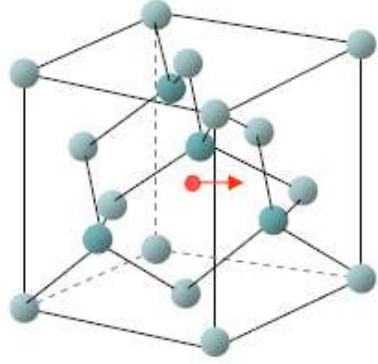
Bir Si atomunun yanına başka bir Si geldiğinde 3s ve 3p yörünge enerjileri ikiye bölünür ve diğer, alt alt yörüngeler (2s ve 2p) tersine bu yörüngeler her iki atoma aittir.

Si atomlarının sayısı artınca 3s ve 3p yörünge enerjileri atom sayısı kadar bölünmeye uğrar ve bu yörünge enerjileri bütün atomlara aittir. Bir araya gelen atom sayısı arttıkça (kristal) s ve p yörüngeleri Avogadro sayısı kadar yarılmaya uğrar ve artık kesikli enerjilerden oluşan sürekli bir enerji aralığı (bant) oluşur. s ve p yörüngelerini yarılması ile oluşan enerji bantları arasında kalan bölge ise yasak enerji aralığıdır.

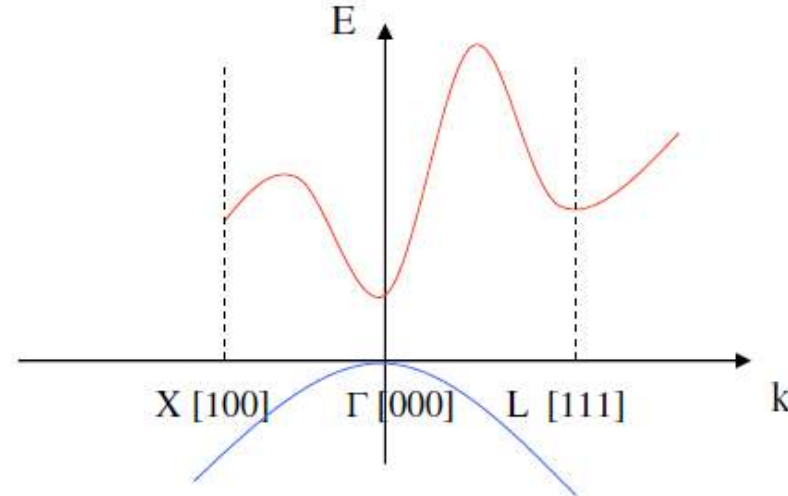
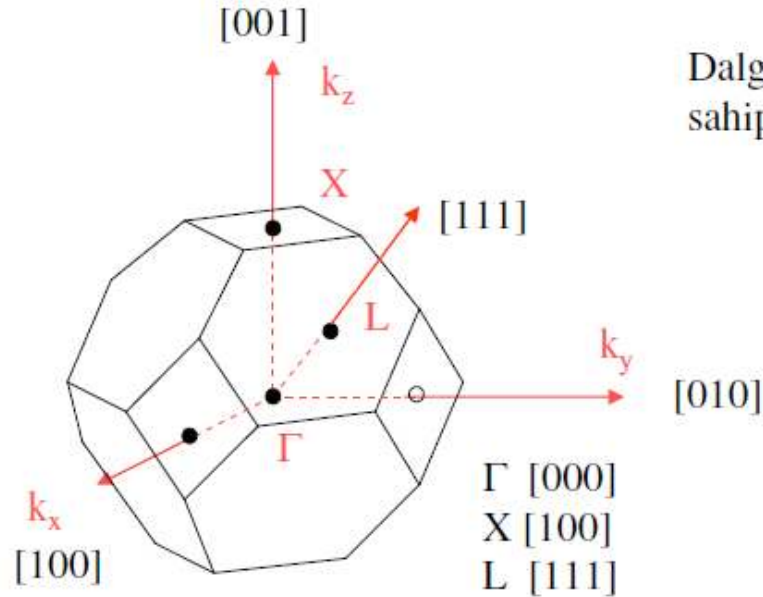
E_c : İletim Bandı
 E_v : Değerlik Bandı
 E_g : Yasak Bant

BAND YAPISI ve YASAK BAND ARALIĞI KAVRAMI

Yarıiletkenlerin elektronik ve optik özelliklerini sergileyebilmek için kristal içindeki taşıyıcıların dalga vektörüne (k) karşı enerjiyi (E) grafiğe geçirmek oldukça faydalıdır.



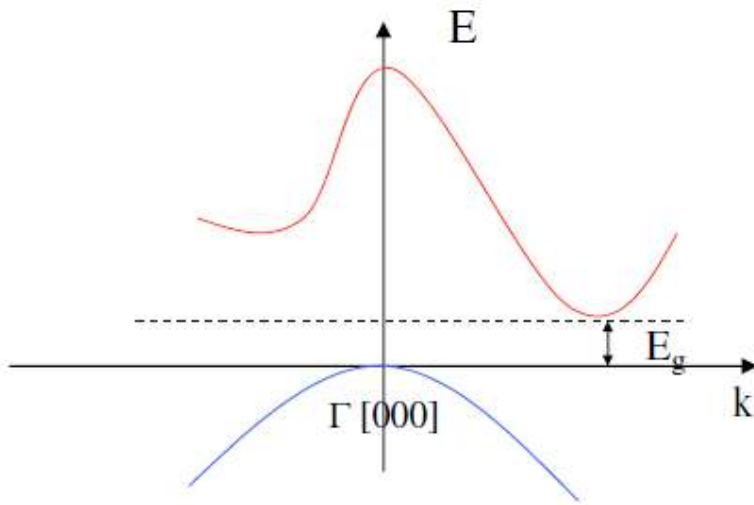
Dalga vektörü k , kristal içinde farklı doğrultularda farklı değerlere sahip olacağından farklı yönler için E-k grafikleri beraber çizilir.



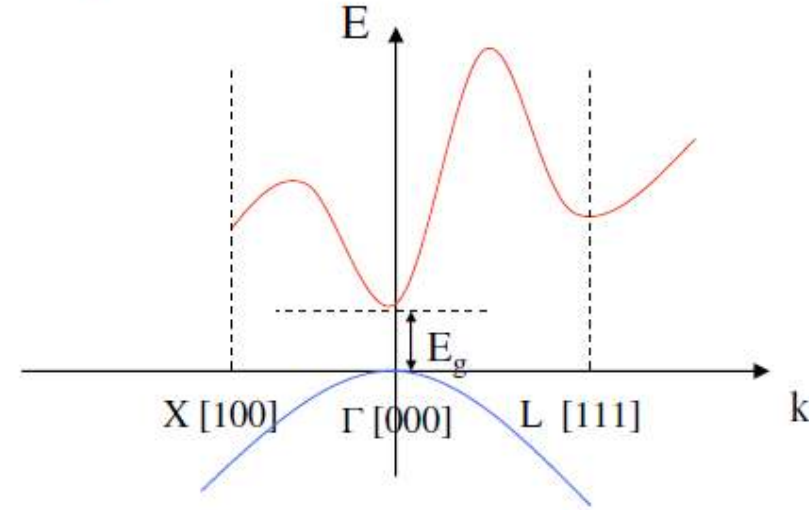
BAND YAPISI ve YASAK BAND ARALIĞI KAVRAMI

Yarıiletkenlerdeki taşıyıcıların enerji E-k grafiği bize önemli bilgiler verir. Enerji bantlarının şekline göre yarıiletkenleri iki sınıfa ayırabiliriz.

- Eğer iletim bandı ile değerlik bandı arasındaki enerji en düşük değere $k=0$ 'da sahip ise bu yarıiletkenlere doğrudan bant aralıklı (direct bandgap) yarıiletkenler denir (örnek: GaAs).
- Eğer iletim bandı en düşük enerjiye $k \neq 0$ 'da sahip ise bu yarıiletkenlere dolaylı bant aralıklı (indirect bandgap) yarıiletkenler denir (örnek: Si, Ge).



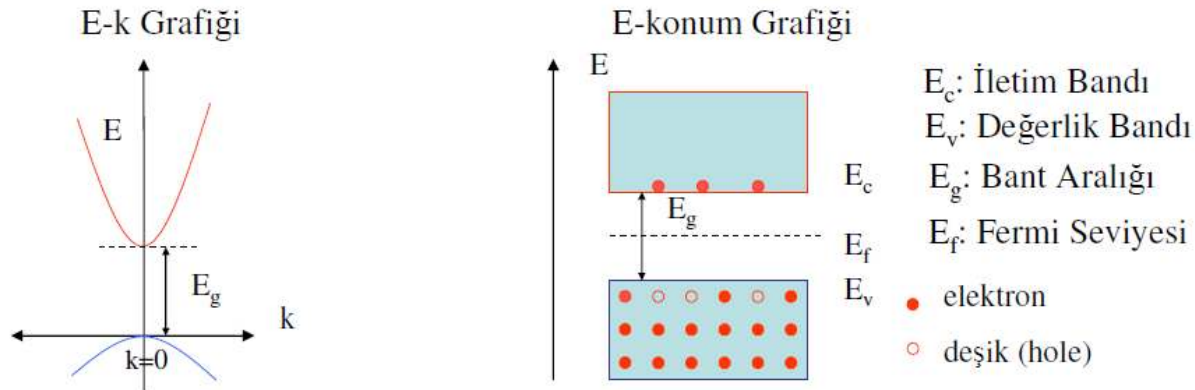
Dolaylı Bant aralığı



Doğrudan Bant aralığı

Bir yarıiletkenin direk veya indirek band aralığına sahip olması optik özelliklerini belirler ve u optoelektronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağı için en büyük kriterlerden biridir.

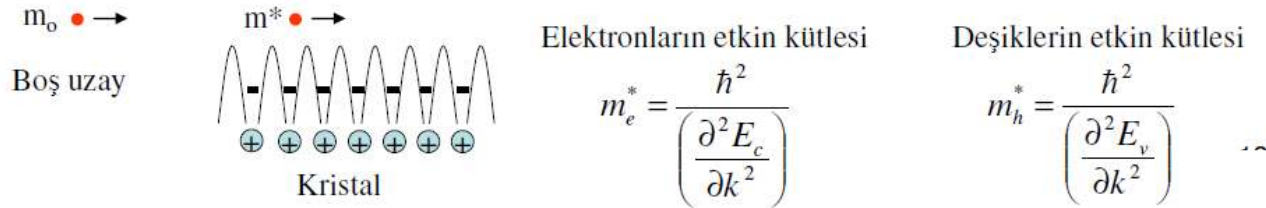
BAND YAPISI ve YASAK BAND ARALIĞI KAVRAMI



Deşik (hole): Değerlik bandında elektronun yokluğuna denir. Yükçe elektrona eşit, değeri pozitifdir.

Etkin kütle (m^):*

Kristaldeki elektronlar (ve deşikler) tümüyle serbest değildir. Elektronlar (deşikler) kristal içinde zayıf da olsa periyodik olan örgü potansiyeli ile etkileşmektedirler. Bu sebepten elektronların (deşiklerin) “dalga-parçacık” hareketinin boş uzaydakinden farklı olması beklenir. Periyodik örgü potansiyelini dikkate alarak elektronun (deşğin) hareketini tanımlamak istersek elektronun (deşğin) boş uzaydaki kütlesi (m_0) yerine kristal etkisini içeren etkin kütesinden (m^*) bahsetmemiz gerekir.



- Optoelektronik - TÜBA Açık Ders, H.Sarı

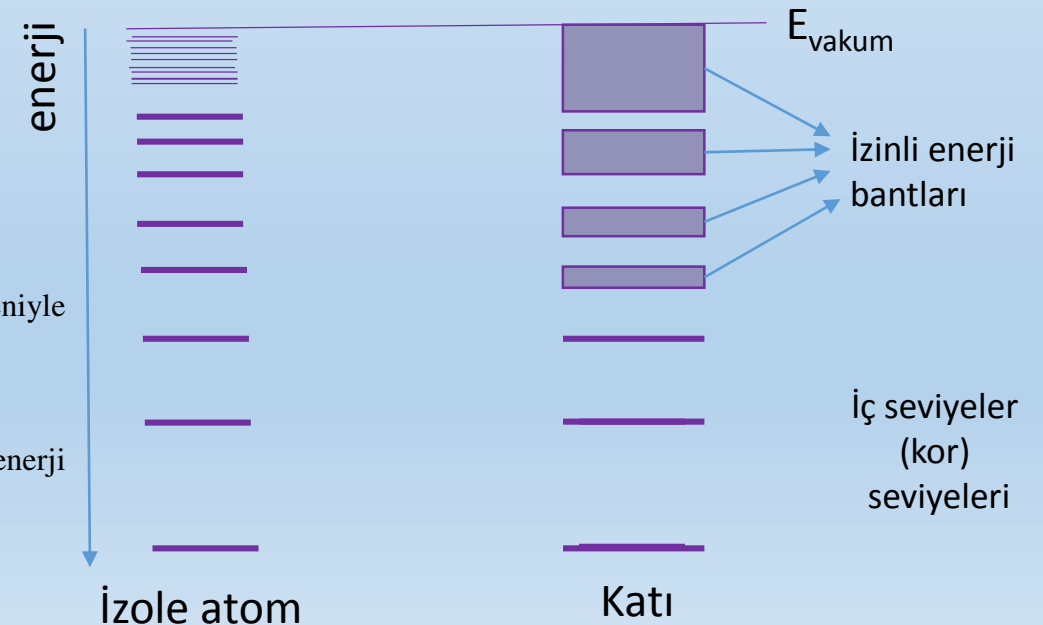
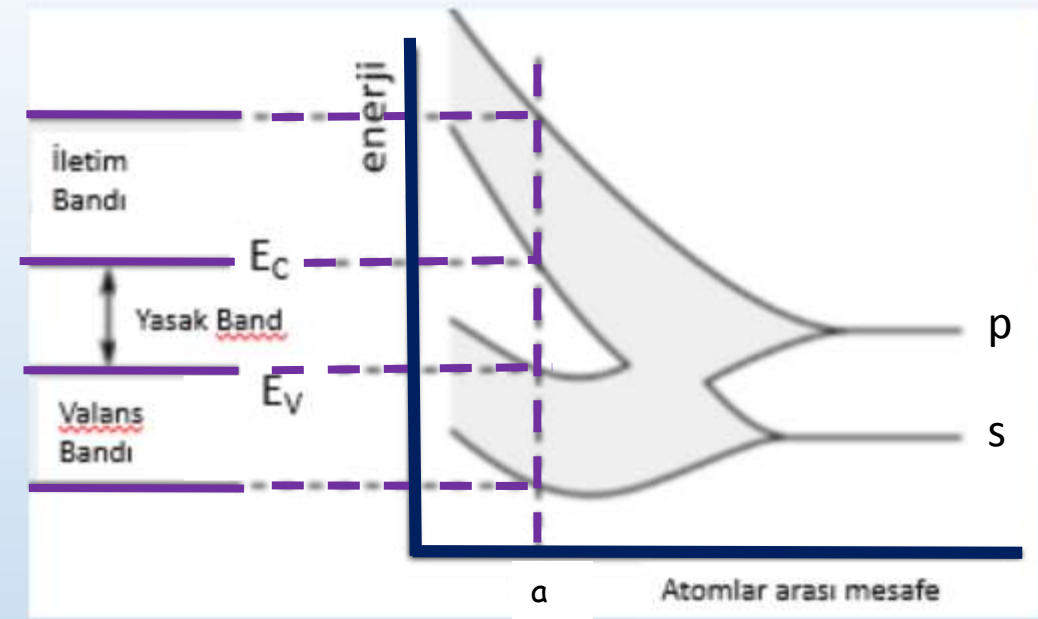
Atomlar bir katı oluşturmak için bir araya geldiklerinde, değerlik elektronları Coulomb kuvvetleri nedeniyle birbirleriyle ve çekirdeklerle etkileşime girer. Ayrıca iki özel kuantum mekaniksel etki meydana gelir.

1- Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre, elektronları küçük bir hacme sınırlamak enerjilerini yükseltir,

2- Pauli dışlama ilkesi nedeniyle ikinci etki, aynı enerjiye sahip olabilen elektronların sayısını sınırlar.

Bu etkilerin bir sonucu olarak, atomların değerlik elektronları bir katı oluşturduklarında geniş elektron enerji bantları oluştururlar.

Bantlar, elektronların bulunamayacağı boşluklarla ayrılırlar.



- Mutlak sıfırda elektronlarla dolu en üstteki band **valans bandıdır**.
- Yasak band aralığıyla valans bandından ayrılmış olan band ise **iletkenlik bandıdır**.
- Metallerde en yüksek enerjili band ya kısmen doludur veya valans ile iletim bandı üstüste binmiştir.
- Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektronlar valans bandındadır ve iki band arasında yasak band aralığı (E_g) vardır.
- Yalıtkanlarda E_g yarı iletkenlere göre daha büyüktür.

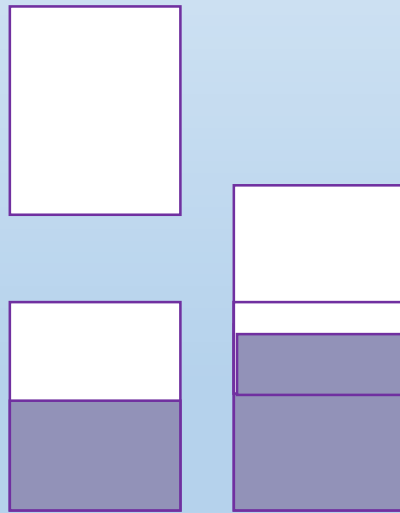
Bazı saf yarıiletkenlerin E_g 'leri

T=300K	Germanyum	Silisyum	Gallium Arsenide
E_g (eV)	0.66	1.12	1.42

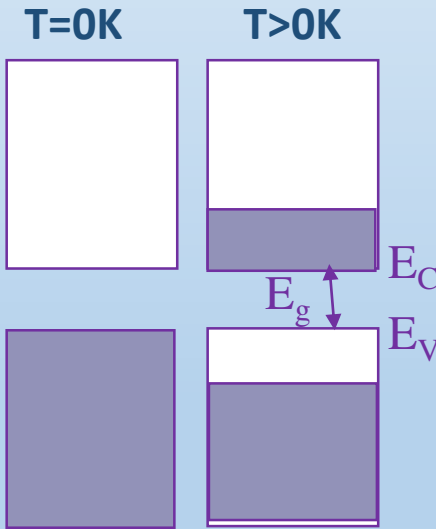
Bazı saf yalıtkanların E_g 'leri

T=300K	SiO ₂	Elmas	Si ₃ N ₄
E_g (eV)	9	5.47	5

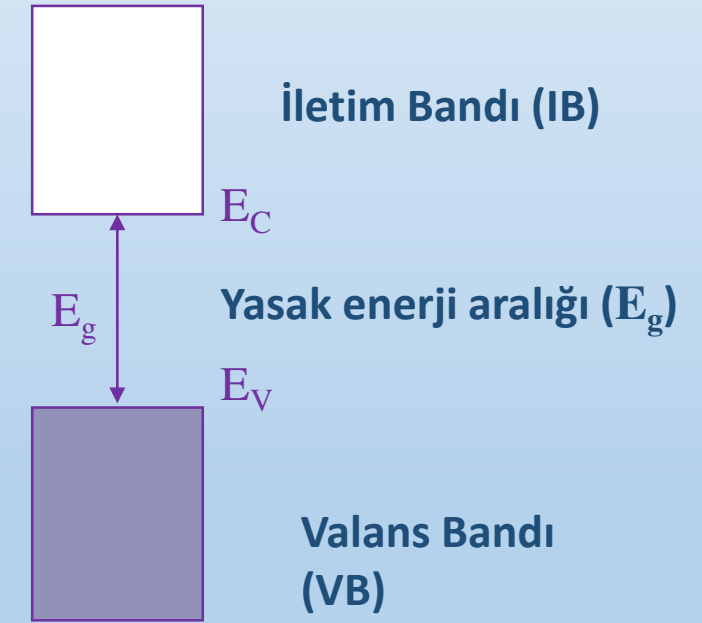
Elektronun
Enerjisi



iletkenler
(METALLER)

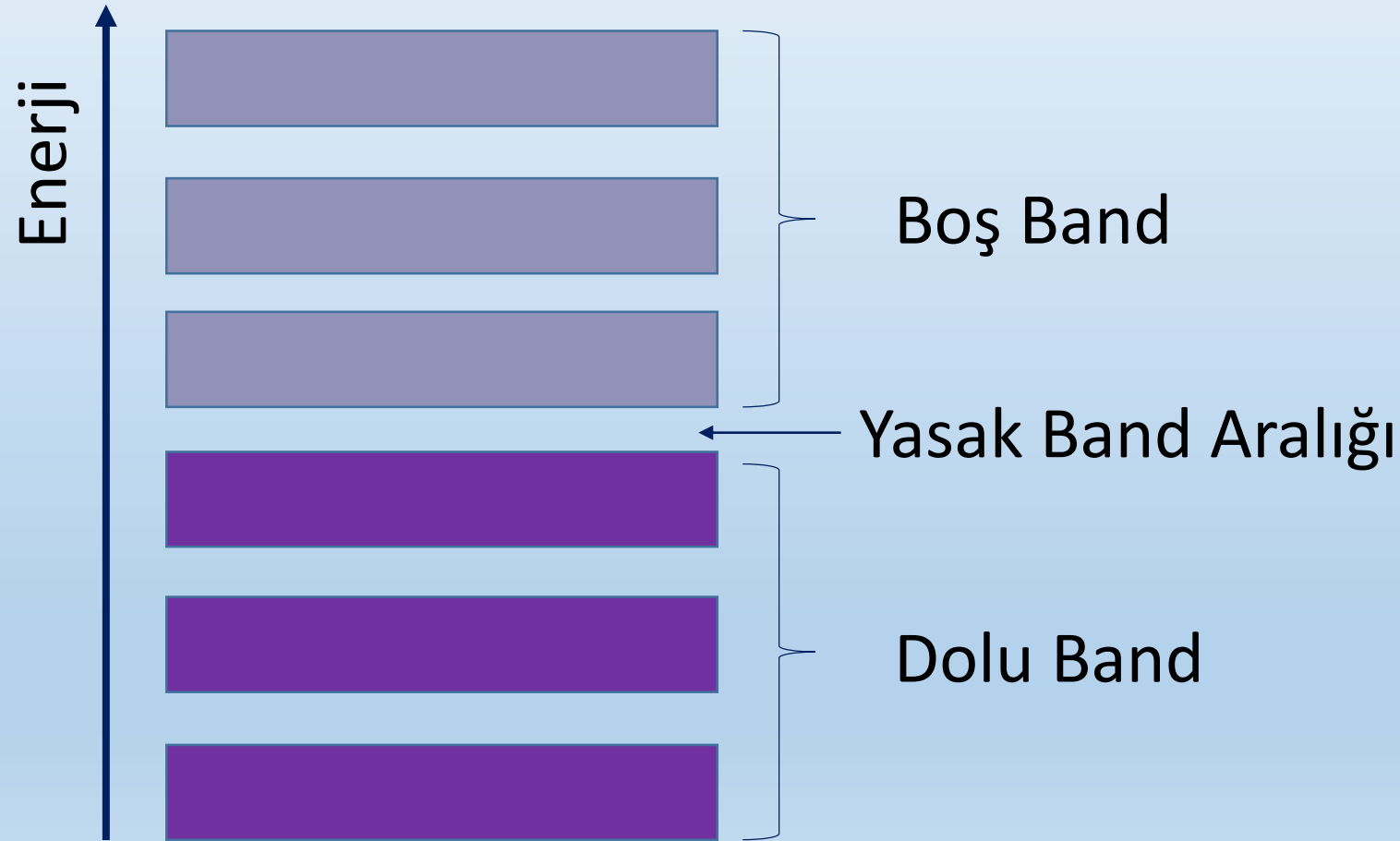


Yarıiletkenler
 $0.1 \text{ eV} < E_g < 4 \text{ eV}$



Yalıtkanlar
 $E_g > 4 \text{ eV}$

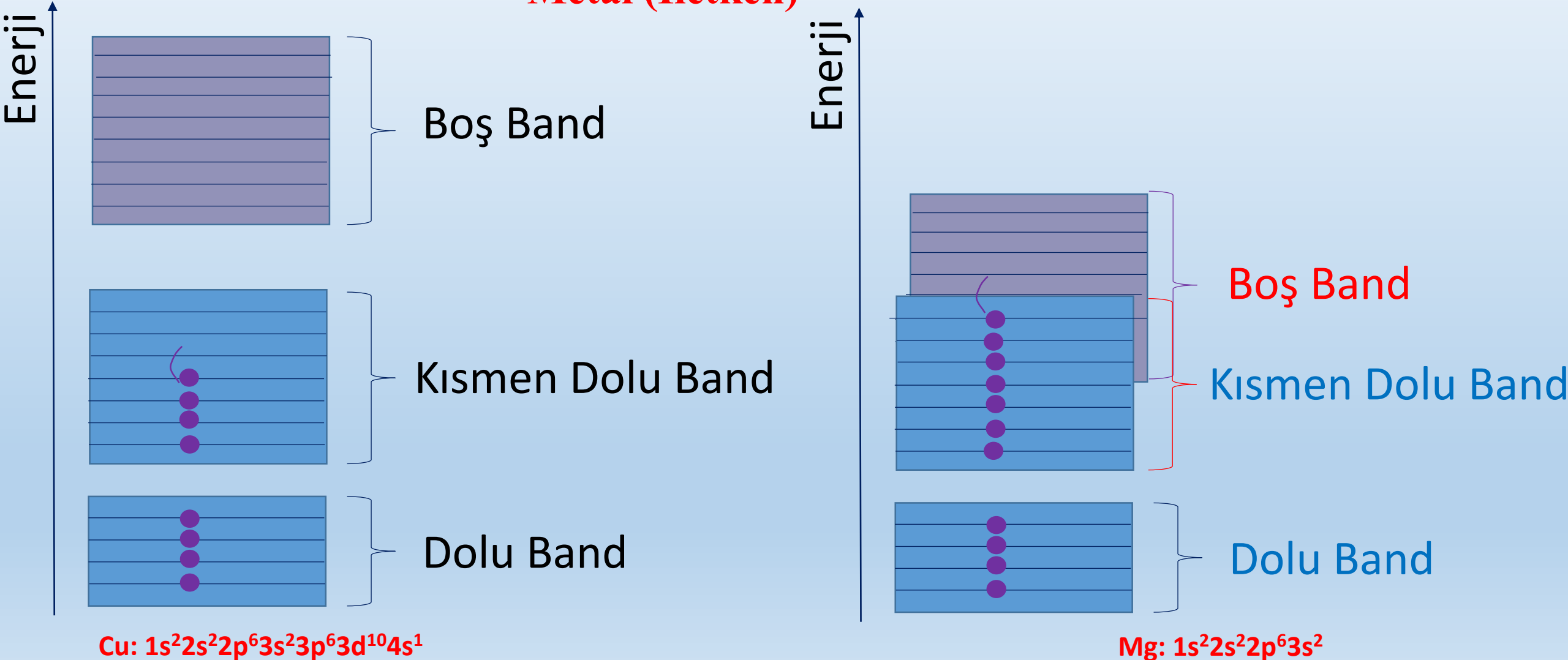
- Mutlak sıfırda elektronlarla dolu en üstteki band **valans bandıdır**.
- Yasak band aralığıyla valans bandından ayrılmış olan band ise **iletkenlik bandıdır**.
- Metallerde en yüksek enerjili band ya kısmen doludur veya valans ile iletim bandı üstüste binmiştir.
- Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektronlar valans bandındadır ve iki band arasında yasak band aralığı (E_g) vardır.



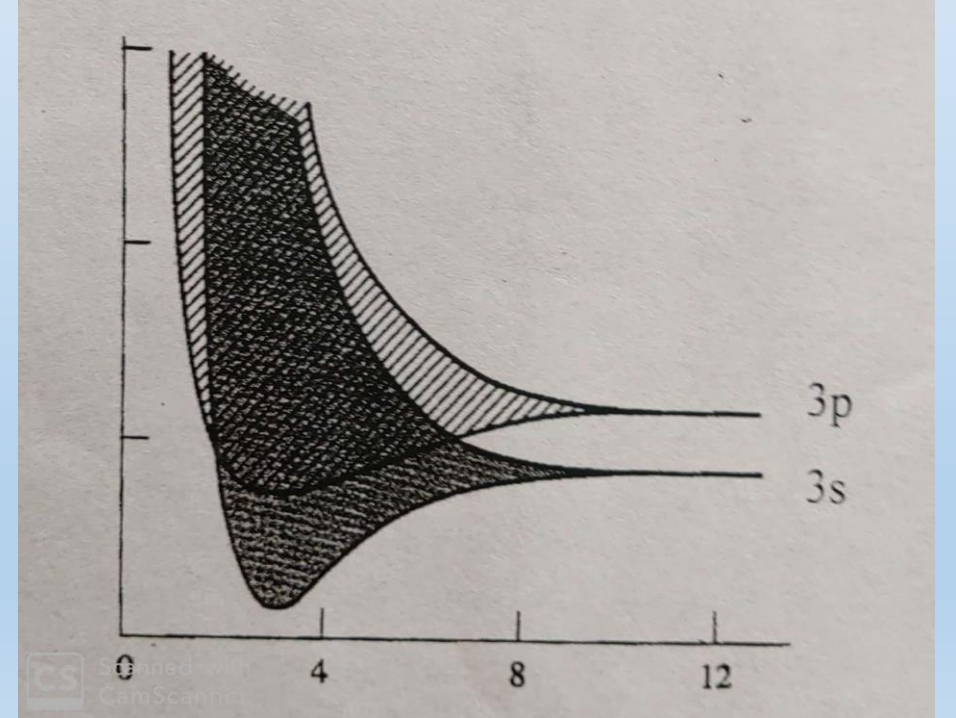
BAND DİYAGRAMLARI

- Metallerde (iletkenlerde), işgal edilen en yüksek bant kısmen dolu veya bantlar üst üste biniyor.
- İletim, elektronların başlayan iletim bandı seviyesine geçmeleriyle gerçekleşir. İletken durumlar, Bir elektrik alanı tarafından sağlanan enerji, birçok elektronu iletim bandına geçirmek için yeterlidir.

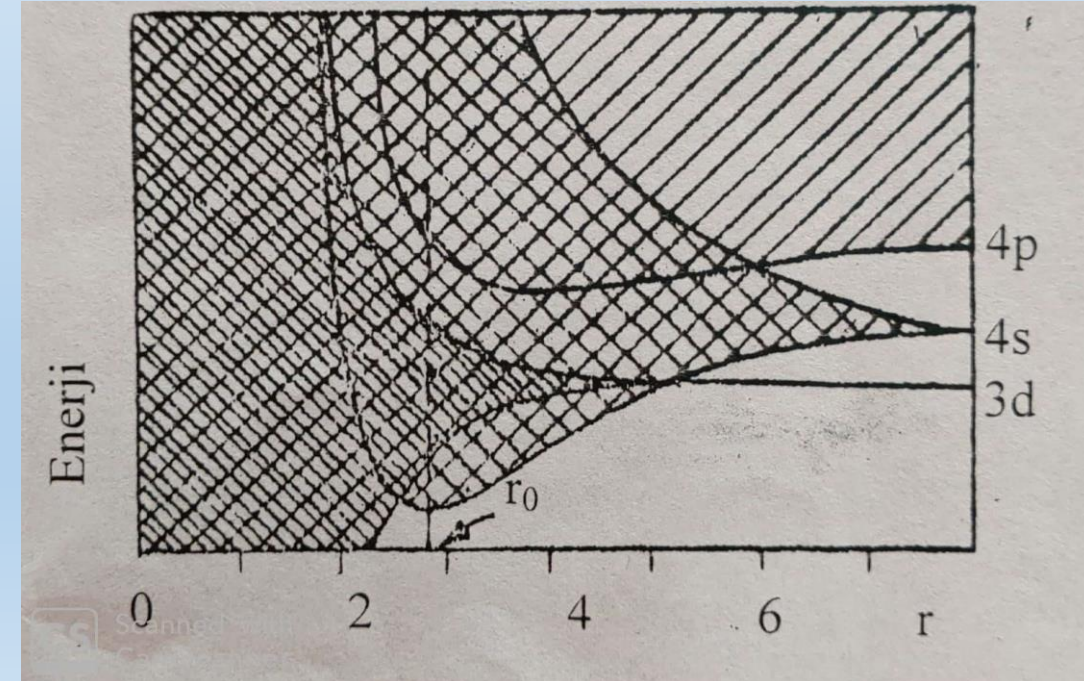
Metal (İletken)



- *Sodyumun 3s ve 3p seviyelerinin atomlar arası mesafeye bağılı değişimi*
- *3s seviyesi yarı dolu olması kristalin iletken olmasına yeterlidir.*
- *Ayrıca 3p seviyesi 3s ile kısmen üst üste gelmesi nedeniyle ortak genişlemiş bantdaki boş seviye sayısı artmış olur.*
- **Tüm metallerde bu durum mevcut.**

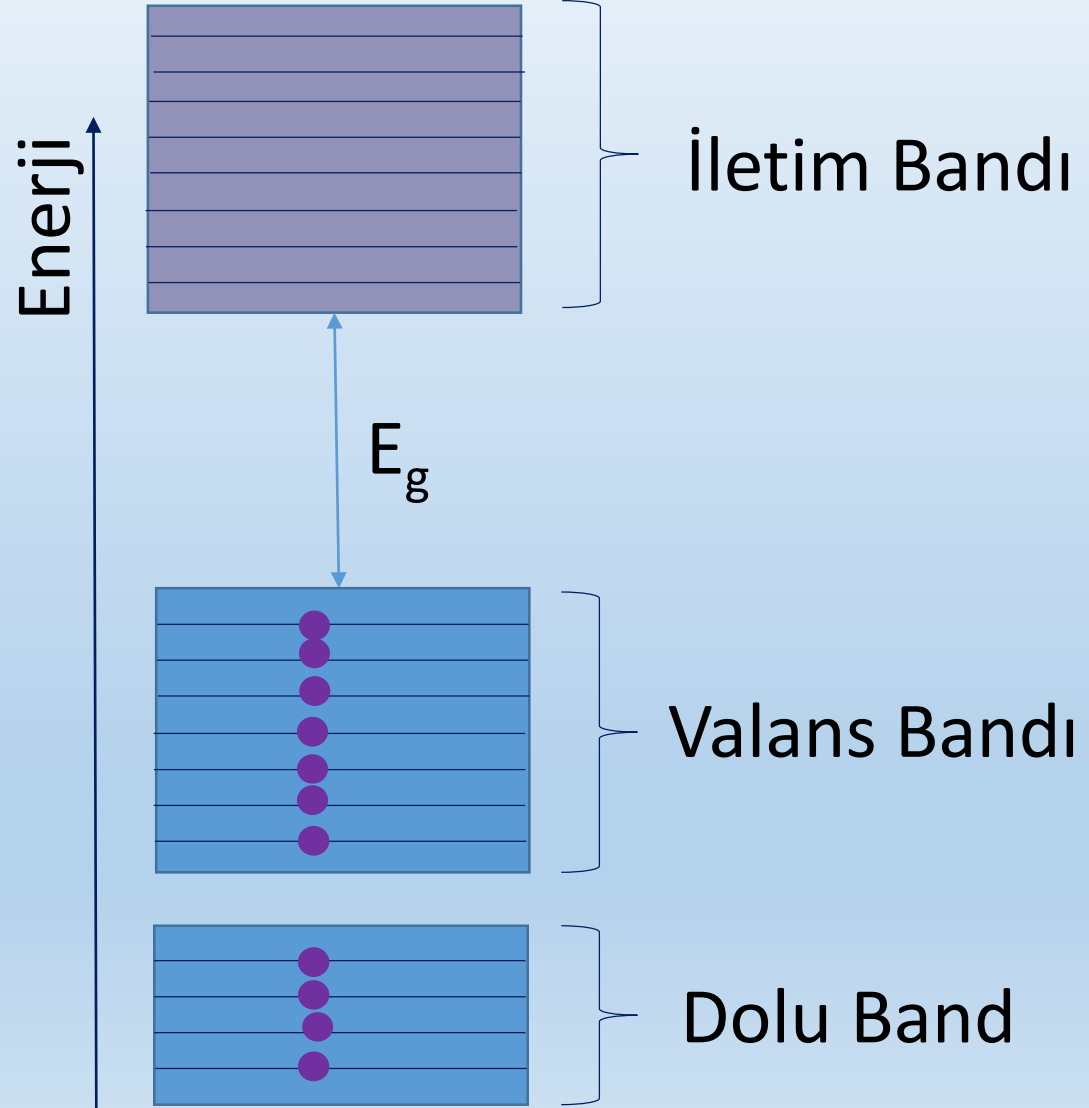


- *Bakırın enerji band diyagramı*
- *Tam dolu 3d, yarı dolu 4s ve tam boş 4p üst üste binmiş durumdadır.*
- *Aynı durum gümüş $4d^{10}5s$ ve Altın $5d^{10}6s$ için de böyledir.*
- *2 değerlikli metallerde valans bandı tam dolu bunların iletkenlikleri boş band ile üst üste gelmelerine bağlıdır.*



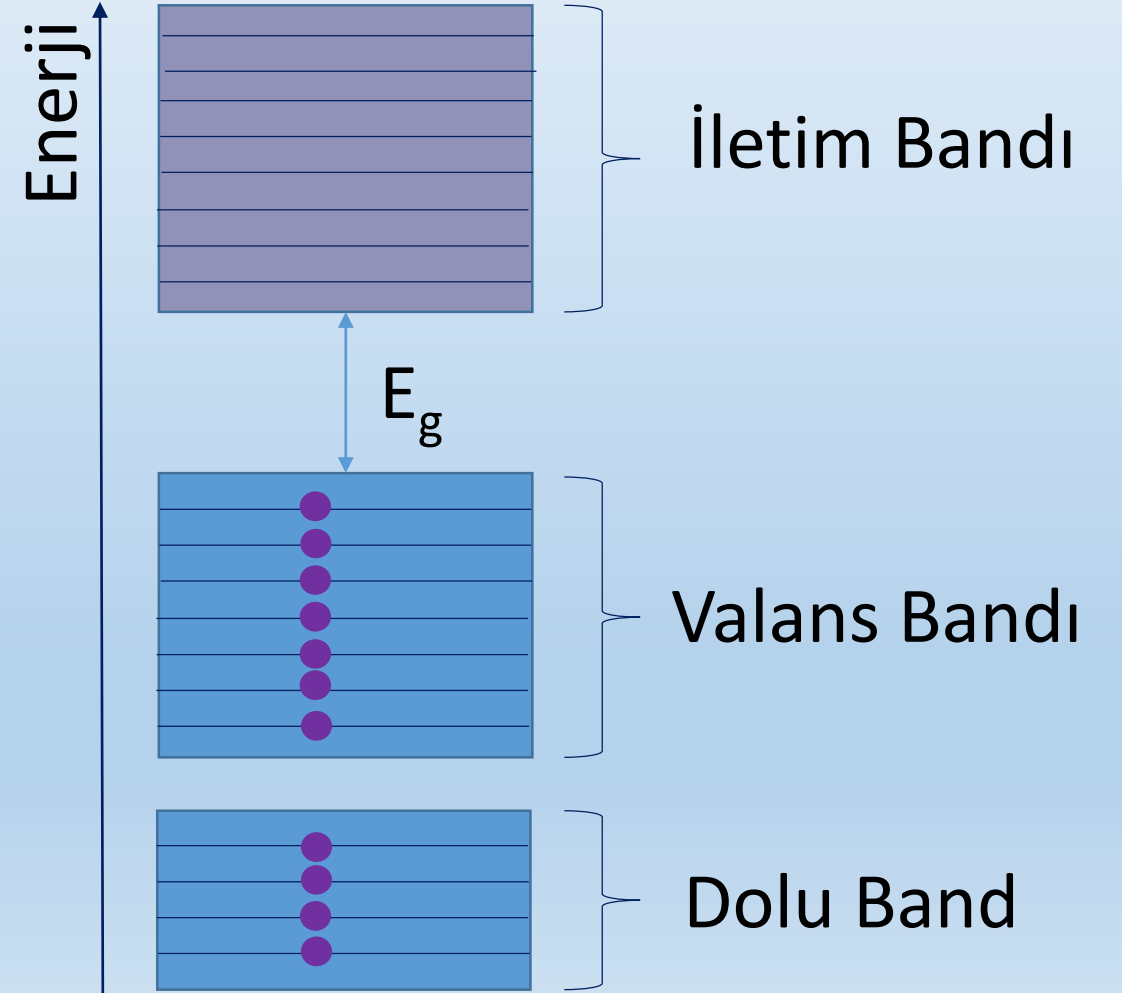
BAND DİYAGRAMLARI

Yalıtkan



- Yarı iletkenlerde ve yalıtkan, valans bandı dolu, daha fazla elektron eklenemez (Pauli prensibi).
- Elektrik iletimi, elektronların enerji kazanabilmelerini gerektirir. Serbest olmak için elektronların yasak bant aralığını geçmeleri gerekir bu durum uyarma elektrik alan, ısı veya ışıkla sağlanabilir.

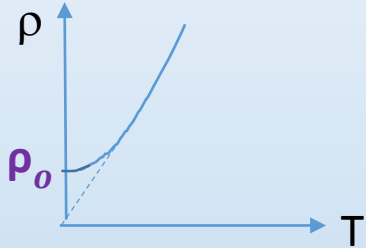
Yarıiletken



METAL VE YARIİLETKENLERDE İLETKENLİĞİN SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

METALLER

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha T)$$



$$\rho = \frac{1}{ne\mu}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = ne\mu$$

$\rho \rightarrow$ Herhangi bir T sıcaklığında öz direnç

$\rho_0 \rightarrow$ 0K sıcaklığında öz direnç

$\sigma \rightarrow$ Herhangi bir T sıcaklığında iletkenlik

$\alpha \rightarrow$ öz direnç sıcaklık katsayısı

$T \rightarrow$ Sıcaklık

$k \rightarrow$ Boltzman sabiti

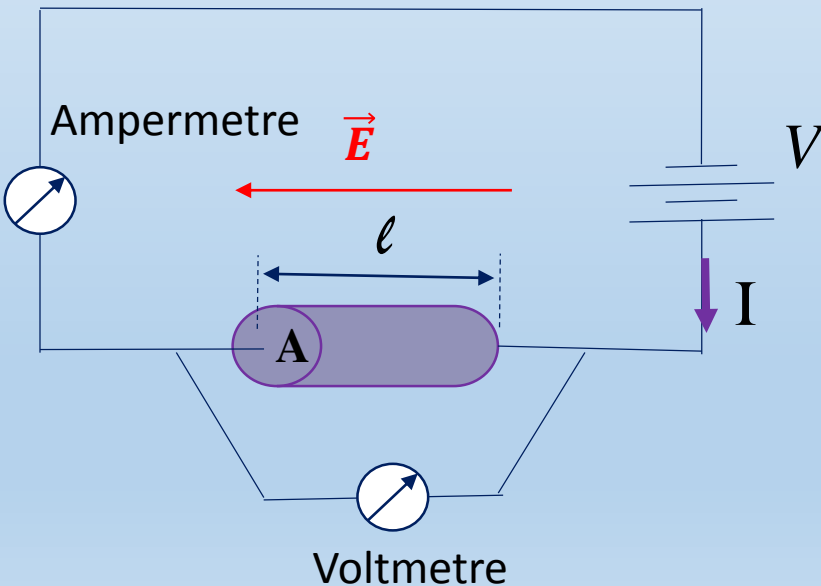
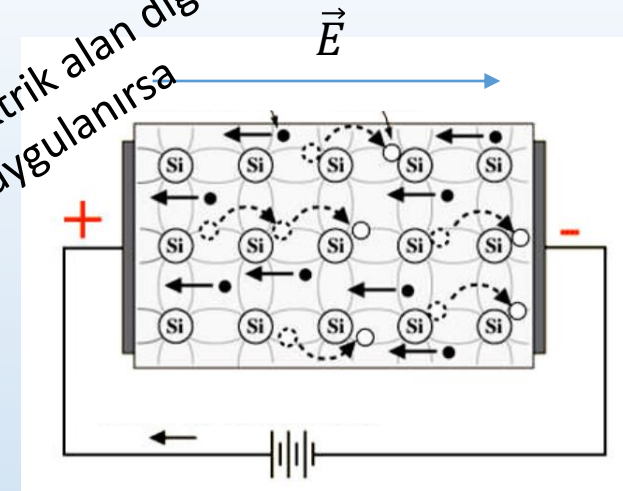
$E_g \rightarrow$ Yasak bant genişliği

$C \rightarrow$ malzemeye özgü sabit

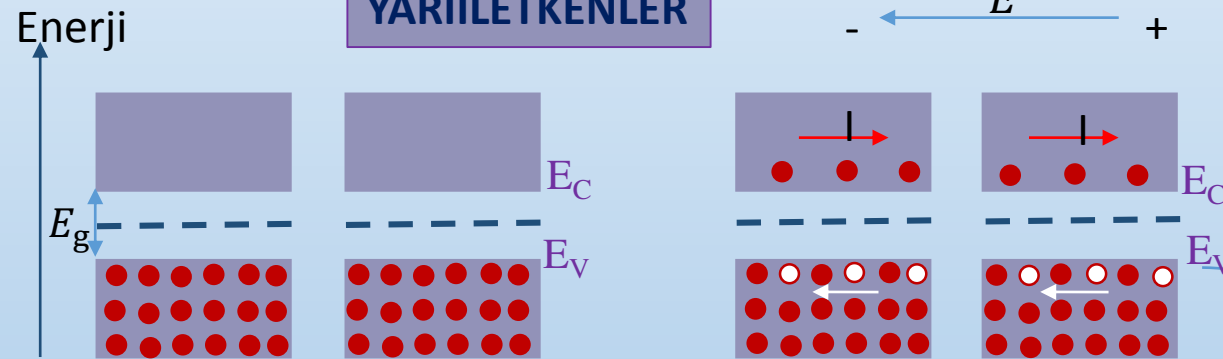
$E_v \rightarrow$ Valans bandı tavan enerji seviyesi

$E_c \rightarrow$ İletim bandı taban enerji seviyesi

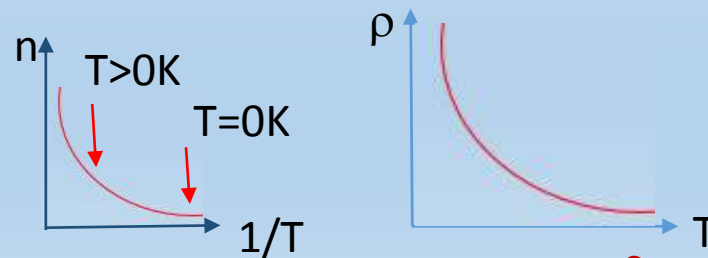
Veya elektrik alan diğer yönde uygulanırsa



YARIİLETKENLER



BİPOLAR İLETKENLİK hem elektronlar hem boşluklar yük taşıyıcısı



$$n = CT^{3/2} e^{-E_g/2kT}$$

Elektrik alanda elektronun hareket yönü
Elektrik alanda boşluğun hareket yönü