

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Malzemelerin Elektriksel Özellikleri



**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

Dr. Ersin Emre Ören

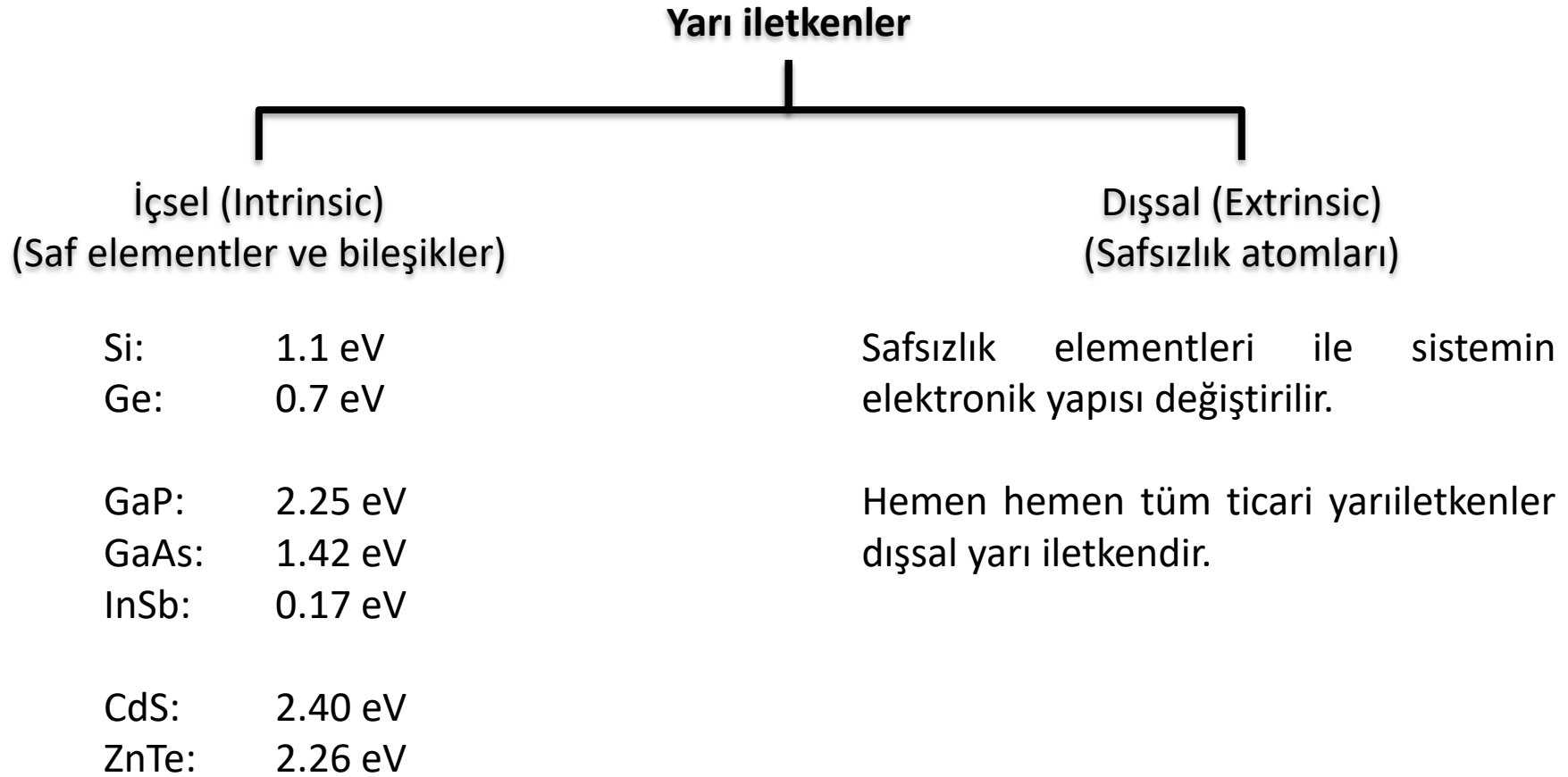
**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

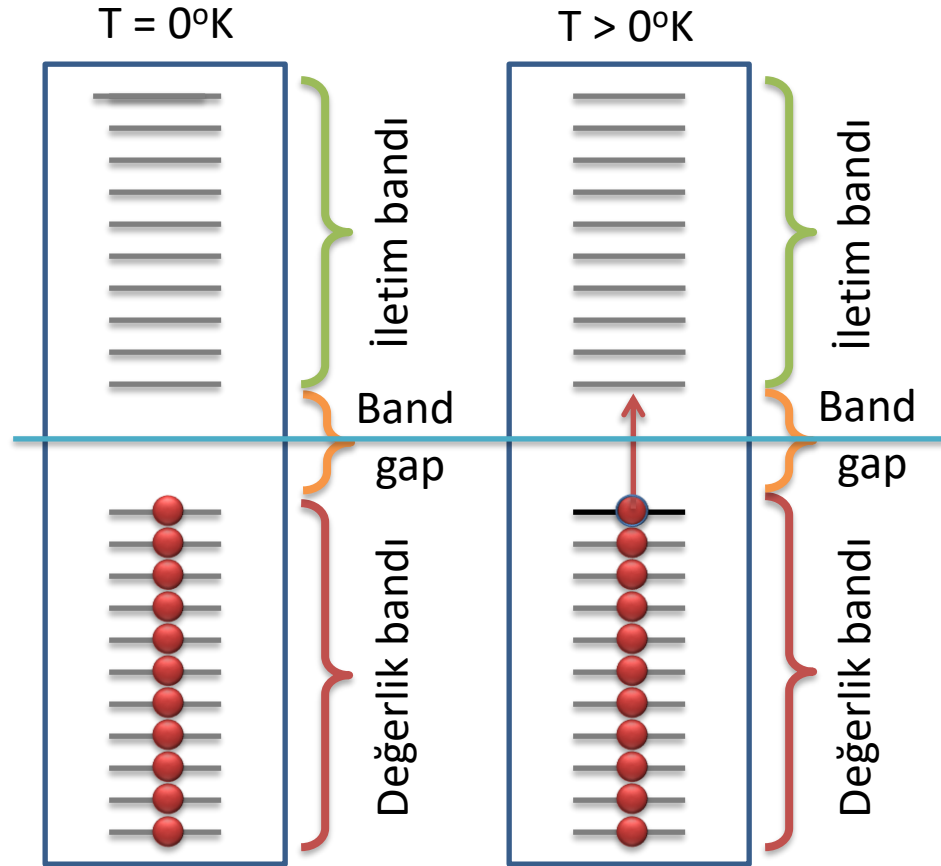
eeoren@etu.edu.tr
<http://eeoren.etu.edu.tr>

YARI İLETKENLER:

Yarı iletkenlerin elektrik iletimi iletkenler kadar iyi değildir, ama bazı özellikleri ile bugün teknolojimiz için vazgeçilmez bir konuma gelmişlerdir.



İçsel (intrinsic) Yarı İletkenler:



Boşluk (hole) kavramı:

İçsel yarı iletkenlerde iletim bandına çıkan her bir elektron için kovalent bağ yapan elektronlarda (değerlik bandında) bir tane eksilme olur.

$$E_F = \frac{E_g}{2}$$

Fermi düzeyi: olarak % 50 doluluk oranına sahip hipotetik enerji seviyesidir.

Sonuçta eksik olan bu elektronun konumu elektrik alan altında kristal içerisindeki başka elektronlarca doldurulur ve sanki bir boşluk elektrik alan yönünde hareket ediyormuş gibi davranır.

İçsel iletkenlik (intrinsic conductivity):

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h$$

$$n = p = n_i = n_o \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$



$$\sigma = n_i|e|(\mu_e + \mu_h)$$

$$k = 8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

Soru

GaAs için oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği 10^{-6} mho/m ölçülmüştür. Aşağıdaki verileri kullanarak içsel yük taşıyıcı yoğunluğunu bulunuz.

$$\mu_e = 0.85 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

$$\mu_h = 0.04 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

$$\sigma = n_i |e| (\mu_e + \mu_h) \quad \Rightarrow \quad n_i = \frac{\sigma}{|e| (\mu_e + \mu_h)}$$

$$\Rightarrow n_i = \frac{1 \times 10^{-6} \text{ mho/m}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \left(0.85 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} + 0.04 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \right)}$$

$$\Rightarrow n_i = 7.0 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$$

İçsel (intrinsic) Yarı İletkenler:

İçsel iletkenlik (intrinsic conductivity): $\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h$

$$n = p = n_i = n_o \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) \quad \Rightarrow \quad \sigma = n_i |e| (\mu_e + \mu_h) \quad k = 8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$\Rightarrow \quad \sigma = n_o \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) |e| (\mu_e + \mu_h)$$

$$\Rightarrow \quad \sigma = n_o |e| (\mu_e + \mu_h) \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \sigma = \sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

Soru

Ultra saf germanyumun (Ge) oda sıcaklığındaki (20 °C) elektrik iletkenliği 10^{-2} mho/cm olarak ölçülmüştür. Aşağıdaki verileri kullanarak aynı malzemenin 100 °C'deki elektrik iletkenliğini hesaplayınız.

$$E_g = 0.67 \text{ eV} \quad k = 8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

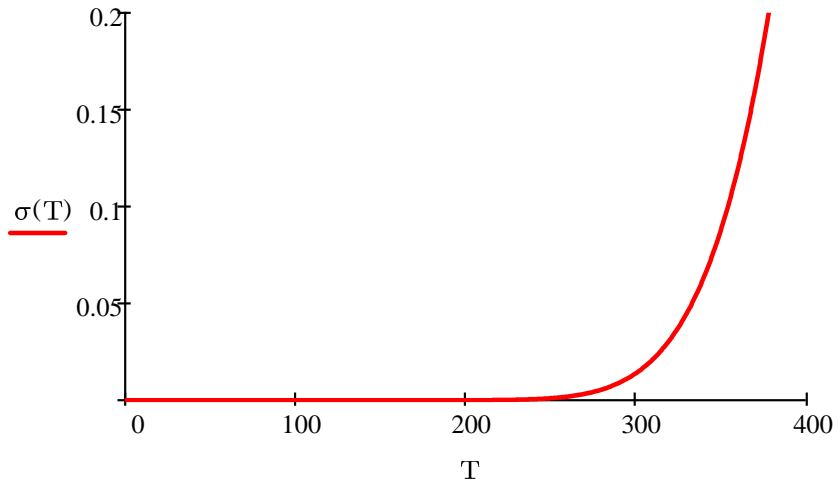
$$\Rightarrow \sigma = \sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

$$\sigma_{20} = \sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2k(20 + 273) K}\right)$$

$$\sigma_{100} = \sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2k(100 + 273) K}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{100}} = \frac{\sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2k(293) K}\right)}{\sigma_o \exp\left(\frac{-E_g}{2k(373) K}\right)} = \exp\left(\frac{-E_g}{2k} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{373}\right)\right)$$

$$\Rightarrow \sigma_{100} = \sigma_{20} \exp\left(\frac{E_g}{2k} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{373}\right)\right) = 0.171 \text{ mho/cm}$$



İçsel (intrinsic) Yarı İletkenler:

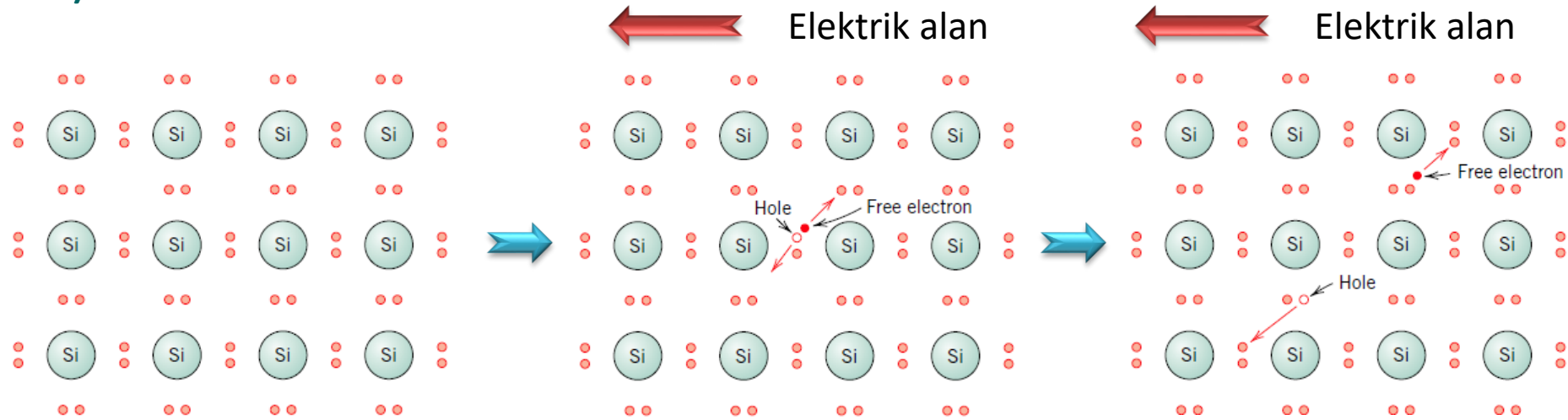
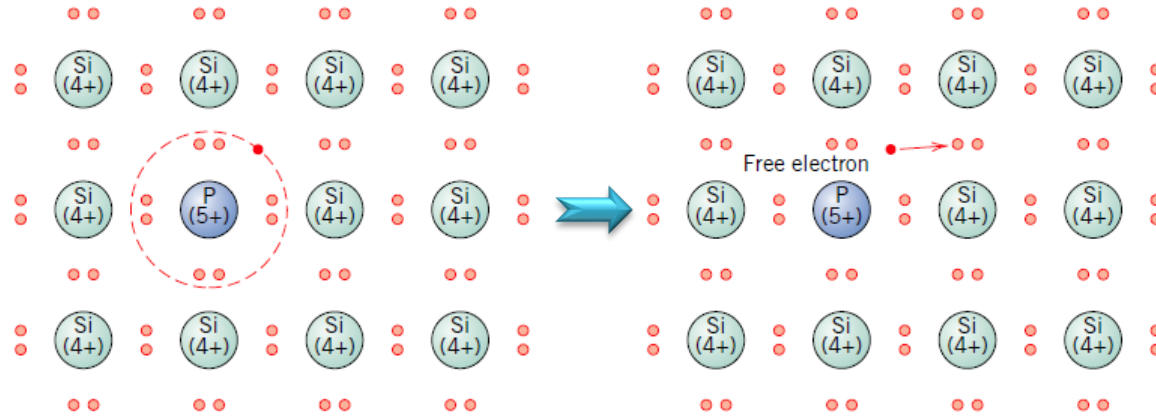


Table 18.3 Band Gap Energies, Electron and Hole Mobilities, and Intrinsic Electrical Conductivities at Room Temperature for Semiconducting Materials

Material	Band Gap (eV)	Electrical Conductivity $[(\Omega \cdot m)^{-1}]$	Electron Mobility ($m^2/V \cdot s$)	Hole Mobility ($m^2/V \cdot s$)
Elemental				
Si	1.11	4×10^{-4}	0.14	0.05
Ge	0.67	2.2	0.38	0.18
III-V Compounds				
GaP	2.25	—	0.03	0.015
GaAs	1.42	10^{-6}	0.85	0.04
InSb	0.17	2×10^4	7.7	0.07
II-VI Compounds				
CdS	2.40	—	0.03	—
ZnTe	2.26	—	0.03	0.01

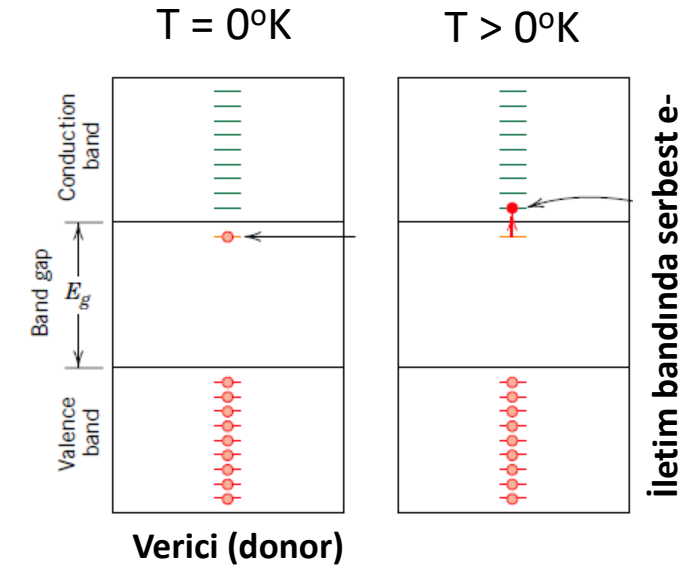
Dışsal (extrinsic) Yarı İletkenler:

n-tipi:

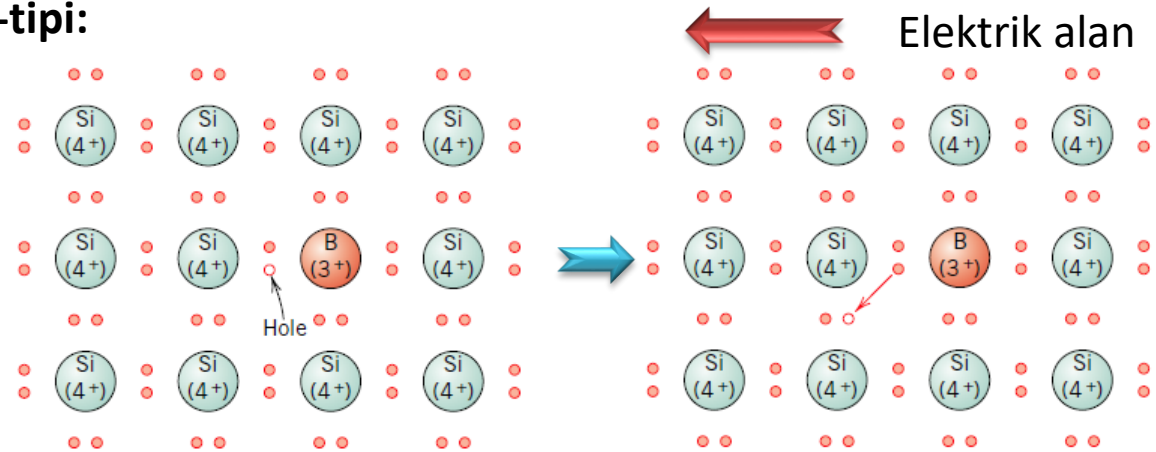


Ana yük taşıyıcılar elektronlardır: $n \gg p$

$$\sigma \approx n|e|\mu_e$$

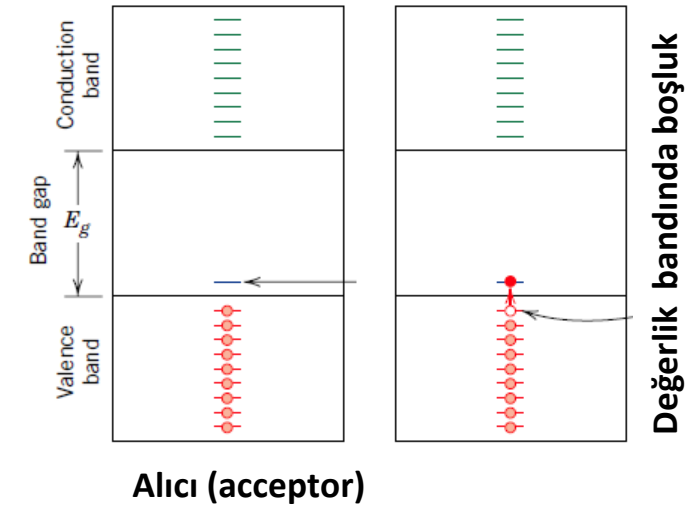


p-tipi:

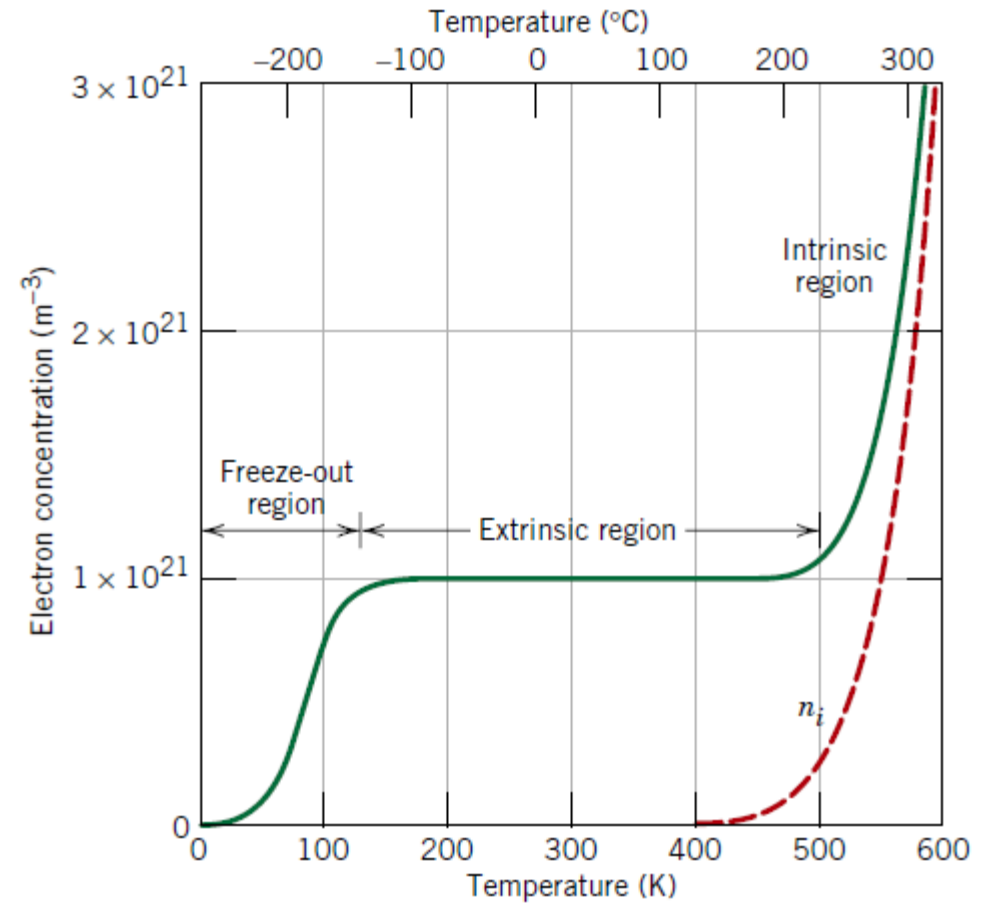
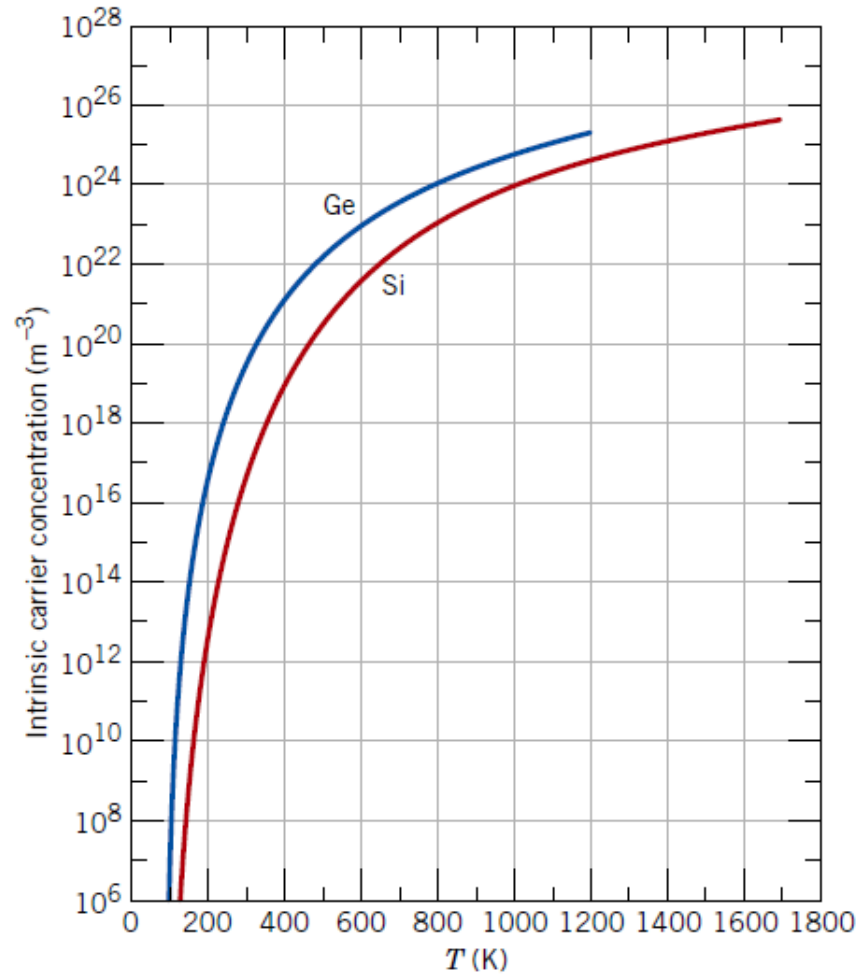


Ana yük taşıyıcılar boşluklardır: $p \gg n$

$$\sigma \approx p|e|\mu_h$$



Yarı İletkenlerde Sıcaklık Etkisi:



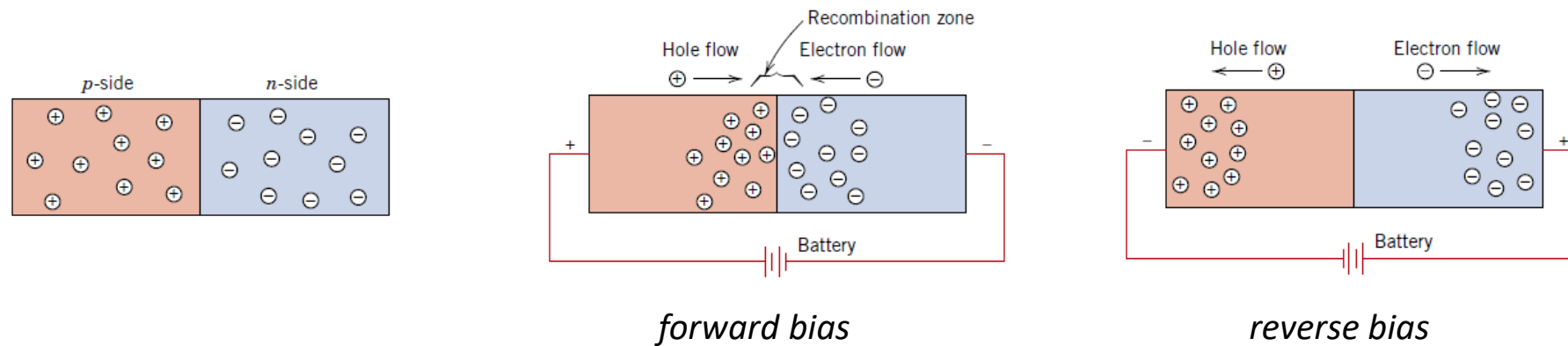
Yarı İletken Cihazlar

- küçük boyut,
- düşük güç tüketimi
- ısınmasına gerek yok

Diyot (diode): yalnızca bir yönde akım geçiren devre elemanıdır.

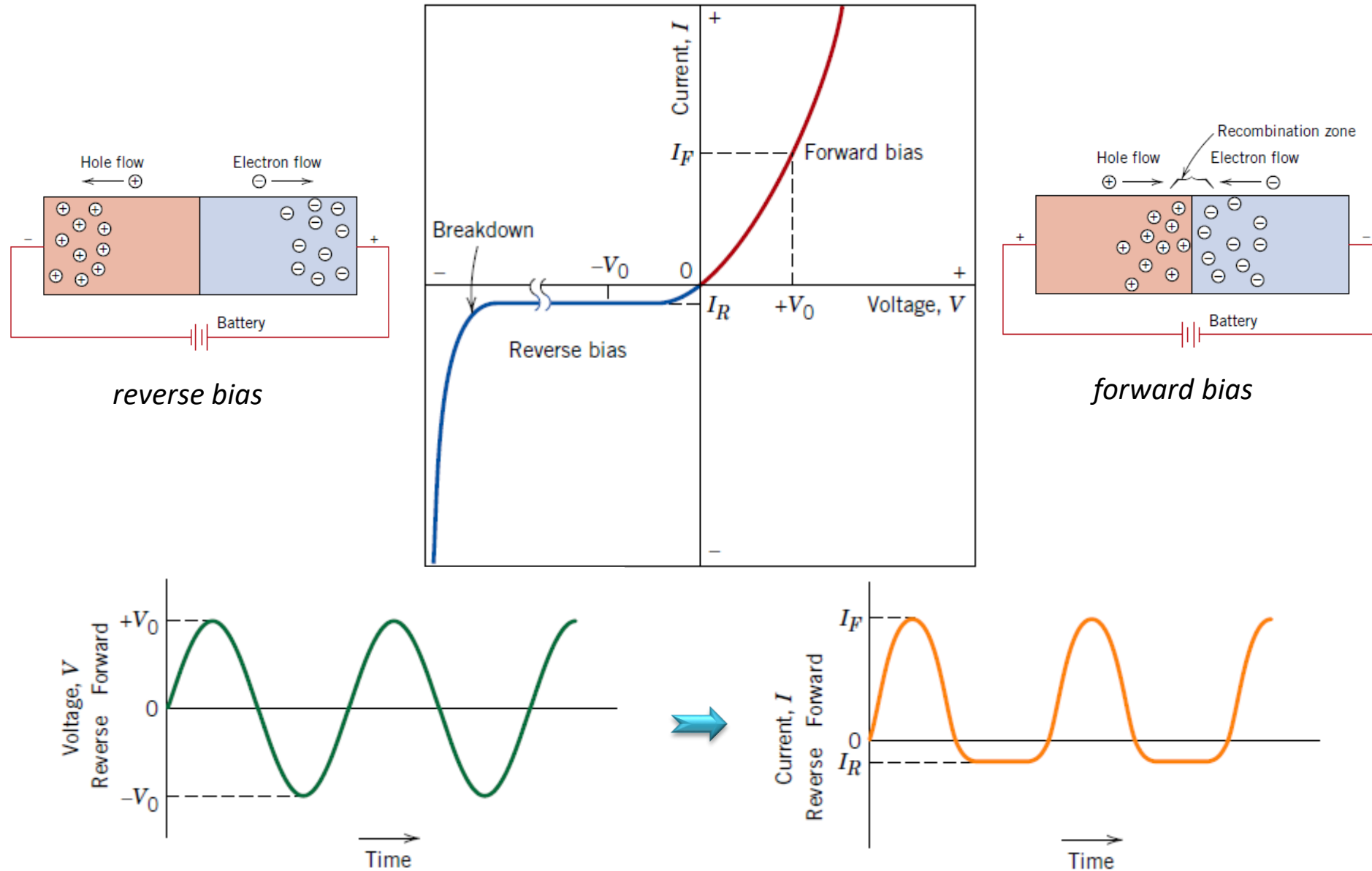
Doğrultucu (Rectifier): alternatif akımı doğru akıma çeviren elektriksel bir devredir.

***p-n* doğrultucu kavşağı (The *p-n* Rectifying Junction):**



MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

$p-n$ doğrultucu kavşağı (The $p-n$ Rectifying Junction):



Transistör veya Geçirgeç (Transistor):

Günümüz mikroelektronik devrelerinin en önemli yarı iletken cihazlarıdır.

Transistor = transfer + resistor

Transistörlerin iki ana işlevi vardır:

- Bir elektrik sinyalini yükseltmek (yükselteç)
- Bilgi işleme ve depolama için bilgisayarlarda anahtar (switch) işlevi görmek

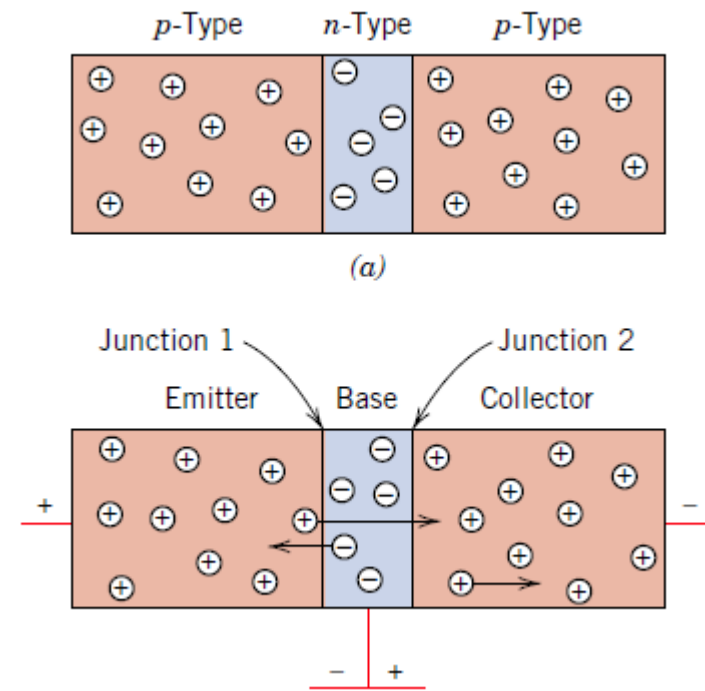
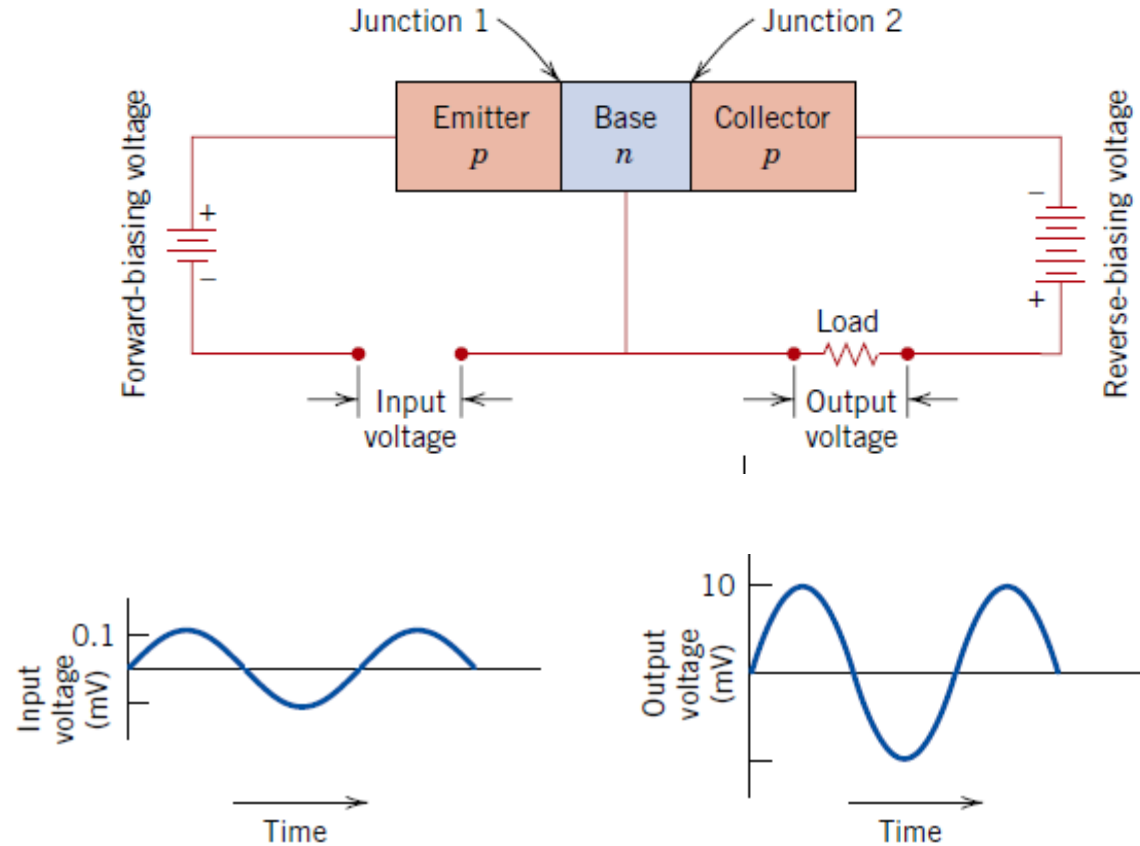
Transistörlerin iki ana tipi vardır:

- Junction Transistors
- The MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)

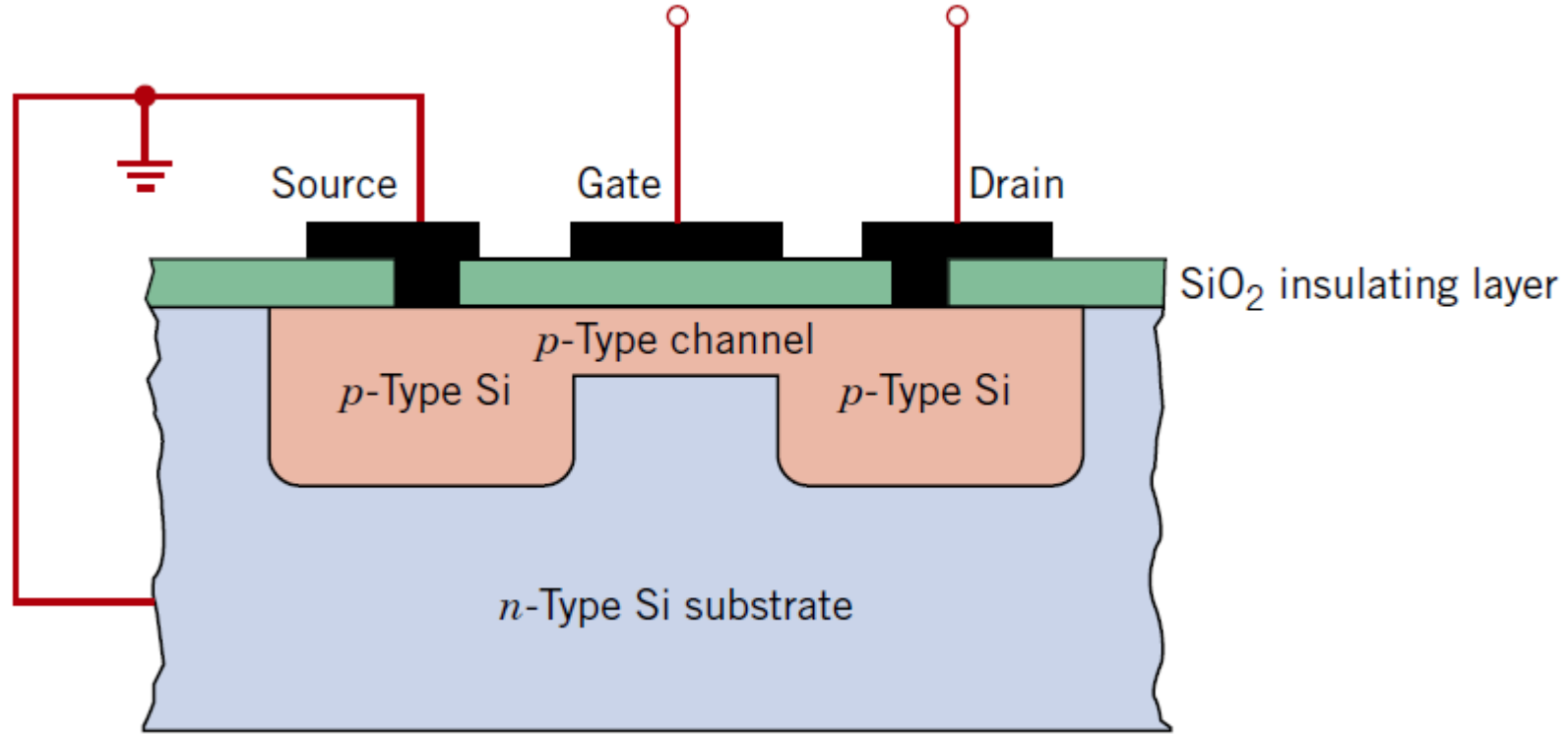


Kavşak Transistörü (Junction Transistor):

$n-p-n$ veya $p-n-p$



MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)



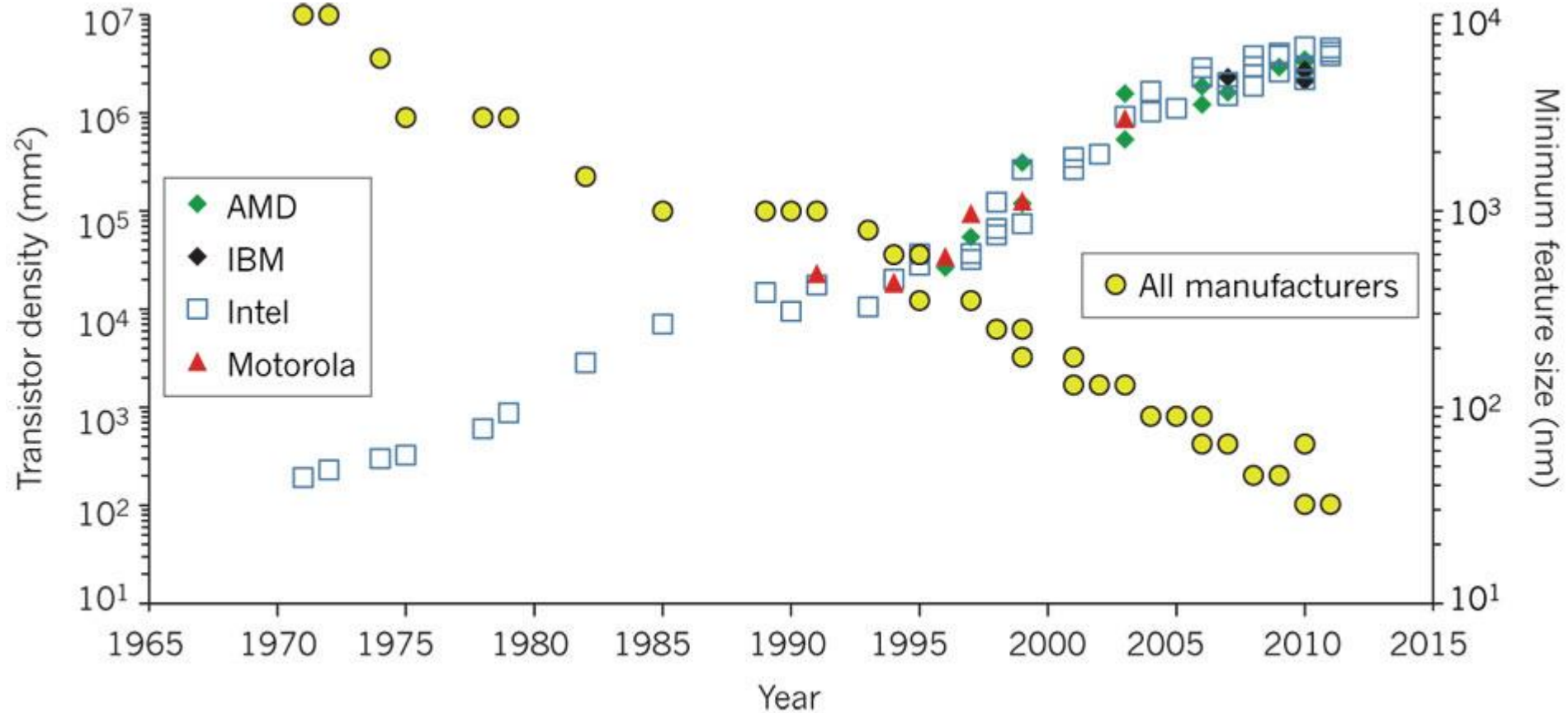
https://www.youtube.com/watch?v=ar7xDMR4P_U

Bilgisayar: 0 ve 1 yani iki farklı duruma ihtiyacımız var.

İletken (conducting) / yalıtkan (nonconducting)
on / off

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)

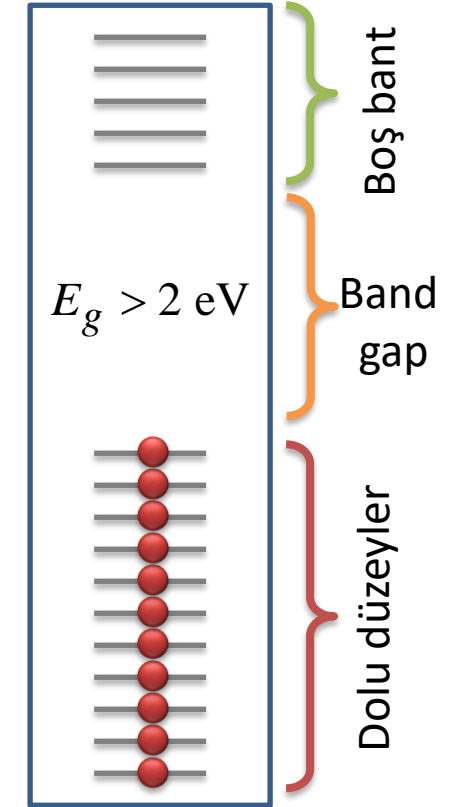


Seramik ve Polimerlerde Elektrik İletkenlik

Seramik ve Polimerler oda sıcaklığında genellikle yalıtkandır.

Table 18.4 Typical Room-Temperature Electrical Conductivities for 13 Nonmetallic Materials

Material	Electrical Conductivity [($\Omega \cdot m$) ⁻¹]
Graphite	$3 \times 10^4 - 2 \times 10^5$
<i>Ceramics</i>	
Concrete (dry)	10^{-9}
Soda-lime glass	$10^{-10} - 10^{-11}$
Porcelain	$10^{-10} - 10^{-12}$
Borosilicate glass	$\sim 10^{-13}$
Aluminum oxide	$< 10^{-13}$
Fused silica	$< 10^{-18}$
<i>Polymers</i>	
Phenol-formaldehyde	$10^{-9} - 10^{-10}$
Poly(methyl methacrylate)	$< 10^{-12}$
Nylon 6,6	$10^{-12} - 10^{-13}$
Polystyrene	$< 10^{-14}$
Polyethylene	$10^{-15} - 10^{-17}$
Polytetrafluoroethylene	$< 10^{-17}$



İyonik Seramik ve Polimerlerde Elektrik İletkenlik

İyonik malzemelerde hem katyonlar (down +) hem de anyonlar (up -) elektrik alan içerisinde ivmelenirler.

$$\sigma_{toplam} = \sigma_{elektronik} + \sigma_{iyonik}$$

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

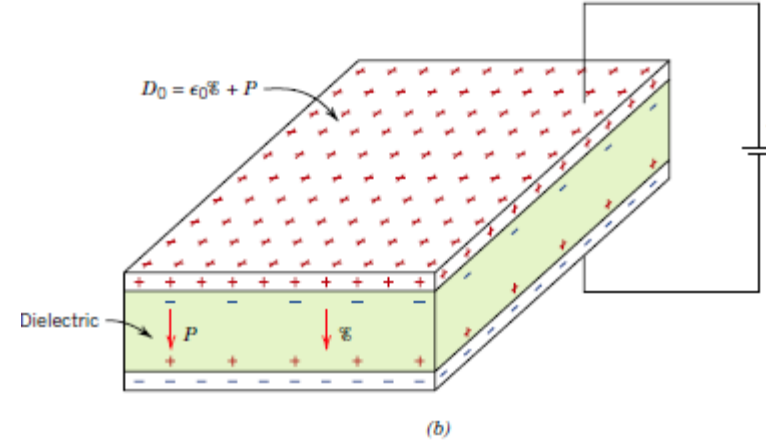
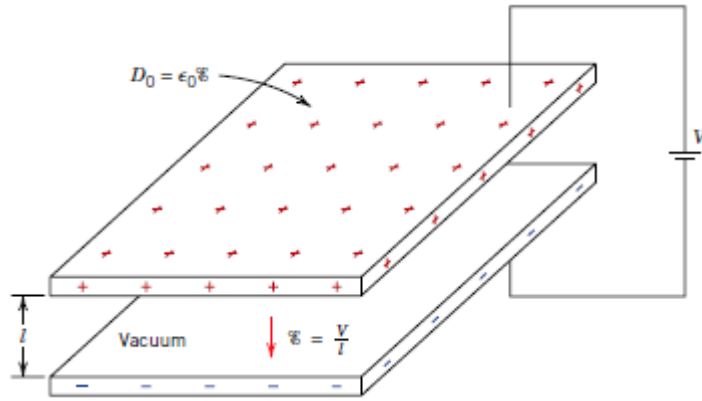
Dielektrik (Dielectric) Davranış:

Uygulanan elektrik alan ile polarize edilebilen yalıtkandır.

Kapasite (Capacitance) $C = \frac{Q}{V}$ Farad: $F = \frac{C}{V}$



Kondansatör (Capacitor)



- plakalar arasında kullanılan yalıtkanın cinsi,
- çalışma ve dayanma gerilimleri,
- depolayabildikleri yük miktarı

$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$

**Yalıtkanlık sabiti
(permittivity)**

**Boşluğun (vacuum)
yalıtkanlık sabiti**

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Dielektrik (Dielectric) Davranış:

Table 18.5 Dielectric Constants and Strengths for Some Dielectric Materials

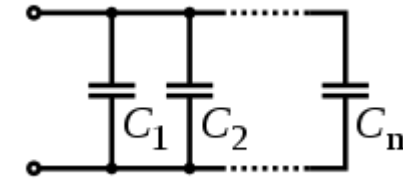
Material	Dielectric Constant		Dielectric Strength (V/mil) ^a
	60 Hz	1 MHz	
<i>Ceramics</i>			
Titanate ceramics	—	15–10,000	50–300
Mica	—	5.4–8.7	1000–2000
Steatite (MgO–SiO ₂)	—	5.5–7.5	200–350
Soda–lime glass	6.9	6.9	250
Porcelain	6.0	6.0	40–400
Fused silica	4.0	3.8	250
<i>Polymers</i>			
Phenol-formaldehyde	5.3	4.8	300–400
Nylon 6,6	4.0	3.6	400
Polystyrene	2.6	2.6	500–700
Polyethylene	2.3	2.3	450–500
Polytetrafluoroethylene	2.1	2.1	400–500

^a One mil = 0.001 in. These values of dielectric strength are average ones, the magnitude being dependent on specimen thickness and geometry, as well as the rate of application and duration of the applied electric field.

Dielektrik (Dielectric) Sabiti:

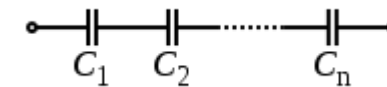
$$\epsilon_r = k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Paralel Kondansötörler:



$$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Seri Kondansötörler:



$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

Önümüzdeki Ders Saatinde

MALZEME TASARIMI

adlı konuya devam edeceğiz!