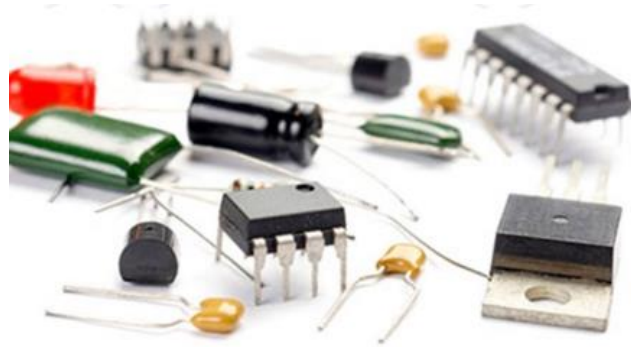
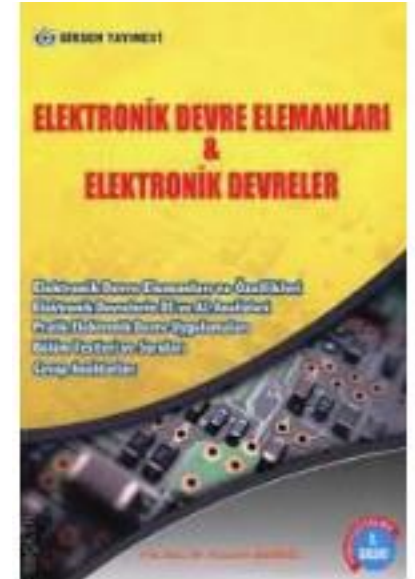
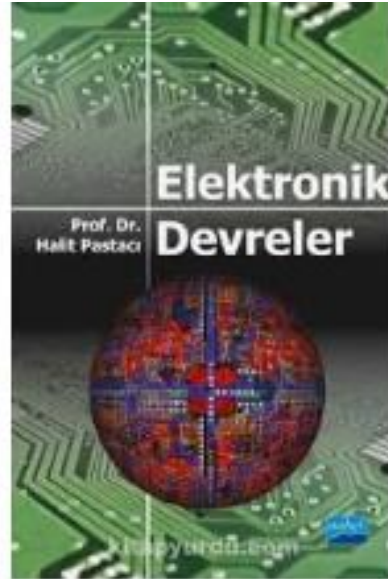
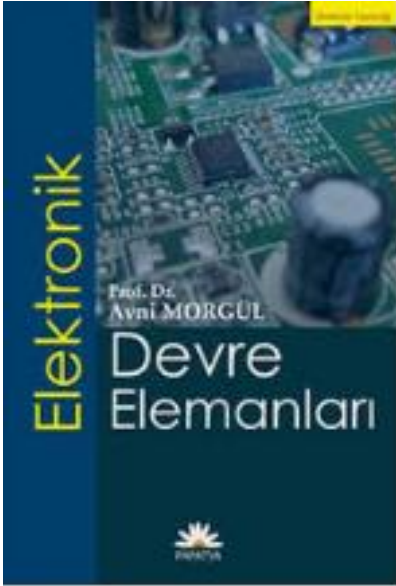




Elektronik Devreler



Yardımcı Kaynaklar



Deęerlendirme

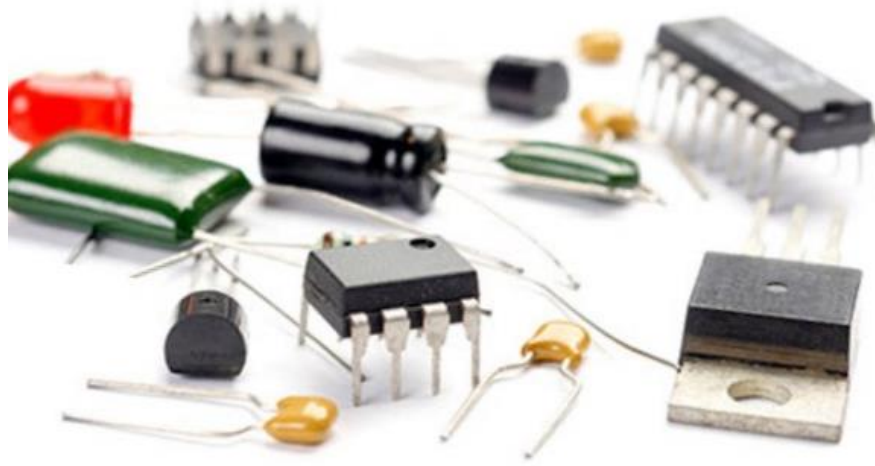
% 10 Ödev + % 40 Vize + % 50 Final

Duyurular ve detaylı bilgi:

ww3.ticaret.edu.tr/fnaki

fnaki@ticaret.edu.tr

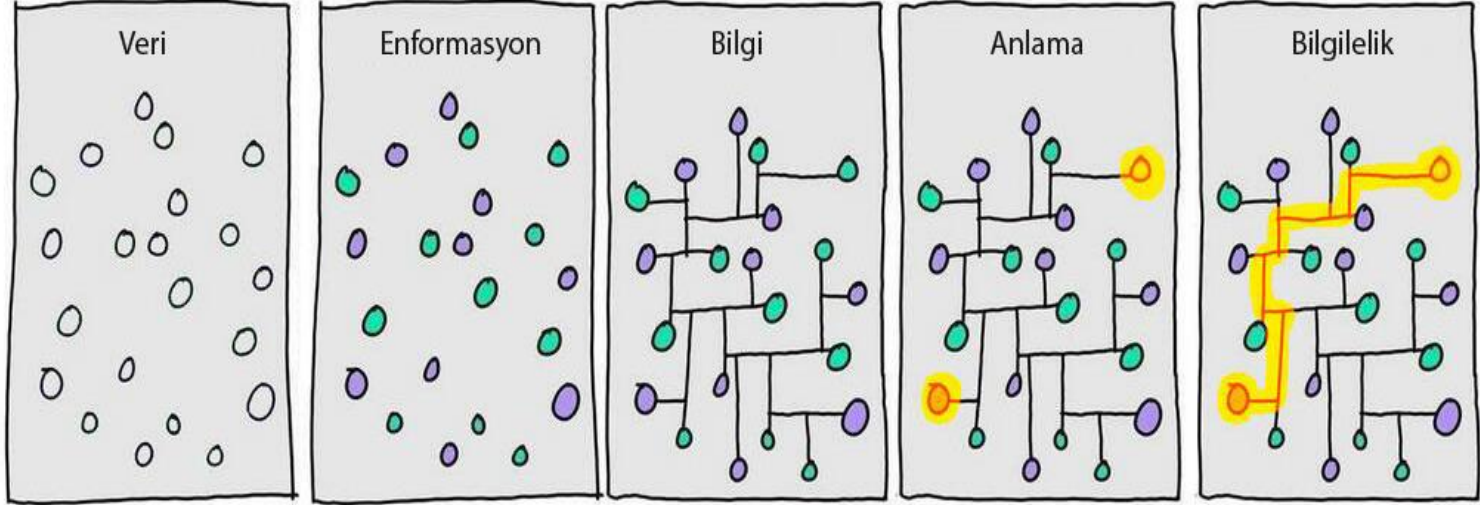




Elektronik Nedir?

- Elektronların ve elektromanyetik alanların etkileşmesi ile ilgilenen bilim ve teknik dalıdır.
- Bu etkileşimler kullanılarak elektromanyetik enerjinin (enformasyon-bilgi) dönüşümü (transformasyonu), işlenmesi, depolanması ile bağlı elektronik aygıt ve sistemlerin hazırlanma yöntemleri oluşturulur.

Hatırlatma !



Veri: bir veya birden fazla bilgiden oluşan kümedir. Bilgisayara girilen , bilgisayar tarafından saklanabilen ve işlenebilen her şeye veri denir. Kısaca söylemek gerekirse birbiri ile ilişkilendirilmemiş ham kayıtlardır. Veri kaydedilebilir bilinen gerçeklerdir. Örneğin; bir kişinin ismi, adresi, telefon numarası gibi.

Enformasyon: bilginin iletişim ile aktarılması veya verinin anlamlı bir konu etrafında işlenmiş halidir. Örneğin; Bu sınıfın not ortalaması , son 1 yılın en yüksek ortalamasıdır.

- Bu cümle enformasyon içerir. Çünkü, bu cümleyi söyleyebilmemiz için son 1 yılın ortalamalarını incelemek gerekir.
- Başka bir örnek vermek gerekirse “Bu yıl, Zeynep diğer tüm satış temsilcilerinden daha fazla komisyon elde etmiştir.”

Bilgi: enformasyon haline dönüştürülmüş gerçeklerin analiz edilmesi ve sentezlenmesi sonucu karar vermeye yönelik olarak elde edilen daha üst seviyeli gerçekleri içerir. Bilgi, enformasyonun deney, tecrübe, yorum, analiz ve bağlam ile zenginleştirilmiş halidir.

- Örneğin ; Her yıl Zeynep tüm satış temsilcilerinden daha fazla satış gerçekleştirir.

Elektroniğin geliřimi



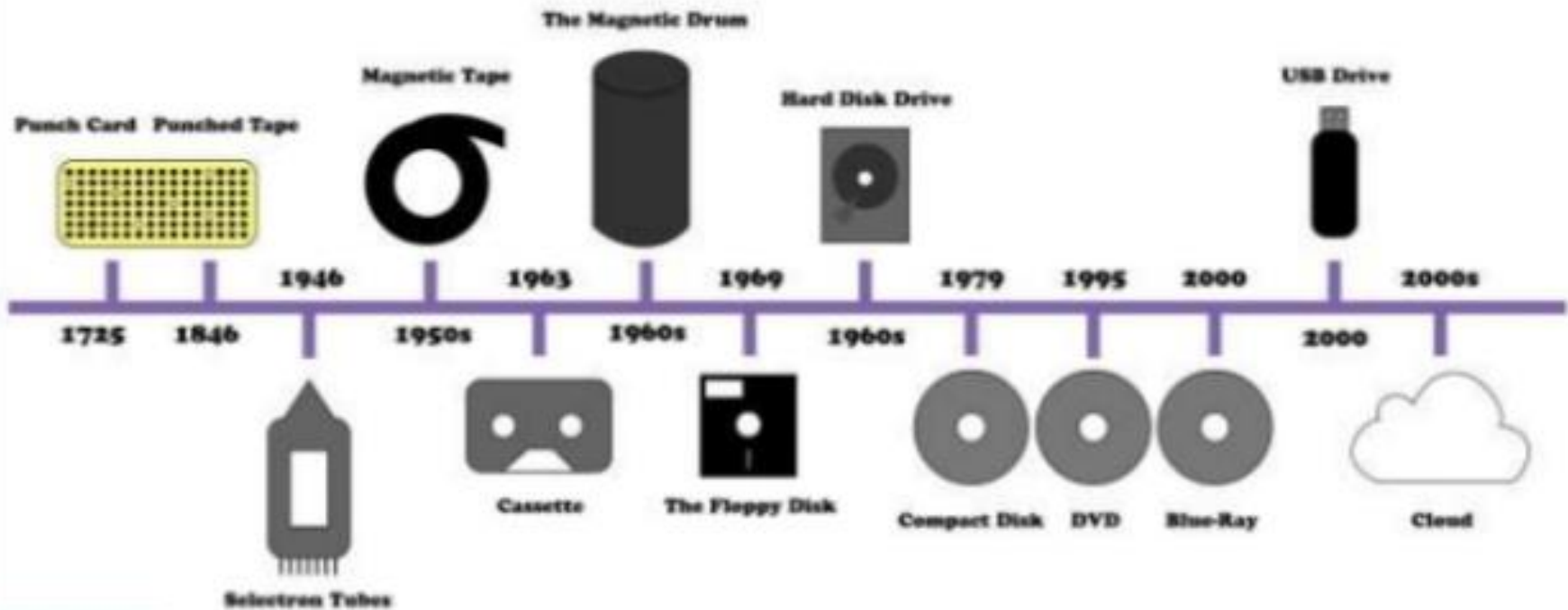
- Elektron lambalar
- Yüksek frekanslı vakum aygıtları
- Elektron ışını aygıtları
- Fotoelektrik aygıtlar
- X ışını tüpleri
- Gaz boşaltma aygıtları

- Yarı iletken aygıtlar
- Entegre Devreler
- Mikroişlemciler
- Mikro bilgisayarlar
- Optoelektronik

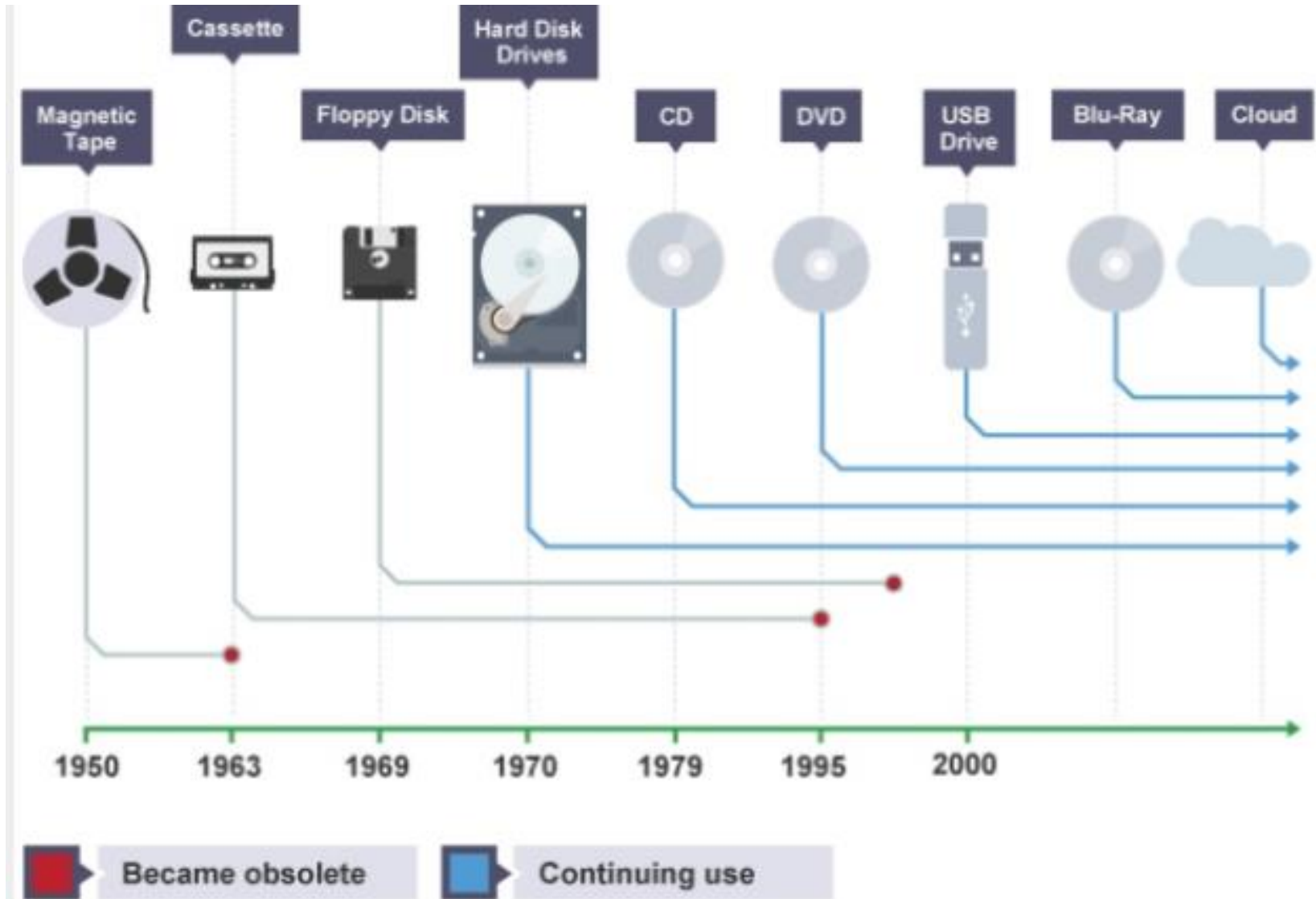
- Lazer
- Mazer
- Optik Bağlantılar
- Radyo astronomi
- Holografik 3D çizimler
- Telemetre uzaklık ölçer



Data storage timeline

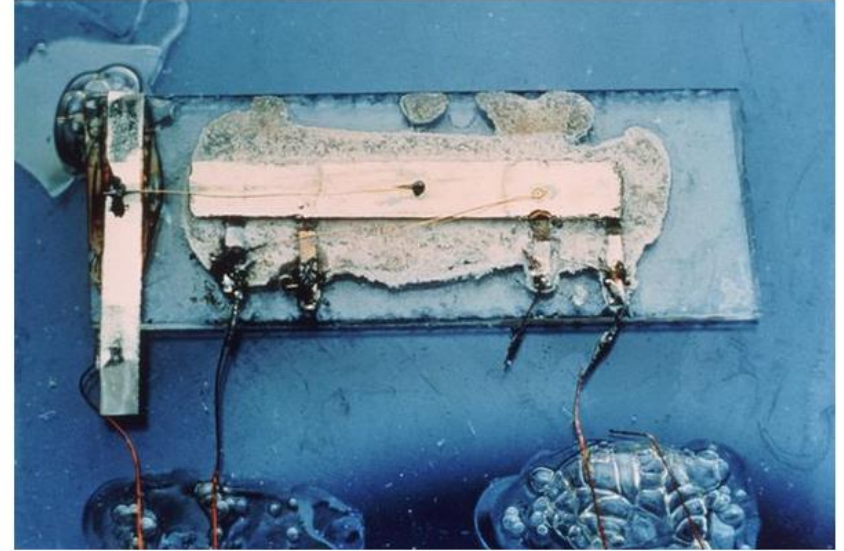


Data storage timeline



Entegre devre – IC: integrated circuit, yonga veya Chip

- Çok sayıda diyot, transistörden oluşan tek bir yarı iletken altlık yüzeyi üzerinde elektriksel birleşim ile hazırlanan ve elektromanyetik sinyalin (informasyonun) amplifikasyonu, dönüşümü, depolanması vb. amaçla tam bir alet gibi kullanılan kullanılan düzendir.



Jack Kilby'e Ait Olan İlk Entegre

İlk entegreler birkaç adet **transistörden** oluşmaktaydı. Bu yapı bile, **lojik kapıları** gibi bilgisayarların temel yapı taşlarınınin boyutunun çok daha küçülmesini sağlayabiliyordu.

İlk entegreler yalnızca birkaç adet transistörden oluşmaktaydı

Bu teknikle üretilen entegreler, en fazla 5 adet transistöre sahip olabiliyordu. Çok daha fazla sayıda devre elemanının entegre edilebilmesi, **fotolitografi** tekniği sayesinde mümkün olmuştur.

Bu teknikte tabaka halinde bir silikon levha üzeri **fotorezist** isimli ışığa duyarlı bir malzeme ile kaplanır. Bu kaplama, daha sonra devrenin çizili olduğu bir maskeden geçen ve fotorezistin duyarlı olduğu bir ışık kaynağına maruz bırakılır. Böylelikle maskede belirlenen kısımlardaki fotorezistin ışık sayesinde sertleşmesi sağlanır. Daha sonra fotorezistin kaplamadığı alanlar bir kimyasal aracılığıyla çözdürülerek ortadan kaldırılır.

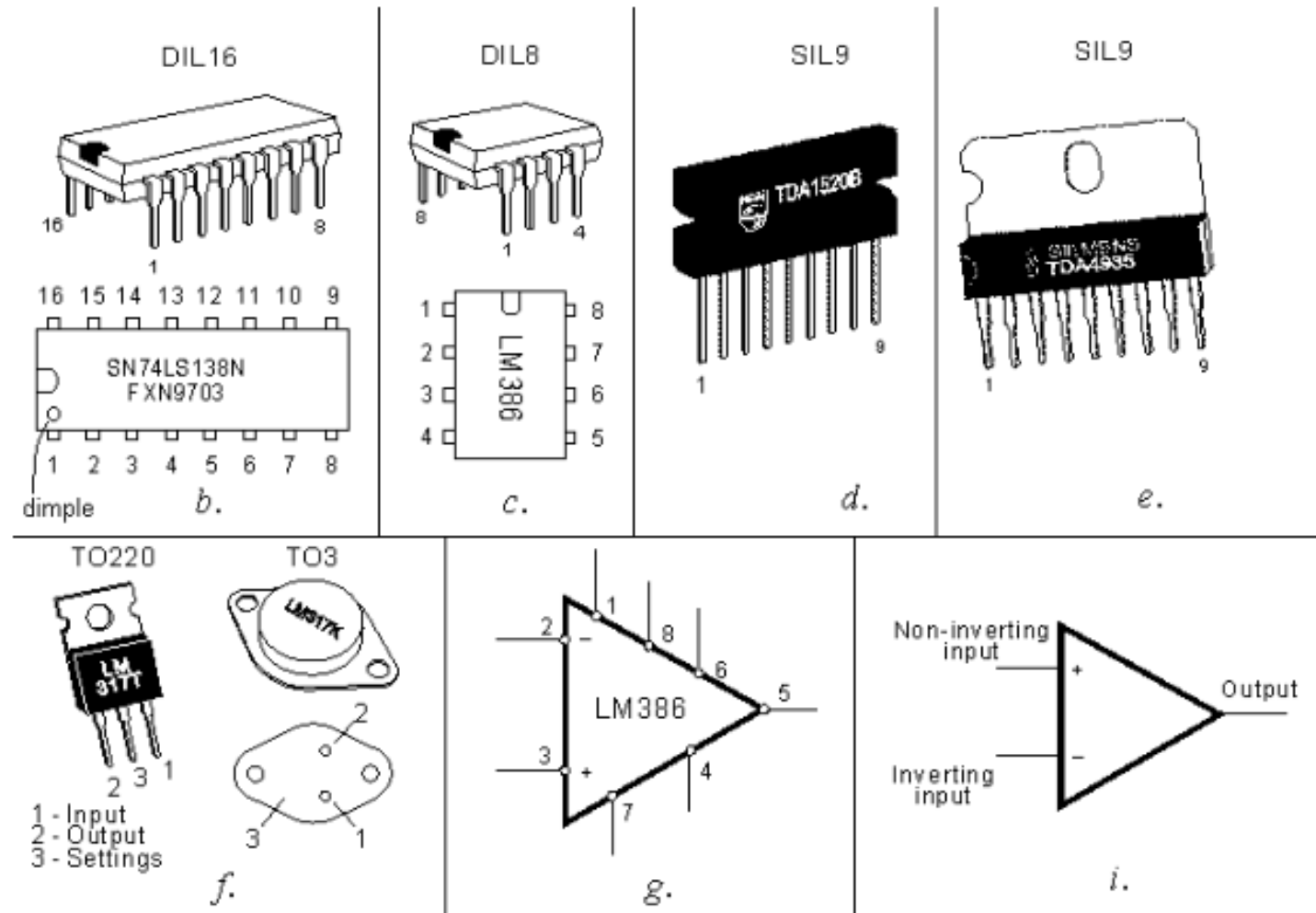


www.diyot.net

Fotolitografi tekniğinin uygulanaşı.

Entegreler 3 sınıf altında incelenir:

- 1) Yapılarında kullanılan eleman çeşidine göre entegreler
- 2) Bünyesindeki transistör sayısına göre entegreler
- 3) Teknolojisine göre entegreler



Resim 1: Çeşitli Entegre Tipleri

Kullanım amaçları doğrultusunda 2 çeşit entegre vardır:

1) Analog entegre

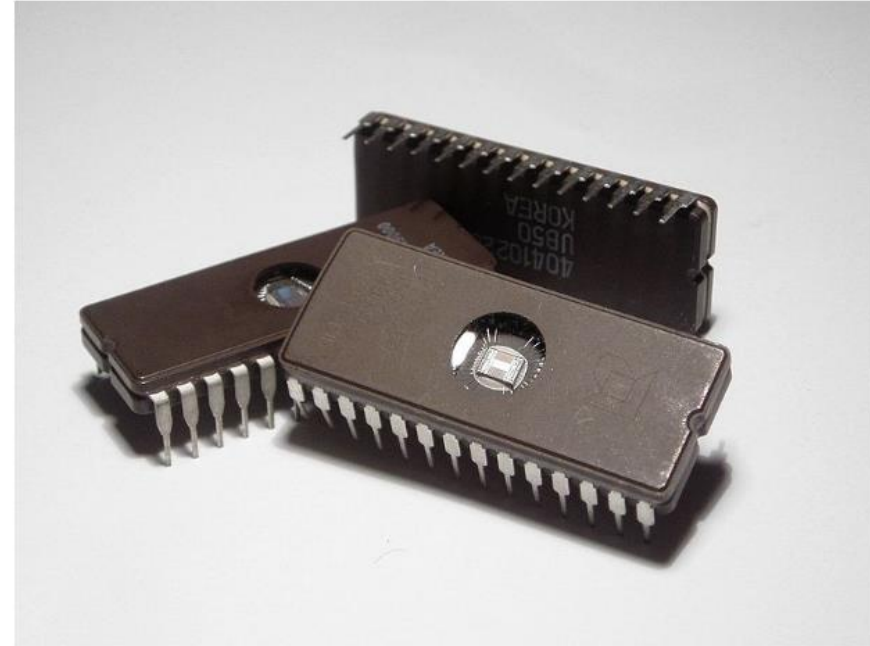
2) Dijital entegre

a. TTL entegre (BJT kullanılır) b. CMOS entegre (MOSFET kullanılır)

TTL entegrelerde BJT tipi transistörler bulunurken CMOS entegrelerde MOSFET tipi transistörler bulunur.

Küçük Ölçekli (SSI), Orta Ölçekli (MSI), Geniş Ölçekli (LSI), Çok Geniş Ölçekli (VLSI), Aşırı Geniş Ölçekli (ULSI) ve Giga Ölçekli (GSI) gibi entegre sınıflandırmaları da mümkün.

Çođu entegre lineerlik özelliği gösterir. Lineer entegreler olarak ses yükselticileri, op-amp'lar, radyolar ve TV devreleri örnek gösterilebilirler. Bunyelerinde FET ve MOSFET kullanılır.



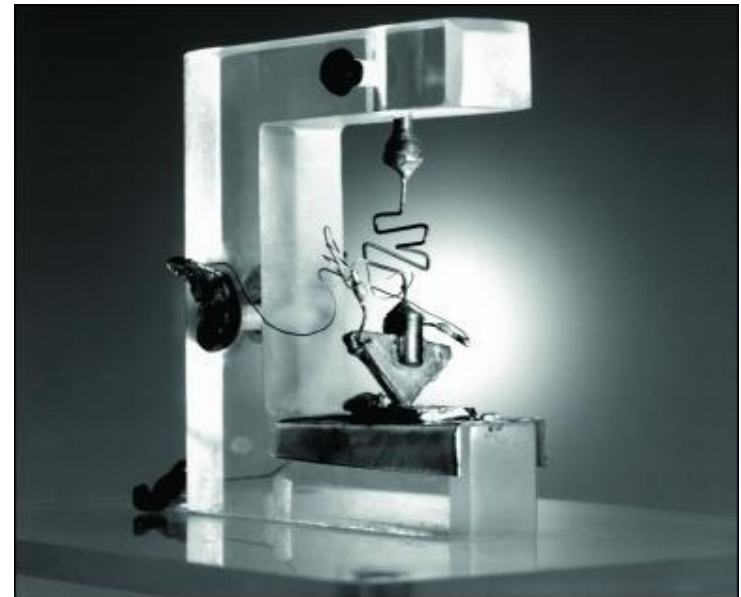
Resim 2: Mikroçip Olarak Kullanılabilen Entegre Çeřitleri

Entegre devreler ile birçok avantaj da elde edilebilir. Küçük ve hafif olmaları, karmaşık devre yapılarını basitleştirmesi, güvenilir olması ve düşük maliyete sahip olması gibi özellikler bu avantajlar arasında sayılabilir.

Modern Elektronik Çağının Başlangıcı



Bell Lab'taki Bardeen, Shockley ve Brattain - Brattain ve Bardeen, 1947'de bipolar transistörü icat etti.



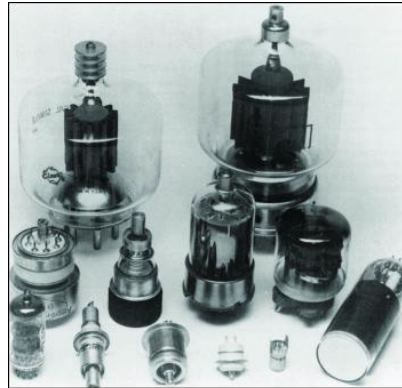
The first germanium bipolar transistor. Roughly 50 years later, electronics account for 10% (4 trillion dollars) of the world GDP.

Electronics Milestones

- | | | | |
|-----------|---|------|--|
| 1874 | Braun invents the solid-state rectifier. | 1958 | Integrated circuits developed by Kilby and Noyce |
| 1906 | DeForest invents triode vacuum tube. | 1961 | First commercial IC from Fairchild Semiconductor |
| 1907-1927 | First radio circuits developed from diodes and triodes. | 1963 | IEEE formed from merger of IRE and AIEE |
| 1925 | Lilienfeld field-effect device patent filed. | 1968 | First commercial IC opamp |
| 1947 | Bardeen and Brattain at Bell Laboratories invent bipolar transistors. | 1970 | One transistor DRAM cell invented by Dennard at IBM. |
| 1952 | Commercial bipolar transistor production at Texas Instruments. | 1971 | 4004 Intel microprocessor introduced. |
| 1956 | Bardeen, Brattain, and Shockley receive Nobel prize. | 1978 | First commercial 1-kilobit memory. |
| | | 1974 | 8080 microprocessor introduced. |
| | | 1984 | Megabit memory chip introduced. |
| | | 2000 | Alferov, Kilby, and Kromer share Nobel prize |

Evolution of Electronic Devices

Vacuum
Tubes



(a)

Discrete
Transistors



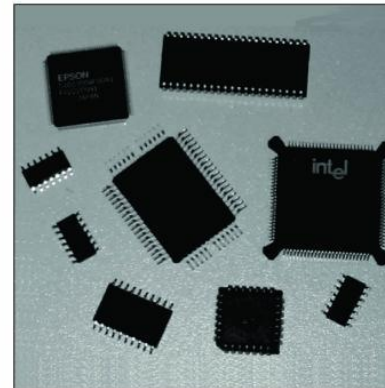
(b)

SSI and MSI
Integrated
Circuits



(c)

VLSI
Surface-Mount
Circuits



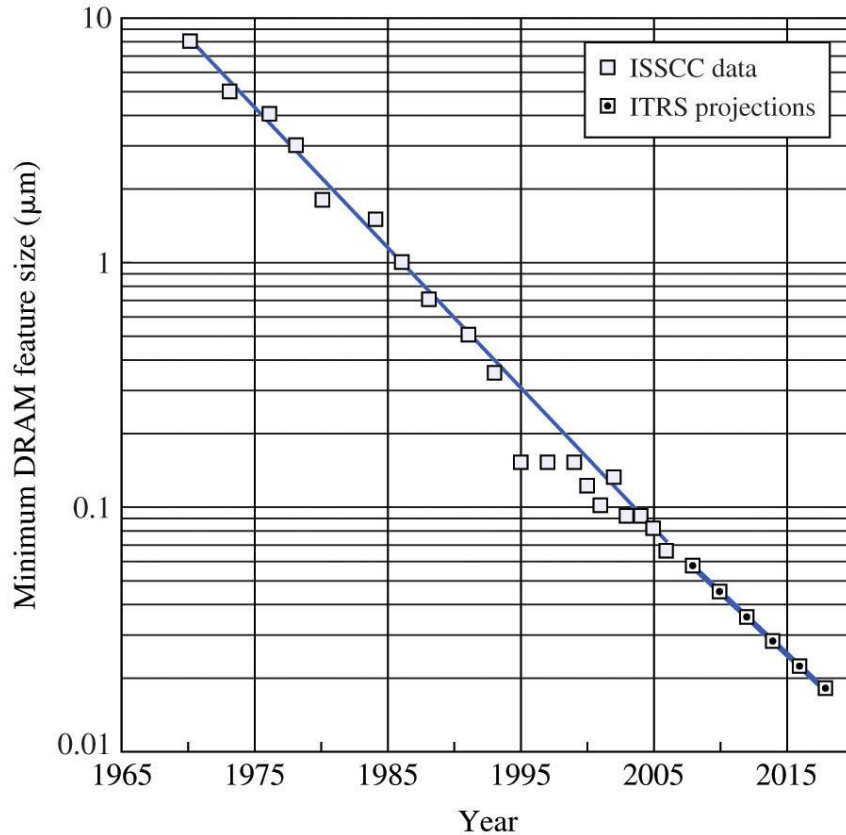
(d)

Microelectronik

- İlk entegre devre 1958'de icat edildi.
- Dünya transistör üretimi, son yirmi yılda her yıl iki kattan fazla artmıştır.
- Her yıl, bir önceki tüm yıllardan daha fazla transistör üretiliyor.
- Son bir yılda yaklaşık 10^{18} transistör üretildi.
- Bu sayı Dünyadaki her karınca için aşağı yukarı 50 transistör demek !

*Source: Gordon Moore's Plenary address at the 2003 International Solid State Circuits Conference.

Device Feature Size



- Feature size reductions enabled by process innovations.
- Smaller features lead to more transistors per unit area and therefore higher density.



2005



2014



Moore's Law and Computing Power

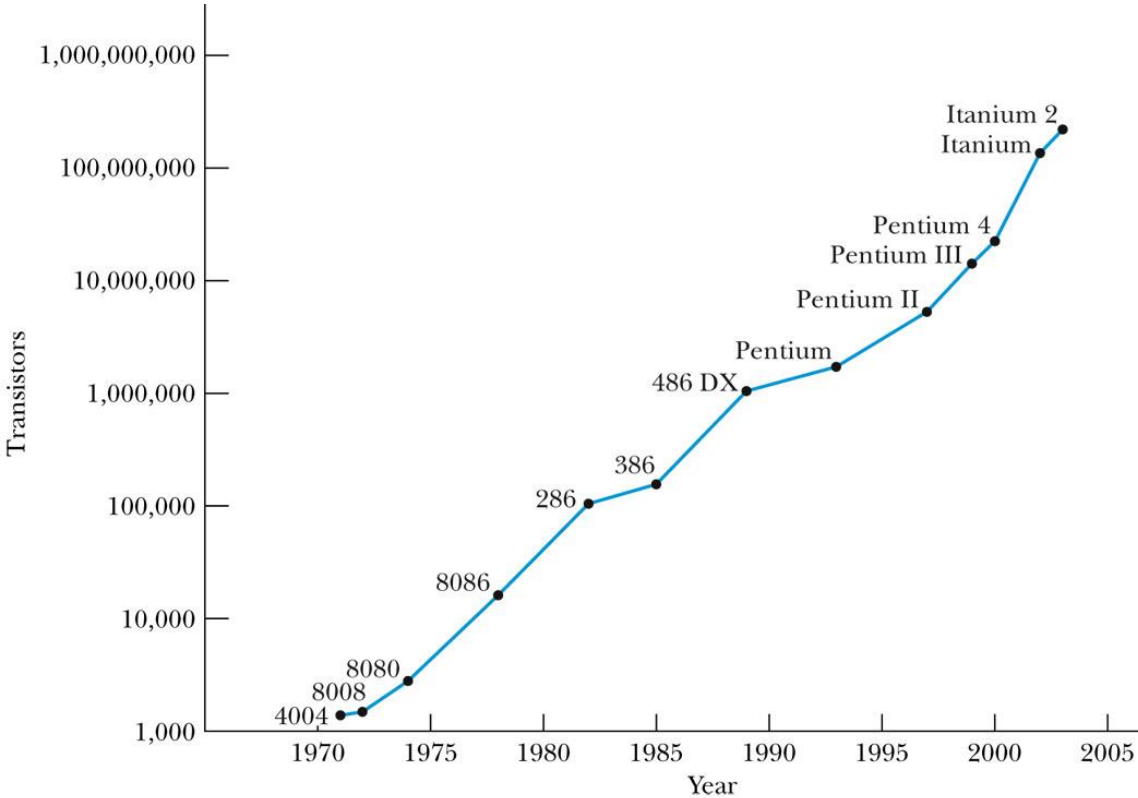
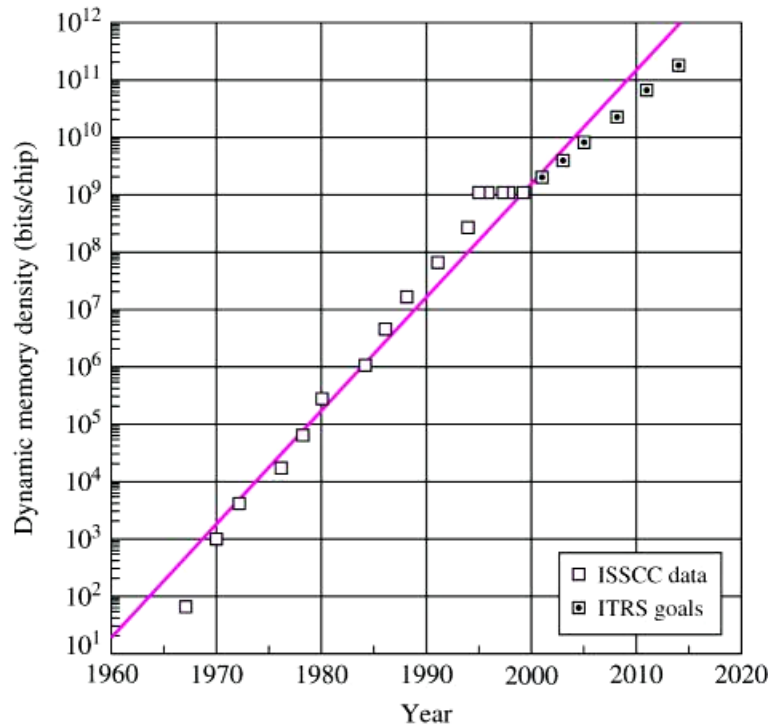


Figure: Moore's law, showing the progress in computing power over a 30-year span, illustrated here with Intel chip names. The Pentium 4 contains over 50 million transistors. *Courtesy of Intel Corporation. Graph from <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>.*

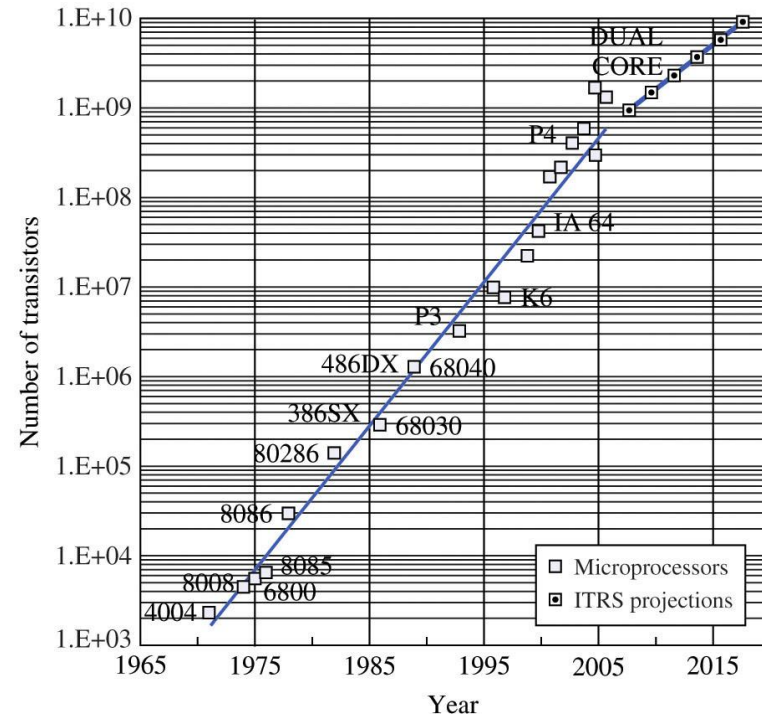
Moore Yasası, [Intel](#) şirketinin kurucularından [Gordon Moore](#)'un [19 Nisan 1965](#) yılında *Electronics Magazine* dergisinde yayınlanan makalesi ile teknoloji tarihine kendi adıyla geçen yasa.

Her 18 ayda bir [tümleşik devre](#) üzerine yerleştirilebilecek bileşen sayısının iki katına çıkacağını, bunun bilgisayarların işlem kapasitelerinde büyük artışlar yaratacağını, üretim maliyetlerinin ise aynı kalacağını, hatta düşme eğilimi göstereceğini öngören deneysel (ampirik) gözlem.

Rapid Increase in Density of Microelectronics



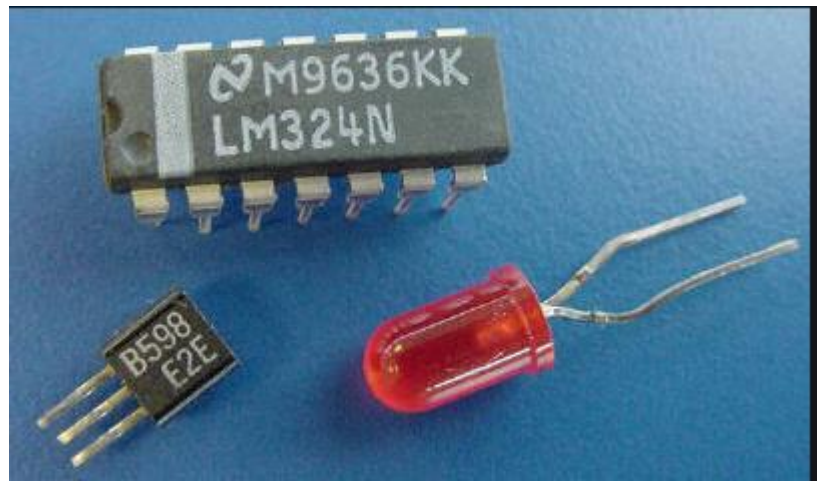
Memory chip density versus time.



Microprocessor complexity versus time.



Upclose (side) view of the individual wires in a typical integrated circuit



Yarıiletkenler ve İletim Mekanizmaları

293 K sıcaklıkta bazı
Maddelerin
Elektriksel İletkenlikleri
ve
Elektriksel Dirençleri

Table 11.1 Electrical Resistivity and Conductivity of Selected Materials at 293 K

Material	Resistivity ($\Omega \cdot m$)	Conductivity ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$)
Metals		
Silver	1.59×10^{-8}	6.29×10^7
Copper	1.72×10^{-8}	5.81×10^7
Gold	2.44×10^{-8}	4.10×10^7
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.55×10^7
Tungsten	5.6×10^{-8}	1.8×10^7
Platinum	1.1×10^{-7}	9.1×10^6
Lead	2.2×10^{-7}	4.5×10^6
Alloys		
Constantan	4.9×10^{-7}	2.0×10^6
Nichrome	1.5×10^{-6}	6.7×10^5
Semiconductors		
Carbon	3.5×10^{-5}	2.9×10^4
Germanium	0.46	2.2
Silicon	640	1.6×10^{-3}
Insulators		
Wood	10^8-10^{11}	$10^{-8}-10^{-11}$
Rubber	10^{13}	10^{-13}
Amber	5×10^{14}	2×10^{-15}
Glass	$10^{10}-10^{14}$	$10^{-10}-10^{-14}$
Quartz (fused)	7.5×10^{17}	1.3×10^{-18}

Dirençin Sıcaklık ile Değişimi

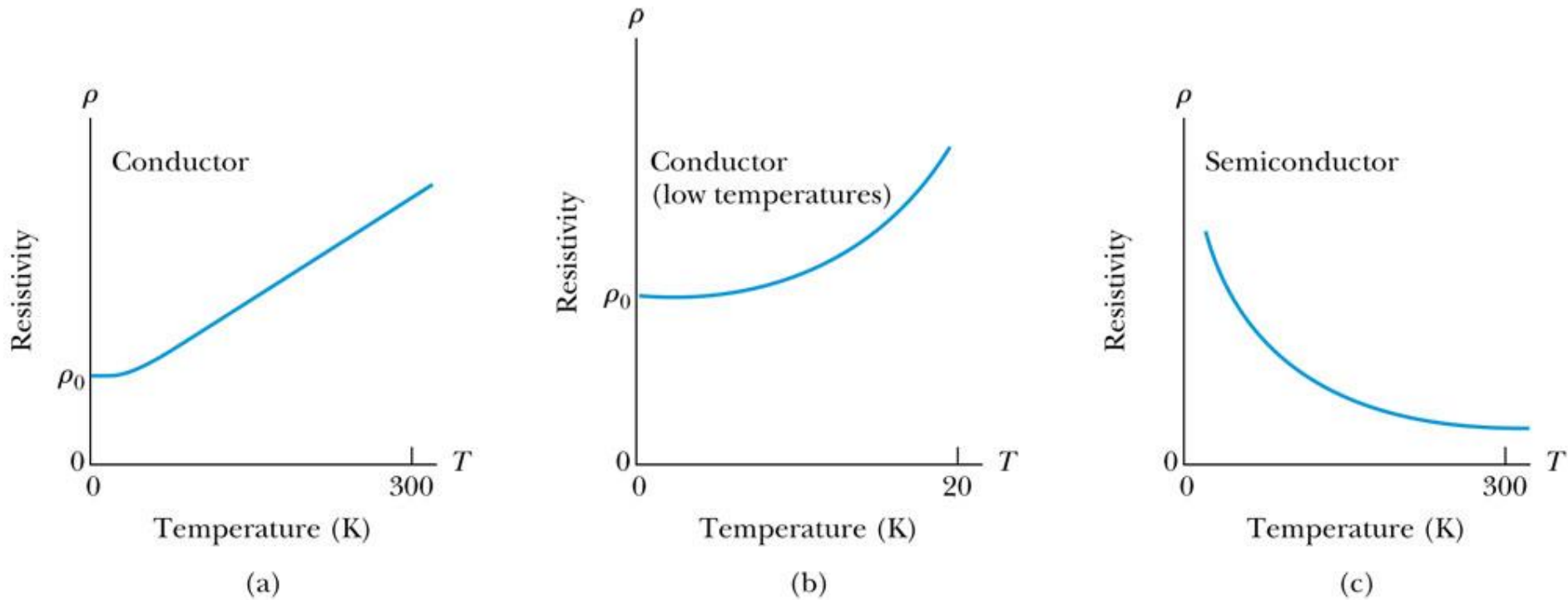
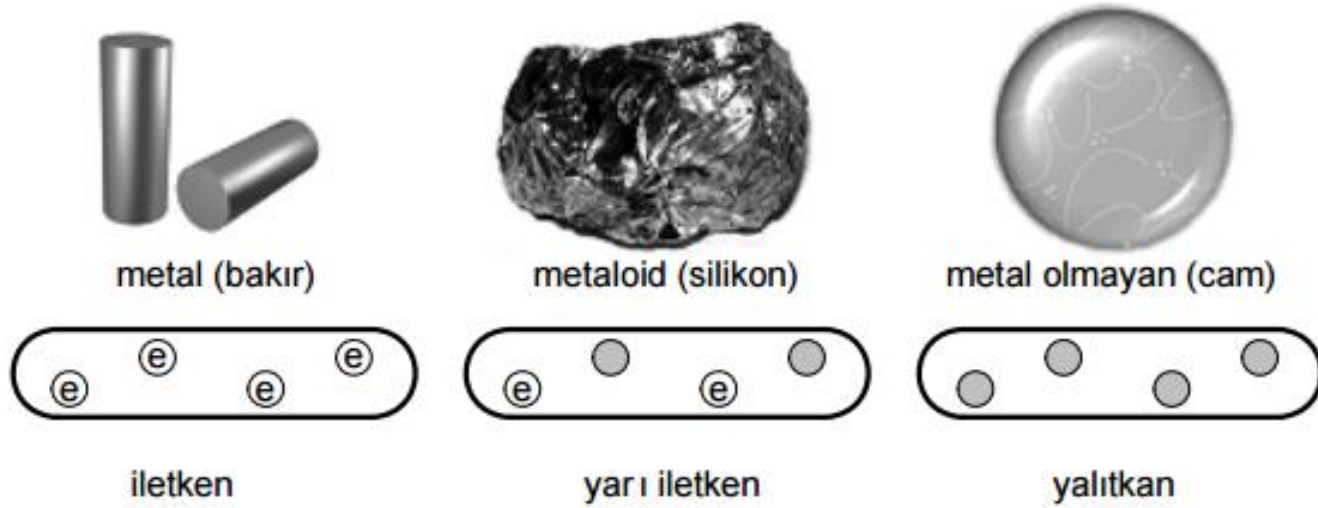


Figure 1: (a) Resistivity versus temperature for a typical conductor. Notice the linear rise in resistivity with increasing temperature at all but very low temperatures. (b) Resistivity versus temperature for a typical conductor at very low temperatures. Notice that the curve flattens and approaches a nonzero resistance as $T \rightarrow 0$. (c) Resistivity versus temperature for a typical semiconductor. The resistivity increases dramatically as $T \rightarrow 0$.

Yarıiletkenler



- Bir **yarı iletken**, iletkenliği bir iletken ile bir yalıtkan arasında olan kristal bir malzemedir.
- Çok çeşitli yarı iletken malzeme vardır, silikon ve germanyum, metalimsi bileşikler (silikon karbür gibi), ve çeşitli organik bileşikler bunlardan bazılarıdır.
- Elektronik aletlerin yapımında kullanılan iki önemli yarıiletken malzeme **kristal silikon** ve **germanyumdur**

Semiconductor Materials

Semiconductor	Bandgap Energy E_G (eV)
Carbon (diamond)	5.47
Silicon	1.12
Germanium	0.66
Tin	0.082
Gallium arsenide	1.42
Gallium nitride	3.49
Indium phosphide	1.35
Boron nitride	7.50
Silicon carbide	3.26
Cadmium selenide	1.70

		IIIA		IVA		VA		VIA	
		5	10.811	6	12.01115	7	14.0067	8	15.9994
		B		C		N		O	
		Boron		Carbon		Nitrogen		Oxygen	
		13	26.9815	14	28.086	15	30.9738	16	32.064
		Al		Si		P		S	
		Aluminum		Silicon		Phosphorus		Sulfur	
IIB		30	65.37	31	69.72	32	72.59	33	74.922
		Zn		Ga		Ge		As	
		Zinc		Gallium		Germanium		Arsenic	
		48	112.40	49	114.82	50	118.69	51	121.75
		Cd		In		Sn		Sb	
		Cadmium		Indium		Tin		Antimony	
		80	200.59	81	204.37	82	207.19	83	208.980
		Hg		Tl		Pb		Bi	
		Mercury		Thallium		Lead		Bismuth	
								84	(210)
								Po	
								Polonium	

Yarıiletkenler

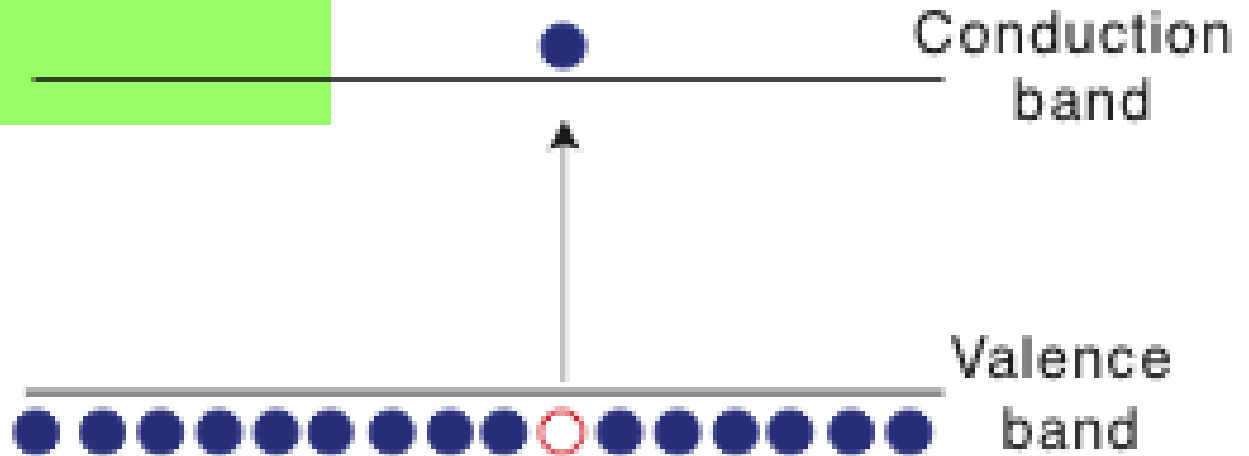
Elektronikte yararlanılan yarı iletkenler ve kullanılma yerleri

Adı	Kullanım Yeri
Germanyum (Ge) (Basit)	Diyot, transistör, entegre devre
Silikon (Si) (Basit)	Diyot, transistör, entegre devre
Selenyum (Se) (Basit)	Diyot
Bakır oksit (kuproksit) (CuO) (Bileşik)	Diyot
Galliyum Arsenic (Ga As) (Bileşik)	Tünel diyot, laser, fotodiyot, led
Indiyum Fosfor (In P) (Bileşik)	Diyot, transistör
Kurşun Sülfür (Pb S) (Bileşik)	Güneş pili (Fotosel)

- Bant Teorisi
- Silikon ve Germanyum Özellikleri
- P ve N tipi yarı iletkenler
- Doping (katkılama)
- Dc İletkenlik Mekanizmaları
 - Serbest Elektron Modeli
 - Bant Modeli
 - Tünelleme Modeli
 - Hoplama Modeli
- Ac iletkenlik Mekanizmaları

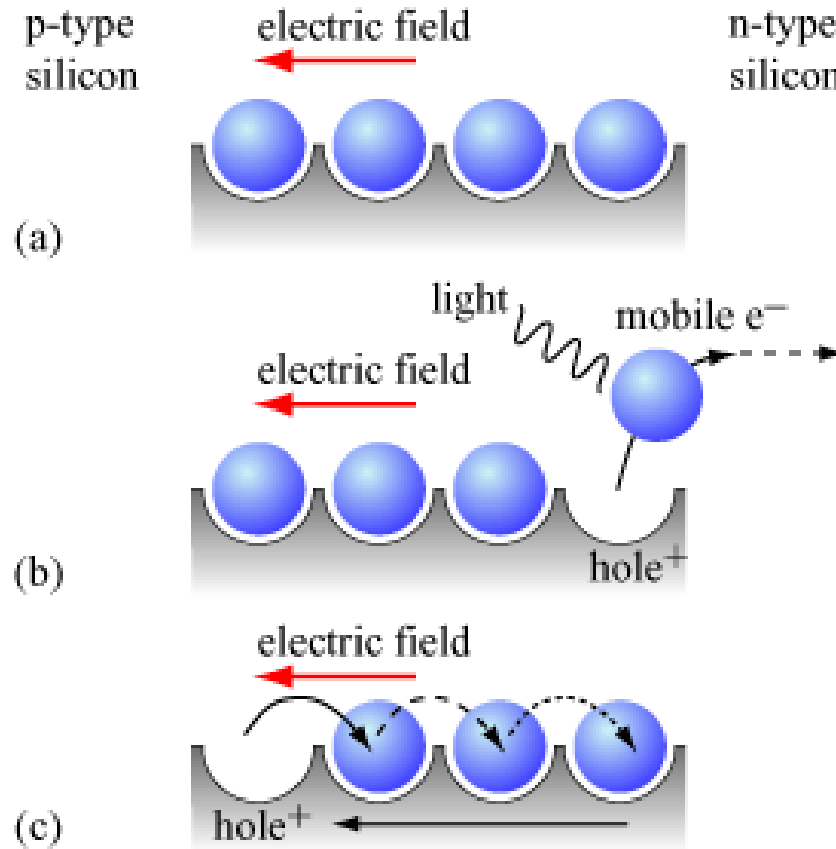
Valans elektronlara enerji veren etkenler

1. Elektriksel etki
2. Isı etkisi
3. Işık etkisi
4. Elektronlar kanalıyla yapılan bombardıman etkisi
5. Manyetik etki

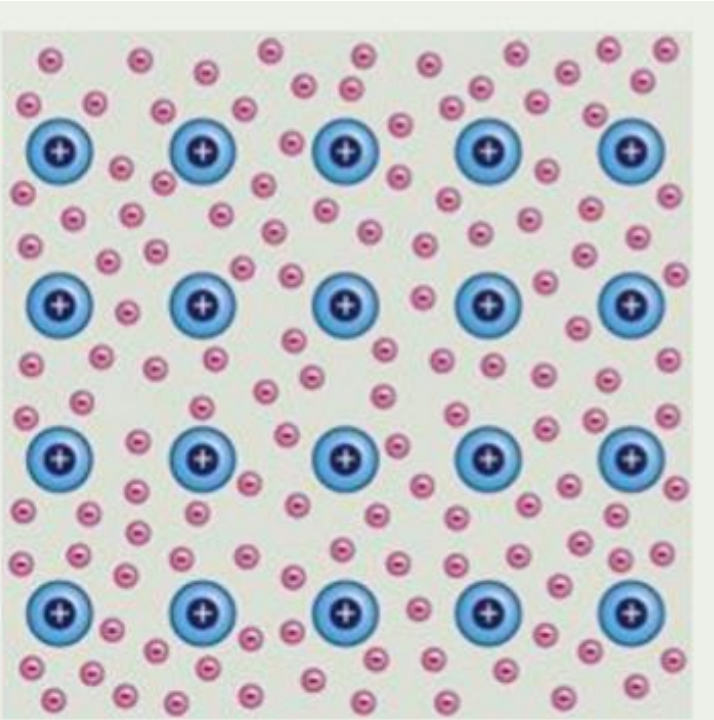


- **Ancak, valans elektronları serbest hale geçirecek enerji seviyeleri madde yapısına göre şöyle değişmektedir:**
- - İletkenler için düşük seviyeli bir enerji yeterlidir.
- Yarı iletkenlerde oldukça fazla enerji gereklidir.
- Yalıtkanlar için çok büyük enerji verilmelidir.

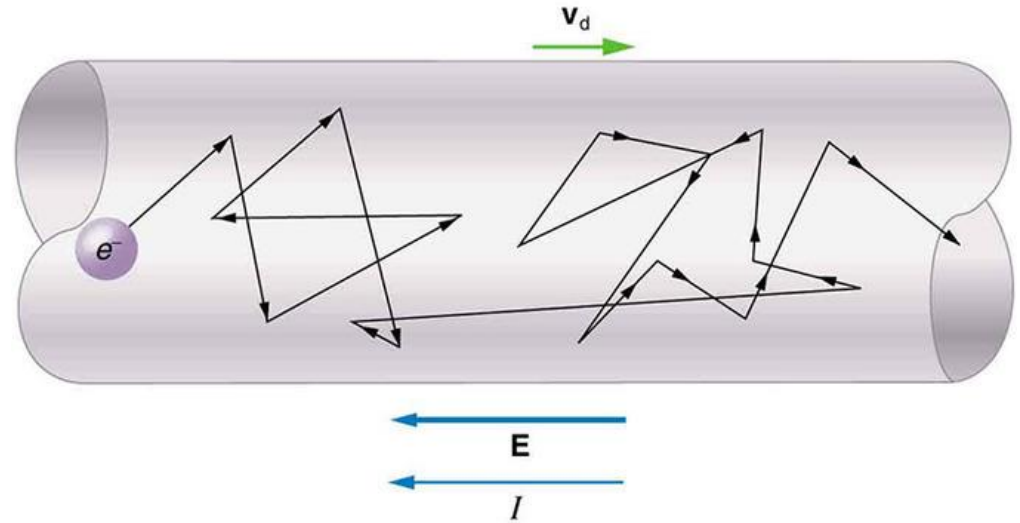
Elektron ve Boşluk (hole)



Metaller içinde iletkenlik

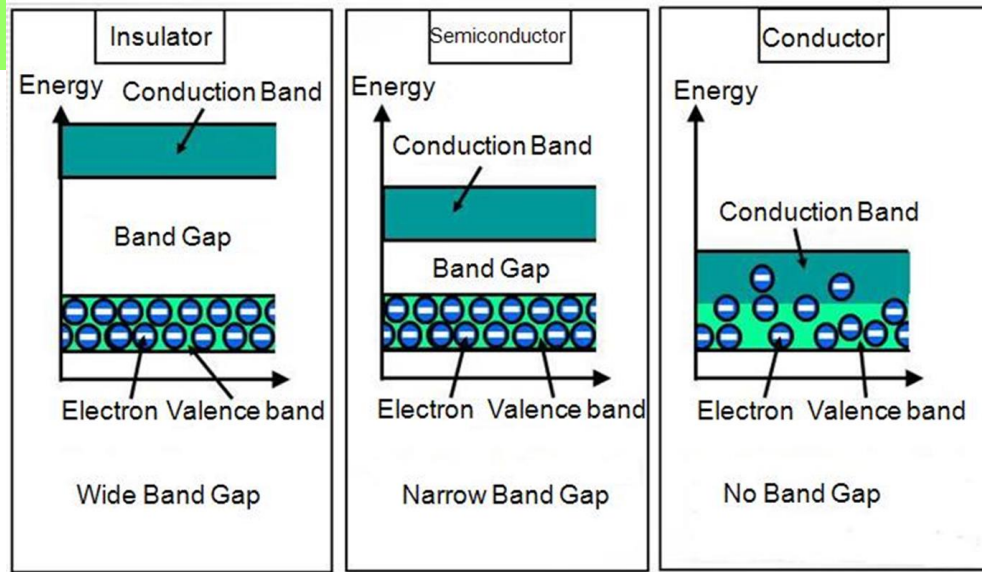


In this hypothesis, each metal atom contributes its outer electrons to a shared pool. The electrons are free to move throughout the metal, which explains its high electrical and thermal conductivities and luster.

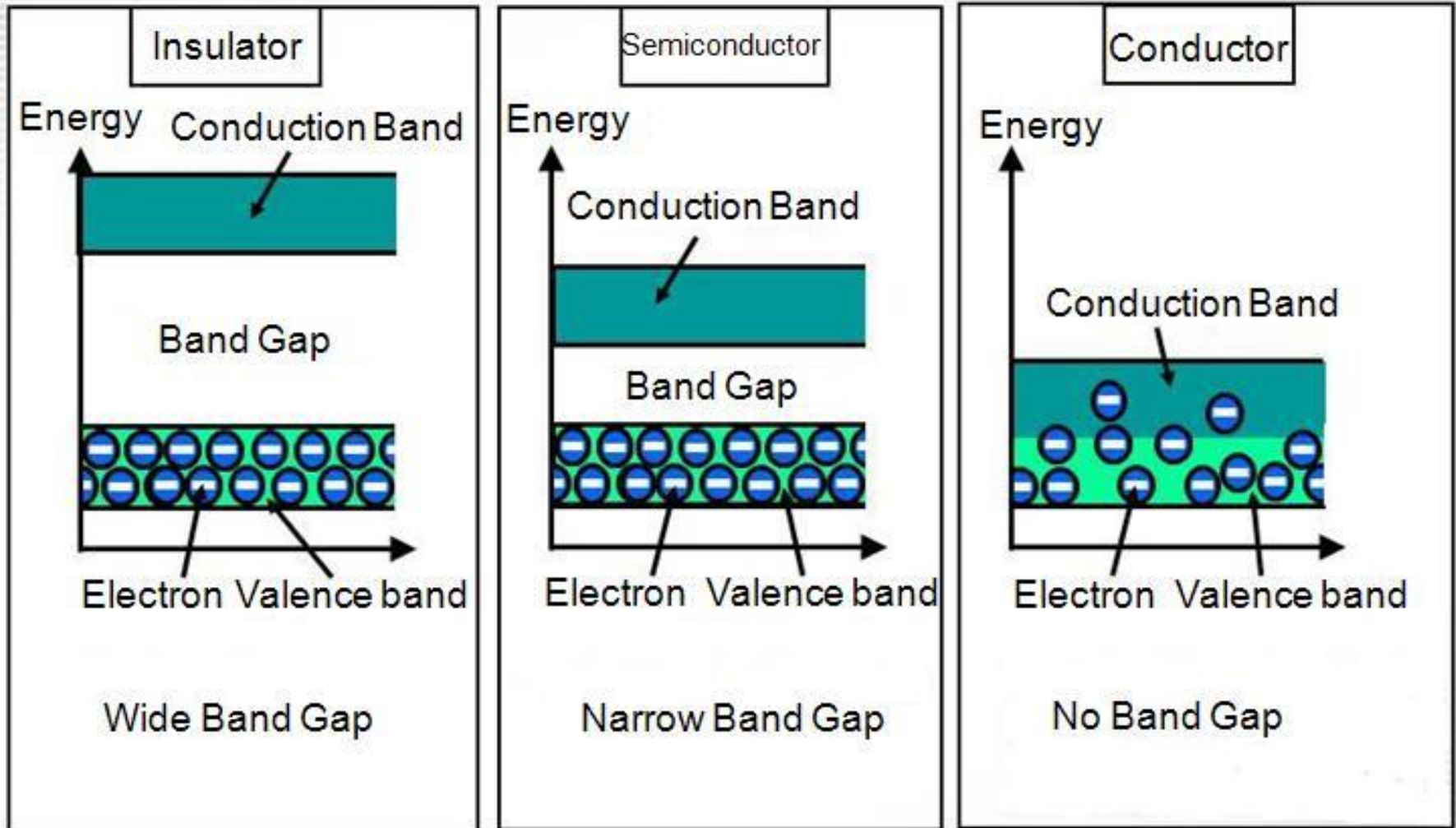


Enerji Seviyeleri ve Bant Yapıları

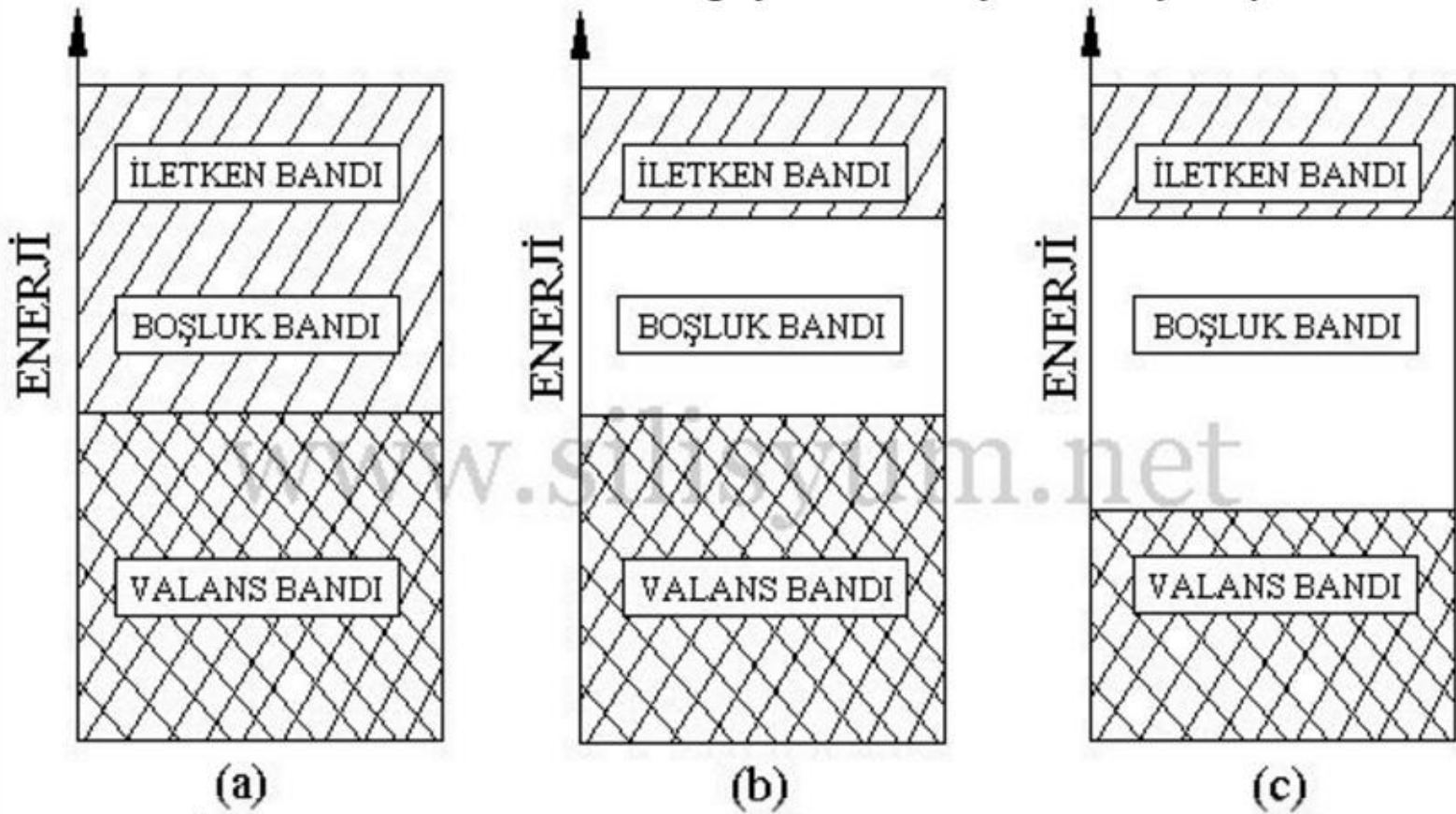
- Hareket halinde olması nedeniyle her yörünge üzerindeki elektronlar belirli bir enerjiye sahiptir.
- Eğer herhangi bir yolla elektronlara, sahip olduğu enerjinin üzerinde bir enerji uygulanırsa, ara yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye geçer.
- Valans elektrona uygulanan enerji ile de elektron atomu terk eder.
- Valans elektronun serbest hale geçmesi, o maddenin iletkenlik kazanması demektir.



Bant Yapıları



Bant Yapıları



Şekil - 2.1 İletkenlik derecesine göre değişen bant enerjileri
(a) İletken, (b) Yarı iletken, (c) Yalıtkan

Bant Teorisi

- **Bant teorisi**, bir katıdaki elektronların davranışını tanımlar. Bu teoriye göre katıda elektronlar tarafından doldurulacak sürekli enerji bantları ve elektronların bulunamayacağı enerji aralıkları bulunur.
- Teori elektriksel direnç ve optik absorpsiyon gibi birçok olayı açıklamada büyük yarar sağlar.
- Belirli sayıda atomdan oluşmuş bir katı oluştuğunda, genel olarak her bir atom tek başına düşünülerek hata yapılır.
- Bunun yerine katının tüm yapısını düşünmek gerekir. Bu metallerin ve diğer katıların kimyasal ve fiziksel özelliklerini kendilerine has olarak ele alınmasını gerektirir.

Bant Yapıları

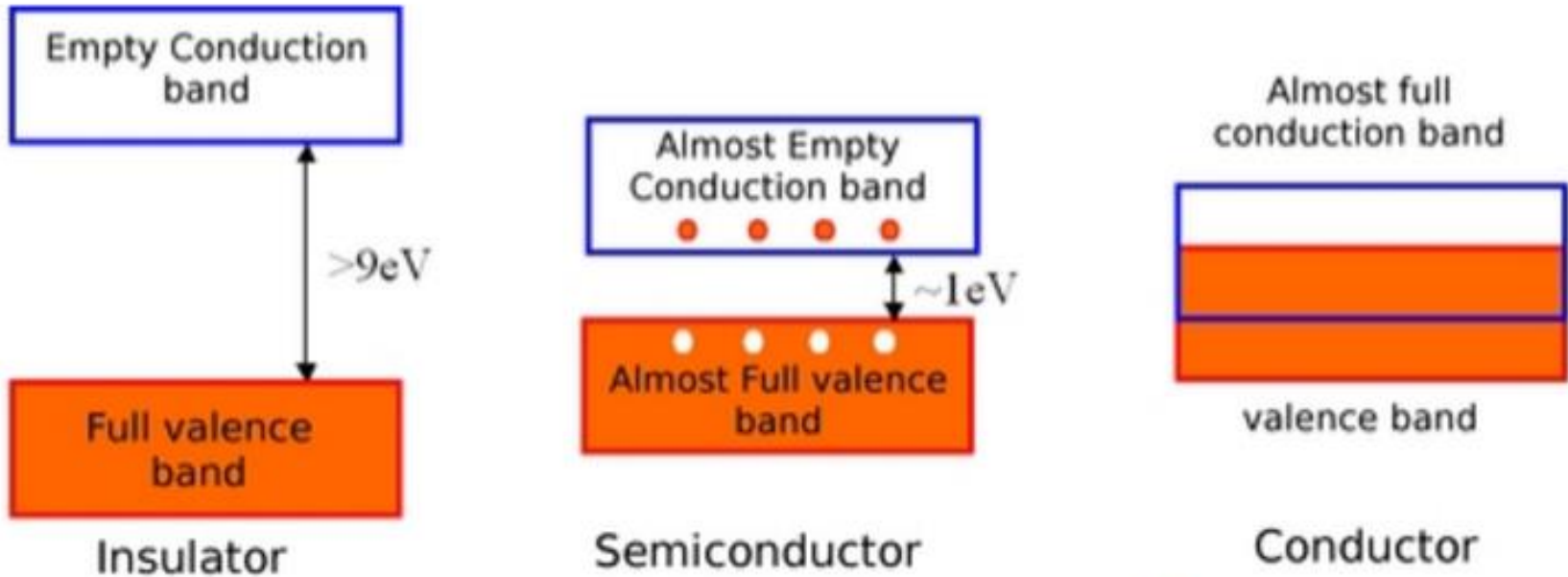
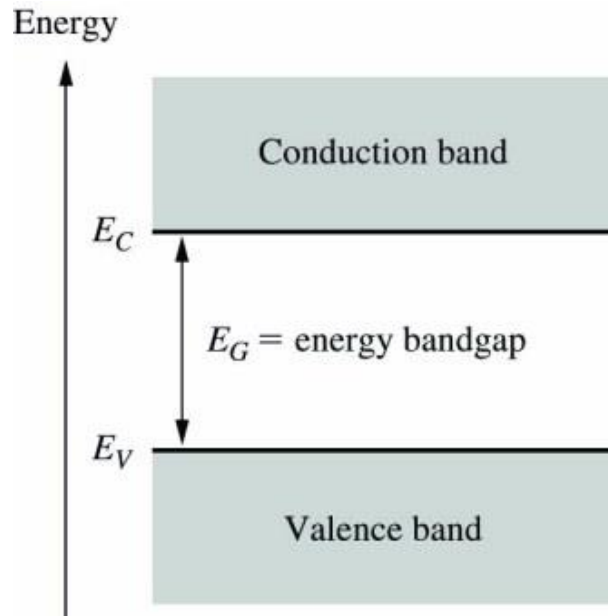


Figure 2 : Representation of energy bands



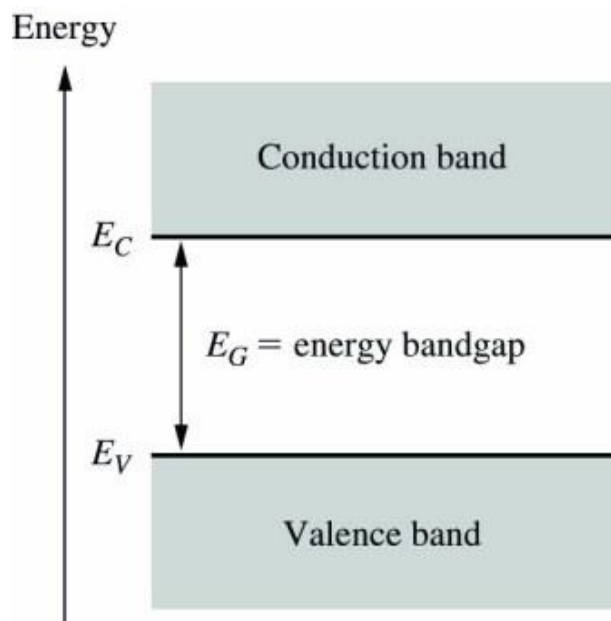
http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M05_C02/co/Contenu_04.html

Semiconductor Energy Band Model

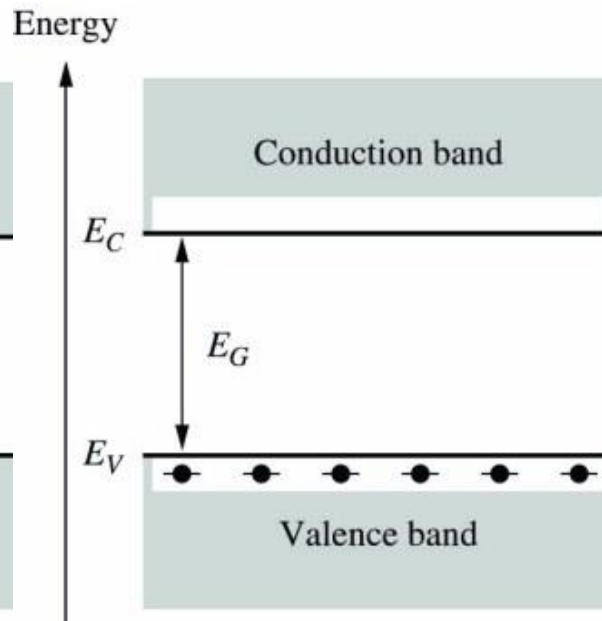


Semiconductor energy band model. E_C and E_V are energy levels at the edge of the conduction and valence bands.

Semiconductor Energy Band Model



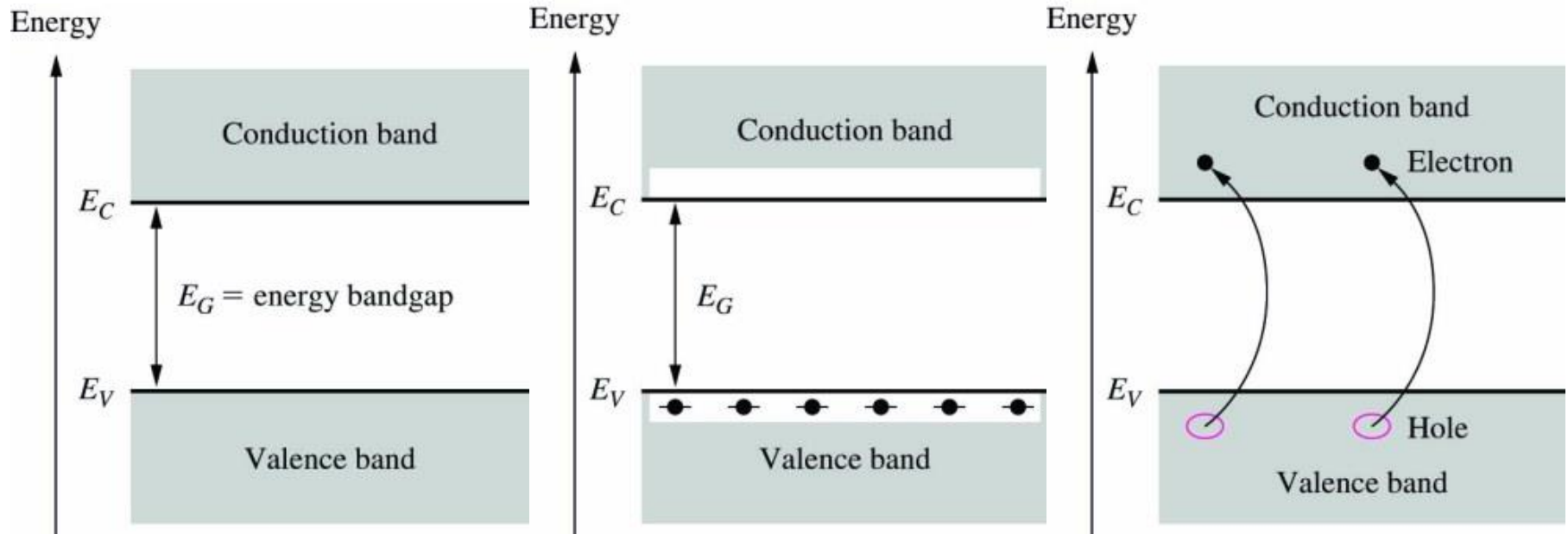
Semiconductor energy band model. E_C and E_V are energy levels at the edge of the conduction and valence bands.



Electron participating in a covalent bond is in a lower energy state in the valence band. This diagram represents 0 K.

What happens as temperature increases?

Semiconductor Energy Band Model



Semiconductor energy band model. E_C and E_V are energy levels at the edge of the conduction and valence bands.

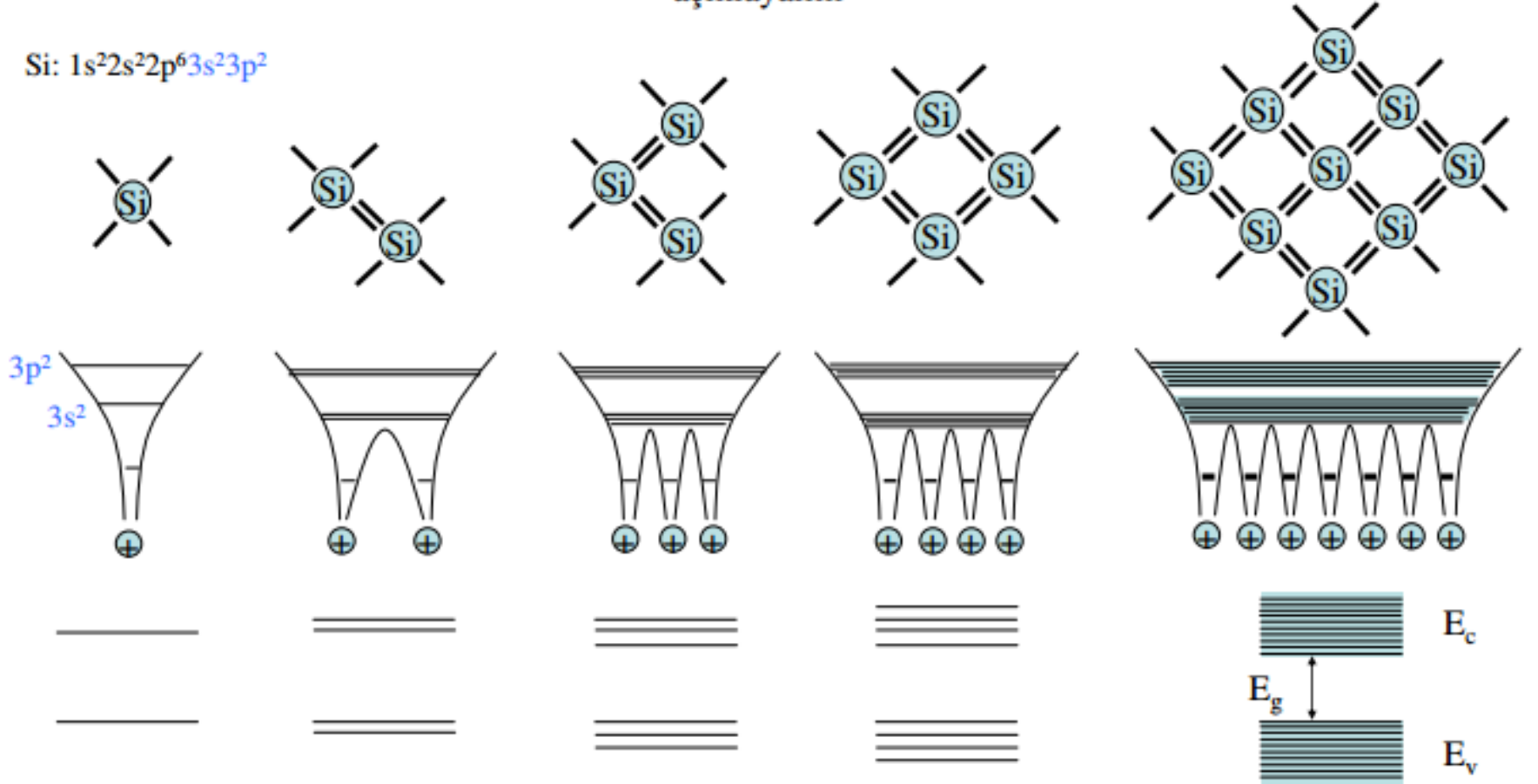
Electron participating in a covalent bond is in a lower energy state in the valence band. This diagram represents 0 K.

Thermal energy breaks covalent bonds and moves the electrons up into the conduction band.

Yarıiletkenlerde Enerji Bantlarının Oluşumu

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

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

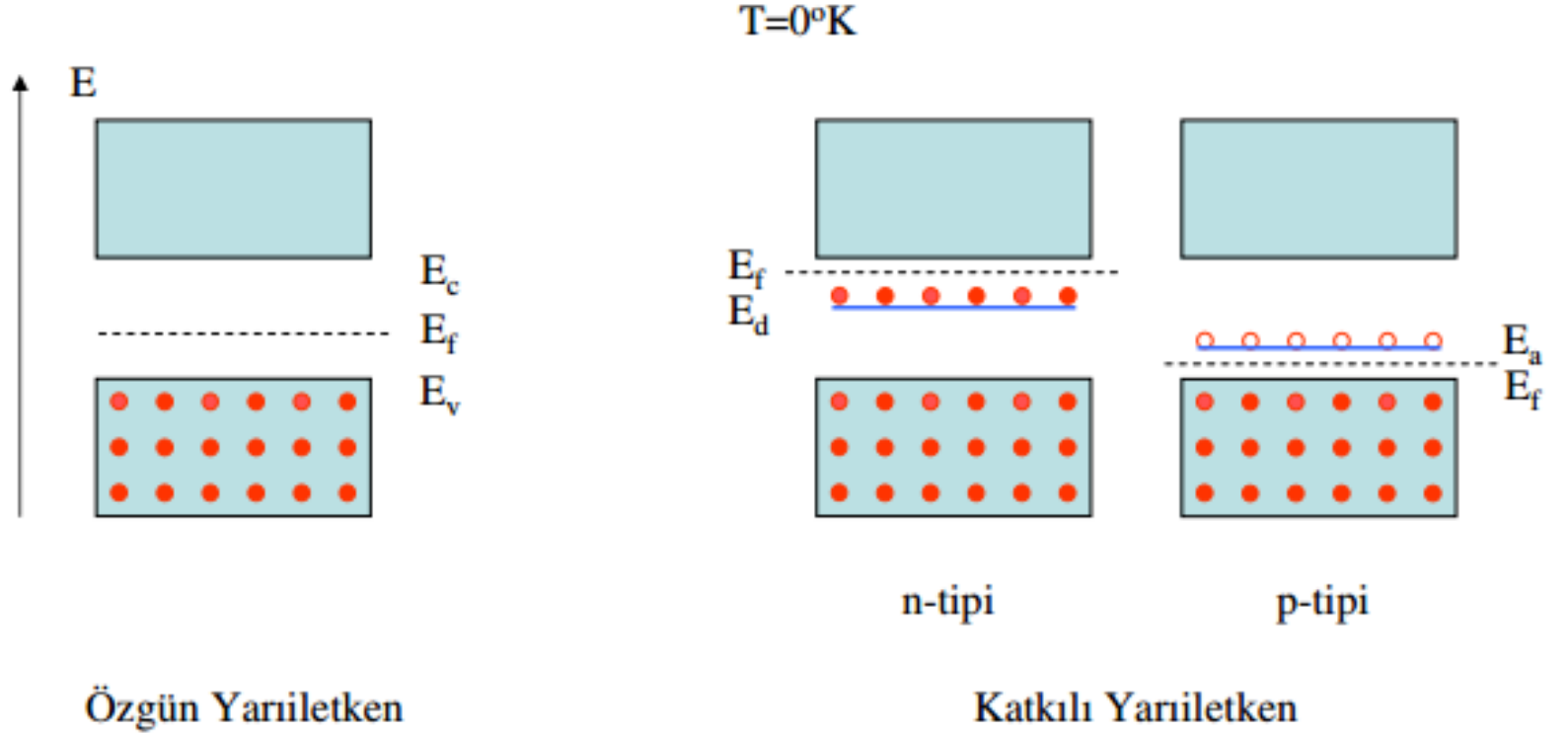


E_c : İletim Bandı
 E_v : Değerlik Bandı

E_g : Bant Aralığı veya Yasak Bant

Yarıiletkenler

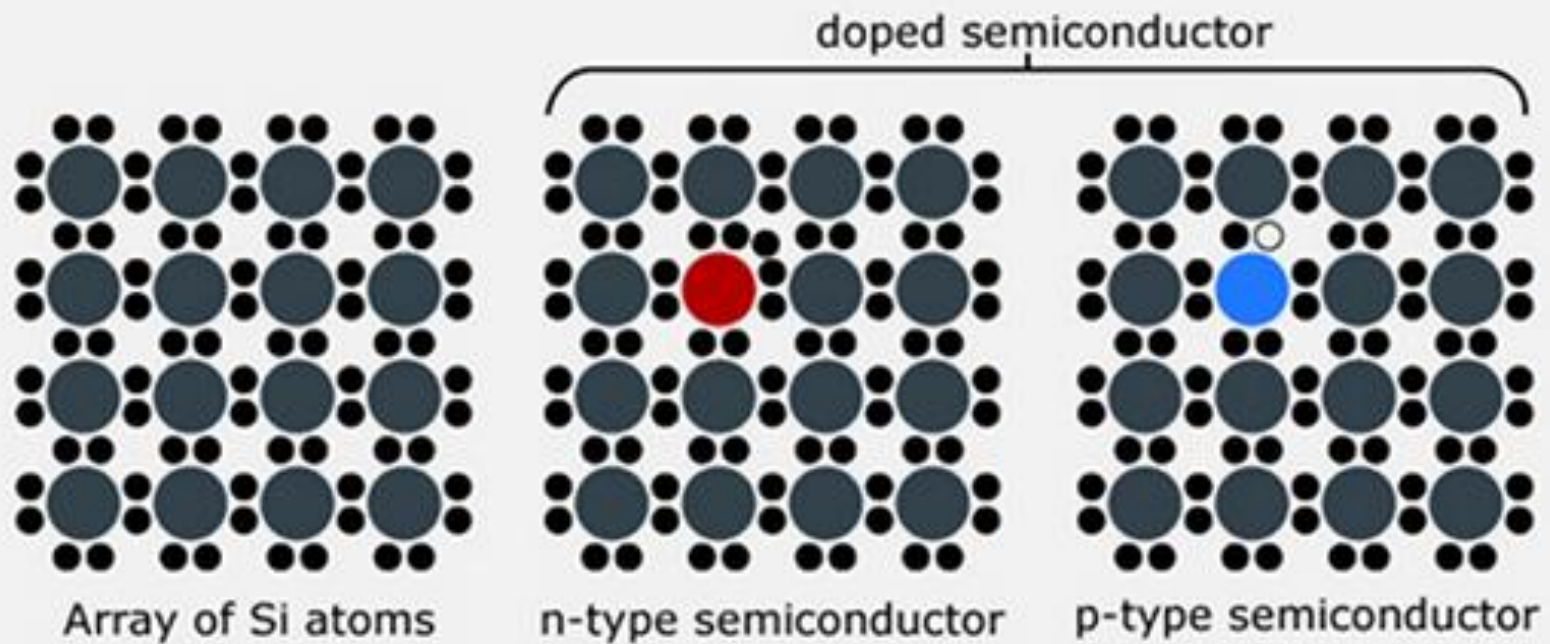
Yarıiletkenleri içinde buldukları atomlara göre **Özgün (intrinsic)** veya **Katkılı (extrinsic)** olarak iki kategoride incelemek mümkündür



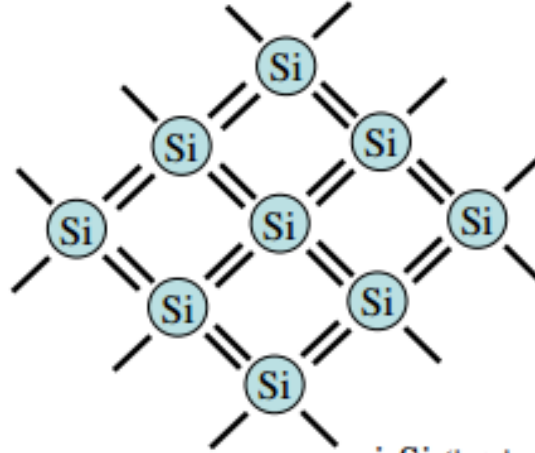
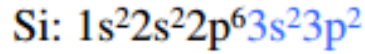
Yarıiletkenlerin pratik amaçlarla kullanılabilmesi ancak katkılanmaları ile mümkündür

Doping In Semiconductors

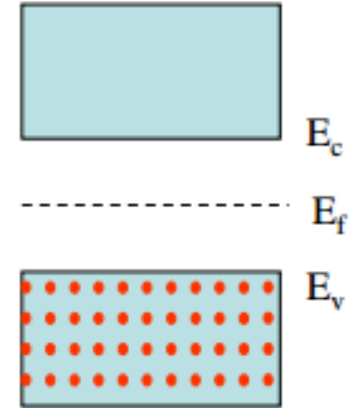
● Silicon ● Electron ● Phosphorus ● Boron



Katkılama: n-tipi yarıiletkenler

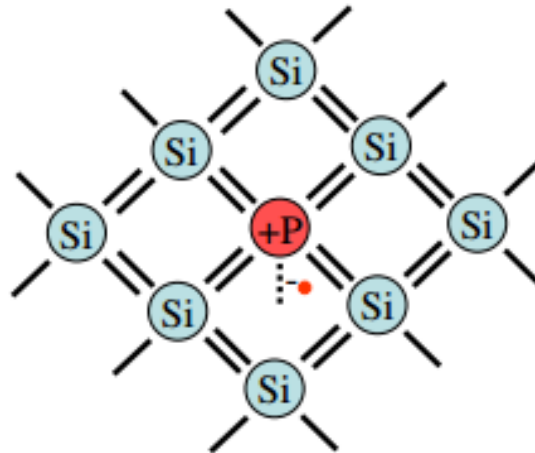
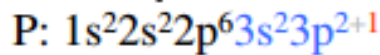
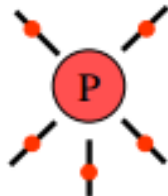


i-Si (intrinsic-özgün) Si

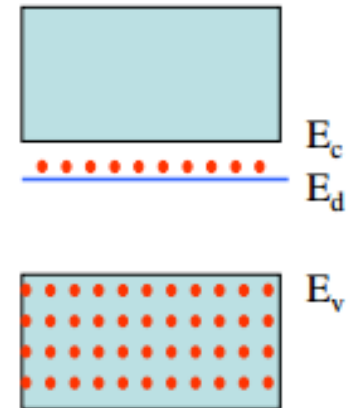


Grup V atomların, örneğin fosfat (P), kristali oluşturan 4 değerlik elektronuna sahip Si atomları ile kovalent bağ yaparak fazlalık 1 elektronunu kristale verir. Kristale elektron verdiği için bu türden atomlara verici (donor) atomlar denir. Her verici atom kristale 1 fazlalık elektron kattığı için kristalde (-) yüklü taşıyıcı yoğunluğu artmış olur. Bu tür katkılanmış yarıiletkenlere n-tipi katkılı yarıiletken denir ve bu yarıiletkenlerde iletim elektronlar ile olur.

Grup V Atomları



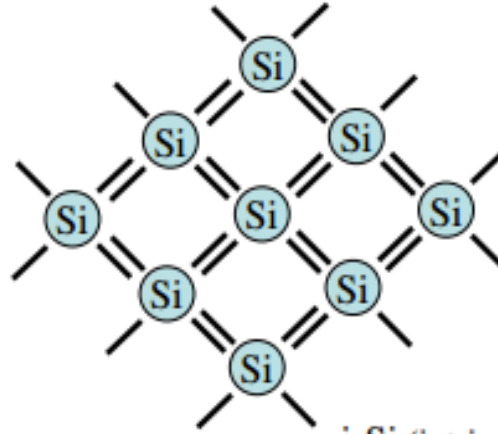
n-Si



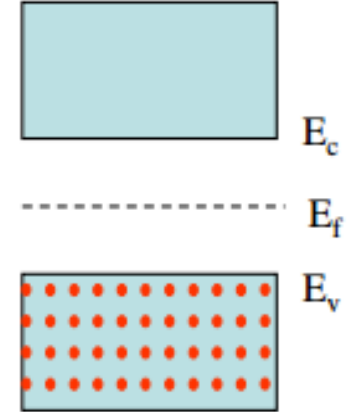
E_d : verici (donor) enerji seviyesi

Katkılama: p-tipi yarıiletkenler

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

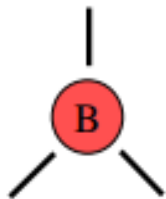


i-Si (intrinsic-özgün) Si

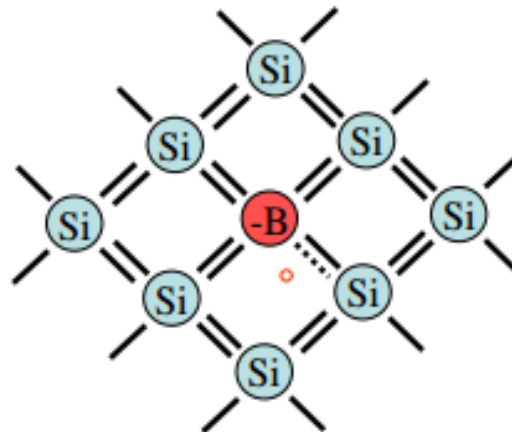


Grup III atomların, örneğin bor (B), kristali oluşturan 4 değerlik elektronuna sahip Si atomları ile kovalent bağ yapmak için kristalden 1 elektron alır. Kristalden elektron aldığı için bu türden atomlara alıcı (acceptor) atomlar denir. Her alıcı atom kristalden 1 elektron aldığı için kristalde (+) yüklü boşlukların yoğunluğu artmış olur. Bu tür katkılanmış yarıiletkenlere p-tipi katkılı yarıiletken denir ve bu yarıiletkenlerde iletim boşlukları ile olur.

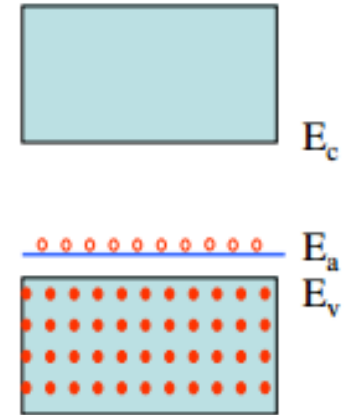
Grup III Atomları



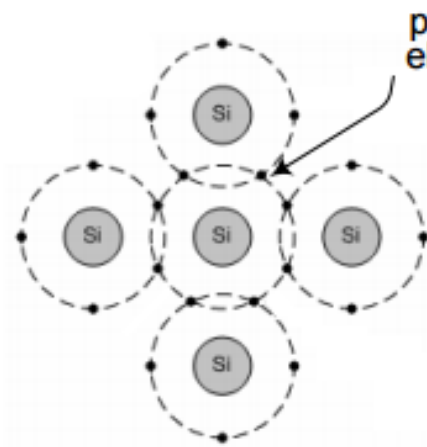
B: $1s^2 2s^2 2p^1$



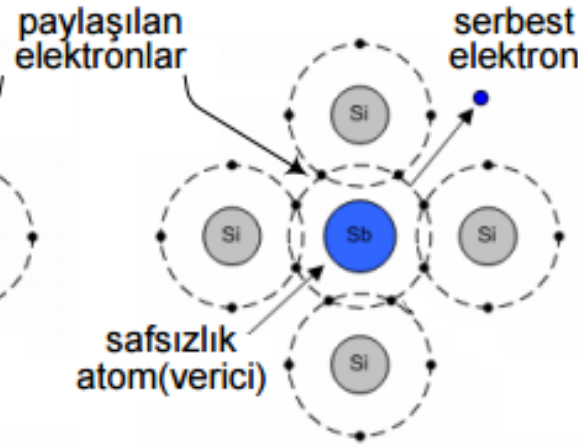
p-Si



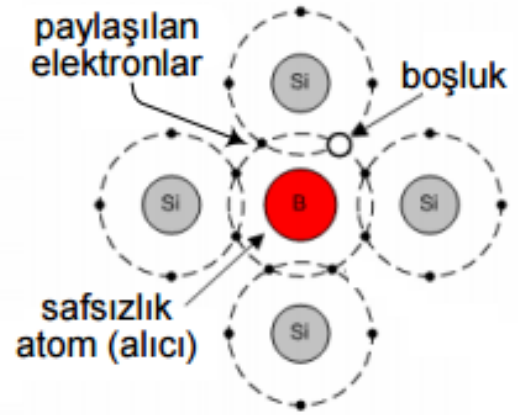
E_a : alıcı (acceptor) enerji seviyesi



silikon kristali



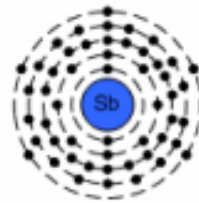
n-tip yarıiletken
safsızlık olarak antimon
ilave edilmiştir



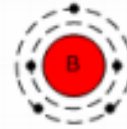
p-tip yarıiletken
safsızlık olarak boron
ilave edilmiştir



Si atomu
atom No: 14



Sb atomu
atom no: 51



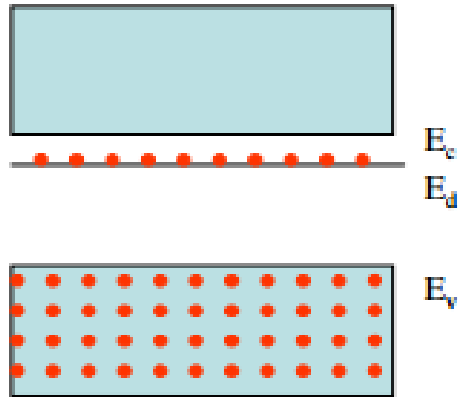
B atomu
atom No: 5

http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

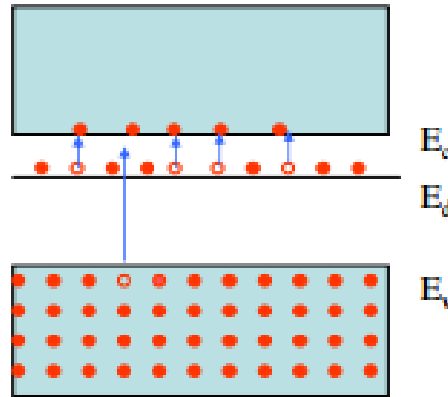
Saf silikon kristali, verici safsızlık antimon atomu ve alıcı safsızlık bor atomunun yapısını ve yarı iletkenlerin dokusunu gösteren diyagramlar

Taşıyıcı Yoğunluğu

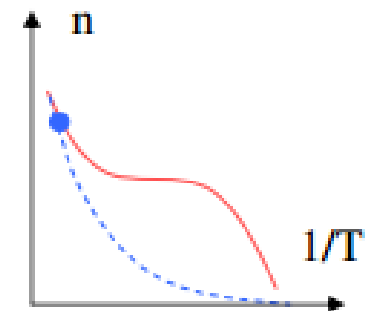
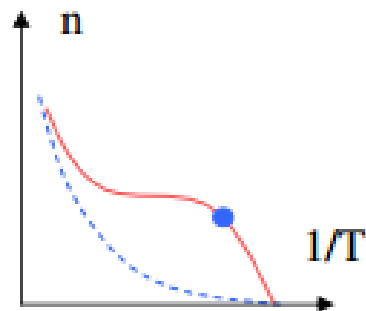
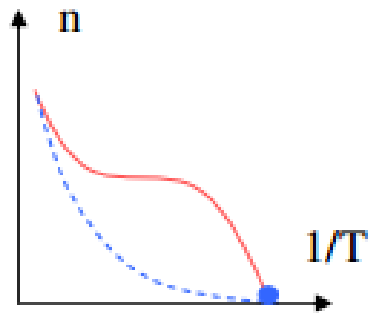
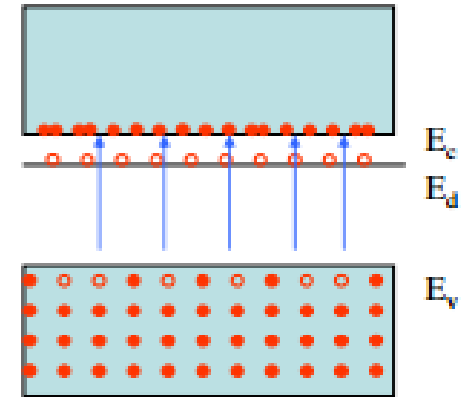
$T=0\text{ °K}$



$T > 0\text{ °K}$

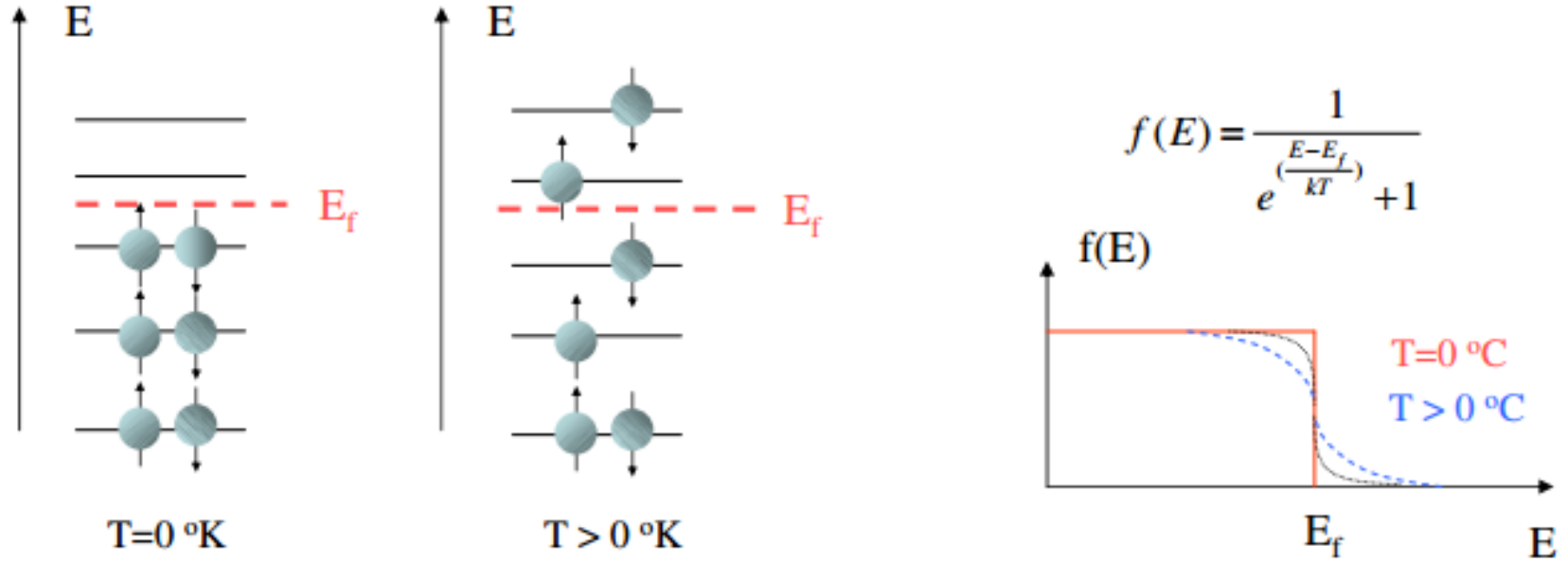


$T \gg 0\text{ °K}$

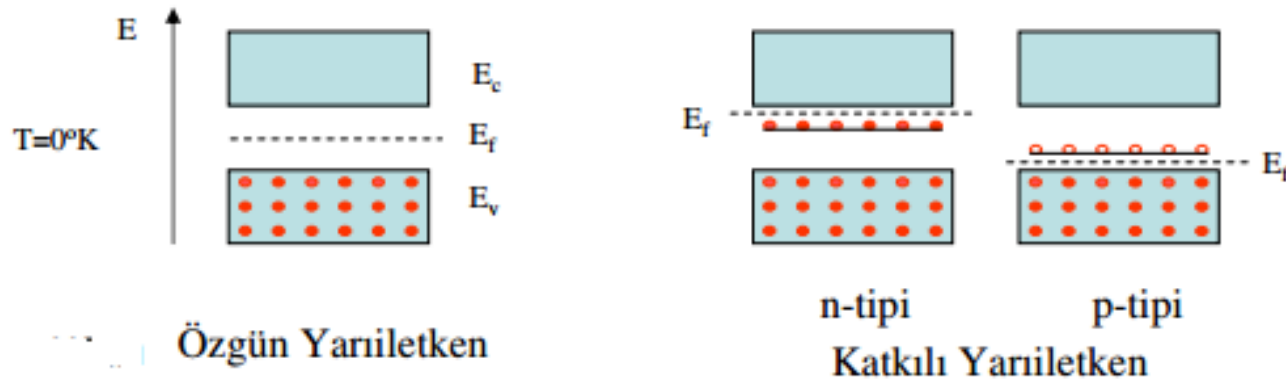


Yarıiletken İstatistiği-Fermi Seviyesi

Spini $\frac{1}{2}$ olan parçacıklar Fermi-Dirac istatistiğine uyar. Elektron ve deşğin her ikisinin de spini $\frac{1}{2}$ dir.



Fermi Seviyesi (E_f): $T=0^\circ\text{K}$ de dolu olan yörüngelerin en üst seviyesidir



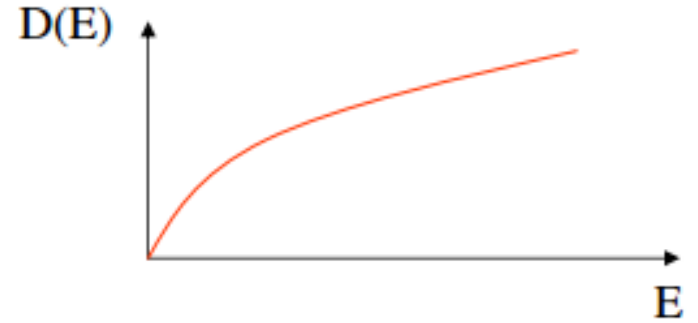
Yarıiletken İstatistiği

Enerji Bantlarında kaç tane elektron (veya deşik) vardır?

Bunun için öncelikle her bantta kaç tane enerji seviyesinin olduğunu, daha sonra bu enerji seviyelerinin ne kadarının elektronlarla doldurulduğunu hesaplamamız gerekir

Durum yoğunluğu (bantlarda var olan kuantumlu enerji düzeylerinin yoğunluğu)

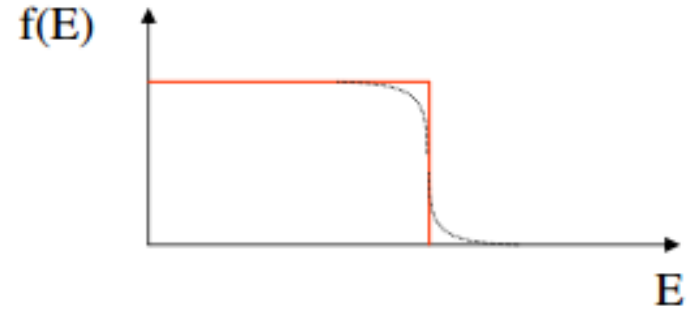
$$D(E) = \frac{4\pi}{h^3} (2m_e^*)^{3/2} E^{1/2}$$



Herhangi bir T sıcaklığında bantlardaki enerji seviyelerinin elektronlarla doldurulma olasılığı

Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu

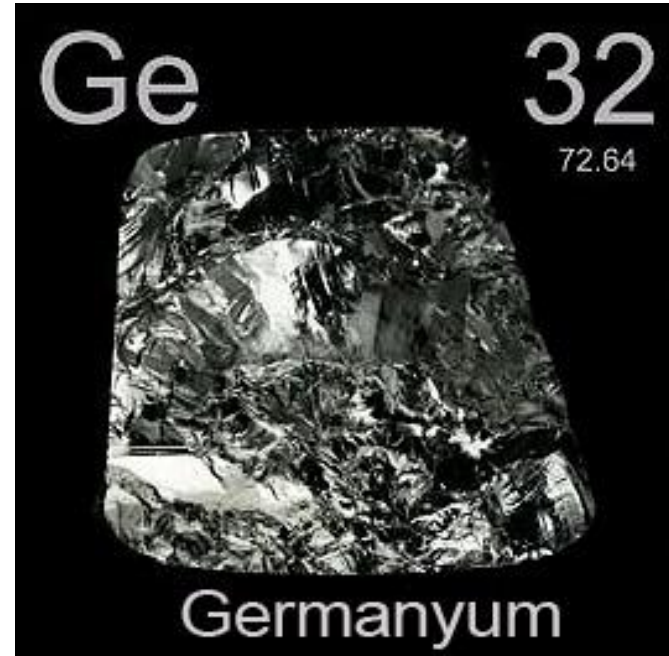
$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_f}{kT}} + 1}$$



Bantlardaki aşırı yoğunluğu $n = \int D(E).f(E)dE$

Silisyum ve Germanyum

Si 14





PURIFIED SILICON

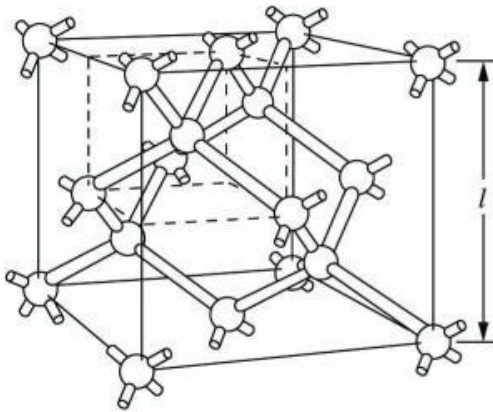
Saf Silikon ve Germanyum

Yarıiletkenler

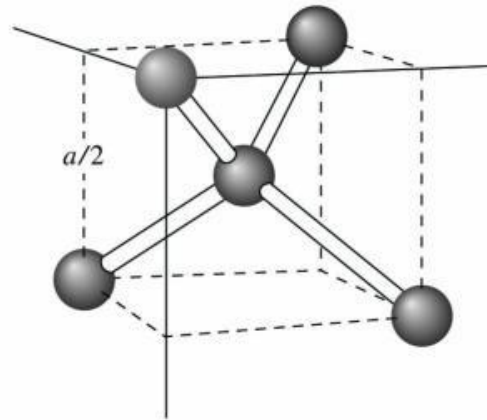
- Germanyum ve Silikon yarı iletkenleri, kristal yapılarının kazandırdığı bir takım iletken özelliğine sahiptir.
- Germanyum ve Silikon, elektronğin ana elemanları olan, **diyotların, transistörlerin ve entegre devrelerin** üretiminde kullanılmaktadır. Bu nedenle, elektronik devre elemanları hakkındaki temel bilgilerin edinilebilmesi bakımından bu iki yarı iletkenin yapılarının iyi bilinmesi gerekir.
- Her iki yarı iletken de tabiattan elde edilmekte ve saflaştırılarak monokristal haline getirildikten sonra devre elemanların üretiminde kullanılmaktadır.

Kovalent Bağ Modeli

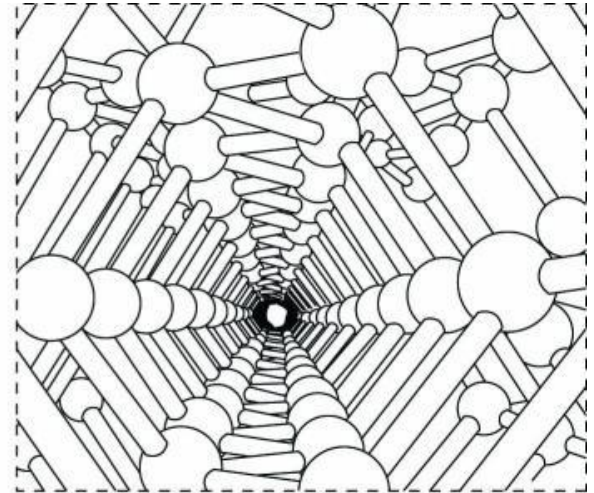
- Silicon has four electrons in the outer shell.
- Single crystal material is formed by the covalent bonding of each silicon atom with its four nearest neighbors.



Silicon diamond lattice unit cell.

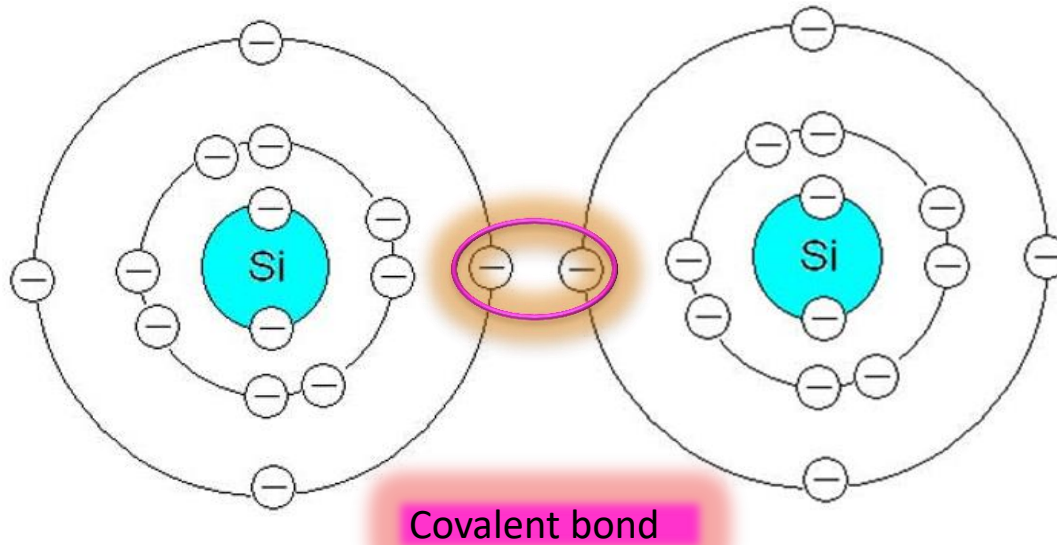


Corner of diamond lattice showing four nearest neighbor bonding.



View of crystal lattice along a crystallographic axis.

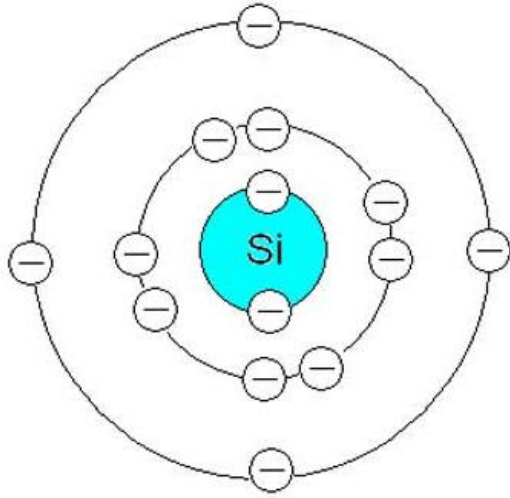
Silicon Covalent Bond Model (cont.)



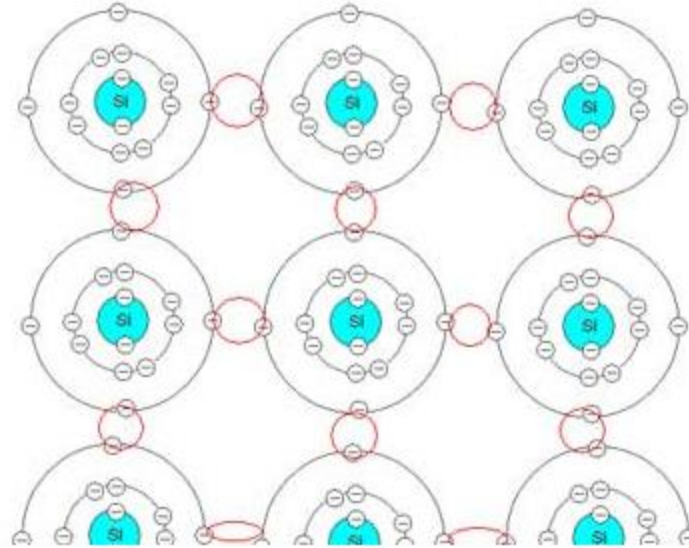
Silicon atom

Silicon atom

Silicon Covalent Bond Model (cont.)



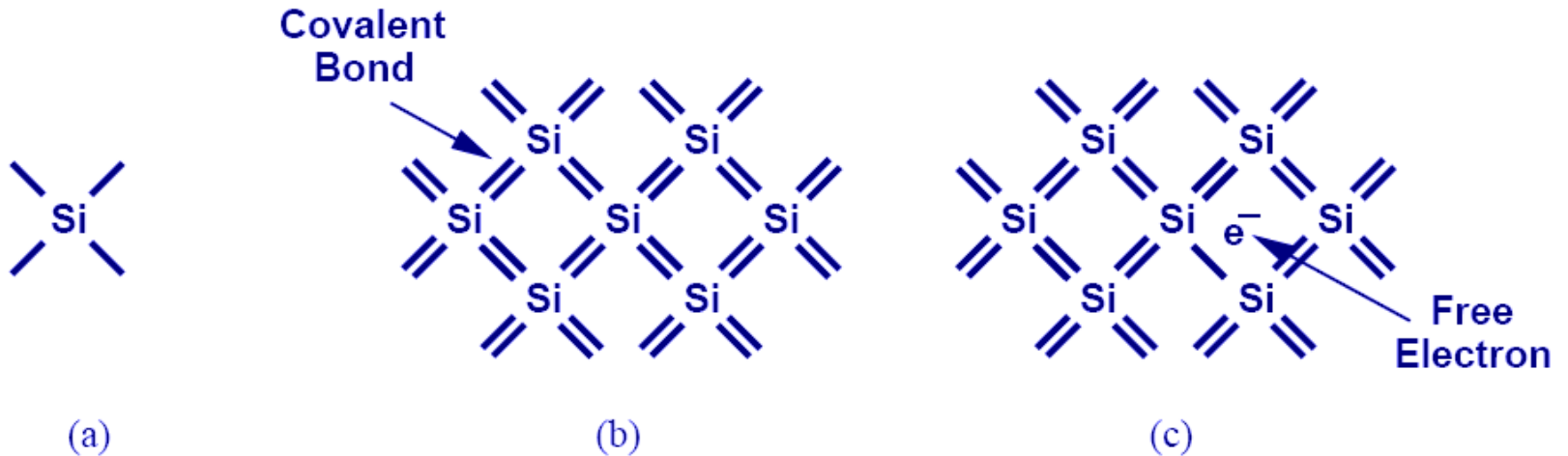
Silicon atom



Covalent bonds in silicon

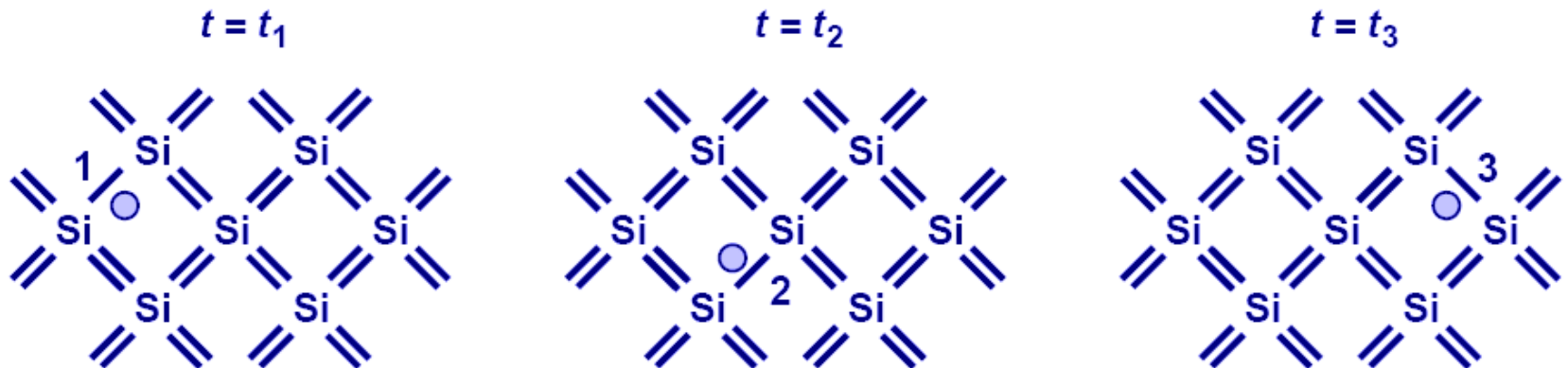
Silisyum

- Atomik yoğunluk: 5×10^{22} atoms/cm³
- Si 4 valans elektronuna sahiptir. En yakın komşuları ile kovalent bağ kurar.
- Sıcaklığın artması ile serbest elektronlar serbest hale geçmeye ve silisyum örgüsü içerisinde hareket etmeye başlarlar.



Electron-Hole Pair Generation

- When a conduction electron is thermally generated, a “hole” is also generated.
- A hole is associated with a positive charge, and is free to move about the Si lattice as well.



Saf Si içerisinde taşıyıcı yük yoğunluğu

- The “band-gap energy” E_g is the amount of energy needed to remove an electron from a covalent bond.
- **The concentration of conduction electrons** in intrinsic silicon, n_i , depends exponentially on E_g and the absolute temperature (T):

$$n_i = 5.2 \times 10^{15} T^{3/2} \exp \frac{-E_g}{2kT} \text{ electrons / cm}^3$$

$$n_i \cong 1 \times 10^{10} \text{ electrons / cm}^3 \text{ at 300K}$$

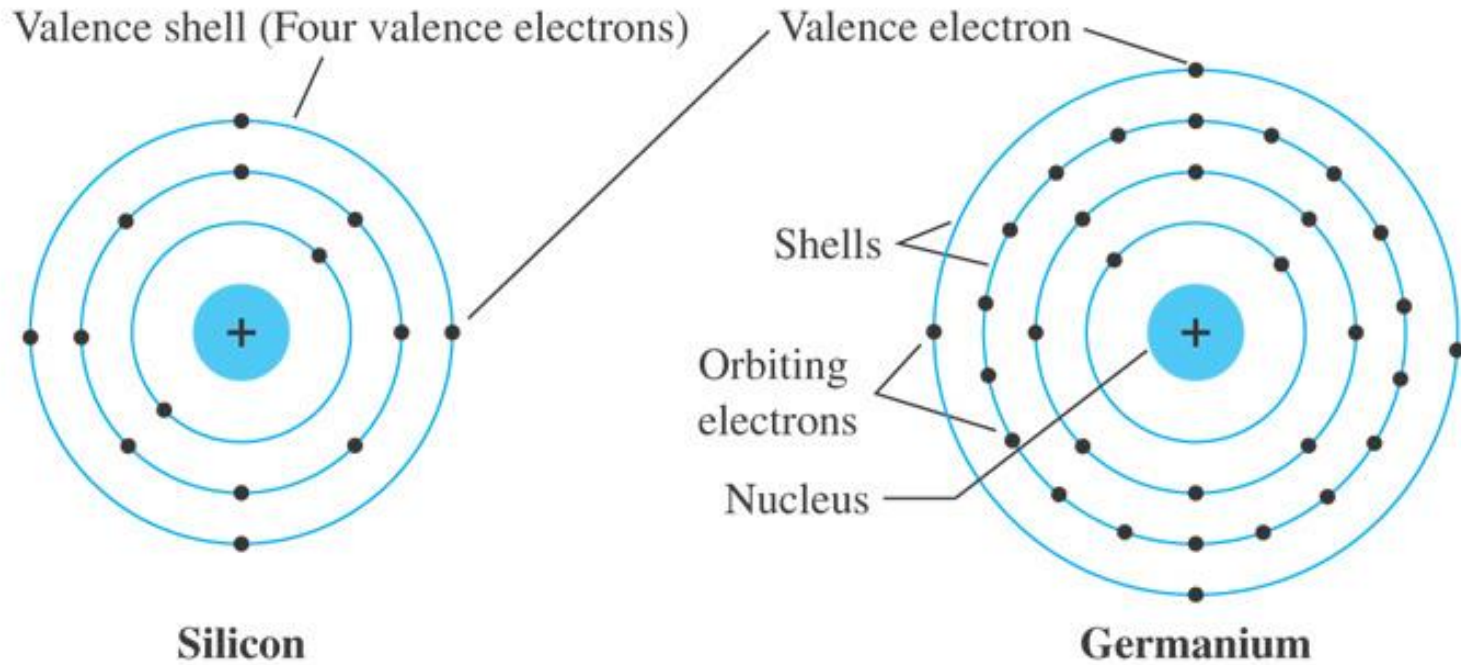
$$n_i \cong 1 \times 10^{15} \text{ electrons / cm}^3 \text{ at 600K}$$

Germanyum

- Germanyum nadir elementlerden olup, yer kabuğunda % 0,0004-0,0007 oranında bulunur.
- Yer kabuğunda yoğun olarak bulunmadığından, germanyumun elde edilmesi oldukça zordur.
- Hiçbir zaman serbest halde bulunmaz.



Silisyum ve Germanyum



Germanyum başlıca iki kaynaktan sağlanır:

1. Bazı cins maden kömürünün baca tozlarından,
2. Çinko rafine endüstrisi yan ürünlerinden

Yukarıda belirtilen kaynaklardan germanyumun oluşturulabilmesi için uzun işlemler gerekmektedir.

Bu iki evrede oluşturulan germanyum henüz saf değildir. içerisinde bazı yabancı maddeler bulunur.

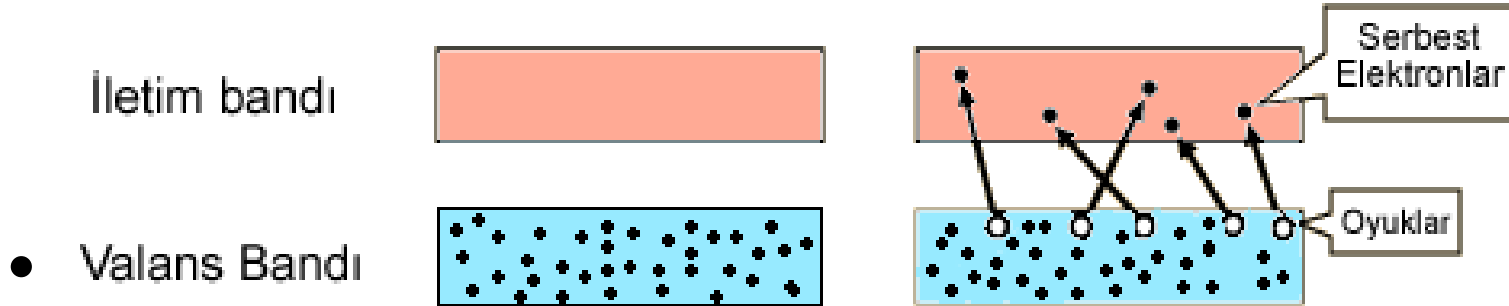
Germanyumun kullanılabilmesi için önce içindeki yabancı madde oranının $1/10^8$ 'in altına düşürülmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak içinde ikinci evre olarak saflaştırma işlemi yapılır.

Saf Olmayan (Katkı Maddeli) Germanyum ve Silikonun Kristal Yapısı

- Diyotlar, transistörler, entegre devreler v.b. gibi aktif devre elemanlarının yapımında kullanılan germanyum ve silikon yarı iletken kristallerinin önce **N ve P tipi kristaller haline dönüştürülmeleri gerekmektedir.**
- N veya P tipi kristal yapısını elde edebilmek için. Bir pota içerisine konulan germanyum veya silikon monokristali eritilir, belirli oranlarda katkı maddesi karıştırılır.
- Sonrada özel olarak hazırlanmış monokristal çekirdek, eriyiğe daldırılıp döndürülerek çekilir.
- Konulan katkı maddesinin cinsine göre çekilen kristal N veya P tipi olur.

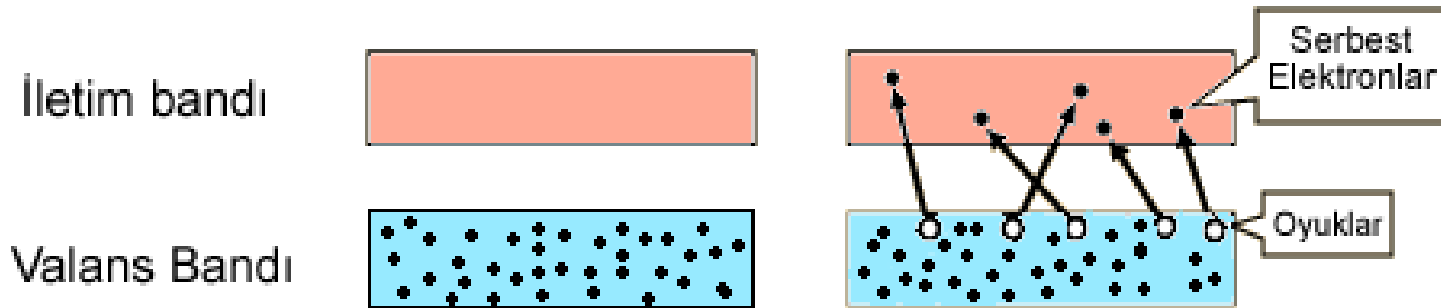
Elektronlar ve Oyuklar (hole)

- Silisyum gibi katkısız bir yarıiletken içerisinde uyarılmış bazı elektronlar, bant değiştirerek iletim bandına girerler ve böylece akım oluşturabilirler.
- Silisyum içerisindeki bir elektron band



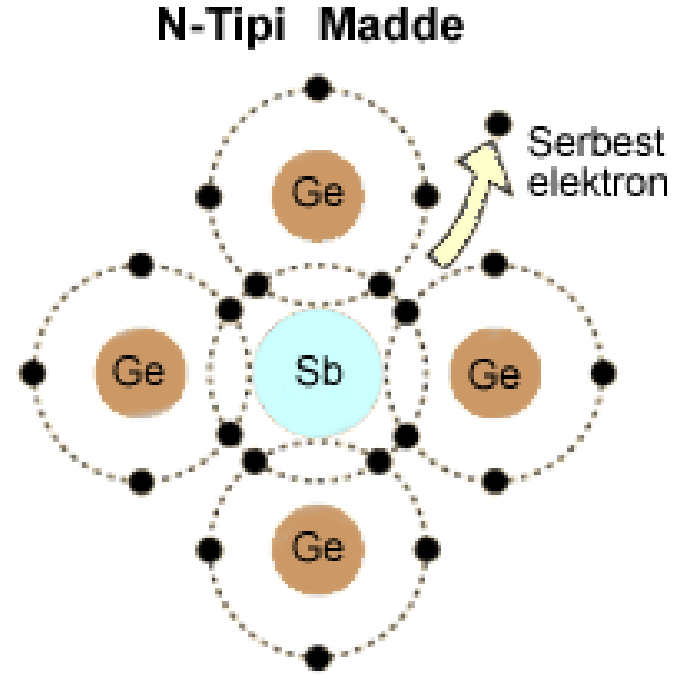
Elektronlar ve Oyuklar

- Harici bir voltaj etkisi altında malzeme içerisinde elektronlar ve oyuklar hareket edebilir.
- N-tipi yarıiletkende katkı maddesi ekstra elektron sağlayarak iletkenliği artırır.
- P-tipi yarıiletkende ise katkı maddesi ekstra oyuklar oluşturarak iletkenliği artırır.



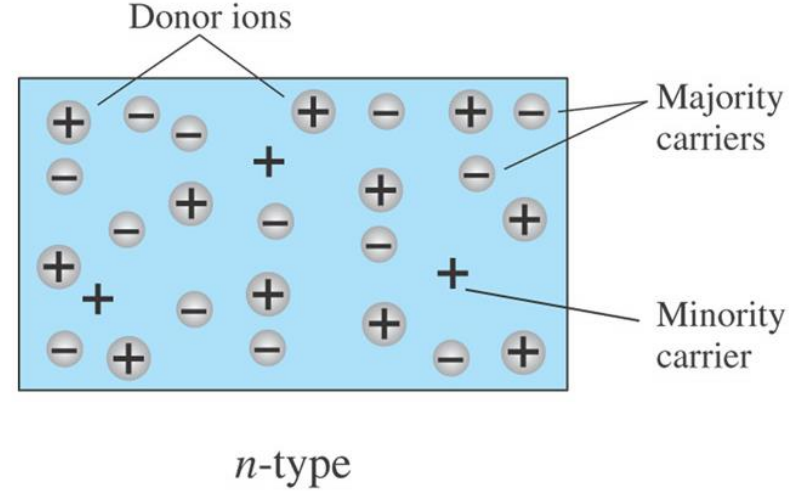
N-Tipi Yarıiletkenin Meydana Gelişi

- **Germanyum (Ge) (4e)**
- **Arsenik (Ar) (5e)**
 - veya
- **Antimon (Sb) (5e)**
 - katkılanırsa,
- 4'er elektron kovalent bağ yapar.
- **1 elektron da boşta (serbest) kalır.**
- Dış etki uygulanırsa bir elektron akışı meydana gelir.



N-Tipi Yarıiletkenin Meydana Gelişi

- N-tipi yarıiletken yapıda, yapıya **katılan ve elektron vererek** pozitif yüklenen katkılama atomları “**Donör İyonları**” olarak tanımlanır.

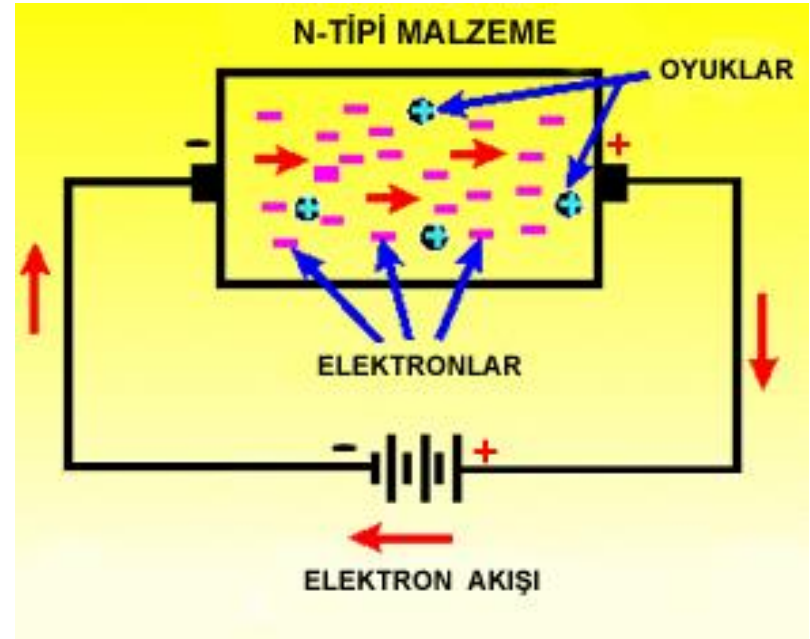


- N-tipi yarıiletkende **çoğunluk taşıyıcıla elektronlardır.**

- ▶ N-tipi yapı içerisinde az miktarda oyuklar da mevcut olabilir.
- ▶ N-tipi malzeme içerisinde **oyuklara azınlık taşıyıcıları** adı verilmektedir.

N-Tipi Yarıiletken İçerisinde Elektron Akışı

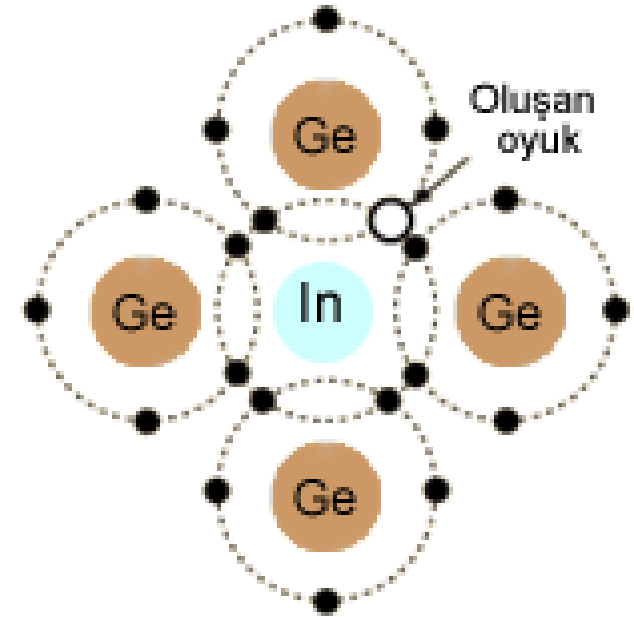
- Kristale bir gerilim uygulandığında içindeki serbest hale elektronlar, bataryanın negatif kutbu tarafından itilirler ve pozitif kutup tarafından çekilerek kaynağın (-) kutbundan (+) kutbuna doğru sürekli bir elektron akışı meydana getirirler.
- Ancak akım yönünün ise (+)'dan (-)'ye doğru olduğu kabul edilir.



P-Tipi Yarıiletkenin Meydana Gelişi

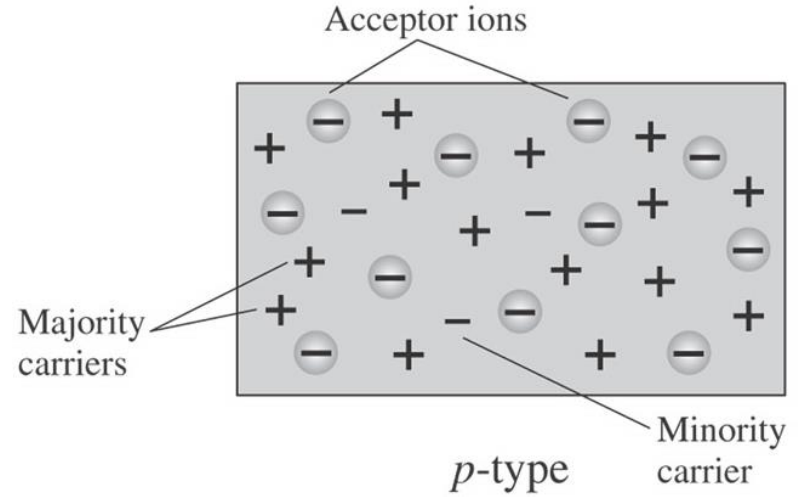
- **Germanyum (Ge) (4e)**
- **Indium (In) (3e)**
 - katkılanırsa,
- Indium atomu komşu Germanyum atomundan 1 elektron alır ve aralarında kovalent bağ oluşur.
- 1 elektron kaybeden Germanyum atomunda bir elektron boşluğu (oyuk) oluşur.
- Bu maddeye P-tipi madde denir.

P-Tipi Madde



P-Tipi Yarıiletkenin Meydana Gelişi

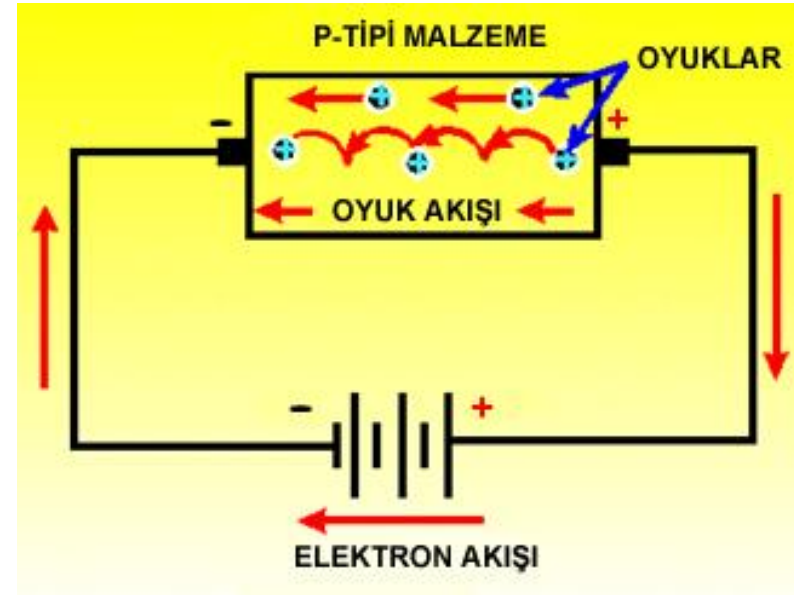
- P-tipi yarıiletken yapıda, **yapıya katılan** ve elektron alan katkılama atomları “**Akseptör İyonları**” olarak tanımlanır.
- P-tipi maddelerde **çoğunluk akım taşıyıcısı oyuklardır**.



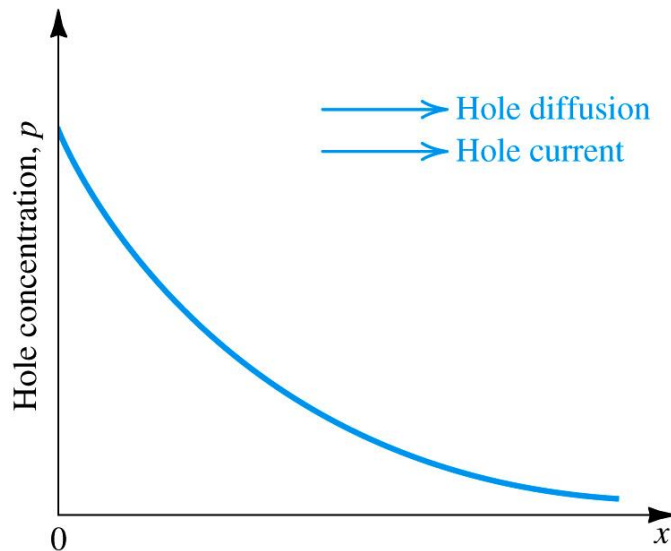
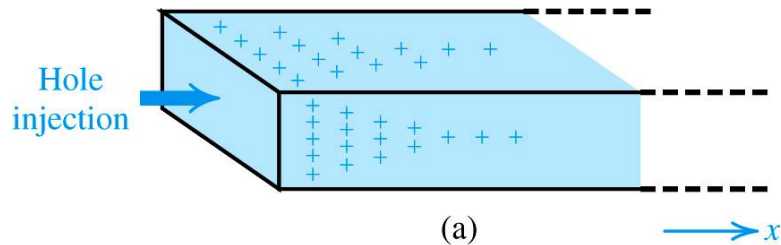
- ▶ Aynı zamanda bu yapı içerisinde az da olsa serbest **elektron** bulunur. Bunlara da **azınlık taşıyıcıları** adı verilir.

P-Tipi Yarıiletken İçerisinde Elektron Akışı

- Pozitif elektrik yüklü oyuklardır.
- P-tipi madde içerisinde bataryanın pozitif ucundan negatif ucuna doğru, elektronlar ise negatif kutuptan pozitif kutba doğru itilirler.
- Aslında oyuklar hareket etmemektedir. Oyuklarla elektronlar yer değiştirmektedir.

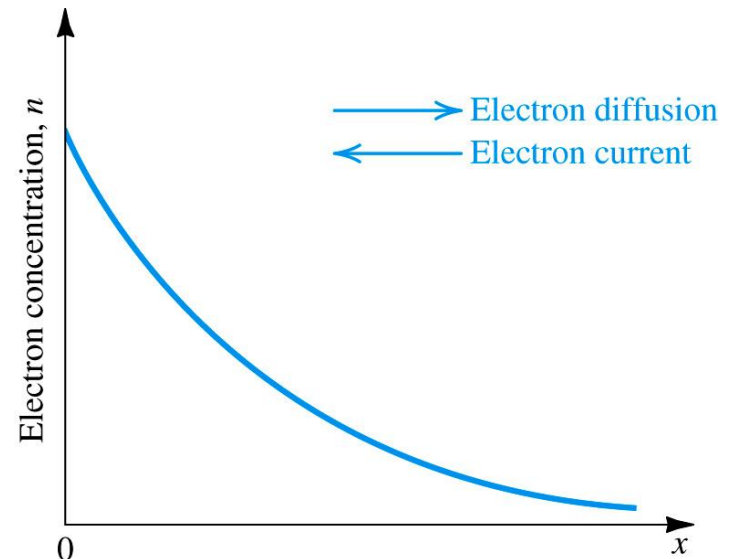


Diffusion Current



(b)

A bar of silicon **(a)** into which **holes are injected**, thus creating the hole concentration profile along the x axis, shown in **(b)**. The holes diffuse in the positive direction of x and give rise to a hole-diffusion current in the same direction.



If the **electrons are injected** and the electron-concentration profile shown is established in a bar of silicon, electrons diffuse in the x direction, giving rise to an electron-diffusion current in the negative $-x$ direction.

Terminology

donor: impurity atom that increases n

acceptor: impurity atom that increases p

N-type material: contains more electrons than holes

P-type material: contains more holes than electrons

majority carrier: the most abundant carrier

minority carrier: the least abundant carrier

intrinsic semiconductor: $n = p = n_i$

extrinsic semiconductor: doped semiconductor

THE DIFFERENCE OF

INTRINSIC SEMICONDUCTOR

- It is pure elements like Ge and Silicon.
- $N_e = N_h$
- Low conductivity
- Conductivity mainly depend on their temperature.

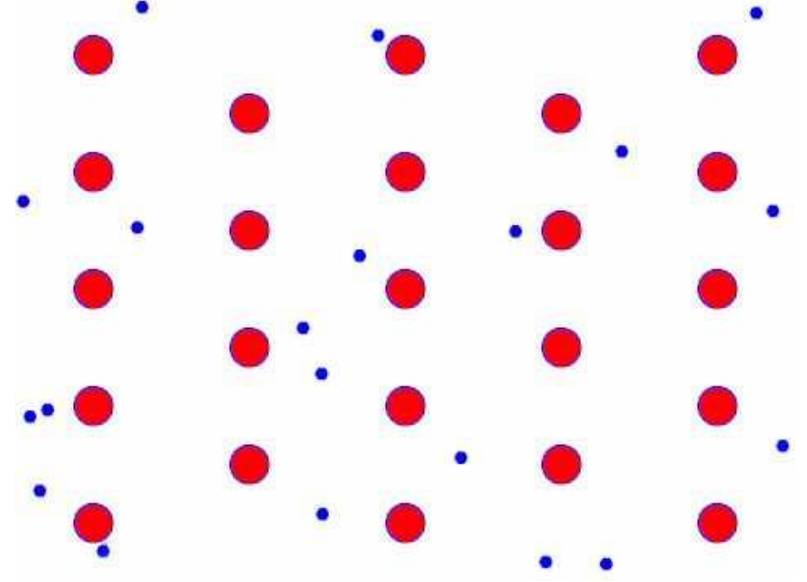
EXTRINSIC SEMICONDUCTOR

- It is impure elements.
- $N_e \neq N_h$
- High conductivity
- Conductivity depends on the temperature as well as the amount of impurity added in them.

- Dc İletkenlik Mekanizmaları
 - Serbest Elektron Modeli
 - Bant Modeli
 - Tünelleme Modeli
 - Hoplama Modeli
- Ac iletlenlik Mekanizmaları

DOĞRU AKIM d.c. İLETKENLİK MEKANİZMALARI

- **Serbest elektron modelinde**, kristali oluşturan atomların çekirdeklerinden kaynaklanan homojen olmayan yapı göz ardı edilir, ayrıca iletim elektronları kristal yapı içerisinde serbestçe dolaşabilir ve her yerde bulunabilirler



DOĞRU AKIM d.c. İLETKENLİK MEKANİZMALARI

Doğru akım iletkenliği $\sigma_{d.c.}$, serbest elektron modeline göre aşağıdaki şekildeki gibi ifade edilir.

$$\sigma_{d.c.} = \frac{ne^2\tau_F}{m^*} \quad (\text{II.1})$$

Bant modeline göre iletkenlik, $\sigma_{d.c.}$ formül II.2'deki gibi ifade edilir.

$$\sigma_{d.c.} = \frac{1}{3}e^2v_F\tau_Fg(E_F) \quad (\text{II.2})$$

Bu formüllerde n : iletim elektronlarının konsantrasyonu, τ_F : Fermi yüzeyindeki bir elektron için ortalama iki çarpışma arasındaki süre, m^* : elektronun etkin kütlesi, v_F : Fermi hızı, $g(E_F)$: Fermi yüzeyindeki durum yoğunluğudur.

II.1 ve II.2 formüllerini karşılaştırıldığı zaman, iletkenliğin, serbest elektron modelinde serbest elektron yoğunluğu ile, bant modelinde ise; durum yoğunluğu ile belirlendiği görülür.

DOĞRU AKIM d.c. İLETKENLİK MEKANİZMALARI

Bant modeli, taşıyıcı yük hareketliliğinin $100 \text{ cm}^2/(\text{V.s})$ 'den büyük olduğu durumlarda uygulanabilmektedir. Taşıyıcı hareketliliğinin $100 \text{ cm}^2/(\text{V.s})$ 'den küçük olduğu malzemelerde, yük taşıyıcıları farklı etkilerden ötürü örgünün belli bir yerine yerleşir ve bu tür malzemelerde elektriksel iletim, hoplama veya tünelleme mekanizmalarından birisi sayesinde gerçekleşir.

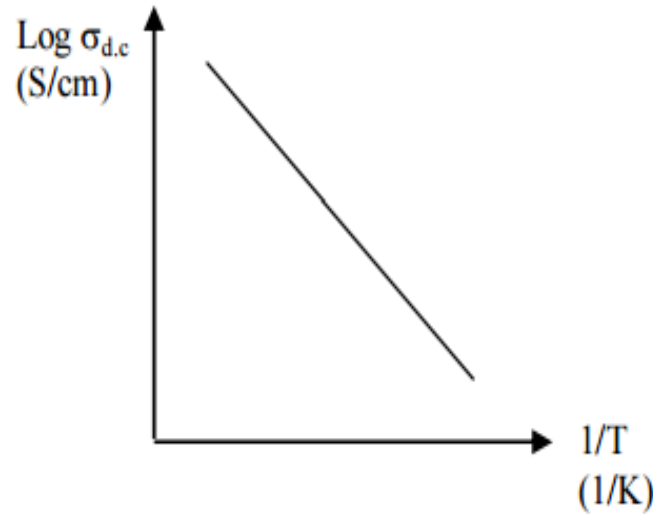
Ohm yasası ile tanımlanan d.c iletkenlik modeli aşağıdaki ifade ile tanımlanır [57].

$$J_{ohm} = ep_0\mu_0 \left(\frac{V}{d} \right) \quad (\text{II.3})$$

e: elektronik yük, p_0 : taşıyıcı yük yoğunluğu, V: uygulanan potansiyel, d: film kalınlığı, μ_0 : yük hareketliliği (mobilitesi).

DOĞRU AKIM d.c. İLETKENLİK MEKANİZMALARI

Burada σ_0 : orantı sabiti, E_a : aktivasyon enerjisi, k : Boltzman sabiti ve T : sıcaklıktır. Arrhenius tipi davranış gösteren numunelerde formülden de görüleceği gibi iletkenliğin sıcaklığa bağlılığı doğrusaldır [58].



Şekil II.1: Arrhenius davranışı gösteren bir maddenin $\sigma_{d.c}$ iletkenlik – $1/T$ grafiği

II.2.1. TÜNELLEME MODELİ

- Klasik mekaniğe göre bir parçacığın kendisinden daha yüksek enerjili bir bariyerden geçme olasılığı sıfır iken, bu ihtimal kuantum mekaniğinde sıfır değildir. Bu geçiş olayına **tünelleme** denir.
- Tünelleme modeli ilk defa Elley [59] tarafından öne sürülmüştür. Bu modele göre; başlangıçta taban durumunda bulunan bir elektron; ΔE kadar enerji alarak, bulunduğu orbitale bir boşluk bırakarak $(n/2 + 1)$ inci uyarılmış seviyesine çıkar ve oradan tünelleme yaparak komşu moleküle geçer.
- Ayrıca uyarılmış elektronun spini göz ardı edilir ve tünelleme sırasında enerjinin korunduğu kabul edilir.

II.2.1. TÜNELLEME MODELİ

- Bant modelinde moleküller arasındaki potansiyel engelin açık bir tanımı olmadığından, kristalin dalga fonksiyonu tek tek moleküllerin dalga fonksiyonundan oluşturulur.
- **Potansiyel engelin genişliğinin 10 Å'dan küçük olması durumunda tünelleme modeli bant modeli olarak düşünülebilir [60].**

II.2.2. HOPLAMA MODELİ

- **Aktivasyon enerjisinin düşük olması durumunda, yük taşıyıcılarının uyarılması veya bant sınırlarındaki lokalize durumlar, iletim mekanizmasının açıklanmasında yetersiz kalır.**
- Elektronlar belirli şartlar gerçekleştiğinde termal olarak aktive olmuş tünelleme ile bir molekülden diğer moleküle hoplayabilirler [60].
- **Hoplama modelinde yeterli enerjiyi kazanamamış elektronun moleküller arasındaki potansiyel engelini geçebileceği kabul edilir.**
- Bu durum ya düşük sıcaklıklarda veya kusur durum yoğunluğunun büyük olduğu malzemelerde yüksek sıcaklıklarda gözlenen bir mekanizmadır [61].

İletkenlik Mekanizmaları

Sürüklenme (Drift) ve Difüzyon

- Yük taşıyıcıları: elektronlar ve hole'ler (boşluklar)
- Yük akışının değişimi «akım», yük taşıyıcılarının hareketi ile oluşmaktadır.
- Yarıiletkenler içerisinde bu mekanizma sürüklenme ve difüzyon olarak iki türlü karşımıza çıkar.

Electron and Hole Concentrations

- Under thermal equilibrium conditions, the product of the conduction-electron density and the hole density is ALWAYS equal to the square of n_i :

$$np = n_i^2$$

N-type material

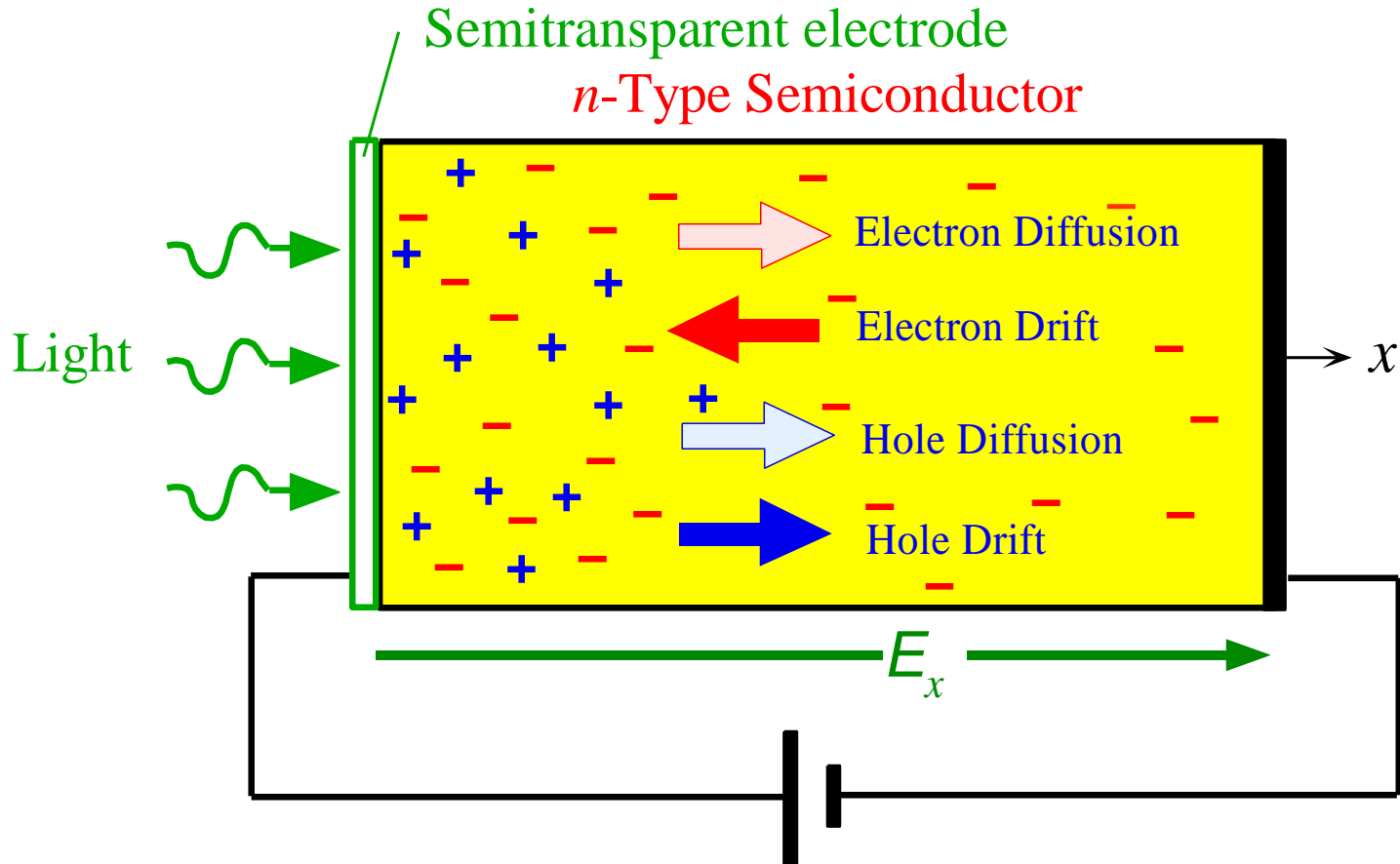
$$n \approx N_D$$

$$p \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

P-type material

$$p \approx N_A$$

$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$



When there is an electric field and also a concentration gradient, charge carriers move both by diffusion and drift. (E_x is the electric field.)

Fig 5.31

❖ Taşıyıcı Yük Sürüklenme Hızı

- Electron and holes will move under the influence of an applied electric field since the field exert a force on charge carriers (electrons and holes).

$$F = qE$$

- These movements result a current of ; I_d

$$I_d = nqV_d A$$

I_d : drift current

n : number of charge carriers per unit volume

V_d : drift velocity of charge carrier

q : charge of the electron

A : area of the semiconductor

❖ Taşıyıcı yük Mobilitesi, μ

$$V_d = \mu E$$

E : applied field

μ : mobility of charge carrier

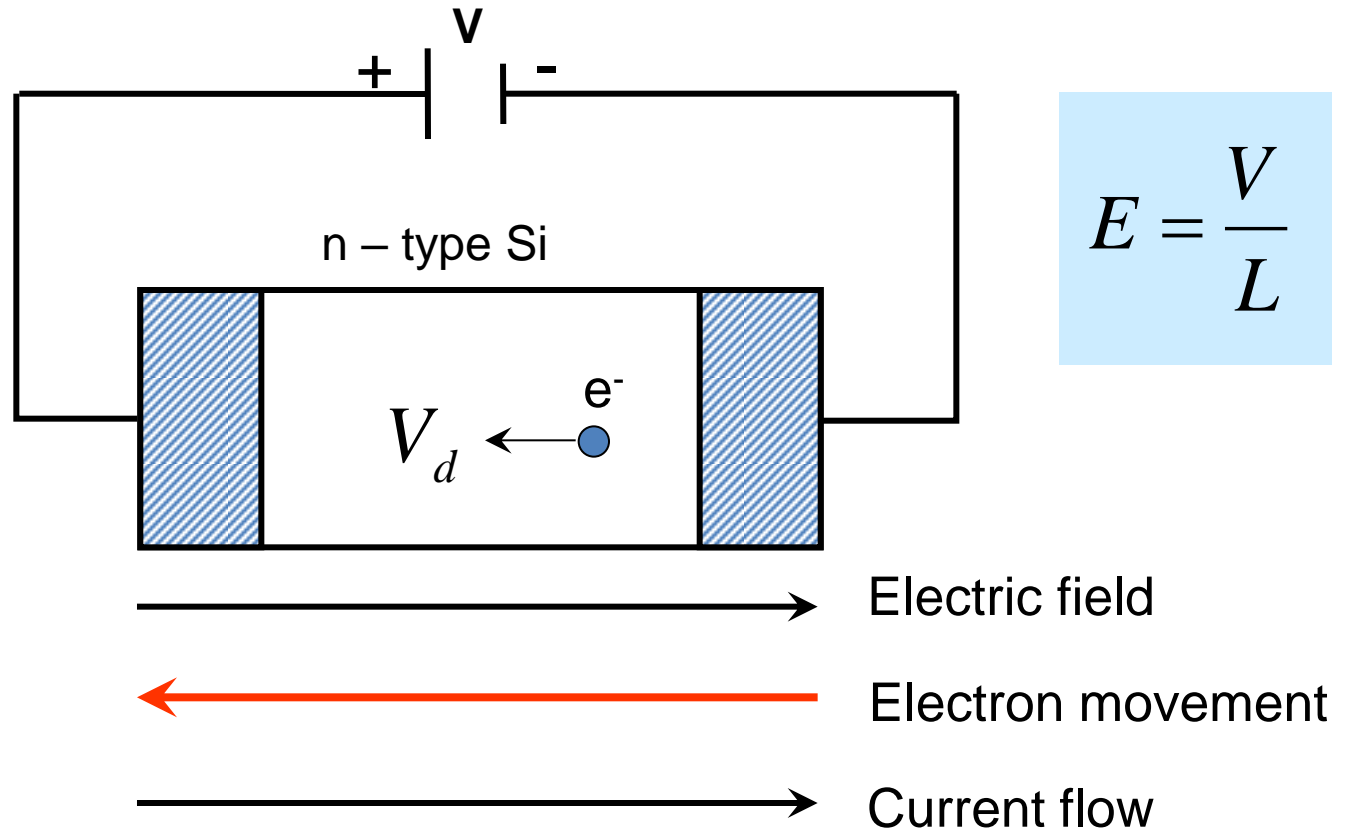
$$[\mu] = \left[\frac{cm^2}{V \cdot Sec} \right]$$

μ is a proportionality factor

$$\mu = \left[\frac{V_d}{E} \right]$$

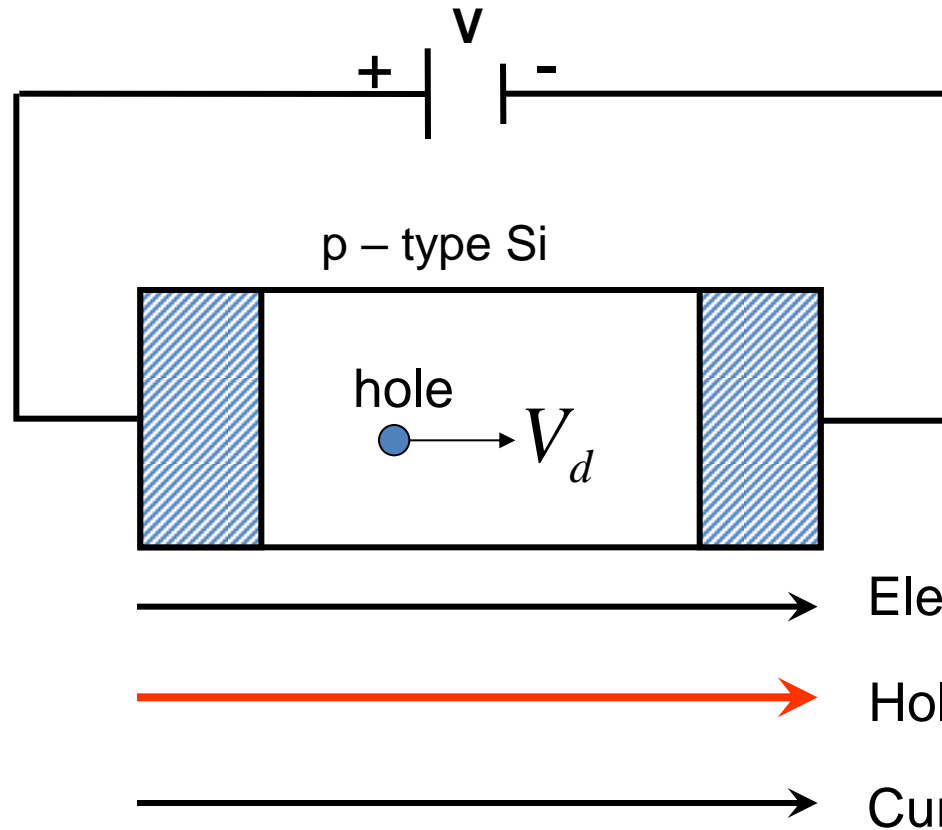
- ❖ So μ is a measure how easily charge carriers move under the influence of an applied field or μ determines how mobile the charge carriers are.

❖ n - type Si



Akım taşıyıcıları çoğunlukla elektronlardır.

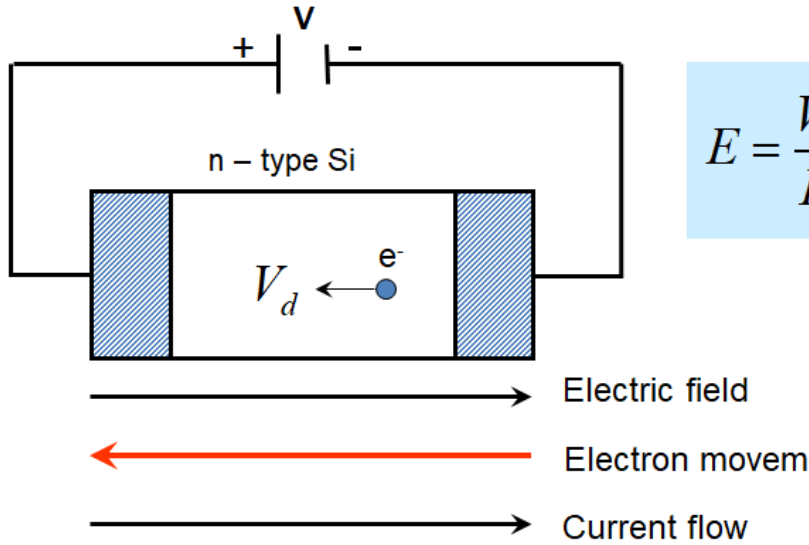
❖ p - type Si



$$E = \frac{V}{L}$$

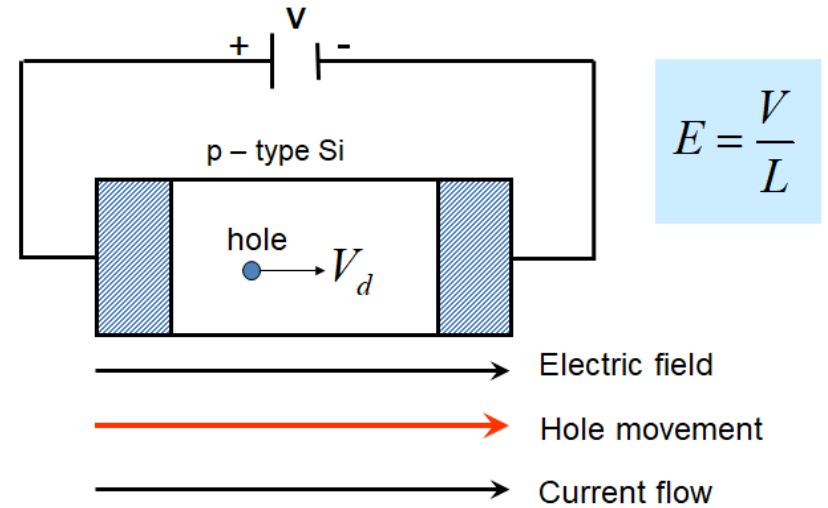
Akım taşıyıcıları çoğunlukla hole'lerdir.

- N-type



Akım taşıyıcıları çoğunlukla elektronlardır.

- * P type



Akım taşıyıcıları çoğunlukla hole'lerdir.

❖ Carrier Mobility

Macroscopic understanding

$$\mu = \frac{V_d}{E}$$

In a perfect Crystal

$$\rho = 0$$

$$\sigma \rightarrow \infty$$

It is a superconductor

Microscopic understanding? (what the carriers themselves are doing?)

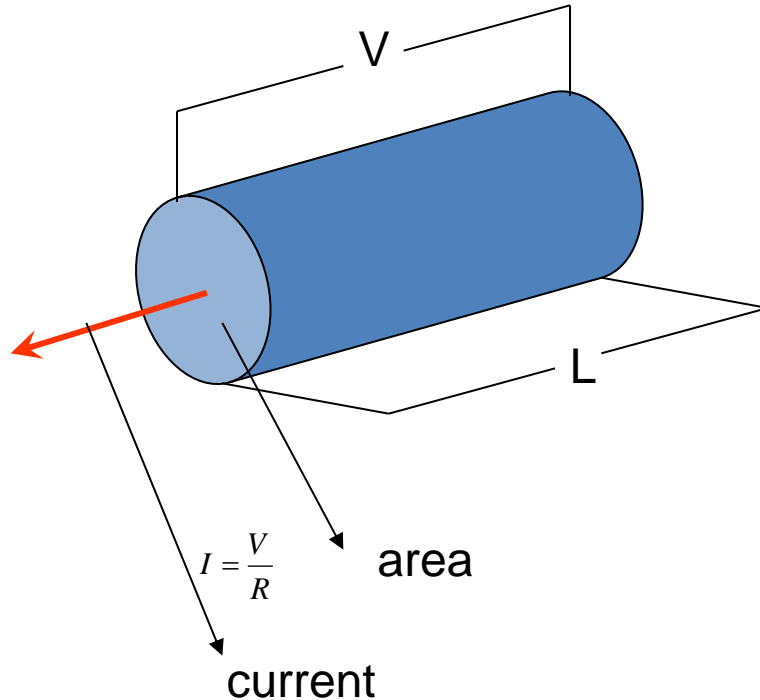
$$\mu = \frac{q\tau}{m^*}$$

$$m_e^* < m_h^* \text{ in general}$$

$$m_e^*; n\text{-type}$$

$$m_h^*; p\text{-type}$$

❖ A Derivation of Ohm's Law



This is in fact ohm's law which is written slightly in a different form.

$$J_x = \sigma E_x \quad \frac{I_x}{A} = \sigma \frac{V}{L} \Rightarrow \frac{I_x}{A} = \frac{1}{\rho} \frac{V}{L} \quad I = \frac{VA}{\rho L} = \frac{V}{R}$$

❖ A Derivation of Ohm's Law

$$I_d = nqV_d A \quad V_d = \mu E$$

$$J_d = \frac{I_d}{A} \quad \mu = \frac{q\tau}{m^*}$$

$$J_x = nqV_d = nq\mu E \quad J_x = \left(\frac{nq^2\tau}{m^*} \right) E_x$$

$$\sigma = \frac{nq^2\tau}{m^*} \quad J_x = \sigma E_x \quad \rho = \frac{1}{\sigma} \quad \begin{array}{l} [\rho] = [\Omega - m] \\ [\sigma] = [1/(\Omega - m)] \end{array}$$

❖ Drift Current Equations

For undoped or intrinsic semiconductor ; $n=p=n_i$

For electron

$$J_n = nqE\mu_n$$

drift
current
for
electrons

number
of free
electrons
per unit
volume

mobility
of
electron

For hole

$$J_p = pqE\mu_p$$

drift
current
for holes

number
of free
holes per
unit
volume

mobility
of holes

❖ Drift Current Equations

Total current density

$$J_i = J_e + J_h$$

$$J_i = nqE\mu_n + pqE\mu_p$$

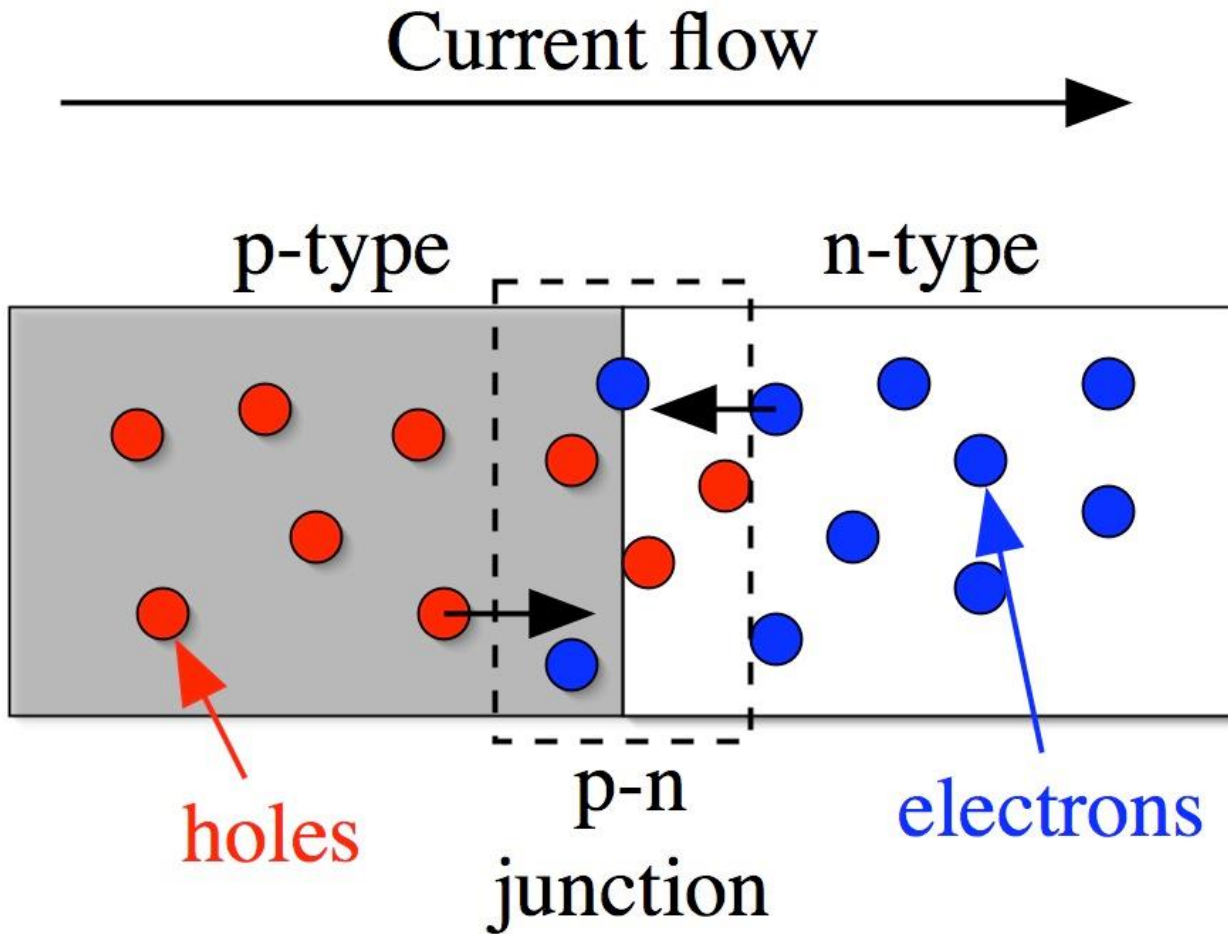
since

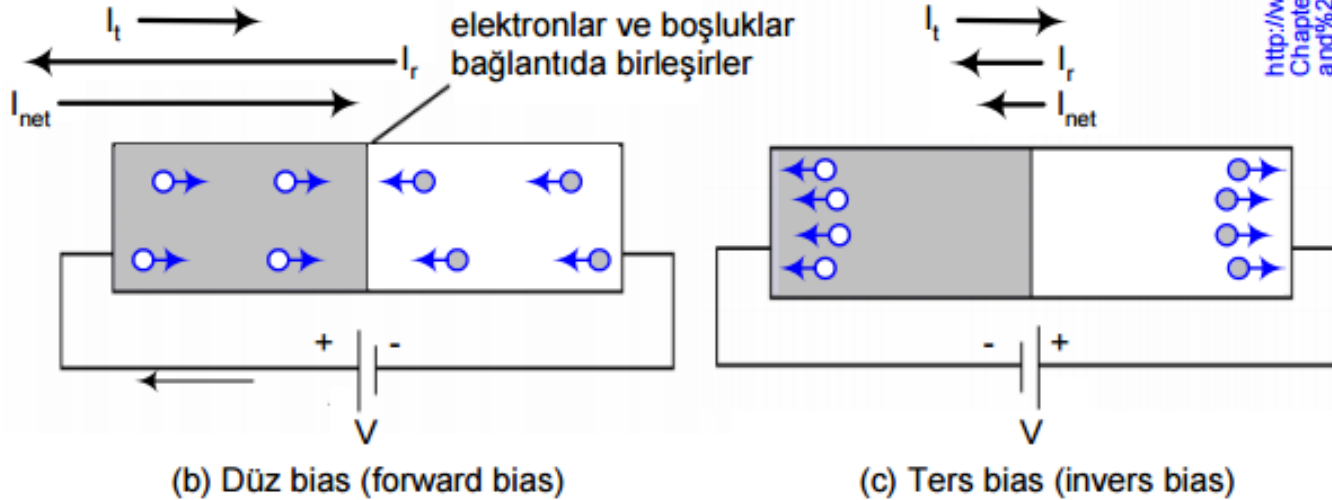
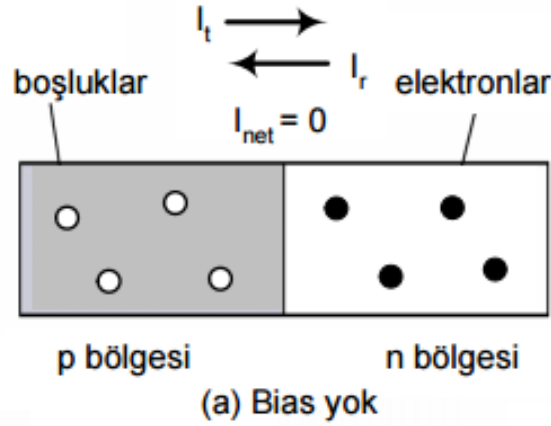
$$n = p = n_i$$

$$J_i = n_i q (\mu_n + \mu_p) E$$

For a pure
intrinsic
semiconductor

Pn Junction



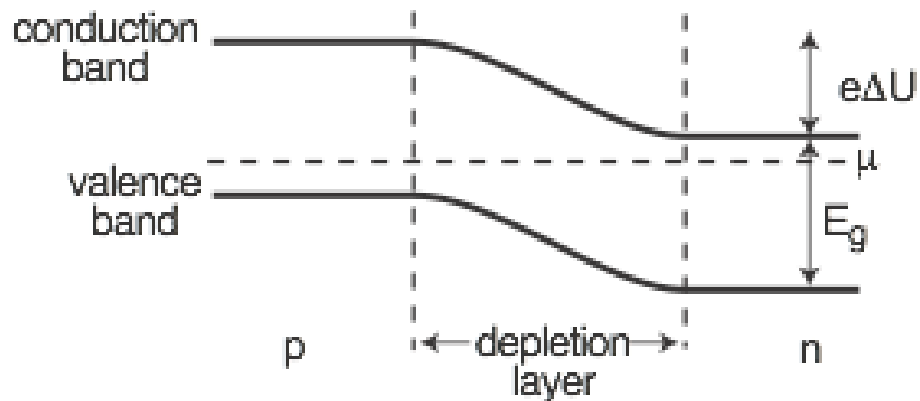
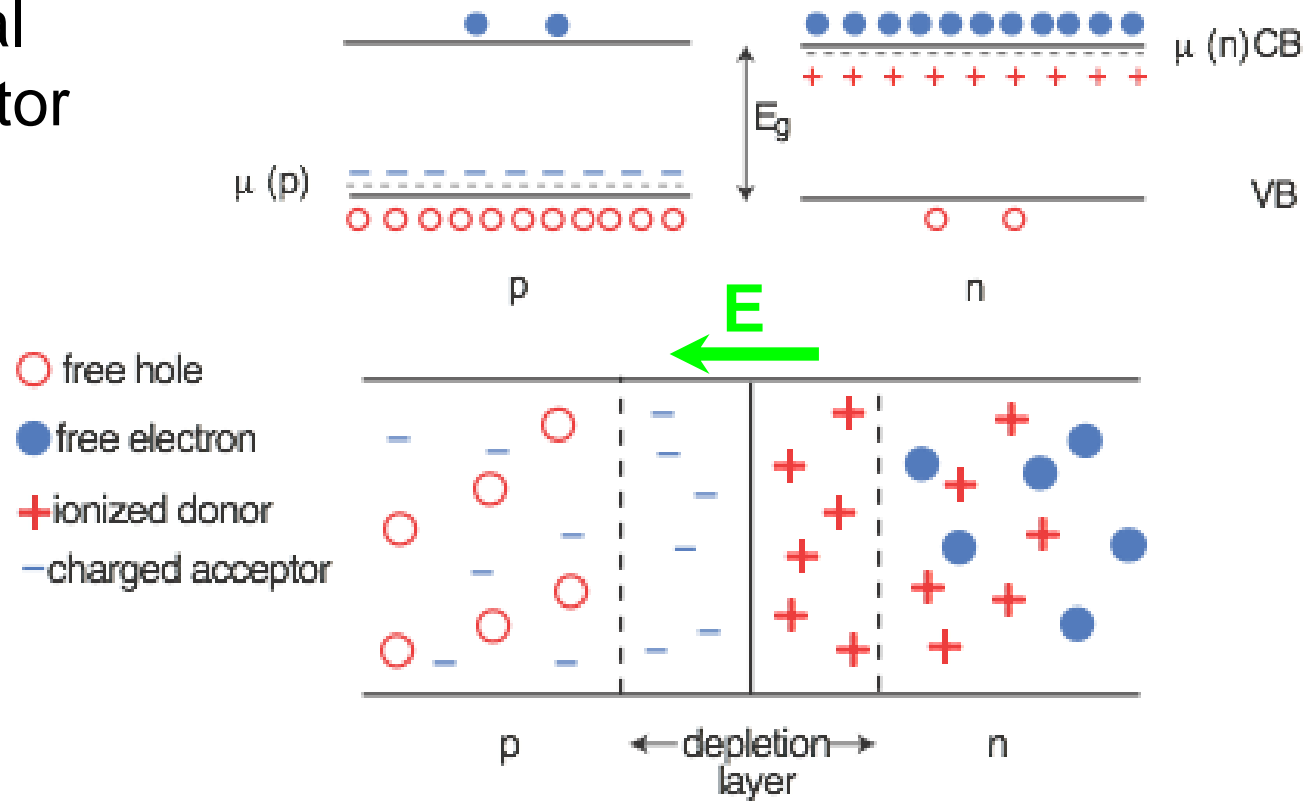


<http://www.causality.net/nova/phy243/Chapter%2011%20Semiconductor%20Theory%20and%20Devices.ppt>

Şekil (b)'de, bir potansiyel uygulanarak p bölgesinin n bölgesine göre pozitif yüklendiği durumdaki elektrik iletimi mekanizması gösterilmiştir; bu işleme "düz-bias" gerilimi denir.

The p-n junction

(of identical semiconductor material)



pn Junction

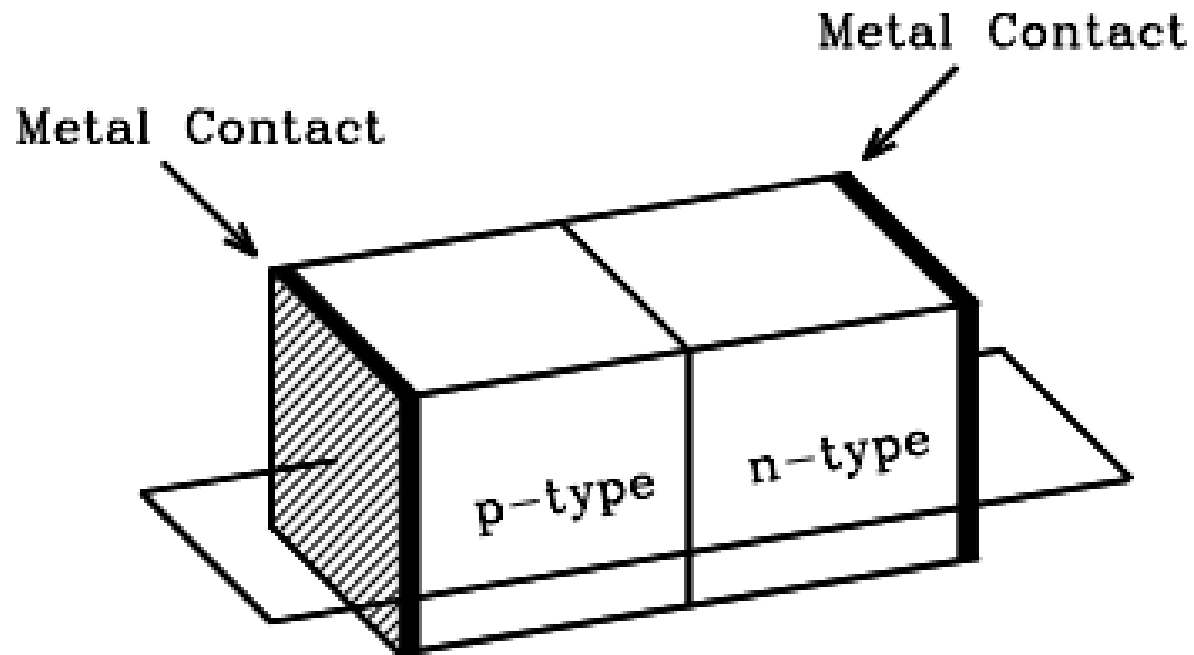
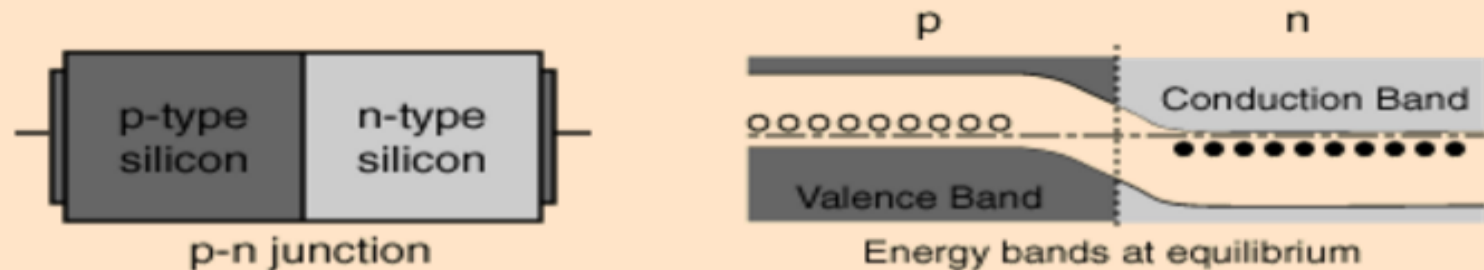


Figure 1.14: Short-circuited p-n junction.

P-N Junction

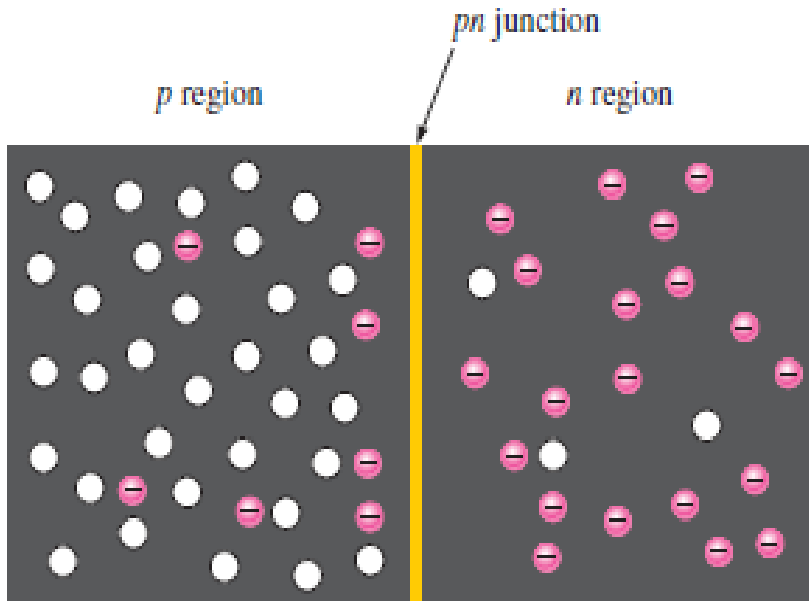
One of the crucial keys to [solid state electronics](#) is the nature of the P-N junction. When [p-type](#) and [n-type](#) materials are placed in contact with each other, the junction behaves very differently than either type of material alone. Specifically, current will flow readily in one direction ([forward biased](#)) but not in the other ([reverse biased](#)), creating the basic [diode](#). This non-reversing behavior arises from the nature of the charge transport process in the two types of materials.



The open circles on the left side of the junction above represent "holes" or deficiencies of electrons in the lattice which can act like positive charge carriers. The solid circles on the right of the junction represent the available electrons from the n-type dopant. Near the junction, electrons diffuse across to combine with holes, creating a "[depletion region](#)". The energy level sketch above right is a way to visualize the [equilibrium condition](#) of the P-N junction. The upward direction in the diagram represents increasing electron energy.

PN Junction

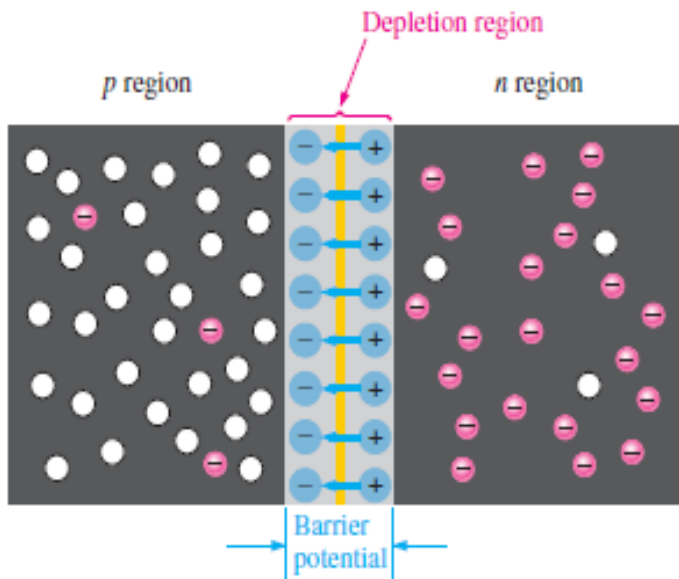
Although P-type material has holes in excess and N-type material has a number of free conduction electron however the net number of proton and electron are equal in each individual material keeping it just neutral.



The basic silicon structure at the instant of junction formation showing only the majority and minority carriers.

Free electrons in the *n region* near the *pn junction* begin to diffuse across the junction and fall into holes near the junction in the *p region*.

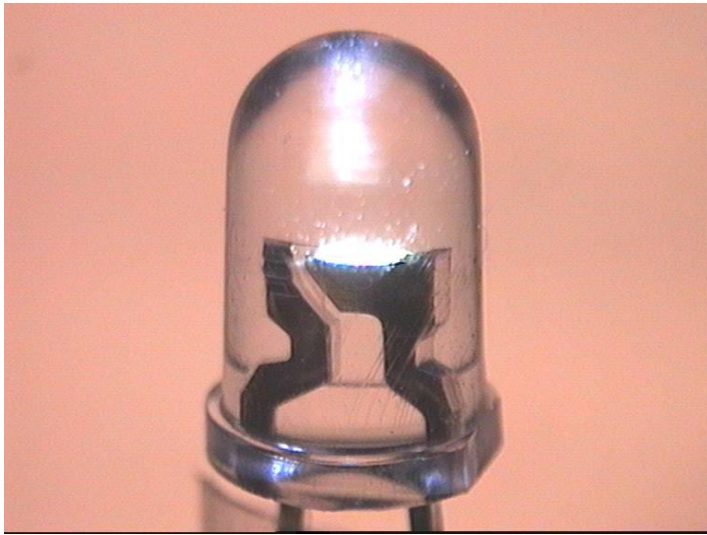
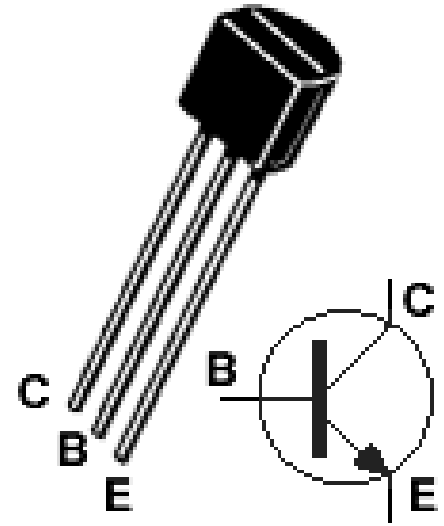
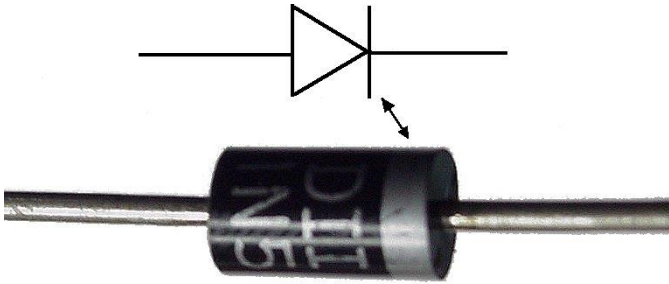
PN Junction

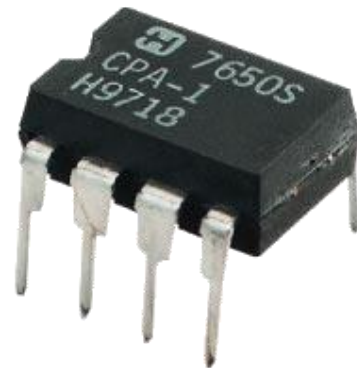
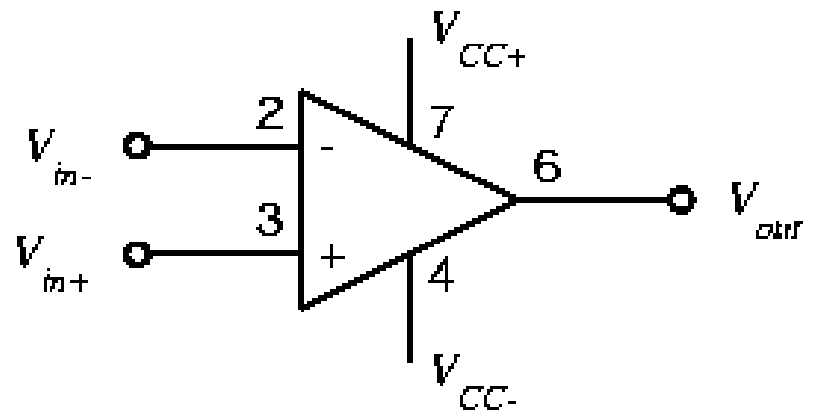
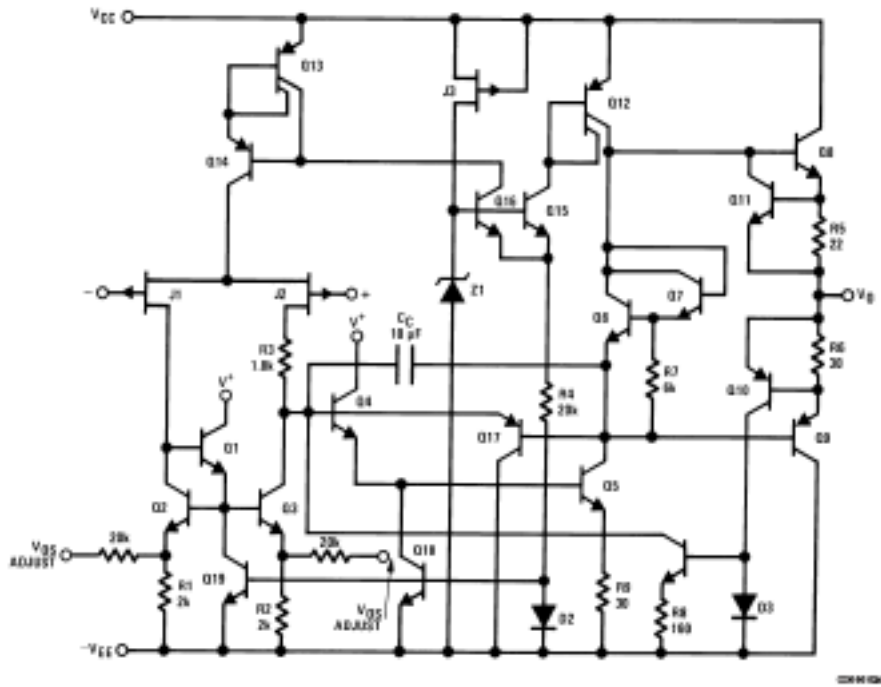


For every electron that diffuses across the junction and combines with a hole, a positive charge is left in the *n region* and a negative charge is created in the *p region*, forming a barrier potential.

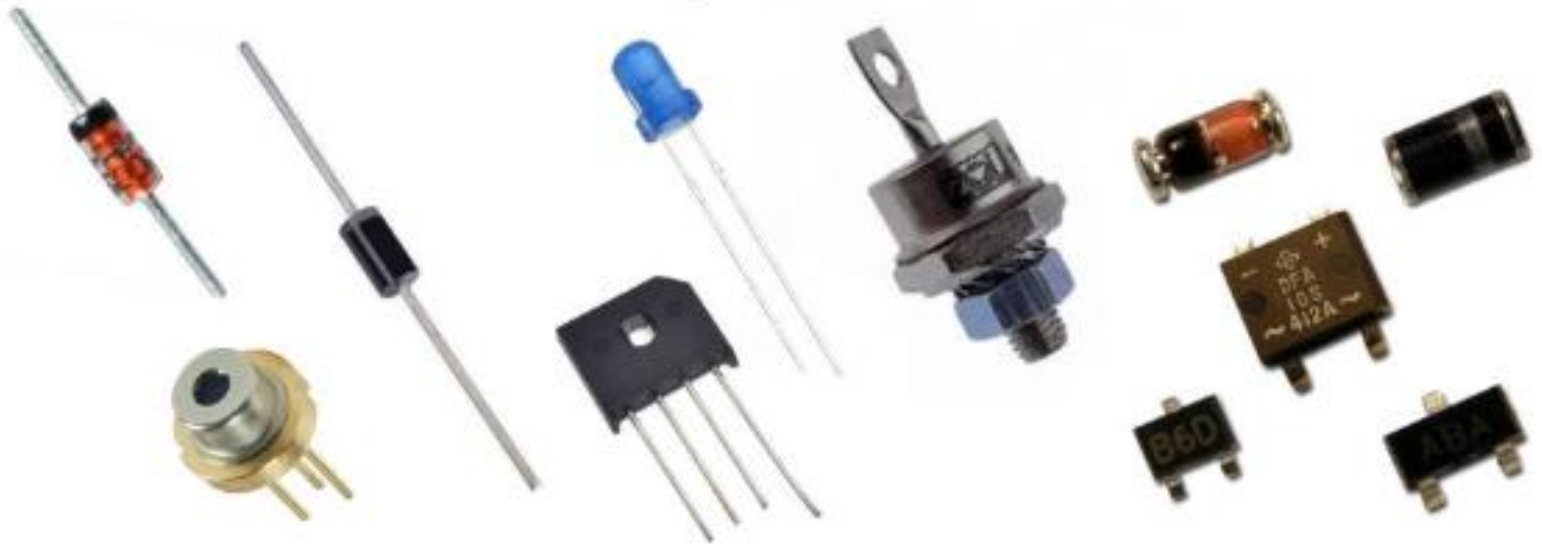
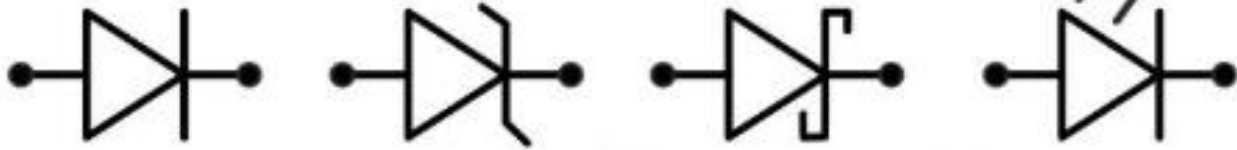
This action continues until the voltage of the barrier repels further diffusion.

The blue arrows between the positive and negative charges in the depletion region represent the electric field.



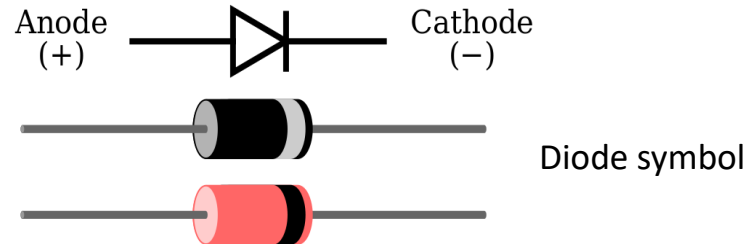
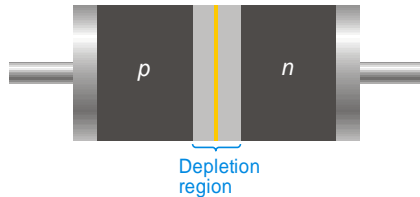


Diyot Nedir?



Diodes

- ❖ Diode, semiconductor material, such as silicon, in which half is doped as p-region and half is doped as n-region with a pn-junction in between.
- ❖ The p region is called **anode** and n type region is called **cathode**.

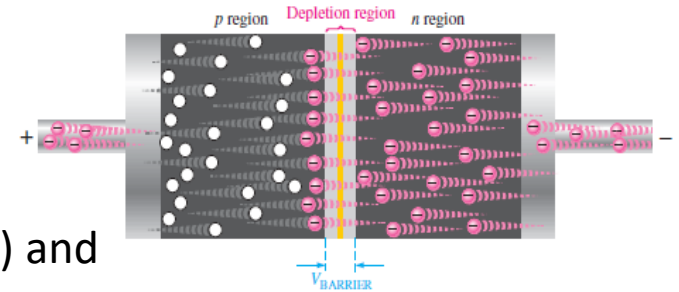


- ❖ It conducts current in one direction and offers high (ideally infinite) resistance in other direction.

Forward Biased

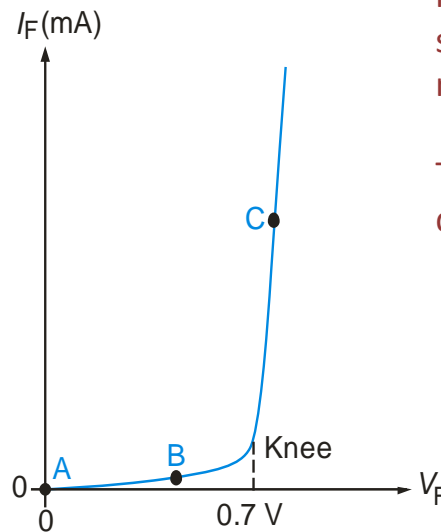
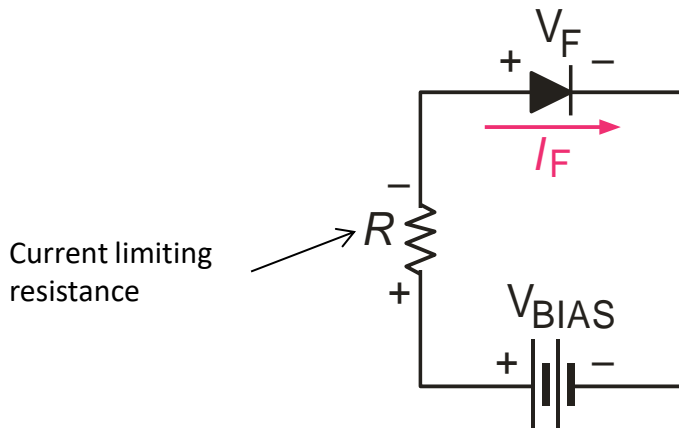
❖ Forward bias is a condition that allows current through pn junction.

- ❖ A dc voltage (V_{bias}) is applied to bias a diode.
- ❖ Positive side is connected to p-region (anode) and negative side is connected with n-region.
- ❖ V_{bias} must be greater than 'barrier potential'



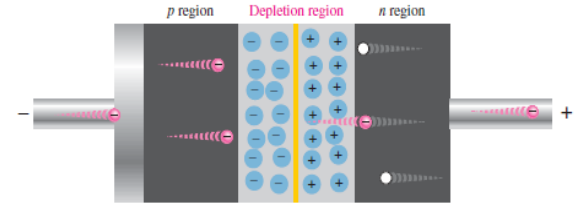
As more electrons flow into the depletion region reducing the number of positive ions and similarly more holes move in reducing the positive ions.

This reduces the width of depletion region.



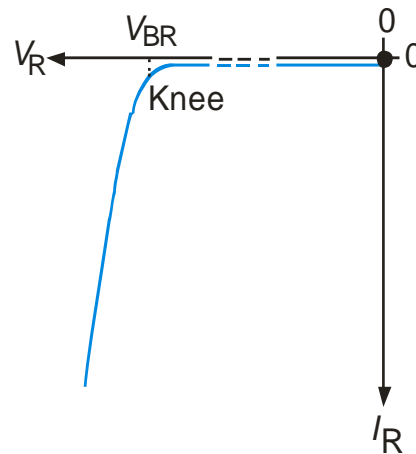
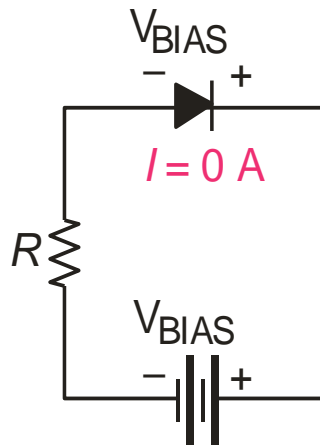
Reverse Biased

- ❖ Reverse bias is a condition that prevents current through junction.
- ❖ Positive side of V_{bias} is connected to the n-region whereas the negative side is connected with p-region.
- ❖ Depletion region get wider with this configuration.

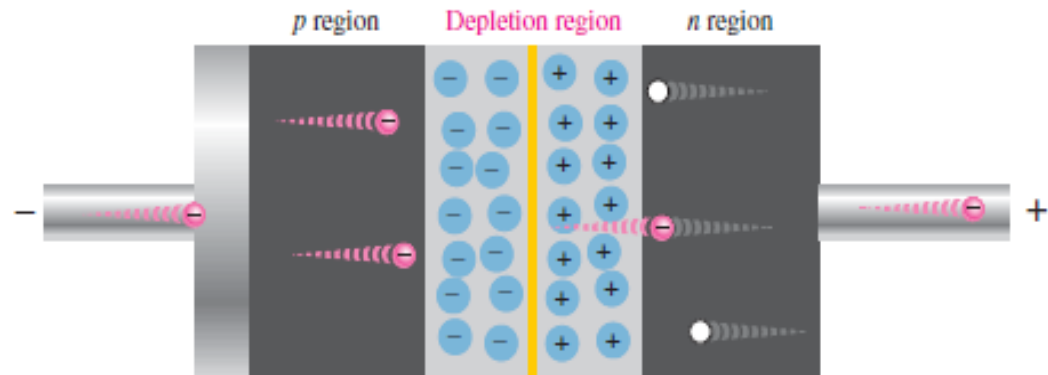


The positive side of bias voltage attracts the majority carriers of n-type creating more positive ions at the junction.

This widens the depletion region.

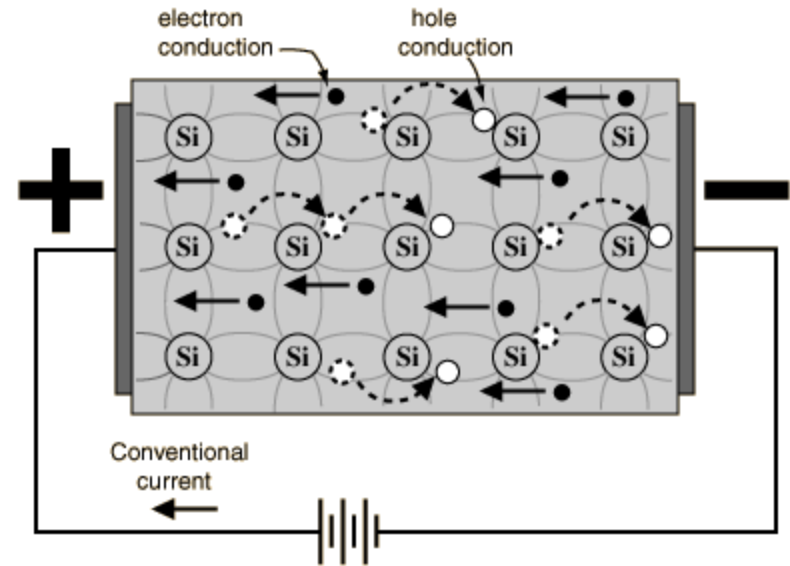
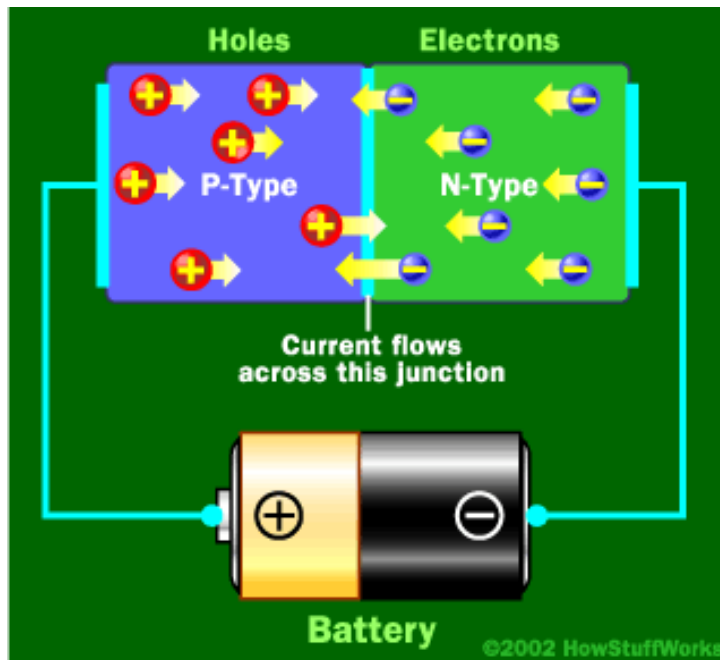


Reverse Current



- ❖ A small amount current is generated due to the minority carriers in p and n regions.
- ❖ These minority carriers are produced due to thermally generated hole-electron pairs.
- ❖ Minority electrons in p-region pushed towards +ve bias voltage, cross junction and then fall in the holes in n-region and still travel in valance band generating a hole current.

BY PLACING A POTENTIAL DIFFERENCE (VOLTAGE) ACROSS THE DIODE WITH THE CORRECT POLARITY CURRENT WILL FLOW THRU THE DIODE. HOLES IN ONE DIRECTION, ELECTRONS IN THE OTHER DIRECTION



When the negative end of the circuit is hooked up to the N-type layer and the positive end is hooked up to P-type layer, electrons and holes start moving and the depletion zone disappears.

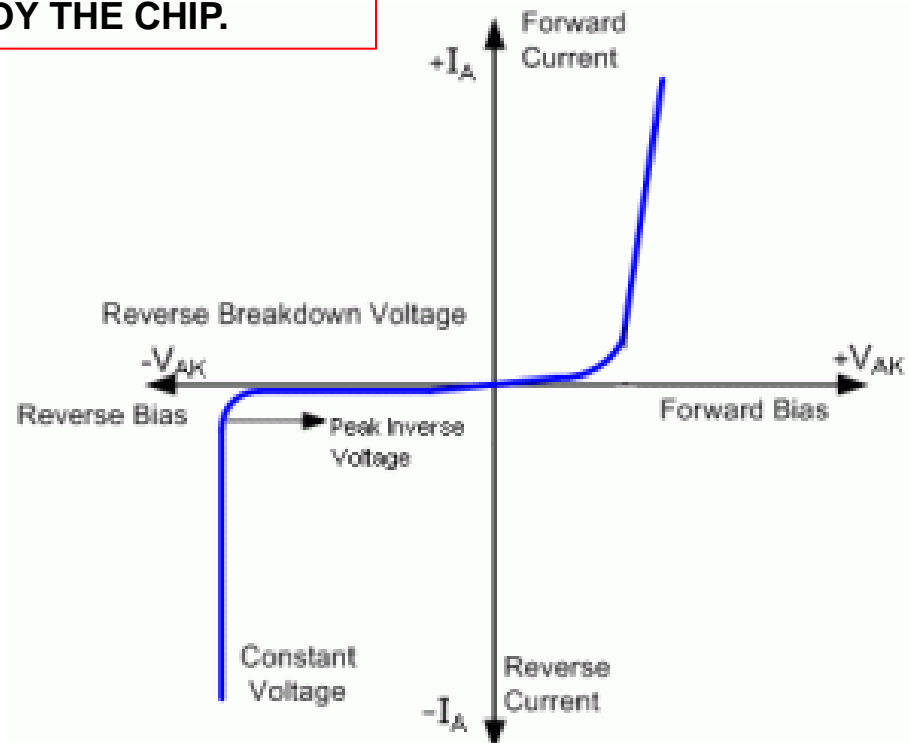
THIS DIODE IS FORWARD BIASED, CURRENT FLOWS

DIODE OPERATION

A DIODE WILL NOT CONDUCT UNTIL THE FORWARD VOLTAGE REACHES A CERTAIN LEVEL. FOR SILICON DIODES THIS IS ABOUT 0.6V.

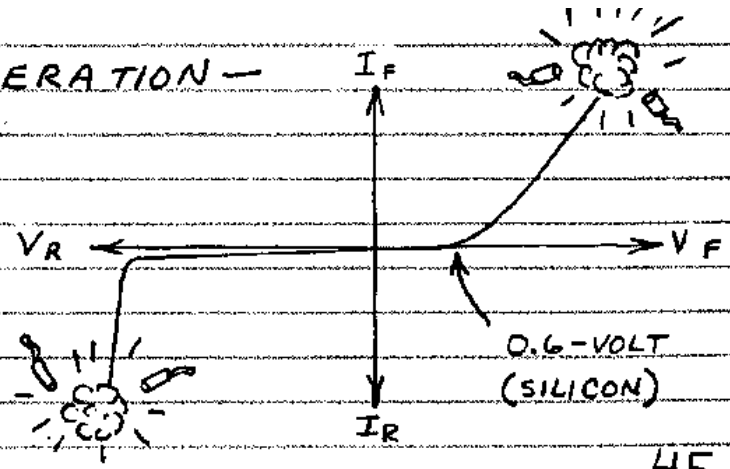
IF THE FORWARD CURRENT BECOMES TOO GREAT THE DIODE MAY CRACK OR MELT. AT THIS POINT THE DIODE MAY CONDUCT IN BOTH DIRECTIONS AND VAPORIZE THE CHIP.

TOO MUCH REVERSE VOLTAGE WILL CAUSE IT TO CONDUCT IN THE WRONG DIRECTION WHICH WILL DESTROY THE CHIP.

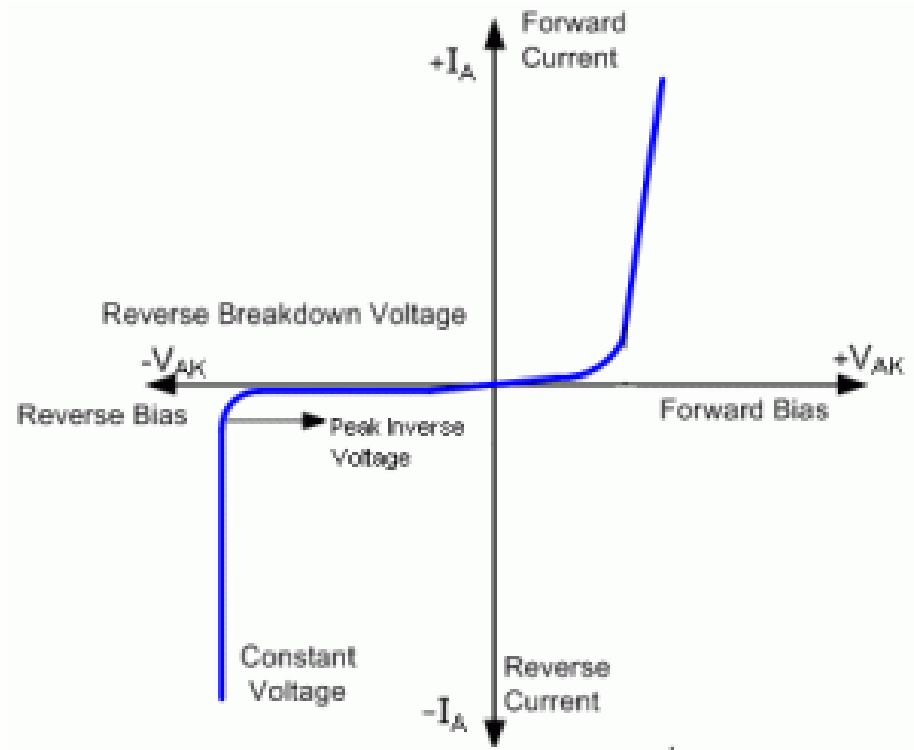


□ SUMMING UP DIODE OPERATION -
THIS GRAPH SUMS UP DIODE
OPERATION. (IT'S APPROXIMATE.)

V_F = FORWARD VOLTAGE
 V_R = REVERSE VOLTAGE
 I_F = FORWARD CURRENT
 I_R = REVERSE CURRENT



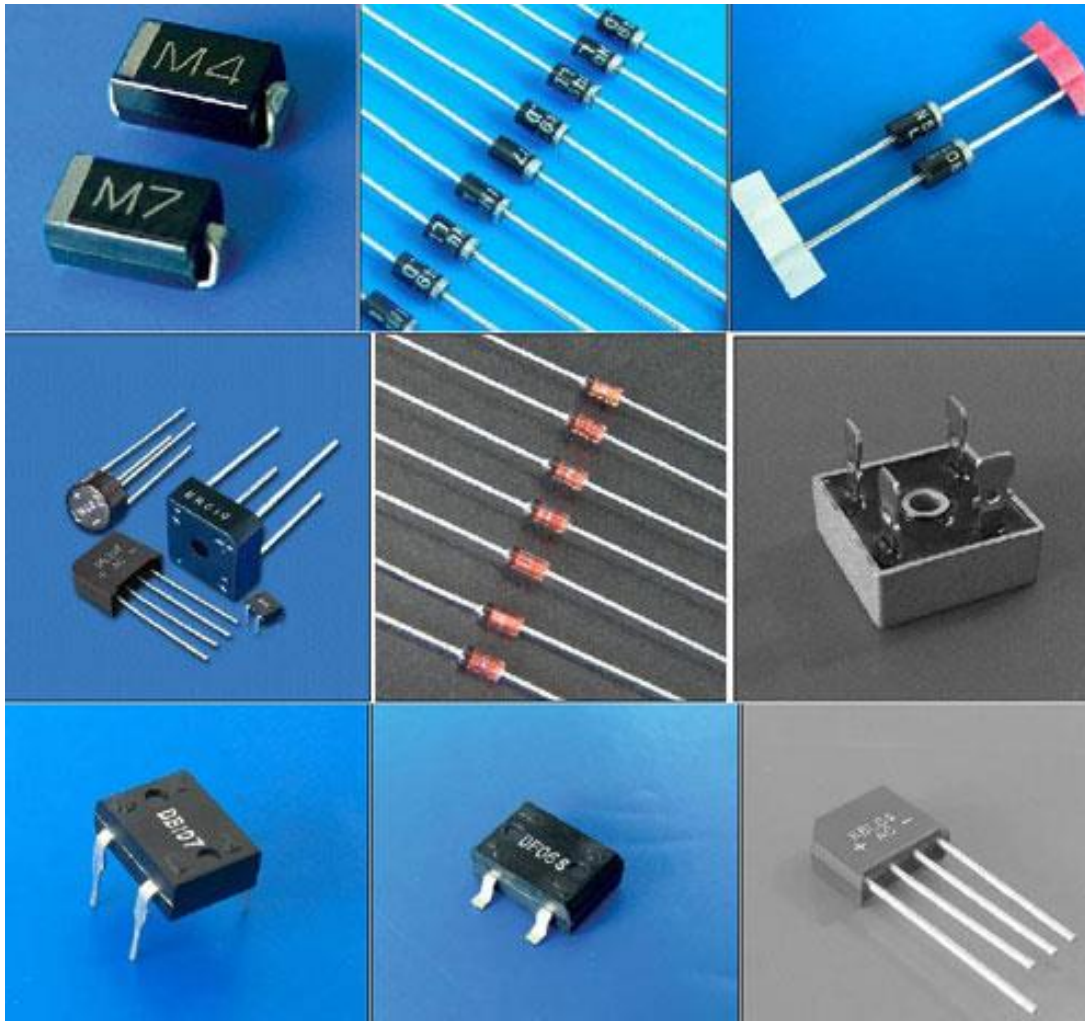
45



TYPES OF DIODES

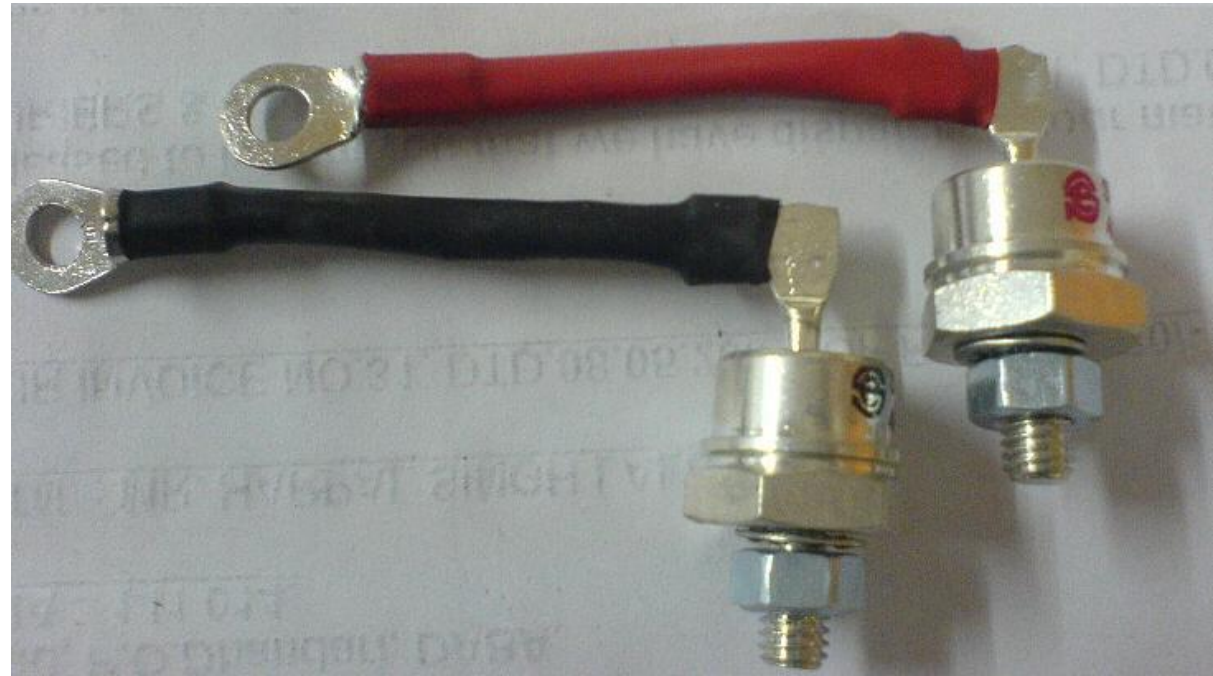
MANY TYPES EXIST

SMALL SIGNAL: CONVERT AC TO DC, DETECT RADIO SIGNALS, MULTIPLY VOLTAGE, PERFORM LOGIC OPERATIONS.



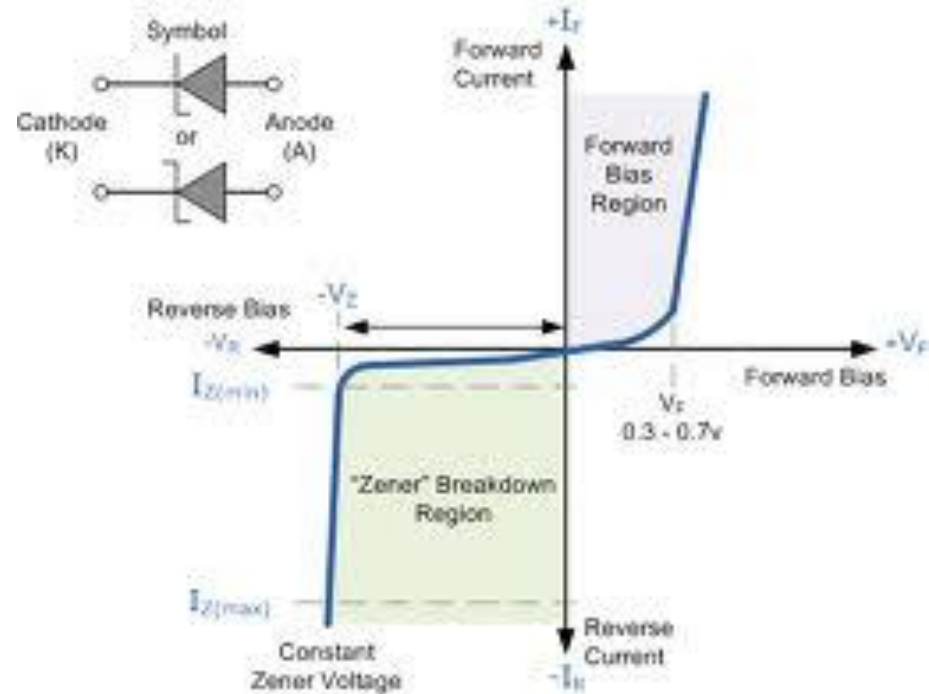
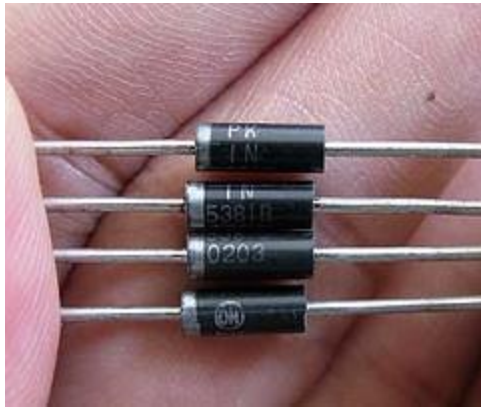
POWER RECTIFIER

WORK AT MUCH HIGHER CURRENT LEVELS, CONSTRUCTED IN LARGE METAL PACKAGES TO ABSORBE HEAT AND TRANSFER IT TO HEAT SINKS. USED MAINLY IN POWER SUPPLIES



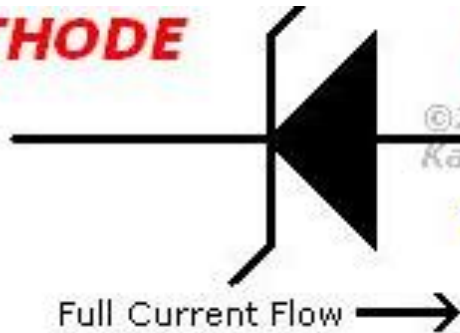
ZENER DIODES

WORK AT SPECIFIC BREAKDOWN VOLTAGE.
FUNCTION AS A VOLTAGE SENSITIVE SWITCH.
THIS VOLTAGE (V_Z) VARY FROM 2 TO 200 VOLTS



CATHODE

ANODE

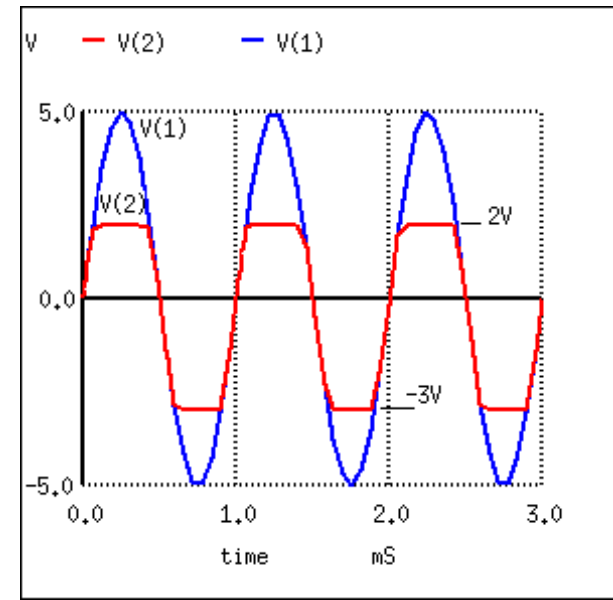


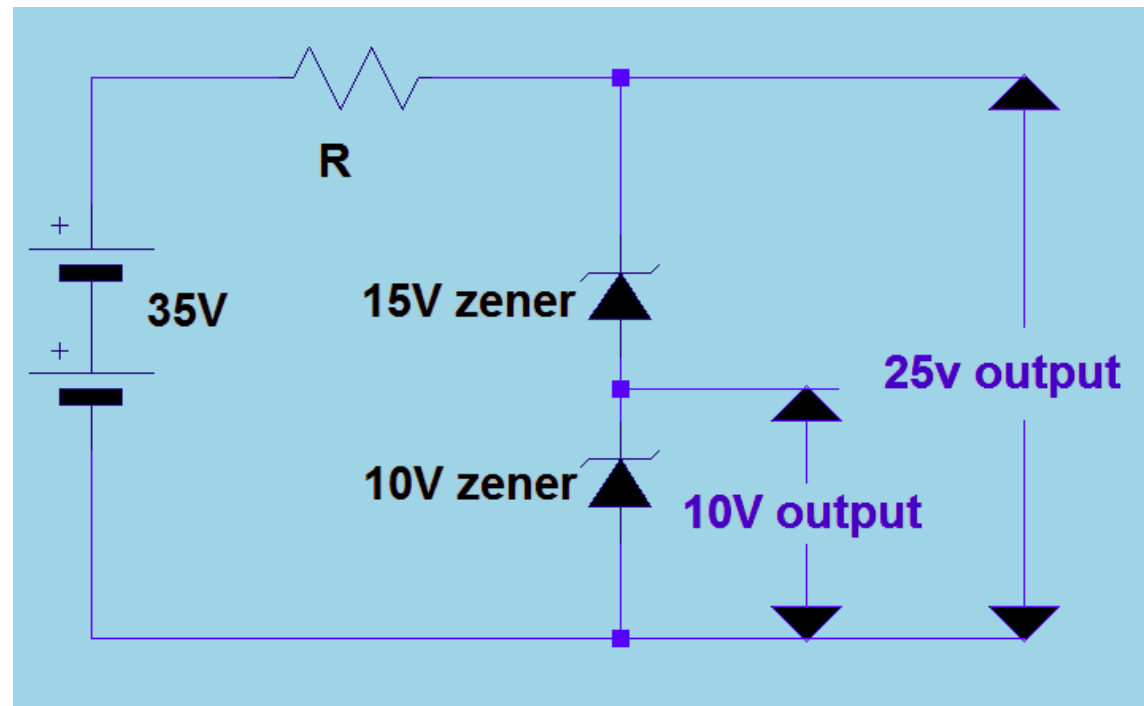
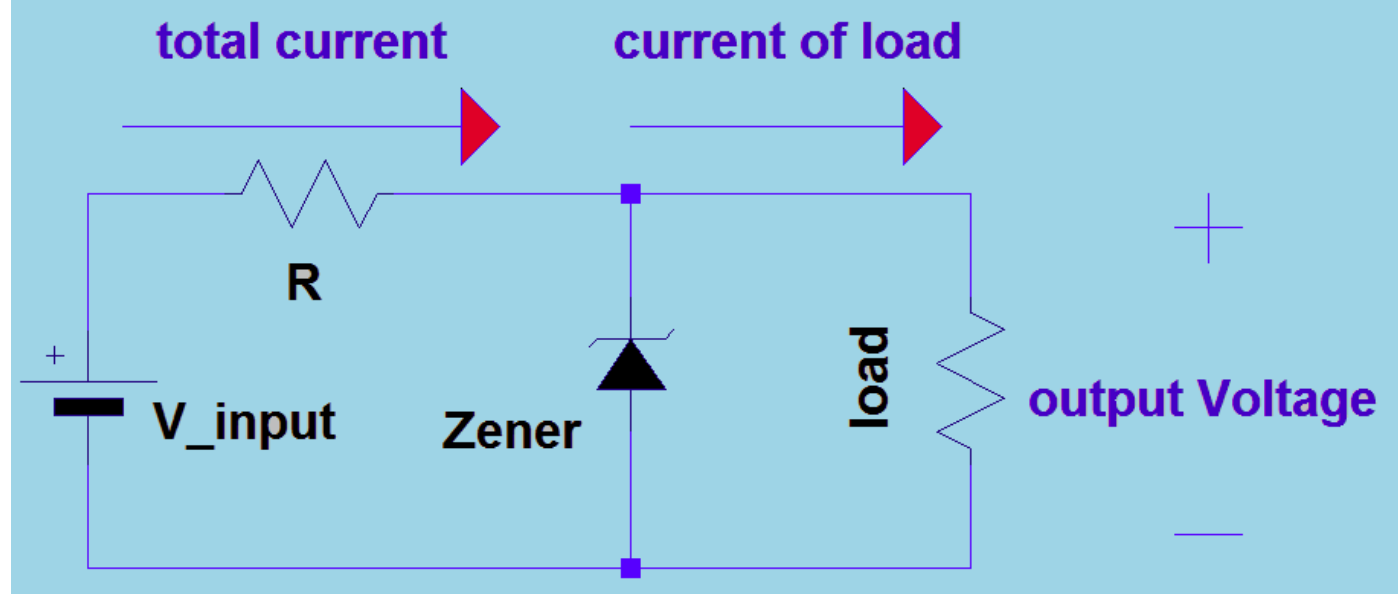
©2004 David Kane
Kane0666@yahoo.com

← Electrical Symbol

Controlled Reverse Biased Breakdown
Voltage Flow ←

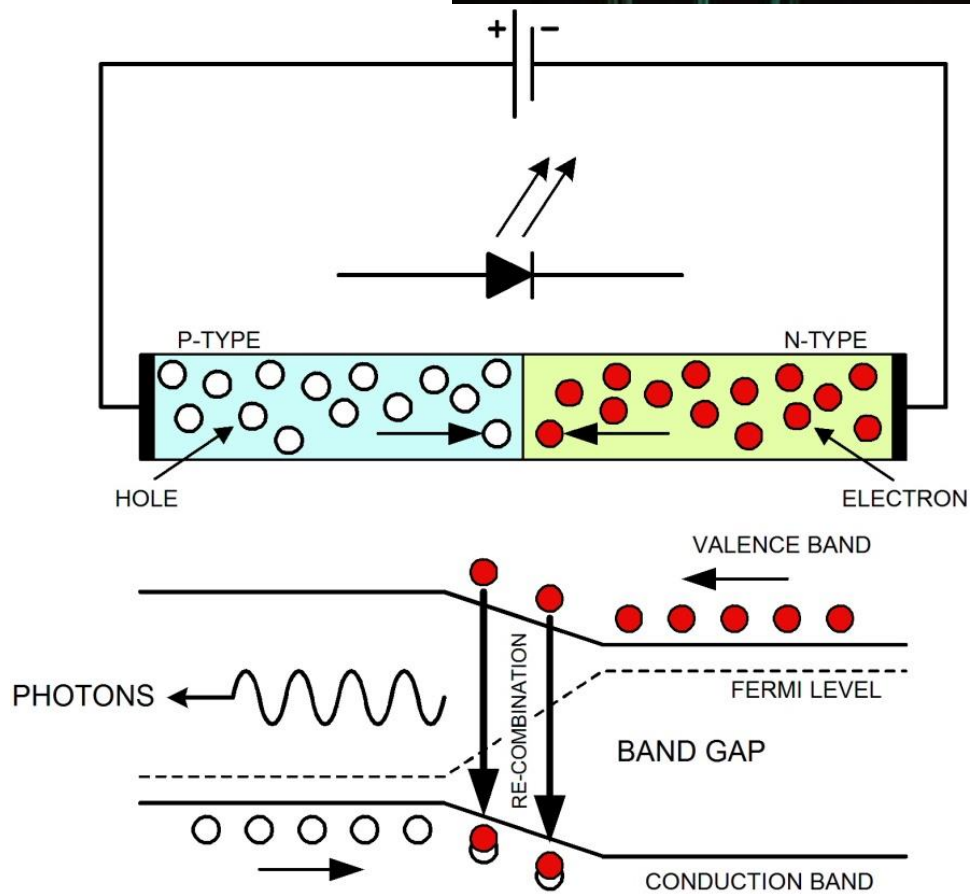
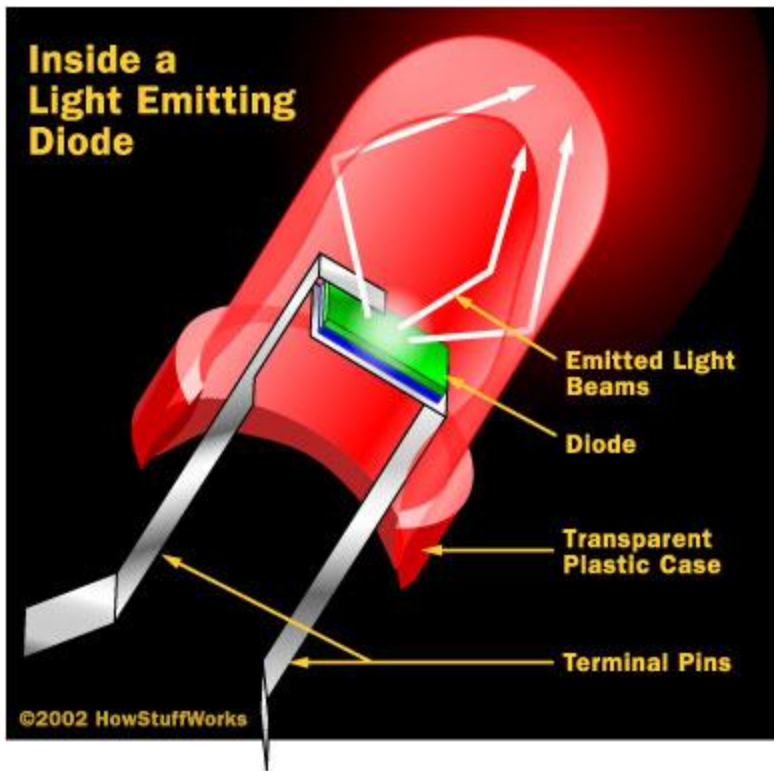
Zener Diode



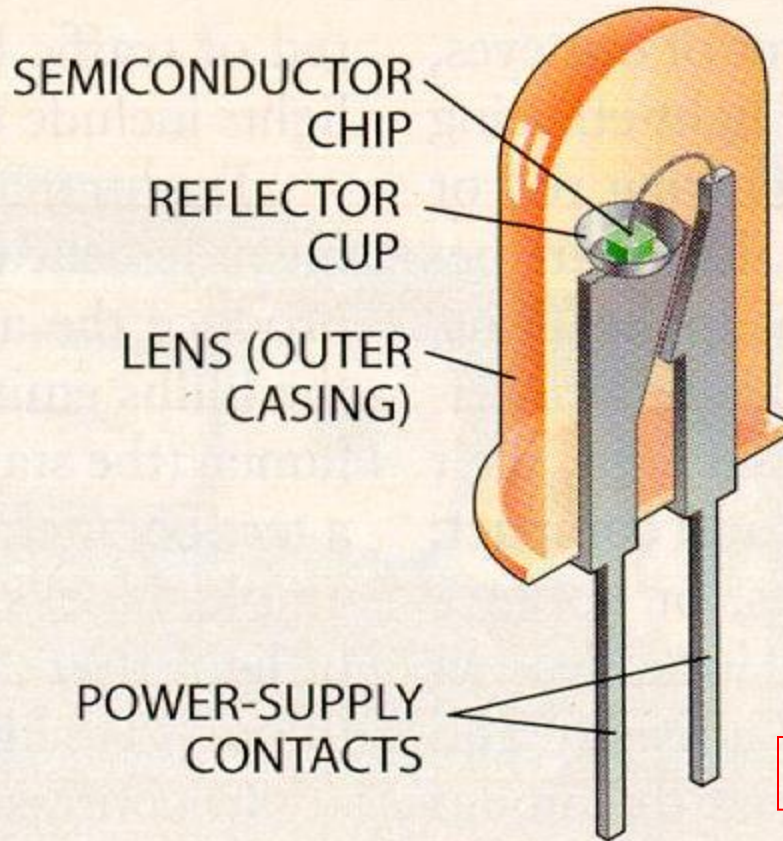


LIGHT EMITTING DIODE (LED)

ALL DIODES EMIT SOME EM RADIATION WHEN FORWARD BIASED. DIODES MADE FROM CERTAIN SEMICONDUCTORS EMIT LOTS OF LIGHT. THESE ARE CALLED LEDES



LED: The Inside View



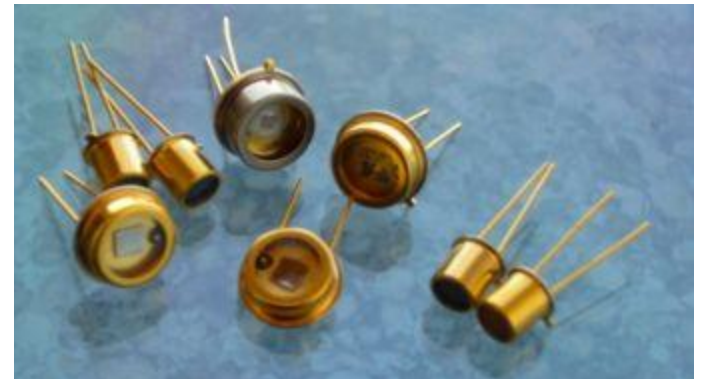
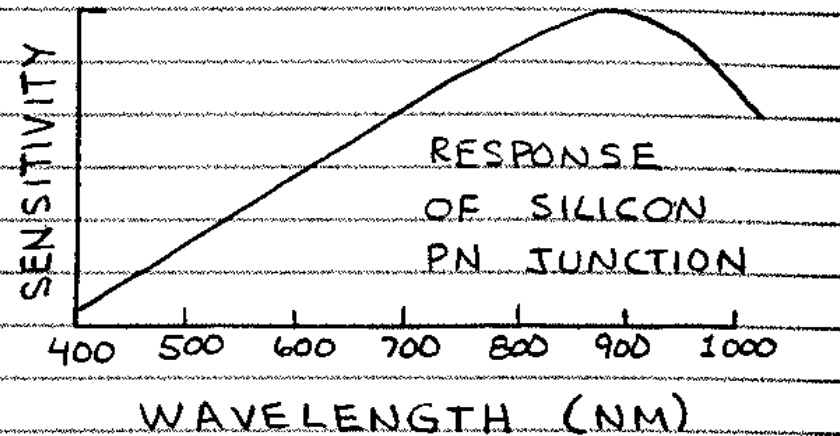
LEDS CAN EMIT AND DETECT LIGHT

YOU TUBE: MAKE presents: The LED

<http://www.youtube.com/watch?v=P3PDLsJQcGI>

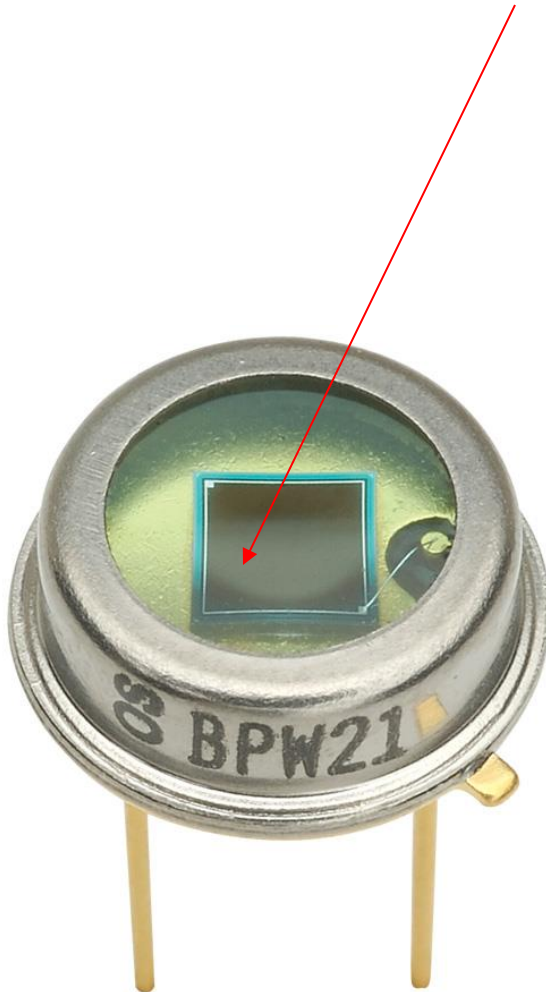
PN JUNCTION LIGHT DETECTORS (PHOTODIODES)

PN JUNCTION LIGHT DETECTORS FORM THE LARGEST FAMILY OF PHOTONIC SEMICONDUCTORS. MOST ARE MADE FROM SILICON AND CAN DETECT BOTH VISIBLE LIGHT AND NEAR-INFRARED.

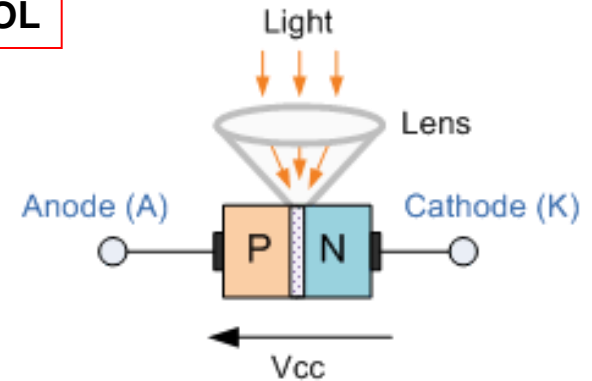
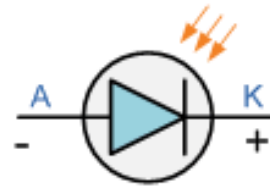


PHOTODIODES

ARE DESIGNED TO DETECT LIGHT. (ALL PN JUNCTIONS ARE LIGHT SENSITIVE) THEY HAVE A WINDOW WHERE LIGHT ENTERS TO A LARGE EXPOSED JUNCTION REGION. SOME COMMON USES INCULDE CAMERAS, ALARMS, LIGHTWAVE DIODES (LASERS).



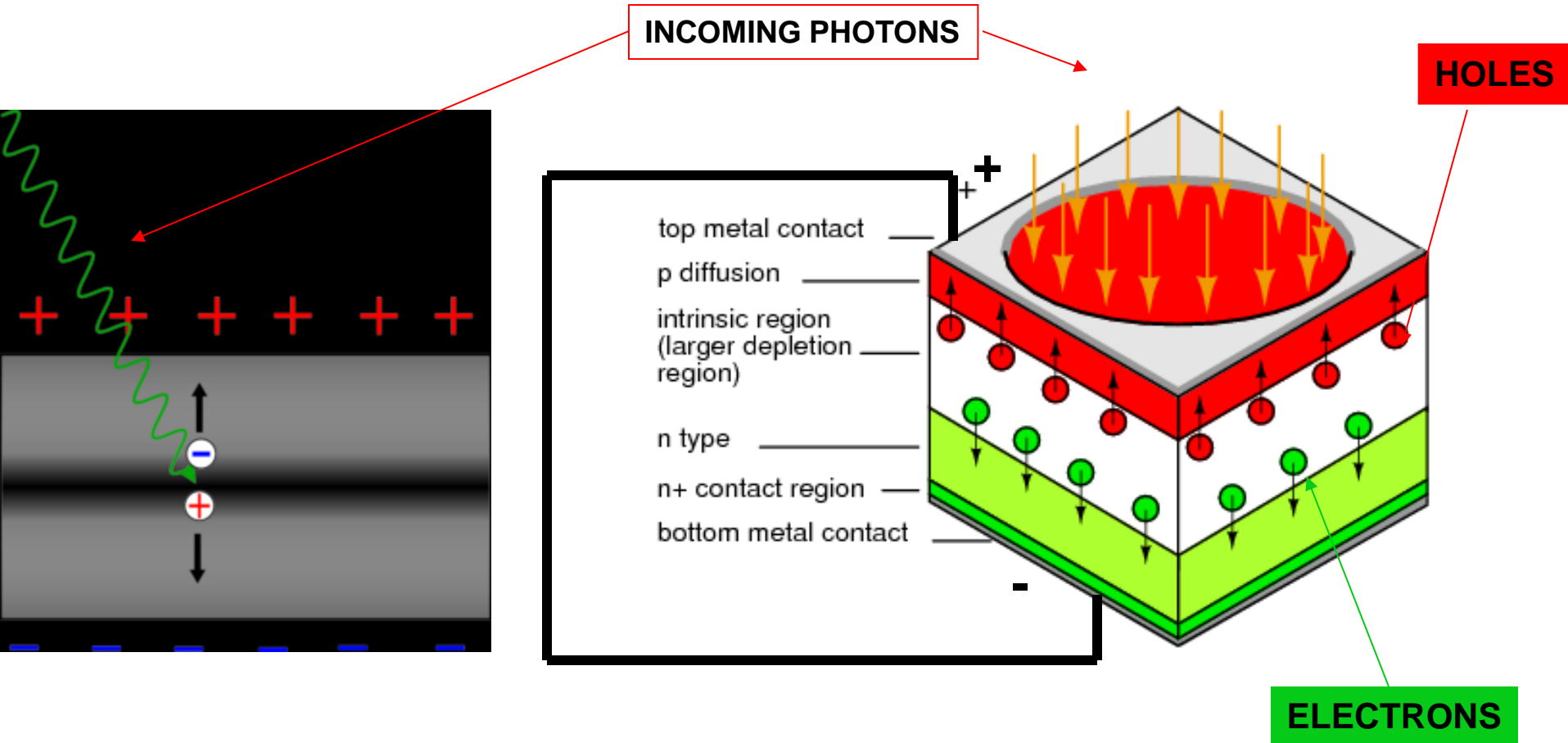
PHOTODIODE SYMBOL



PHOTODIODES CAN BE USED TO DETECT FAST PULSES OF INFRARED LIGHT, USED IN LIGHTWAVE COMMUNICATIONS

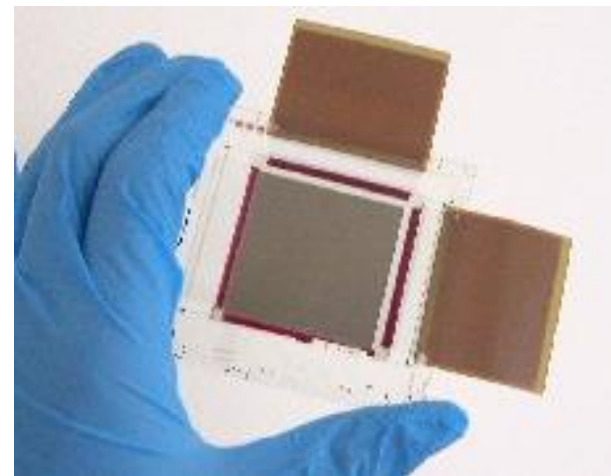
HOW PHOTODIODES WORK

A INCOMING PHOTON WILL CREATE A HOLE ELECTRON PAIR AT THE PN JUNCTION. A CURRENT WILL FLOW IF BOTH SIDES ARE CONNECTED.

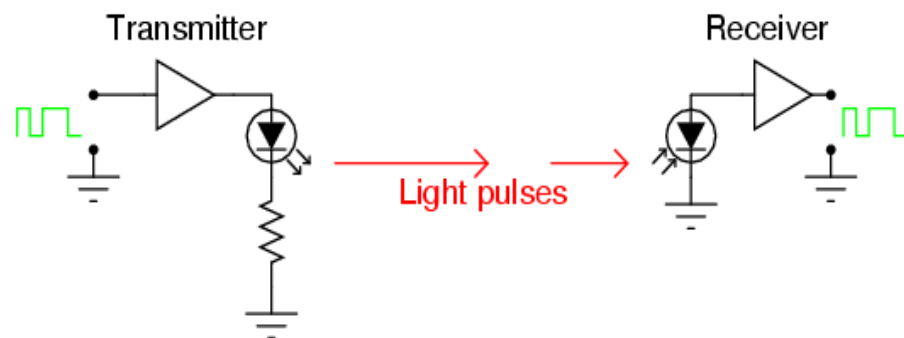
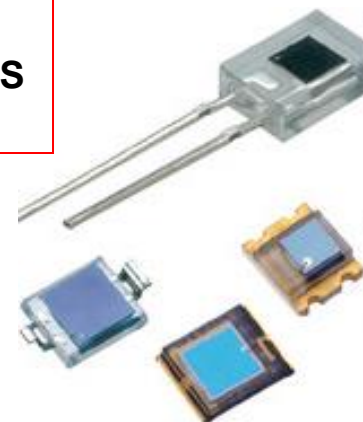
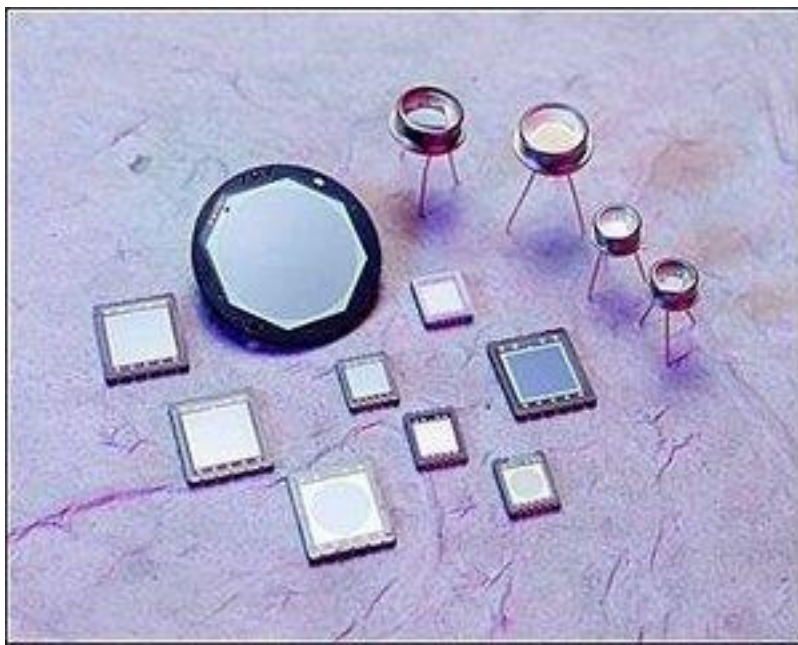


TYPES OF PHOTODIODES

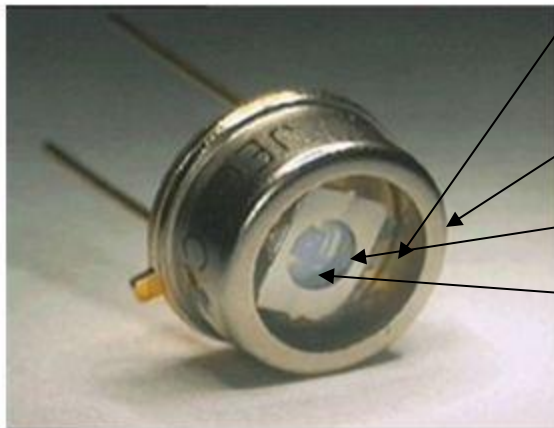
SMALL AREA PHOTODIODES
THESE HAVE VERY FAST RESPONSE TIMES



LARGE AREA PHOTODIODES
HAVE SLOWER RESPONSE TIMES THEN SMALL AREA PHOTODIODES
THESE LARGE SURFACE AREA GIVES HIGH SENSITIVITY.



COMPOENTS OF A PHOTODIODE



WINDOW

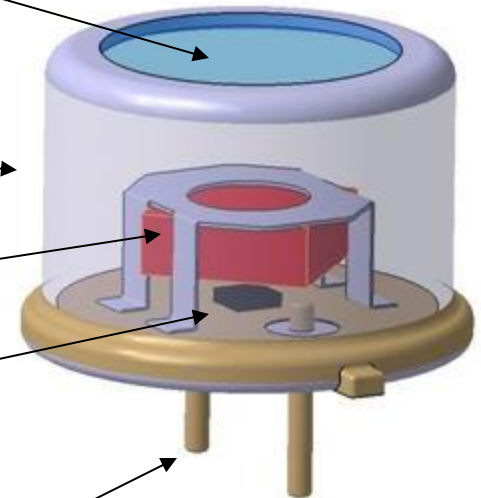
METAL CAN

LENS

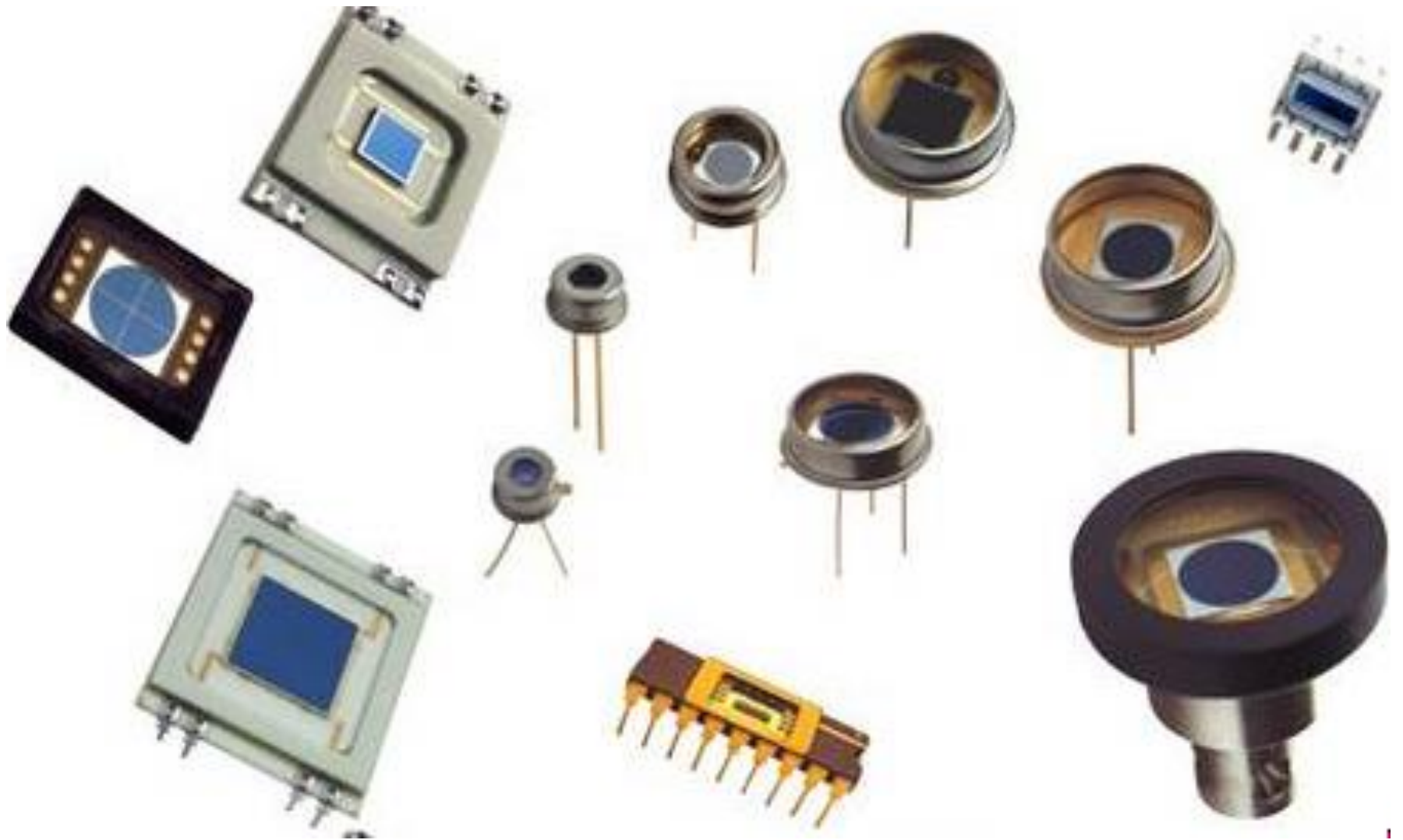
CHIP

ANODE

CATHODE



DIFFERENT PACKAGE STYLES FOR PHOTODIODES



CHARGE COUPLED DEVICES (CCD)

Microlens or Lenslet Arrays

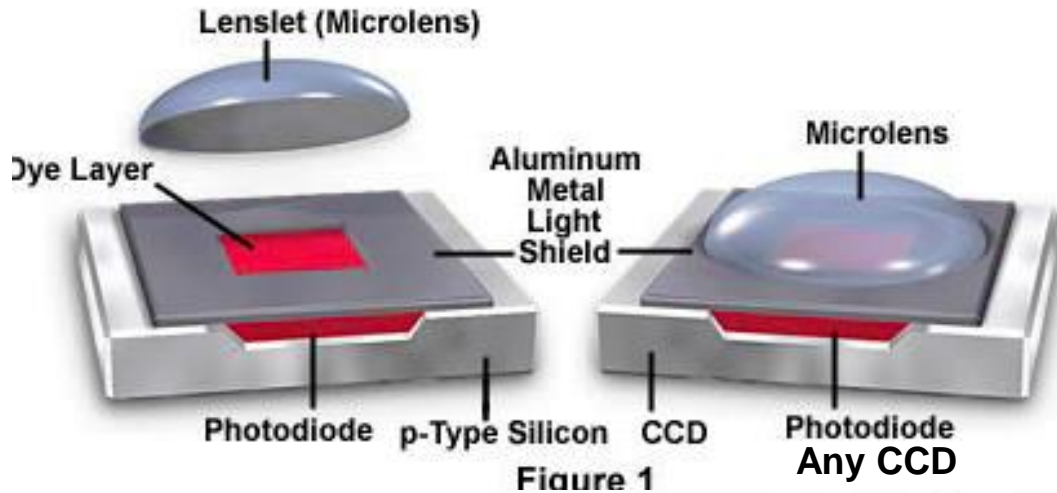


Figure 1

Microlens Array on Photodiodes

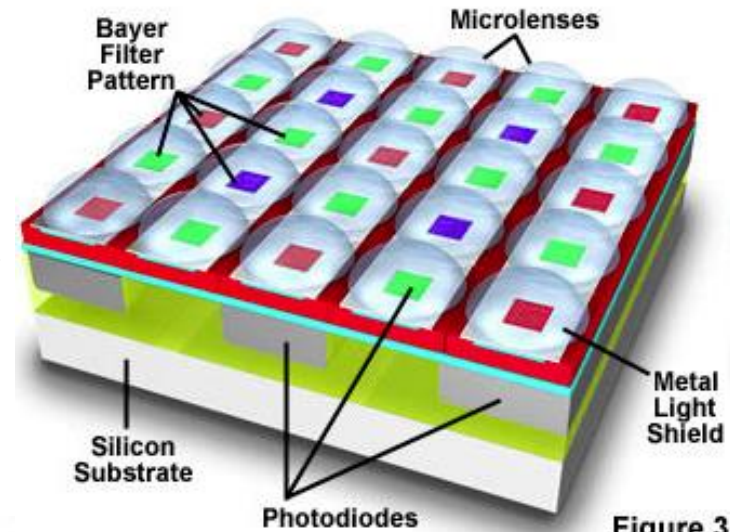
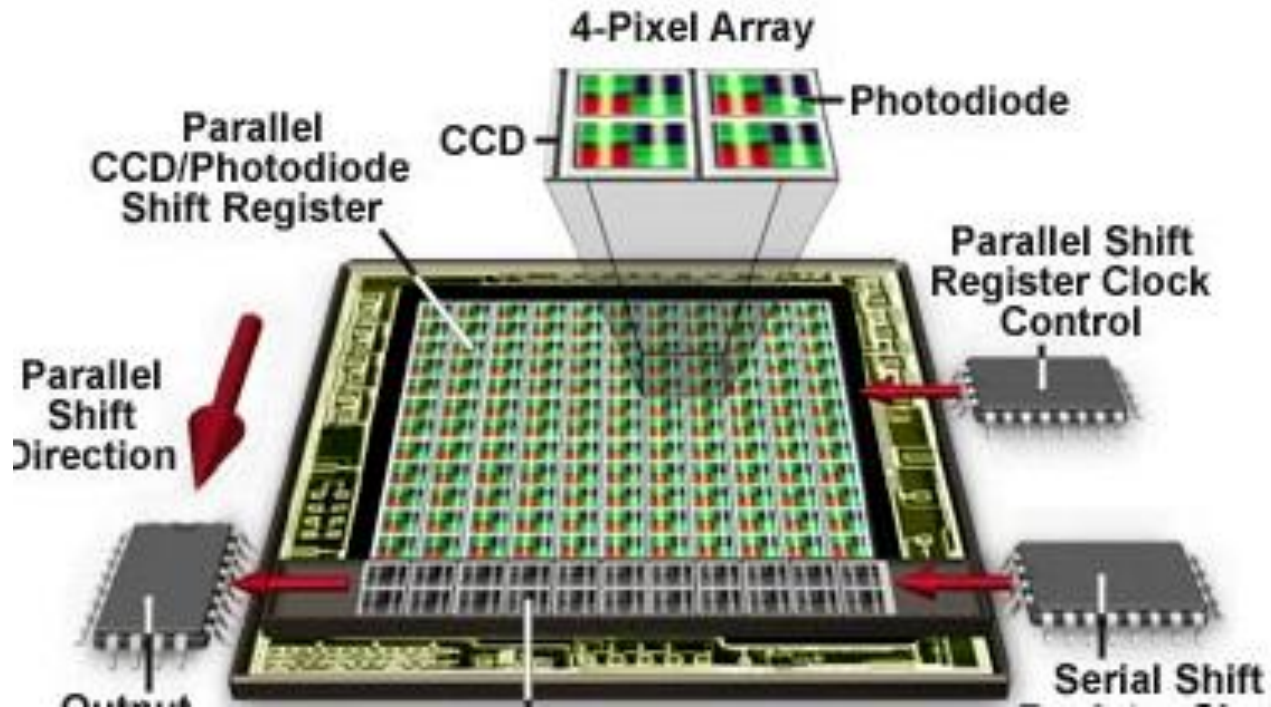
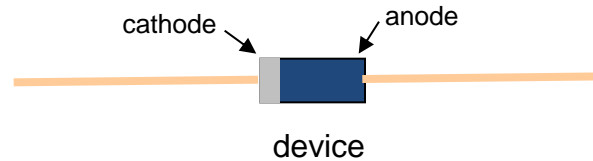
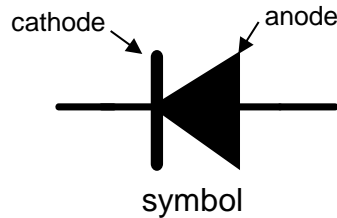


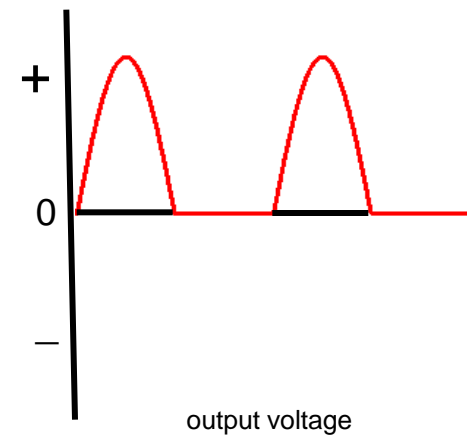
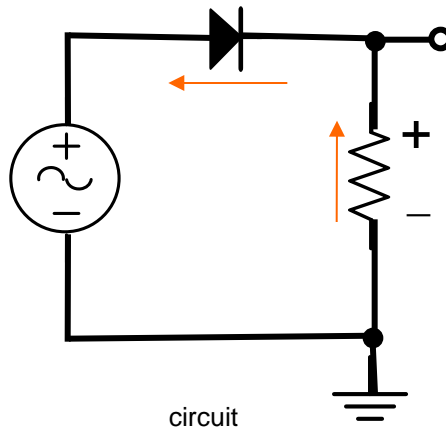
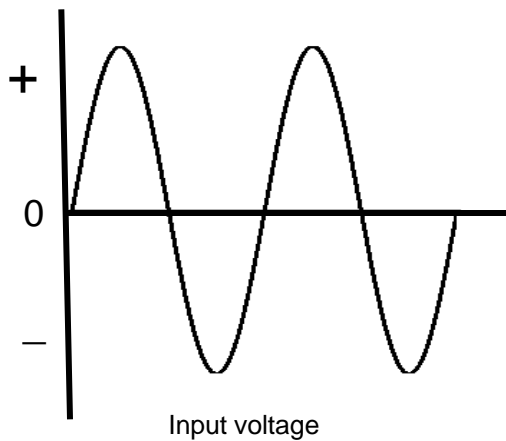
Figure 3



HOW DIODES ARE USED



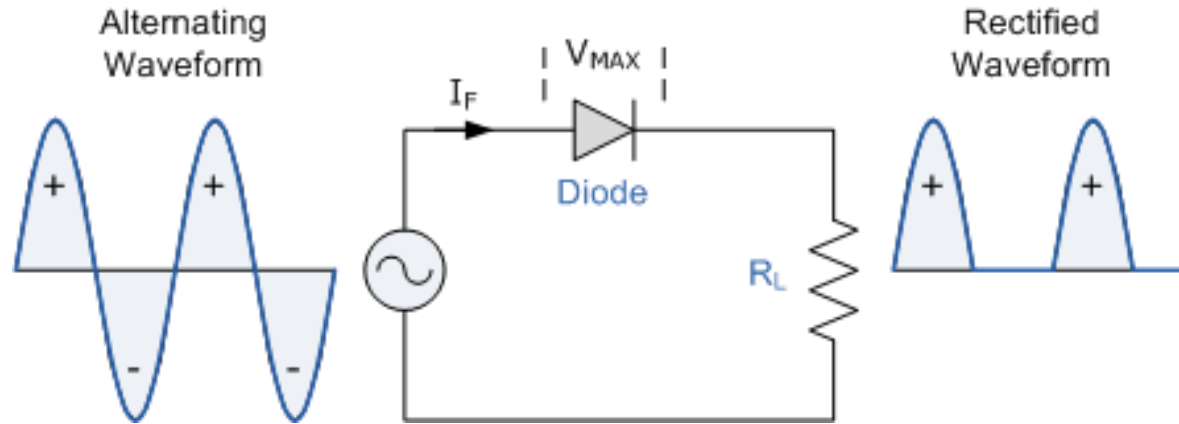
Silicon rectifier diode



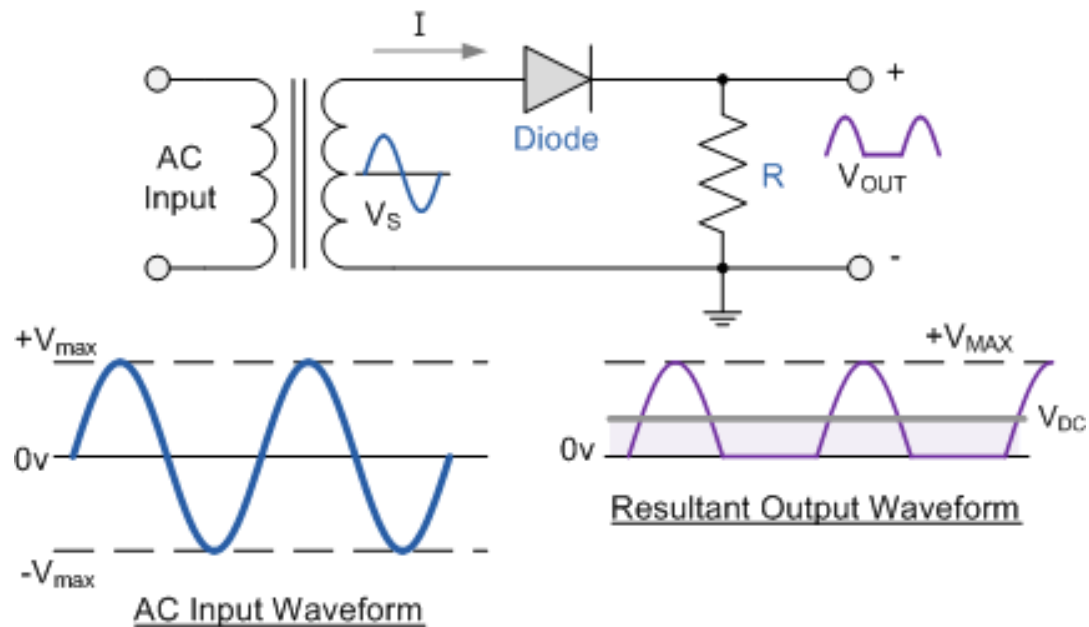
Input and output of a simple rectifier circuit

Fig. 8-23 p.219 A single-phase half-wave rectifier circuit produces one output pulse of dc for each cycle of ac input.

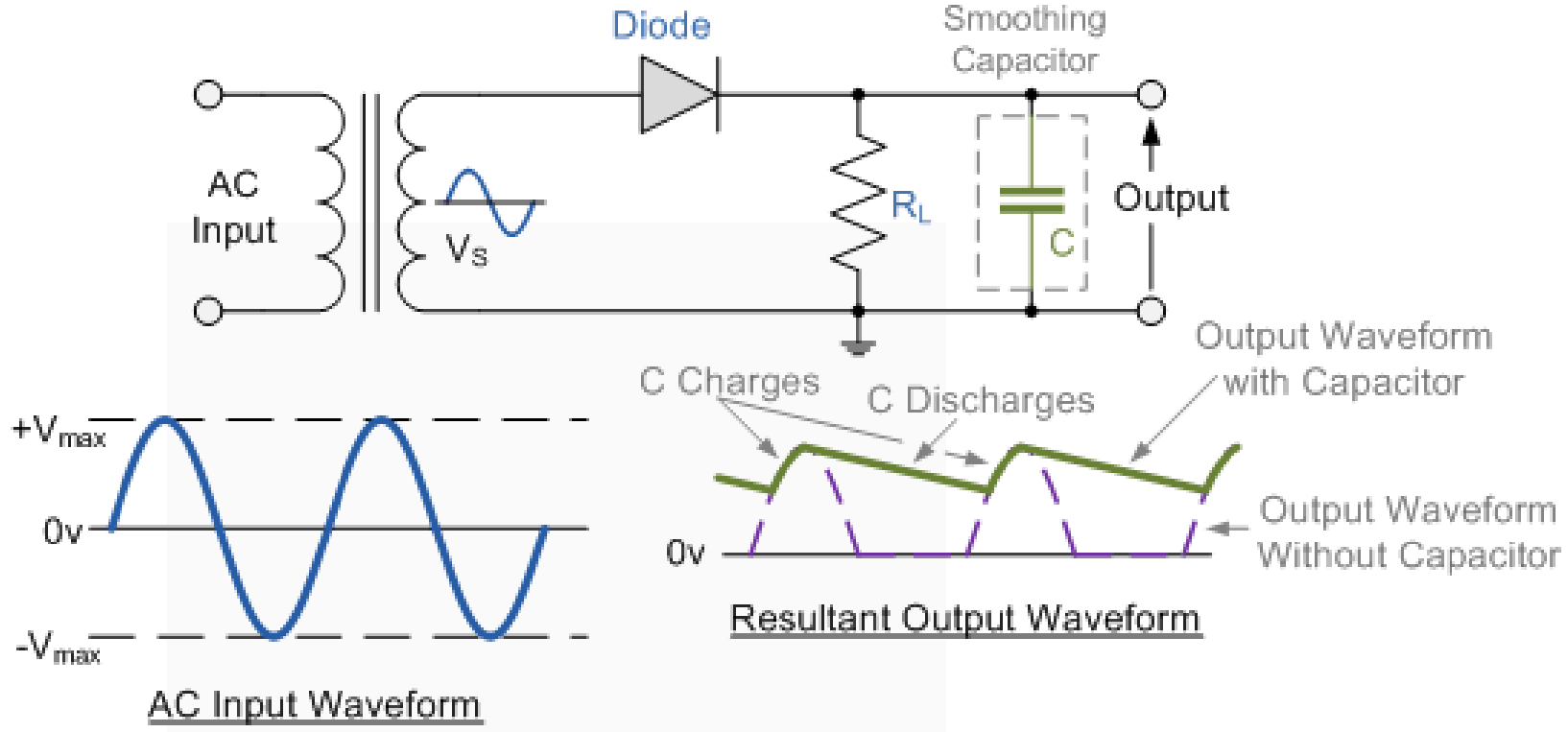
Power Diode Rectifier



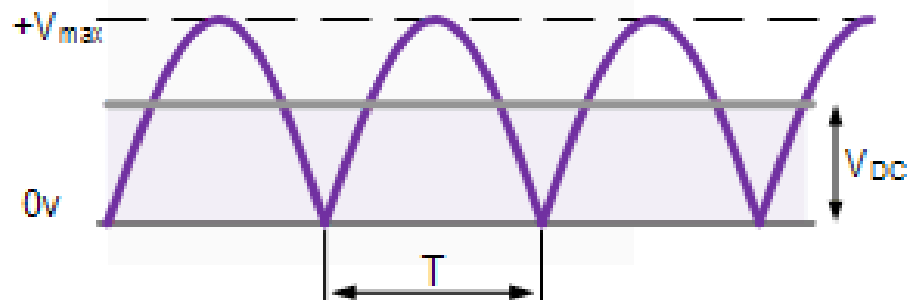
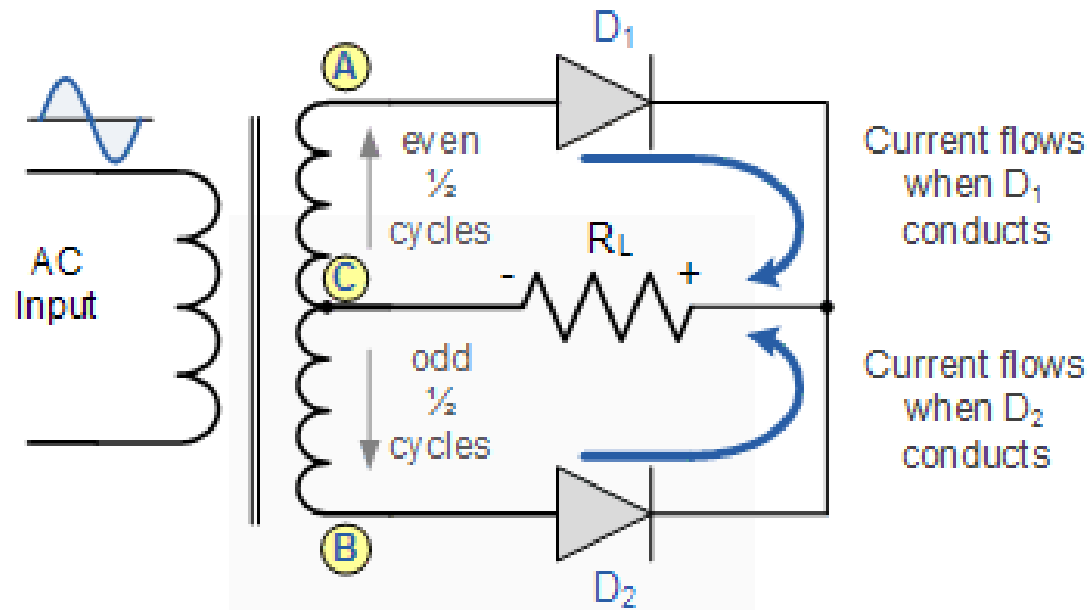
Half Wave Rectifier Circuit



Half-wave Rectifier with Smoothing Capacitor

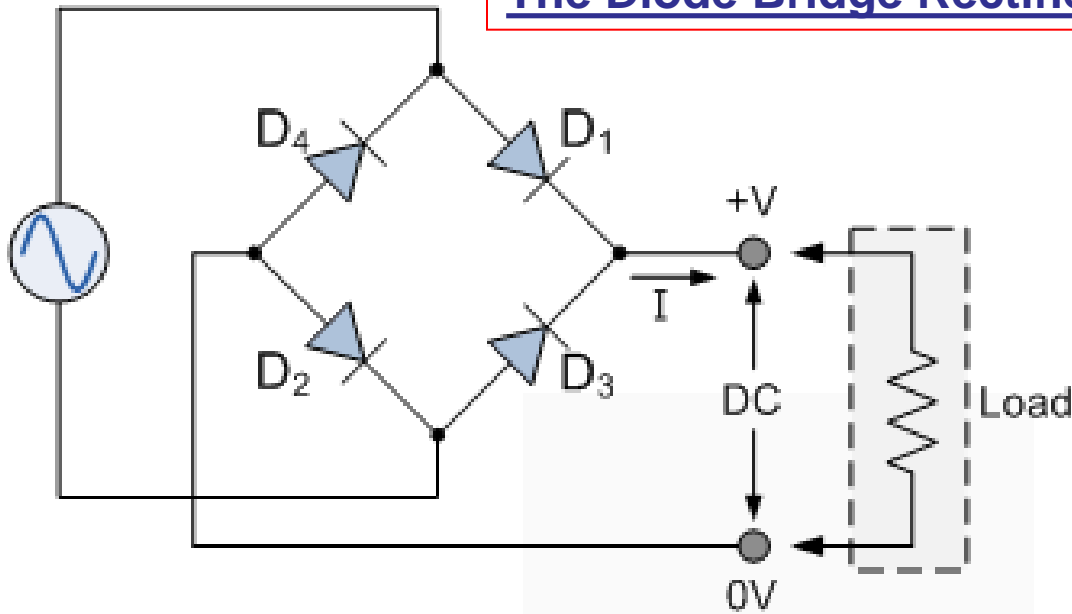


Full Wave Rectifier Circuit

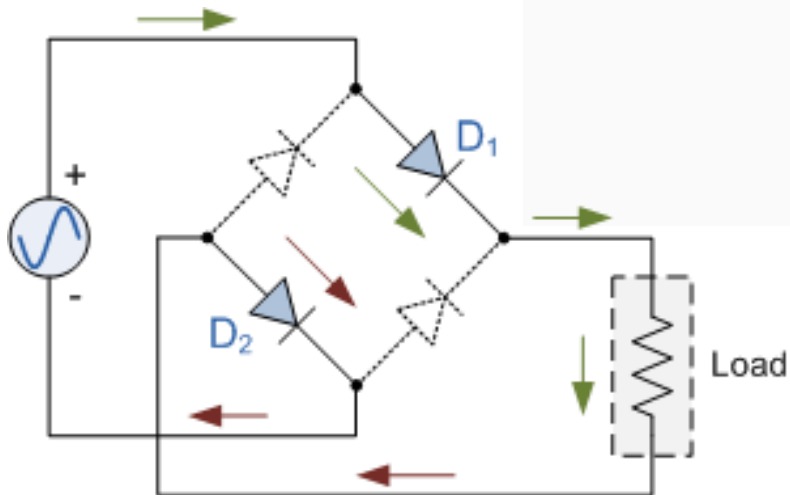


Resultant Output Waveform

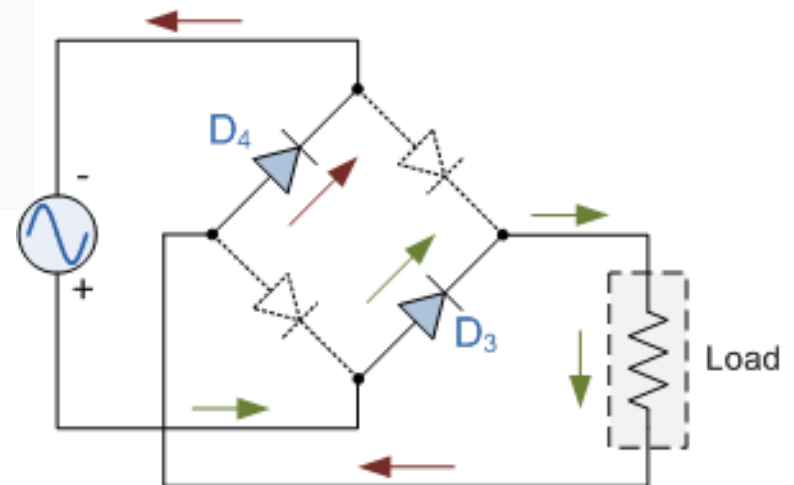
The Diode Bridge Rectifier



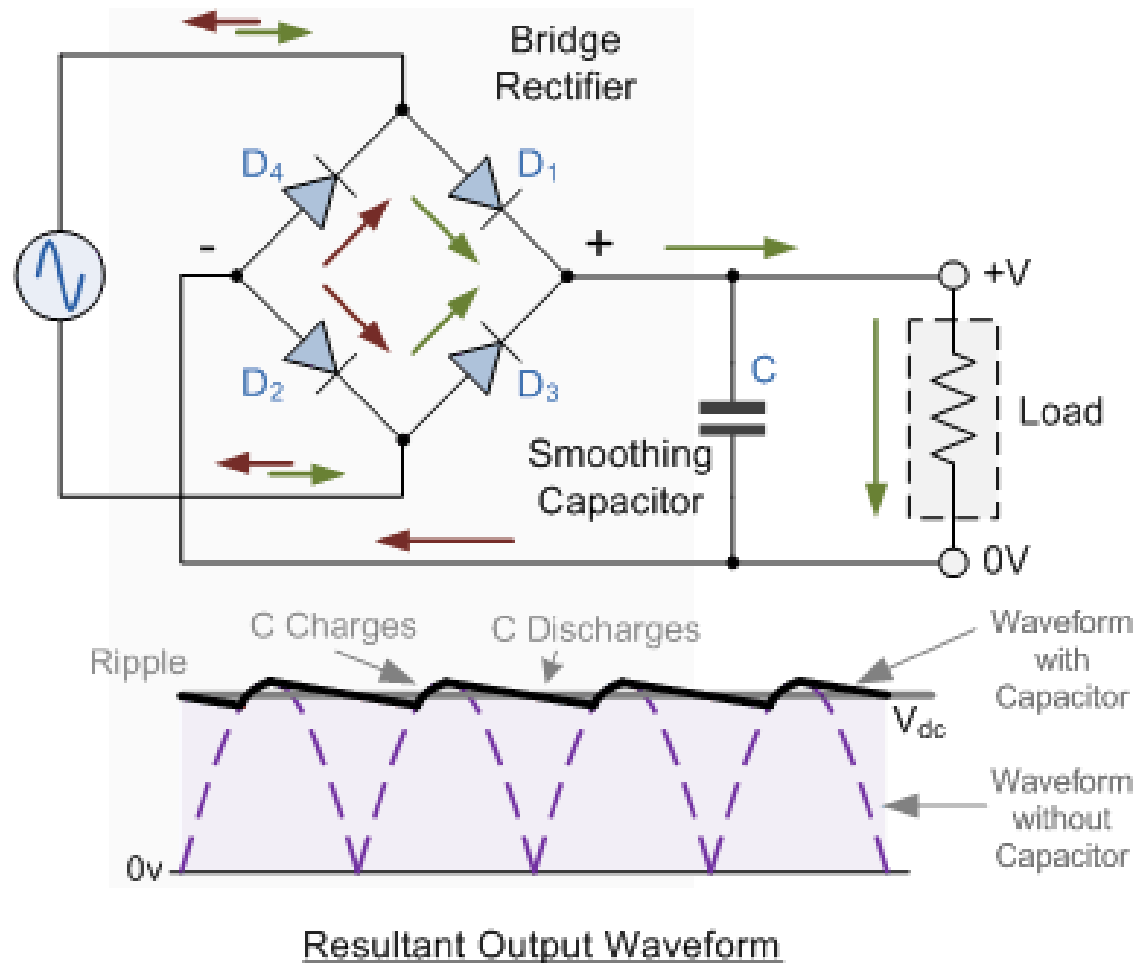
The Positive Half-cycle



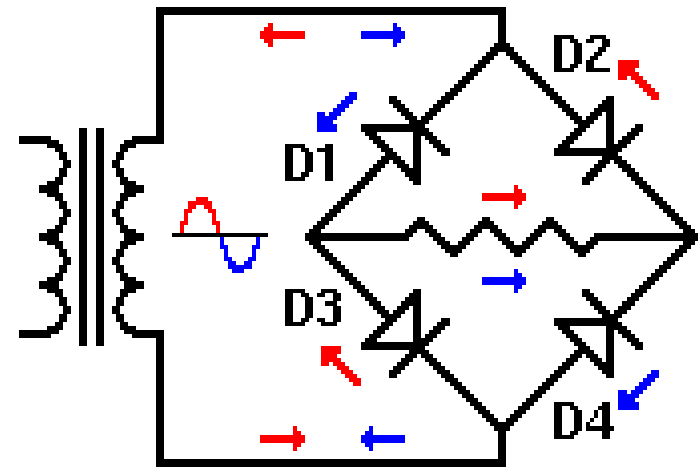
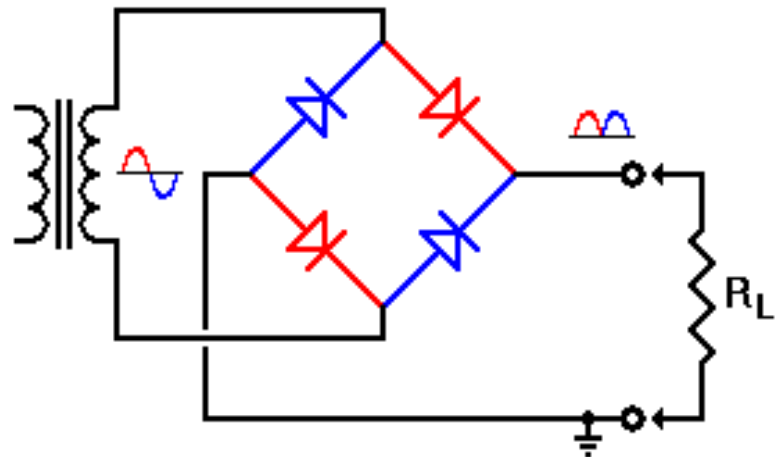
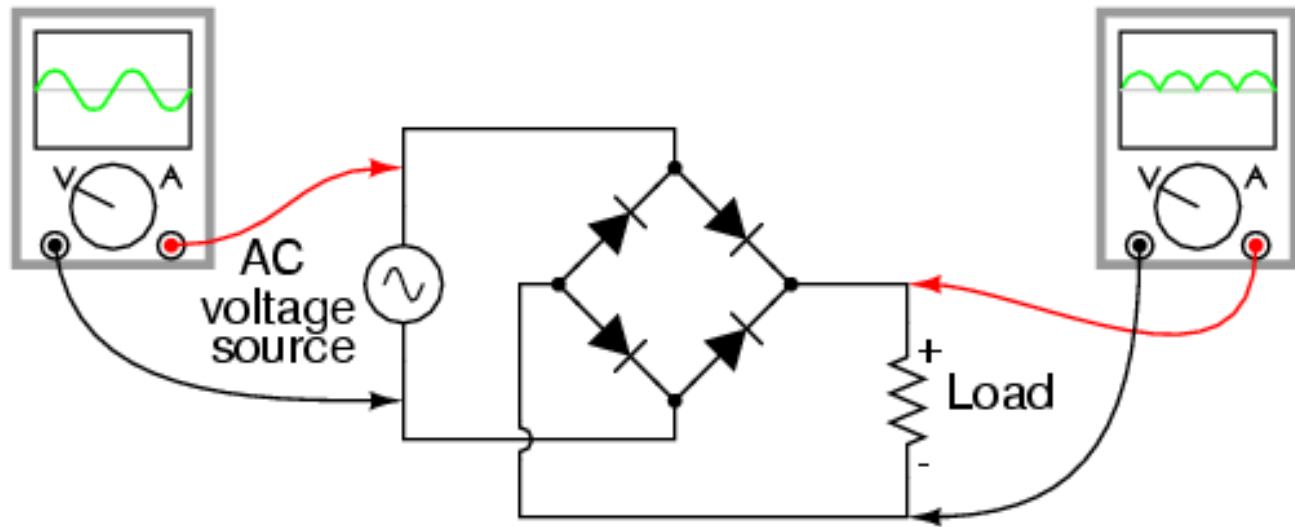
The Negative Half-cycle



Full-wave Rectifier with Smoothing Capacitor



*Full-wave rectifier circuit
(bridge design)*





VARIOUS TYPES OF POWER RECTIFIERS



Various printed circuit board mounted rectifiers and voltage regulators

1N4001 - 1N4007

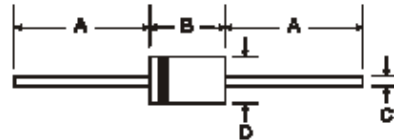
1.0A RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)

Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals: Finish - Bright Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)



Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72

All Dimensions in mm

XNYYY

XN

YYY

COMPONENT

IDENTIFICATION
NUMBER

X - NUMBER OF SEMICONDUCTOR JUNCTIONS

N - A SEMICONDUCTOR

YYY - IDENTIFICATION NUMBER (ORDER OR REGISTRATION NUMBER)
ALSO INCLUDES SUFFIX LETTER (IF APPLICABLE) TO INDICATE

1. MATCHING DEVICES
2. REVERSE POLARITY
3. MODIFICATION

EXAMPLE - 1N345A (AN IMPROVED VERSION OF THE
SEMICONDUCTOR DIODE TYPE 345)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}									
DC Blocking Voltage	V _B									
RMS Reverse Voltage	V _{RRMS}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 75°C	I _O	1.0								A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	30								A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0								V
Peak Reverse Current @T _A = 25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C	I _{RM}	5.0								µA
		50								
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	15				8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	100								K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A	+150								°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +150								°C

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

1N4004 and 1N4007 are Preferred Devices

Axial Lead Standard Recovery Rectifiers

This data sheet provides information on subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general-purpose low-power applications.

Features

- Shipped in plastic bags, 1000 per bag
- Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Available in Fan-Fold Packaging, 3000 per box, by adding a "FF" suffix to the part number
- Pb-Free Packages are Available

Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 0.4 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds, 1/16 in. from case
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

LEAD MOUNTED RECTIFIERS 50–1000 VOLTS DIFFUSED JUNCTION



CASE 59–10
AXIAL LEAD
PLASTIC

MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
1N400x = Device Number
x = 1, 2, 3, 4, 5, 6 or 7
YY = Year
WW = Work Week
▪ = Pb-Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

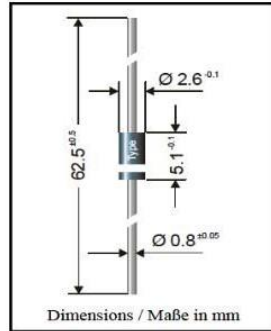
See detailed ordering and shipping information on page 4 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

Silicon Rectifiers

Silizium Gleichrichter



Nominal current – Nennstrom	1 A
Repetitive peak reverse voltage Periodische Spitzensperrespannung	50...2000 V
Plastic case Kunststoffgehäuse	DO-41 DO-204AL
Weight approx. – Gewicht ca.	0.4 g
Plastic material has UL classification 94V-0 Gehäusematerial UL94V-0 klassifiziert	
Standard packaging taped in ammo pack Standard Lieferform gegurtet in Ammo-Pack	see page 16 siehe Seite 16

Maximum ratings

Grenzwerte

Type Typ	Repetitive peak reverse voltage Periodische Spitzensperrespannung V_{RRM} [V]	Surge peak reverse voltage Stoßspitzensperrespannung V_{RSM} [V]
1N 4001	50	50
1N 4002	100	100
1N 4003	200	200
1N 4004	400	400
1N 4005	600	600
1N 4006	800	800
1N 4007	1000	1000
1N 4007-1300	1300	1300
EM 513	1600	1600
EM 516	1800	1800
EM 518	2000	2000

Max. average forward rectified current, R-load Dauergrenzstrom in Einwegschaltung mit R-Last	$T_A = 75^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	I_{FAV} I_{FAV}	1 A ¹⁾ 0.75 A ¹⁾
Repetitive peak forward current Periodischer Spitzenstrom	$f > 15$ Hz	I_{FRM}	10 A ¹⁾
Peak forward surge current, 50 Hz half sine-wave Stoßstrom für eine 50 Hz Sinus-Halbwellen	$T_A = 25^\circ\text{C}$	I_{FSM}	50 A

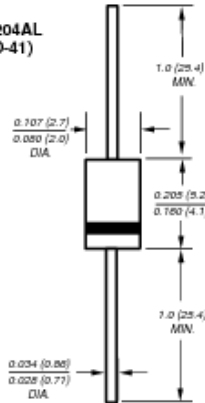
¹⁾ Valid, if leads are kept at ambient temperature at a distance of 10 mm from case
 Gültig, wenn die Anschlußdrähte in 10 mm Abstand von Gehäuse auf Umgebungstemperatur gehalten werden



General Purpose Plastic Rectifier

Reverse Voltage
50 to 1000V
Forward Current 1.0A

DO-204AL
(DO-41)



NOTE: Lead diameter is 0.026 (0.66) for suffix "E" part numbers
0.023 (0.58)

Dimensions in inches and (millimeters)

Features

- Plastic package has Underwriters Laboratories Flammability Classification 94V-0
- Construction utilizes void-free molded plastic technique
- Low reverse leakage
- High forward surge capability
- High temperature soldering guaranteed: 350° C/10 seconds, 0.375" (9.5mm) lead length, 5 lbs. (2.3kg) tension

Mechanical Data

Case: JEDEC DO-204AL, molded plastic body
Terminals: Plated axial leads, solderable per MIL-STD-750, Method 2026
Polarity: Color band denotes cathode end
Mounting Position: Any
Weight: 0.012 oz., 0.3 g

Maximum Ratings & Thermal Characteristics

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Parameter	Symb.	1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	Unit
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
* Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
* Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
* Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5mm) lead length at $T_A = 75^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$	1.0							A
* Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method) $T_A = 75^\circ\text{C}$	I_{FSM}	30							A
* Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5mm) lead length $T_L = 75^\circ\text{C}$	$I_{R(AV)}$	30							μA
Typical thermal resistance ⁽¹⁾	$R_{\theta JA}$ $R_{\theta JL}$	50 25							$^\circ\text{C}/\text{W}$
* Maximum DC blocking voltage temperature	T_A	+150							V
* Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	-50 to +175							$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Maximum instantaneous forward voltage at 1.0A	V_F	1.1							V
* Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 125^\circ\text{C}$	I_R	5.0 50							μA
Typical junction capacitance at 4.0V, 1MHz	C_J	15							pF

Note: (1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5mm) lead length, P.C.B. mounted *JEDEC registered values

KAYNAKÇA

http://www.bayar.edu.tr/besergil/5_yari_iletkenler.pdf

<http://www.silisyum.net/>

F.N.Akı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ün., 2008.

<http://users.ece.gatech.edu/mleach/ece3040/notes/chap01.pdf>

http://wanda.fiu.edu/teaching/courses/Modern_lab_manual/pn_junction.html

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/intrin.html>

http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter2/ch2_7.htm grafik

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/pnjun.html>

http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/thermal_electrical/printall.php

<http://www.allaboutcircuits.com/worksheets/electrical-conduction-in-semiconductors/>

<http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/hsari/bolum-11-yariiletkenler-1.pdf>