

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİNDE MALZEME

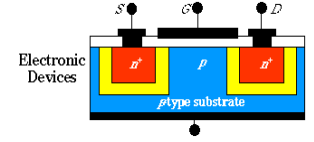
Yrd. Doç. Dr. H. brahim OKUMU

ELK 221 Elektrik Mühendisliğinde Malzeme

<http://www.hiokumus.com>

E-mail : okumus@ktu.edu.tr

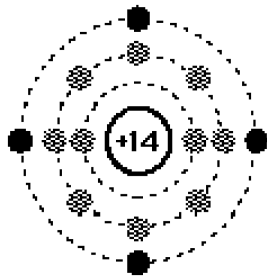
WEB : <http://www.hiokumus.com>



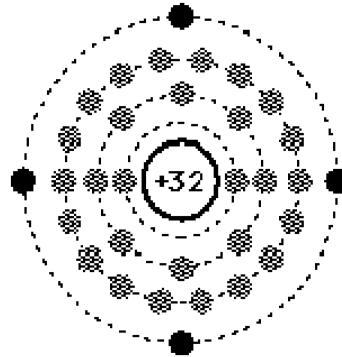
YARI LETKEN ELEMANLAR

Yarı-iletken elemanların yapısı ve çalışma prensibi:

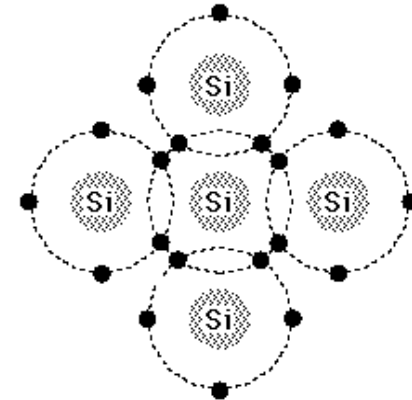
Yarı iletken elemanların yapımında çoğunlukla Ge ve Si elementlerinden yararlanılır. Yüksek gerilimlerde Si daha elverişli olduğu için güç elektroniği elemanlarına, özellikle tristörlerde Si kullanılır. Yarı-iletken elementlerin ortak özellikleri 4 valans elektronuna sahip olmalarıdır. Örneğin; Si atom numarası 14'dür. 1.yörüngesinde 2, 2.yörüngesinde 8, son yörüngesinde 4 elektron vardır. Bu son yörüngedeki e'lara valans e'denir. 4 valans e'lu elementler kristal bir yapıya sahiptir. Bu yapının özelliği son yörüngesindeki valans e'lerini komşu atomlarla ortaklaşa kullanmasıdır.

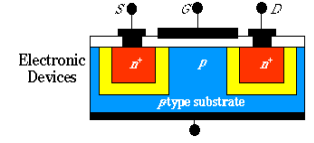


Silicon

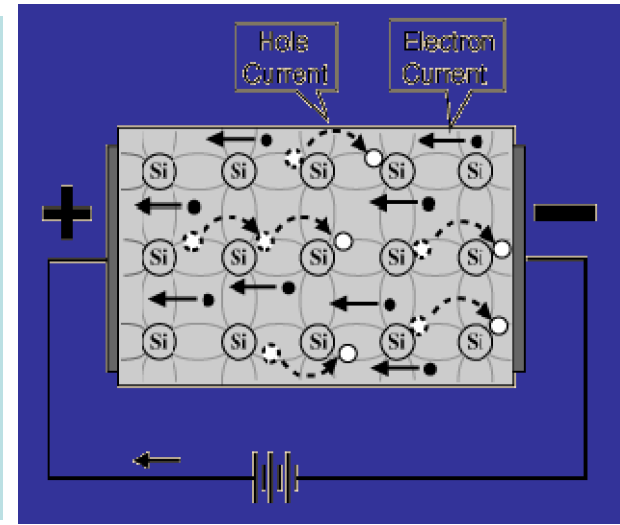
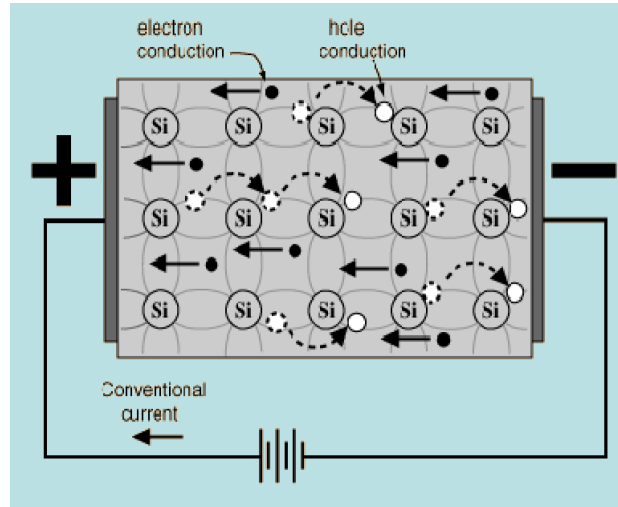
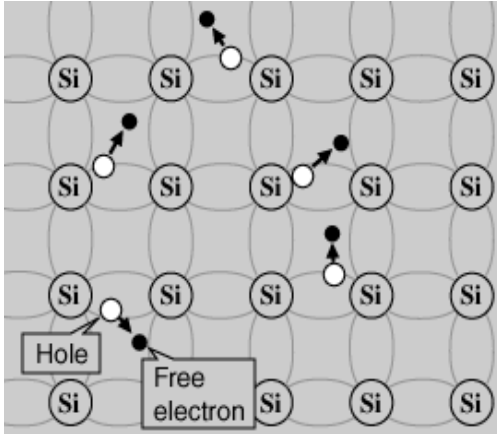


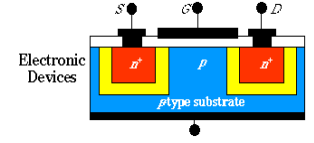
Germanium





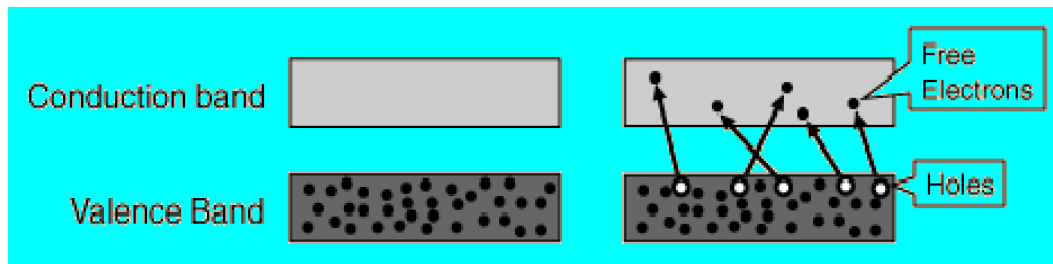
Dü ük sıcaklıklarda bütün valans e'ları buldukları yerden ayrılmazlar. çinde akımın iletimini sa layacak hareketli yük olmadı ı için saf Si kristali yalıtkandır. Ama sıcaklık artırılırsa valans e'larının enerji seviyeleri yükselir ve yerlerini geçici olarak terk ederler. e'ların ayrıldı ı yerde kalan boşluklar e' yakalamak için fırsat kollar. Bu boşluklara “delik” denir. Delikler e' noksanlı ndan olu tu una göre (+) yüklüdür. Bir kristalin 1cm^3 de oda sıcaklı nda $2 \cdot 10^{10}$ adet delik ve dolayısı ile serbest e' bulunur. Bu sebepten dolayı kristal iletken hale geçer.





Kristal, bir elektrik alanı içine konursa delikler ve e'ler birbirlerinin tersi yönde hareket eder. Gerçekte hareket eden e'lardır. e' lar hareket yönünde karşılaştıkları delikleri doldururlar. Bu sebeple delikler ters yönde hareket eder gibi görünürler. Kristalin sıcaklığı yükseldikçe serbest e' sayısı ve aynı şekilde delik sayısı da artar. Kristal içindeki bu (+) ve (-) yüklerin çoğalması ile kristal daha iyi iletken hale gelir.

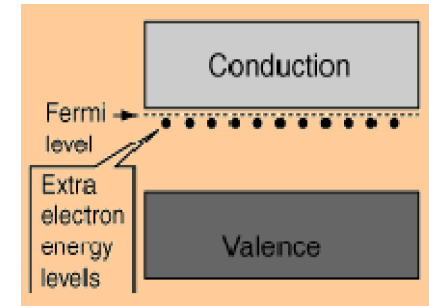
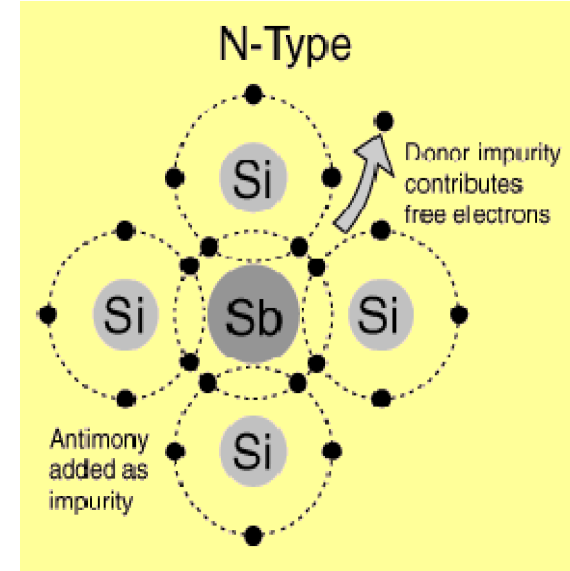
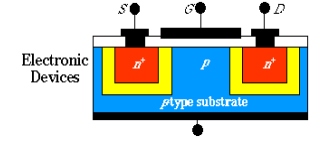
Direnci, sıcaklıkla olarak üstel bir fonksiyon şeklinde azalır. Bunun yanında metallerde ise sıcaklık arttıkça direnç de artar. Ancak yarıiletkenlerde direncin azalması ile iletkenlik artar. Bundan dolayı NTC tipi termistör yapımında kullanılır.





Kristal yapı içindeki bir Si atomu yerine yabancı bir atom yerleştirilirse iletkenlikte büyük değişim olur. Kristal yapı içerisinde son yörüngesinde 5 e' olan antimon atomu enjekte edelim. Kristal yapıda bulunan sadece 4 valans e' olduğundan son yörüngesinde 5 e' bulunan antimon atomunun 5. e'ni için yer yoktur. Kristal'de görüldüğü gibi bu e' kristal yapı içerisinde boş kalır. İlave edilecek her bir antimon için bir serbest e' ve bir de (+) sabit yük olur. Zira antimon atomu +5 yüklü olduğu halde çevresinde kendine ait sadece 4 e'ü vardır. Diğer bir deyişle antimon atomu bir e'ü kaybettiği için +1 yüklüdür.

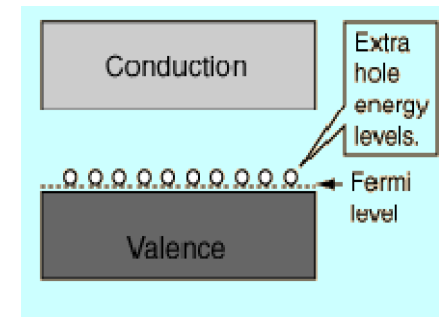
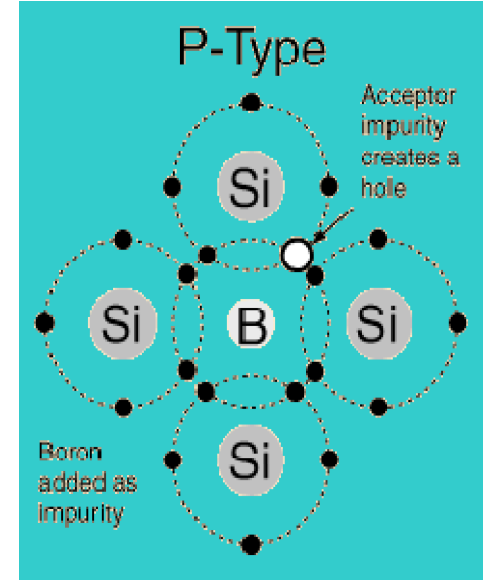
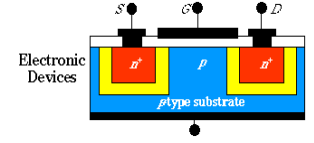
Atom kristal içerisinde hareket edemediğinden bu yük sabittir. Çinko antimon enjekte edilmesi ile kristal içinde (-) hareketli yük hasil olduğundan elde edilen yeni kristale "n-tipi kristal" denir.





Si kristali içine antimon yerine 3 valans e'na sahip bir yabancı atom, örneğin; alüminyum enjekte edelim: Al atomunun sadece 3 valans e' bulunduğundan kristal içerisinde 1 e' yeri boş kalır. Bu boşluğu komşu Si atomlarından birine ait valans e' doldurur. Ve bir delik ortaya çıkar. Diğer taraftan +3 yüklü Al atomunun çevresinde 4 valans e' bulunduğundan kristal yapısında bir de sabit (-) yük meydana gelir. Si kristali içerisinde 3 valans elektronlu bir element enjekte edilirse kristal içinde (+) hareketli bir yük olacaktır ve elde edilen yeni kristale " p-tipi kristal" denir.

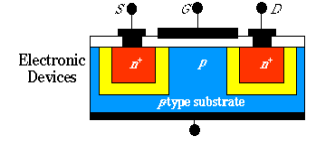
Gerek n-tipi gerekse p-tipi kristallere ilave edilen yabancı atom miktarı çoğaltılmak suretiyle iletkenlikleri artırılabilir. Ancak ilave edilen yabancı atom miktarı kristal yapıyı bozacak kadar fazla olmamalıdır.





Yarı İletkenli Elektronik Devre Elemanlar

1 - Diyot:

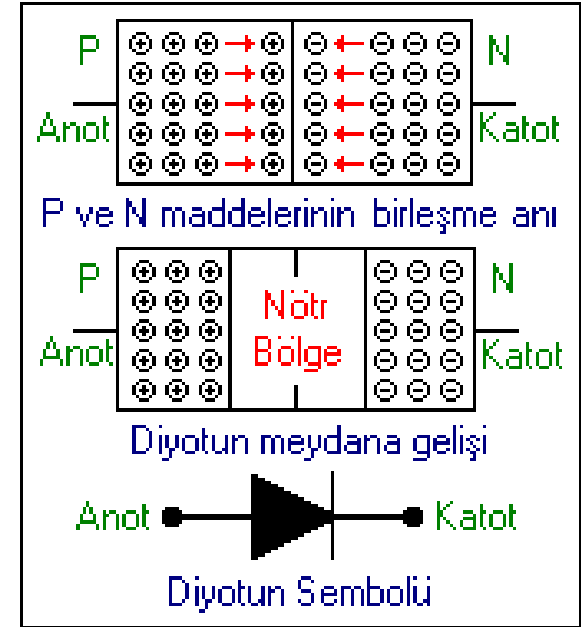


ELK 221 Elektrik Mühendisliğinde Malzeme

Diyot tek yöne elektrik akımını ileten bir devre elemanıdır. Diyotun P kutbuna "Anot", N kutbuna da "Katot" adı verilir. Genellikle AA akımı DA akıma dönüştürmek için Doğrultucu devrelerinde kullanılır.

Diyot N tipi madde ile P tipi maddenin birleşiminden oluşur. Bu maddeler ilk birleştirildiğinde P tipi maddedeki oyuklarla N tipi maddedeki elektronlar birleşim noktasında buluşarak birbirlerini nötrleştirir ve burada "Nötr" bir bölge oluşurlar. Yandaki şekilde Nötr bölgeyi görebilirsiniz.

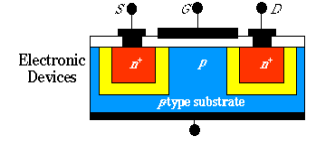
Bu nötr bölge, kalan diğer elektron ve oyukların birleşimine engel olur. Yandaki şekilde diyotun sembolünü görebilirsiniz.



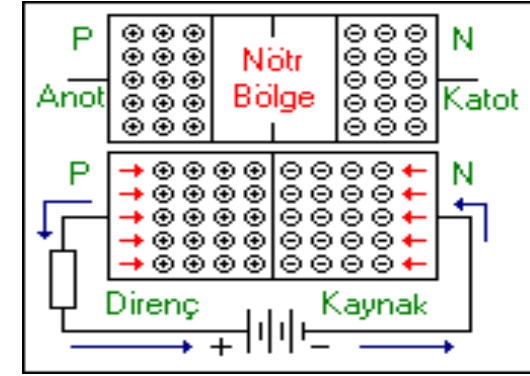
<http://www.hiokumus.com>



Diyotun Doğru Yönde Kutuplanması



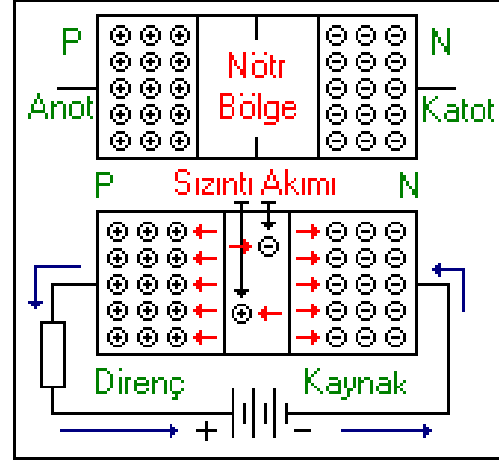
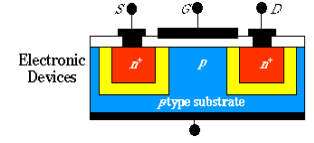
Anot ucuna güç kaynağının pozitif (+) kutbu, katot ucuna da güç kaynağının negatif (-) kutbu bağlandığında P tipi maddedeki oyuklar güç kaynağının pozitif (+) kutbu tarafından, N tipi maddedeki elektronlar da güç kaynağının negatif (-) kutbu tarafından itilirler. Bu sayede aradaki nötr bölge yıkılır ve kaynağın negatif (-) kutbunda pozitif (+) kutbuna doğru bir elektron akımları başlar. Yani diyot iletme geçmiştir.



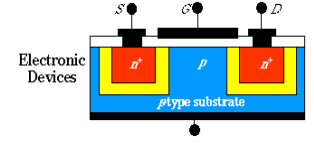
Fakat diyot nötr bölümü almak için diyot üzerinde 0.6 Voltluk bir gerilim düşümü meydana gelir. Bu gerilim düşümü Silisyumlu diyotlarda 0.6 Volt, Germanyum diyotlarda ise 0.2 Volttur. Bu gerilime diyotun "Eşik Gerilimi" adı verilir. Birde diyot üzerinde fazla akım geçirildiğinde diyot zarar görüp bozulabilir. Diyot üzerinden geçen akımın düşürülmesi için devreye birde seri direnç bağlanmıştır. İdeal diyotta bu gerilim düşümü ve sızıntı akımı yoktur.



Diyotun Ters Yönde Kutuplanması



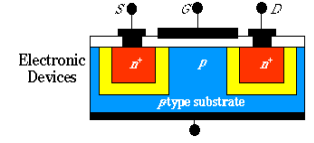
Diyotun katot ucuna güç kaynağının pozitif (+) kutbu, anot ucuna da güç kaynağının negatif (-) kutbu bağlandığında ise N tipi maddedeki elektronlar güç kaynağının negatif (-) kutbu tarafından, P tipi maddedeki oyuklarda güç kaynağının pozitif (+) kutbu tarafından çekilirler. Bu durumda ortadaki nötr bölge genişler, yani diyot yalıtıma geçmiş olur. Fakat Azınlık Taşıyıcılar bölümünde de anlatıldığı gibi diyota ters gerilim uygulandığında diyot yalıtımda iken çok küçük derecede bir akım geçer. Buna da "Sızıntı Akımı" adı verilir. Bu istenmeyen bir durumdur.



Malzemelerin Elektriksel Özellikleri



MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ



Pek çok uygulamada malzemelerin **elektriksel davranışı** mekanik davranışlarından daha önemlidir.

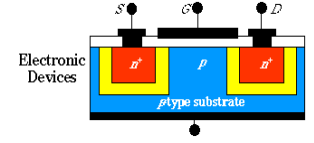
Uzun mesafelere akım ileten metal tel, ısı ekinde ortaya çıkan güç kaybını azaltmak için yüksek bir elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır.

Seramik yalıtkanlar, iletkenler arasındaki arkı önlemelidir.

Güneş enerjisini elektriksel güce dönüştürmek için kullanılan yarıiletken cihazlar, güneş hücreleri uygulanabilir alternatif bir enerji kaynağı yapmak için mümkün olduğu kadar etkin olmalıdır.

Elektrik ve elektronik uygulamalar için malzeme seçmek ve kullanmak elektrik iletkenliği gibi özelliklerin nasıl üretildiğinin ve denetlendiğinin anlaşılmasını gerektirir. Ayrıca, elektriksel davranışın, malzeme yapısından, malzemenin iletkenliğinden ve malzemenin maruz kaldığı çevreden etkilendiği bilinmelidir.

Bu nedenle malzemelerin **atomik yapı ve elektronik düzenlerinin** iyi bilinmesi, temel elektrik yasalarının hatırlanması gerekmektedir.



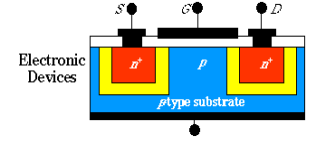
Bu amaçla **elektrik iletimi ile temel kavramlar, özellikle metaller üzerinde,** incelenecektir. Daha sonra, *katkılarının, alaım elementlerinin ve sıcaklığın* elektriksel iletkenlik üzerindeki etkileri ile katkıların ve sıcaklığın *yarı iletken malzemelerdeki elektrik iletkenliğine etkisi incelenecektir.*

Metallerde elektrik iletimi

Metalik katılarda atomlar kristal yapıda (YMK, HMK, SDH) dizilir ve birbirlerine en dı de erlik elektronlarının olu turdu u metalik ba la ba lanır.

Katı metallerdeki ba da elektronlar belirli bir atoma ba lı olmayıp birçok atom tarafından payla ıldı ından, metalik ba da **de erlik elektronları serbestçe** hareket eder .

Bazı durumlarda elektronların bir *elektron bulutu olu turdu u*, bazı durumlarda ise elektronların kendi ba larına *serbest elektronlar oldu u*, herhangi bir atoma ba lı olmadığı varsayılır.



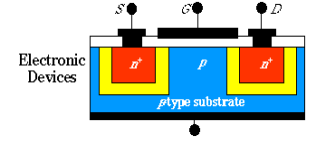
Geleneksel modelde, malzemede yük taşıyıcı sayısı denetlenerek elektriksel iletkenlik denetlenebilmektedir.

Elektronlar (dış de erlik elektronları), iletkenlerde, yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda yük taşıyıcılardır. İyonik bileşiklerde ise, yükü iyon taşıır. Hareketlilik, atomik bağa, kafes düzensizliklerine, mikroyapıya ve iyonik bileşiklerde difüzyon hızına bağlıdır.

Oda sıcaklığında artı yüklü iyonları kafes üzerindeki yerlerinde titre titre kinetik enerjiye sahiptir. Sıcaklık arttıkça iyonların titre titre genlikleri artar ve iyonlarla dış de erlik elektronları arasında sürekli bir enerji değişimi vardır.

Bir elektrik potansiyelinin yokluğunda, dış de erlik elektronlarının hareketi rastgele ve sınırlıdır, dolayısıyla, herhangi bir yönde net elektron akışı ve elektrik akımı yoktur.

Bir elektrik potansiyelinin uygulanması halinde elektronlar, uygulanan alanla orantılı fakat zıt yönde bir sürüklenme hızı kazanır.



Ohm yasası – elektriksel iletkenlik

Bir bakır telin uçlarına bir pil bağlandığında, **R** direncindeki telden, uygulanan **V** potansiyeline bağlı olarak, bir **I** akımı geçecektir. **Elektriksel iletkenlik, Ohm yasasından yola çıkılarak saptanabilir.**

$$V = IR$$

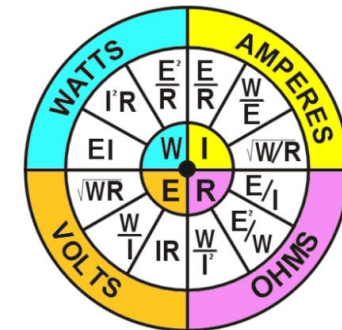
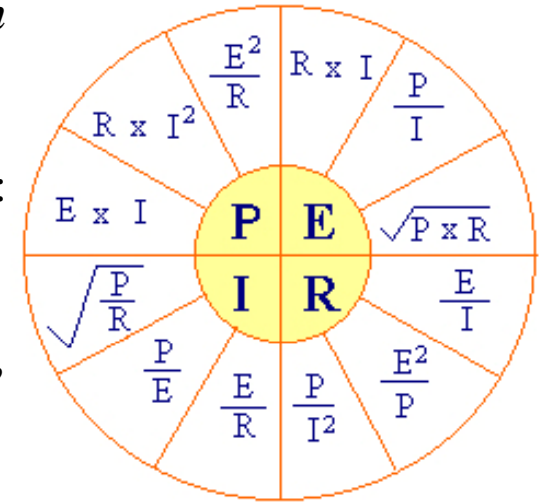
Burada, **V** (gerilim farkı) : Volt(V), **I** (elektrik akımı) : amper(A) ve **R**(telin direnci) : Ohm(Ω) 'dur.

Direnç malzeme özelliğindedir, yani elektrik öz direncine, bağlıdır.

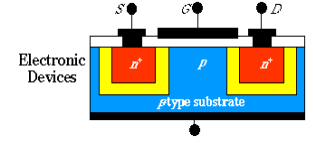
$$R = l/A, \quad \rho = 1/R$$

Burada; **l** = iletkenin boyu, m; **A** = iletkenin kesit alanı, m² ;
\rho = iletkenin öz direnci, Ohm.m
\sigma = 1/\rho = iletkenlik, Ohm⁻¹.m⁻¹

Elektrik iletkenliğinin birimi (Ohm-metre)⁻¹ = ($\Omega \cdot m$)⁻¹ 'dir.
SI birimiyle Ohm'un tersi Siemens'tir.



<http://www.hiokumus.com>



Saf altın, gümüş ve bakır en iyi iletken, 10^7 ($\Omega \cdot m$)⁻¹, metallerdir. Buna karşın polietilen, polistiren gibi **elektrik yalıtkanları** 10^{-14} ($\Omega \cdot m$)⁻¹ civarında çok düşük bir iletkenlik gösterirler. Silisyum ve germanyum, metallere ve yalıtkanlar arasında bir iletkenlik gösterdiklerinden **yarı iletkenler** diye adlandırılırlar.

Bu iki iletkenlikten ohm kanununun ikinci biçimi elde edilir.

$$J(\text{akım yoğunluğu, A/cm}^2) = I/A \quad l/A = V/I$$

$$E(\text{elektrik alanı, V/m}) = V/l \text{ ise}$$

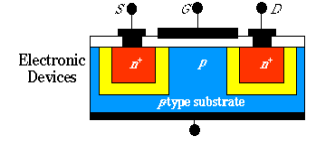
$$J = \sigma E \text{ elde edilir.}$$

$$J = nq\bar{v}$$

Burada; n = yük taşıyıcılar sayısı (taşıyıcılar/m^3), q = her taşıyıcı üzerindeki yük (1.6×10^{-19} C) ve \bar{v} = ortalama sürüklenme hızı, m/s



Elektron Hareketliliği



Elektriksel iletkenlik serbest elektron sayısı, N_e ile ya da birim hacimdeki iletim elektronlarının sayısı ile oranyalıdır.

$$\sigma = N_e |e| \mu_e$$

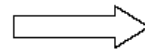
(İletkenlik \propto yük sayısı)

Burada; μ = hareketlilik [$\text{m}^2 \cdot (\text{V/s})^{-1}$] olup, elektriksel iletkenliğin ölçüsüdür. Bu son eşitlikler ohm yasasının *boyutlu biçimi* olarak adlandırılmaktadır.

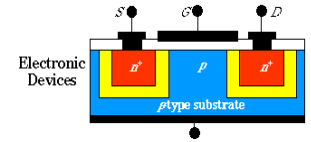
(m) = Metal (s) = Semicon	Mobility (RT) μ ($\text{m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Carrier Density N_e (m^{-3})
Na (m)	0.0053	2.6×10^{28}
Ag (m)	0.0057	5.9×10^{28}
Al (m)	0.0013	1.8×10^{29}
Si (s)	0.15	1.5×10^{10}
GaAs (s)	0.85	1.8×10^6
InSb (s)	8.00	

$$N_{\text{metal}} \gg N_{\text{semi}}$$

$$\mu_{\text{metal}} < \mu_{\text{semi}}$$



$$\sigma_{\text{metal}} \gg \sigma_{\text{semi}}$$



Problem 1:

Consider the GaAs crystal at 300 K. Calculate the intrinsic conductivity and resistivity.

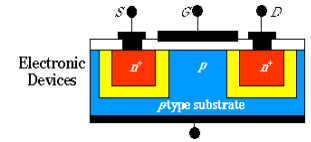
$$(n_i = 1.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}, \mu_e = 8500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ and } \mu_h = 400 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}, e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$= en_i(\mu_e + \mu_h)$$

$$= (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})(1.8 \times 10^{12} \text{ m}^{-3})(8500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1} + 400 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1})$$

$$= 2,56 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$$

$$= 1/\rho = 3,9 \cdot 10^6 \text{ m}$$



Problem 2:

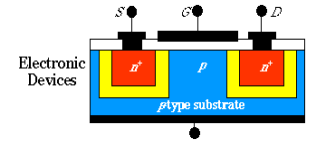
An n -type Ge sample has been doped with 10^{16} phosphorus atoms cm^{-3} .
($\mu_e = 3900 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) (10p)

Calculate the room temperature conductivity of the sample.

Conductivity at room temperature $T = 300 \text{ K}$ is ($\mu_e = 3900 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

$$= eN_d\mu_e$$

$$= (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \times 10^{22} \text{ m}^{-3})(3900 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}) = 624.78 \text{ }^{-1} \text{ m}^{-1}$$



Problem 3:

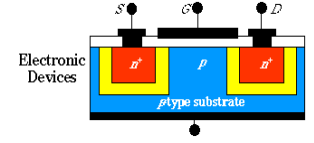
The electron drift mobility in copper (Cu) has been measured to be $41.3 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ at $27 \text{ }^\circ\text{C}$. The atomic mass and density of Cu are given as 63.54 g/mol and 8.96 g/cm^3 , respectively. Assuming that each Cu atom contributes one conduction electron, calculate the resistivity of Cu at $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$(e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}, N_A = 6.022 \times 10^{23})$$

$$n_{at} = \frac{dN_A}{M_{at}} = \frac{8,96.10^3 \times 6,022.10^{23}}{63,54.10^{-3}} = 8,5.10^{28} \text{ m}^{-3}$$

$$= en\mu_d = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})(8,5.10^2 \text{ m}^{-3})(41,3.10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1}\text{s}^{-1})$$

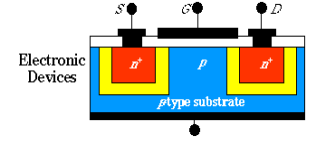
$$= 5,6.10^7 \text{ }^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ and the resistivity, } = 1/ = 17,85.10^{-9} \text{ m}$$



Metallerin enerji kuşağı modeli (Band kuramı)

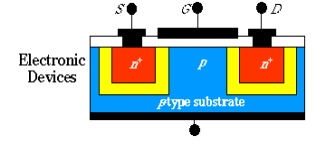
Metallerde elektrik iletiminin mekanizmasının anlamaya yardımcı olduğundan, önce katı metallerdeki elektronların kuşak modelini(band kuramı) gözden geçirelim.

Atomların elektronları, Pauli ilkesine göre, farklı enerji seviyelerini doldurmaktadır. 1 atom, 2 atom ve N atom içermesine göre, enerji bandları birbiri içine karışarak genişler.



Yalıtkanların enerji kuşağı modeli

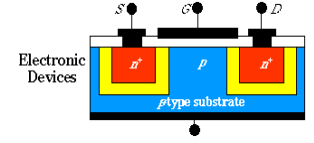
Yalıtkanlarda, değerlik elektronları iyonik ya da ortaklaşım bağıyla atomlarına sıkı bir şekilde bağlı olduklarından, yüksek düzeyde enerji E_a verilmediği takdirde serbest hale geçerek elektriği iletmezler. Bir yalıtkanın elektrik kuşağı modeli, aşağıda bir dolu değerlik kuşağı ve yukarısında bir boş iletim kuşağı şeklindedir ve değerlik kuşağı iletim kuşağından yaklaşık **6-7 eV** değerinde bir enerji aralığıyla ayrılmıştır. Bu nedenle, bir yalıtkanın elektriği iletebilmesi için değerlik elektronlarının aralığı atlamasına yetecek **kadar büyük bir enerji** altında olması gerekir.



Katıksız yarı iletkenler

Katıksız yarı iletkenler elektrik iletimleri kendine ait iletim özellikleriyle belirlenen saf yarı iletkenlerdir. **Saf silisyum ve germanyum** bu tür iletkenlerdir. IVA grubunda bulunan bu elementler yüksek yönlenmişlikteki ortaklaşım bağlarıyla kübik elmas yapısındadır.

Bu yapıda her bir silisyum ve germanyum atomu **dört değerlik elektronunu** verir. Şekil 4.10 'da durum çizgi resimle özetlenmiştir.



Katıksız yarı iletkenlerde, **değerlik ve iletim kuşakları** arasında **0.7 ile 1.1 eV** arasında değişen, nispeten küçük bir enerji aralığı bulunur.

Katıksız yarı iletkenler **katıksı atomlarıyla katkılanarak katkılı yarı iletkenler** haline getirildiklerinde elektrik iletimin sağlamak için gerekli enerji büyük çapta azalır.

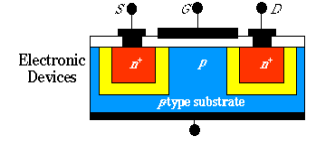
Katkılı yarı iletkenler

Katkılı yarı iletkenler **çok seyreltik asalyer katı çözeltileridir** ve çözünen katkı atomları çözen **atom kafesinden farklı değeriğe** sahiptir. Bu yarı iletkenlere

katılan katkı atomlarının derişimi çoğunlukla 100-1000 parça/milyon(ppm) arasındadır.

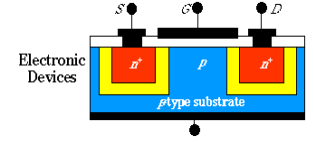
Katkılı yarı iletkenler **n-türü ya da p-türü** olarak iki türdür.

n-türü(eksi) yarı iletkenlerin çoğunluk taşıyıcıları elektronlardır. **P, As ve Sb** gibi grup VA katkı atomları silisyum ya da germanyuma katıldığında elektrik iletimi için kolaylıkla iyonlaşan elektron verirler. Bu atomlar *verici katkı atomları* olarak bilinir.



Bor gibi üç değerlikli bir IIIA grubu elementi silisyumun dörtyüzlü bağının kafesine asal yer olarak girecek olursa bağ yörüngesilerden birisi eksi olacak ve silisyumun bağ yapısında bir delik meydana gelecektir.

p-türü (artı) yarı iletkenlerde delikler (yerinde olmayan elektronlar) çoğunluk taşıyıcılarıdır. Yeterli enerjiye sahip bir diğer elektron bu boşluğa hareket edecektir.

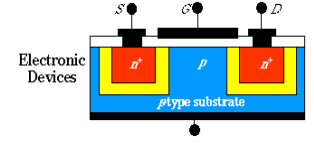


ELEKTRONİK MALZEMELER ve KULLANIM ALANLARI

Belli başlı kullanım alanları,

- 1) Seramik taban malzemeleri
- 2) Piezoelektrik seramikler
- 3) Taneleri yönlendirilmiş seramikler
- 4) Piezoelektrik ince filmler
- 5) Piroelektrik malzemeler
- 6) Seramik katı elektrolitler

şeklinde yaygındır.

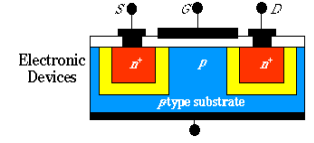


Seramik taban malzemeleri (substrate 'ler)

Günümüzde, **integre devrelerin bir araya getirilerek monte edildiği** zemin, ya plastik ya da seramiktir.

Son yıllarda geliştirilen integre devreler küçülmüş ve hızları artmış olup, bunun sonucu açığa çıkan ısı da artmıştır. Bu nedenle seramik taban malzemelerinin önemi artmıştır.

İyi bir seramik malzemedede(4 özellik); **iyi elektrik izolasyonu, kimyasal kararlılık, yüksek ısı iletimi ve dayanım, yarı-iletken malzeme ile ısıl genleşme katsayılarının** uyumlu olması gerekliliği gibi özellikler ön plana çıkmaktadır. Bir malzemedede tüm bu özellikleri sağlamak olanaklı değildir.



Bununla beraber, (1)% 94-99,5 saflıktaki Al_2O_3 bu özellikleri çok büyük oranda karşılayabilmektedir.

Ancak, **cok gelişmiş sistemlerde** açığa çıkan ısının çok olması bu malzemenin de yetersiz olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, Al_2O_3 yanında, (2) **% 5 ten çok olmamak koşuluyla, BeO kullanılarak** bu sakınca azaltılabilmektedir.

BeO ısı iletkenliği yüksek, elektrik özellikleri çok iyi bir bileşiktir.

Daha yeni uygulamalarda da, (3) **alüminyum nitrür** ve (4) **silisyum karbür karışımları** kullanılmaktadır.

Çizelge 4.3 'de bazı taban seramikleri ve özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 **Bazı taban seramikleri** ve özellikleri

Malzeme	Isı İletkenliği, W/m.K	Isıl genleşme katsayısı, $\times 10^{-6}/K$	Elektriksel direnç, $\Omega.cm$	Dielektrik sabiti, 1 MHz 'de
Yeni SiC	270	3,7	$> 10^{13}$	45,15
Yapısal SiC	60-80	4,2	$< 10^3$	-
BeO (% 99,5)	240	7,5	$> 10^{14}$	6,7
Al_2O_3 (% 92)	17	6,5	$> 10^{14}$	8,5
AlN	100	4,5	$> 10^{14}$	8,8
Al	239	26,5	$2,7 \times 10^{-6}$	-
Si	125	3,5	$10^{-3} - 10^3$	12