

# Bölüm 2: Yarı iletkenler

## Temel kavramlar

Elektronun temelini oluşturan yarı iletkenleri açıklamadan önce madde ile ilgili temel bilgileri öğrenmek gerekir.

Bilindiği gibi bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Beş duyu organımızla çevreyi incelediğimizde çok sayıda değişik özellikli madde görürüz. Örneğin, su, cam, bakır, demir, hava gibi.

### a- Madde

Dünyada bulunan 105 çeşit maddenin (*element*) tümü atomların birleşiminden oluşmuştur. Bunlar "katı", "sıvı" ve "gaz" halinde bulunurlar.

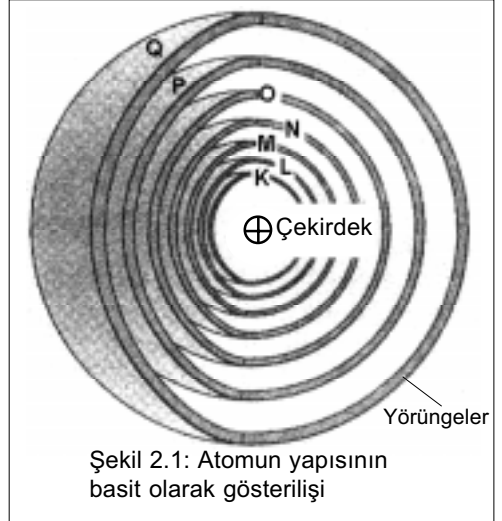
Elektrik akımını iletme durumlarına göre ise maddeler üçe ayrılır: "İletken", "yalıtkan" ve "yarı iletken".

Elektronik devrelerin büyük çoğunluğu katıların iletkenliği temeline dayanılarak yapılır. Bir maddenin elektriği iletme oranı, maddenin serbest elektron üretme yeteneğine bağlıdır.

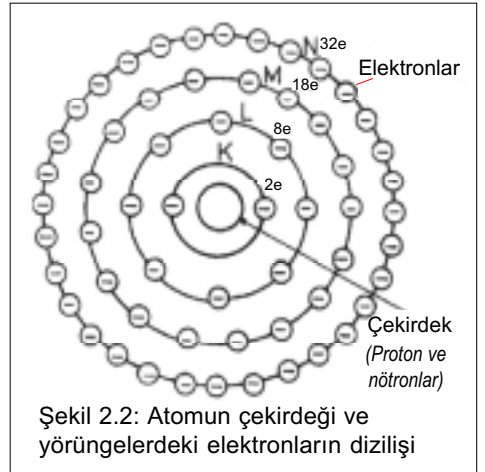
### b- Atom

Yapılan deneyler, atomun tek bir "bütün" olmadığını, daha küçük parçalardan oluştuğunu göstermiştir. Atom, merkezindeki artı yüklü ve yüksüz parçacıklardan oluşan ağır çekirdeğiyle küçük bir güneş sistemi gibidir. Çekirdekdeki parçacıklara "proton" ve "nötron" adı verilir. Çekirdeğin çevresinde ise eksi yüklü "elektron"lar vardır. *Şekil 2.1 ve 2.2.'de atomun yapısı gösterilmiştir.*

Atom, "bölünemez" anlamındadır. Başka bir deyişle, maddelerin bölünemeyen en küçük yapı taşlarına atom denir. Bu küçük zerrecik, ortada bir çekirdek ve çekirdeğin çevresinde dönen elektronlardan oluşmuştur. Elektronlar çekirdek çevresine dağılmış en çok 7 yörünge üzerinde hareket ederler. Eksi (-) yüklü olan elektronlar yörüngelerinin bulunduğu yarı çapa orantılı olarak potansiyel ve kinetik enerjiye sahiptirler.



Şekil 2.1: Atomun yapısının basit olarak gösterilişi



Şekil 2.2: Atomun çekirdeği ve yörüngelerdeki elektronların dizilişi

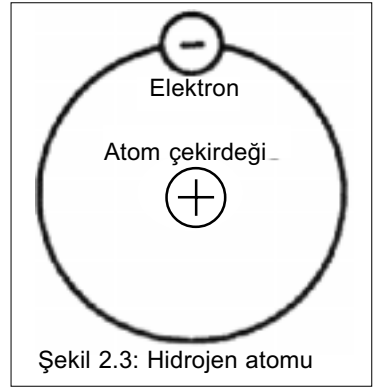
Atomlarda çekirdeğe en yakın yörüngedeki elektronların enerji seviyeleri en düşüktür. Çekirdekten uzaklaştıkça enerji seviyeleri artar.

Elementler içinde en basit yapıya sahip olan madde hidrojen atomudur. (Şekil 2.3). Bu atom ortada bir çekirdek ile onun etrafındaki yörüngede dönen bir elektrondan oluşmuştur.

Atomların çekirdeğinde bulunan protonlar elektriksel bakımdan (+) yüklü, nötronlar ise yüksüzdür. Nötronların elektriksel ve kimyasal etkileşimlerde işlevi (etkisi) yoktur.

Atomdaki elektronlar K, L, M, N, O, P, Q kabuklarında dağılmış olup, elektrik akımını taşıyan elektronlar en son kabuktakilerdir.

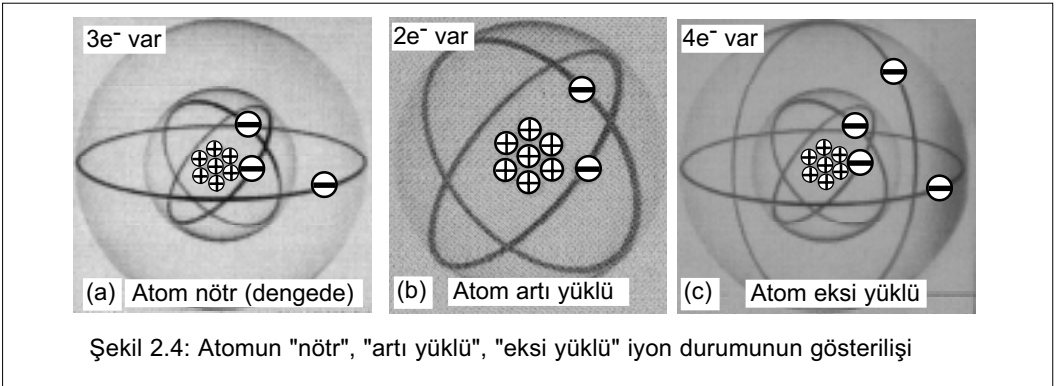
*Bir maddenin elektriksel olaylarının oluştuğu son kabukta bulunan elektronlarına valans elektronları adı verilmektedir.*



### c- Elektrik yükü

Bir atom, elektron kaybettiğinde pozitif yüklü hale geçer. (Şekil 2.4-b.) Eğer dışarıdan bir elektron alımı söz konusu olursa negatif yüklü duruma geçer. (Şekil 2.4-c.)

Atomların artı ya da eksi yüklü olması durumuna "şarjlı olma" da denilir. Eğer herhangi bir atom şarjlı durumdaysa buna, "iyon" adı verilir. Atomlar, fazla olan elektronlarını verip nötr (yüksüz) hale geçmek isterler. Yani, üzerlerindeki fazla elektronları ilk fırsatta komşu bir atoma vermeye çalışırlar. Bu özellik aynı adlı kutupların birbirini itmesi, zıt kutupların birbirini çekmesi özelliğinden kaynaklanmaktadır.



### d- İyon

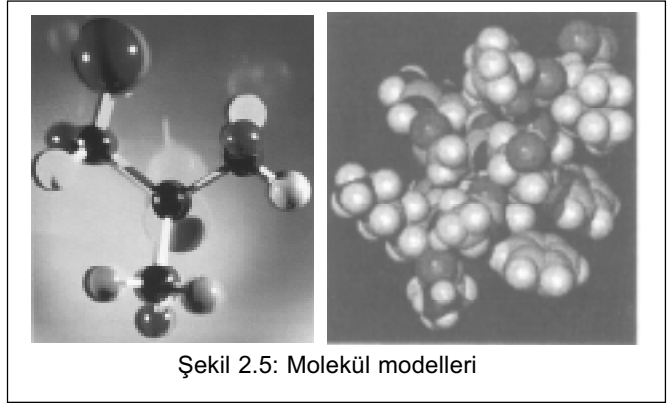
Atomların elektriksel açıdan dengesiz haline "iyon" denir. Şöyleki, dış etkilerle atomun son yörüngesinde bulunan elektronun biri alınırsa elektriksel denge bozularak atom, artı yüklü iyon durumuna geçer. Şayet dengedeki bir atomun son yörüngesine bir elektron girecek olursa atom eksi yüklü iyon durumuna geçer. Şekil 2.4-a-b-c'ye bakınız.

### e- Molekül

Bir kaç maddenin birleşiminden oluşmuş yeni maddenin en küçük parçacığına molekül denir.

Örneğin, suyun oluşumu için 1 oksijen atomuyla 2 hidrojen atomu gerekir. Bakır sülfat molekülünde ise "1 bakır atomuyla, 1 kükürt atomu ve 4 oksijen atomu vardır.

İşte bu birleşimlerin en küçük yapı taşı moleküldür. Şekil 2.5'de molekül modeli örnekleri verilmiştir.

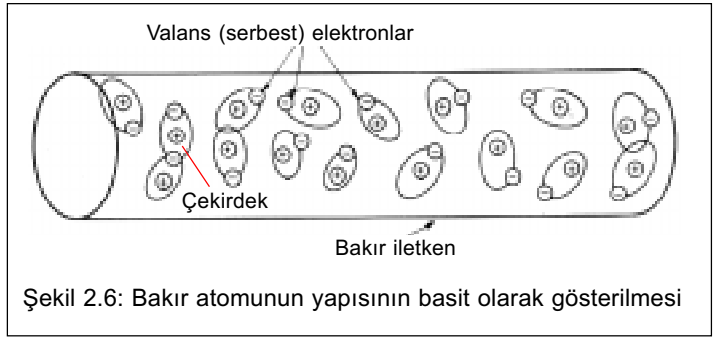


Şekil 2.5: Molekül modelleri

## A- İLETKENLER, YALITKANLAR VE YARI İLETKENLER

### a- İletkenler

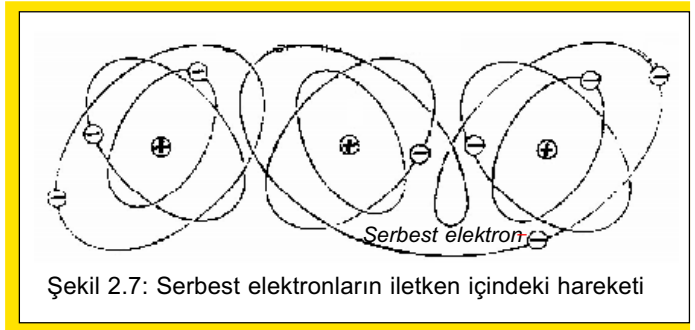
Bir atomun en dış yörüngesinde az sayıda (1-2-3) elektron varsa, bu elektronları çekirdeğe bağlayan güç zayıftır. Örneğin bakır atomunun son yörüngesinde 1 elektron vardır ve bu çekirdek tarafından kuvvetlice çekilmediğinden çok kolayca serbest hale geçebilir.



Şekil 2.6: Bakır atomunun yapısının basit olarak gösterilmesi

Bakırdan yapılmış bir iletkenin iki ucuna belli bir gerilim uygulanırsa, elektronlar pilin eksi (-) ucundan artı (+) ucuna doğru gitmeye başlar. İşte bu elektron hareketi "elektrik akımıdır". Gerilim kaynağının artı ucu elektronları yakalarken, eksi ucu maddeye elektron verir. Burada gerilimi, bir çeşit elektron pompası olarak düşünebiliriz. Gerilimin büyüklüğü artarsa, elektronlar daha hızlı bir şekilde ilerlerler. Yani ortalama hızları artar.

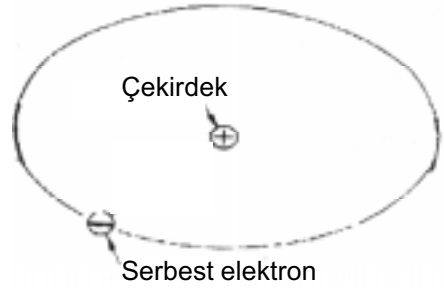
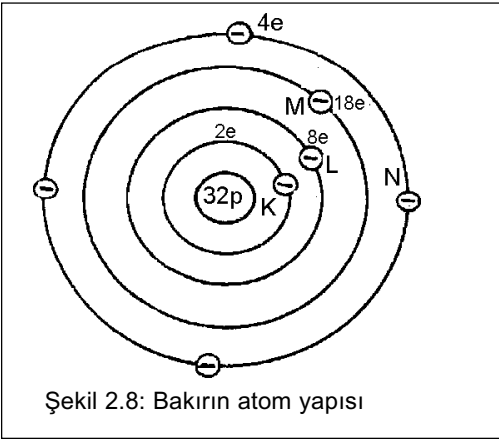
Başka bir deyişle son yörüngesinde (*valans bandı*) 1-2-3 elektron bulduran maddeler az ya da çok elektrik akımını iletirler.



Şekil 2.7: Serbest elektronların iletken içindeki hareketi

En dış yörüngesinde 2 elektron bulduran demir ve 3 elektron bulduran alüminyumun iletkenlikleri bakıra göre azdır.

Şekil 2.6'da bakırdan yapılmış iletkenin serbest elektronları, şekil 2.7'de bakır iletkenin serbest elektronlarının hareketi, şekil 2.8'de bakır atomunun yapısı ve şekil 2.9'da bakır atomunun basit olarak gösterilişi verilmiştir.



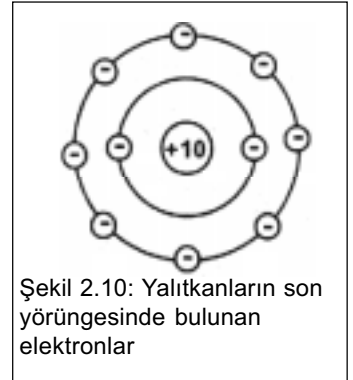
## b- Yalıtkanlar

Gerilim uygulandığında iletkenliği çok alçak düzeyde olan malzemelere yalıtkan denir. Başka bir deyişle, elektrik akımını "iletmeyen" maddeler yalıtkanlardır.

Atom yapısı açısından bakıldığında, son yörüngelerinde (*valans bandı*) 5-6-7-8 elektron bulduran tüm maddeler az ya da çok yalıtkanlardır.

Yalıtkanlarda atomlar arası boşlukta serbest elektron bulunmaz. Elektronlar çekirdeklere sıkı bağlarla bağlıdır. Yani, her atom nötr durumdadır. Bir yalıtkan "fazladan yüklenen şarj", yalıtkanın o bölgesinde statik olarak kalır. Yükler atomdan atoma iletilmediği için yalıtkan üzerinde başka bir bölgeye geçiş söz konusu değildir.

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi plastik, cam, kauçuk, mermer, kağıt, tahta gibi yalıtkanlık düzeyi yüksek olan maddelerin atomlarının son yörüngelerinde 8 adet elektron vardır. Yani bu atomlarda son yörünge elektron bakımından doymuş durumdadır. Dışarıya elektron verme ya da dışarıdan elektron alma çok zordur.



Cam, mika gibi iyi yalıtkanların direnci  $10^{15}$  w/Cm<sup>3</sup> düzeyindedir. Yalıtkanların çok yüksek direnç göstermeleri madde içindeki serbest elektronların ya da diğer akım taşıyıcıların olmamasındandır. Yani yalıtkanlarda atom bağ yapısı elektronların yörüngesinden çıkmasına izin vermez. Bu durumu enerji bandı yönünden ele alırsak, iletim bandı ile valans bandı arasındaki yasak bölge dışarıdan uygulanacak enerji ile aşılamayacak kadar geniştir. Şekil 2.13'e bakınız. (*Burada enerji bandları, elektronların ve oyukların hareket ettiği kanallar şeklinde düşünülmemeli, iletme izin verilen ya da verilmeyen enerji seviyeleri olarak algılanmamalıdır.*)

### **Ek bilgi: Akımı hiç geçirmeyen madde var mıdır?**

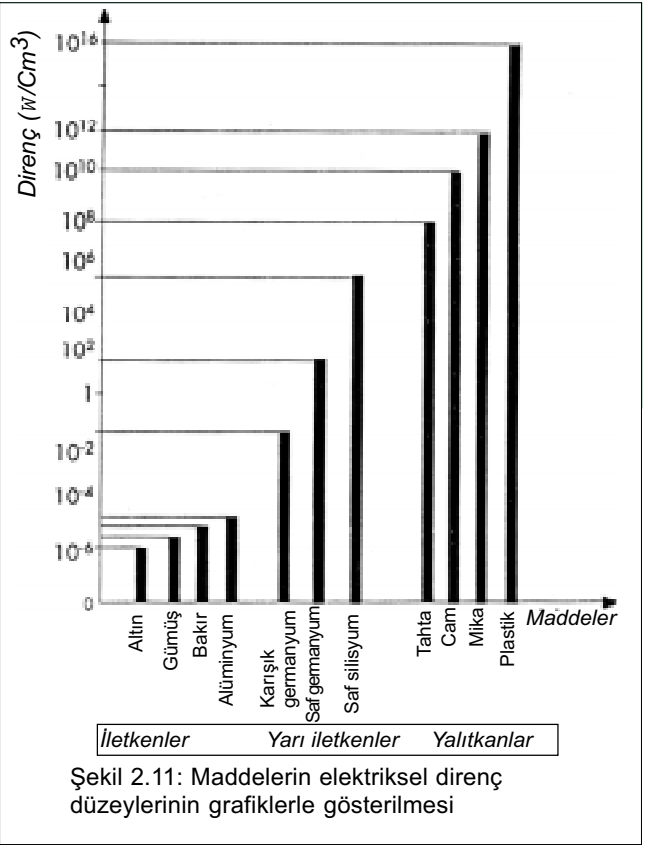
Aslında elektrik akımını hiç geçirmeyen madde yoktur. Yalıtkan olarak bilinen maddeler "çok az" bir akım geçirirler. (*İyi bir yalıtkan olarak kabul edilen polistiren'in 1 Cm<sup>3</sup>'ünde  $6,1 \cdot 10^{10}$  adet serbest elektron bulunur.*) Fakat bu canlılar için zararlı değildir. Yalıtkan uygulanan gerilim arttıkça geçirdiği akım da artmaya başlar. Belli bir gerilim seviyesinden sonra yalıtkan tamamen iletken olur. Buna "yalıtkanın delinmesi" denir. Her yalıtkanın

delinmesine yol açan gerilim değeri ayrıdır. Elektrik ve elektronik çalışmalarında kullanılan el takımlarının sap izoleleri incelenecek olursa, burada yalıtkanın dayanabileceği son (*maksimum*) gerilim değeri yazılıdır. Örneğin penselerin sap izolesinde "10.000 Volt" yazar. Bu, plastik yalıtkan 10.000 Volt'tan sonra iletken hale geçebilir anlamı taşır.

### c- Yarı iletkenler

Son yörüngelerinde (*valans bandı*) 4 elektron bulunduran maddelere yarı iletken denir.

Yarı iletkenlerin direnci iletkenlerin direncinden yüksek, yalıtkanların direncinden düşüktür. Yani iletkenlik bakımından iletken ve yalıtkanlar arasında yer alırlar. Şekil 2.11'de verilen grafikte saf germanyum ve saf silisyumun direnç değerine dikkat ediniz.



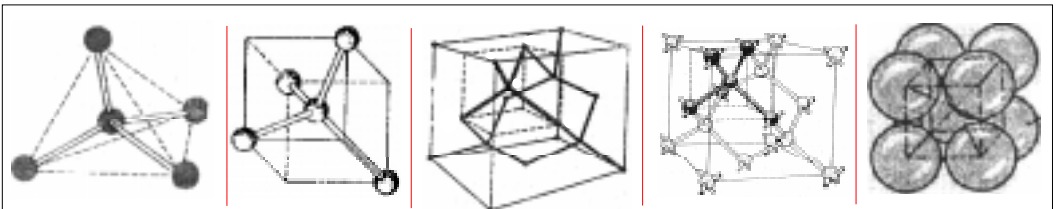
Şekil 2.11: Maddelerin elektriksel direnç düzeylerinin grafiklerle gösterilmesi

Yarı iletkenlerin 1 Cm<sup>3</sup>'ünün iki yüzü arasındaki direnç normal oda sıcaklığında 0,1-50 W arasındadır. Bu tip maddelerin dirençleri sıcaklık ile düzgün değişme göstermez.

Yarı iletkenlerin bazıları "bileşik", bazıları "element"dir. Bileşiklere örnek olarak "çinko oksit" ile "bakır oksiti" verebiliriz. Elementlere örnek ise "germanyum" ve "silisyum (silikon)" gösterilebilir.

Yarı iletkenler kristal yapıdadır. Yani atomları belirli bir sistemle sıralanmıştır. Bu yapı tekli kristal (*mono kristal*) ya da çoklu kristal (*poli kristal*) olabilmektedir. Şekil 2.12'ye bakınız.

Silisyum (*silikon*) ve germanyum atomlarının son yörüngelerinde dörder elektron vardır. Germanyumun ve silisyumun saf kristalleri oldukça iyi bir yalıtkan olmalarına karşın,



Şekil 2.12: Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi

atom yapılarına küçük miktarlarda arsenik, indiyum vb. ekleyerek iletkenlikleri önemli ölçüde değiştirilebilir.

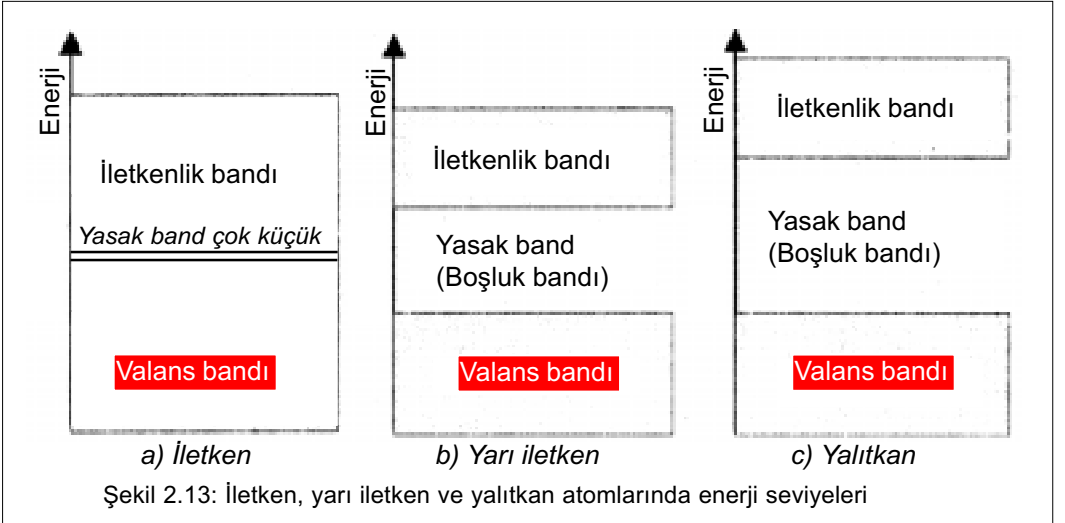
### Üretici şirketlerin yaygın olarak kullandığı bazı yarı iletken maddeler ve kullanım alanları

-**Azot (N)**: N tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**Antimuan (Sb)**: N tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**Arsenik (Ar)**: N tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**Fosfor (P)**: N tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**Germanyum (Ge)**: Diyot, transistör, entegre vb. yapımında.  
-**Silisyum (Si)**: Diyot, taransistör, entegre vb. yapımında.  
-**Bor (B)**: P tipi yarı iletken oluşturmada.

-**Galyum**: P tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**İndiyum (In)**: P tipi yarı iletken oluşturmada.  
-**Selenyum (Se)**: Diyot yapımında.  
-**Bakıroksit (Cu<sub>2</sub>O)**: Diyot yapımında.  
-**Galyum arsenik (GaAs)**: Tunel diyot, laser diyot, foto diyot, led yapımında.  
-**İndium fosfor (InP)**: Diyot, transistör yapımında.  
-**Kurşun sülfür (PbS)**: Güneş pili (fotosel, solar cell) yapımında.

## B- ATOMLARDA ENERJİ SEVİYELERİ VE BAND YAPILARI

Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hale getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji miktarı üç ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. Bunlar, şekil 2.13'de görülebileceği gibi "iletkenlik bandı", "yasak band" ve "valans bandı"dır.



Herhangi bir atomun valans bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için, bu iki band arasındaki yasak bandı geçmesi gerekir.

**a- Yasak band:** Elektron bakımından boş bulunan ve valans bandındaki elektronların iletkenlik bandına geçmesini zorlaştıran boşluğa denir.

**b- İletkenlik bandı:** Valans bandından kopan ve akım taşıyabilecek durumda olan elektronların bulunduğu banddır. Maddeler, elektronlarının bu banda geçmesiyle iletken hale gelirler.

Maddelerin elektriksel iletkenliği, atomlarının enerji seviyelerine bağlıdır. Her maddenin, içinde bulunan elektronların serbest hale geçmesi için, o maddeye dışarıdan farklı enerji seviyeleri uygulamak gereklidir.

Saf bir yarı iletken maddede iletkenlik, elektronların bir banddan diğerine geçmesiyle meydana gelir. Yani, bir atomun son yörüngesinde bulunan valans elektronun serbest duruma geçmesi, o maddenin iletkenlik kazanması anlamına gelir.

şekil 2.14'de görüldüğü gibi dışarıdan enerji (*ısı, ışık vb.*) alan bir elektron bir üst banda (*tabakaya*) yükselebilir. Daha düşük bir banda geçen elektron ise dışarıya enerji yayar.

Valans bandında bulunan elektronlar çekirdeğin çekim kuvveti nedeniyle yörüngelerinden çıkamazlar. Bunların serbest hale geçebilmesi için, dışarıdan yeter miktarda enerji uygulanması gereklidir. Bu enerjiyi alan elektron, valans bandından çıkıp yasak bölgeyi geçerek iletkenlik bandına ulaşır. Orada akım taşıyıcı olarak görev yapmaya başlar. Elektron yerinden çıktığı zaman arkasında bir oyuk bırakır. Oyuk, pozitif yüklü olarak kabul edilir.

İletkenlerin "valans bandı enerji seviyesiyle" "iletkenlik bandı enerji seviyesi" aynıdır. Bu nedenle iletkenlerde küçük bir enerji uygulanmasıyla pek çok valans elektron serbest duruma geçebilmektedir. Başka bir anlatımla, iletkenlerde yasak band yok denecek kadar azdır. Bu sayede elektronlar kolaylıkla valans bandından iletkenlik bandına atlayabilirler. *şekil 2.13-a'ya bakınız.*

Yarı iletkenlerin valans bandıyla iletkenlik bandı arasında belirli bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı yarı iletkenlerin iletkenlik oluşturabilmesi için, valans elektronlarına boşluk bandı kadar ek enerji uygulamak gereklidir. *şekil 2.13-b'ye bakınız.*

Yalıtkanlardaysa oldukça büyük bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı elektronları valans bandından iletkenlik bandına geçirebilmek için çok yüksek değerli enerjiye gerek vardır. *şekil 2.13-c'ye bakınız.*

### c- Atomların yörüngelerindeki elektron sayıları

20. Yüzyılın başlarında **Bohr** ve diğer bilginler tarafından yapılan çalışmalar elektron yörüngelerinin katmanlar halinde oluştuğunu göstermiştir.

Başka bir deyişle, elektronlar yörünge (*orbital, kabuk*) adı verilen yollar üzerinde dönerler. Bu yörüngelere K, L, M, N, O, P, Q adı verilir ve yörüngeler çekirdekten dışarıya doğru 1, 2, 3, ... olarak numaralanır. Her yörüngede maksimum kaç elektron bulunduğu katman sayısının karesinin 2 ile çarpılmasıyla bulunur.

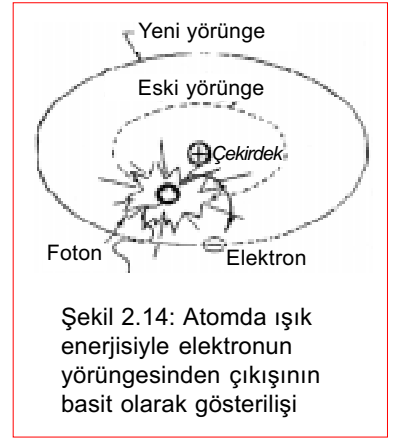
Yani, her katmanda bulunabilen en fazla (maksimum) elektron sayısı  $2n^2$  denklemiyle bulunur. ( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

### Atomların kabuklarındaki maksimum elektron sayıları

K: 2, L: 8, M: 18, N: 32, O: 50, P: 72, Q: 98.

**Örnek:** Atomun ikinci (L) kabuğunda bulunabilecek maksimum elektron sayısını hesaplayınız.

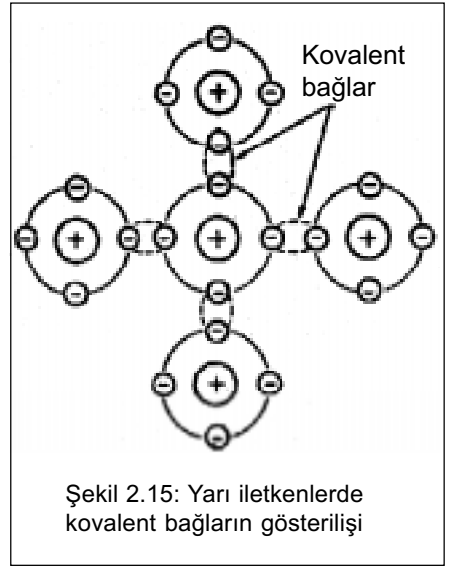
**Çözüm:** L kabuğunda bulunabilen maksimum elektron sayısı  $= 2 \cdot n^2 = 2 \cdot 2^2 = 8$ .



#### d- Atomlarda kovalent (ikili) bağ

Maddelerin içinde bulunan atomların elektronları dizilirken kimyasal olarak 8'li bağlarla birbirine bağlanırlar. Yani, kovalent yapının oluşması için "8 elektrona" gerek vardır. Ve bu işlem yarı iletken atomlarının son yörüngelerindeki elektronların karşılıklı kullanımıyla gerçekleşir. Şekil 2.15'e bakınız. Yani silisyumun (ya da germanyumun) dört elektronu komşu silisyum atomlarının elektronlarını ortak olarak kullanır. Ortak kullanımdaki elektronlar hem kendi hem de komşu atom çevresinde döner. Buna "kovalent bağ" denir.

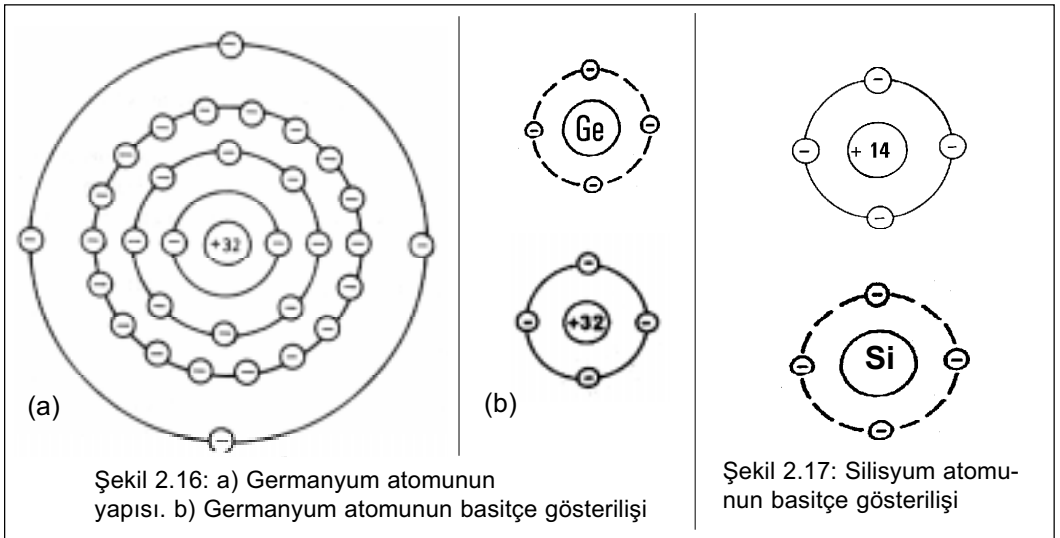
Silisyum ya da germanyum kristali ısıtılır veya elektrik akımının etkisine maruz bırakılırsa, kovalent bağların çekim kuvvetini yenen çok az sayıda elektron serbest hale geçer. Halbuki aynı uygulama iletkenlere yapılırsa (örneğin bakır) sayılamayacak derecede çok sayıda elektron serbest hale geçer.



#### C- SAF (KATKISIZ) GERMANİYUM VE SİLİSYUMUN KRİSTAL YAPILARI

Elektronik devre elemanlarının büyük bir bölümü silisyum ve germanyum elementlerinden üretilmektedir.

Yarım asır önce başlayan yarı iletken temelli devre elemanı üretiminde ilk zamanlar germanyum maddesi çok yaygındı. Günümüzde ise bu madde çok az kullanılmaktadır. Çünkü germanyum maddesi "oda sıcaklığı"nda bile çok sayıda elektronunu serbest bırakmakta, bu ise sızıntı akımlarının çoğalmasına yol açmaktadır. Sıcaklık arttıkça ise germanyumdaki iletkenlik iyice artmakta ve bu madde, iletken gibi davranmaya başlamaktadır. Silisyum maddesi ise oda sıcaklığında tam bir yalıtkan gibi davranmaktadır. İşte bu nedenle diyot, transistör, tristör, entegre vb. yapımında silisyum maddesi daha çok





kullanılmaktadır.

Doğadan elde edilen bu iki madde saflaştırılarak (*başka maddelerden arındırılarak*) monokristal (*tekli kristal*) haline getirildikten sonra devre elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Kimyasal işlemlerle yabancı maddelerden arındırılan ve monokristal hale getirilen germanyum ve silisyumun "iç yapısı" incelenecek olursa "kübik kafes sistemi" karşımıza çıkar. (*Şekil 2.12'ye bakınız.*) Burada, kürecikler atomları, aralarındaki çubuk yollar da kovalent (*ikili*) bağları göstermektedir.

Germanyum atomunda 32 elektron (K kabuğunda 2, L kabuğunda 8, M kabuğunda 18 ve N kabuğunda 4 elektron) bulunur. Elektronikle ilgili anlatımlarda germanyumun sadece en son yörüngesindeki dört elektrondan bahsedildiğinden, bu atomun iç yapısı basit olarak şekil 2.16-b'deki gibi gösterilir. Silisyum atomunda ise 14 elektron, (K kabuğunda 2, L kabuğunda 8 ve M kabuğunda 4 elektron) vardır. *Şekil 2.17'de 14 elektronlu silisyum atomunun basit gösterilişi verilmiştir.*

Atomların sadece en dış yörüngesinde bulunan elektronlarda elektriksel olaylar meydana geldiğinden, anlatımlarda yalnızca "en dış" yörüngeden söz edilir. Diğer yörüngelerdeki (*iç yörüngeler*) elektronlar çekirdek tarafından çok sıkı olarak çekildiklerinden buldukları yörüngeden ayrılamazlar.

Kristal yapıya sahip olmayan maddelerin elektronları kendi atom çekirdeği etrafında döner. Ancak, germanyum, silisyum gibi kristal yapıya sahip maddelerin son yörünge (*valans*) elektronları, komşu atomların her bir valans elektronlarıyla adeta bağlanmış gibi birlikte dönerler. Bunlara "ortak valans çiftleri" denir. Komşu atomlar arasındaki ortak valans bağları, atomlar arasında bir çekme kuvveti yaratır. Ancak komşu atom çekirdeklerindeki artı (+) yükler arasındaki itme kuvvetleri, bu çekim gücüne karşı koyar. Bu sayede kristal madde içinde elektriksel denge kurulur.

Kovalent bağ içinde olan germanyum ya da silisyum maddesinde elektrik akımı hareketini başlatmak için dışardan bir enerji uygulamak gereklidir. Çünkü normalde bu maddeler "yalıtkan" gibi davranırlar.

## **D-SAF OLMAYAN (KATKILI) GERMANİYUM VE SİLİSYUMUN KRİSTAL YAPISI**

### **a- P ve N tipi yarı iletken maddelerin oluşturulmasında kullanılan katkılama maddeleri**

P ve N tipi yarı iletkenler germanyum ya da silisyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla oluşturulmaktadır. Son yörüngesinde (*valans yörünge*) 3 elektron bulduran maddeler kullanıldığında P tipi bir yarı iletken oluşurken, 5 elektron bulduran maddeler kullanıldığında ise N tipi yarı iletken elde edilmektedir.

*Son yörüngesinde üç valans elektronu bulunan maddeler: İndiyum, galyum, alüminyum, bor...*

*Son yörüngesinde beş valans elektronu bulunan maddeler: Arsenik, antimuan, fosfor...*

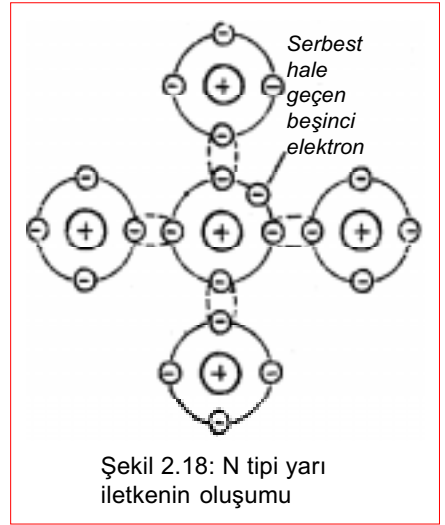
### **b- N (negatif) tipi yarı iletkenin oluşumu**

Son yörüngesinde 4 elektron bulduran silisyum ya da germanyumun içine (*yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında*), son yörüngesinde 5 elektron bulduran arsenik (*ya da fosfor, antimuan*) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Bir elektron ise boşta kalır. Şekil 2.18'de görüldüğü gibi serbest hale geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır. İşte elektron yönünden zengin olan bu karışıma N tipi yarı iletken denir.

Kristal yapı içine katılan 5 elektronlu madde bir elektronunu yitirdiği için elektriksel olarak pozitif (+) yüklü iyon duruma geçer. Bu elektriksel durum basit olarak gösterilirken, çekirdek (+) yüklü, serbest halde dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir.

N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduklarından, bunlara verici (*donör*) adı verilir.

N tipi yarı iletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için, bunlara "çoğunluk taşıyıcılar" denir. Yani, N tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde "çoğunluk" olan elektronlar görev yapar.



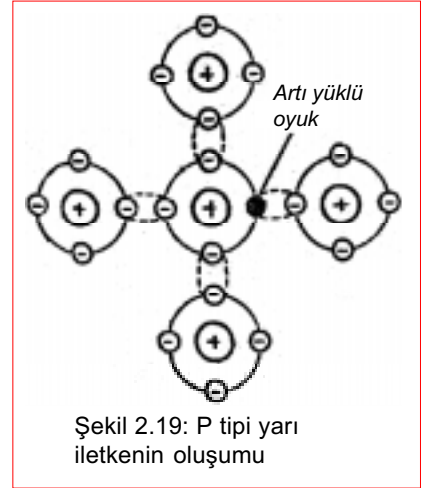
### c- P (pozitif) tipi yarı iletkenin oluşumu

Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan silisyum ya da germanyumun içine (*yaklaşık 100 milyonda 1 oranında*) son yörüngesinde üç elektron bulunan indiyum (*ya da galyum, bor, alüminyum*) karıştırılırsa, indiyumun üç elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi silisyum ya da germanyumun elektronlarından birisi ise bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister.

İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektronu ihtiyaç olan yer bir "oyuk (*hole, delik, boşluk*)" ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul edilir. Zira oyuk, her an "elektron çekmeye uygun" durumdadır. Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışıma da P tipi madde denir.

P tipi maddenin durumu basitçe gösterileceği zaman, çekirdek eksi (-) yüklü, oyuklar ise artı (+) yüklü olarak ifade edilir.

P tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (*indiyum, galyum, bor*) elektron azalmasına neden olduklarından, bunlara alıcı (*akseptör*) adı verilir.



## E- "N" VE "P" TİPİ YARI İLETKENLERDE ELEKTRON VE OYUK HAREKETLERİ

### a- N tipi yarı iletkenlerde eksi (-) yüklü elektronların hareketi

N tipi yarı iletkenlerde elektronlar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan oyuklar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır.

Şekil 2.20'de verilen bağlantı yapıldıktan sonra N tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, serbest haldeki elektronlar, gerilim kaynağının (+) ucunun çekme kuvveti ve (-) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın (+) ucuna doğru akar. Üreticinin uçları ters çevrilerek devre gözlenecek olursa elektronların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür.

**Not:** N tipi yarı iletken içinde çok az sayıda oyuk bulunması, maddenin tam saf olmamasından kaynaklanır. Bunun pratikte fazla bir zararı yoktur.

### b- P tipi yarı iletkenlerde artı (+) yüklü oyukların hareketi

P tipi yarı iletkenlerde oyuklar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan elektronlar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır.

Şekil 2.21'de verilen bağlantı yapıldıktan sonra P tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, oyuklar gerilim kaynağının eksi (-) ucunun çekme kuvveti ve artı (+) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın eksi (-) ucuna doğru akar. Üreticinin uçları ters yönlü çevrilerek devre gözlenecek olursa oyukların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür.

**Not:** P tipi yarı iletken içinde çok az sayıda serbest elektron bulunması, maddenin tam saf olmamasından kaynaklanan bir durumdur. Bunun pratik uygulamalarda zararı yoktur.

Yukarıda anlatılan iki duruma dikkat edilirse, P ve N tipi yarı iletkenlerin tek başına "her iki yönde de" akım geçişine izin verdiği görülür. Bunun uygulamada hiçbir yararı yoktur. O nedenle P ve N tipi yarı iletkenler tek başına değil, çeşitli şekillerde biraraya getirilerek "devre elemanı" yapımında kullanılır.

İşte, P tipi maddede az sayıda olan elektronlarla, N maddesinde bulunan az sayıdaki oyuklara azınlık akım taşıyıcıları adı verilir.

Yarı iletken üretim teknikleri geliştikçe % 100 saflıkta germanyum ve silisyum elde etmek mümkün hale gelmiştir. Ancak yine de yarı iletken devre elemanları bağlı oldukları devrelerde çalışırken, ısı, ışık, aşırı yük gibi etkenlerle azınlık olan akım taşıyıcılarda artış olmaktadır.

### Sorular

- 1- Elektron, proton, nötron nedir? Tanımlayınız.
- 2- N tipi ve P tipi yarı iletkenin oluşumunu şekil çizerek anlatınız
- 3- Kovalent bağ hakkında bilgi veriniz.
- 4- Molekül, iyon, element nedir? Açıklayınız.
- 5- Valans elektron nedir? Açıklayınız.
- 6- N tipi yarı iletken maddede elektron hareketini şekil çizerek açıklayınız.
- 7- Çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcıları nedir? Yazınız.

