

ATOM, İLETKEN, YALITKAN VE YARIİLETKENLER



Hedefler

- 👉 Elektriksel karakteristikler bakımından maddeleri tanıyacak,
- 👉 Yarıiletkenlerin nasıl elde edildiğini, karakteristiklerini, çeşitlerini öğrenecek, kavrayacak ve açıklayabileceksiniz.

İçindekiler Tablosu

.....	1
1. İletken, Yalıtkan ve Yarıiletkenler	3
1.1. Temel Kavramlar	3
Elektrik Yükü.....	5
Serbest Elektron.....	7
Valans Yörünge (Band).....	8
2. Elementlerin Elektriksel Davranışı	8
2.1. Yalıtkanlar	8
2.2. İletkenler.....	9
2.3. Yarı iletkenler	9
Kovalent Bağ.....	10
2.4. Atomlarda Band Yapıları	11
3. Katkılı Malzemeler (N Tipi ve P Tipi)	12

1. İletken, Yalıtkan ve Yarıiletkenler

1940'ların sonlarına doğru yarıiletken transistörün ortaya çıkmasından sonra, elektronik endüstrisinde çok hızlı gelişmeler olmuştur. Gerçekleşen minyatürleşme sayesinde, daha önceki devrelerde kullanılan tek bir elemanın boyutlarından, binlerce kat daha küçük bir alana, günümüzde komple sistemler sığdırılabilmektedir. Daha önceki yılların vakum tüplü devreleriyle kıyaslandığında, yarıiletken sistemlerin avantajları hemen görülebilir. Daha küçük ve hafif olmaları, ısıtıcı gereksinimi (tüplerde olduğu gibi) veya ısıtıcıdan kaynaklanan kayıpların olmaması, daha verimli olmaları, ısınma süresine gerek duymamaları ve fiziki olarak daha dayanıklı olmaları bu avantajlar arasında sayılabilir.

Bildiğiniz üzere bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Maddelerde atomlardan oluşmuştur. Atomlarında kendine has bir yapısı bulunmaktadır. Şimdi bu yapılara kısaca bir göz atalım.

1.1.Temel Kavramlar

Madde

Var olan 105 çeşit elementin tümü atomların birleşiminden oluşmuştur. Bunlar katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilirler.

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

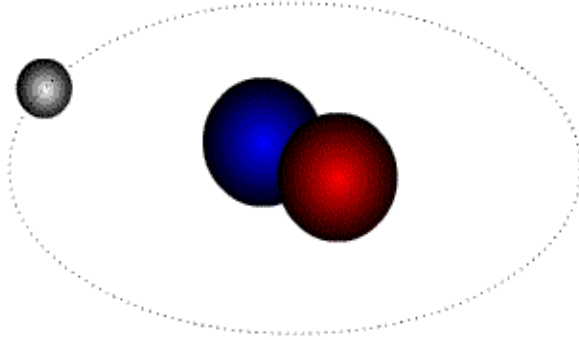
Elektronik devrelerin büyük çoğunluğu katıların iletkenliği temeline dayanılarak yapılır. Bir maddenin elektriği iletme oranı, maddenin serbest elektron üretme yeteneğine bağlıdır.

Atom

Maddenin özelliklerini taşıyan en küçük yapı taşına atom denir. Akım ve gerilimi anlayabilmek için atom ve yapısını bilmek gerekir. Atom merkezde çekirdek, bunun etrafında negatif yüklü elektronlardan oluşur. Çekirdek pozitif yüklü proton ve yüksüz nötronlardan meydana gelir. Atomu elektronlarla protonlar arasındaki çekim kuvvet bir arada tutar. Nötronlar, protonların çekirdekte bir arada tutulmalarına yardım eder. Proton ve nötronların da adına quarks denilen daha küçük parçacıklardan oluştuğuna inanılmakta ve bu konuda araştırmalar sürmektedir. Biz derslerimizi proton, nötron ve elektronu incelemekle sürdüreceğiz.

Atomun Temel Parçacıkları ile ilgili bilgiler

	Parçacık adı	Kütle(kg)	Yük (coulomb)
● Elektron: (-) Negatif yük taşır ve çekirdek etrafındaki yörüngede bulunur.	Elektron	9.11×10^{-31}	1.60×10^{-19}
● Proton : (+) Pozitif yük taşır ve çekirdekte bulunur.	Proton	1.672×10^{-27}	1.60×10^{-19}
● Nötron : (0) Yüksüzdür ve çekirdekte bulunur	Nötron	1.675×10^{-27}	0

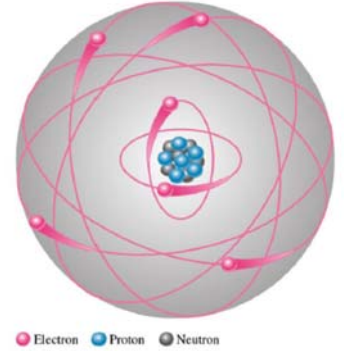


Şekil 1: Atom Yapısı

Bohr atom modeli : Atom bir çekirdek ve çekirdek etrafındaki yörüngelerde bulunan elektronlardan meydana gelir. Elektronlar yörüngelerde çok hızlı bir şekilde dönmektedir. Öyle hızlı dönmekteki, eğer biz bu kadar küçük atomu görebilseydik, bulanık bir şekil görürdük, yani elektronlar çekirdek etrafında sanki bir bulut(kabuk) meydana getiriyor.

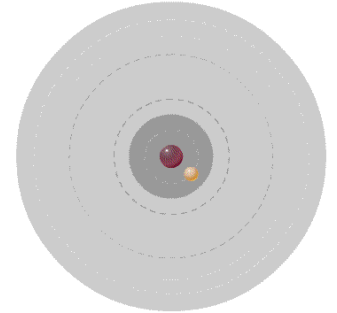
Yukarıdaki şekilde elektron sabit bir yörüngede dönüyor gibi görünmekte ise de geçte elektron her bir dönüş sonunda yörüngesi farklı bir açıda olmaktadır. Elektronların çekirdek etrafında döndüğü yola yörünge denir.

Yörüngelere ana enerji seviyeleri de denir ve yörüngeler $n=1, 2, 3, \dots, 7$ gibi ya da K, L, M, \dots harflerle gösterilir. Elektronlar sadece bu yörüngelerde hareket edebilir.

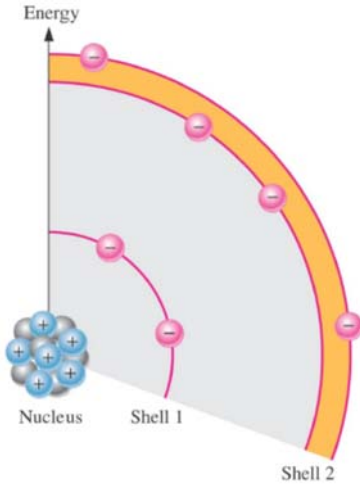


Şekil 2: Atom Yapısı

Herhangi bir yörüngede dönen elektrona enerji (ısı) verildiğinde bir üst yörüngeye geçer ve hareketine orada devam eder. Elektron bir alt yörüngeye geçerken de aldığı enerjiyi (foton) vererek bir alt yörüngeye geçer. Fotonun hareketi dalga hareketi olup, hem elektrik hem de manyetik özelliğe sahiptir. Bu nedenle buna elektromanyetik dalga diyoruz. Foton (enerji kümesi) ışığın temel yapısıdır.



Şekil 3: Atomdaki Yörüngeler



Her yörüngede belirli sayıda elektron bulunur ve iki yörünge arasında bir yerde elektron bulunamaz. Elektronlar belirli enerji seviyelerinde bulunmalarına **quantalaşma** denir. Bir yörüngedeki elektron sayısı $=2n^2$ formülü ile hesaplanır.

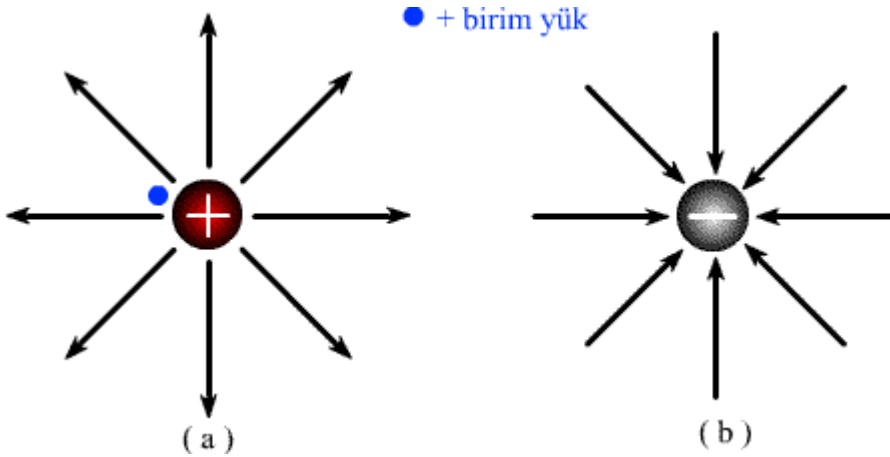
Şekil 4: Atom Yapısı ve Yörüngeler

Buna göre:

1. yörüngede $= 2n^2 = 2 \times 1^2 = 2$ elektron
2. yörüngede $= 2n^2 = 2 \times 2^2 = 8$ elektron
3. yörüngede $= 2n^2 = 2 \times 3^2 = 18$ elektron
4. yörüngede $= 2n^2 = 2 \times 4^2 = 32$ elektron bulunur.

Elektrik Yükü

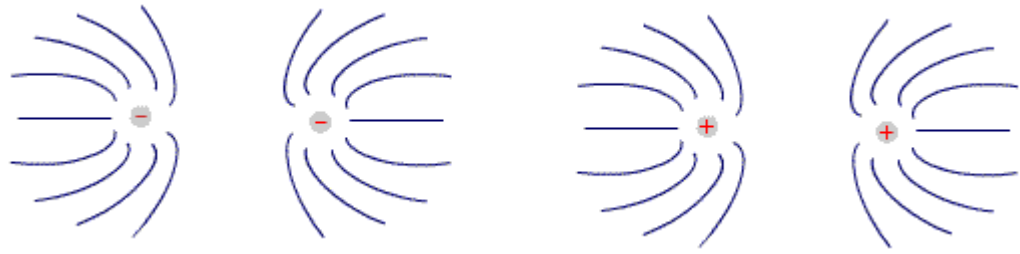
Eski çağlardan beri elde edilen tecrübelerden anlaşılan, elektrik yüklü iki cisim bir birini ya iter ya da çeker. Bu deneyler ve gözlemler sonucunda bilim adamları iki çeşit elektrik yükü tespit ettiler. Elektrik yüklerinden birine pozitif yük diğerine negatif yük denir.



Şekil 5: Pozitif ve negatif yük

Elektron, atomun en küçük ve en hafif parçasıdır. Elektronlar atom çekirdeği etrafında dönerken sabit hareketlidirler. Elektronlar negatif yüklüdürler, bunun anlamı, onların etrafı görünmez bir kuvvet alanı ile sarılmıştır. Buna elektro statik alan denir. Elektron etrafında, + birim yüke etki eden kuvvet elektrik alanının yönünü vermektedir, yani + birim yükün hareket yönü elektrik alanını yönüdür.

Proton, elektrondan hem büyük hem de ağırdır. Proton pozitif elektrik yüküne sahiptir. Bu pozitif yüklü parçacığın elektrostatik alanı, elektronun alanı ile aynı şiddette fakat ters yöndedir. Proton etrafında + birim yüke etki eden kuvvet elektrik alanının yönünü vermektedir, yani + birim yükün hareket yönü elektrik alanını yönüdür.



Şekil 6: Oluşan elektrik alan

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi aynı cins yükler birbirlerini iter, farklı cins yükler birbirlerini çeker. İki elektron birbirlerini iter, çünkü ikisi de negatif elektrik yüklüdür. İki proton birbirlerini iter, çünkü ikisi de pozitif elektrik yüküne sahiptir. Diğer taraftan, elektron ve proton birbirlerini çeker, çünkü bunlar zıt elektrik yüklerine sahiptir.

Elektron protondan çok küçük ve hafif olması ve farklı cins yüklere sahip olmaları nedeniyle bunlar birbirlerini çekmeleri sonucu elektron daha çok hareket eder. Çünkü protonun kütlesi büyük ve hareket ettirmek daha zordur. Elektron çok küçük olmasına rağmen, negatif elektrik yükü bakımından çok kuvvetlidir. Hatırlarsak, protonun boyutu elektrona göre çok büyük olmasına rağmen, elektronun yükü protonun yüküne eşittir. Bu sayede atom elektrikselsel olarak dengede kalır.

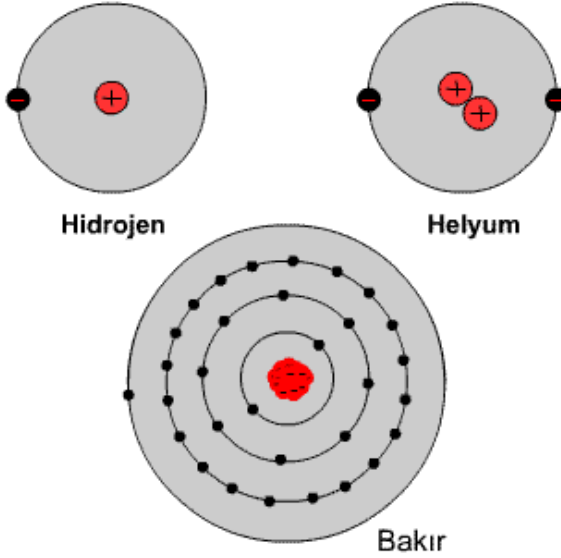
Proton ve elektronun elektrik yükleri bakımından diğer önemli bir nokta, bunlar birbirlerine uzak olduklarında, elektrik alanında birbirlerine az kuvvet uygular. Benzer şekilde, birbirlerine yakın olduklarında, görülmeyen elektrik alanı nedeniyle, birbirlerine daha büyük kuvvet uygularlar.

Serbest Elektron

Her temel element atomunda belirli sayıda elektron ve proton vardır, bu özellik bir elementi diğer elementlerden farklı yapar. Her elementte, elektron sayısı proton sayısına eşittir. Bu, elektron sayısı proton sayısına eşit olması nedeniyle meydana getirdikleri elektrostatik alanların eşit ve zıt yönlü olması, atomun yapısında elektriksel dengeyi sağlar.

Hidrojen en basit kimyasal elementtir. Çekirdeğinde bir proton ve onun etrafındaki yörüngede bulunan bir elektrondan oluşur.

Helyum atomu çekirdeğinde iki proton ve onun etrafındaki yörüngede bulunan iki elektrondan oluşur.



Şekilde görülen bakır atomunun çekirdeğinde 29 proton ve yörüngelerde ise 29 elektron vardır.

- 1.yörüngede 2 elektron
- 2.yörüngede 8 elektron
- 3.yörüngede 18 elektron
- 4.yörüngede 1 elektron

bulunur.

İletkenlerin son yörüngelerinde bakır atomunda olduğu gibi 1 elektron vardır. Bu son yörüngedeki elektron, atom çekirdeğindeki protonlar tarafından en az kuvvetle çekilmektedir. Bu nedenle son yörüngede ki elektron madde içinde başka bir atomun yörüngesine gidebilmekte ve bu elektronun boşalttığı yörüngeye de diğer bir atomun elektronu gelmektedir. İletken maddeye dışarıdan bir elektriksel kuvvet uygulandığında, son yörüngedeki elektronlar hareket ettirilebilmektedir. Bu nedenle malzemelerin elektriksel yapısını analiz etmek için son yörüngedeki elektron yapısını incelemek yeterlidir.

Valans Yörünge (Band)

Herhangi bir atomun en dış yörüngesine valans yörünge denir. Valans yörüngedeki elektronlara da valans elektron denir. Valans elektronlar herhangi bir dış kuvvetle yeteri kadar enerji (ısı gibi, ...) kazanırsa, bağlı olduğu atomdan ayrılır ve serbest elektron olur.

Valans yörüngesinde az elektron olan atomda, valans elektronlar çok küçük kuvvetle çekirdeğe bağlı ise, bu elektronlar serbest elektron olmaya meyillidir. Bakır gibi bazı malzemelerde, elektronlar atoma çok küçük kuvvetle bağlı olduğundan, hareketi esnasında komşu atomlara yaklaşır, bu durumda hangi elektronun hangi atoma ait olduğunu tespit etmek çok zordur. Normal şartlarda elektronların hareketleri tamamen rastgeledir, bunun anlamı elektronların her doğrultudaki hareketleri aynı miktardadır.

Bununla birlikte, eğer herhangi bir dış elektrik kuvveti malzemeye uygulanırsa, elektronların hareketleri tek yöne yönlendirilmiş olur ki bu harekete **elektrik akımı** denir.

Serbest elektronlara sahip olan ve elektrik akımının kolayca akmasına izin veren malzemelere **iletken** denir. Pek çok malzeme serbest elektrona sahip değildir. Bu nedenle, bu tür malzemeler elektronlarını kolayca paylaşmaya meyilli değildir ve elektrik akımını iletmezler. Bu malzemelere **yalıtkan** denir.

Bir maddenin elektriksel davranışını, o maddenin son yörüngesinde bulunan serbest (valans) elektronların sayısı belirler. Serbest (valans) elektronların sayısına bağlı olarak elementler

1. Yalıtkanlar
2. İletkenler
3. Yarıiletkenler olmak üzere üç gruba ayrılır

Şimdi bu kavramları daha detaylı olarak inceleyelim.

2. Elementlerin Elektriksel Davranışı

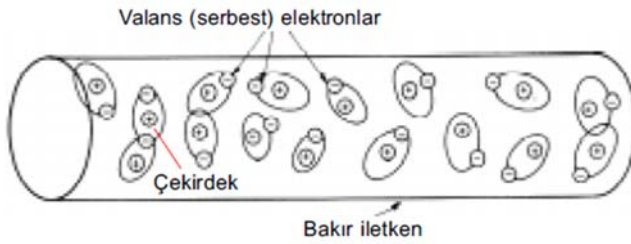
2.1. Yalıtkanlar

Elektrik akımını iletmeyen maddelere yalıtkan madde denir. Maddelerin yalıtkanlık derecesi son yörüngede(valans yörüngesi) bulunan elektron sayısının fazlalığına bağlıdır. Bu maddelerin atomlarının son yörüngesinde en fazla 8 elektron bulunur. Bu tür maddelerin son yörüngesi elektron açısından doymuş haldedir. Elektron bakımından doymuş yörüngeden elektron koparmak çok zordur. Bu durumu enerji

bandı yönünden ele alırsak, iletim bandı ile valans bandı arasındaki yasak bölge dışarıdan uygulanacak enerji ile aşılamayacak kadar geniştir. Bundan dolayı bu tür maddeler çok iyi yalıtıcıdır. Son yörüngedeki elektron sayısı azaldıkça elektron koparmak kolaylaşacağından yalıtıcılık derecesi düşer. Hava, cam, seramik, plastik, mika ve kağıt gibi maddeler yalıtıcılar grubuna girerler.

2.2. İletkenler

Elektrik akımını ileten maddelere iletken madde adı verilir. Maddelerin iletkenlik derecesi atomun son yörüngesinde yer alan valans elektron sayısı azlığına bağlıdır. Bakır, altın, alüminyum, gümüş iyi iletkenlerdir. Bunlarda valans elektron sayısı 1 ila 3 arasında değişir. Elektron sayısı 1'e yaklaştıkça iletkenlik derecesi artar yani üzerinden geçen akıma karşı daha az direnç gösterir. Örneğin Bakır elementinin son yörüngesinde 1 elektron vardır ve iyi bir iletkenidir. Diğer taraftan alüminyum elementinin son yörüngesinde 3 elektron vardır ve bu elementin iletkenlik derecesi bakıra göre daha düşüktür, yani direnci daha fazladır.



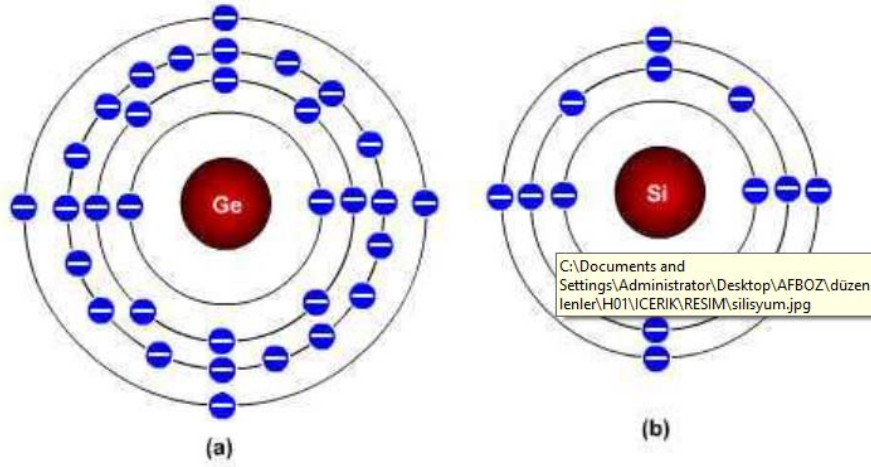
Şekil 7: Bakır atom yapısının basit olarak gösterilişi

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 bulunduran maddeler az ya da çok elektrik akımını iletirler.

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

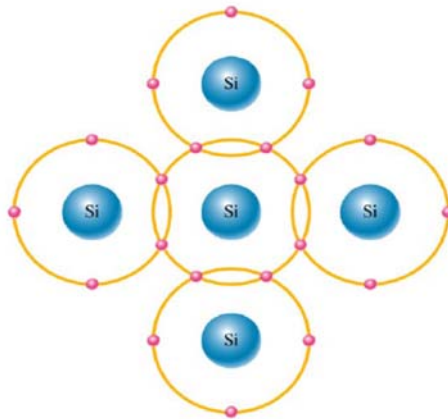
2.3. Yarı iletkenler

İletkenlikleri; iletkenler ile yalıtıcılar arasında olan (yani ne iyi bir iletken ne de iyi bir yalıtıcı olan) maddelere yarıiletken madde adı verilir. En yaygın olarak kullanılan yarıiletken maddelerden germanyum ve silisyum atomlarının Bohr modelleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'de gösterildiği gibi germanyum atomunun toplam 32 adet yörüngesel elektronu varken, silisyumun toplam 14 adet elektronu vardır. Her iki durumda da en dış (valans) yörüngede 4 elektron bulunmaktadır. Son yörüngede bulunan bu 4 valans elektronundan herhangi birini koparmak (serbest hale getirmek) için gerekli olan potansiyel enerji, yapıdaki herhangi başka bir elektronu uzaklaştırmak için gerekenden daha azdır. Hem Ge hemde Si, 4 valans elektrona sahip oldukları için tetravalans atomları olarak anılırlar.

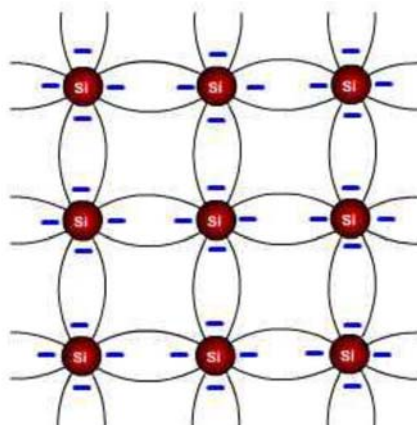


Şekil 8: Ge ve Si ait atomik yapı

Kovalent Bağ



Şekil 9: kovalent bağ



Şekil 10: Silisyum atomunun kovalent bağlaşımı

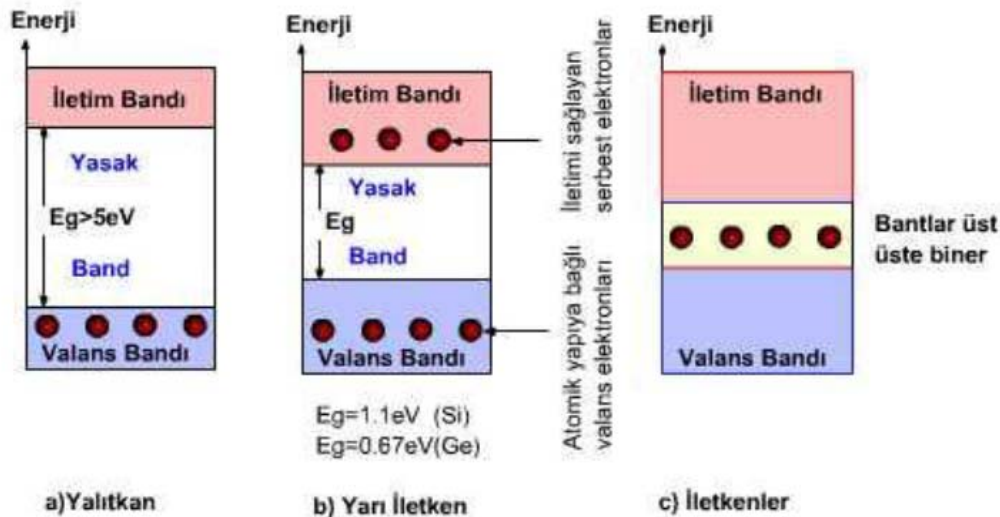
Maddelerin içinde bulunan atomların elektronları dizilirken kimyasal olarak 8'li bağlarla birbirine bağlanırlar. Son yörüngedeki elektronların paylaşılmasıyla oluşan bağlara kovalent bağ denir. Kovalent yapının oluşması için "8 elektrona" gerek vardır. Ve bu işlem yarı iletken atomlarının son yörüngelerindeki elektronların karşılıklı kullanımıyla gerçekleşir. Şekil 8 ve 9'a bakınız. Yani silisyumun (ya da germaniyumun) dört elektronu komşu silisyum atomlarının elektronlarını ortak olarak kullanır. Ortak kullandığı elektronlar hem kendi hem de komşu atom çevresinde döner. Buna "kovalent bağ" denir. Silisyum ya da germaniyum 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.

Her ne kadar kovalent bağ, valans elektronları ile ana atomlar arasında daha sağlam bir bağlaşımaya yol açsa da, valans elektronların, doğal yollarla yeteri kadar kinetik enerji alıp, kovalent bağdan koparak serbest duruma geçmeleri mümkündür. Bu doğal sebepler arasında foton şeklindeki ışık enerjisini ve çevreleyen ortamdaki ısı enerjisini sayabiliriz. Sıcaklık mutlak sıfırdan yükselmeye başladıkça, kristal yapının kazandığı ısı enerjisi nedeniyle bazı kovalent bağlar çözülerek serbest elektronlar oluşur. Oluşan bu serbest elektronlar iletkenlik oranını arttıracak ve daha düşük bir direnç düzeyine yol açacaktır.

Ge ve Si gibi artan sıcaklıkla dirençlerinde düşüş görülen maddelere, negatif sıcaklık katsayısına sahiptir denir. İletkenlerin birçoğunun ise direnci sıcaklıkla artmaktadır. Bunun nedeni, iletkenlerde taşıyıcı sayısının sıcaklık ile önemli ölçüde artmaması, fakat nispeten sabit olan konumlarının üstündeki titreşme deseninin elektronların geçişini giderek zorlaştırmasıdır. Bu nedenle sıcaklıktaki bir artış, direncin artmasıyla ve bir pozitif sıcaklık katsayısıyla sonuçlanmaktadır.

Elektron çekirdekten ne kadar uzakta ise, enerji durumu da o kadar yüksektir ve ana atomdan ayrılmış olan bir elektron atomik yapıdaki herhangi bir elektrondan daha yüksek bir enerji durumuna sahiptir. Herhangi bir yolla elektrona sahip olduğu enerjinin üzerinde bir enerji uygulanırsa ana yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye geçer. Böylece bir elektronun enerji seviyesi değişmiş olur. Her yörünge kendi alt yörüngelerine sahiptir. Kısacası, bir atomda çok sayıda ayrılmış, fakat birbirine yakın yerleşmiş enerji seviyeleri mevcuttur ve bunlar enerji bandı olarak isimlendirilir.

2.4. Atomlarda Band Yapıları



Şekil 11: Enerji Band Diyagramları

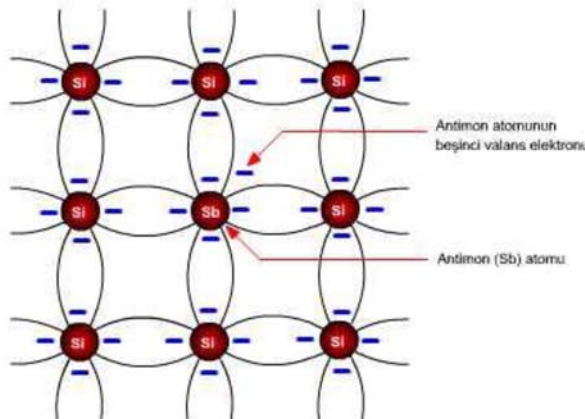
Valans bandındaki bir elektron çeşitli etkilerle bulunduğu enerji bandından koparılıp serbest hale geçirilirse, elektronun o anda bulunduğu banda "iletim bandı" denir. Elektronlar Valans ile İletim bandı arasında bulunan "Yasak bandı" kendi başlarına

geçebilecek enerjiye sahip değildirler. Elektronların bu bölgeyi geçebilmesi için dışarıdan bir enerji uygulanmalıdır. Şekil 11.a'da görüldüğü gibi yalıtkan bir maddenin yasak bölgede band genişliği $E_g > 5$ eV tur. Bu geniş yasak bant, dolu valans bandını boş iletim bandından ayırır. Böyle bir yapıda elektrona dışarıdan uygulanacak bir etki ile sağlanacak enerji, bu elektronu, dolu valans bandından boş iletim bandına geçirmeye yetmez. Elektronun dışarıdan uygulanan bir etki ile gerekli enerjiyi kazanması ve dolayısı ile iletme geçmesi çok zordur. 0°K veya mutlak sıfırda, yarıiletken maddelerin tüm serbest elektronları valans bandında bulunurlar. Ancak oda sıcaklığında ($300^\circ\text{K}=25^\circ\text{C}$) çok sayıda elektronun iletim bandına geçmesine yetecek enerjiyi (yani silisyumda $E_g=1,1$ eV'luk, germanyumda $E_g=0,67$ eV'luk yasak bant enerji aralığını atlamaya yetecek enerjiyi) aldıkları görülebilir (Şekil 11.b).

Şekil 11.c'de görüldüğü gibi iletkenlerde valans bandı, iletim bandı ile iç içedir. İkisi arasında yasak bant yoktur. Diğer bir deyişle, valans banttaki elektronlar çok küçük bir etki ile daha yüksek enerji seviyelerine geçebilirler.

3. Katkılı Malzemeler (N Tipi ve P Tipi)

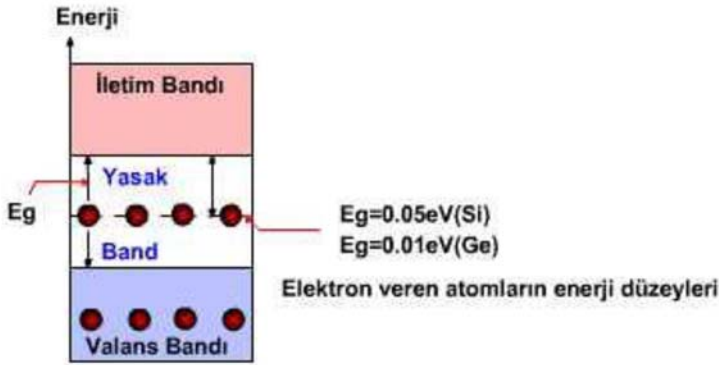
Yarıiletken malzemelerin karakteristikleri (bant yapısı, elektriksel özellikleri vs.) nispeten saf yarıiletken malzemeye bazı katkı atomları eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarıiletken malzemeye katkı malzeme denir. Yarıiletken eleman üretiminde N ve P tipi olmak üzere iki katkı malzeme vardır. Şimdi bunları ayrıntılı olarak inceleyelim.



Şekil 12: N Tipi yarıiletkende antimon katkısı

gösterilmiştir (Silisyum taban üzerine katkı olarak antimon kullanılmıştır). Katkı atomları, kristal yapıdaki bazı silisyum atomlarının yerlerini alırlar. Bunların 5 valans elektronundan dördü, kendine komşu olan silisyum atomunun birer elektronu ile kovalent bağ oluşturur. Beşinci elektron boşta kalır, bağ kuramaz. Bu elektron çok zayıf olarak kendi çekirdeğine bağlıdır.

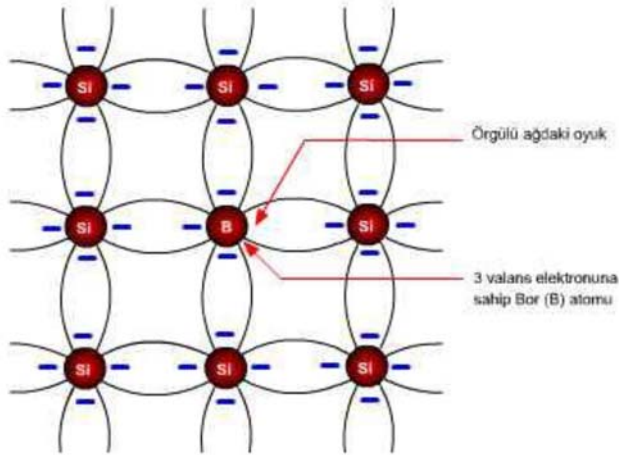
Hem N hem de P tipi yarıiletken maddeler, saf bir germanyum yada silisyum maddesine önceden belirlenmiş sayıda katkı atomu eklenmesiyle elde edilir. N tipi yarıiletken, saf bir germanyum yada silisyum kristaline antimon, arsenik ve fosfor gibi son yörüngesinde 5 valans elektrona sahip katkı maddeleri eklenerek oluşturulur. Bu katkı maddelerinin etkileri Şekil 12'de



Bu elektronu atomundan ayırmak için gerekli enerji germanyum için 0,01eV, silisyum için 0,05eV kadardır. Yukarıda açıklandığı gibi bünyesinde fazla elektron bulunan silisyum yada

germanyuma N tipi yarıiletken denir. Fazla olan elektronu verebilme özelliğinden dolayı da N tipi yarıiletkene verici madde denir.

P tipi yarıiletken, saf bir germanyum yada silisyum kristaline son yörüngesinde üç valans elektrona sahip katkı atomları eklenerek oluşturulur. Bu amaçla en sık kullanılan elementler, bor, galyum ve indiyumdur. Bu elementlerden borun silisyum taban üzerindeki etkisi Şekil 13'de gösterilmiştir.

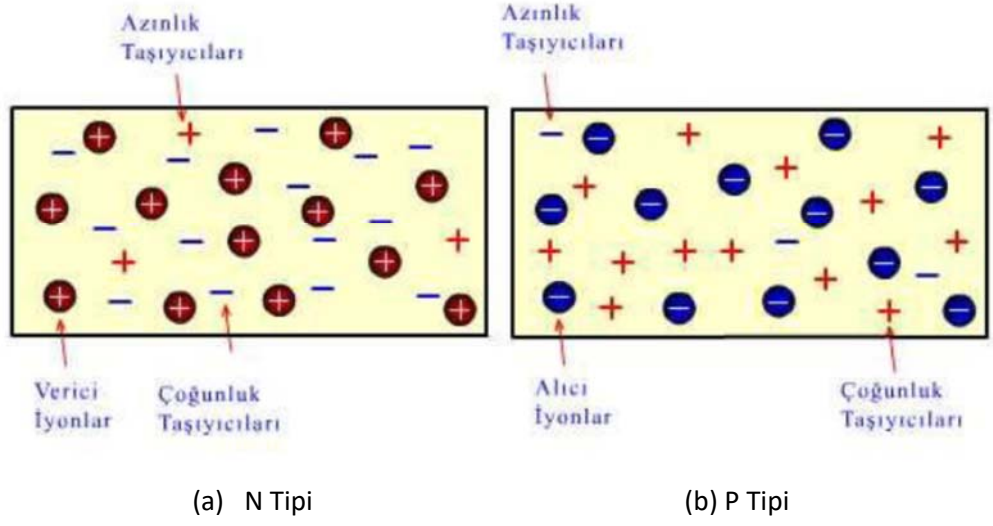


Şekil 13: P tipi yarıiletkende Bor Katkısı

Yeni oluşturulan örgüde atomların aralarındaki kovalent bağları tamamlamaları için yeterli elektron yoktur. Şekil 13'e bakıldığında Bor atomunun kovalent bağı tamamlaması için gerekli bir elektronunun eksik olduğu görülmektedir. Bu kısımda elektron eksikliğinden dolayı çıkan boşluğa **oyuk** denmektedir. Eğer diğer atomların valans elektronlarından biri kovalent bağı koparacak kadar kinetik enerji alır ve oyuğun oluşturduğu kısmı doldurursa, bu durumda elektron veren atomda oyuk oluşur. Bu durumdan dolayı elektron hareketleri sonucunda oyuklar örgülü ağda hareket ediyormuş gibi gözükür.

Saf halde, Ge ve Si 'deki serbest elektronların sayısı, sadece valans bandında bulunan ve ısı veya ışık kaynaklarından kovalent bağı koparmaya yetecek enerjiyi alan veya tam saflaştıramamaktan kaynaklanan az sayıda elektrondan oluşur. Kovalent bağ yapısında geride kalan boşluklar çok sınırlı oyuk kaynağı durumundadır. Bu nedenle N tipi yarıiletkende elektron sayısı oyuk sayısından

fazladır. Şekil 14.a'da da gösterildiği gibi elektronlara çoğunluk taşıyıcısı, oyuklarada azınlık taşıyıcısı denir. P tipi yarıiletkende ise oyuklar çoğunluk taşıyıcısı, elektronlar azınlık taşıyıcısı durumundadır (Şekil 14.b).



Şekil 14: N ve P tipi Malzemeler