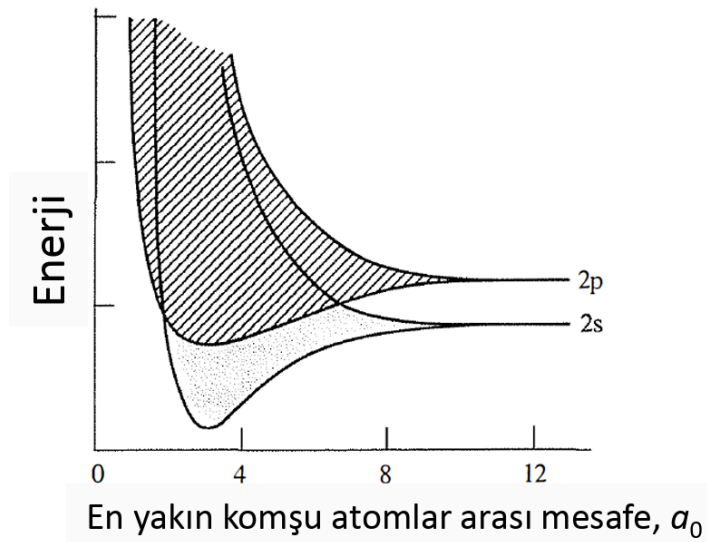
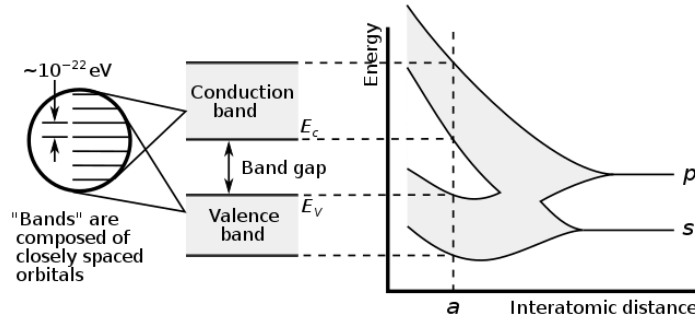


► Fizik II'den bilinmesi gerekenler

▼ Enerji / Band Yapıları

- kati halde olan bir maddeyi inceledigimizde band yapısına bakarak biz elektronların enerji araliklarini gorebiliriz. Yani, elektronların cikabilecekleri bandlar ve cikamayacaklari yasak enerji araliklari .
- temel sorumuz: atomlar yanyana geldiklerinde ne oluyor?

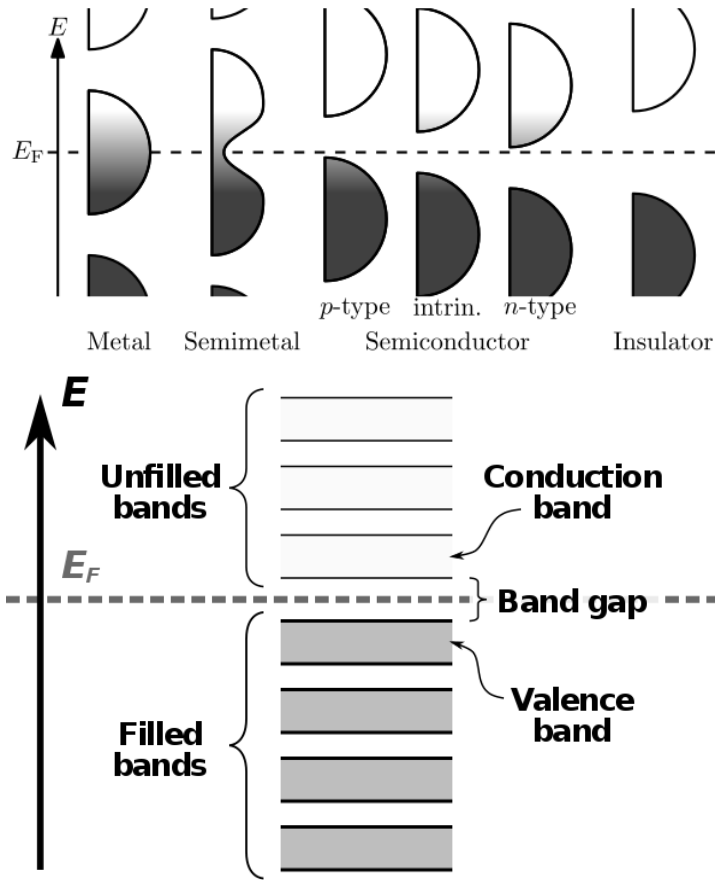


- Yukarıdaki şekilde gordugumuz gibi aynı maddenin iki atomu birbirine yaklastikca zaman surecinde olusan band ve enerji araliklari degismektedir. Bandların olusumu, en dis katmanda olan elektronların, valans elektronları, sayesinde olur. Bu valans elektronları, bağların olusumundan ve akimin iletilmesinden sorumludurlar. Cekirdege daha yakin olan elektronların orbitalleri hatiri sayilmayacak kadar kucuk derecede cakisirlar.
- Yasak enerji araliklari, bantlar tarafından “kaplanmayan” araliklardir. Bunun sonucunda, sonlu miktarda bant olusur. Bahsi gecen bantların genislikleri farklilik gostermektedir. Orbitallerin cakisma miktarina gore bu genislikler degismektedir.
- Atomlar birbirine yaklastikca bantlar genisler ve atomdan ne kadar uzaklarsa bu band o kadar genisler. Cunku orbitallerin yaricapi buyur ve bu sekilde etkilemesi daha fazla olur. Ayrica, fazla etkilesim de bant genisligini arttirir. Cekirdege yakin olanlar, daha sikli bagli olduklari icin

ve yarıcıkları da küçük olduğu için etkileşimleri çok daha azdır dolayısıyla genişlemeleri de küçüktür.

- Bunların sonucunda, artık elektronların kati boyunca hareket edebilecekleri kristal orbitalleri vardır, atomik orbitaller yerine.
- Elektronun bu kristal yapıdaki hareketi herhangi bir boşluktaki hareketinden farklı olacaktır. Disaridan kuvvet uygulandığı gibi içeriden etki eden kuvvetlerde olacaktır. (proton nötron çarptı). Bu iç kuvvetlerin etkisini hesaplamak oldukça zordur dolayısıyla etkin kütle hesabi devreye girer. Butun bunların hesaba katılması şartı ile elektrona klasik bir parçacık gibi bakılabilir ve hareketi klasik mekanikle modellenilebilir:

$$a = \frac{eE}{m^*}$$

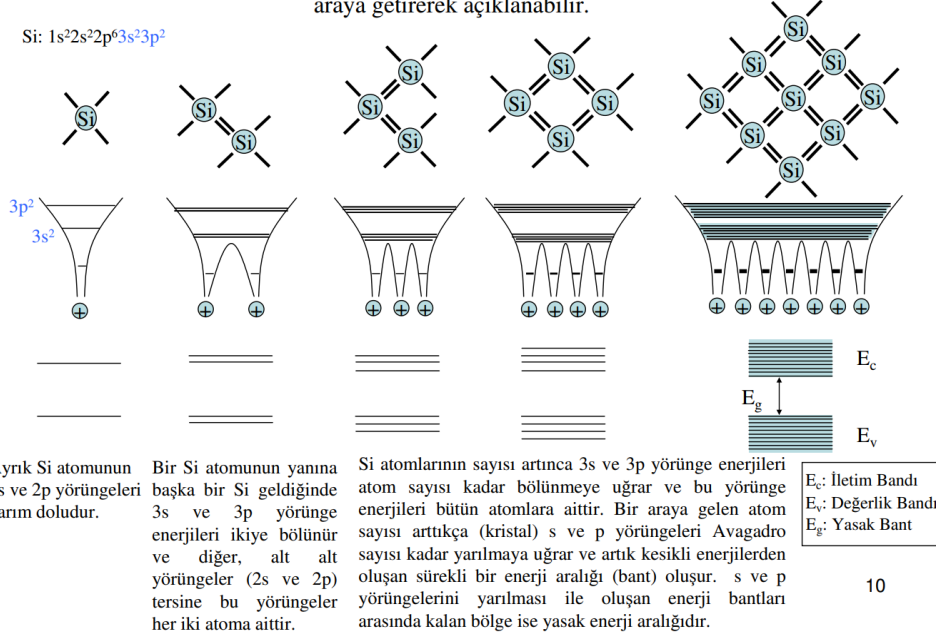


- Atomu düşünelim. Çekirdek var ortada ve onun etrafında elektronların **izinli** ve **izinsiz** bölgeleri var.
- Elektron, bulunduğu konumunu değiştirecekse bağlama göre bir enerji almalı ya vermesi gerçekleşir. Çekirdekten uzaklaşmak için enerji alırken yaklaşmak için enerji verir.

Yarıiletkenlerde Enerji Bantlarının Oluşumu

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

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



10

Kucuk bir ozet

- Herhangi bir elementin elektriksel iletkenliğinden bahsedebilmek için öncelikle valans elektronlarının serbestce hareket edebilecekleri bir kristal yapının olması gerektiğini öğrendik.
- Metallerden örnek alacak olursak bazılarının valans bandının yarım dolu olduğunu oburlerinin ise tam dolu biliyoruz. Sodyumun son yörüngesi $3s^1$ olup yarım doludur. Bu elementin atomları bir araya geldiklerinde bir kristal yapı oluşturup valans elektronlarının serbestce hareket edebilecekleri bir ortam oluşturdıklarını öğrendik. Peki, Magnezyum gibi metallerde son orbital boş olmadığı halde iletkenlik gösteren ve valans elektronları serbest bir şekilde dolayan elementlerdeki durum nasıl? Onlarda bir sonraki band zaten valans bandının üzerine çakışmış durumdadır. Yani, elektronların gezebilecekleri yer zaten var.
- Yalıtkan ve Yarıiletkenlerde durum farklıdır. Onların valans bantları zaten dolu durumdadır ve elektronların serbest gezebilecekleri bir yer yoktur. Dolayısıyla, bir enerji verip bu elektronları bulundukları banddan atlatıp başka boş bir banda geçirtme cabasıdayız. Yalıtkanlarda bu mümkün değil. Yalıtkanların yasak enerji aralığı oldukça büyüktür ve yarı iletkenlerden farkı odur. Yarı iletkenlerin yasak enerji aralığı makul olduğu için valans elektronlarına belli bir miktar enerji vererek onları bir sonraki boş banda geçirme ihtimalimiz var.

▼ Elektron Mobilitesi

- Kati hal fiziginde, bir elektronun belli bir manyetik alan tarafından çekilirken herhangi bir metal veya yarı iletkenin içinden ne kadar hızlı gezebileceğini anlatan kavramdır mobilite.
- Bir Elektriksel Alan uygulandığında, elektronlar ortalama hız şeklinde ifade edilen bir **drift hızı** ile cevap verir.

$$v_d = \mu E.$$

- Peki, sabit olmayan bir hız olduğuna göre bu hızı sebep olan bir ivme ve bu ivmeye sebep olan bir kuvvet olsa gerek. Bu kuvvet elektriksel alanın sebep olduğu kuvvet.

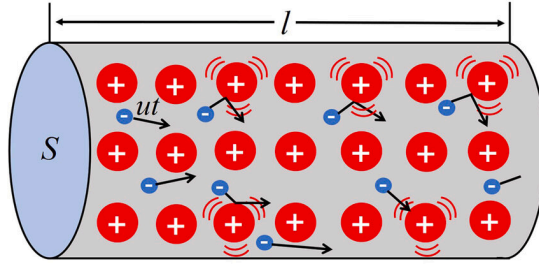
$$F = -eE.$$

- Mobilitenin formülüne gelecek olursak,

e : elektron yükü

t_c : bir elektronun tekrar carpana kadar gedirdigi süre.

$$\mu_e = \frac{e\tau_c}{m_e^*}$$



▼ Maddelerin özelliklerine göre sınıflandırması

İletkenler (Metaller) :

- Değerlik elektronları bir **elektron gazı** oluşturur ve belirli bir iyonla bağlı değildir

$$\sigma = 10^{-4} - 10^{-6}$$

- Sıcaklık arttıkça iletkenlik azalır.
- Zaten bütün valans elektronları iletim bandında olduğu için verilecek olan sıcaklık elektronların ve iyonların **stresini** artırarak mobilitenin azalmasına neden olacaktır dolayısıyla iletkenlik de azalır.

Yarı iletkenler:

- Coughnulukla kovalent bağlanma ve zayıf bağlar.

$$\sigma = 10^{-4} - 10^{10}$$

- Hem iletken hem de yalıktan yapmak mümkün.
- Katkılama ve sıcaklık ile yük taşıyıcı sayısı ve cinsi değişebilir.
- Katkılama ile yapı içerisinde yapısal E.
- Sıcaklık arttıkça iletkenlik artar.
- Valans bandında çıkmayı bekleyen elektronlar bulunmaktadır. Verilecek ısı ile bu elektronlar iletim bandına çıkacaklardır. mobilitenin azalma durumu tabii ki de vardır ancak iletim bandına çıkan elektron sayısı oldukça büyük olduğu için her türlü iletkenlik artmış olur.

Yalıtkanlar :

- Degerlik elektronlari sikica baglanir (veya bireysel atomlarla paylaşılr) en güçlü iyonik (kısmen kovalent) bağlanma.

$$\sigma \geq 10^{10}$$

- Butun elementlerin iletkenlik skalasina bakacak olursak en kucuk ve en buyuk elementler arasindaki farkin 10^{20} oldugunu gorebiliriz. Bu genis araligin baska hic bir ozellikte bulunmadigini bilelim. Sebebi de yukarida acikladigimiz gibidir.
- Butun metallere (iletkenler) baktigimiz zaman bunlari iletkenlik degerleri birbirlerine oldukca yakindir. Keza ayni durum yalitkanlar icin de gecerlidir.
- Ayni sicaklikta silisyuma gore germaniymun iletim bandinda daha fazla elektronun bulunma sebebi, germanyumda yasak enerji araliginin daha kucuk olmasidir.

▼ Bipolarlık

- Yari iletkenlerde, belli bir enerji verip valans elektronlarinin bir kismini iletim bandina gecirdikten sonra kovalent baglarini kirip ancak iletim bandina gececek kadar yeterli enerjiye sahip olamayan elektronlari yaptigi sey uygulanan manyetik alanin yonune dogru olusan bosluklara gecmektir. Bu hareketlilik ayrica bir iletkenlik kazandirir ve bu iletkenlik hesaba katilir
- Bosluk hareketinin yonu elektronun hareketine ters olmakla beraber elektrik alaninin yonuyla aynidir.
- Iletim bandina gecen elektronlari mobilitesi valans bandinda hareket eden elektronlari mobilitesinden daha buyuktur. Bu elektornlar tekrar bosluga gecip bag kurduklari ve cekirdege daha yakin olduklari icin mobiliteleri kucuktur iletim bandindaki elektronlari mobiletsinden.
- Valans bandindaki elektron lokalize dir ve iletim bandindaki elektron serbest tir.
- Bipolar iletkenlik: hem elektronlar hem bosluklar yuk tasiyicisidir.

▼ Yariiletken tipleri

- 4.Grup elementler temel yari iletkenlik ozellik gosteren elementlerdir.
- Asal = Saf = Intrinsic
- Saf yari iletkenler tek atomluk da bulunabilir bilesik halinde de: GaAs
- Carbonun degisik formlari degisik iletkenlik ozellikler gosterir.
- Katkili -> n-tipi ve p-tipi.
- Katiklama mevzuu iletkenligi elimize verir. Artik istedigimiz gibi ayarlayabiliriz.
- Asal iletkenler de: $p_i = n_i$

Asal

$$\sigma = e(p\mu_p + n\mu_n)$$

$$p_i = n_i$$

- $p_i \cdot n_i = n_i^2 = p_i^2$

- $E_g = E_c - E_v$

- E_g : Yasak Enerji Araligi

E_c : Iletim Bandinin Dibi

E_v : Valans Bandinin Tavani

- $$N = \int_{E_1}^{E_2} N(E) dE$$

- E1 ve E2 arasinda bulunan N tane izinli enerji durumu.

- $$N_C(E) = \frac{1}{2\pi\hbar^3} (2m_e^*)^{3/2} \sqrt{E - E_C}$$

- $$N_V(E) = \frac{1}{2\pi\hbar^3} (2m_h^*)^{3/2} \sqrt{E_V - E}$$

- VB : Valans Bandi icin birim hacimde yogunluk.

- CB : Conduction Bandi icin birim hacimde yogunluk.

Fermi Enerjisi

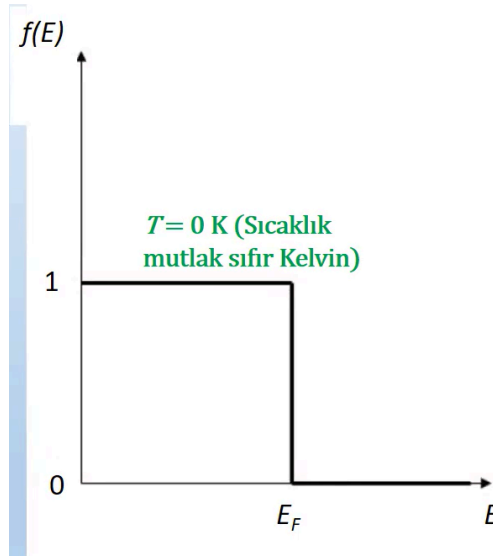
- Bir kristal elektronu mevcut en dusuk enerjili seviyeyi isgal eder.
- Sanal bir enerji seviyesi olup saf iletkenlerde yasak araligin ortasindadir.
- E_f seklinde gosterilir.
- Bir kristalde elektronun alabilecegin en yuksek enerji olarak tanimlanir.
- Kristal surekli dengededir ve kendi enerjisini durduk yere degistiremez. (d'Alembert Prensibi)
- Elektronlar mevcut orbitallere Pauli ilkesine gore yerlesirler **ters-spin** .

- Yari iletkendeki iletkenlik ve valans bandindaki izinli enerji seviyelerinin sayisina **Durum** **Yogunlugu** ve **N(E)** durum yogunlugu denir.
- Tam Spin -> **Bozon**.
- Yari Spin -> **Fermiyon**.

Dagilim Fonksiyonu

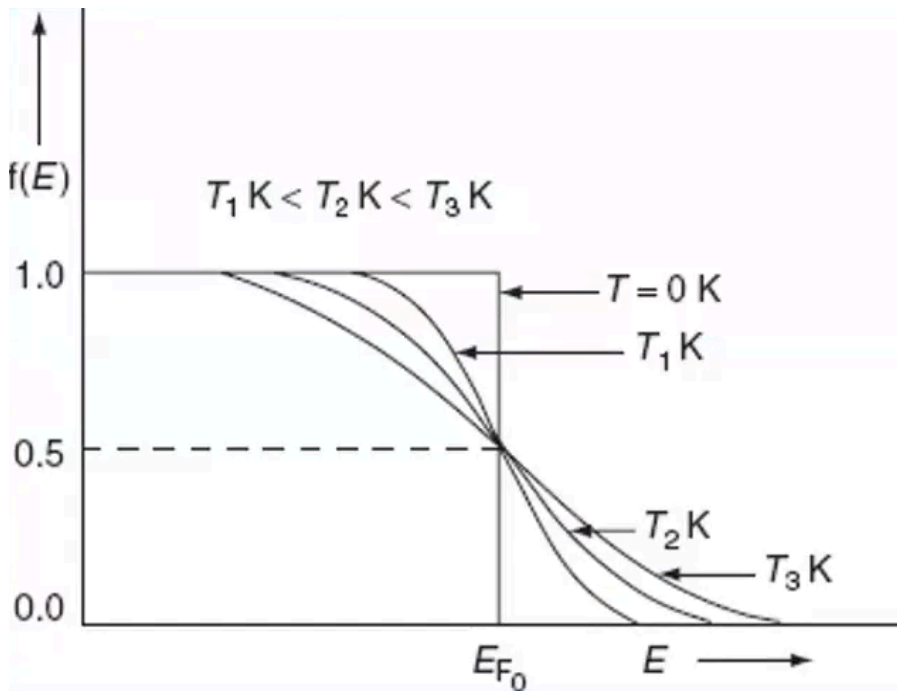
- **Fermi-Dirac dagilim fonksiyonu**: Belirli bir sicaklikta YI valans ve iletim bandlarindaki elektronlarin denge durmunun dagilimini, enerjinin fonksiyonu olarak tanimlar.

- Belirli bir E enerjili seviyenin belirli bir sıcaklıkta bir elektron tarafından isgal edilme olasılığıdır. bu olasılık 0 ve 1 arasındadır.
- isgal edilmeme olasılığı $1-f(E)$ şeklinde hesaplanarak 1 elektronun varlığını temsil ederken 0 yokluğunu temsil etmekte.



$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/k_B T}}$$

- Bu durumda T değerini 0K alırsak her türlü sonsuz a gideceğini biliyoruz. Ancak, eksi sonsuz mu artı sonsuz mu onu $E - E_F$ belirleyecektir. Seçtiğimiz E değeri Fermiden büyükse eğer yani iletim bandında ise E üzeri sonsuz olup değerimiz 0 olacaktır. Aksi takdirde, seçtiğimiz E değeri Fermiden küçükse yani valans bandı ise E üzeri - sonsuz olur ve 1 değerini alırız. Bu takdirde şu yorumu yapabiliriz: 0K'de iletim bandında elektron bulunmaz iken valans bandında bulunur.



Sıcaklık Değişimi ile elektron dağılımı fonksiyonu.

- Eger E sayisini fermiye esit alirsak elektron dagilimi %50 yi verir. Bu da fermi araliginin sanal oldugunu gosterir.
- Eger $E - E_f$ sayisinin sonucu $k_B T$ den oldukca buyukse yanindaki 1 ihmal edilir ve soyle bir denklem cikar:

$$Ae^{-E/k_B T}, \text{ Boltzman Dagilimi}$$

- Bu deger bize sunu soyluyor: *senin enerjin hangi banda cikmana izin veriyorsa oraya cikarsin, hehrangi bir engel yok.*
- Eger $E - E_f$ sayisinin sonucu $k_B T$ den oldukca kucukse sonuc 1 olur. Bu bize sunu soylemekte: *sen sicakligi ne kadar artirirsan artir cekirdege daha yakin olan elektronlari sokemezsin.*

Elektron Yogunlugu

$$n(E_1, E_2) = \int_{E_1}^{E_2} N(E) f(E) dE$$

Bunun uzerinden bit kac yorum:

- Mutlak sifir sicaklikta iletkenlik bandinda bulunan elektron yogunlugu:

$$n_{CB} = \int_{E_c}^{\infty} N(E) f(E) dE = 0$$

- Mutlak sifir sicaklikta valans bandinda bulunan elektron yogunlugu:

$$n_{VB} = \int_{-\infty}^{E_V} N(E) f(E) dE$$

$$p_{VB} = \int_{-\infty}^{E_V} N(E) [1 - f(E)] dE$$

- Asal Yariiletkende Serbest Elektron Yogunlugu

$$n_i = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right)$$

- Asal Yariiletkende Serbest Elektron Yougunlugu2

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left\{-\frac{E_g}{2K_b T}\right\}$$

- Asal Yariiletkende Bosluk Yogunlugu

$$p_i = N_v \exp \left(-\frac{E_f - E_v}{k_B T} \right)$$

▼ Katkili yari iletkenler

n-tipi

- Pratikte bir YI'in iletkenligini artirmak icin sicakligi yuksek tutmak pek tercih edilmemektedir. Ayni zamanda, islem zorlugundan dolayi daha iletken olan Germanyum kullanilmamaktadır. Cozum: Katkili yari iletken.
- n_i -> saf yari iletkende serbest elektron.
- n -> katkili yari iletkende serbest elektron.
- p_i -> saf yari iletkende bosluk sayisi.
- p -> katkili yari iletkende bosluk.
- n-tipi icin katkı olarak secilecek maddenin element grubu 4. grup tan buyuk olmasi beklenir. Tercihcen, 5.grup . Bu hesaplamalarimizi kolaylastirir ve yeterli iletkenligi cekmemize sebep olur.
- Katkı olarak secilecek maddenin As oldugunu varsayarsak bu As atomunun her biri sisteme fazladan 1 elektron saglar. Bu elektronlar yasakli enerji araliginda konumlanarak fermi enerji seviyeseini yukari tasirlar.
- 0K Sicaklikta bu kattigim elektronlarin tamamı E_c nin hemen altindadir.
- Sicakligi artirmaya basladigimiz anda butun bu kattigimiz elektronlar hemen iletim bandinda cikar. Normal elektronlarda ,her zamanki gibi, valans bandaindaki elektronlarin bir kısmi iletim bandina cikmistir.
- 10^{20} kadar elektron kattigimizi varsayarsak ve onun yaninda da valans bandaından 10^{15} elektronun iletim bandina ciktigini soylersen bu bize sunu gosterir: cogunluk yuk tasiyicilari serbest elektronlardir bosluklar onlarin yaninda hic bir seydir. Saf atomdan gelen elektron sayisi katkili olanından o kadar az ki ihmal edilebilir.

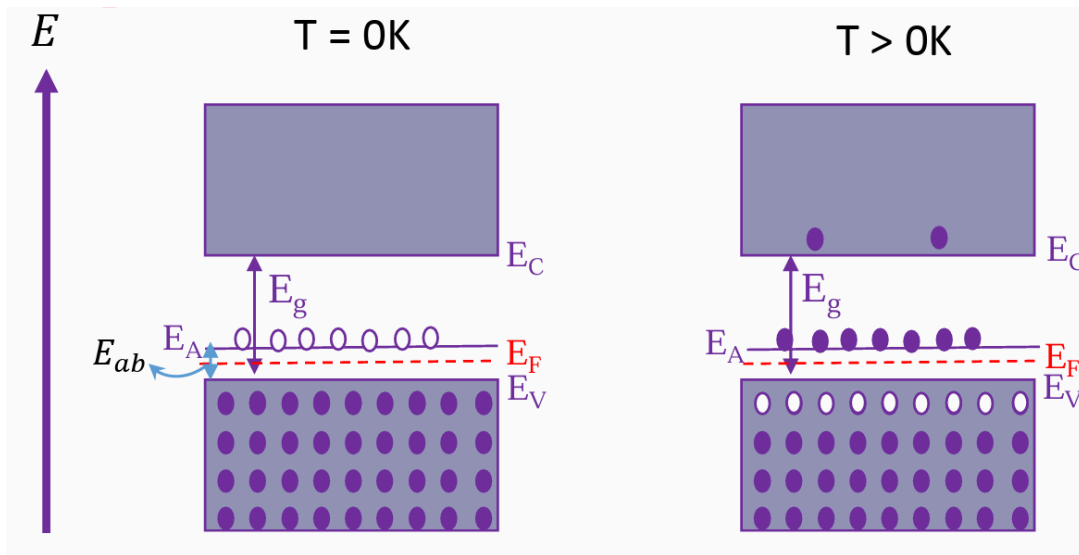
$$n = n_i + N_D$$

$$N_D \gg n_i \text{ ise,}$$

$$n = N_D$$

$$\sigma = N_D e \mu_n$$

- Bu tip safsizliklarla uretilen iletken n_{tipi} yari iletken denir.



Fermi Seviyesinin Yeri

n-tipi yari iletkende:

$$n = N_c \exp \left(-\frac{E_c - E_F}{k_B T} \right)$$

$$E_F = E_c + K_B T \ln \left(\frac{n}{N_c} \right)$$

$$n = N_D$$

- Katkili maddenin miktarini arttirdikca **iletim** bandina yaklasan bir **E_F** soz konusudur.

p-tipi yari iletkende:

$$n = N_v \exp \left(-\frac{E_f - E_v}{k_B T} \right)$$

$$E_F = E_c - K_B T \ln \left(\frac{p}{N_v} \right)$$

$$p = N_A$$

- Katkili maddenin miktarini arttirdikca **valans** bandina yaklasan bir **E_F** soz konusudur.

Kompensasyon

- Pratikte bir yari iletkeni sadece **n-tipi** veya sadece **p-tipi** yapmak istemeyiz. p ve n tiplerini bulundurmak isteriz tek bir hacimde.
- Silisyumun erime sicakligina cok yakin bir degerde firin kurup onun icine silisyum yerlestirip sonrasinda herhangi bir gazi (bor veya foshor) iceri dogru gonderdigimiz zaman difuzyon olur ve o gazin atomlari araya sikisir.
- Koydugumuz silisyumun **p-tipi** oldugunu varsayarsak onu notr edebilecek (bor gazi) gonderdigimiz zaman silisyum **saf** ozellik gostermeye baslar. Tabii, giderek gaz gonderilirse

n-tipine donusur .

- Belli bir bolgede hem donor hem akseptor varsa kimin sayisi daha buyukse ilgili bolgenin karakterini o belirler.

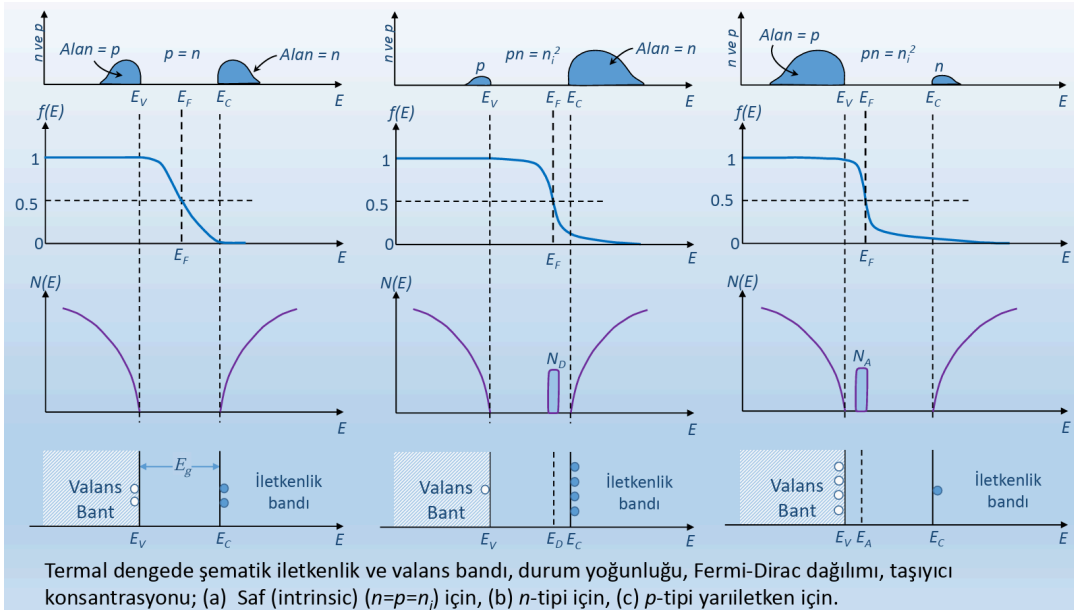
$$n - N_D = p - N_A$$

$$n_0 = \frac{(N_d - N_a)}{2} + \sqrt{\frac{(N_d - N_a)^2}{4} + n_i^2}$$

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0}$$

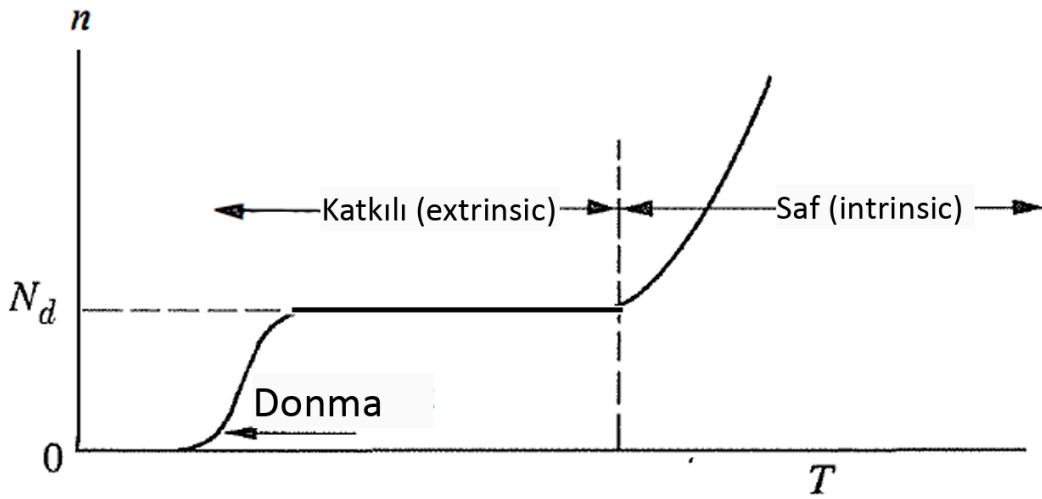
Tipe gore n ve p dagilimleri.

- Asal Yariiletkenlerde: ne kadar bosluk varsa iletim bandinda o kadar elektorn vardır. Yani dagilim simetriktr.
- n-tipinde: iletim bandindaki elektron sayisi valans bandinda olusan bosluk sayisinda cok daha fazladir.
- p-tipinde: Valans bandinda olusan bosluk sayisi iletim bandinda olan elctron sayisindan cok daha fazladir.



Sicakliga gore katkili madde konsantrasyonu.

- Elektron yogunlugu, belli bir sicaklik araliginda gittikca artmaya devam eder. Ta ki plateau'ya gelene kadar. bu artma sirasinda aslında enerji iyonlasma icin harcanir ve donor elektronlarin tamamini iletim bandina cikana kadar devam eder. Tamami ciktikten sonra belli bir sicaklik araliginda konsantrasyon sabit kalir. ve bundan KATKI MADDESİ sorumludur. Ardından valans bandinda elektronlarin enerjisi yasak enerji araligini gecmeye yeterli olur.



▼ Akim Mekanizmaları

Suruklenme Akimi: Ancak ve ancak belli bir elektrik alanı sayesinde yuk paracaikari hareket edebilirler, suruklenebilir, ve buna suruklenme akimi denir.

Difuzyon Akimi: Ancak ve ancak belli bir ısı enerjisi sayesinde gerçekleşir. Serbest elektronların, veya boslukların, yogun oldukları yerden seyrek olduğu yere hareket etmeleriyle ortaya çıkan bir akim turudur.

Ikisi soz konusu olabilir !

$$I = I_s + I_d$$

Akim

Elektron hareketinin tersine gerçekleşen ve belli bir optansiyel fark altında oluşan bir niceliktir.

J : Akim Yogunlugu | σ : Oz iletkenlik | n : yuk tasiyisi yogunlugu

$$\sigma = nq\mu \quad | \quad I = \frac{dQ}{dt} \quad | \quad J = \frac{I}{A} = nq\vec{v}_s = \sigma \vec{E}$$

Suruklenme

- n-tipi yariletkenlerde yuk tasiyicilari, serbest elektronlar, elektrik alanin tersine dogru hareket ederler.
- p-tipi yariletkenlerde yuk tasiyicilari, bosluklar, elektrik alanin yonune dogru hareket ederler.

- Elektrik Alanı yokken: Serbest yuk tasiyicilari yapinin icersinde rastgele hareket yaparak bu kaotik ortamın içindeki hızları 0dir.
- Elektrik Alanı varken: Serbest yuk tasiyicilari yapinin icersinde elektrik alanin tersine dogru hareket ederek suruklenirler .

$$\mu_n = \frac{e\tau_n}{m_n^*} \quad \mu_p = \frac{e\tau_p}{m_p^*}$$

- Bir elektronun mobilitesi, katkılama ve sıcaklık miktarına bağlı olarak değişir.
- Elektron yapının içinde gezerken saçılma sonucunda yer değiştirmesi 2 sebepten dolayı olabilir: Fonon veya İyonlar .

Saf yari iletkenlerde sadece Fonon veya örgü saçılması gerçekleşir . Bu saçılma türü yari iletkenin atomumundan kaynaklanır. Katkili yari iletkenlerde sadece Fonon söz konusu değildir. Maddenin kendi yapısından kaynaklanan atomların itmesinin yanında katkili maddenin iyonları da söz konusudur.

- Katkili YI'lerde, sıcaklık arttıkça mobilite azalır. Sebep: Fononların titreşiminin artması.
- Katkili yari iletkenlerde, katkı maddelerinin iyonları yüzünden mobilite her türlü azalacaktır. Ne kadar katkı varsa mobilite o kadar azalır. Ayrıca katkı miktarı artınca azalış eğimi de azalmaktadır. Yani, çok katkili bir yari iletkenin sıcaklık arttıkça mobilitesi az azalırken az katkili yari iletkenin mobilitesi çok daha hızlı azalır.
- Katkili yari iletkenlerde, katkının iyonları ile oluşan tepkiler Colomb Tepkileridir .

Difüzyon

- Isının etkisiyle, yari iletkenin belirli bir bölgesinde serbest elektronların yoğun olduğu yerden daha seyrek oldukları yere gitmeleriyle oluşan akım tipidir.
- Bu etki foton isinlarıyla olabilirken iki farklı tipe yari iletken birleştirildiği zaman compensation sırasında olabilir.
- $T = 0K$ 'de difüzyon akımı yoktur.
- Bunun sonucunda termal hız v_{th} oluşur $t \rightarrow$ ortalama serbest zaman. $l \rightarrow$ ortalama serbest yol :

$$v_{th} = \frac{l}{t}$$

- Elektronlar (-1 , $+1$) aralığında hareket ederken oluşan akım yoğunluğunu hesaplayabilecek bir formüle ihtiyacımız var:

$$J_n = -eF_n = e v_{th} l \frac{dn}{dx} = e D_n \frac{dn}{dx}$$

$$J_p = -eF_p = e v_{th} l \frac{dp}{dx} = -e D_p \frac{dp}{dx}$$

- D_n ve D_p bir sabit olup hızın geçen yol ile çarpılmasıdır.
- Diferansiyeller de

$$D_n = \mu_n \frac{kt}{q}$$

$$D_p = \mu_p \frac{kt}{q}$$

$$J_{top} = (J_{surk} + J_{difü})_n + (J_{surk} + J_{difü})_p$$

$$J_{top} = (en\mu_n + eD_n \frac{dn}{dx}) + (ep\mu_p - eD_p \frac{dp}{dx})$$

$$J_{top} = (Eqn\mu_n + EqD_n \frac{dn}{dx}) + (ep\mu_p - eD_p \frac{dp}{dx})$$

$$I_{topAkim} = AJ_{top}$$

Hall Olayi

- Elektrik alan uygularken manyetik alan da uygularsak ne olur? sorusunun cevabi.
 - Yani, bir elektrik alan uygulandiginda ani zamanda manyetik alan uygularsak iletim bandaindaki serbest elektronlara ne olur?
 - İlk once **metallerde** inceleyelim. Metaller, tasiyici elektron konsantrasyonu degismeyen bir madde olarak bilinir.
 - Normal sartlarda metal bir cisim alip uclarina potansiyel fark uyguladigimiz zaman, akim onun icinden bekledigimiz sekilde **dogrusal** ilerler. Ancak manyetik alanin kuvvetine tabi tutarsak bu cismin serbest yuk tasiyicilari biraz daha egrisel bir yol cizer ve metal cismin diger uclarina dokunmaya baslar. Bu uclara da voltmeter baglarsak artik bir potansiyel fark degeri de okuyabilecegiz.
 - **Yari iletkenlerde** duruma bakalim. Dik dortgen prizmasi seklinde bir cisim hayal edelim. Bu cismin uclarina potansiyel fark olusturacak sekilde bir uretec baglarsak **negatif** kutbundan **pozitif** kutbunda dogru bir elektron hareketi baslar. Bu bize **Elektriksel Kuvveti** gosterir. Elektriksel kuvvet varsa ona sebep olan bir alan da vardir. Elektriksel alan da akimin yonuyle birlikte hareket etmektedir. Ayrica **Manyetik alan** da uyguladigimiz icin, parcaciklara bir baska yonde manyetik kuvvet de etki edecektir. bu ters iki kuvvet, **manyetik vs elektriksel**, esitlenene kadar voltage degeri degismektedir. Elektronlarin yogunlastiklari bolge ve voltagin baglanma yonu bize bu cismin **n-tipi** mi **p-tipi** mi oldugunu gosterecektir.
- Optik Ozellikler