

Maddelerin Elektriksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Metaller $\rightarrow \rho = 10^{-6} - 10^{-4} \Omega \text{ cm}$

Yarıiletkenler $\rightarrow \rho = 10^{-4} - 10^{10} \Omega \text{ cm}$

Yalıtkanlar $\rightarrow \rho \geq 10^{10} \Omega \text{ cm}$

Özdirenç ($\rho, \Omega \text{ m}$): Matlamenin elektriksel akıma karşı bir tür direncidir.

$$\rho = \frac{1}{\sigma}, \quad R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

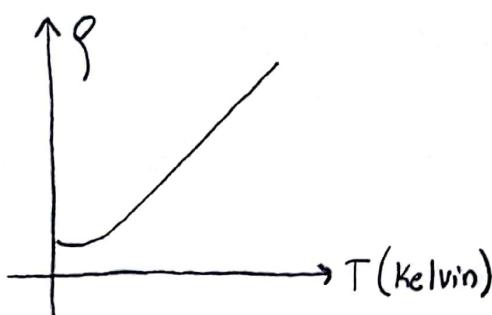
n : taşıyıcı yük konsantrasyonu

e : elektronun yükü

M : elektronun mobilitesi

Özdirenç Ve Sıcaklık

• Metal



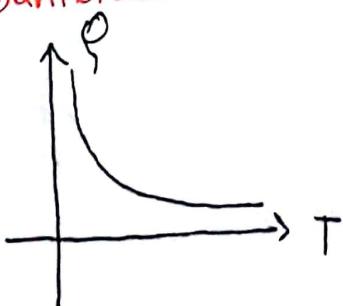
$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T), \quad \alpha = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$$

α : iletim katsayısı

ρ_0 : 0 Kelvin metalin özdireci

T artırsa $\rightarrow n \uparrow \mu \downarrow$

• Yarıiletken



$T=0$ Kelvin iken
iletkenlik yok

$$\rho = A \cdot \left[\exp(E_g/k_B T) \right]$$

A : Sabit (malzemeye bağlı)

E_g : Yasak Bant Genişliği

k_B : Boltzman Sabiti

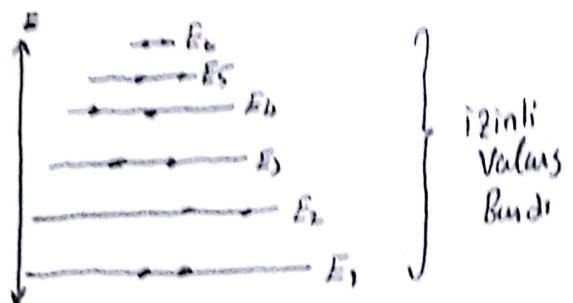
T : Kelvin



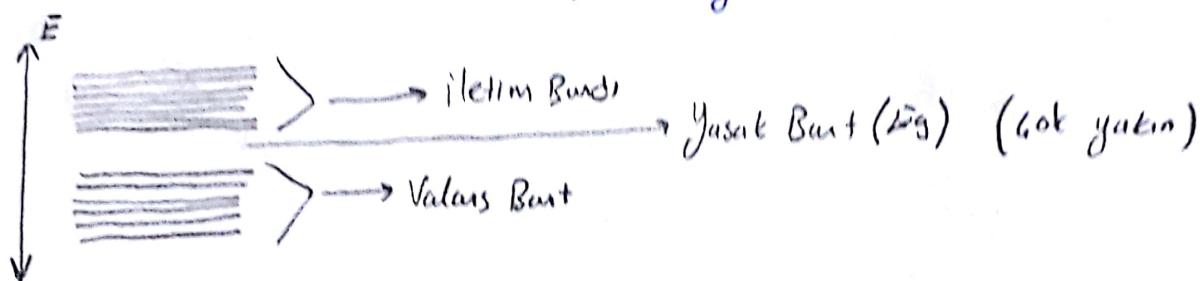
Enerji-Bant Diyagramları

• Metaller

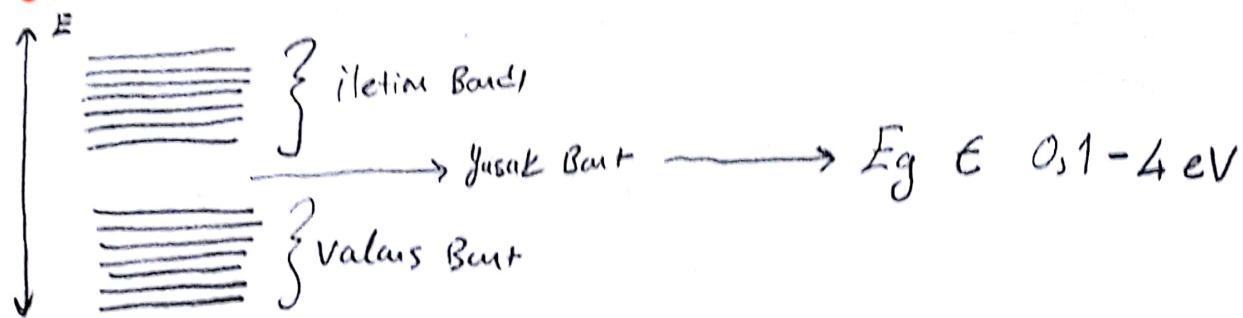
a) Valans Bant Kismi Doludur



b) Valans Bant e^- 'lari tam dolu fakat E_g az



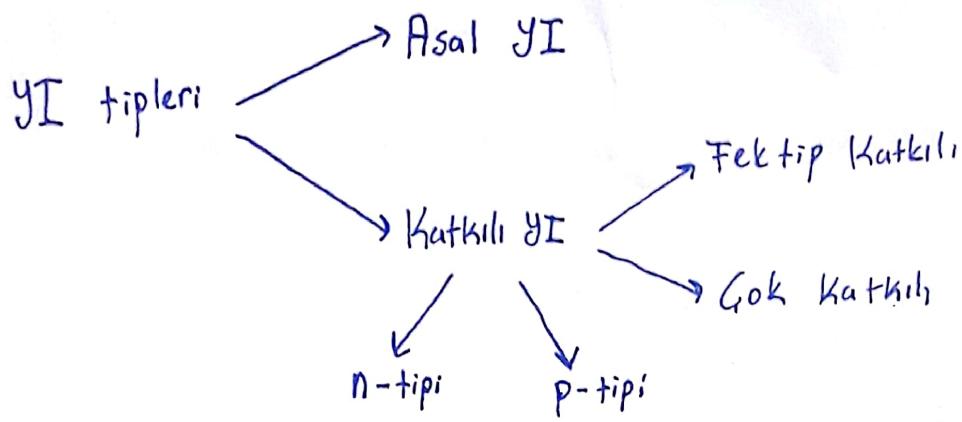
• YI



Metaller $\longrightarrow E_g \cong 0,1 \text{ eV}$

Yarıiletkenler $\longrightarrow 0,1 \text{ eV} \leq E_g \leq 4 \text{ eV}$

Yalıtkalar $\longrightarrow E_g \geq 4 \text{ eV}$



Asal Yarımiletken

S_i, Ge, \dots

Dis kabukta $4e^-$ bulunur. Koraleit bağ kurarlar. $T=0K$ 'de yalıtkandır.
Şıkkılık arttıkça bağ kırılmaları meydana gelir.

Enerji kazanan e^- 'lar valans bandından iletim bandına sağlanır.

→ Disardan bir potansiyel fark uygulandığında iletim bandındaki e^- 'lar Coulomb kuvvetiyle hareket etmeye başlar. Valans bandındaki e^- 'lar da Coulomb kuvveti etkisiyle boşluklara ilettilerler. Arkasında yeri bir boşluk bırakırlar. Bu hareket döngüsünde içinde akım gider YI 'nın.

→ Serbest elektronlarla boşluk sayısı eşittir.

$$n_p = n = P$$

$$n_p = B \cdot T \cdot \exp(-E_g / K_B T)$$

n : Serbest e^- sayısı

P : Boşluk sayısı

n_i : e^- veya boşluk Konsentrasyonu

B : Sabit

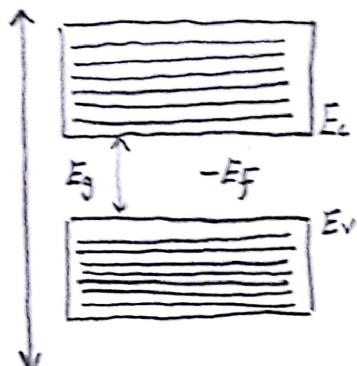
T : Kelvin

E_g : Yasak Band Genişliği

K_B : Boltzmann sabiti

Asal Yarıiletken Fermi Enerji Seviyesi

Fermi enerji seviyesi, $T=0\text{K}$ 'de, valens bandının sahip olduğu en yüksek enerjilerdir.



$$E_F = \frac{E_c + E_v}{2} = \frac{E_c - E_v}{2}$$

n-tipi Yarıiletkenler

- Antimon (Sb), Fosfor (P), Arsenik (As) gibi...
- 5 valens e^- sahip olan elementlere asal YI katkıları.
- $5e^- \Rightarrow$ yarıiletkele kovalent bağ kurmayı.
- n-tipi yarıiletkeerde yük taşıyıcıları e^- lardır.

İsıl denge durumunda \Rightarrow Serbest e^- sayısı

$$n_p^2 = n_{no} P_{no}$$

$$n_{no}$$

$$n_{no} \cong N_A$$

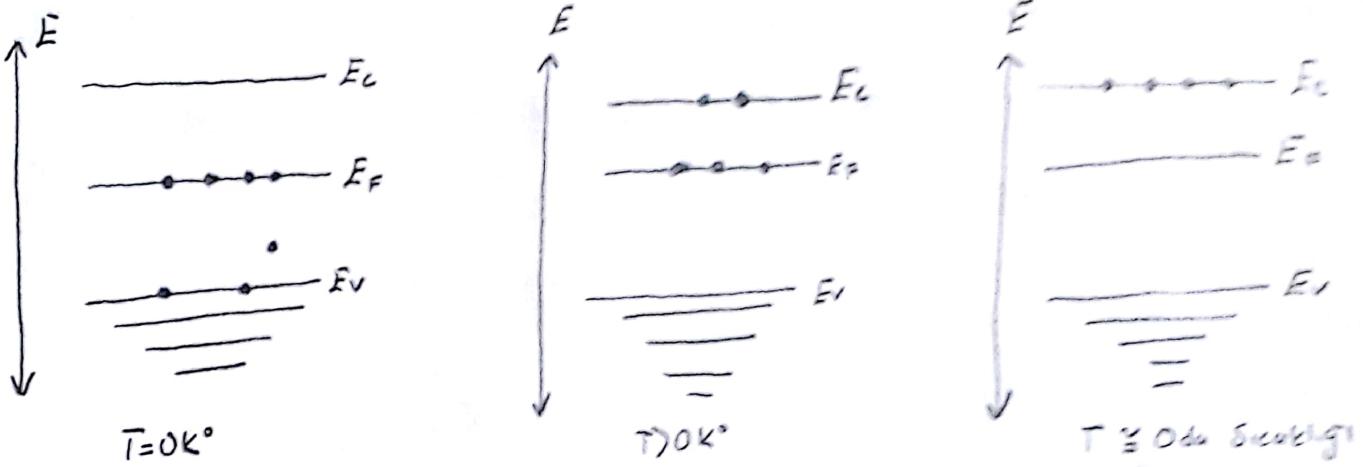
↓
Katılıcı atom sayıısı

n_p = Katılıcız YI e^- sayısı

n_{no} = n-tipi YI e^- sayısı

P_{no} = n-tipi YI boşluk Konsentrasyonu

n-tipi YI Enerji Seviyeleri



p-tipi Yumilemek

→ Bor (B), Alüminyum (Al) gibi 3 valans e^- 'lu elementlerin yumilemek için kristal şebekesine katkısına ile p-tipi YI elde edilir.

→ 4 valans e^- 'lu bir YI, 3 e^- 'lu element ile katkılırsa bılgaların birinde boşlukta sahip olur.

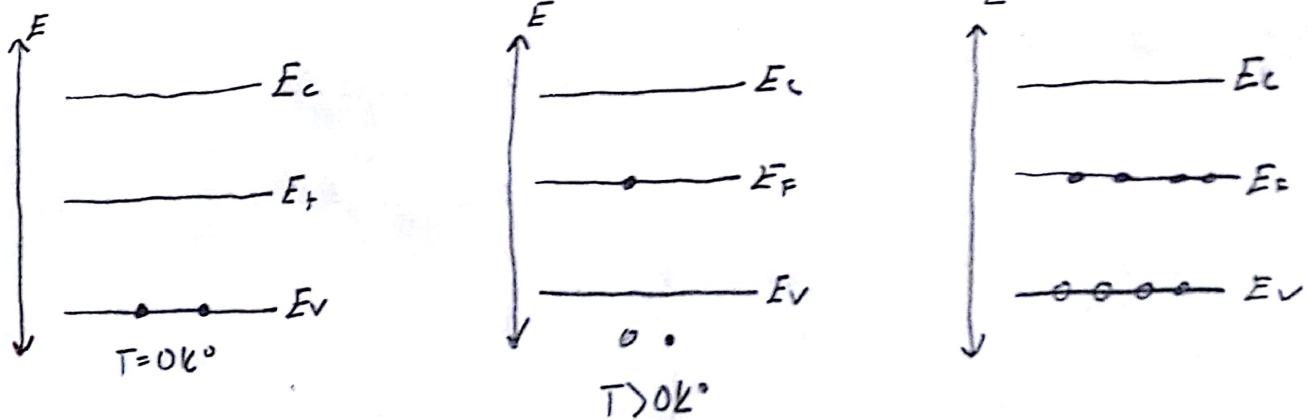
$$\rightarrow P_{po} \approx N_A , \quad n_p^2 = n_n o \quad P_{po}$$

$$n_{po} = \frac{n_p^2}{N_A}$$

n_{po} = p-tipi YI e^- sayısı

P_{po} = p-tipi YI boşluk sayısı

p-tipi YI Enerji Seviyeleri



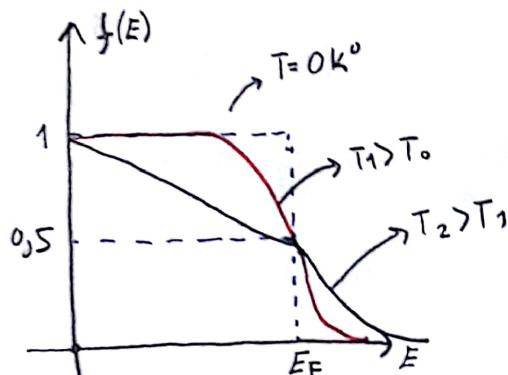
Denge Durumunda YI Tüsyici Konsentrasyonu Enerji ve Durum Yoğunluğu

YI enerji düzeylerinin e^- 'lər (fəniyon) dolu olma olasılığı YI'ın temel özellikləridir.

Fermi - Dirac Hal Fonksiyonu

$$f(E) = \frac{1}{[1 + \exp(E - E_F / k_B T)]}$$

Bir enerji seriyesinde e^- bulunma olasılığını verir.



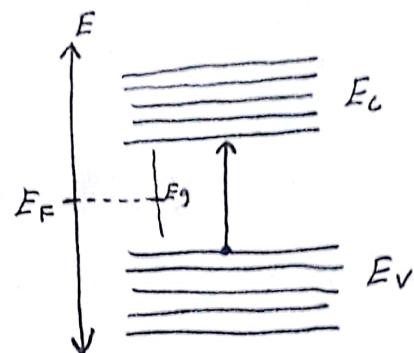
$T_0 = 0 K^\circ$ iken

$$E < E_F \implies f(E) = 1$$

$$E > E_F \implies f(E) = 0$$

E : Herhangi bir enerji Seriyesi

E_F : Fermi enerji Seriyesi



$T > 0 K^\circ$ iken

$$E - E_F \ll k_B T \implies f(E) = 1$$

$$E \gg E_F \implies f(E) = 0$$

$$E - E_F \gg k_B T$$

$$\Downarrow$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right)}$$

$$= \exp\left(\frac{E_F - E}{k_B T}\right) = \exp\left(\frac{E_F}{k_B T}\right) \cdot \exp\left(\frac{-E}{k_B T}\right)$$

$$f_n(E) + f_p(E) = 1$$

\downarrow \downarrow

e^- nün boşluğun
valus
burdında
bulunma
olasılığı

e^+ nün
valus
burdında
bulunma
olasılığı

Etkin Kötles Kristal içindeki e^- hareketi, Kristal potansiyeli nedeni ile serbest e^- 'nun hareketinden farklıdır.

$$e^- \longrightarrow$$

$$e^- \longrightarrow$$



- $m_n^* = m_e^* = e^-$ 'nun etkin kütlesi

- Kristal potansiyel içinde hareket eden e^- 'nun kütlesine etkin kütle denir.

~~Asal YI Yek Tusuya Konstrasyonu
Ve Fermi Enerji Seviyesinin Yesi~~

$$n = p = n_p = p_i$$

$$n_p = N_c \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_C}{k_B T}\right) \quad , \quad p_i = N_V \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$$

$$N_c = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot m_n^* \cdot k_B T}{h^2} \right)^{3/2}$$

$$N_V = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot m_p^* \cdot k_B T}{h^2} \right)^{3/2}$$

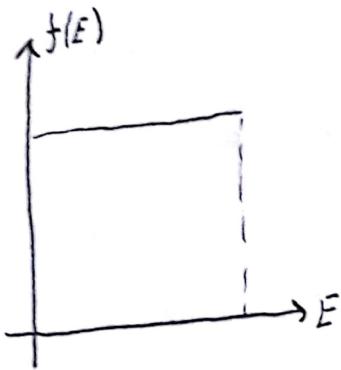
N_c : iletim bandındaki etkin durum yoğunluğu

N_V : Valans bandındaki etkin durum yoğunluğu

$$n_p = (N_c \cdot N_V)^{1/2} \cdot \exp\left(-E_g / 2k_B T\right)$$

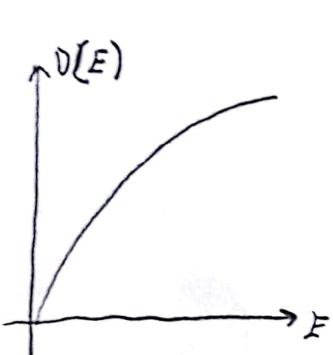
e^-	$m_e^* = m_n^*$	p_i $m_p^* = m_h^*$	e^- 'nun $m_e = m_0$ bos uzaydaki kütlesi	$k = h / 2\pi$
-------	-----------------	--------------------------	--	----------------

YI Enerji - Durum yoğunluğu



$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right)}$$

$$D(E) = \frac{4\pi}{h^3} \left(2m_n^*\right)^{3/2} E^{1/2} \quad \begin{array}{l} \text{Bant-durum} \\ \text{yögenliği} \end{array}$$



$$n_i = \int D(E) F(E) dE$$

$$n_i^0 = 2 \cdot \left(\frac{2\pi k_B T}{h^2}\right)^{3/2} (m_n^* m_p^*)^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{2k_B T}\right)$$

Asal YI Fermi Enerji Seviyesinin Yeri:

$$n = p = n_i^0 = p_i^0$$

$$N_c \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_C}{k_B T}\right) = N_v \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$$

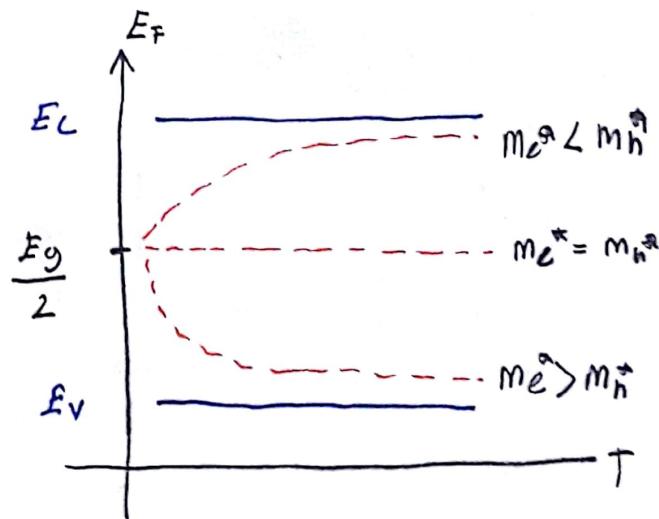
$$E_F = \frac{E_g}{2} + \frac{3}{4} k_B T \cdot \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right)$$

$$T=0 K^{\circ} \text{de } m_h^* = m_e^*$$

Olur

ve

$$E_F = \frac{E_g}{2}$$



Valans Bant: Bir atomik kabuğın ditzilmiş elektronları belirli enerji seviyesine sahiptir. Elektron çekirdektenden uzaklaşılıcaya enerji seviyesi artar. Elektronun enerjisi elektrik ilet, ısı veya ışık şeklinde olabilir. Eğer elektronların enerji seviyeleri, kendilerini yörüngeye tutan çekirdeğin pozitif yükün enerjisinden daha fazla ise bu serbest elektronlar valans bandında bulunur.

İletim Bandı: Elektronların çekirdek tarafından engellenmeden yarı serbest bir halde giriip çıkışabilikleri, madde içerisinde serbestçe dokunabilikleri, ısıt ve elektrik iletkenliği sağlayan bant.

Yasak Bant: Elektronların kristal katılar içерisinde bulunamayacakları enerji seviyelerine yasak bant denir.

Difüzyon Akımı: Yarıiletken maddede taşıyıcı yüklerin çok yoğun ortamdan az yoğun ortama hareket ederken oluşturduğu akım denir. Kristal içinde yük yoğunluğunun gradyanının değişmesinde ötürü olur.

$$J_n(\text{dif}) = e \cdot D_n \cdot \frac{dn(x)}{dx}$$

$\phi \rightarrow$ birim yüzeyden geçen serbest yük taşıyıcısı

$$J_p(\text{dif}) = -e \cdot D_p \frac{dp}{dx}$$

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = -D \cdot \left(\frac{dn(x)}{dx} \right)$$

yük taşıyıcı hareketi

hobtan
uzak
coru

Selbst yok taşıyors!

Fonksiyon
görüyor

Katki işlevi
atomları

Mobiliteye
sabit işlev
eğer
gözveriyor.

Yok taşıyıcı iletimi

\vec{E}
Sıkılaşan
Akım

Yayınlık
Difüzyon
Akımı

Sıkılaşan Akımı: Elektronlar ve boşluklar \vec{E}' 'da etkileşiklerinden ikisi de elektriksel iletkenlige katıldı bulunur. Boşlukların ve elektronların \vec{E}' 'de olduğu hareket etmesiyle YI 'de net bir akım olur.

Mobilite: Mobilite birim elektrik alanındaki parçacığın sıkılaşan hızıdır.

Yarılışken Formül / Anlamları

$$n_p = N_c \cdot \exp\left(\frac{E_f - E_v}{k_B T}\right)$$

$$n = N_c \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{2k_B T}\right)$$

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

$$\mu_n = v_s \cdot \vec{E}$$

$$\rightarrow (\text{cm}^2/\text{Vs})$$

$$C = n \cdot e \cdot \mu_n$$

$$C = n \cdot e \cdot \mu_n + p \cdot e \cdot \mu_p \rightarrow \text{Bipolar //}$$

$$C = n_i e (\mu_n + \mu_p) \rightarrow n = p = n_i$$

Elektron ve boşluk yoğunluğu

Mobilité, elektrik alan, sırçılma hızı

$N_d = K / N_p = K \rightarrow n$ tipi ve p tipi katkısı atomları

$C = n \cdot e \cdot \mu_n$

$n + N_d \approx N_d$

$C = N_d \cdot e \cdot \mu$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad / \quad \rho = \frac{1}{C} \quad / \quad R = \frac{1}{C} \cdot \frac{l}{A} \rightarrow \text{Direng / Özdirenga / İletkebilik}$$

$$n_i = A \cdot T^{3/2} \cdot \exp(-E_g/2k_B T) \rightarrow \text{Tasıyıcı yoğunluğunun sıcaklığına bağımlılığı}$$

$$E_f = \frac{E_g}{2} + \frac{3}{4} k_B T \cdot \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right) \quad / \quad E_f = E_c + k_B T \cdot \ln\left(\frac{n}{n_c}\right) \quad / \quad E_f = E_v - k_B T \cdot \ln\left(\frac{p}{n_v}\right)$$

Asal YI E_F yeri

$T = 0K$ için

$m_h^* = m_e^*$ olur

$$E_F = \frac{E_g}{2}$$

n -tipi YI E_F yeri

p -tipi YI E_F yeri

$$E_f = \frac{\hbar^2}{8m} \left(\frac{3n}{\pi}\right)^{2/3}$$

$$U_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

1 m^3 'e n elektron düşüyorsa
V'ye X . Avogadro sayısı tane

$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_f}{k_B T}\right)} \longrightarrow \text{fermi dirac enerjili seviyesinin yesi}$$

$$N_{CB} = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (2me^*)^{3/2} (E - E_C)^{1/2} \longrightarrow CB \text{ etkin durum yoğunluğu}$$

$$N_{VB} = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (2m_h^*)^{3/2} (E_V - E)^{1/2} \longrightarrow VB \text{ etkin durum yoğunluğu}$$

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

n_i^2 → Etkinlik ve azınlık yük taşıyıcı konserasyonu

$$p = \frac{n_i^2}{n}$$

$$N_C = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_n^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2}$$

$$N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_p^* k_B T}{h^2} \right)^{3/2}$$

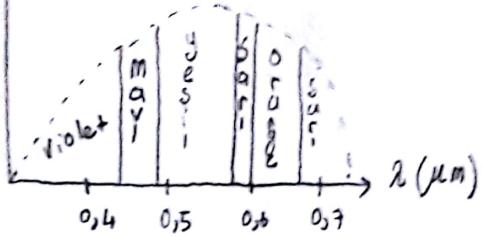
N_C → Etkin (efektif) durum yoğunluğu
 N_V → Etkin (efektif) durum yoğunluğu

$$n_i^2 = n_C \cdot n_P = N_C \cdot N_P \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{k_B T}\right) \longrightarrow \text{Asal çok taşıyıcı yoğunluğu}$$

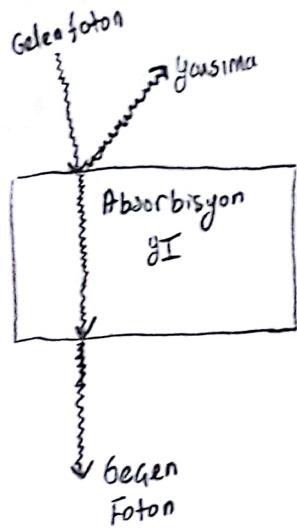
$$p = \frac{n_i^2}{n} \rightarrow VB \text{ boşluk yoğunluğu}$$

$$j_{top} = n q \mu_n \vec{E} + q D_n \frac{dn}{dx} = 0 \longrightarrow D_n = \mu_n \frac{k_B T}{q}$$

Yamiletken Optik Özellikleri



Foton \sim YI etkileşmesi



$$E = h \cdot V = \frac{1,24 \text{ eV}}{\lambda (\mu\text{m})}$$

- Bir γ I'ne foton gönderildiğinde yayılma, absorbsiyon ve germe davranışlarından biri veya birkaç gerçekleşir.
- γ I'nın optik özellikleri kırılma indis ile karakterizedilir.

Reel Kism \rightarrow Imaginer Kism \rightarrow Dielektrik fonksiyonu
 $n^* = n_r - K_i = \sqrt{\epsilon}$

$$n_r = \frac{c}{\gamma} \rightarrow \text{isik hızı}$$

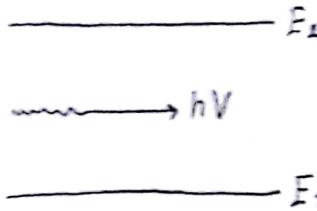
$\gamma \rightarrow \text{malzeme içindeki hızı}$

$K = \text{Zayıflatma Katsayıısı}$
 $n_r = \text{kırılma indisı}$

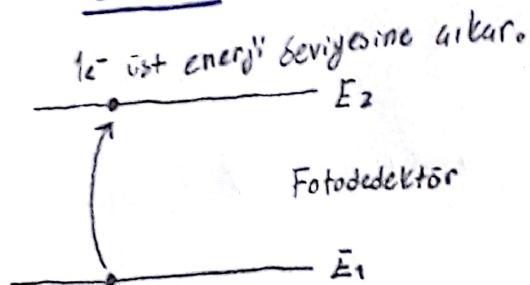
Fotonun SI Üsteme

Düşmesi ile s

Once



Sonra



Absorbsiyon

e^- ıst enerji seviyesine ait.

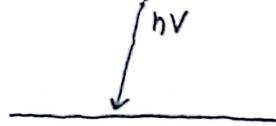
E_2

Fotodetektör

E_1

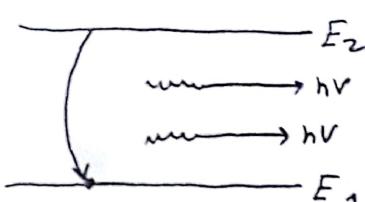
Spontan Emission

LED



Uyarılmış Emisyon

Laser



E_2

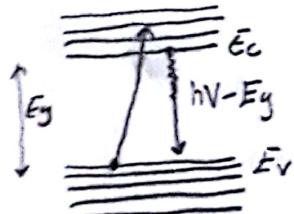
$h\nu$

E_1

Optik Sogurma

Dis bir etki (foton) ile uyarılma yopildiginda iletim ve values bairdında fazlalar e^- ve bosluk olur. Fazlalik taşıyicilar ıslı dengede olmadıkları için, dis etkinin halkması ile tekrardan birleserek denge durumundaki degerleine gelmeye calisırlar.

Eger $h\nu > E_g$ ise uyarılan e^- 'lar iletim bairdında yüksek bir enerji seviyesine gitmekten sonra enerjilevini kristale verir ve ardindan iletim bairdından values bairdına gecerek ıslıma yapar.



$$\alpha = A_s (h\nu - E_g)^\gamma$$

$$n_r = \frac{c}{v}$$

R = Yansıtma katsayısı

$$I = I_0 \exp(-\alpha \cdot d)$$

T = Optik geçirgiligi

$$T \cong (1 - R^2) \exp(-\alpha d)$$

d = Madde kalınlığı

I_0 = gelen ıslık şiddeti

I = gecen ıslık

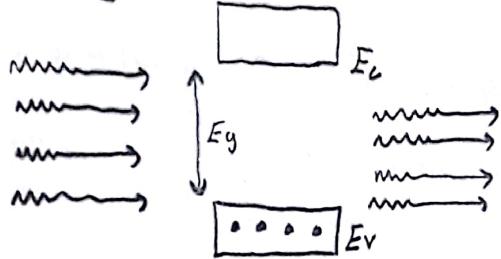
d = Sogurma katsayısı

↳ maddenin

$$R = \frac{(n_r - 1)^2 + k^2}{(n_r + 1)^2 + k^2}$$

Ks ortamin sonum katsuyisi

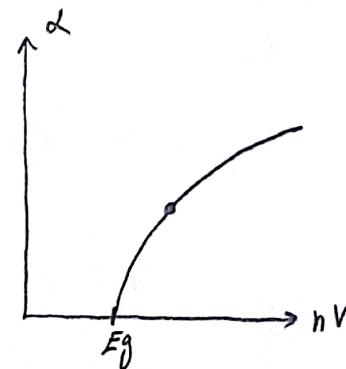
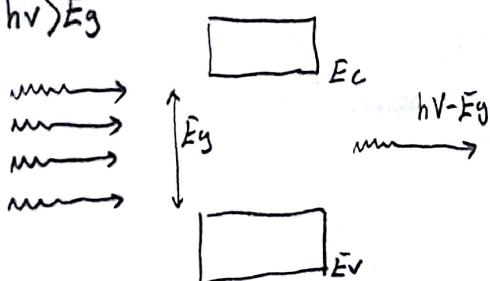
$$hv < E_g$$



fotonlar sogrulmadı malzemeden geler



$$hv > E_g$$

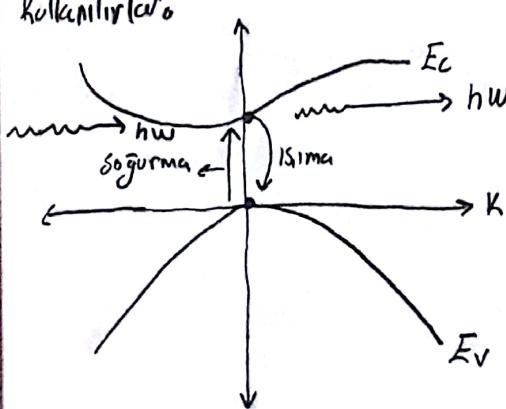


N Direkt Optik Geçişler

iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu aynı \vec{k} dalga vektörü
değerinde ise böyle malzemelere direkt geçişli multeme denir.

$$\alpha(hv) = A(hv - E_g)^{1/2}$$

Optik geçişlerde enerji ve momentum aynı anda korunmalıdır. Doğrudan
bant aralığında dolayı illetim ve değerlik bandına geçiş yapan elektronlar
aynı \vec{k} değerinde oluklarından momentum korumak için fonon'a ihtiyaç yoktur.
Bu sebepten ötürü optik geçişler verimlidir. Bu tür hI 'ler ışık üretiminde
kullanılır.



$$k_i \approx k_f$$

$$\text{Enerji Korunuşus } E_i + \hbar\omega = E_f$$

$$\text{Momentum Korunuşu: } \hbar k_i \approx \hbar k_f \rightarrow \hbar k_p + \hbar q = \hbar k_f$$

ω : foton frekansı

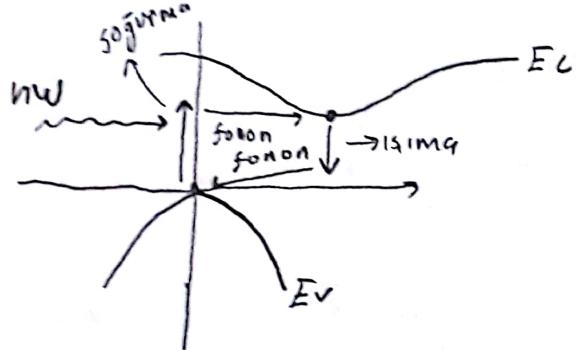
k : e^- 'nın dalga vektörü

~ Indirekt Optik Geçişler ~

İletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu farklı k dalgası vektörde degerinde ise böyle matemeler indirekt geçişli matemelerdir.

$$\alpha(hv) = A^* (hv - E_g + \Omega \hbar)^2$$

Optik geçişlerde enerji ve momentum aynı anda korunmalıdır. Dolaylı bir aralığında dalgı iletim ve valans bandına geçiş yapan elektronun geçiş sonrası farklı k değerine sahip olduklarından momentumun korunması ıgin fononla ihtiyaç duyulur. Bu sebepten optik geçişler verimsizedir. Işık üretimiinde kullanılmazlar.



$$k_i \pm \Omega = k_f$$

$$\text{Enerjili korunumu: } E_i + h\nu = E_f$$

$$\text{Momentum korunumu: } \hbar k_i + \hbar \Omega = k_f$$

$$\Omega = \text{fonon dalgası vektörü}$$

~ Lüminescans ~

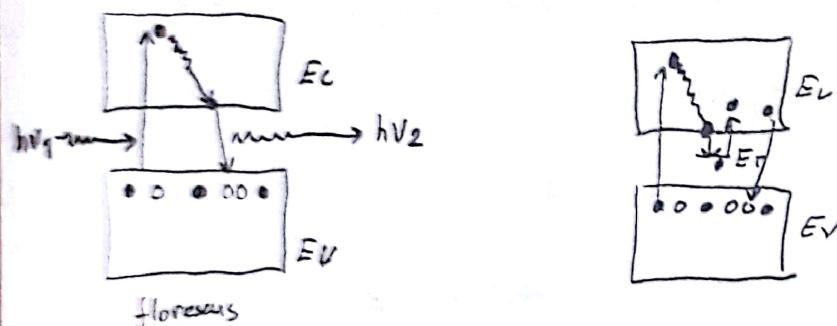
$\text{h}\nu > E_g$ ise elektron E_c 'de yüksek enerjili duruma aktarır. Tekrar E_v ye döndesi fazlalık enerjisini çok kısa bir zaman diliminde fononlara aktararak E_c ucuna gelir. Elektron buradı ya foton salıracak ya da başka şekilde enerjisini orgöye aktarır.

1) Fotoluminesans

YI'lerde fotonlarla oluşturulan fazlalık elektronlar oluşturulduğunda hemer sonra ısıt dengeye olmadıkları için tekrardan desikte birleşmeye çalışırlar.

Elektron ve boşluklar uyandıktan hemer sonra bant aralığında bulunan herhangi bir tuzuk seviyesine yutulamadan direkt birleşmesi ile oluşum yayanıya fluoresans denir.

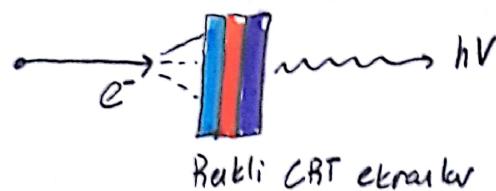
Bazı YI'lerde bulunan tuzaklar sinyeli uyutubilir. Bu duruma fosforesans denir.



2) Katalüminans

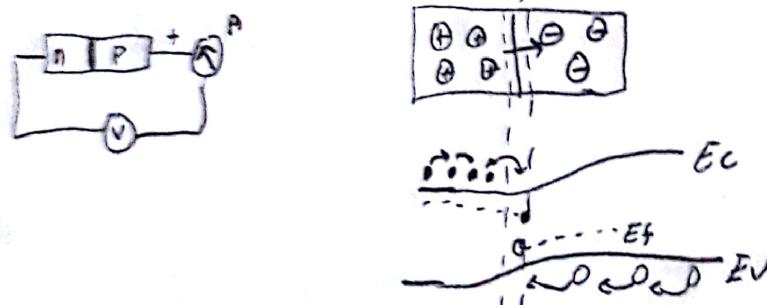
Uyarlama yüksek enerjili e^- ile yapılır. Fazlalık elektron ve boşluk çiftleri yüksek enerjili parçacıklar tarafından oluşturulabilir.

$$\hookrightarrow e^-$$



3) Elektrolüminans

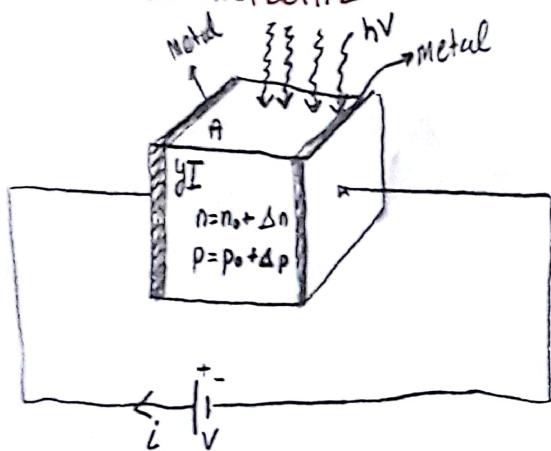
Uyarlama akım yoluyla yapılır. LED ve YI lazerlerde elektrik akımı titritim bölgelerine elektron ve desiklerin enjekte edilecek bu taşıyıcıların tekrardan birleşerek foton salınmasını sağlar.



• Er'den e^- 'nın enerji kaybı E_c 'ye alması durumunu genelasyon denir.

• e^- 'nın Er'ye geri dönmesi durumunu rekombinasyon denir.

~ Fotoiletkenlik



$n_0 \Rightarrow$ ışık düşmeden önceki e^- konsertrasyonu

$p_0 \Rightarrow \dots \quad \dots \quad \text{bozuluk} \quad \dots$

$$G_0 = q(n_0 \mu_e + p_0 \mu_p)$$

$$G = G_0 + q(\Delta n \mu_e + \Delta p \mu_p)$$

$$\Delta n \approx \Delta p$$

$$G = G_0 + q \cdot \Delta n (\mu_e + \mu_p)$$

iletkenliğin ışıkla değişimi esasına göre alcuni optoelektronik aygıtlar.

Taşıyıcı konsertrasyonu:

$$\frac{dn}{dt} = g = \frac{n - n_0}{\tau}$$

$$g = \frac{\alpha \cdot l \cdot N(v)}{V}$$

$$N(v) = \frac{t \cdot (v) \cdot A}{hV}$$

g: Absorbsiyon sonucu e^- olusma hızı

$$\frac{n - n_0}{\tau} : e^-$$
 rekombinasyon hızı

$$\Delta n = g \cdot \tau = \frac{\alpha \cdot t(v)}{hV} \cdot \tau$$

$$G = G_0 + e \cdot \frac{\alpha \cdot t(v)}{h \cdot \tau} \cdot \tau \cdot (\mu_e + \mu_p)$$

$$I_{foton} = \frac{q \cdot n \cdot \tau \cdot (\mu_e + \mu_p) \cdot T \cdot L_0 [1 - e^{-\alpha l}] \cdot \frac{W}{L} \cdot V}{hc}$$

T = geçirgenlik

L_0 = ışık yoğunluğu

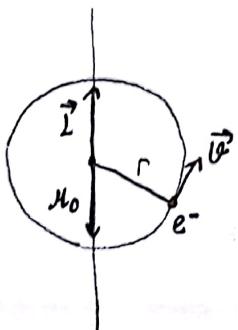
W = şekilli kesit alanı

V = hacim

Yariletken Magnetik Özellikleri

Magnetik alanın sebebi yük hareketidir. Elektronun 2 tür hareketi vardır.

- Gekirdek etrafında yörünge hareketi (μ_0)
- Kendi etrafındaki hareketi (spin) (μ_s)



$$\text{Magnetik Moment} : \mu_0 = I \cdot \vec{A}$$

$$\vec{L} = r \times \vec{P}, \quad \vec{P} = m \cdot \vec{V}$$

$$\vec{L} = m \cdot r \cdot v \cdot \sin \theta$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$I = \frac{e}{\frac{2\pi r}{v}} = \frac{e \cdot v}{2\pi r}$$

\vec{L} : Aksal Momentum

\vec{A} : Alan Vektörü

\vec{B} : Magnetik Alan (Tesla)

1 Gauss = 10^{-4} Tesla

$$\vec{\mu}_0 = I \cdot \vec{A} = \frac{e \cdot v}{2\pi r} \cdot \pi r^2$$

$$\vec{\mu}_0 = \frac{2e \cdot v \cdot r}{2} \cdot \frac{m}{m}$$

$$\vec{\mu}_0 = \frac{e \cdot m \cdot r \cdot v}{2m} = \left(\frac{-e}{2m} \right) \vec{L}$$

$\vec{\mu}_0$ ile \vec{L} ters yönlidir.

Spin Hareketi : \vec{s} : Spin aksal momenti

$$\vec{s} = \pm \frac{\hbar}{2}, \quad \mu_s = \left(\frac{-e}{m} \right) 2 \vec{s}$$

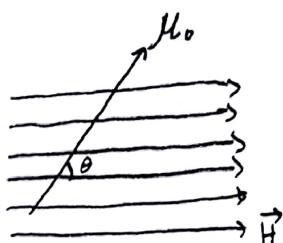
Bir Atomun Aksal Momenti

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{s}$$

→ Bir atom dış bir magnetik alan içerişine yerleştirilirse atoma bir tork etki eder.

$$\vec{T} = \vec{\mu}_0 \times \vec{H} = \vec{\mu}_0 \cdot \vec{H} \cdot \sin \theta$$

\vec{H} : Magnetik alan şiddeti



$$\text{Enerji}: U = \int \vec{F} d\theta = \int \vec{\mu}_0 \cdot \vec{H} \cdot \sin \theta \cdot L \cdot d\theta$$

$$U = -\mu_0 \cdot H \cdot \cos \theta$$

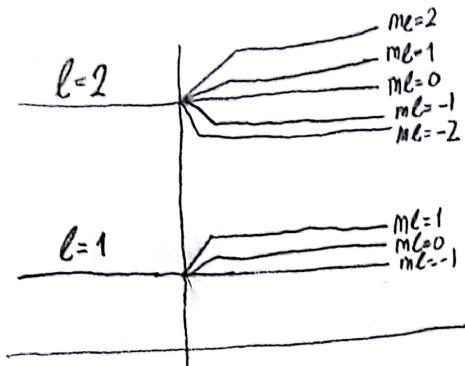
$$U = \frac{-e}{2m} \cdot \vec{L} \cdot \vec{H} \cdot \cos \theta$$

$$L = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar$$

$\begin{cases} s, n \\ l, m_l, m_s \end{cases}$ Kuantum Sayıları → ℓ 'nın yerini belirlemek
 →igin kullanılır.

Zeeman Olayı

Bir maddede dışarıdan manyetik akın uygulandığında enerji seviyelerinde yarılmak meydana gelir.



Mıknatıslanma (M)

Dış Manyetik Alan (H)

$$(\text{manyetik}) \quad B = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{M}$$

$$(\text{indüksiyon}) \quad B = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \gamma \cdot \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \gamma) \vec{H}$$

$$\vec{M} = \mu_0 \cdot (1 + \gamma) \vec{H}$$

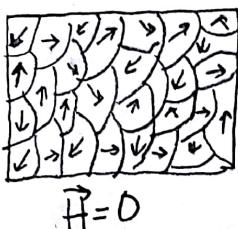
↳ manyetik doğrultuk

Manyetik Duyarlılık

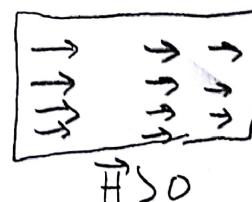
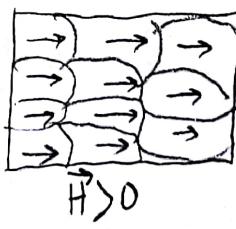
$$M \cong \gamma \cdot H$$

Ferromanyetizman

Atomları sürekli manyetik momente sahip olan az sayıda kristal yapılı madde ferromanyetizma denen kurvetli manyetik olay gösterirler. Bu tür maddeler zayıf bir dış manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye gelişen atomik manyetik dipol momentler içерirler. Momentler bir kere paralel hale geldikten sonra, dış alan kaldırılırsa madde mıknatıslanmış olarak kalır. Bu sürekli yönelim konusu oku dipol momentler arasındaki kurvetli bir etkileşimde kaynaklanır.



(Net manyetik moment = 0)



~ Paramanyetizman

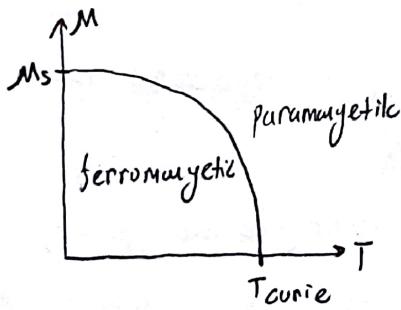
Paramanyetik maddeler pozitif fakat küçük bir manyetik doygunluğa sahiptir. Bu doygunluk sürekli manyetik dipol momenti olan atomların varlığından kaynaklanır. Bu momentler birbirleri ile çok zayıf etkileşimde bulunurlar ve $\vec{H} = 0$ iken gelişigözel yönelimlerdir. $\vec{H} > 0$ olduğunda momentler alan yönünde yönelmeye zorlanırlar. Fakat momentleri rastgele yönlerde yönelmeye gelen ıslisel hareketin etkisiyle yarışmak zorundadır. (kışmen paralel olurlar)

Ferromanyetik madde Curie sıcaklığını geçtiği zaman kalıcı mıknatıslamasını kaybeder ve paramanyetik olur.

$T < C$ iken manyetik momentler paralel (ferromanyetik)

$T > C$ iken " " " gelişigözel (paramanyetik)

Paramanyetik maddenin mıknatıslaması manyetik alanla doğru, sıcaklık ile ters orantılıdır.

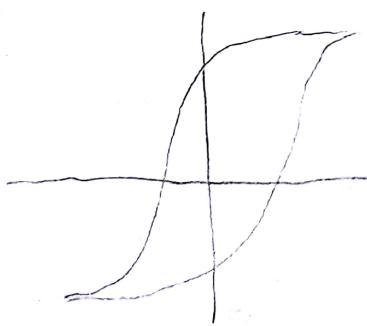
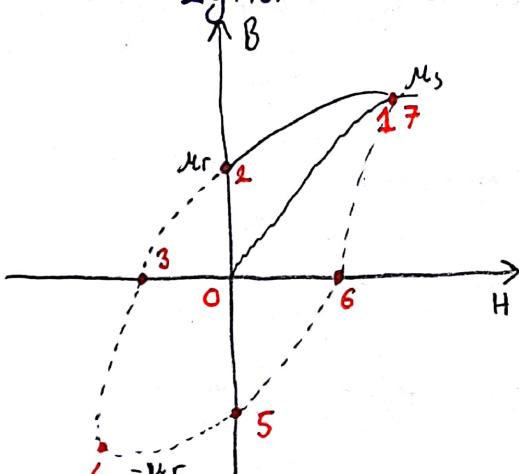


~ Diyamayetizman

Diyamayetik bir maddeye $\vec{H} > 0$ uygulandığında, bu alana zıt yönde zayıf bir manyetik moment oluşur. Bu diyamayetik maddelerin bir miknatıs tarafından zayıflaşmasına neden olur.

Domenler manyetik alan sıfır olacak şekilde dizilirler. $\vec{H} = 0$ olduğunda eski halini alır.

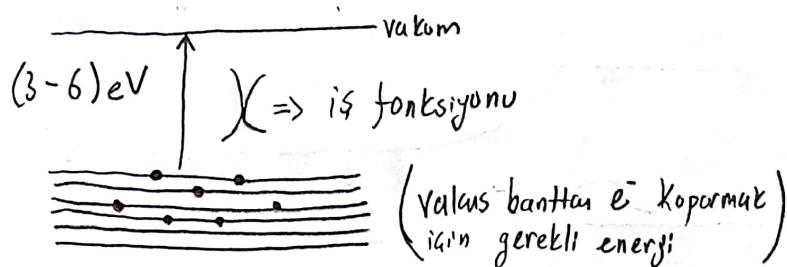
~ Histeris Eğrisi



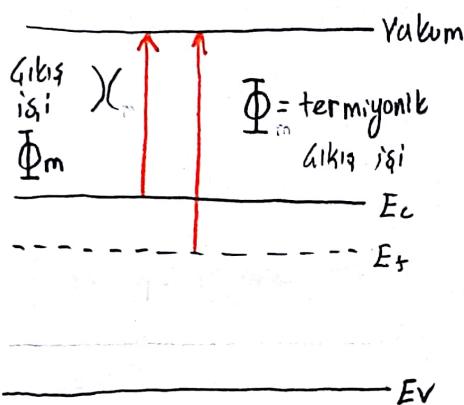
- 0) Dış manyetik alanın önceki durum
- 1) // // ala uygulandığında B artar, B' nin max olduğu noktasıdır.
- 2) Dış manyetik alan kaldırıldığında manyetiklik yok olmaz.
- 3) Ters yönde H uygulandığında domenlerin (manyetik moment) yönü değişmeye başlar.
- 4) Ters yönde H uygulandığında maddenin max manyetikliğe ulaşığı anıdır.
- 5) \vec{H}' in tekrardan yönü değiştirilir (ilk hali uygulanır)
- 6) Domenler tekrar yön değiştirir
- 7) Tekrar doyum noktasına ulaşılır.

~ Metal / YI Kontakları ~

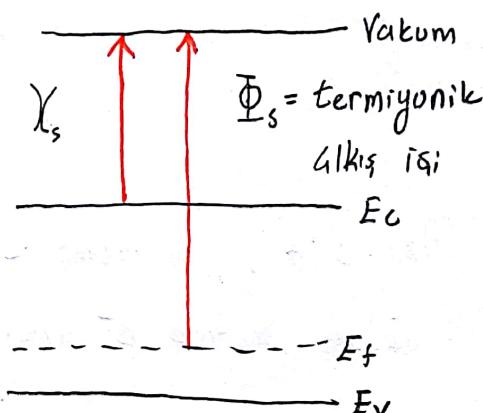
Metaller



n-tipi YI



p-tipi YI



$\chi \Rightarrow$ Katkı Konsantrasyonuna bağlı değildir

$\Phi \Rightarrow$ Katkı Konsantrasyonuna bağlı.

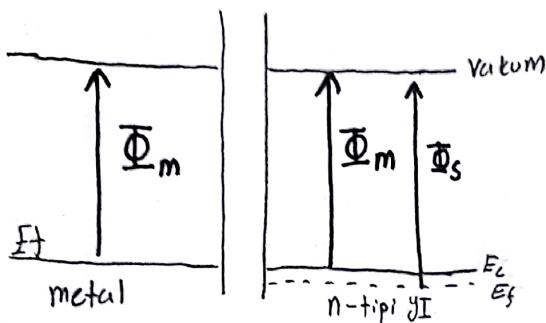
- Metal - n tipi YI Kontaklarında iki durum söz konusu

- $\Phi_m > \Phi_s$ (Schotky Kontakt-Diyot)

- $\Phi_m < \Phi_s$ (Omkı Kontakt)

1) Φ_m (metalin iş fonksiyonu) $>$ Φ_s (YI'nın iş fonksiyonu)

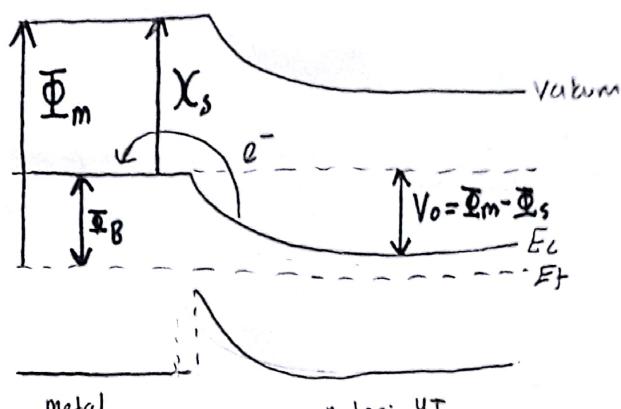
Ayrık Durum



V_o : Oluşum potansiyeli

Φ : Barierer yüksekliği:

Birleşik Durum



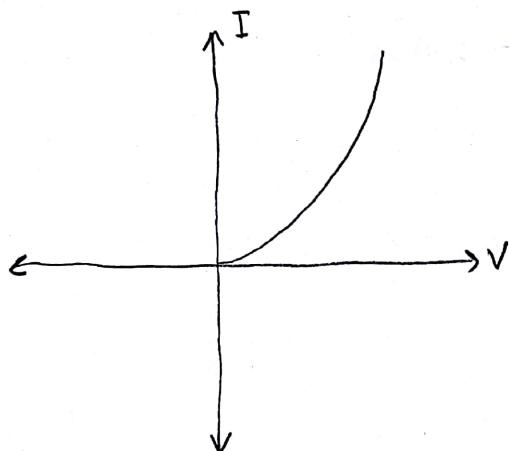
$$\Phi_B = \Phi_m - \chi_s$$

İleri Biaslama: Metale '+', yarıiletken'e '-' potansiyel uygulandığında gerçekleşir.

- YI'den metale e^- akışı

Ters Biaslama: Metale '-', YI'e '+' potansiyel uygulandığında gerçekleşir.

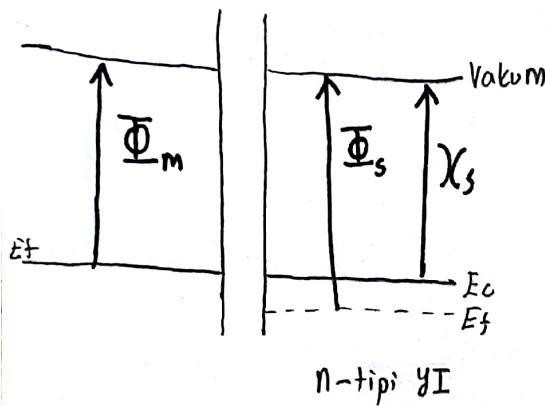
- Matzemeden akım geçmez



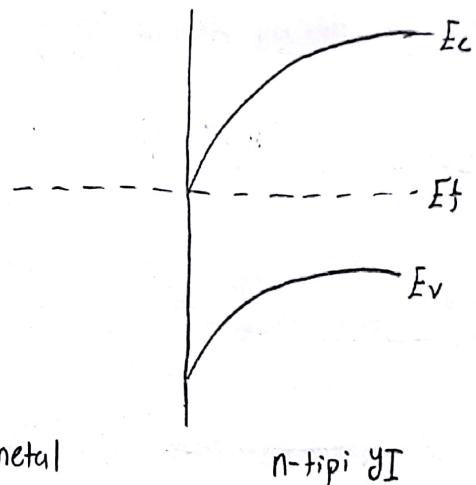
Diyot (Schotky Kontakt)

$$2) \Phi_m < \Phi_s$$

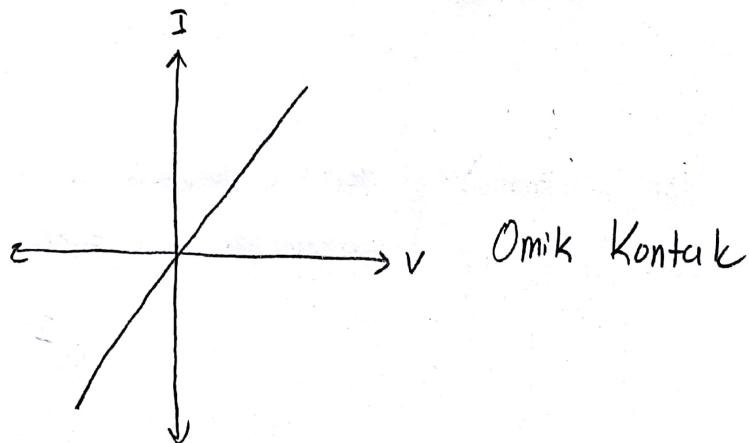
Aynik Durum



Birleşik Durum



İleri Biaslama: } Her iki durumda da
Ters Biaslama: } malzemedeki akım gider



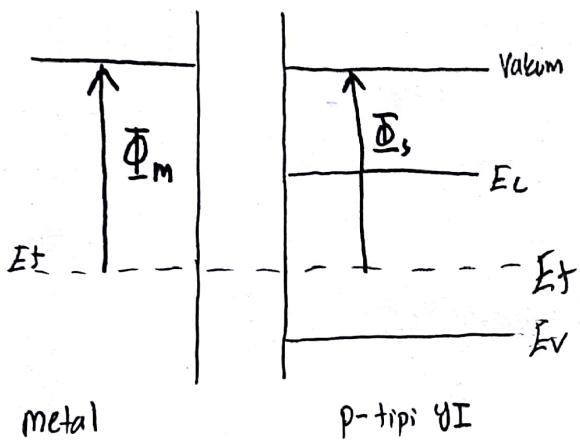
- Metal-p tipi YI Kontağında iki durum söz Konusudur.

- $\Phi_m > \Phi_s$ (omik kontak)

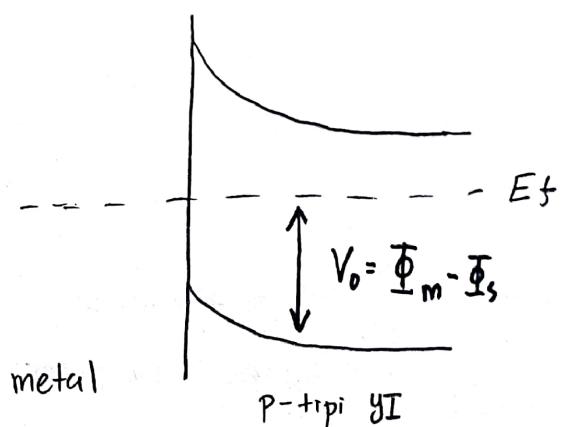
- $\Phi_m < \Phi_s$ (Schottky Kontakt-Diagramm)

$$1) \underline{\Phi}_m > \underline{\Phi}_S$$

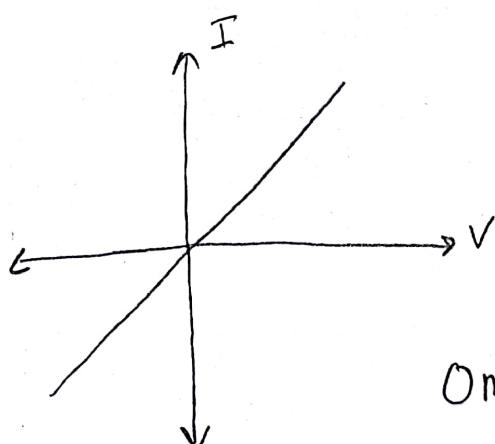
Ayrik Durum



Birleşik Durum

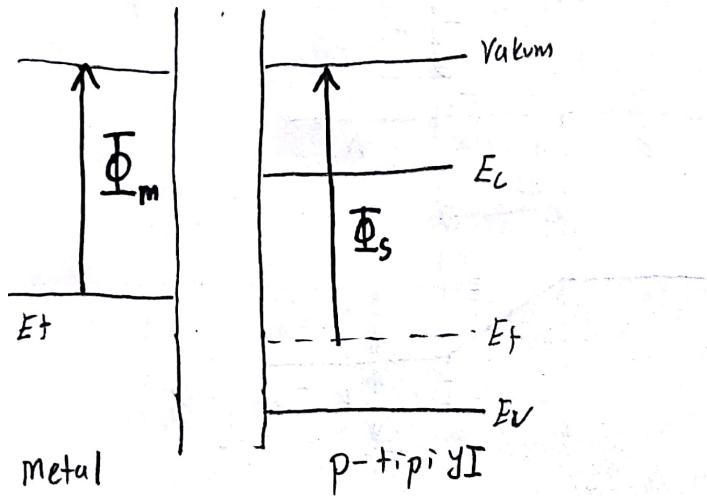


ileri Biaslama : } Her iki durumda da
Ters Biaslama : } malzemeler akım geçer.

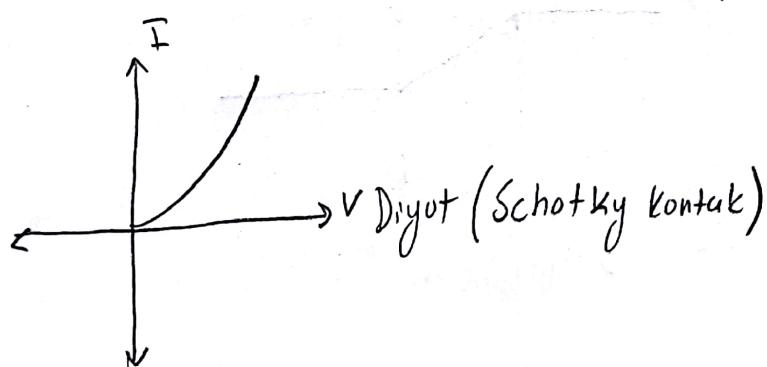
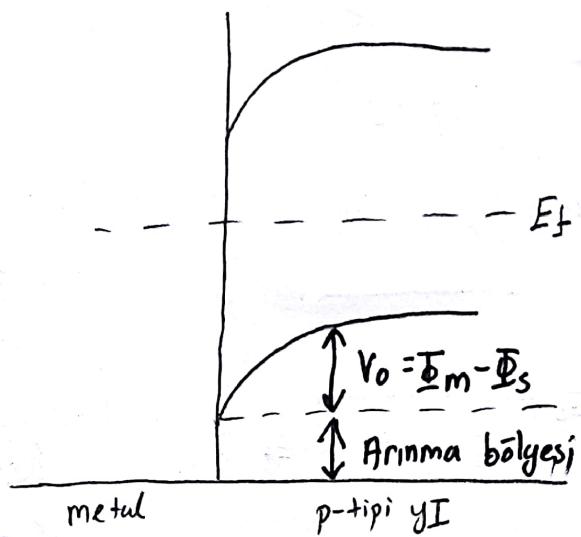


$$2) \Phi_m < \Phi_s$$

Ayrık Durum



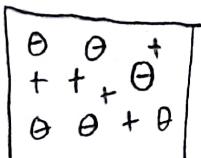
Birleşik Durum



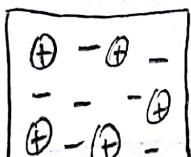
- Metal ~ p tipi YI ve metal ~ n tipi YI ters orantılıdır.

~ P - N Kavşaklar ~

Aynık Durum

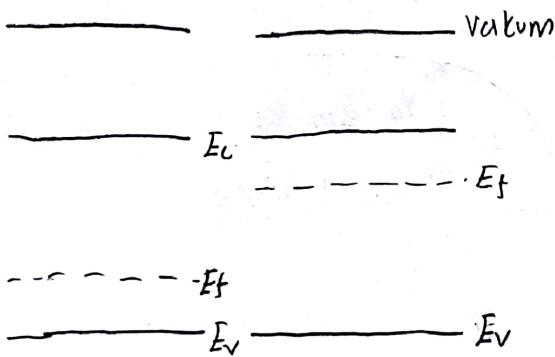


P-tipi YI



N-tipi YI

(+, Θ & Hareketli +, - & Hareketetsiz)

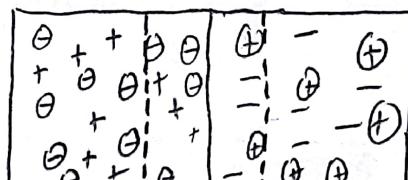


N bölgesinde

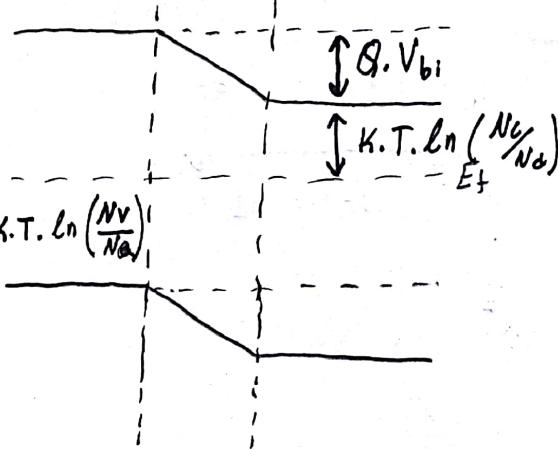
$$N \approx N_d$$

$$E_c - E_f = K.T. \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right)$$

Birleştilz Durum



P Arınma N



P bölgesinde

$$P \approx N_a$$

$$E_f - E_v = K.T. \ln \left(\frac{N_v}{N_a} \right)$$

$$Q.V_{bi} = E_g - (E_c - E_f) - (E_f - E_v)$$

$$Q.V_{bi} = E_g - K.T. \ln \left(\frac{N_c.N_v}{N_a.N_d} \right)$$

İleri Biaslama :

$\left\{ \begin{array}{l} P\text{-tipi kisminda } + \\ n\text{- tipi kisminda } - \end{array} \right\}$ Arınma böglesi azalır, akım gecer

Diş Voltaj Yokken:

$$I_{\text{forward}} = I_{\text{ileri}} \cong N_d \cdot \exp\left(\frac{qV_{bi}}{k_B T}\right)$$

$$I_{\text{reverse}} = I_{\text{ters}} \cong -N_d \cdot \exp\left(\frac{-qV_{bi}}{k_B T}\right)$$

Diş Voltaj Varken:

$$I_{\text{forward}} = I_{\text{ileri}} \cong N_d \cdot \exp\left(\frac{q(V_{bi} - V_a)}{k_B T}\right)$$

$$I_{\text{reverse}} = I_{\text{ters}} \cong -N_d \cdot \exp\left(\frac{-qV_{bi}}{k_B T}\right)$$

$$I_{\text{toplam}} = I_{\text{ileri}} + I_{\text{ters}}$$

arınma böglesi artar
akım gecmet

$$I = I_{\text{saturasyon}} \exp\left(\frac{q \cdot V_a}{k_B T} - 1\right)$$

Ters Biaslama :

$\left\{ \begin{array}{l} P\text{-tipi kisminda } - \\ n\text{- tipi kisminda } + \end{array} \right\}$

Formül/Anlum

$$I = I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot V_{bi}}{k_B T} \right) - 1 \right] \text{ (A)}$$

Bias Voltajı

idealilik faktörü

Ters yön doğma akımı (satrasyon akımı)

P tipi: $E_f = E_v + k_B T \cdot \ln \left(\frac{N_d}{N_v} \right) \longrightarrow qV_{bi} = \Phi_B - (E_f - E_v) \text{ (eV)}$

N tipi: $E_c - E_f = k_B T \cdot \ln \left(\frac{N_d}{N_v} \right) \longrightarrow qV_{bi} = \Phi_B - (E_c - E_f) \text{ (eV)}$

n tipi:

$$\Phi_B = \Phi_m - \chi \longrightarrow \Phi_i = \Phi_B - k_B T \cdot \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \text{ (eV)}$$

p tipi:

$$\Phi_B = \chi + \frac{E_g}{q} - \Phi_m \longrightarrow \Phi_i = \Phi_B - k_B T \cdot \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right)$$

$$H \cdot l = N \cdot I$$

Akım

Sarım

metre

Dış manyetik alan

$$M = \chi_m \cdot H$$

Dış manyetik alan (A/m)

Manyetik doyurgunlik

Miktatsızlaşma

$$\beta = \mu_0 (H + M) = \mu_0 H + \mu_0 H \cdot \chi_m = \mu_0 \cdot H (1 + \chi_m)$$

Dış manyetik alan

manyetik doyurguluk

Getirdeğ etrafında
yörönge hareketi (T · A/m)
veya
Manyetik doygunluk > Sor ?

Mangetik indüksiyon (T)

$$E = \frac{hc}{\lambda \text{ (metre)}} \longrightarrow E = \frac{1,24 \text{ eV}}{\lambda \text{ (mikrometre)}}$$

$$n_r = \frac{c}{v} \longrightarrow \text{Işıklı hızı}$$

\longrightarrow Işığın ortamda hızı

\downarrow Kırılma indisı

$$R = \frac{(n_r - 1)^2 + k^2}{(n_r + 1)^2 + k^2}$$

\uparrow Ortamin
sönümlü
Katsayısı

\downarrow Yansıtma Katsayısı

$$\alpha = A \cdot (hv - E_g)^\gamma \longrightarrow I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot d)$$

\downarrow madde kalınlığı

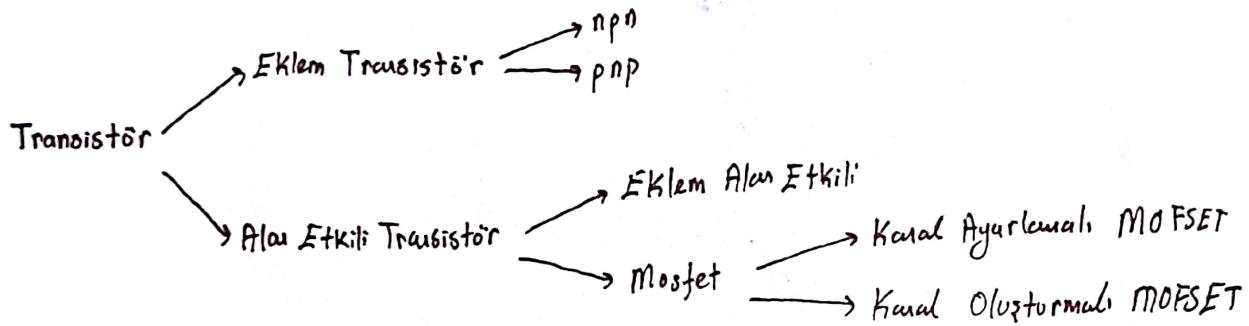
$$T \approx (1 - R^2) \cdot \exp(-\alpha \cdot d)$$

\downarrow Yansıtma Katsayısı

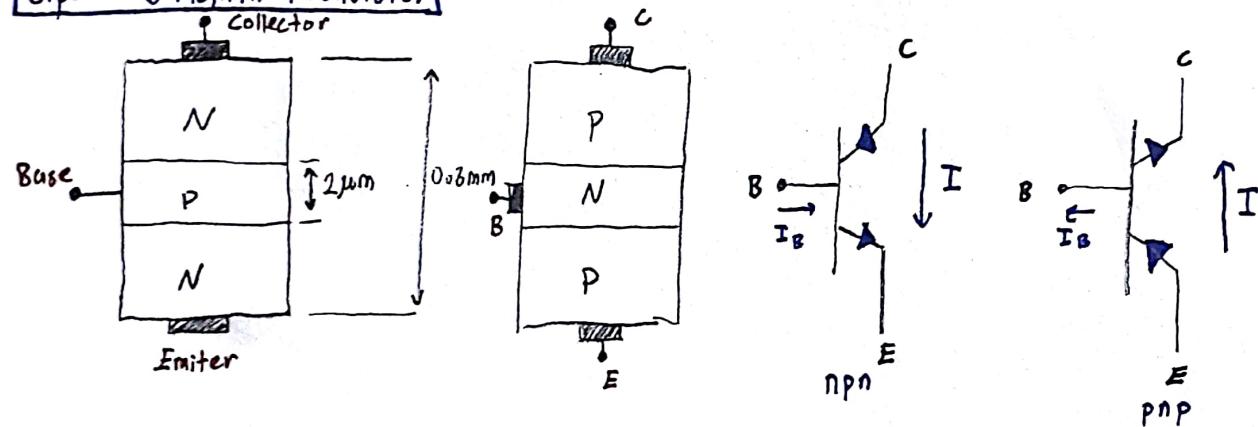
\downarrow Ortamin geçirgenliği

Transistörler

Uygulanan sinyali yükselterek genilim ve akım kazancı sağlayan, anahtarlama elemanı olarak da kullanılan devre elementidir.



Bipolar Birleşimli Transistor



- Emitter bölgesi → akım taşıyıcılarının harekete başladığı bölge
- Base bölgesi → Transistörün çalışmasını etkileyen bölge
- Collector bölgesi → Akım taşıyıcıların toplandığı yer

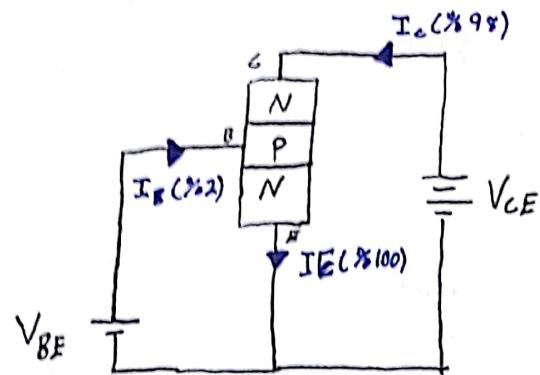
npn ve pnp transistörlerin çalışma prensibi, E ve C uçları arasındaki akımın B ucuna uygulanan gerilimle kontrol edilmesi esasına dayanır.

E, C ve B uçlarına uygulanan gerilimin işaretine bağlı olarak 3 farklı moda çalışabilir

Uygulama	Mod	E - B	C - B
Anahtarlama	Kesim	İletmeme	İletmeme
Yükseltere	Aktif	İletme	İletmeme
Sabit akım kaynağı	Dögüm	İletme	İletme

YÜKSELTEC / Antif Mod

- C → + gerilim
- B → + gerilim
- E → - gerilim



Emiter ucu giriş ve çıkış devrelerinde ortak olduğu için, bu yükselteç "Emiter ortak bağlantılı yükselteç" olarak tanımlanır. En çok kullanılan yükselteç şeklidir.

- Transistor içinde E'den B ve C'ye bir e⁻ akışı vardır.
- e⁻ Kısık bir kısmı da V_{BE} kaynakının oluşturduğu giriş devresi üzerinde, büyük bir kısmı da V_{CE} kaynakının oluşturduğu çıkış devresi üzerinde devresini tamamlar.
- Giriş ve çıkışta dolasan e⁻ miktarı (akım şiddeti) transistör boyutüğünə bağlı olduğu gibi, V_{BE} ve V_{CE} 'ye de bağlıdır.
- E'deki e⁻'ları harekete getirmek için "di" transistörde en az 0.6 V "60" transistörde ise 0.2 V olması gereklidir.
- e⁻'ları geçebilmesi için $V_{CE} \gg V_{BE}$ sağlanır.
- Giriş devresinde dolasan e⁻'lar I_B 'ı çıkış devresinde dolasan akımları I_C 'yi oluşturur.
- I_B ve I_C DC olduğu gibi AC de olabilir.
- Emiter elektrotu üzerinde $I_E = I_B + I_C$ olur.

Sonuçta I_B gibi küçük değerli bir akımdan I_C gibi büyük değerli bir akıma ulaşılmaktadır.

- $I_c = I_s \cdot \exp(V_{SE}/V_T)$

- $I_s = (A \cdot q \cdot D_n \cdot n_p)/W$

I_s : Doğru akımı (I_c 'nın kazanabileceğini min değer)

A : E-B ekleminde kesit alanı

q : Elektronik yüze

D_n : e^- için difüzyon sabiti

n_p : B'deki e^- konserasyonu

W : B'nin genişliği.

- $I_B = \left(\frac{D_p \cdot N_A \cdot W}{D_n \cdot N_D \cdot L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \cdot T_B} \right) \cdot \exp(V_{BE}/T)$

T_B : B'deki e^- ömrü.

L_p : Boşluklar için difüzyon varlığı.

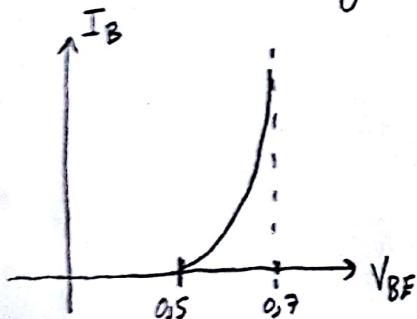
~ Transistor üretilirken B bölgesinin genişliği; E ucundan salınan elektronların B bölgesindeki boşluklara birleşmeye fırsat bulmadan C ucuna ulaşabilmesi için, mümkün olduğunda ince yapılıra.

- $\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_s}{\beta} \cdot \exp(V_{BE}/V_T)$

β : Ortak emiter kazancı

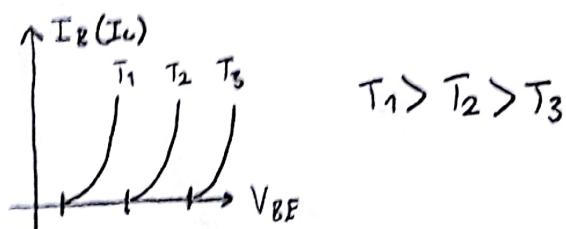
Ortak emiterli derrede giriş gerilimi B-E arasındaki gerilimdir. Giriş karakteristiği β akımının B-E arası gerilimle değişimini göstermektedir.

$$I_B = \frac{I_o}{1+\beta} \cdot [\exp(V_{BE}/m \cdot V_T) - 1]$$

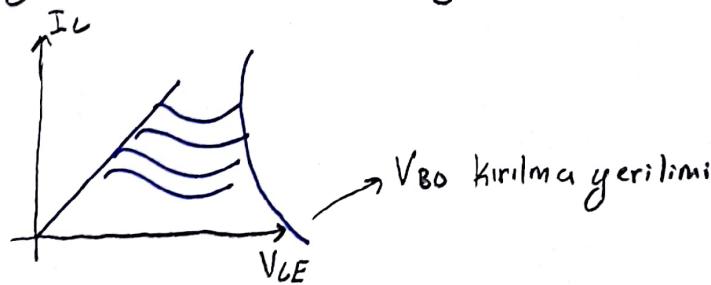
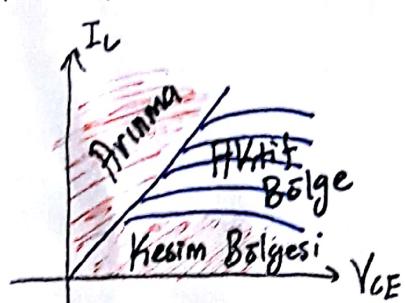


$I_B = f(V_{BE})$ 'nın karakteristiği diyodun I-V karakteristiği ile aynıdır.

Ortam sicaklığı arttıkça dıyot elemanı daha dasık gerilimlerde iletme yapar. B-E arası bir dıyot görevinde olsa β_{JT} 'nin ökuluğu değişimi:

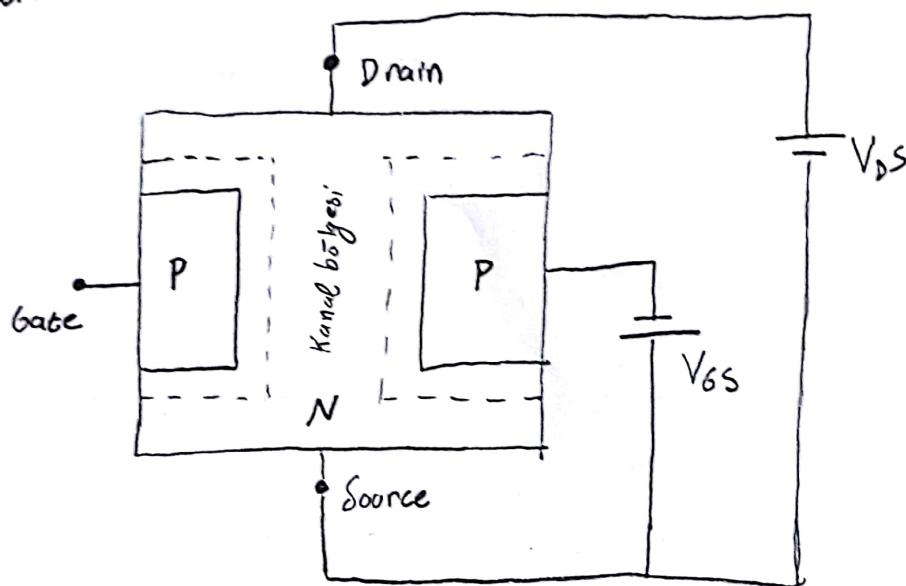


Karakteristiği aikarmak için önce V_{BB} gerilimi belli bir değere ayarlanır. Böylece I_B , dolayısıyla I_c akımı sabit tutularak V_{CC} kaynakı ayarlanarak farklı V_{CE} gerilimlerinde akan I_c değerleri ölçülerek karakteristik çizilir. Ekle edilen bu eğri sadece o an geçerli olur.



Eklem Alan Etkili Transistor

Drain-Source arasındaki akımın Gater-Source arasına uygulanan gerilimle kontrol edilmesidir.



$V_{GS}=0$ iken, yapıya bir V_{DS} gerilimi uygulansrsa Kanal bölgesinin گوچلوك تاşıyıcıları e^- ’lar Drain ucuna doğru hareket eder. Bu drain ucundan source ucuna doğru bir akım demektir. Buna Drain akımı (I_D) denir. Şimdi G ve S ucuna arasında V_{GS} akımı uygulanssa, G ile S ucları arasındaki eklem iletmeye yönünde gerilimlemiş olur. Böylece G ile Kanal bölgesi arasında tüketim bölgesi oluşur ve Kanal devralır. Böylece Kanal direnci artar ve I_D akımı azalır. Yani Kanal direnci suyesinde I_D akımı V_{GS} gerilimiyle kontrol edilmiş olur. V_{GS} arttırılmaya devam ederse, tüketim bölgesinin genişliği artmaya devam eder ve belli bir V_{GS} degerinde Kanal kapılır. V_{GS} ’nin bu değeri V_p ile gösterilirse

$$) V_{DS} \leq V_{GS} - V_p \text{ iken } \rightarrow I_D = I_{DSS} \left[2 \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \cdot \left(\frac{V_{DS}}{-V_p} \right) - \left(\frac{V_{DS}}{V_p} \right)^2 \right]$$

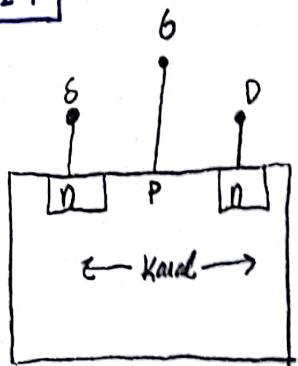
$$) V_{DS} > V_{GS} - V_p \text{ iken } \rightarrow I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$$

I_{DSS} $\&$ I_D saturaşyon akımı

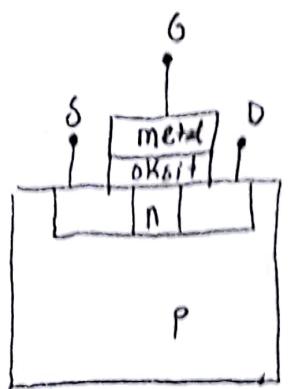
$$I_{DSS} = \frac{1}{2} K_n \cdot V_p^2$$

K_n : Bir sabit

MOSFET



Kanal oluşturmamış
Mofset

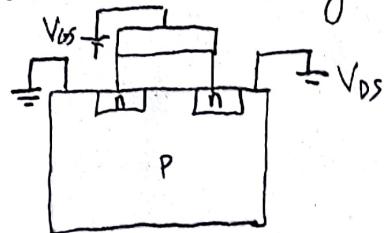


Kanal ayarlanabilir
Mofset

Mofsetlerde mantiğ S-D arasındaki akımın G-S arasında uygulanan gerilimle kontrol edilmesidir.

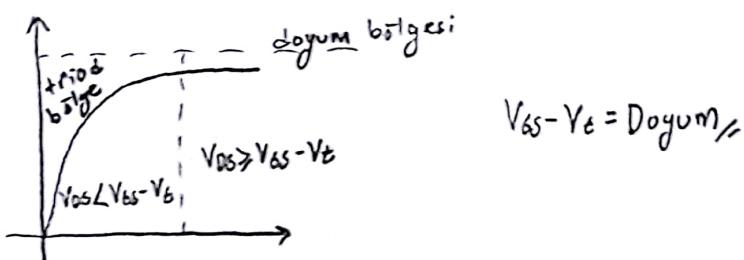
Kanal Oluşturmali Mofset

S-D arasında işaretin nasıl olursa olsun, herhangi bir gerilim uygulandığında S-Kanal ve D-Kanal eklemelerinde eklemelerden birisi mutlaka iletmeye yönünde gerilimlenecektir, dolayısıyla D-S arasında hiçbir akım akımayacaktır. D'de S'ye veya S'de D'ye akım olusabilmesi için D ve S arasındaki Kanal bölgesinin D ve S ile aynı tip YI'ne dönüştürülmesi gereklidir. Şimdi yukarıda işaretti aşağıdaki gibi olur bir V_{GS} gerilimi:



Bir taraftan D ve S bölgelerinden elektronları Kanal bölgesine çekeler, diğer yandan da Kanal bölgesindeki boşlukları itecektir. V_{GS} artırılmaya devam edilirse Kanal bölgesine daha çok e^- çekilecektir. V_{GS} geriliminin V_t gibi bir değerinde Kanal bölgesindeki boşluklar tamamen boşaltılmış olur ve onların yerine e^- 'larla doldurulmuş olur. Böylece S-D arasına bantlarla aynı tip (N) bir Kanal bölgesi oluşmuştur. Şimdi irtik D-S arasına bir gerilim uygulansrsa D'de S'ye doğru bir I_D akımı oluşturacaktır.

V_{GS} 'nın $V_{GS} \geq V_t$ bir değeri için I_D akımının V_{DS} ile değişimi:



- $V_{DS} < V_{GS} - V_t$ iken $\rightarrow I_D = K_n \cdot \frac{W}{L} \cdot [(V_{GS} - V_t) \cdot V_{DS} - \frac{1}{2} \cdot V_{DS}^2]$
- $V_{DS} \geq V_{GS} - V_t$ iken $\rightarrow I_D = \frac{1}{2} \cdot K_n \cdot \frac{W}{L} [V_{GS} - V_t]^2$

L : Kanal bölgelerinin uzunluğu

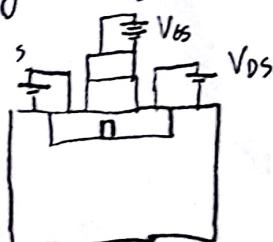
W : " " derinliği

K_n : Bir sabit $\rightarrow \mu_{nCOX}$

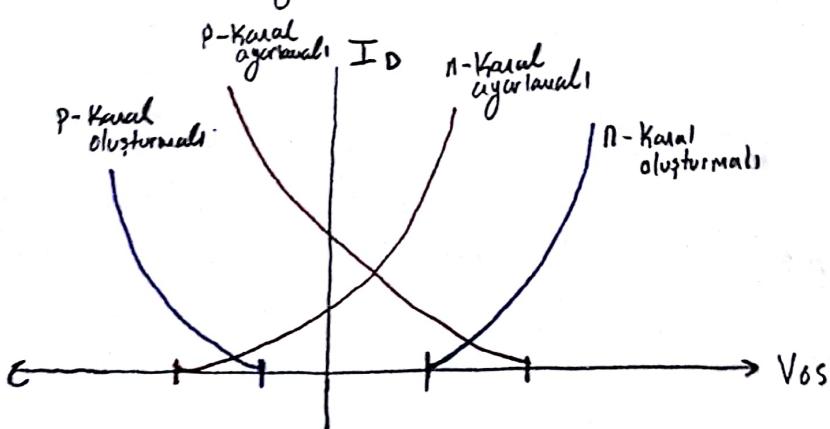
Kanal Ayarlamalı Mofset

Kanal ayarlamalı Mofsette D-S arasında hali hazırda bir kanal vardır.

Dolayısıyla $V_{GS}=0$ iken bile V_{DS} uygulandığında bir I_D vardır.



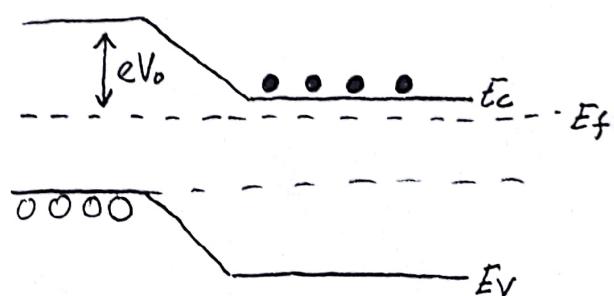
İşreti şekildeki gibi olur bir V_{GS} uygulandığında kanal bölgelerinin yoğunluk taşıyıcıları e^- ler kanal bölgelerinde yoğunlaştırılır ve böylece kanal bölgelerinin direnci artar. Böylece I_D akımı V_{GS} ile kontrol edilmiş olur.



LED

LED ileri yönde beslenen bir p-n eklendir. Uygun ileri besleme koşullarında elektromanyetik dalga spektrumun değişiks bölgede doğal ışınma yapan aydınlatır.

①

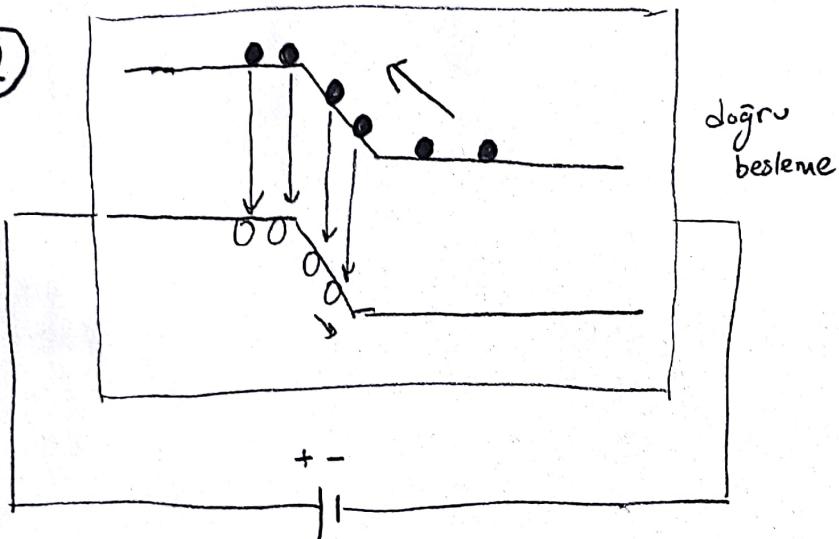


Rekombinasyon:

- Direkt genis
- Indirekt genis

obalınlı

②

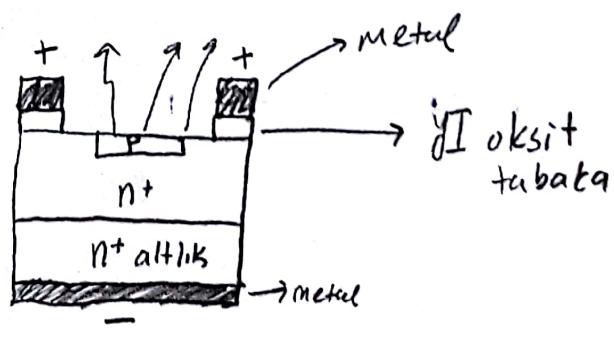
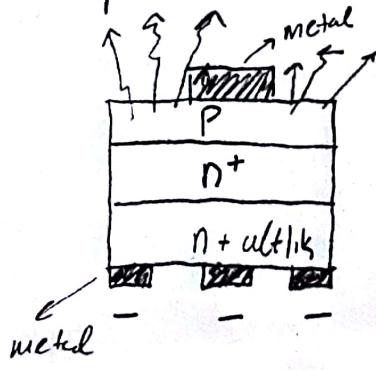


- Yayınlanan fotonun rengi (dalga boyu) YI'nın E_g genişliği ile ilişkilidir.

$$\rightarrow E_g = hV = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

- Görünür ışık renk tayfını yakalayabilmek için yüksek enerji aralıkları farklı YI malzemeleri kullanılır.

Farklı Tiplerde Üretilen LED'Ler:



• LED'de 2 temel büyüklik önemlidir:

- 1) Verimlilik
- 2) Rekombinasyon Süresi

Verimlilik

Elektrik enerjisinin optik enerjiye çevrilmesindeki verimlilik çok önemlidir. Gündemden en önemli sorunlardan biri enerjidir. Bu nedenle LED'ler oldukça verimli ve az enerji harcamanın aydınlatma sistemlerinde biridir.

Bu durum direkt genistili YI'leri LED üretiminde ve verimliliğinde daha tercih edici kılmıştır.

$$\eta = \frac{P}{I \cdot V} \quad (\text{nr}) \longrightarrow \text{birim zamanda sağlanan foton}$$

$$= \frac{P}{I \cdot V} \quad (\text{e}) \longrightarrow = \text{enjekte edilen } e^-$$

↳ Verimlilik

$$\bullet I = eA \left(\sqrt{\frac{D_p}{C_p}} \cdot p_{no} + \sqrt{\frac{D_n}{C_p}} \cdot n_{po} \right) \cdot \left[\exp(eV/k_B T) - 1 \right]$$

Rekombinasyon Süresi

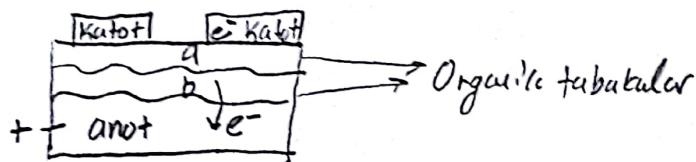
$$\frac{1}{\tau} = \frac{p_0 + n_0 + D_n}{(N \cdot p_{bp})^{-1} \cdot (n_0 + n_1 + D_n) + (N \cdot n_{bn})^{-1} \cdot (p_0 + p_1 + D_p)}$$

Rekombinasyon Süresi ↑ Verimlilik ↓

OLED

100-500 nm aralığında üretilebilirler

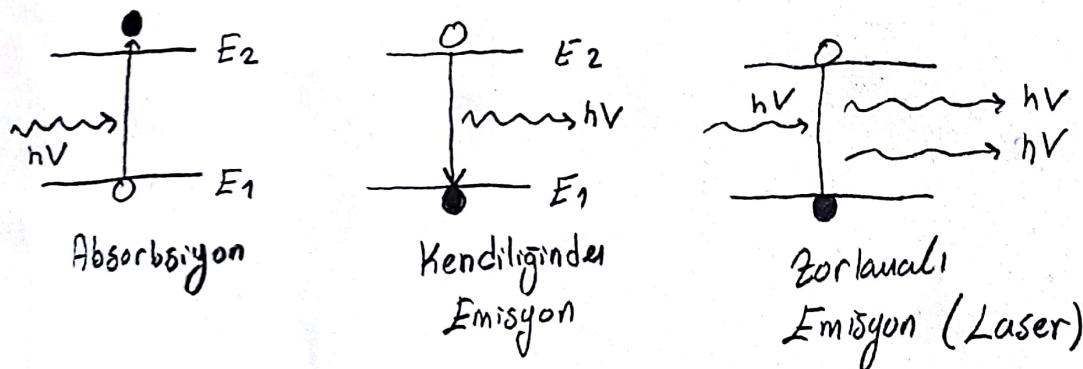
Özellikle kıvınlabilme karakteri, OLED'leri akıcı kılav bir unsurdur.



- a Katmanın da anotta gelen e^- 'lar arkasında boşluk bırakır.
- b Katma dışından e^- ile beslenir
- b Katmanın da e^- 'lar a Katmanın da boşluklarla birleşerek ışık saçar.

<u>LED</u>	<u>OLED</u>
Nokta kaynaklı	Yüzey kaynaklı
Renk ayarı kolay	Daha ince, hafif, esnek
Sudu etkilemez	Sudu zarar görür

LASER



Kendilikinden Emisyon

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h} \rightarrow \text{frekus}$$

Uyarılmış Emisyon

$$\rho(V) = J m^{-3} Hz^{-1}$$

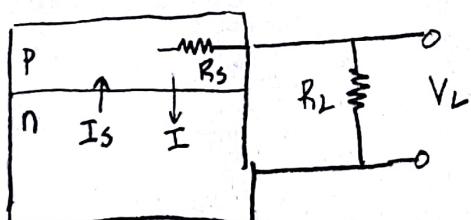
Güneş Pilleri

Fotovoltaik Olay

Eğ'de büyük veya eşit enerjije sahip bir ışık demetinin pn kavşak üzerine düşüğünde meydana gelen olayları temsil eder. Foton; boşluklarda, serbest e^- 'larla veya \dots

Güneş pili ışık enerjisini direkt elektrik enerjisine çevirir. Bir pn eklem üzerine foton gönderildiğinde pn eklemi disardan bir potansiyel fark uygulanmadığı durumda pn eklemi akım üretmesi temeline dayanır.

Akımı azınlık yük taşıyıcıları meydana getirir.

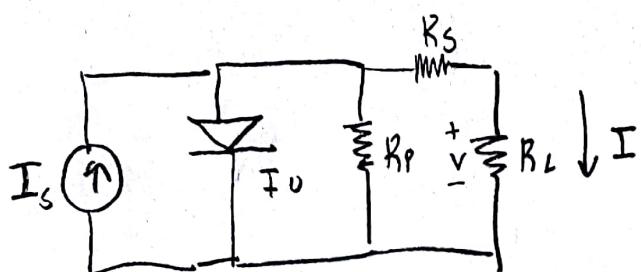


$$I_L = I_s - I$$

$$I_L = I_s - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right]$$

I_s : Kavşaktan geçen akım

I_0 : $=$ ters akım



$$\text{Açık devre gerilimi } V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \cdot \ln \left(\frac{I_s}{I_0} + 1 \right)$$

$$\text{Hibig geçici} = I_L \cdot V$$

Güneş Pil'i

