

Yarıiletkenlerde Taşıyıcı İletimi: (Akım) ;

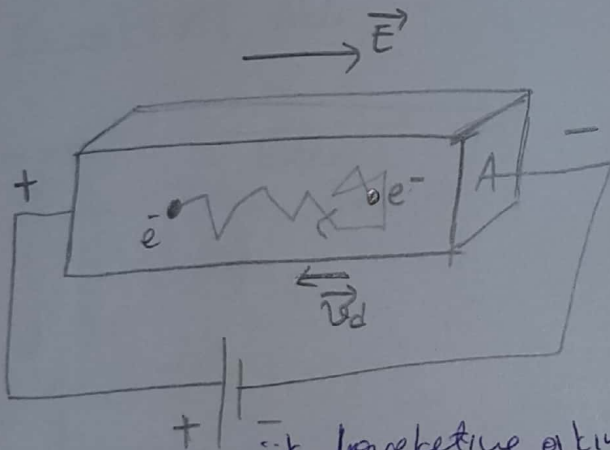
1)* Yarıiletkenlerdeki serbest taşıyıcıların hareketi akıma neden olabilir. Bu hareket dış elektrik alan tarafından sağlanabilir. Bu iletim mekanizmasına taşıyıcı sürüklenmesi denir.
Sürüklenme Akımı

2)* Taşıyıcılar yoğunluğun yüksek olan yerden, düşük olan yerlere doğru giderler. Bu mekanizma ısı enerjisi ile sağlanır. Bu iletim mekanizmasına taşıyıcı difüzyonu denir. Difüzyon Akımı

T = (1+2)

* Yarıiletkenlerdeki toplam akım, sürüklenme ve difüzyon akımlarının toplamına eşittir.

* Taşıyıcı Sürüklenmesi:



Taşıyıcı yük hareketine akım denir.
Klasik yaklaşım akım; $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ dir.

Yarıiletken;
Dışarıdan uygulanan bir E alan etkisiyle, taşıyıcılar (örneğin e^-) sürekli yöndeğiştirerek hareket ederler. Bu nedenle ortalama yol ve ortalama zaman değerleri bulunulur.

$i = \frac{dq}{dt}$ dir. (uygulanan alan zamanla değişirse) 19

Ancak kesitalan ifadesi vermediği için akım yoğunluğu ifadesi daha çok kullanılır.

(Alternatif olarak
bölge)

$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{A} \rightarrow \frac{A}{m^2}$$

Aslında her iki büyüklük de vektördür.

Elektirik Akımı:

Döğru akım (D.C.)

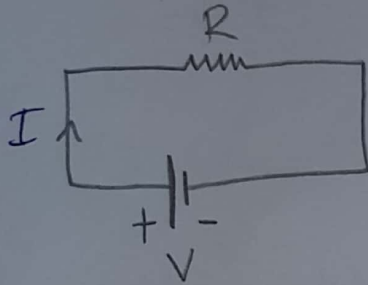
Direct current

Alternatif Akım (A.C.)

Alternative current

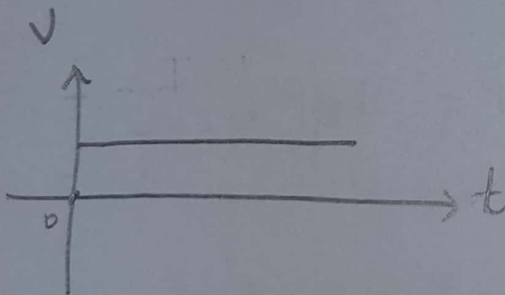
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow \frac{C}{s} \rightarrow \text{Amper (A)}$$

$$I = \frac{dq}{dt}, \text{ Uygulanan } \vec{E}, V \text{ sabittir.}$$



Kaynak: Pil, Akü

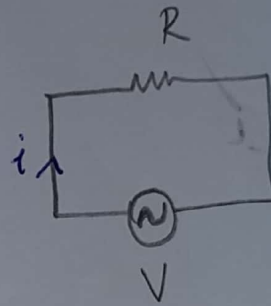
Kimyasal Enerji \Rightarrow Elektrik Enerjisi



$\left\{ \begin{array}{l} V \\ I \end{array} \right\}$ Zaten sabit olduğu için ölçüm aletinin ölçtüğü şeyle aynıdır. Değişkenlik göstermezler -

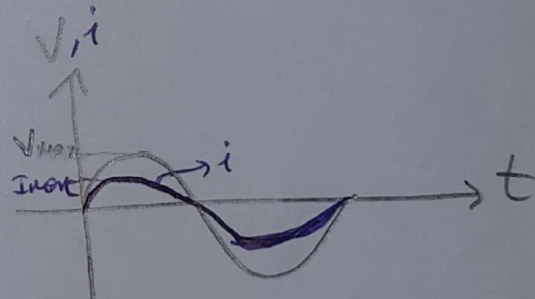
$$i = \frac{dq}{dt}$$

Uygulanan \vec{E} ve V değişkendir -



Kaynak: Dinamo, trübün (Manyetik Alan yardımıyla)

Mekanik Enerji \Rightarrow Elektrik Enerjisi



$$V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Not: Ölçüm aletleri etkin değer gösterirler -

2

Yük taşıyıcılarının yarıiletkendeki sürüklenme hızı;

$$v_s = v_d = \underset{\text{(drift)}}{ME} \text{ ile ifade edilir.}$$

$\left\{ \begin{array}{l} M: \text{yük taşıyıcıları mobilitesi} \\ E: \text{uygulanan elektrik alan şiddetini} \end{array} \right\}$ gösterir.

Akım yoğunluğunun bir diğer ifadesi;

$$J = \sigma E \text{ 'dir.}$$

σ = iletkenliktir.

elektronlar için $\sigma_n = n q \mu_n$

boşluklar için $\sigma_p = p q \mu_p$

} şeklinde ifade edilir.

$$J_n = \underbrace{n q \mu_n}_{\sigma} E \overset{\frac{v_s}{\mu}}{\Rightarrow} = n q v_s^{(n)}$$

$$J_p = p q \mu E = p q v_s^{(p)}$$

$$J = J_n + J_p = q (n \mu_n + p \mu_p) E \text{ olur.}$$

Mobilite

Örneğin; n-tipi yarıiletkeni inceleyelim;

$$F = m_n^* a = qE$$

$$m_n \frac{dv_{sn}}{dt} = qE$$

$$v_{sn} = \frac{qE}{m_n} \bar{t}$$

$$\bar{t} = \tau$$

zor sayfa

Eğer e^- 'nin hızı serbest yol boyunca lineer değişirse ortalama sürüklenme hızı;

$$\bar{v}_{sn} = \frac{v_{nmax}}{2} = \frac{qE}{2m_n^*} \tau$$

↓
ort. değer iseniyse
(2) ⇒ kaldırılabilir!

τ : e^- 'nin ortalama serbest yolunun, ortalama süresi.

$$\mu_n = \frac{\bar{v}_{sn}}{E}, \quad \mu_n = \frac{q}{(2)m_n^*} \tau$$

$$\tau = \frac{\mu_n m_n^*}{q}$$

$$\left(\tau = \frac{\mu_p m_p^*}{q} \right)$$

Taşıyıcı Difüzyonu ve Difüzyon Akımı:

Taşıyıcı difüzyonu, elektrik alan uygulanmadığı halde bile taşıyıcıların rastgele hareket etmelerine neden olan kT ısı enerjisinden kaynaklanır.

Bu rastgele hareket taşıyıcıların akışına ve akımına neden olmayabilir. Ancak bir taşıyıcı gradyenti varsa, difüzyon meydana gelir: taşıyıcılar yüksek yoğunluklu bölgeden düşük yoğunluklu bölgeye doğru akarlar.

$T=0K$ 'de difüzyon akımı yoktur.

$T>0K$ 'de serbestlik derecesi başına $kT/2$ kadarlık

ısı enerjisi sahip olan taşıyıcılar hareket eder.

* Isı enerjisinin rastgele dağılımını anlamak için istatistik yaklaşım gerekir. Kolaylık açısından taşıyıcıların tek boyutta hareket ettirip durumunu inceleyelim.

$$v = \frac{x}{t}$$

$$v_{th} = \frac{\bar{l}}{\tau} \Rightarrow \text{ortalama serbest yol}$$

\nwarrow
 ısı hızı

$$\tau \Rightarrow \text{ortalama zaman}$$

$$J_n \leftarrow \Phi_n = + e n_{th} \left(\frac{dn}{dx} \right) \quad \left(\text{konsantrasyon gradyenti} \right)$$

$$J_n = -q \Phi_n = -q e n_{th} \frac{dn}{dx}$$

D_n

$$J_n = -q D_n \frac{dn}{dx}$$

Difüzyon bağıntısı
Einstein Bağıntısı

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q} = \mu_n v_{th}$$

(6)

$$J_p = +q D_p \frac{dp}{dx}$$

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q} = \mu_p v_{th}$$

Toplam Akım = Sürüklenme Akımı + Difüzyon Akımı

$$J_n = \underbrace{-q n \mu_n E}_{\text{sürüklenme}} - \underbrace{q D_n \frac{dn}{dx}}_{\text{Difüzyon}} \quad (e^- \text{ lar için})$$

$$J_p = \underbrace{q p \mu_p E}_{\text{sürüklenme}} - \underbrace{q D_p \frac{dp}{dx}}_{\text{Difüzyon}} \quad (boşluklar için)$$

Toplam Akım Yaparılışı:

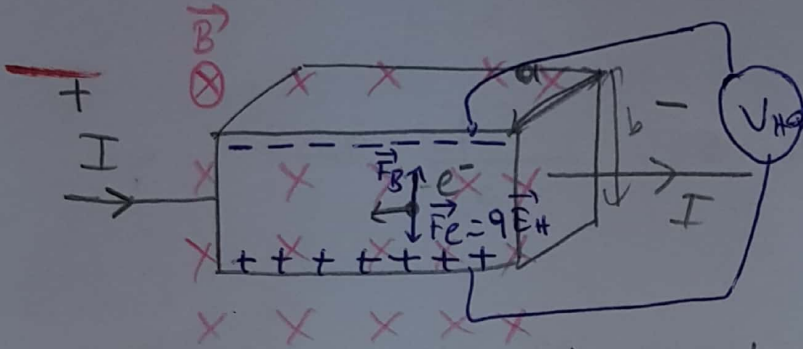
$$J_{\text{toplam}} = J_n + J_p \quad \text{olacaktır.}$$

$$I_{\text{toplam}} = A J_{\text{toplam}} \text{ 'dir.}$$

Hall Olayı :

(8)

Hall Olayı, bir yarıiletken üzerine elektrik ve manyetik alan uygulan-
dığında serbest taşıyıcıların davranışlarını inceler. Ve yarıiletkenin
tipine göre taşıyıcı yük konsantrasyonu ile ilgili bilgiler verir.



Örneğin; n-tipi bir yarıiletken
şekildeli gibi bir \vec{E} ve \vec{B}
alan uygulansın.

n-tipi yarıiletkenli taşıyıcı olan e^- lar \vec{E} alan etkisiyle
sola doğru hareket ederken \vec{B} etkisi ile yukarıya doğru saptır ve birbirler. Bu
iki uc arasında bir V_{Hall} potansiyel farkı oluşur ve *
hareket eden e^- ların üzerine asgariye doğru bir \vec{E}_H etkisine
neden olur. Bir süre sonra e^- ların üzerine etkleyen \vec{F}_B ve \vec{F}_E
kuvvetleri eşitlenir.

$$F_B = F_E$$

$$qv_s B = qE_{Hall}$$

$$E_{Hall} = v_s B$$

$$V_{Hall} = E_{Hall} \cdot b = v_s B b$$

$$v_s = \frac{I}{nqA}$$

$$A = b \cdot a$$

$$I = nqA v_s$$

$$V_{Hall} = \frac{IBb}{nqa}$$

$$V_{Hall} = \frac{IB}{nqa}$$

$$R_{Hall} = \frac{1}{nq}$$

olabilir.

Sayısal kısma
bakmadım

* Deneysel olarak
 V_{Hall} ölçüldüğünde,
diğer verilerden de
yararlanılarak

$n \Rightarrow$ taşıyıcı yük
konsantrasyonu belirlenebilir.

*

* Benzer durumu p-tipi yarıiletkenlerde de, gerçekleşir.

$$V_{Hall} = \frac{IB}{pqa}$$

$$R_{Hall} = \frac{1}{pq} \quad \text{olacaktır.}$$

Yine V_{Hall} deneysel olarak ölçülerek.

$p \Rightarrow$ taşıyıcı yük konsantrasyonu belirlenebilir.

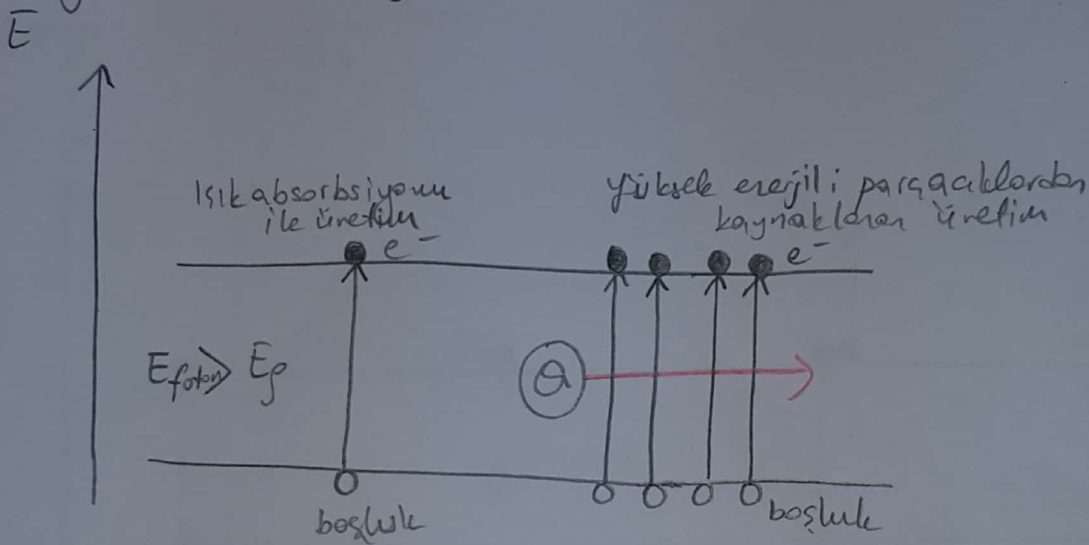
Taşıyıcı üretilmesi ve yok olması : (Generasyon ve Rekombinasyon)

1

(10)

Taşıyıcı üretilimi (Generasyon):

Işık absorpsiyonu veya yüksek enerjili parçacıklardan kaynaklanan taşıyıcı üretilimi olabilir.



* Işık absorpsiyonu ile taşıyıcı üretilimi ancak fotonun enerjisi, elektronun valans bandından iletkenlik bandına atılmaya yetecek kadar ise mümkün olabilir. Bu durumda elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. $E_{foton} > E_g$ olmalıdır. Bu durumda foton soğurulur (absorblenir) ve fazla enerji de elektron ve boşluğa kinetik enerji formunda aktarılır.

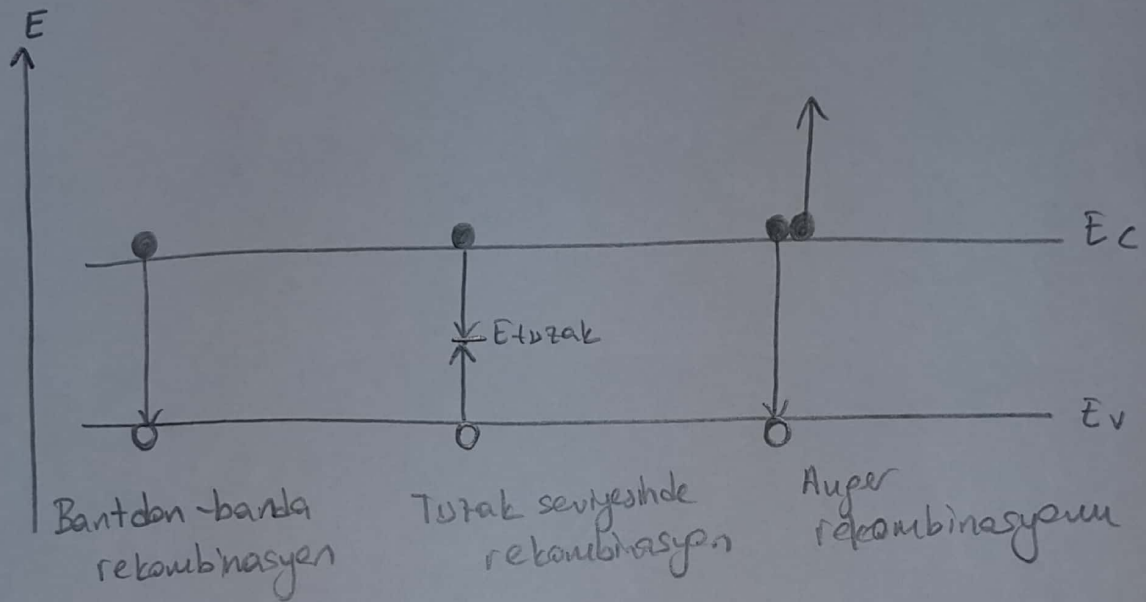
* Elektron - Boşluk çifti, Dışarıdan uygulanan yüksek bir E alanı veya ısı enerjisi ile de oluşturulabilir. Sıcakta yeterli enerji kazanan e^- valans bandından iletken bandına atılır ve taşıyıcı üretilimi gerçekleştirir.

Taşıyıcı yok olması (Rekombinasyon):

11

Elektronların ve boşlukların yok olması (rekombinasyon), bu taşıyıcıların birbirini yok etmesi anlamına gelir. e⁻lar boşluğa geri dönerler ve elektron-boşluk çifti yok olur.

* Elektronun ilk ve son durumundaki enerjileri arasındaki fark; enerji olarak yayılır.



* Elektron-boşluk çiftinin yok olması (rekombinasyon) ışınila (radiative) gerçekleşebilir. Bantdan banda geçiş sırasında enerji; foton formunda yayılır.

* Bazı durumlarda ise geçiş ışınilsız gerçekleşir.

Bu durumda enerji bir yada daha fazla fona aktarılır.

* Auger rekombinasyonunda ise bu enerji başka bir elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.