

12 Haziran cumartesi günü saat:19:00 da 1. Vize mazeret (50 dakika)

12 Haziran cumartesi günü saat:20:00 de 2.Vize mazeret (50 dakika)

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED
LIGHT EMITTING DIODE
IŞIK SAÇAN (YAYAN) DİYOT

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED in TİCARİ ŞEKLİ

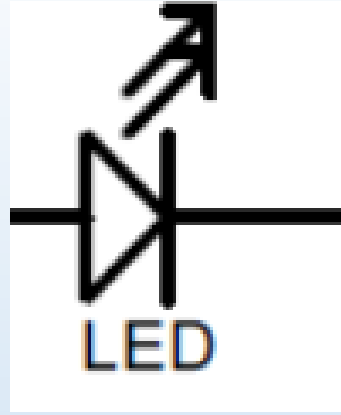


Uygulamalar:

- Cihazlar, tıbbi uygulamalar, giysiler, oyuncaklar
- Uzaktan Kumandalar (TV'ler, VCR'ler)
- Aydınlatma
- Göstergeler ve işaretler
- Kamera flaşı
- Dijital saatler
- Bilgisayarlar
- Trafik ışıkları.....

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED ileri yönde beslenen bir p-n eklemidir ve uygun ileri besleme koşullarında elektromanyetik dalga spektrumun değişik bölgelerinde doğal ışıma yapan aygıtlardır.



İlk **elektrolüminesans** olayı 1907 yılında H.J. **Round** tarafından silisyum karbür (SiC) bileşiğinde gözlenmiştir.

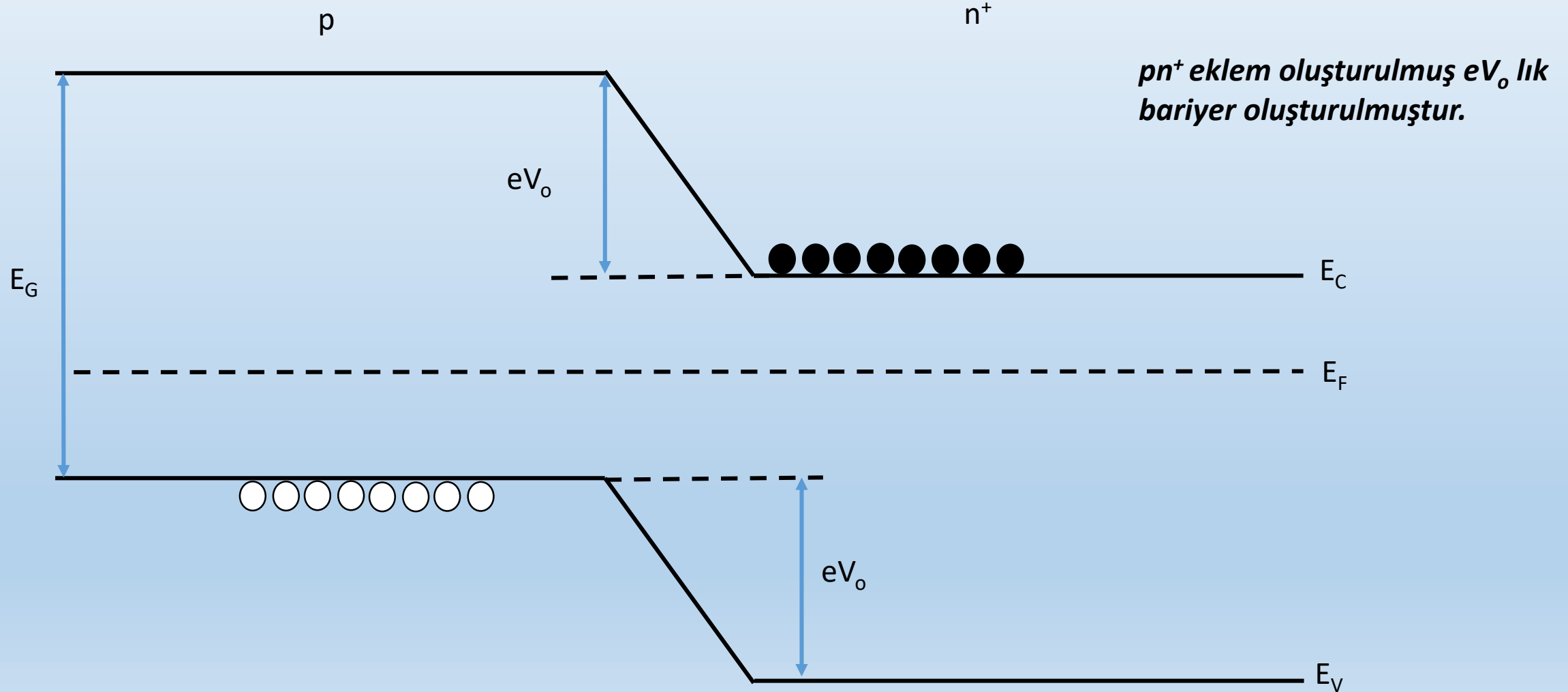
İlk önce 1920'li yıllarda Rusya'da konuşulmaya başlanmıştır. Radyo teknisyeni Oleg Vladimirovich Losev, radyo alıcıları için kullandıkları diyot elemanların ışık yayabilme özelliği olduğunu fark ederek 1927 yılında Rus basınında bunun hakkındaki tespitlerini yayınlamıştır. (Schottky Diyotlarda)

1949 ilk p-n eklemnin geliştirilmesi

1962 de GaAs ekleminden doğal ışıma gözlenmiştir. Nick Holonyak Jr., kızılötesi ışık yerine görünür kırmızı ışık yayan bir ışık yayan diyot icad etmiştir; General electric 2014-Verimli mavi LED Isamu Akasaki-Hiroshi Amano-Shuji Nakamura NOBEL

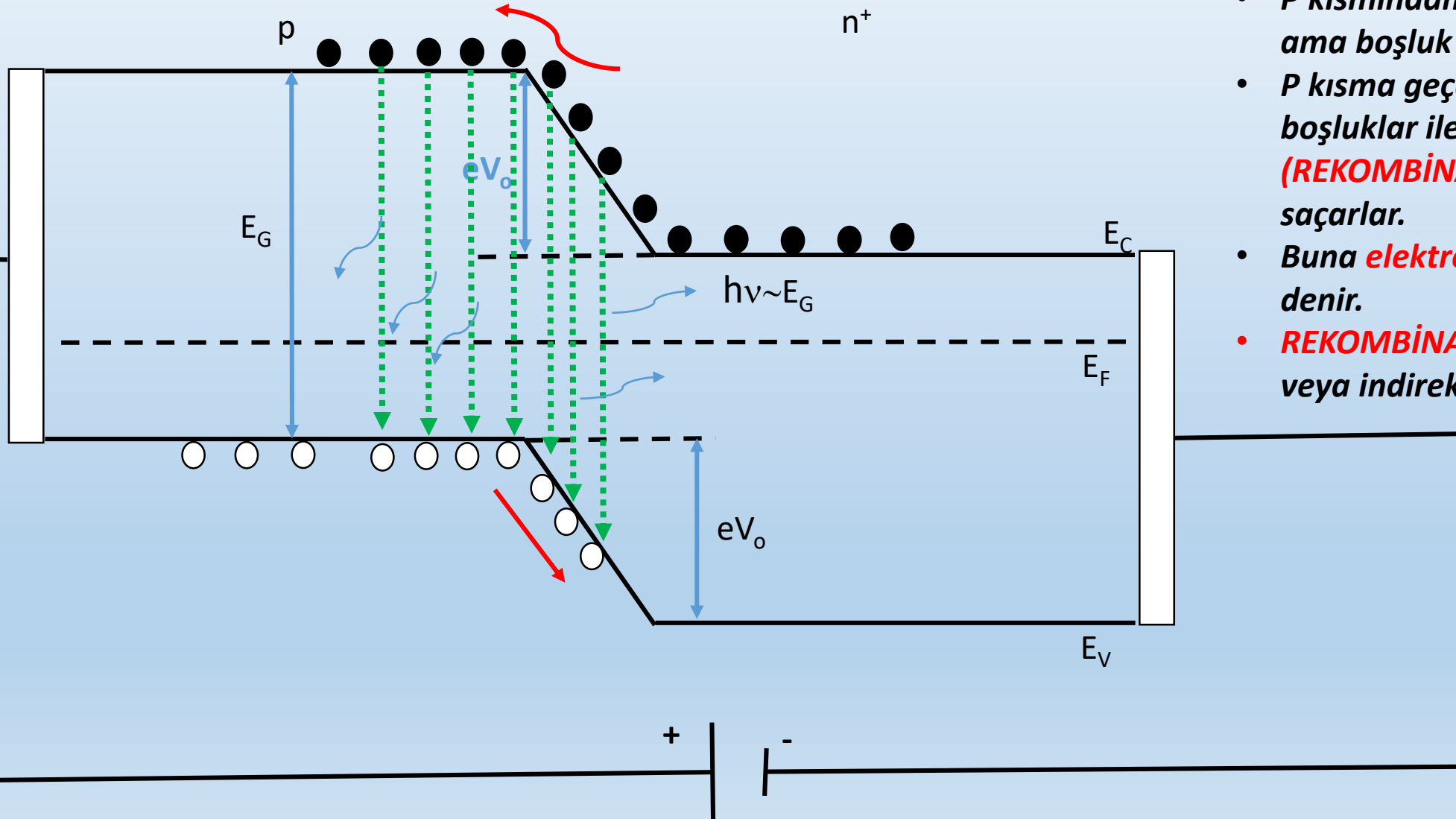
LED (LIGHT EMITTING DIODE)

pn⁺: yüksek n katkılı/p eklem



LED (LIGHT EMITTING DIODE)

pn^+ : yüksek n katkılı/ p eklem



- pn^+ eklem dışarıdan doğru yönde V gerilimi uygulanmıştır.
- n^+ kısmından elektronlar p kısma geçmiştir.
- P kısmından n^+ kısma da az ama boşluk hareketi vardır.
- P kısma geçen elektronlar boşluklar ile birleşerek **(REKOMBİNASYON)** foton saçarlar.
- Buna **elektrolüminesans** denir.
- **REKOMBİNASYON** direkt veya indirekt geçişle **olabilir**.

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

- *Yayımlanan fotonun rengi yarıiletkenin yasak band enerji aralığı E_G ile ilgilidir.*

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \nu = f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow$$

$$E = h\nu = hf = E_G$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_G}$$

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

ÖRNEK

Yasak band genişliği 2 eV ise yayımlanan ışığın dalga boyunu hesaplayınız.

$$h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ J.s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow$$

$$E = \frac{6.64 \times 10^{-34} \text{ Joule.s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda(m)} \Rightarrow$$

$$E = \frac{6.64 \times 10^{-34} \text{ Joule.s} \times \left(\frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} \right) \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda(m)} \Rightarrow E = \frac{12.4 \times 10^{-7} \text{ eV.m}}{\lambda(m)} \Rightarrow E = \frac{1240 \times 10^{-9} \text{ eV.m}}{\lambda(m)}$$

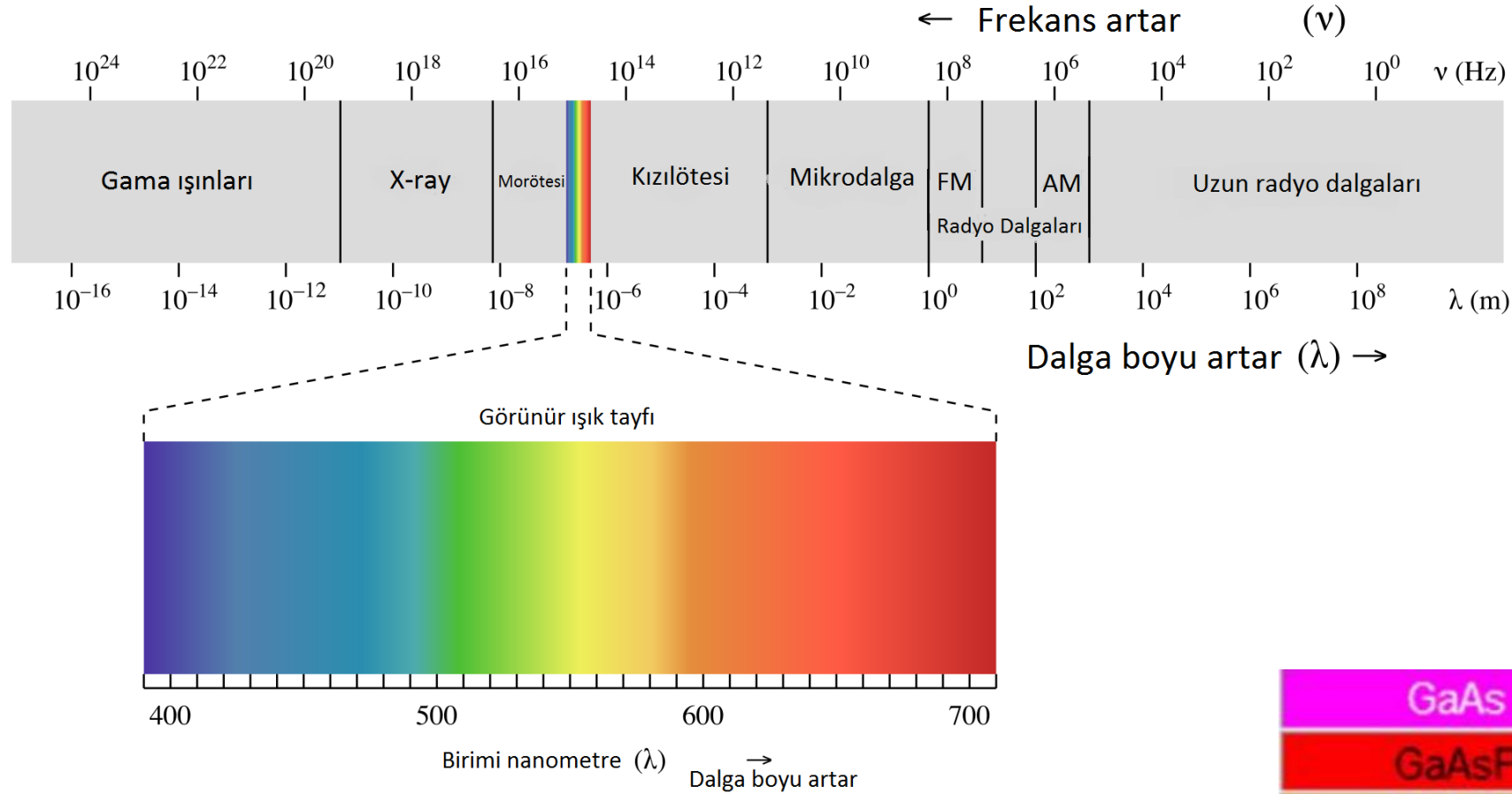
$$E = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{\lambda(\text{nm})} \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{2 \text{ eV}} \Rightarrow$$

$$\lambda = 620 \text{ nm}$$

Turuncu

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

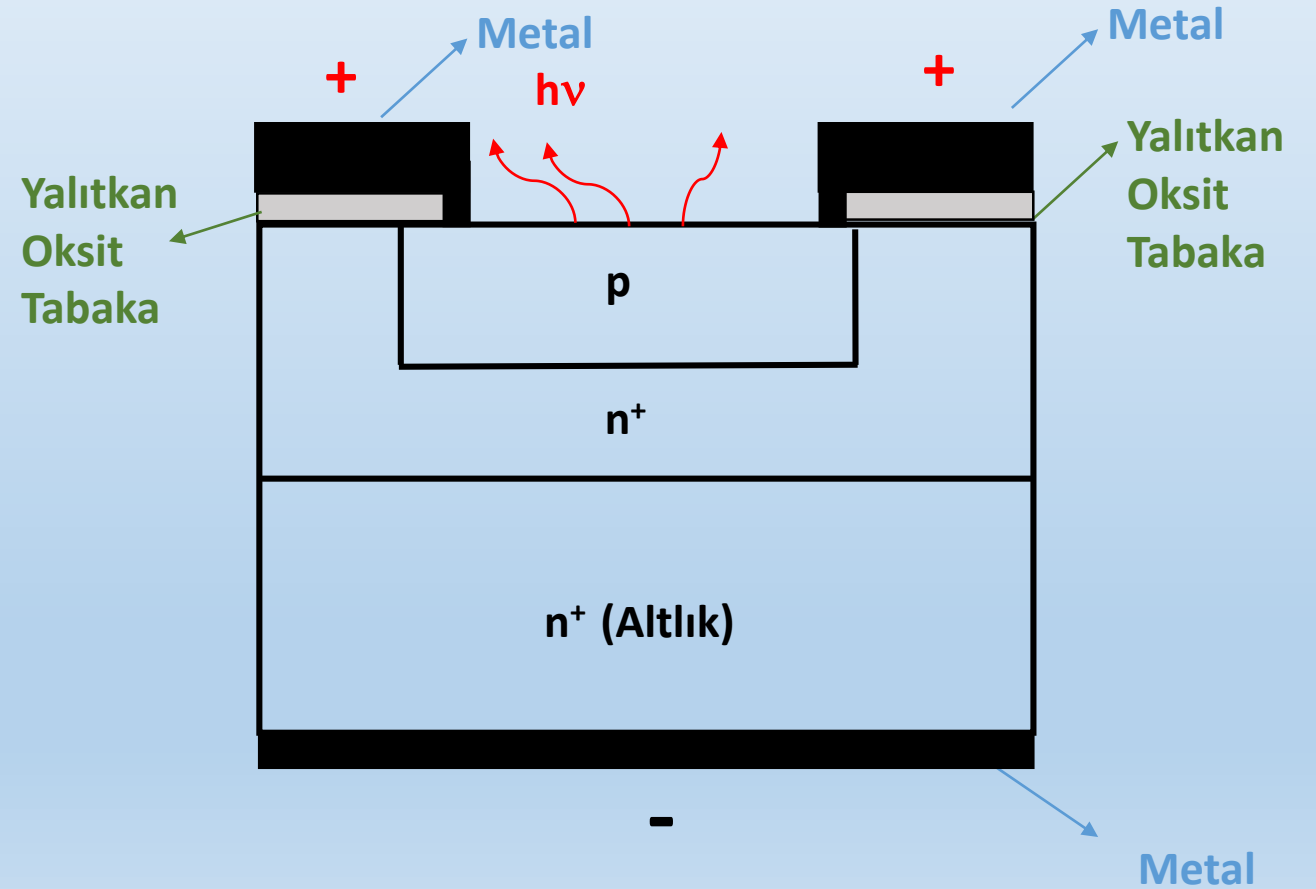
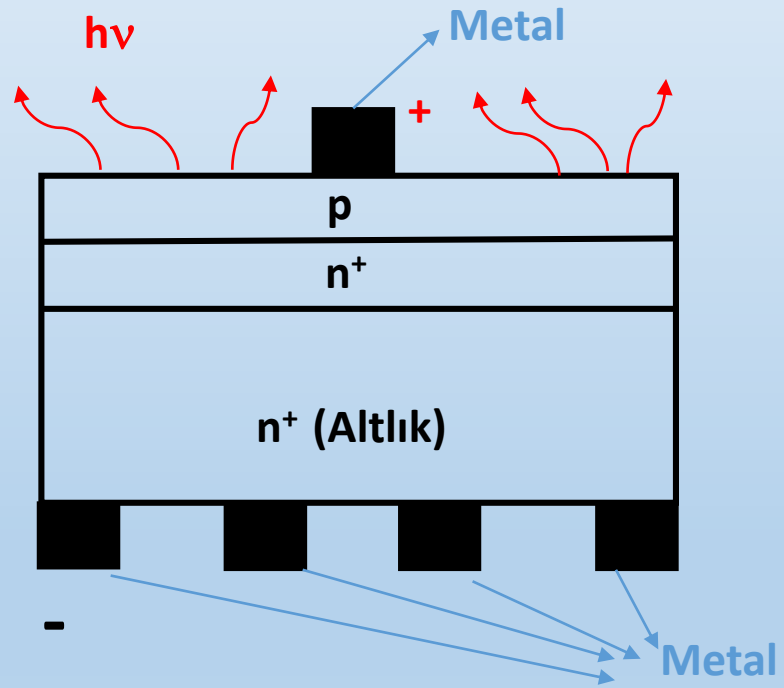


- Yayımlanan fotonun görünür bölgede (ışık) tayfına denk gelmesi için farklı YI ler kullanılır.***

GaAs	850-940nm	Infra-Red
GaAsP	630-660nm	Red
GaAsP	605-620nm	Amber
GaAsP:N	585-595nm	Yellow
AlGaP	550-570nm	Green
SiC	430-505nm	Blue
GaN	450nm	White

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

Farklı Tip/geometride üretilen LED ler



LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED lerde 2 Temel Büyüklük Önemlidir:

Verimlilik (Efficiency)

Rekombinasyon Süresi

1- Verimlilik (Efficiency)

- Elektrik enerjisinin Optik enerjiye dönüşmesinde az enerji harcayarak yüksek aydınlatmaya ulaşmak enerji verimliliği açısından önemlidir.
- Bu durum özellikle direkt geçişli yarıiletkenlerin LED üretiminde tercihini önemli kılmıştır.

$$\eta = \frac{P_{Optik}}{I.V} \Rightarrow \frac{P/(h\nu)}{I/e}$$

Birim zamanda saçılan foton

$$I = eA \left(\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} p_{no} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} n_{po} \right) \left(e^{\frac{eV}{k_B T}} - 1 \right)$$

Birim zamanda enjekte edilen elektron sayısı

LED (LIGHT EMITTING DIODE)

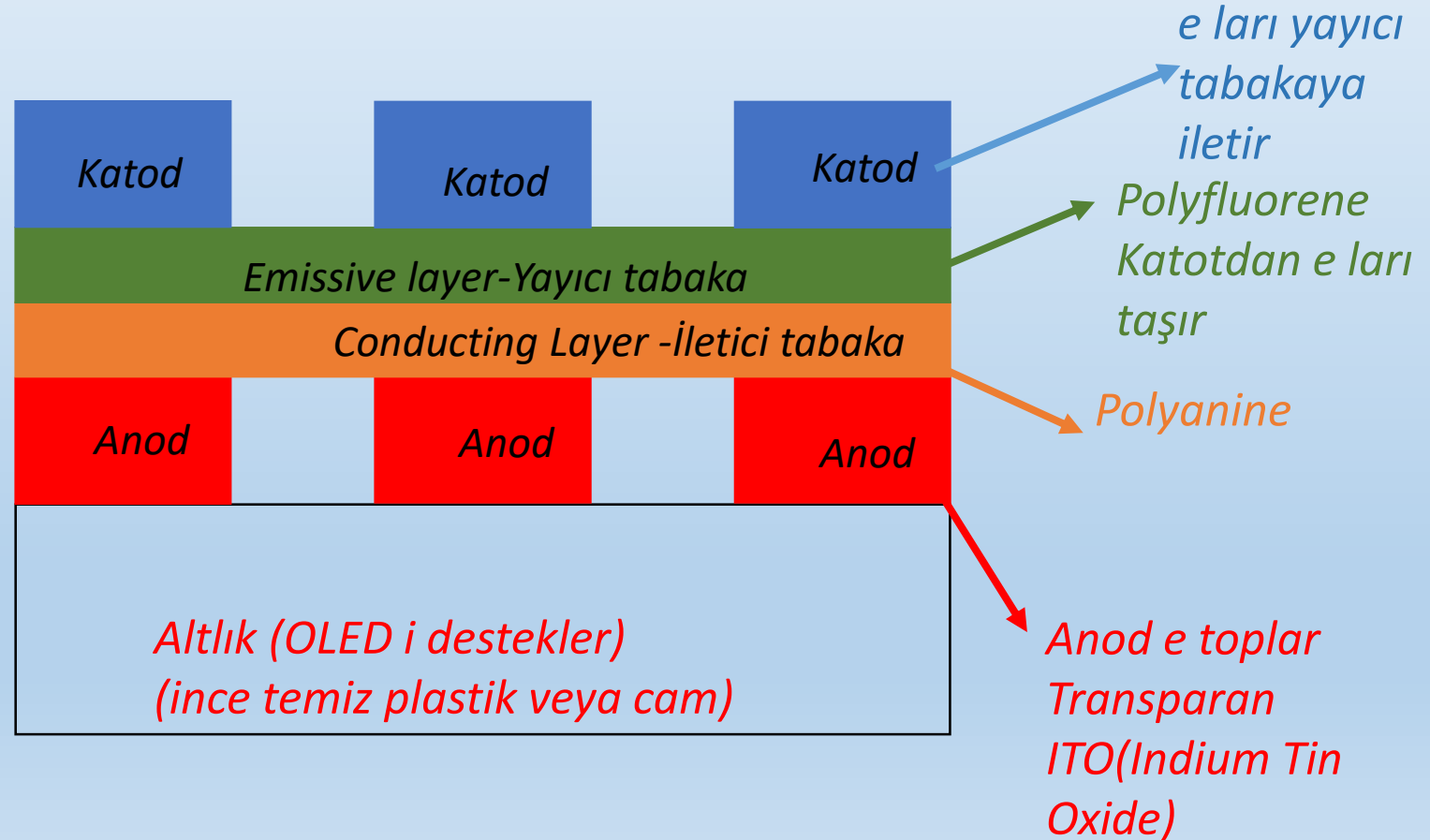
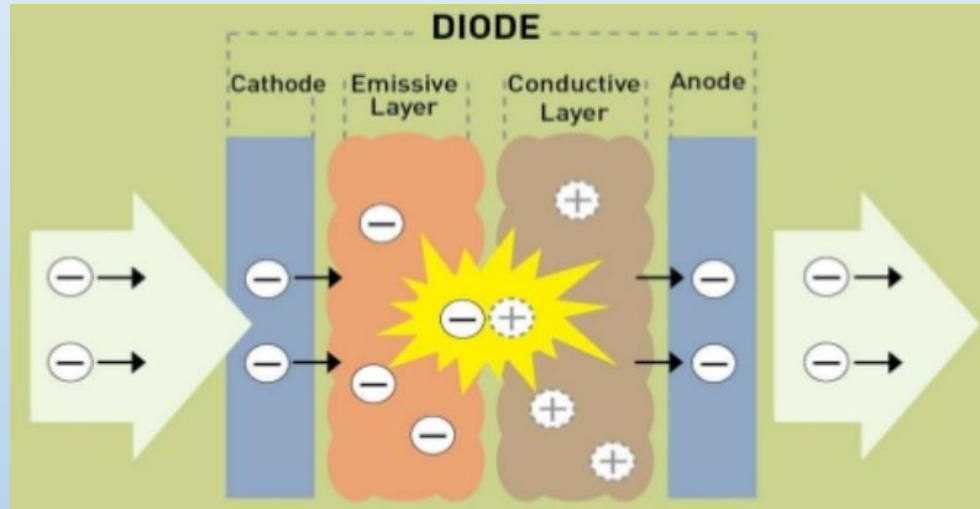
2- Rekombinasyon Süresi

- Birim zamanda saçılan foton ve enjekte edilen elektron sayısı verimliliğin temel öğeleri ise rekombinasyon süresine direkt bağlı bu iki parametre rekombinasyon süresinin önemini göstermektedir.*

$$\frac{1}{\tau} = \frac{p_o + n_o + \Delta n}{(N\vartheta_p\sigma_p)^{-1}(n_o + n_1 + \Delta n) + (N\vartheta_n\sigma_n)^{-1}(p_o + p + \Delta p)}$$

OLED (ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE)

- 100-500nm dalga boyu aralığında Elektromagnetik dalga üretebilen OLED ler insan saçından daha ince üretilebilmektedir ve kıvrılabilme (flexibility) en önemli tercih sebebidir.



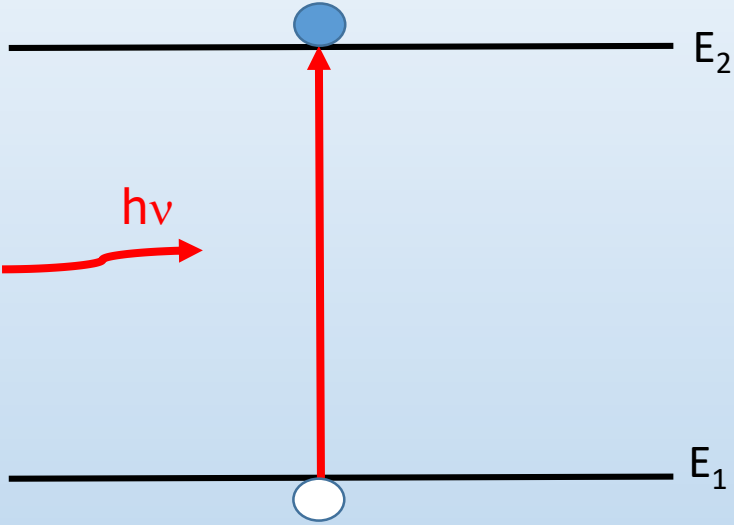
OLED (ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE)

LED	OLED	AVANTAJ VE DEZAVANTAJLAR
Nokta Kaynaklı	Yüzey kaynaklı	
-	İnce/hafif/esnek	
Renk ayarı kolay	Renk ayarı zor	
-	Kontrast daha iyi	
Su ve dış etkilerden az etkilenir	Su ve dış etkilerden hızlı zarar görür	
	Üretimi komplekstir	
	Geniş görüş açısı	

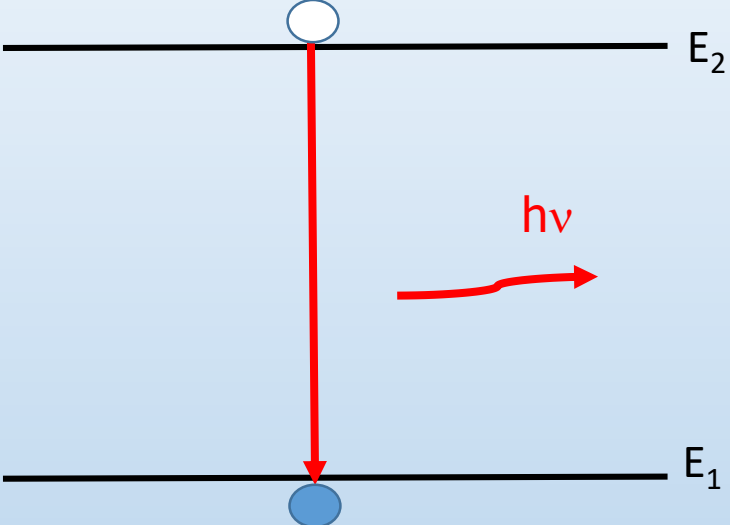
LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION by RADIATION)

1917	Einstein zorlamalı emisyonu teorik olarak açıkladı
1951	Maser icad edildi (C.H.Maser) (laser le aynı prensiple mikrodalga bölgesinde çalışır)
1958	Townesand ve Schawlow Maser in optik frekanslara uygulanabileceğini önerdi.
1960	Hughes Yakut Laser i geliştirdi
1962	R Hall Yarıiletken Laser i geliştirdi.

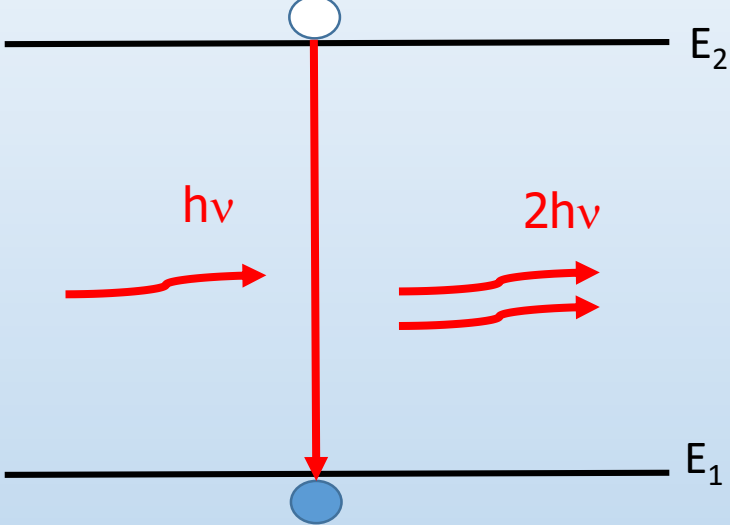
LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION by RADIATION)



Soğurma (Absorbsiyon)



Salma (kendiliğinden Emisyon)

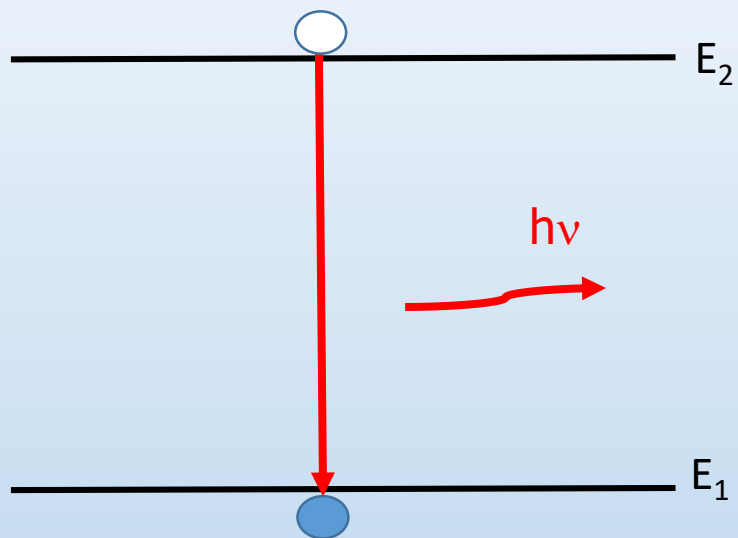


Salma (zorlamalı Emisyon)

(Yayılan fotonun frekansı)

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

LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION by RADIATION)



Salma (kendiliğinden Emisyon)

(Yayılan fotonun frekansı)

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

Başlangıçta E_1 seviyesindeki taşıyıcı sayısı N_1

Uyarılmış E_2 seviyesindeki taşıyıcı sayısı N_2

Parçacıkların iki enerji seviyesi arasındaki toplam oranı:

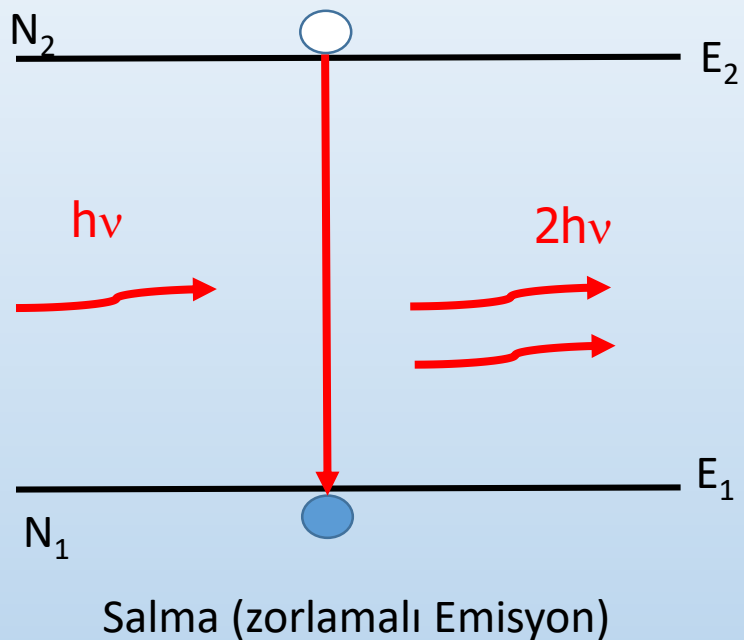
$$\frac{dN_2}{dt} = -N_2 A_{21}$$

«-» İşareti uyarılmış enerji seviyesinin popülasyonundaki azalmayı temsil eder.

A_{21} : Einstein katsayısı

$\frac{dN_2}{dt}$: küçük zaman aralığında 2. seviyeden 1. seviyeye geçiş olasılığı

LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION by RADIATION)



(Dış radyasyon alanının yoğunluğuna bağlıdır)
 $\rho(\nu) \rightarrow \text{Jm}^{-3}\text{Hz}^{-1}$ ile ifade edilir.

Uyarılmış emisyon oranı:

$$\frac{dN_2}{dt}(\nu)d\nu = N_2 B_{21}(\nu) \rho(\nu) d\nu \quad \text{s}^{-1}\text{m}^{-3}$$

B_{21} : enerji seviyeleri arasındaki geçiş olasılığı ile orantılı bir katsayı

N_2 : 2. seviyede hacim başına düşen taşıyıcı sayısı

$B_{21}(\nu) = B_{21}g(\nu_o, \nu)$ gibi bir fonksiyon ile verilir.

Bu durumda;

$$\frac{dN_2}{dt} = -N_2 \int_{-\infty}^{\infty} B_{21}(\nu) \rho(\nu) d\nu$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -N_2 B_{21} \int_{-\infty}^{\infty} g(\nu_o, \nu) \rho(\nu) d\nu$$

ile ifade edilir.

OPTİK DALGA KLAVUZU

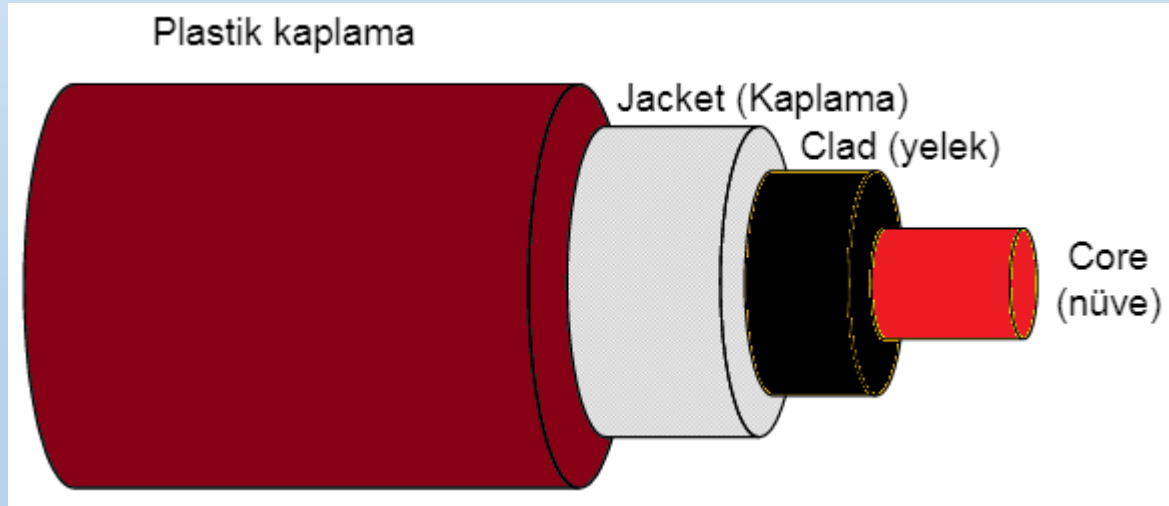
- *Dalga klavuzlarının fonksiyonu ışığın özelliğini bozmadan en az kayıpla bir noktadan başka noktaya iletmektir.*
- *Uzun mesafede (km) ışığı taşımada kullanılan en yaygın dalga klavuzları optik fiberlerdir.*

LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION by RADIATION)

Optik sistemde (10^{14} Hz ile 10^{15} Hz arasında) ışığın iletilmesini sağlar.

Fiber optik kablolar yaklaşık 100 mikro metre çapında , core (ışığı taşıyan kısım) ve kaplaması (clad) (ışığı tam yansıtan kısım) camdan yapılmıştır.

Kaplamanın (Clad) kırılma indisi nüvenin kırılma indisinden daha düşüktür.



GÜNEŞ GÖZELERİ (GÜNEŞ PİLLERİ)

Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürene yarıiletken aygıtlar.

Avantajları:

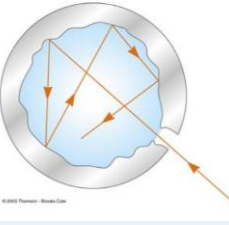
- 1-Temiz-çevre dostu
- 2- Gürültüsüz
- 3-mekanik aksama ihtiyaç duymayan
- 4-Güvenli ve uzun ömürlü aygıtlar

İnorganik Yarıiletkenler ve Organik yarıiletken malzemelerden üretiliyorlar
Çalışma prensibi pn eklem diyotuna dayanmaktadır.

GÜNEŞ GÖZELERİ (GÜNEŞ PİLLERİ)

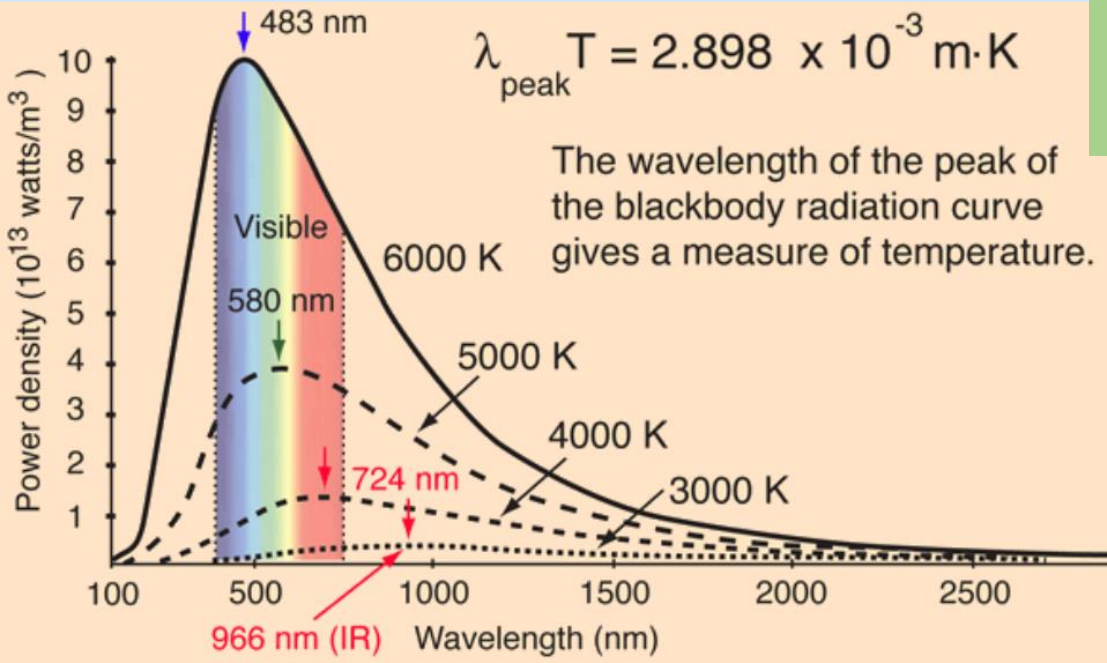
Solar RADYASYON: Yeryüzüne düşen Güneş ışınlarının spektrumu
GÜNEŞ=Sıcaklığı 5778K~5800K olan bir **KARA CİSİM**

SİYAH (KARA) CİSİM IŞIMASI VE PLANCK HİPOTEZİ



$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad \text{veya}$$

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/radfrac.html>



WIEN YERDEĞİŞTİRME YASASI

- Sıcaklık arttıkça toplam enerji de artar.
- Sıcaklık arttıkça eğrilerin pik noktaları sola doğru kaymaktadır.

$$E(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3 (e^{h\nu/kT} - 1)} \quad \text{Spektral enerji yoğunluğu}$$

Birim frekans aralığında hacim başına enerji

Stefan-Boltzmann denklemleri, ısıyan toplam gücü tanımlar

Stefan-Boltzmann Denklemi Yayılan ısımanın Gücü Sıcaklıkla Artar

$$P = \sigma A e T^4$$

Burada, P = watt olarak ısıyan güç,

A = alan, m²

σ = Stefan-Boltzmann sabiti = $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T = Sıcaklık (Kelvin)

e = yayılabilirlik (0-1 arası bir sabit) (1: kusursuz yayıcı)

GÜNEŞ VE DÜNYANIN KARA CİSİM IŞIMA SPEKTRUMLARI

$$\lambda T = 0.2898 \times 10^{-2} \quad (m.K)$$

$$\lambda(5800) = 0.2898 \times 10^{-2}$$

$$\lambda = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda_{max} = 0.50 \mu\text{m} \text{ (Görünür Bölge)}$$

500 nm

Güneş yüzeyinin sıcaklığı 5800 K yayımlanan ışınımın maksimum dalga boyu nedir?

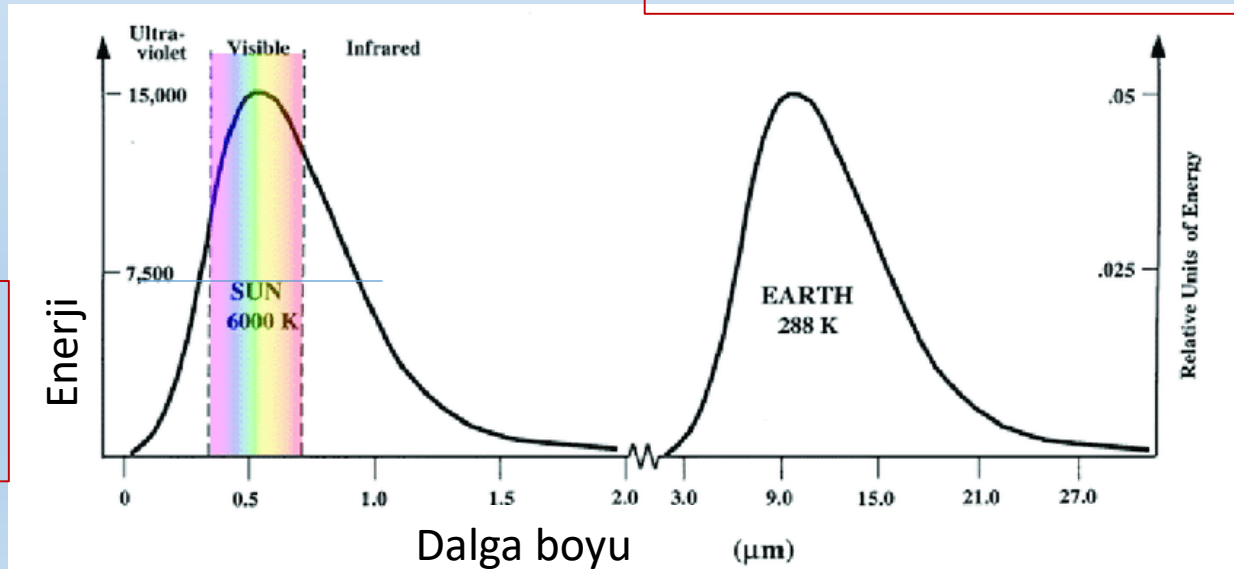
Dünya yüzeyinin sıcaklığı 293 K yayımlanan ışınımın maksimum dalga boyu nedir?

$$\lambda T = 0.2898 \times 10^{-2} \quad (m.K)$$

$$\lambda(293K) = 0.2898 \times 10^{-2}$$

$$\lambda_{max} = 10 \mu\text{m} \text{ Kızıl ötesi bölge}$$

Güneş(5800K ~ 6000K) ve Dünyanın (~290K) ışıma spektrumları



https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-the-emission-spectra-of-the-sun-and-the-earth-Note-the-huge-disparity-in_fig1_234531025

GÜNEŞ VE DÜNYANIN KARA CİSİM IŞIMA SPEKTRUMLARI

Vücut sıcaklığı $\sim 37^{\circ}\text{C}$ derimizden yayımlanan ışınımın dalga boyu nedir?

GECE GÖRÜŞ SİSTEMLERİ bu ışımayı algılar

$$\lambda T = 0.2898 \times 10^{-2} \quad (m.K)$$

$$\lambda(273 + 37) = 0.2898 \times 10^{-2}$$

$$\lambda(310) = 0.2898 \times 10^{-2}$$

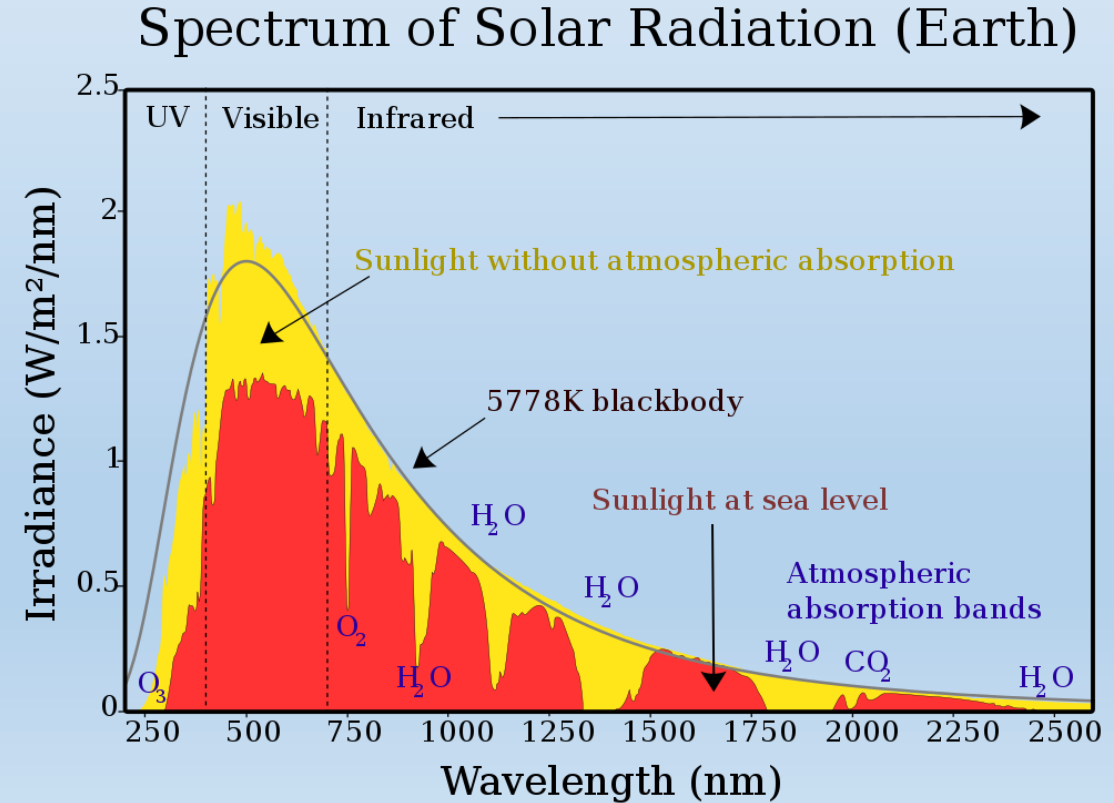
$$\lambda = 9.40 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda = 9.40 \mu\text{m} \quad (\text{Kızıl ötesi})$$

GÜNEŞ VE DÜNYANIN KARA CİSİM IŞIMA SPEKTRUMLARI

- Bir güneş pilinin verimliliği hem üzerine gelen radyasyon ne kadar şiddetli hem de Spektral dağılımının ne kadar geniş olduğuna bağlıdır.
- Laboratuvar şartlarında hazırlanan güneş pillerinin aynı spektrum ve şiddette ki ışınlama ölçeriz.
- Güneş Işığı Smülatörleri
- AM0, AM2.0, A.M 1.5 spektrumları
- American Soc. Testing of Materials standarttır.
- AM0 uzay uygulamaları
- AM1.5 Dünya uygulamaları

Atmosfer yukarısı ve deniz seviyesindeki spektral enerji dağılımı



GÜNEŞ PİLİ MALZEME SEÇİMİ

- Bir güneş pili Güneşten gelen fotonları soğurarak pn eklemden elektron-delik çifti oluşturur ve elektron delik çifti arınma bölgesi elektrik alanında sürüklenir dış devreyi dolaşarak akım ve gerilim oluşturur yani elektrik enerjisi oluşur.

- Yarıiletkenin

1- yasak band aralığı

2- Spektral soğurma katsayısı (malzeme özelliklerine bağlı) Birimi: m^{-1}

\gg *YI nin soğurma katsayısı*

$$\alpha = (3.5 \pm 0.5) \times 10^6 \frac{m_r (\hbar\omega - E_g)^{1/2}}{m_e^* \hbar\omega}$$

m_r : *elektron veya boşluğun indirgenmiş kütlesi*

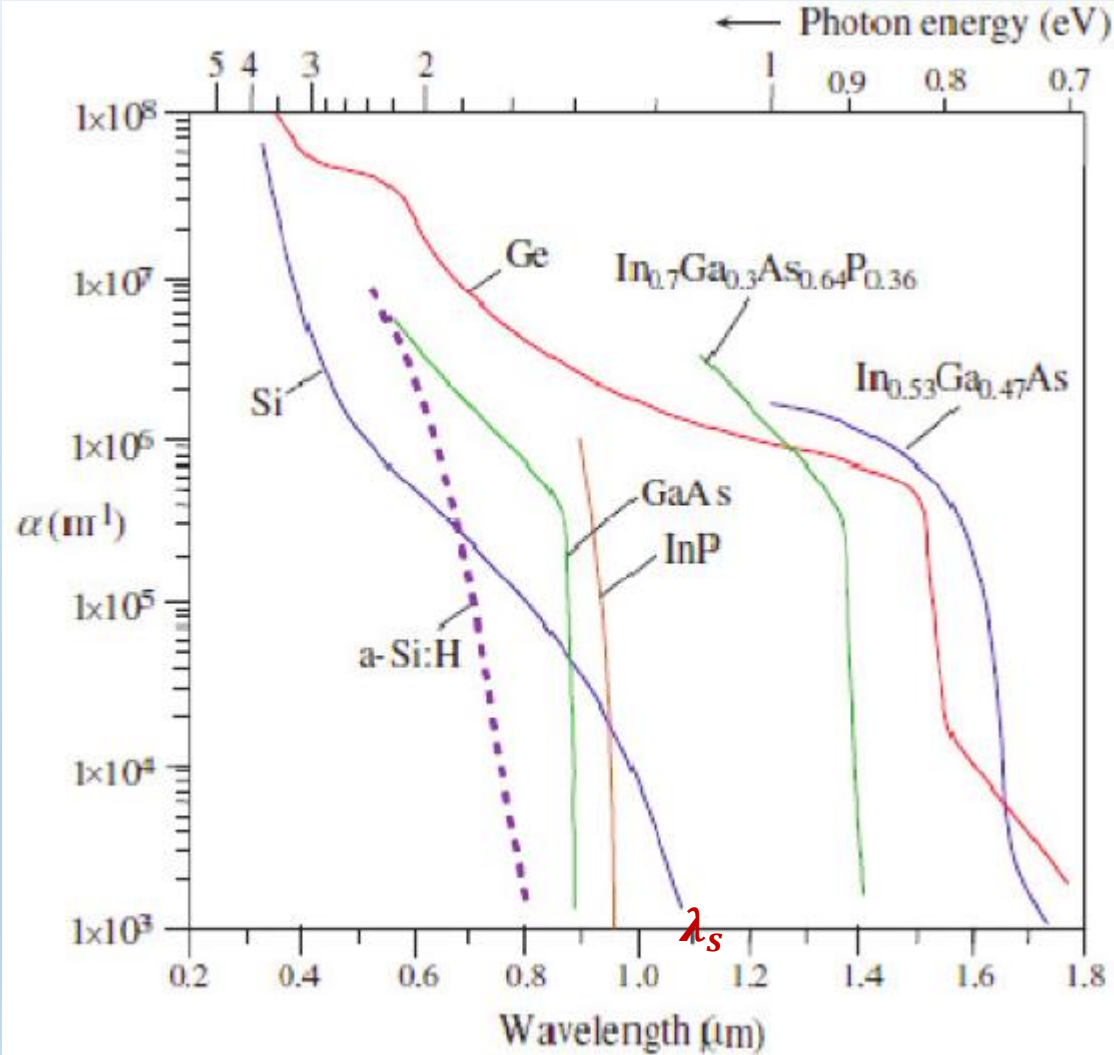
m_e^* *elektron veya boşluğun etkin kütlesi*

$$\frac{1}{m_r} = \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}$$

$\hbar\omega$: *EMD enerjisi,* E_g : *YI Yasak band aralığı*

GÜNEŞ PİLİ MALZEME SEÇİMİ

https://www.researchgate.net/figure/Absorption-coefficient-a-as-a-function-of-wavelength-l-for-various-semiconductors-To_fig4_221914026



$$E_g = \hbar\omega_s = h\frac{c}{\lambda_s}$$

λ_s : *Sınır dalga boyu*

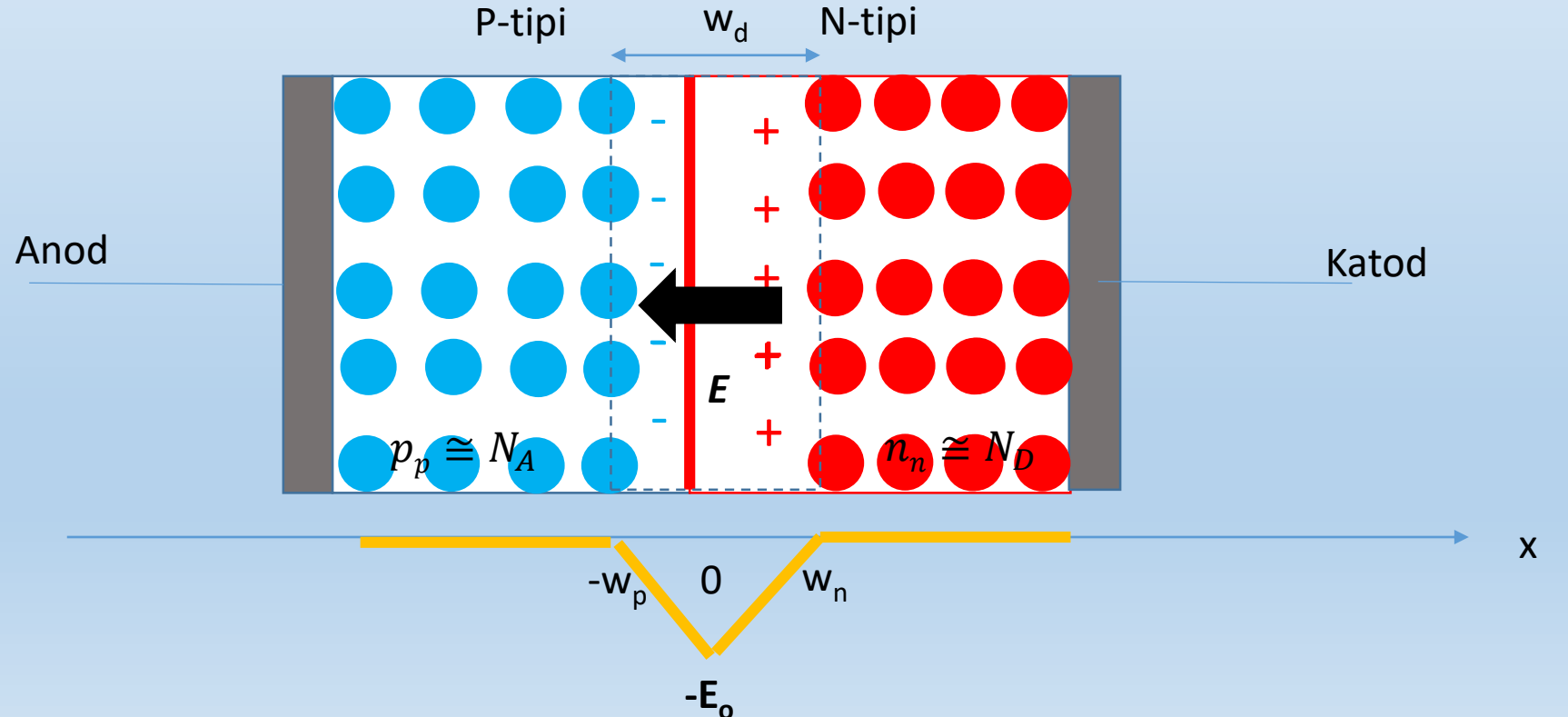
Malzemenin soğurmasının
sıfıra gittiği dalga boyu değeri

Güneş pilinin üzerine gelen fotonların
pn eklem sınırı (Akif bölge) tarafından
soğurulmasını bekleriz.

Aktif bölgenin kalınlığı (arınma bölgesi
genişliği) verimliliğini direk etki eder.

GÜNEŞ PİLİ –GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

- PN eklemde bir arınma bölgesi oluşur
- Arınma bölgesinde serbest elektron ve boşluk yoktur
- Arınma bölgesinde bir iç elektrik alan oluşur
- Bu elektrik alan yarıiletkenlerin arınma bölgesi dışındaki kısımlarında sıfırdır.
- Termal denge durumunda pn akım geçmez ancak doğru ve ters beslemede akım geçirilir ve doğru beslendiğinde geçen akım ters beslenmeye kıyasla büyüktür.
- Ters besleme geçen akım belirli bir gerilim değerine kadar uygulanan gerilimden bağımsız sabit bir sızıntı akımıdır.



GÜNEŞ PİLİ –GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

- PN eklem üzerine foton gönderdiğimizde pn eklemi termal dengeden çıkarırız.
- Foton etkisiyle elektron delik çifti oluştururuz ve bunları ısı etkiden farklı bir etki oluşturduğum için **FAZLADAN YÜK TAŞIYICILARI** olarak adlandırıyoruz.
- **FAZLADAN YÜK TAŞIYICILARI** nın tüm hacimde hojen oluştuğunu ön görüyoruz
- Arınma bölgesinde oluşan bu elektron boşluk çiftleri (FAZLADAN YÜK TAŞIYICILARI) arınma bölgesindeki elektrik alanda farklı yönlerle sürüklenirler.
- **FOTO AKIM MEYDANA GELECEK:**

$$I_L = Ae \int_0^x G_L dx = Ae G_L w_d$$

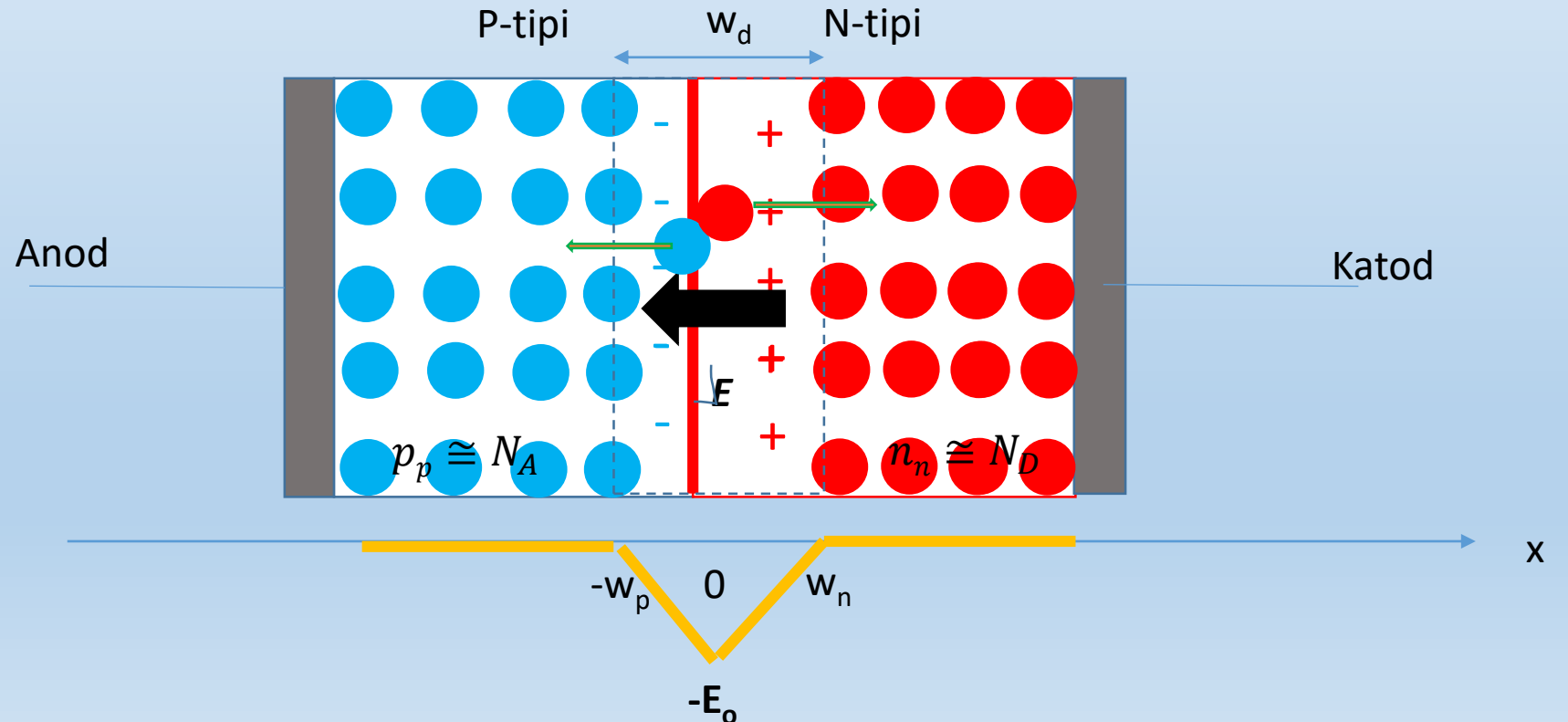
I_L : Foto akım

A : Kesit alan

$$E_g \leq \hbar\omega$$

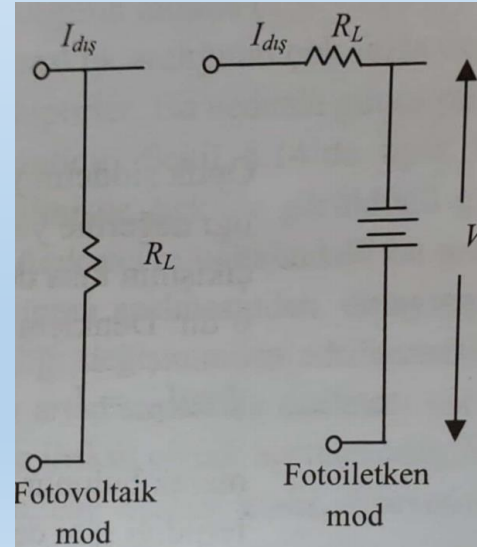
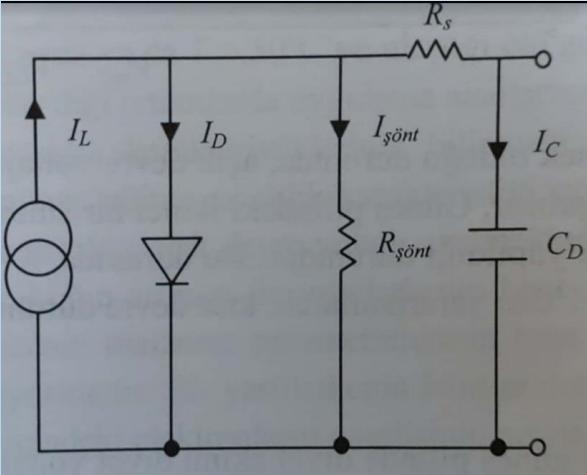
w_D : Aktif bölge genişliği

G_L : e – delik çifti üretim hızı



GÜNEŞ PİLİ –GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

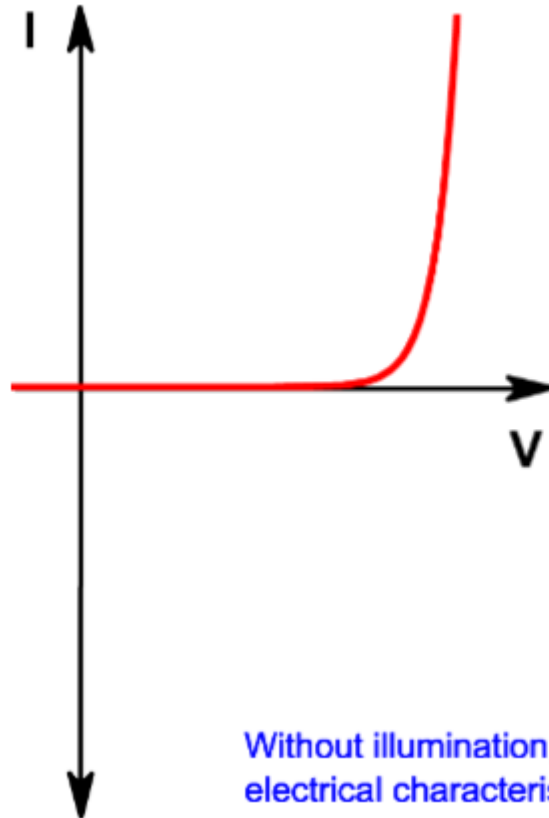
- Eğer diyoda bir voltaj da uygularsam;
- Diyottan geçen toplam akım
- $I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(V+R_S I)}{k_B T}} \right)$
- **1. Güneş pili olarak çalışacaksa bu diyot:** Dış voltaj uygulanmaz ve diyot yüksek bir R_s direncine bağlanır. Bu sayede foton pn diyot üzerine düşürüldüğünde dış yük direnci üzerinden akım geçer; güç üretilir.
- **2. Fotoiletken durumunda çalışacaksa diyot:** (FOTODEDEKTÖR) diyot geri beslem yapılıır. Diyot hem yük direncine hem de dış güç kaynağına bağlanır. Üzerine ışık düşürüldüğünde foto akım oluşur.



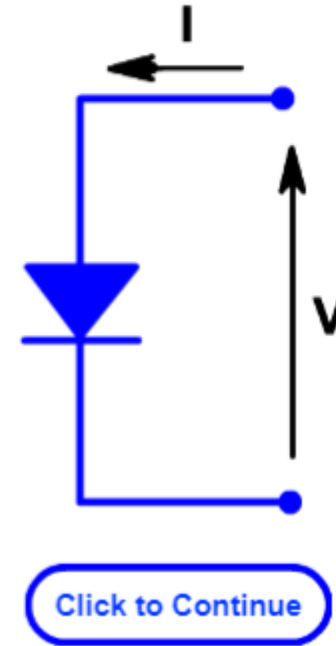
GÜNEŞ PİLİ -GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

- $I = I_L + I_o \left(1 - e^{-\frac{e(V+R_s I)}{k_B T}} \right)$
- **FOTON YOK DİYOT AKIM GERİLİM KARAKTERİSTİĞİ SADECE DİYOT AKIMI VAR $I_L=0$ (FOTON AKIMI SIFIR)**

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>



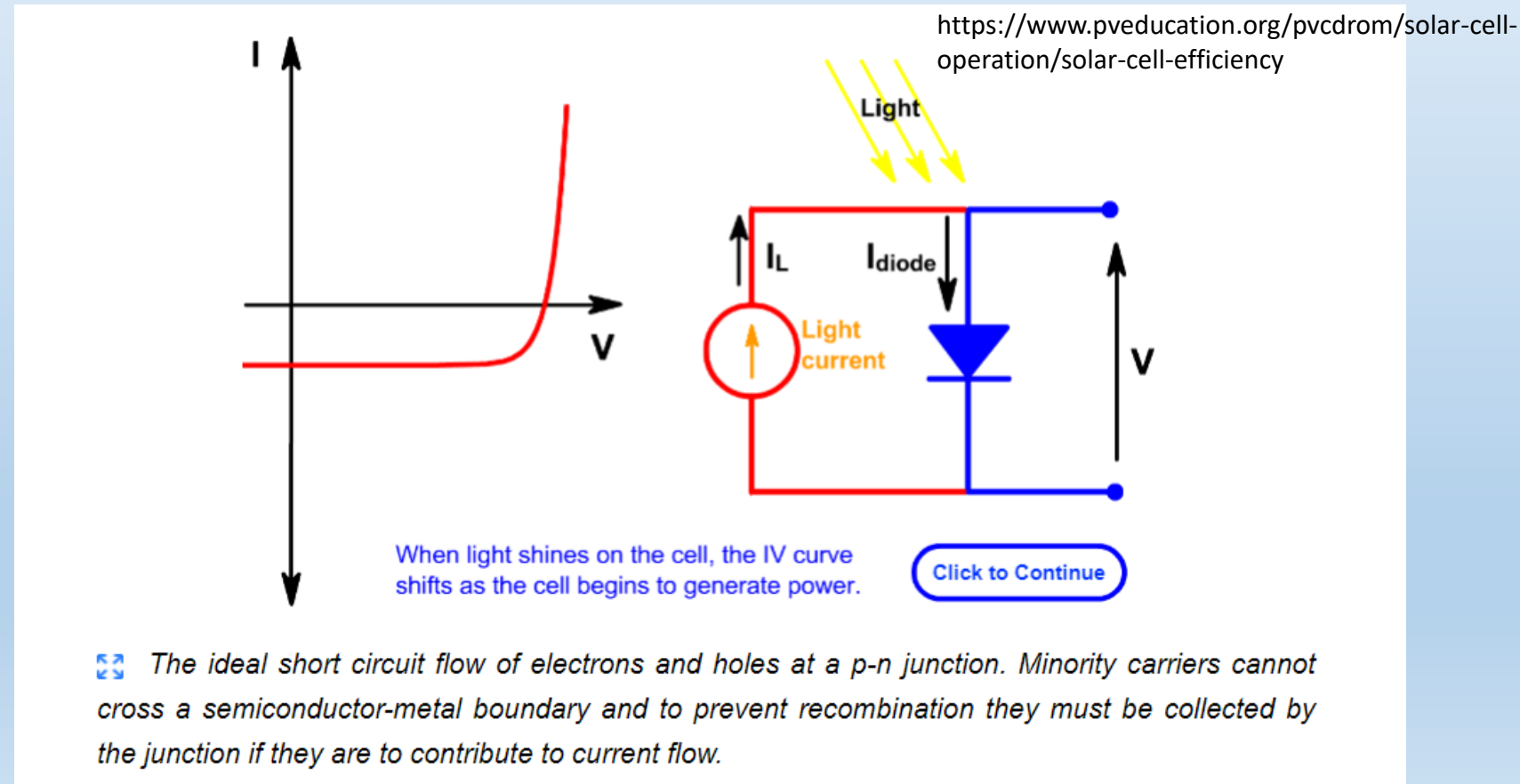
Without illumination, a solar cell has the same electrical characteristics as a large diode.



Click to Continue

GÜNEŞ PİLİ –GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

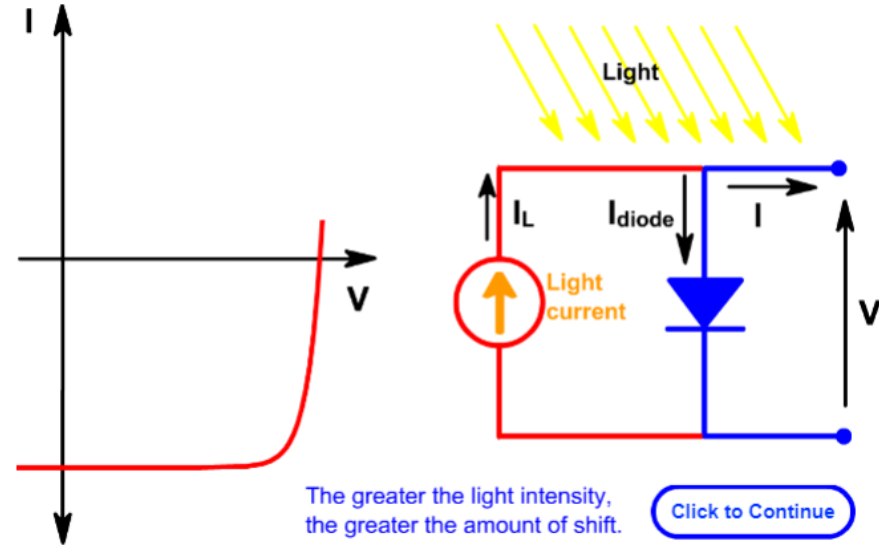
- $I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(V+R_S I)}{k_B T}} \right)$
- FOTON VAR GÜNEŞ PİLİ AKIMI GERİLİM KARAKTERİSTİĞİ DİYOT AKIMI VAR + I_L (FOTON AKIMI VAR)




GÜNEŞ PİLİ –GÜNEŞ SPEKTRUMU ETKİSİNDE PN EKLEMİ

- $I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(V+R_S I)}{k_B T}}\right)$
- FOTON VAR GÜNEŞ PİLİ AKIMI GERİLİM KARAKTERİSTİĞİ DİYOT AKIMI VAR + I_L (FOTON AKIMI VAR)
- BİR ÖNCEKİ SLAYTA GÖRE IŞIĞIN ŞİDDETİNİ DAHA DA ARTTIRSAM FOTO AKIM DAHA ARTAR VE VOC DE DAHA YÜKSEK DEĞERE GİDER
- YANI 4. bölgedeki GÜNEŞ PİLİ PENCERESİ BÜYÜR.

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>



 The ideal short circuit flow of electrons and holes at a p-n junction. Minority carriers cannot cross a semiconductor-metal boundary and to prevent recombination they must be collected by the junction if they are to contribute to current flow.

GÜNEŞ PİLİ -PARAMETRELERİ

- $I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(V+R_s I)}{k_B T}}\right)$
- Güneş pili olarak pn diyodu düşünüyorsak AÇIK DEVRE MODUNDA ÇALIŞTIRACAĞIM

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>

- AÇIK DEVRE GERİLİMİ V_{oc} : (OPEN CIRCUIT VOLTAGE)

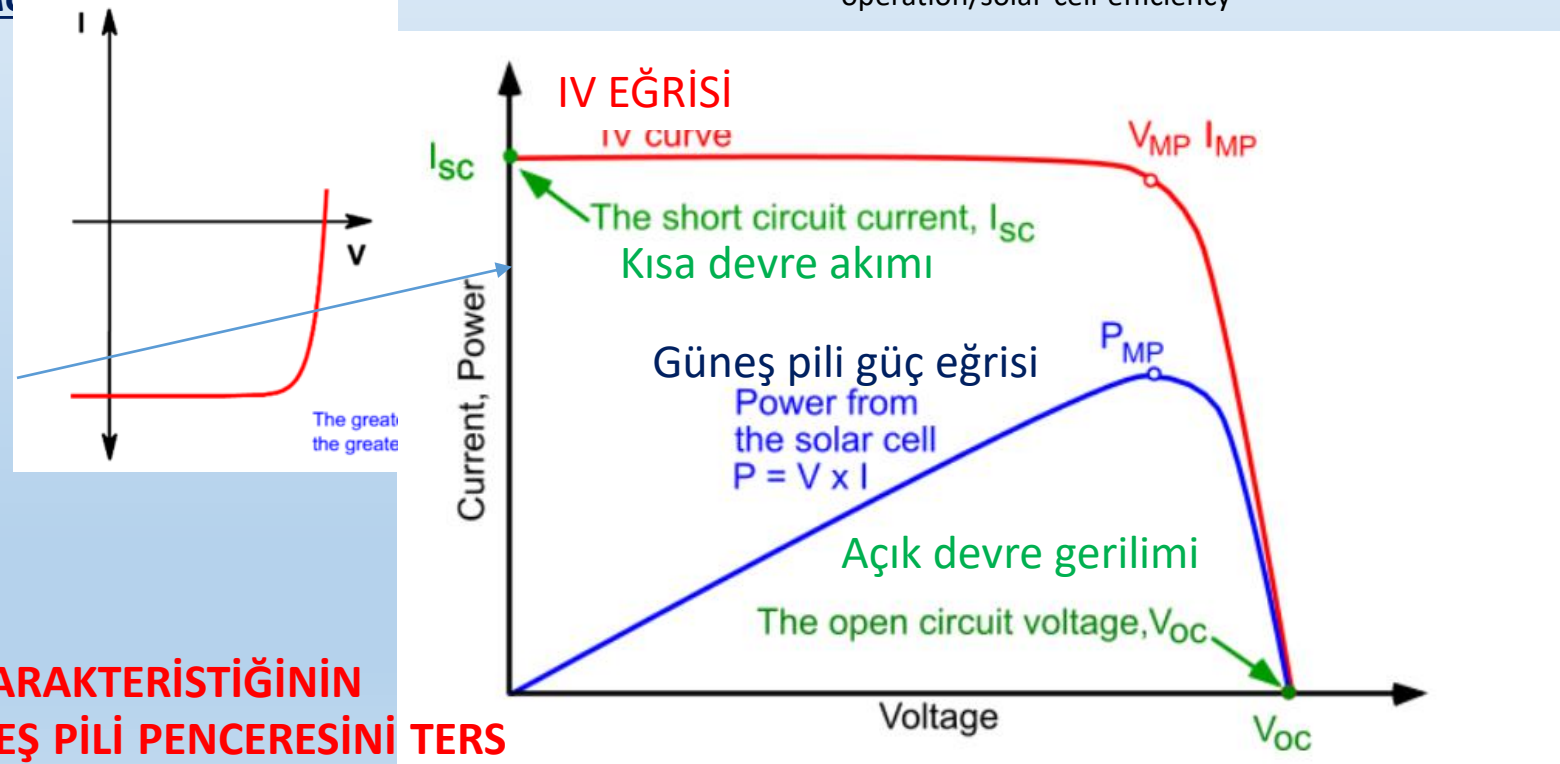
$$I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(V_{oc})}{k_B T}}\right) = 0$$

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_o}\right)$$

- KISA DEVRE AKIMI I_{sc} :
- (SHORT CIRCUIT CURRENT)

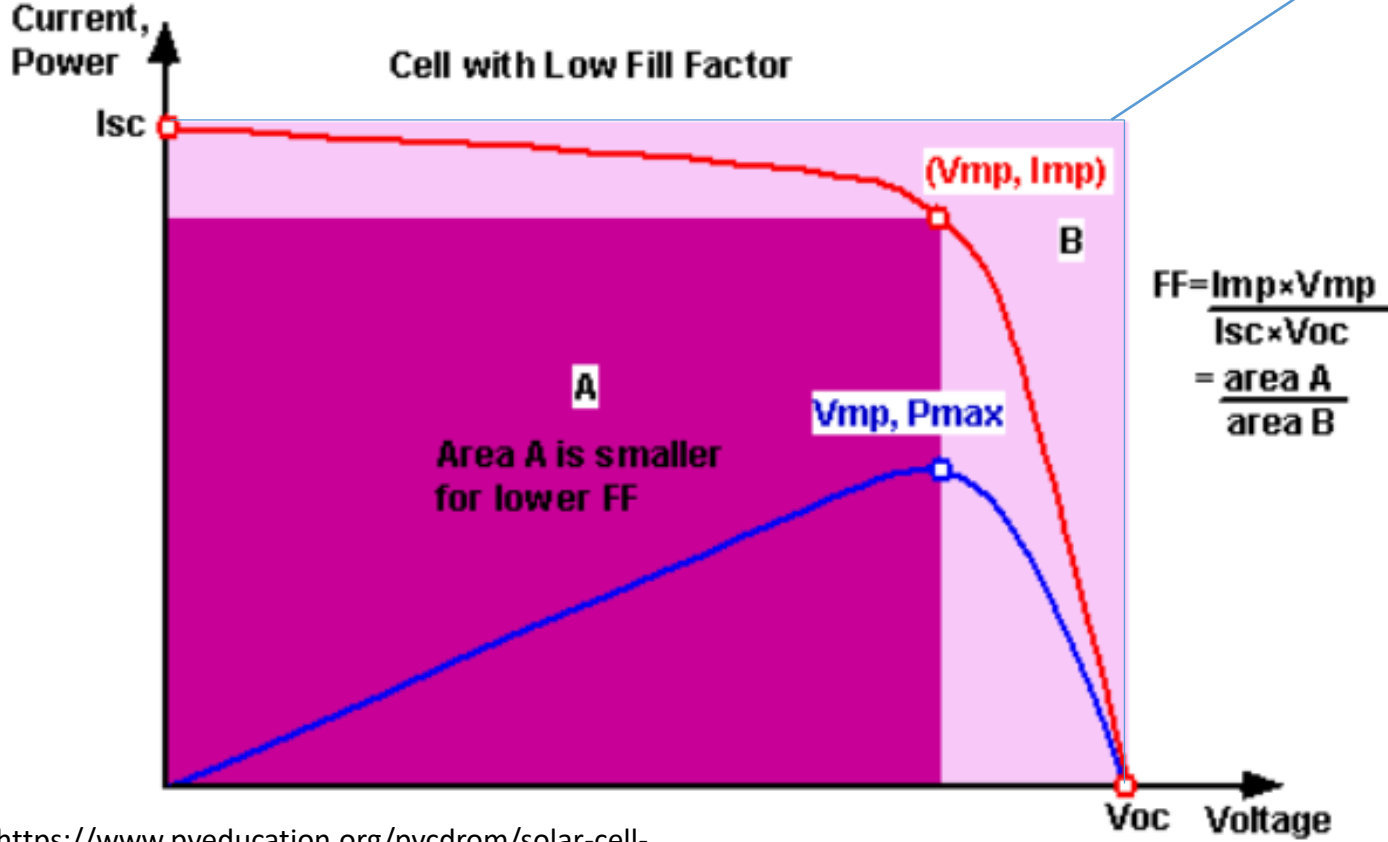
$$I = I_L + I_o \left(1 - e^{\frac{e(0)}{k_B T}}\right)$$
$$I = I_L \text{ (FOTON AKIMI)}$$

- AKIM GERİLİM KARAKTERİSTİĞİNİN
- 4. bölgesini GÜNEŞ PİLİ PENCERESİNİ TERS ÇEVİRİP ÇİZEREK GÜNEŞ PİLİ PARAMETRELERİNİ TANIMLAYALIM:



GÜNEŞ PİLİ -PARAMETRELERİ

100% verimli güneş pili 4. bölge penceresi



<https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>

- **BİR GÜNEŞ PİLİNDEN ELDE EDİLEBİLİNECEK MAKSİMUM GÜÇ:**
- $P_m = Alan(A) = I_m V_m$
- $B = I_{sc} V_{oc}$
- $FF = \frac{A}{B}$: Fill Factor (Doluluk oranı)
- $FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$

$$VERİM(\eta) = \frac{\text{ÇIKAN GÜÇ}}{\text{GİREN GÜÇ}}$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}}$$

P_{in} : GİREN GÜÇ (FOTONUN GÜCÜ)
Örneğin : 100mW/cm²

GÜNEŞ PİLLERİ

I. NESİL

Tek kristal güneş pilleri

Polikristal güneş pilleri

II. NESİL

Çok kristalli silikon (poli-Si) güneş pilleri

Amorf silikon (a-Si) güneş pilleri

Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri

Bakır indiyum; galyum diselenür veya sülfür (CIGS), GaAs alaşım güneş pilleri

III. NESİL

Boya duyarlı güneş pilleri (DSSC)

Nanokristal güneş pilleri

Organik ve polimer güneş pilleri

IV. NESİL

Polimer temelli inorganik (hibrit) kristal güneş pilleri

Best Research-Cell Efficiencies

