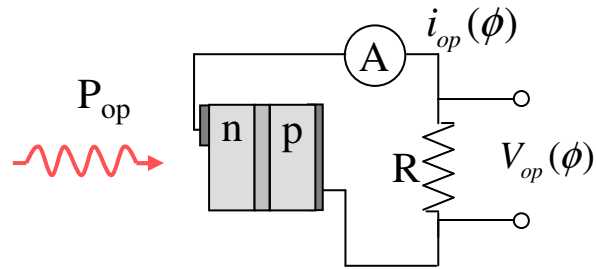


# 16. Ders

## Optoelektronik Devre Elemanları-II



Bu bölümü bitirdiğinizde,

- Işık algılayıcıların (dedektörler) genel özellikleri,
- Dedektör parametreleri,
- Dedektör tepki süresi, kazanç, verim,
- p-n, p-i-n fotodiyot, çığ fotodiyot, bant içi soğurmalı fotodiyot,
- Güneş pilleri,
- Güneş pilleri tasarım parametreleri

konularında bilgi sahibi olacaksınız.

# Onaltıncı Ders: İçerik

- Işık Dedektörleri
  - Işık Dedektörleri-Genel Özellikler
  - Fotoiletken Dedektörler
  - Fotodiyot Dedektörler
    - p-n Fotodiyotlar
    - p-i-n Fotodiyotlar
    - Metal-Yarıiletken Fotodiyotlar
    - Çığ Fotodedektörler
    - Bant İçi Soğurmalı Fotodedektörler
- Güneş Pilleri
  - Fotovoltaik Etki
  - Güneş Pil Tasarımı

# Işık Dönüştürücüler

- Işık Algılayıcıları (Dedektörler)
- Güneş Pilleri

# Işık Algılayıcıları (FotoDedektörler)

- Isıl (Termal) FotoDedektörler

Foton enerjisini ısıya çevirerek ölçen dedektörlerdir. Bu tür dedektörler, verimsiz, yavaş ve elektronik teknoloji ile tümleşemediklerinden optoelektronikte kullanılmazlar.

- Termoelektrik dedektörler
- Bolometre dedektörler
- Pyroelektrik dedektörler

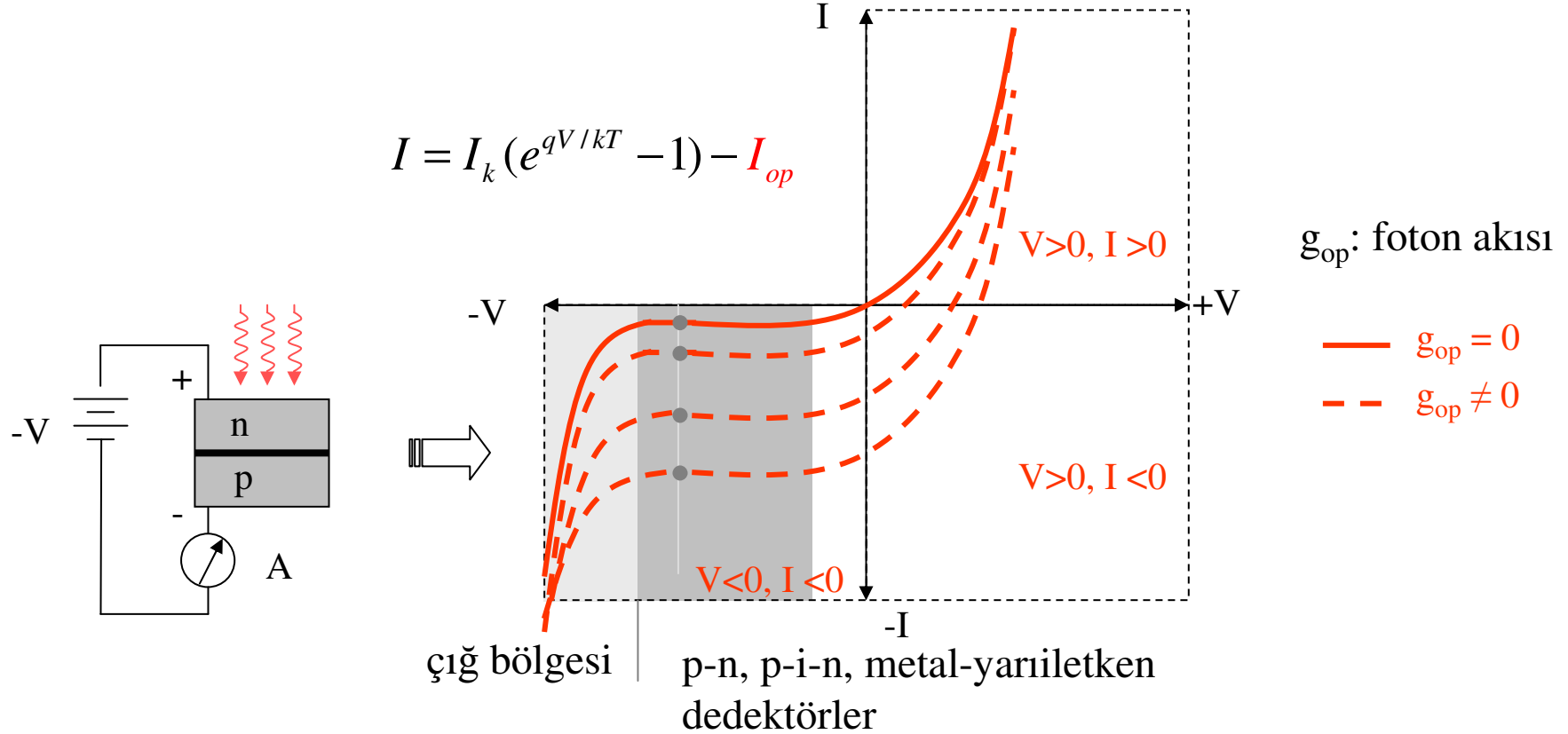
- Fotoelektrik Dedektörler

Fotoelektrik etkiye dayanarak geliştirilen dedektörlerdir. İç fotoelektrik etkiye (metal yerine yarıiletken) ve yarıiletken teknolojisine dayanan bu dedektörler, verimli, hızlı ve tümleştirilebildikleri için fotonikte çok yaygın olarak kullanılır.

Bu derste *sadece* [Fotoelektrik Dedektörler](#) incelenecektir.

# Fotodedektörler-1

Uygun şekilde tasarlanan bir p-n ekleminin üzerinden geçen akım, ters gerilim altında (III. Bölge) eklem üzerine düşen ışık şiddeti ile orantılı olarak modüle edilebilir.

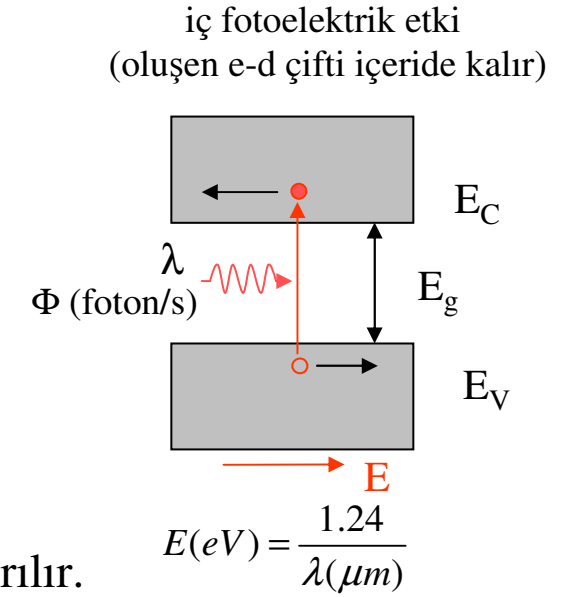
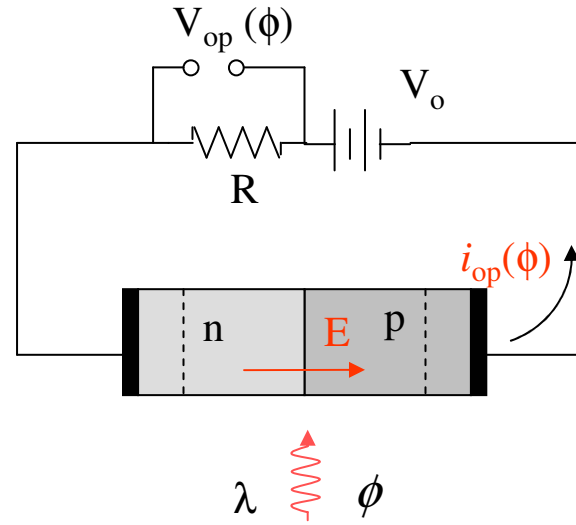


## III. Bölge ( $V < 0, I < 0$ )

Bu bölgede iki farklı I-V davranışı gözlenir:

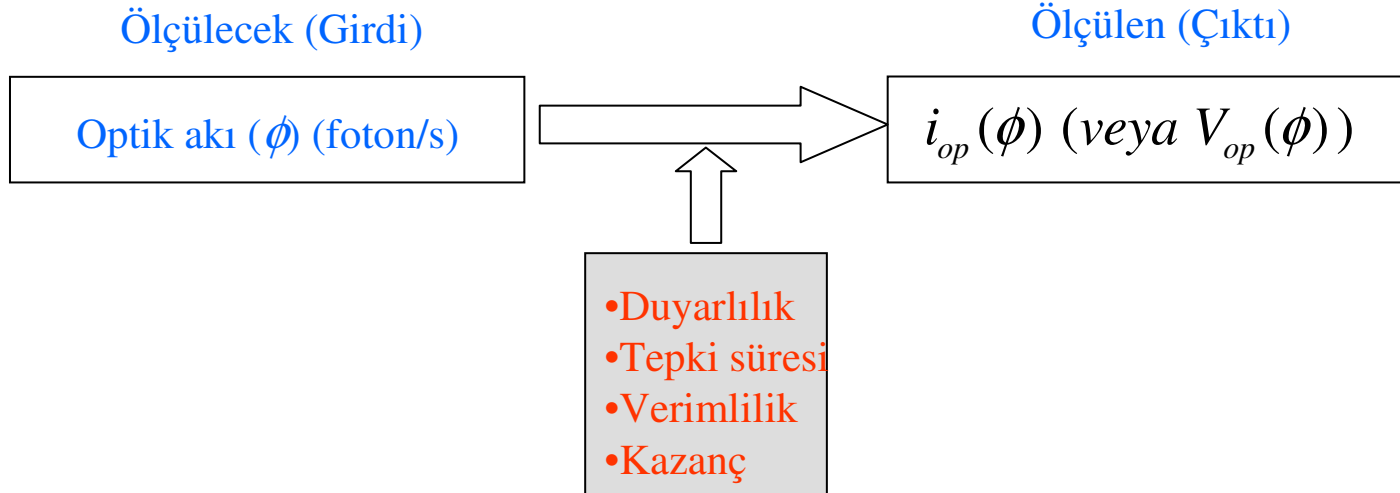
- Akımın gerilimden bağımsız, optik şiddet ile orantılı olduğu bölge
- Akımın gerilimle üstel olarak arttığı bölge (Zener ve çığ bölgesi)

# Fotodedektörler-2

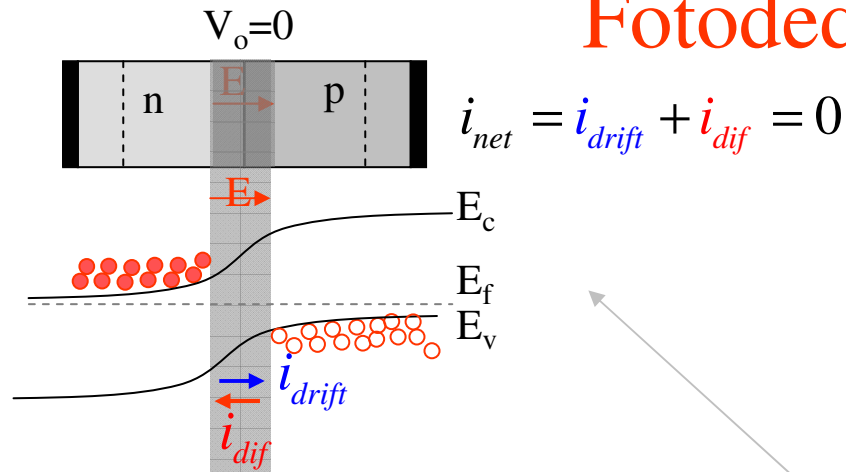


p-n eklemi fotodiyot modunda (yüksek ters gerilim) çalıştırılır.

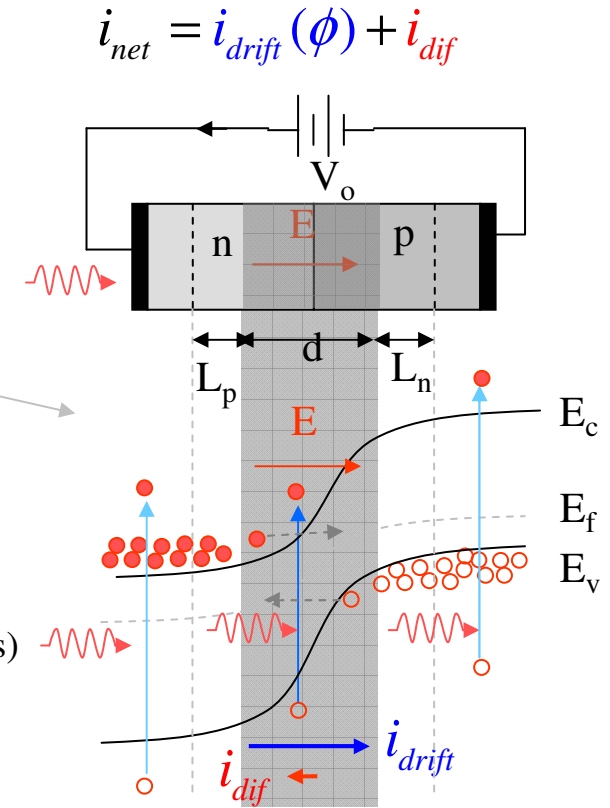
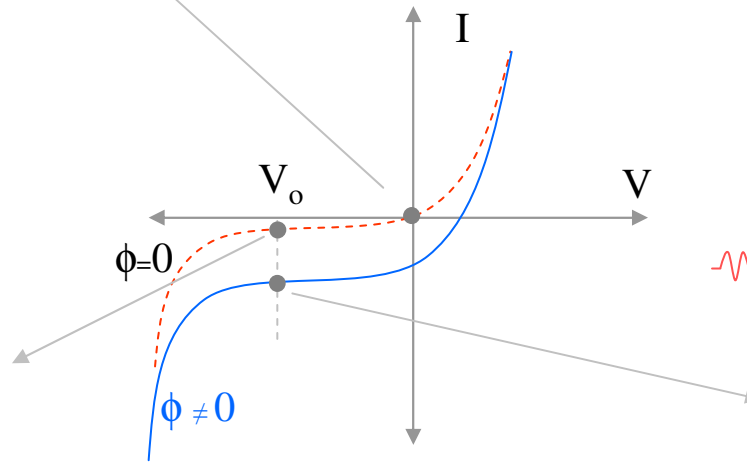
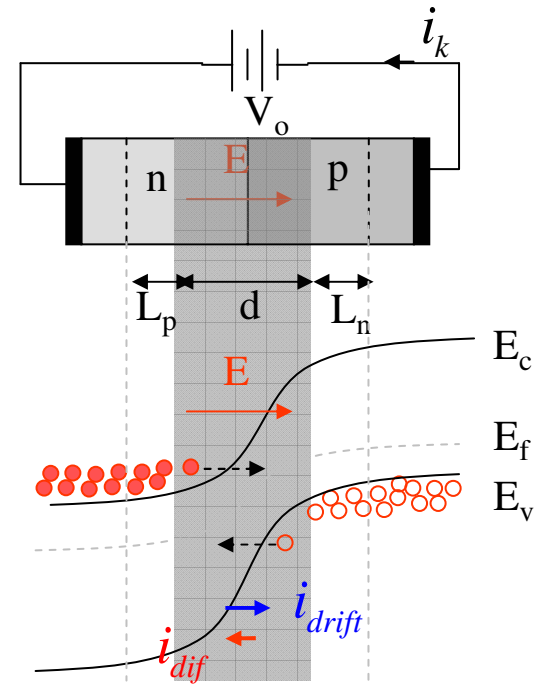
Optik dedektörlerle optik akıyı ölçülebilir niceliklere (akım, gerilim) dönüştürerek ölçüm yapılır.



# Fotodetektörler-3



Tüketim bölgesinde elektron-deşik çiftinin oluşturulması esasına dayalı ışık algılayıcıları *Tüketim Bölgesi Işık Algılayıcıları* (Depletion Layer Photodiode) olarak adlandırılır.



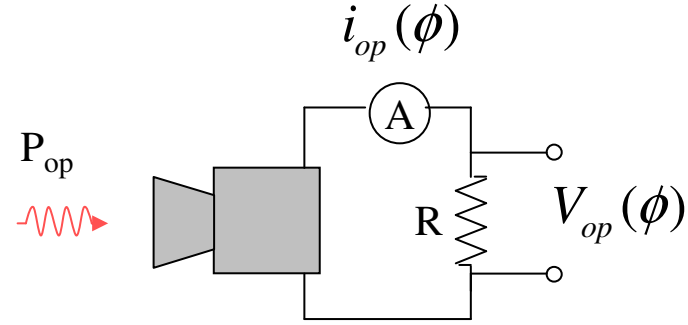
$i_{net} = i_{drift}(\phi) + i_{dif}$

$i_k \ll i_{op}(\phi)$

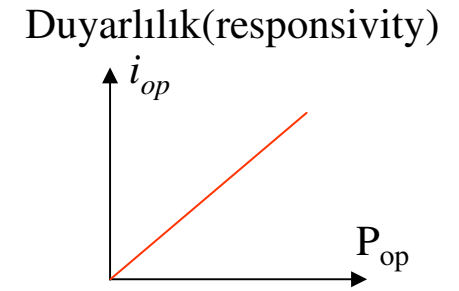
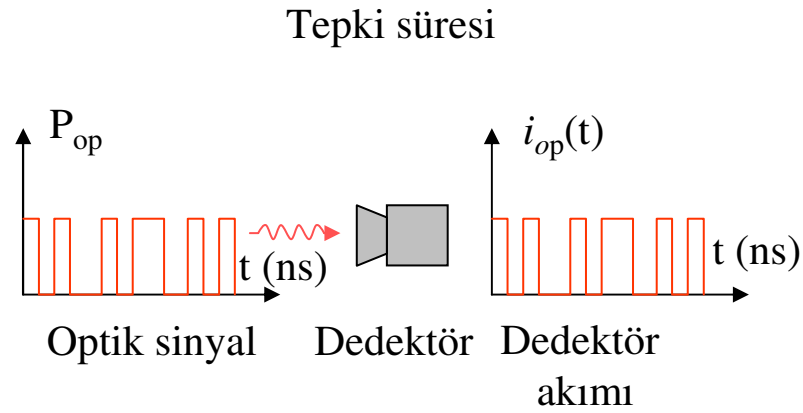
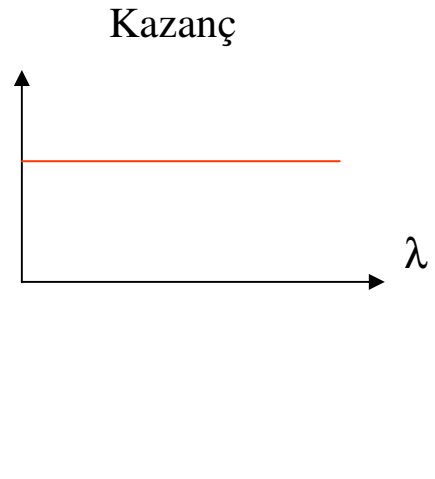


# İdeal Fotodedektör

*İdeal dedektör parametreleri nelerdir?*



*Bir dedektörün, kazancı, tepki süresi, duyarlılığını bilmek önemlidir.*



# Işık Algılayıcılar (Dedektörler)-Genel Özellikler

- Kuantum Verimliliği (Quantum Efficiency)
- Dedektör Tepkisi (Responsivity)
- Tepki Süresi (Response Time)
- Kazanç (Gain)
- Kazanç-Bantgenişliği Çarpımı (Gain-Bandwidth Product)
- Sinyal-Gürültü Oranı (SNR)

# Kuantum Verimliliği-1

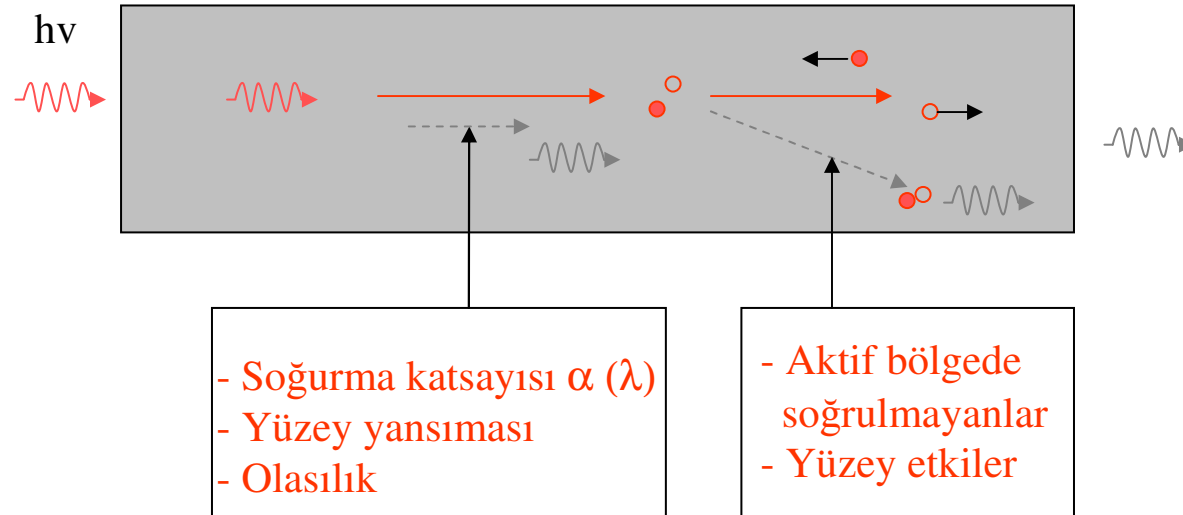
Kuantum verimliliği ( $\eta$ ): Bir fotonun, dedektör akımına katkıda bulunacak elektron ve deşik çifti ( $e$ - $d$  çifti) oluşturma olasılığı

Birden çok foton olması durumunda foton akısı cinsinden tanımlanırsa

$$\eta = (\text{elektron-deşik çifti üreten ışık akısı}) / (\text{dedektöre gelen toplam ışık akısı})$$

$\eta$ 'ı etkileyen faktörler:

- yüzey enerji durumları
- bant aralığı (dalga boyu)
- serbest taşıyıcı soğurması
- fonon saçılması



# Kuantum Verimliliği-2

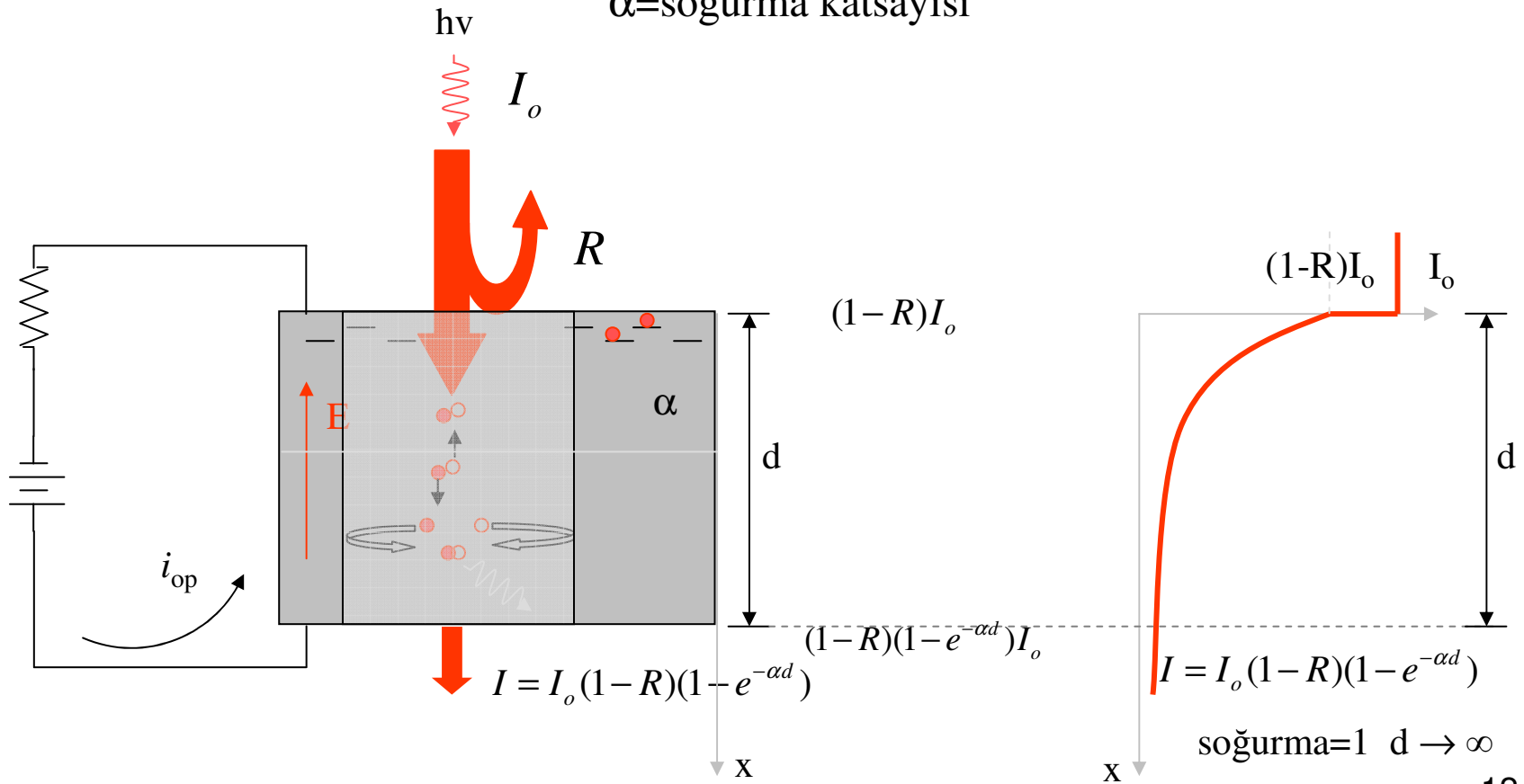
Kuantum Verimliliği  $\eta = (1-R)(1-e^{-\alpha d})\xi$

$0 \leq \eta \leq 1$

R=yansıtma katsayısı

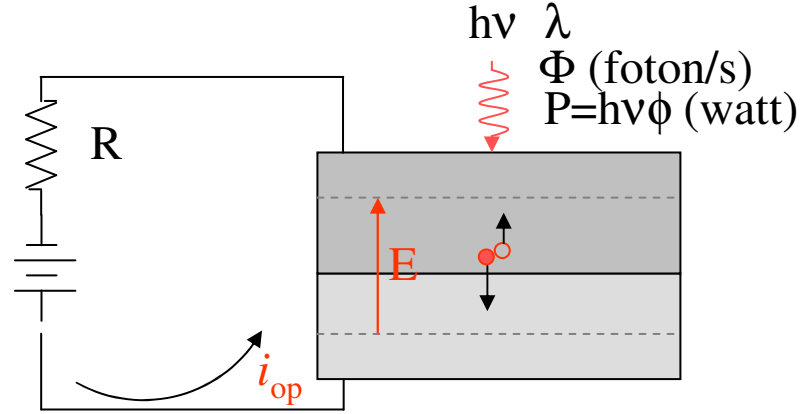
$\xi$ =akıma katkı sağlayan  
elektron-deşik çifti oranı

$\alpha$ =soğurma katsayısı



# Duyarlılık (Responsivity)

Dedektör devresinde oluşan akım ( $i_{op}$ ) ile dedektör üzerine düşen optik güç ( $P$ ) arasındaki katsayı



Foton akısı (foton/s)  $\Phi = \frac{P}{h\nu}$

Optik güç (Watt)  $P = h\nu\Phi$

Fotonların yarattığı elektron-deşik çiftlerinden kaynaklanan dedektör devresinde (dış devre) akım

$$i_p = \eta e \Phi = \frac{\eta e P}{h\nu}$$

İdeal durum  $\eta=1$   
 $i_p = e\phi$

$$i_p = \left( \frac{\eta e}{h\nu} \right) P = \xi P$$

Dedektör Duyarlılığı ( $\xi$ )

$$\xi = \frac{i_p (\text{Amper})}{P (\text{Watt})}$$

$$E(eV) = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)}$$

$$\xi = \frac{i_p}{P} = \frac{\eta e}{h\nu} = \eta \frac{\lambda}{1.24}$$

Dedektör Duyarlılığı

# Kazanç

Kazanç (G), bir fotonun dedektör devresinde oluşturduğu toplam yük miktarıdır.

1 foton 1 serbest yük değil de Q kadar yük oluşturursa  $Q = Ge$

Kazanç	$G = \frac{Q}{e}$
--------	-------------------

$$Q > e$$

$$Q < e$$

1 foton $\rightarrow$ 1 e-d çifti
-----------------------------------

1 foton $\rightarrow$ G e-d çifti
-----------------------------------

Kazanç:

$G \gg 1$  (çığ ışıkdedektörler)

$G \leq 1$  (p-n fotodedektörler)

Foton akısı  $\Phi = \frac{P}{h\nu}$  (foton/s)  $i_p = \eta e \Phi = \frac{\eta e P}{h\nu}$

Kazanç cinsinden dış devrede dolanan akı  $i_p = \eta Q \Phi = G(\eta e \Phi) = G \left( \frac{\eta e}{h\nu} \right) P$

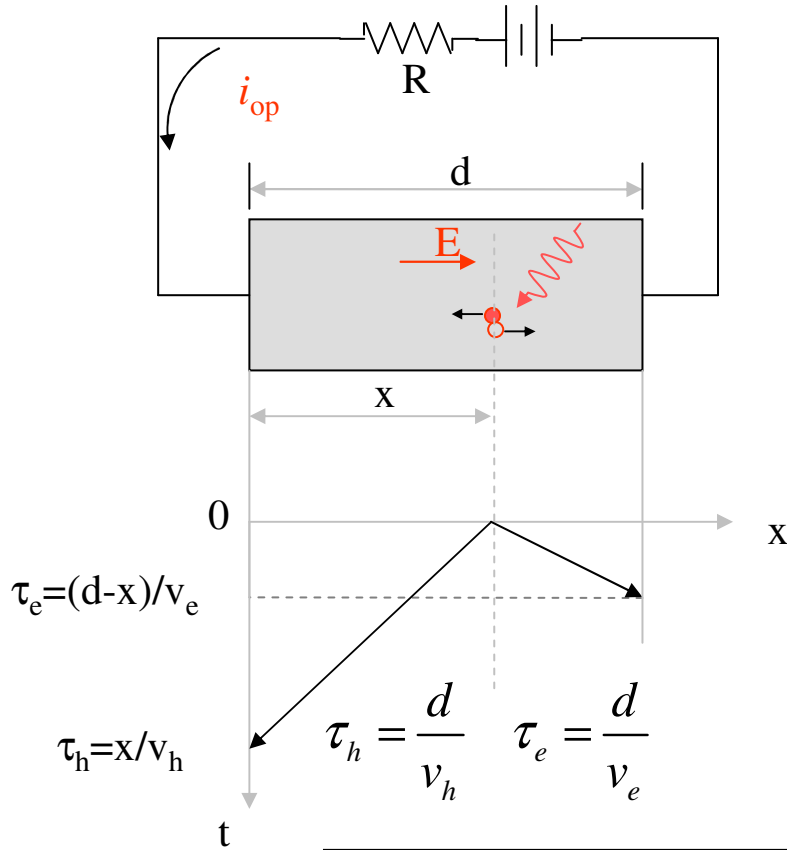
Dedektör Duyarlılığı $\xi = G \frac{i_p}{P}$
--

# Tepki Süresi-1

## Dedektörlerde tepki süresi

- Geçiş zamanı gecikmesi
- RC zaman sabiti

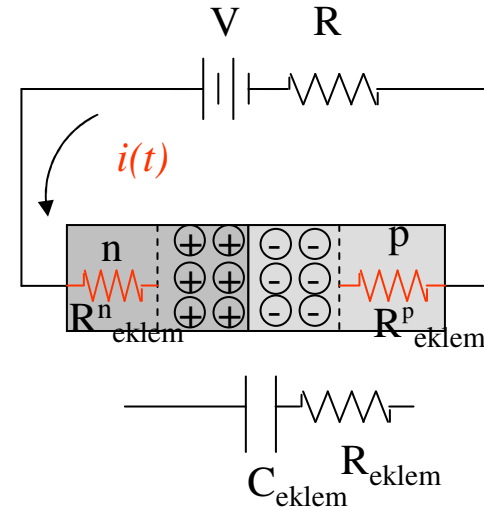
### Geçiş zamanı gecikmesi



$$v_h \ll v_e$$

Geçiş zamanı gecikmesi  $\Delta\tau = \frac{x}{v_h}$

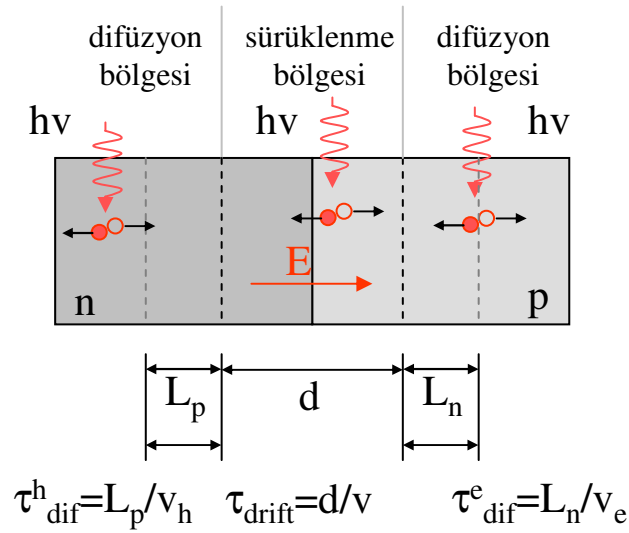
### RC zaman sabiti



$$i(t) = i_o e^{-t/\tau_{RC}} \quad \tau_{RC} = RC$$

Katkı atomlarını arttırarak  $R_{eklem}$  direnci düşürülebilir ancak katkı atomlarının arttırmak tüketim bölgesini daraltır.

# Tepki Süresi-2

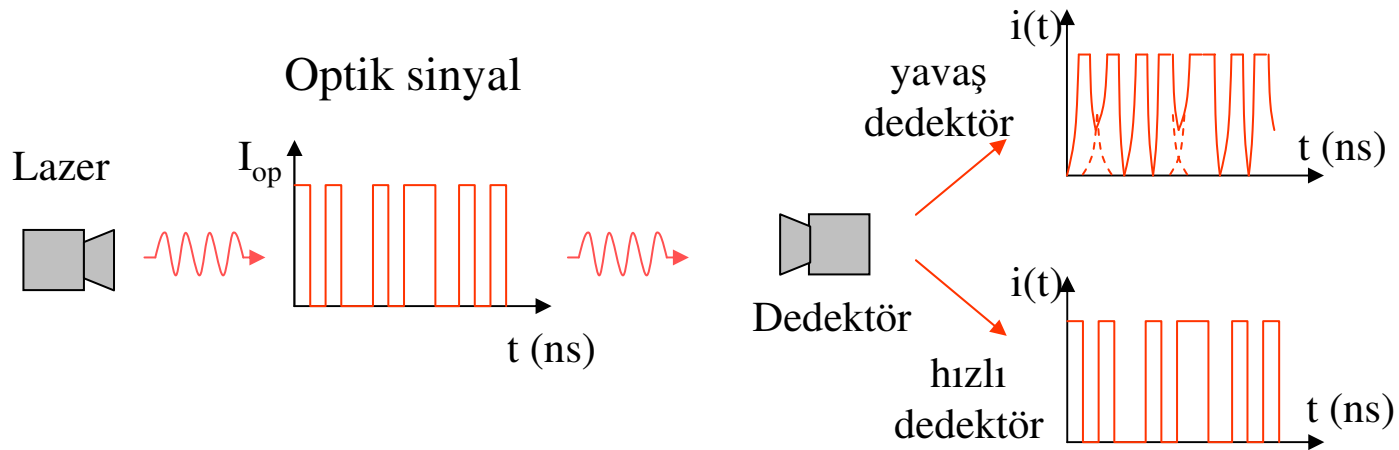


$\tau_{drift} \ll \tau_{dif}$

$L_n$  = elektron difüzyon uzunluğu

$L_p$  = deşik difüzyon uzunluğu

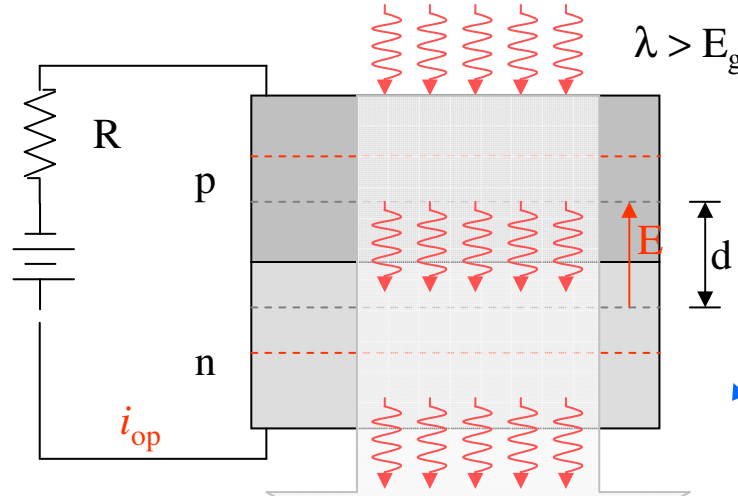
## Dedektörlerde tepki zamanı



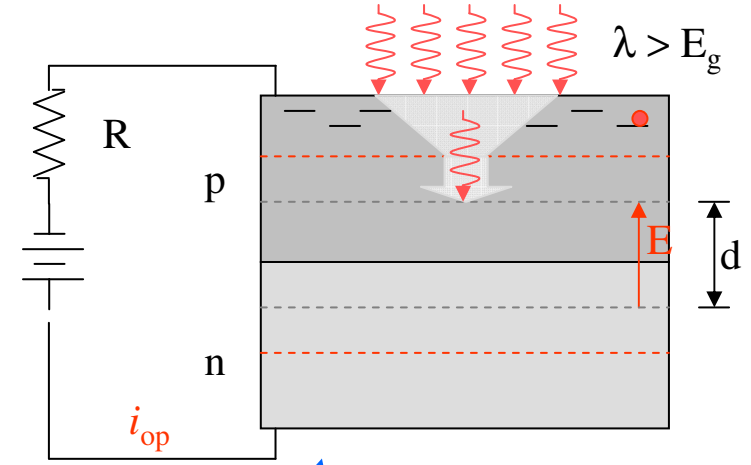


# Spektral Duyarlılık

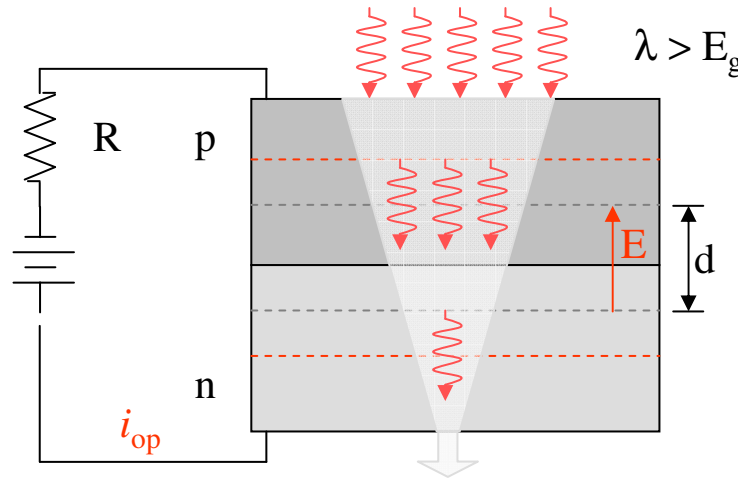
Dedektör elektromanyetik spektrumun hangi bölgesindeki ışığı algılar?



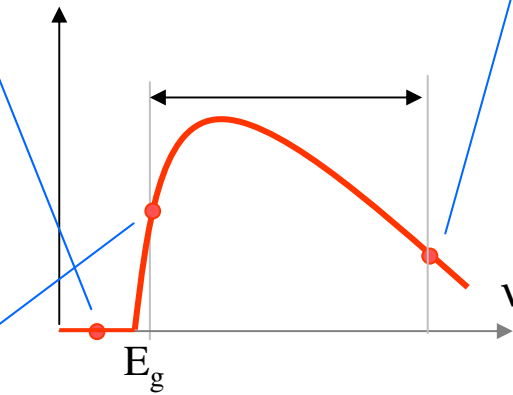
Foton enerjisi yasak bant enerjisinden küçük ise soğurma olmayacağından fotonlar hiç algılanmaz!



Foton enerjisi, yasak enerji ile karşılaştırıldığında çok büyük ise fotonlar aktif bölgeye gelmeden yüzeyde soğrulacaklarından e-d çiftine verimli bir şekilde dönüşemeyeceklerinden duyarlılık azalır.



Duyarlılık



Frekans alt limit Frekans üst limit

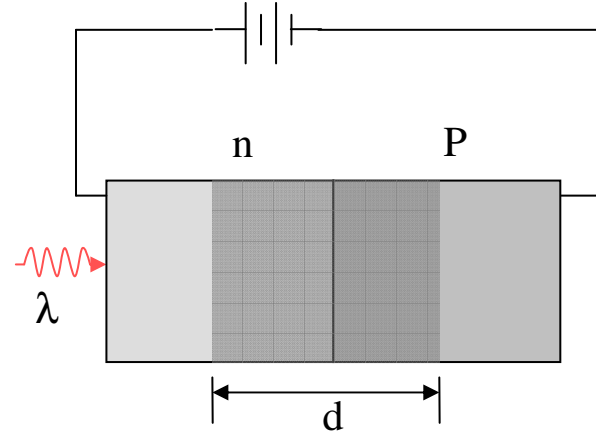
$$\lambda(\mu m) \leq \lambda_g(\mu m) = \frac{1,24}{E_g(eV)}$$

Foton enerjisi yasak bant enerjisinden büyük ise soğurma olur ve fotonlar e-d çiftlerine dönüştürülür.

# Dedektörler-Tasarım

İstenilen amaca göre dedektör tasarımı yapılabilir.

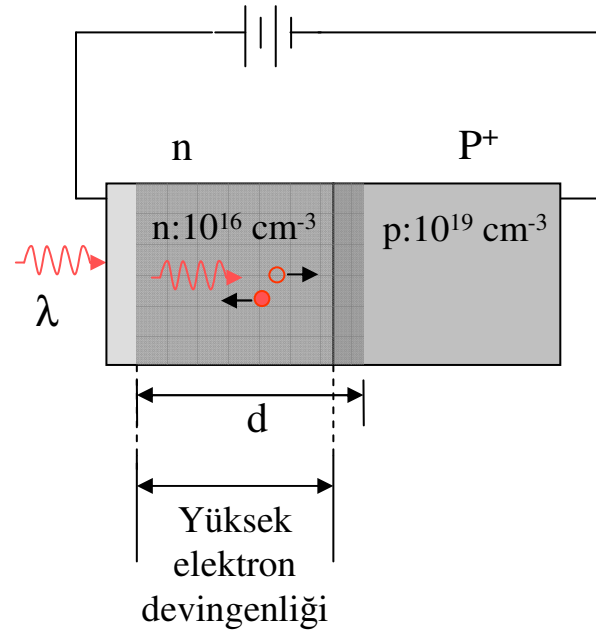
n-p eklemli fotodiyot



Tüketim bölgesi n ve p tarafında

$$d = \left[ \frac{2\varepsilon V_o}{q} \left( \frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right) \right]^{1/2}$$

n-p<sup>+</sup> eklemli fotodiyot



Tüketim bölgesi  
çoğunlukla n tarafında  
Yüksek elektron  
devingenliği -> yüksek hız

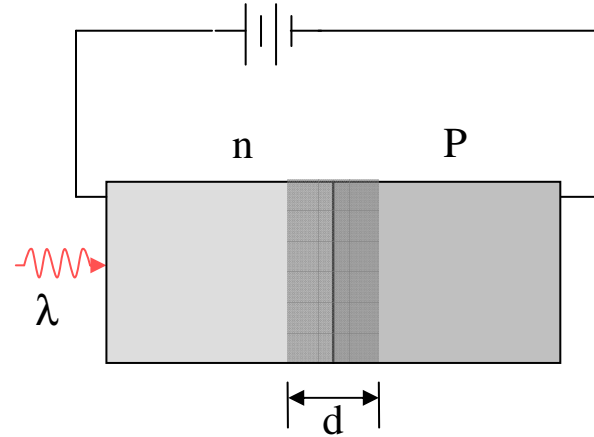
$$\eta = 1 - \frac{e^{-\alpha d}}{(1 + \alpha L_p)}$$

$$\mu_e \gg \mu_h$$

$$i(\phi) = q\phi A \left( 1 - \frac{e^{-\alpha d}}{(1 + \alpha L_p)} \right) + i_k$$

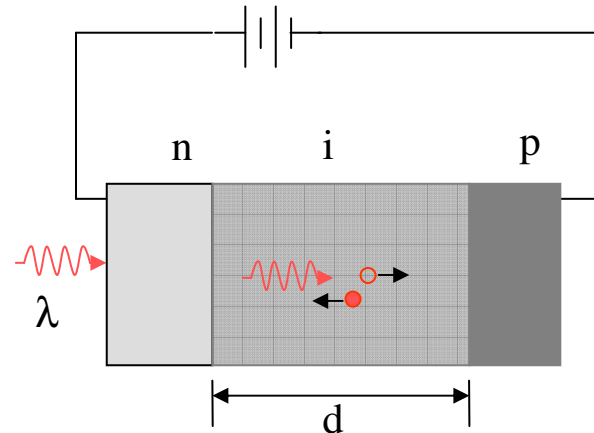
## Dedektörler-Tasarım-2

### p-n eklemli fotodiyot



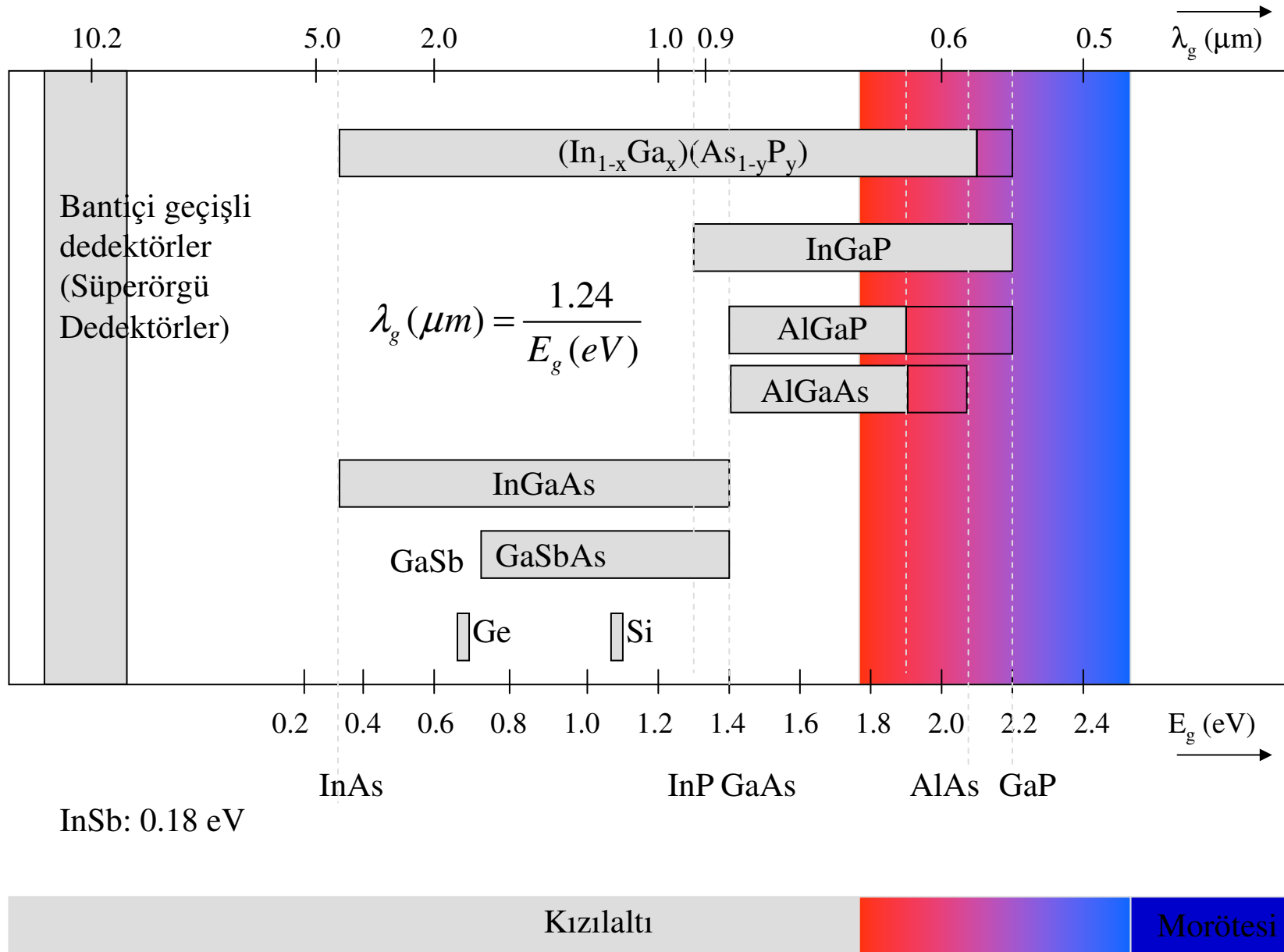
- Kısa tüketim bölgesi, kısa geçiş zamanı, hızlı dedektör. Ancak kısa tüketim bölgesi, fotonların soğrulduğu alanı küçülttüğünden kuantum verimliliğini azaltır.
- Tüketim bölgesinin dışında (difüzyon uzunluğu içinde) oluşan e-d çiftleri ( $v_{dif} \ll v_{drift}$ ) dedektör tepki süresini artırır.
- Kuantum verimliliğini arttırmak ve taşıyıcıların difüzyondan kaynaklanan gecikmeleri azaltmak için p-n ara bölgesine katkılanmamış bir katman atarak foton soğurma alanı arttırılabilir (p-i-n).

### p-i-n eklemli fotodiyot



- Geniş tüketim bölgesi RC değerini azaltır (teпки süresi artar)
- p-i-n diyotlar kuantum verimliliği ve tepki süresi için optimize edilebilir

# Yarıiletken Dedektör Malzemeler-1



## Yarıiletken Dedektör Malzemeler-2

Malzeme	Yasak Bant Aralığı (eV)	Yasak Bant dalgaboyu $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Devingenlik (elektron) ( $\text{cm}^2/\text{V-s}$ )	Dedektör Bölgesi
InSb	0,18	6,880	$10^5$	Kızılaltı
CdS	2,42	0,512	-	Görünür Bölge
Ge	0,67	1,850	3900	Kızılaltı
Si	1,12	1,106	1600	Kızılaltı
GaAs	1,43	0,867	8500	Kızılaltı
$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$	$E_g(\text{GaAs}) + 1,429x - 0,14x^2$	0,7-0,87	-	Kızılaltı
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$	0,75	1,65	-	Yakın Kızılaltı
$\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$	1,5-6,0	3,0-17.0	-	Kızılaltı
$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y/\text{InP}$	-	0,92-1,7	-	Kızılaltı
InAs	0,354	3,502	-	Kızılaltı

## Yarıiletken Dedektör Çeşitleri

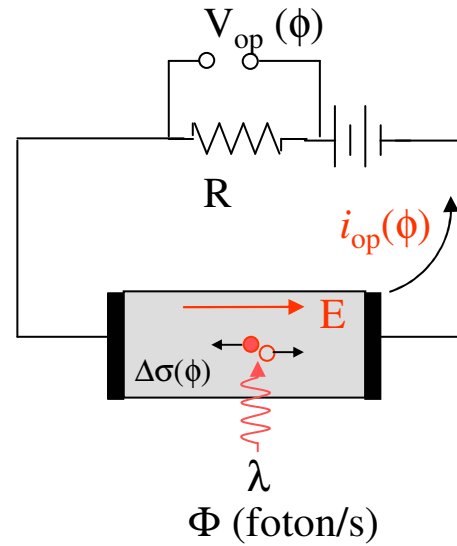
- Fotoiletken Dedektörler
- p-n Fotodiyotlar
- p-i-n Fotodiyotlar
- Metal-Yarıiletken Fotodedektörler
- Çığ Fotodedektörler
- Dalga kılavuzlu Fotodedektörler
- Bant İçi Soğurmalı Fotodedektörler

# Fotoiletken Dedektörler-1

Uygun bir yarıiletken üzerine düşen foton, iletim bandında bir elektron, değerlik bandında ise bir deşik oluşturur.

Oluşan elektron-deşik çiftleri taşıyıcı yoğunluğunu, dolayısı ile iletkenliği ( $\sigma$ ) artırır.

Dış devrede dolaşan akım (veya devreye bağlı seri direnç üzerindeki gerilim) foton akısına bağlı olarak değişir.



# Fotoiletken Dedektörler-2

Birim hacim başına e-d çifti oluşma oranı ( $r$ )

$\Delta n$ = fazlalık elektron yoğunluğu

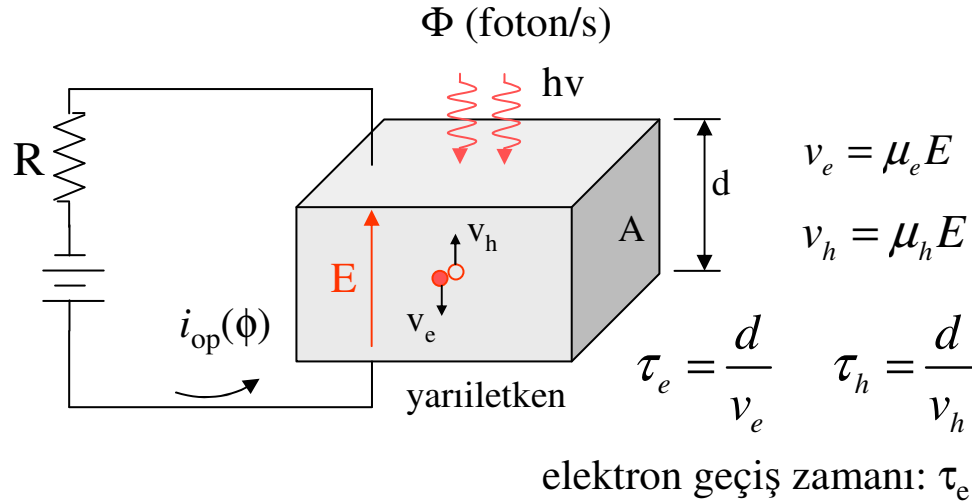
$\tau$  = Fazlalık taşıyıcıların birleşme ömrü (1/s)

$\Delta n/\tau$  = fazlalık elektronların azalma oranı

Denge durumunda e-d oluşma ve birleşme oranları eşit olacaktır, elektron yoğunluğu (Kazanç  $\eta=1$ )

$$r = \eta \frac{\phi}{Ad}$$

$$\Delta n = \frac{\eta \tau \phi}{Ad}$$



iletkenlikteki artış

$$\Delta \sigma = e \Delta n (\mu_e + \mu_h)$$

$$\Delta \sigma = e \frac{\eta \tau}{Ad} (\mu_e + \mu_h) \phi$$

$$i_d = AJ = A(\Delta \sigma E)$$

$$i_d = \frac{e \eta \tau}{Ad} (v_h + v_e) \phi$$

$$\sigma = q(n\mu_e + p\mu_h)$$

Kazanç

$$G \equiv \frac{\tau}{\tau_e}$$

← fototaşıyıcı ömrü

← elektron geçiş zamanı

$$v_h \ll v_e$$

Akım  $i_d = e \eta \frac{\tau}{\tau_e} \phi$

$$i_d = e \eta G \phi$$

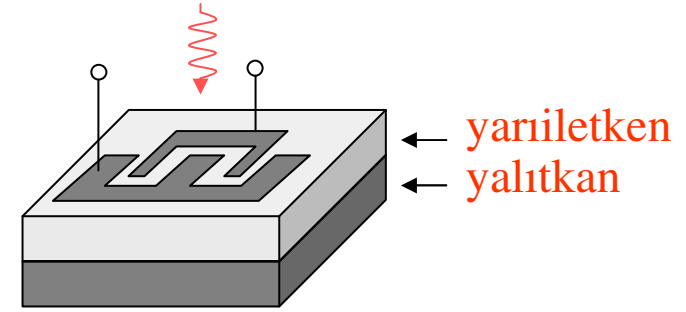


# Fotoiletken Dedektörler-3

$$i_d = e\eta G\phi$$

Kazanç

$$G = \frac{\tau}{\tau_e}$$



Fotoiletken dedektör yapısı

## Kazanç

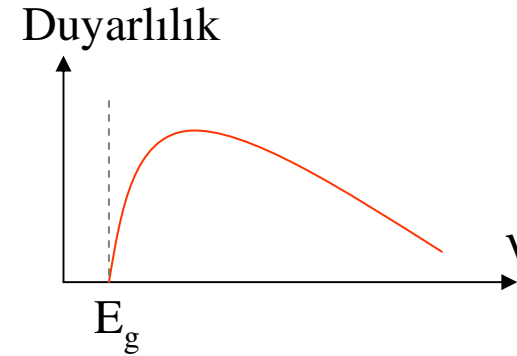
$$\begin{aligned} (\tau < \tau_e) \quad G &\leq 1 \\ (\tau > \tau_e) \quad G &\geq 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_e &= 10^7 \text{ cm/s} \\ \tau_e &= 10^{-8} \text{ s} \\ \tau &= 10^{-13} \text{ s} \end{aligned}$$

Tipik Kazanç  $G = 10^4 - 10^5 < 10^6$

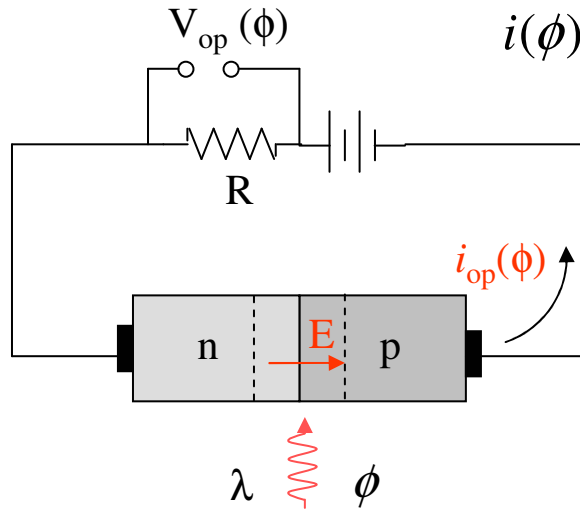
## Spektral Duyarlılık

$$\lambda(\mu m) \leq \lambda_g(\mu m) = \frac{1.24}{E_g(eV)}$$

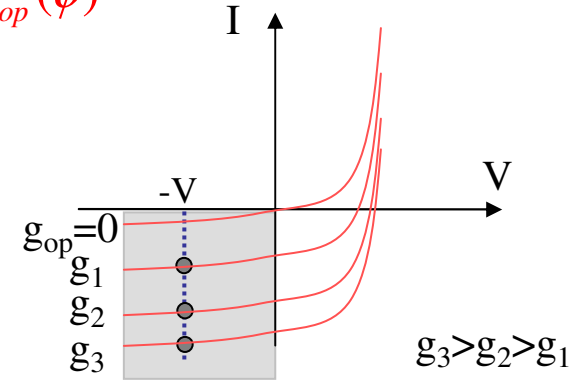


# p-n FotoDedektörler-1

Tüketim bölgesinde elektron-deşik çiftinin oluşturulması esasına dayalı ışık algılayıcılarına  
*Tüketim Bölgesi Işık Algılayıcıları* (Depletion Layer Photodiode)



$$i(\phi) = i_k (e^{qV/kT} - 1) - i_{op}(\phi)$$

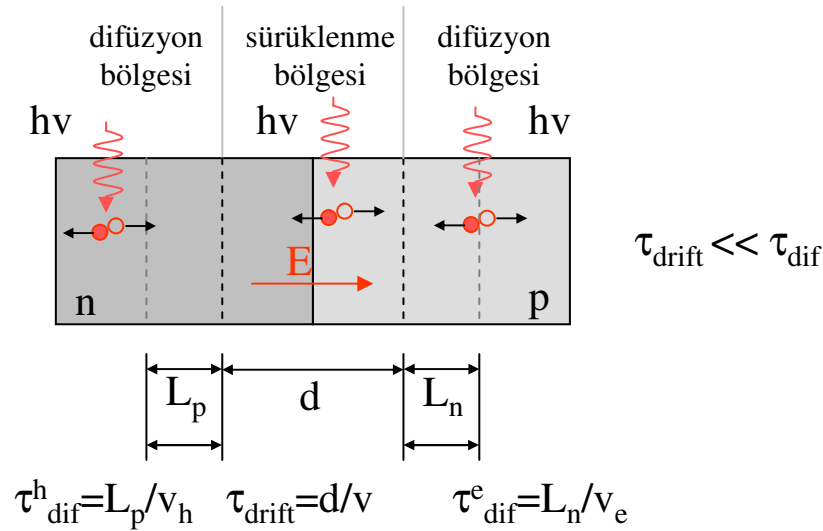


Yapı ters beslenerek çalıştırılır:

- Yüksek ters gerilim, tüketim bölgesinde güçlü elektrik alan oluşturduğundan taşıyıcı sürüklenme hızı artar (dolayısı ile tepki süresi iyileştirilir). Ayrıca tüketim bölgesinin genişliği artacağından kapasitif etkiler de azalır (dolayısı ile tepki süresi iyileştirilmiş olur).
- Ters gerilimle tüketim bölgesi genişlediğinden daha geniş bir alanda fotonlar soğrulur.

**Kazanç  $\leq 1$**

# p-n FotoDedektörler-2

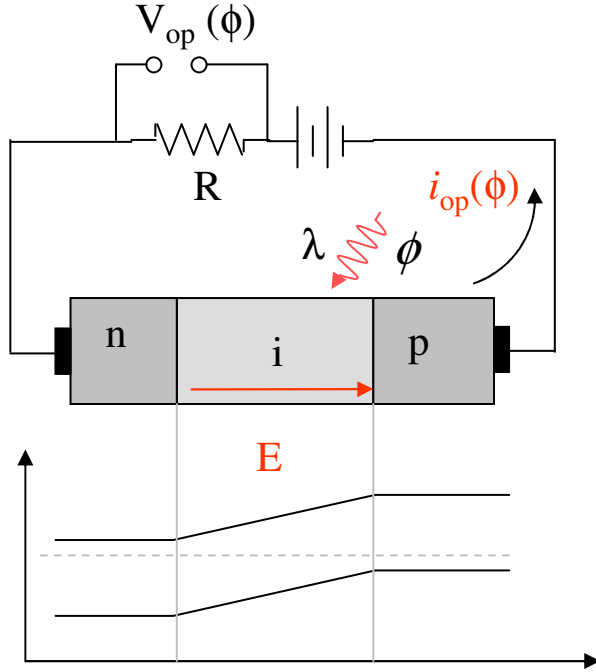


## *Tepki süresi:*

- Tüketim bölgesindeki güçlü yapısal elektrik alandan dolayı bu bölgedeki taşıyıcıların hareketi hızlı olduğundan fotoiletkenlere göre tepki süresi daha iyidir.
- Tüketim bölgesinin dışında oluşturulan e-d çiftlerinin difüzyon yolu ile hareketi uzun zaman alacağından bu tepki süresini olumsuz etkiler.
- p-n yapı yerine p-i-n yapıdaki diyotlar kullanılarak tepki süresi daha da iyileştirilebilir.

# p-i-n Fotodedektörler

p-n yapısına katkılanmamış bir katman konarak tüketim bölgesinin genişliği kontrollü olarak genişletilir.



i-bölgesi (saf bölge, intrinsic): katkılanmamış bölge (veya çok az katkılı).

Uygulanan ters gerilim tümüyle i-bölgesinde görülür.

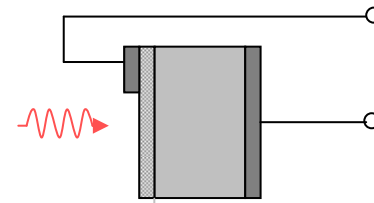
Fazlalık taşıyıcılarının yarı ömrü yeterince uzun ise oluşanelektron-deşik çifti n- ve p-bölgelerine ulaşarak toplanır.

**p-i-n yapının üstünlükleri:**

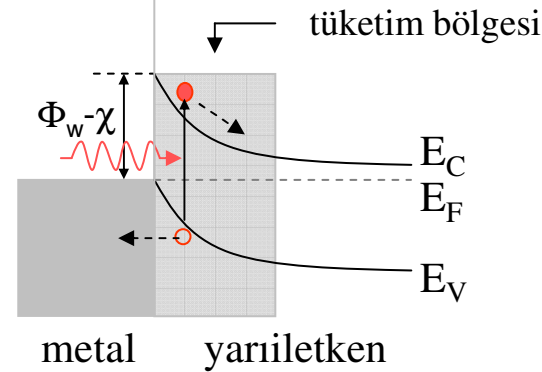
- Tüketim bölgesi çok geniş olduğundan daha fazla foton toplanır,
- Tüketim bölgesinin kalınlığı kontrol edilebilir,
- Geniş tüketim bölgesi, küçük C, küçük RC sabiti, yüksek tepki süresi,
- pikosaniye (ps) tepki süresi.

**Kazanç  $\leq 1$**

# Schottky Engelli FotoDedektörler



Çok ince (optik geçirgen) metal-n-tipi (veya p-tipi) yarıiletken

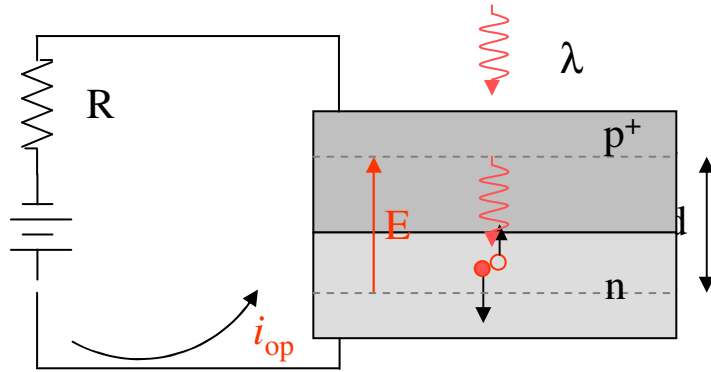


## Üstünlükleri

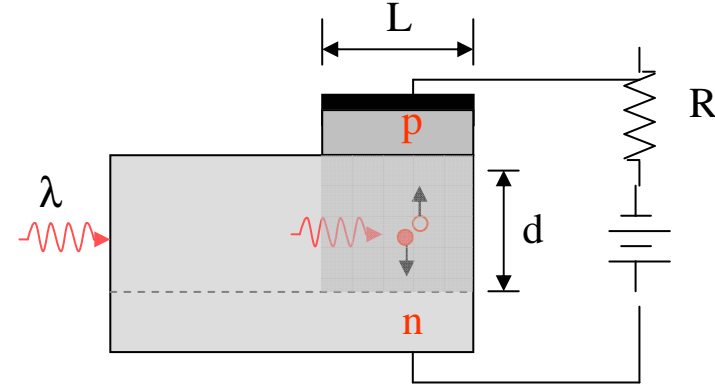
- Her yarıiletken p veya n-tipi katkılanamadığı için bazı yarıiletkenlerden p-n eklemlili dedektör yapmak zordur.
- Tüketim bölgesi hemen yüzeyde başladığı için yüzey birleşmeleri minimumdur (yüksek  $\eta$ ) (Bu sebepten **yüksek enerjili (UV) fotonların algılanmasında üstünlükleri vardır**).
- Metalden dolayı direnç küçük olduğundan RC zaman sabiti küçük dolayısıyla ile yüksek tepki süresi ( $\approx 100$  GHz).
- Enerji  $h\nu \geq \Phi_w - \chi$

# Dalga Kılavuzu Fotodedektörler

Tipik bir dedektörde ışık p-n eklemine dik doğrultuda gelir.



Dalga kılavuzu şeklinde yapılan dedektörlerde ışık ekleme paralel gelir.



$$i(\phi) = q\phi A \left(1 - \frac{e^{-\alpha d}}{(1 + \alpha L_p)}\right) + i_k$$

$$i(\phi) = q\phi A (1 - e^{-\alpha L})$$

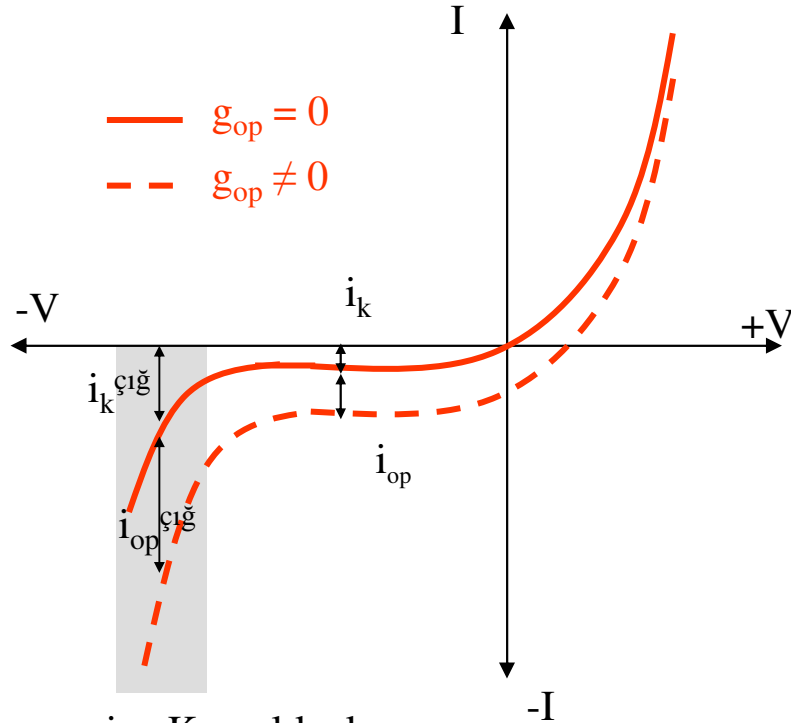
$$\eta = 1 - \frac{e^{-\alpha d}}{(1 + \alpha L_p)}$$

- $\alpha L \gg 1$  ayarlanarak  $\eta=1$  yapılabilir.
- $d$  ve  $L$  birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir.

**Kazanç  $\leq 1$**

# Çığ Fotodedektörler (Avalanche Photodetectors)

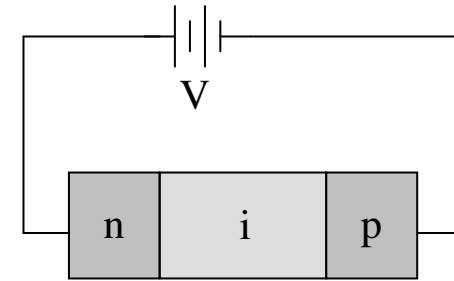
Düşük seviyedeki ışık sinyallerini algılamak için **çığ ışık algılayıcıları** (avalanche photodetector) kullanılır. Tüketim bölgesi algılayıcılarında kazanç en fazla 1 olurken çığ algılayıcılarda bu sayı çok büyük olabilir.



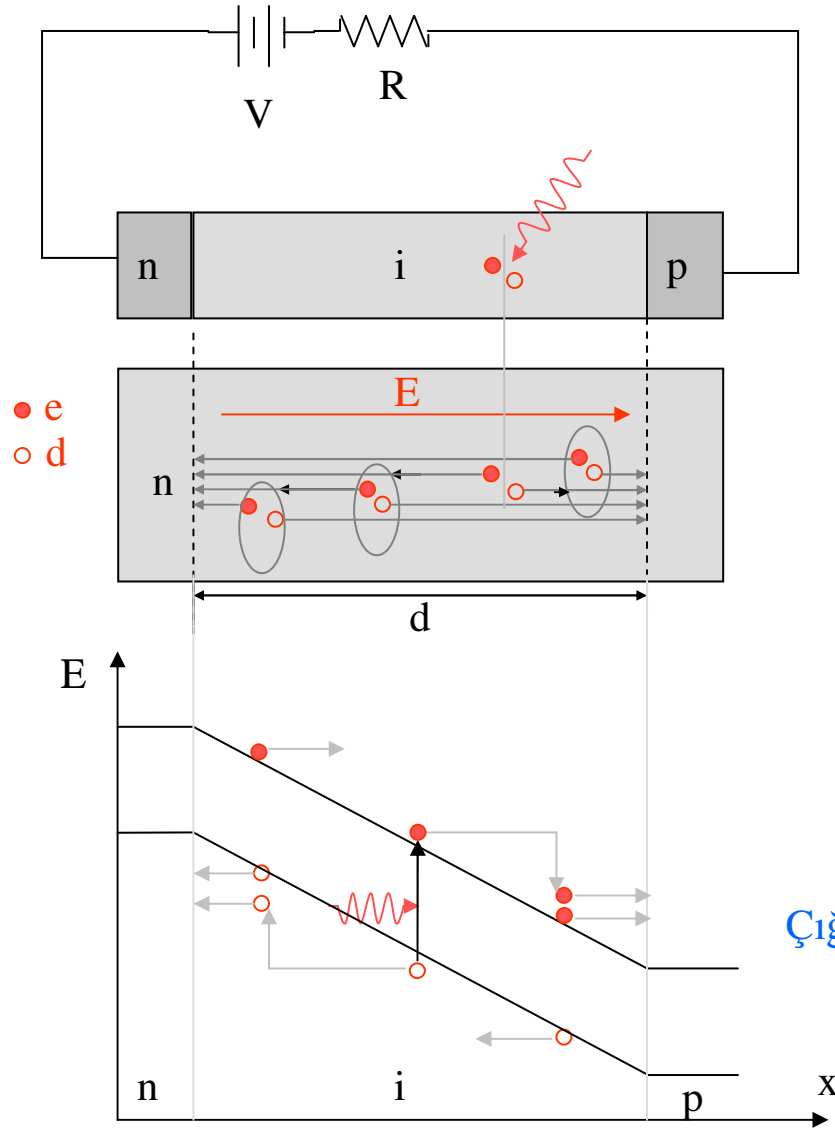
$i_k$  = Karanlık akım

$i_{op}$  = Işık altındaki akım

Çığ fotodedektör yapısı



# Çığ Işıkalgılayıcılar (Avalanche Photodetectors)



Aktif bölgede foton tarafından oluşturulan e-d çifti elektrik alandan dolayı ters yönlere gider. Bölgenin uzunluğundan ve büyük elektrik alandan dolayı n veya p tarafına gelmeden kendileri de e-d çifti oluşturacak enerjiye sahip olurlar ve çarparak (impact ionization) yeni e-d çiftleri oluştururlar.

$\alpha_h$ : birim uzunluk başına deşik iyonizasyon olasılığı

$\alpha_e$ : birim uzunluk başına elektron iyonizasyon olasılığı

$1/\alpha_e$ : çarpışmalar arası ortalama uzaklık

Çığ fotodetektörler  $\mathcal{K} = \frac{\alpha_h}{\alpha_e}$  ile karakterize edilirler

$\mathcal{K} = 0$  Çığ etkisi elektronlarla

$\mathcal{K} = \infty$  Çığ etkisideşiklerle



# Çığ Işık Dedektörleri

Çığ etkisinin hem elektronlarla hem de deşiklerle bir arada oluşturulması İSTENMEZ:

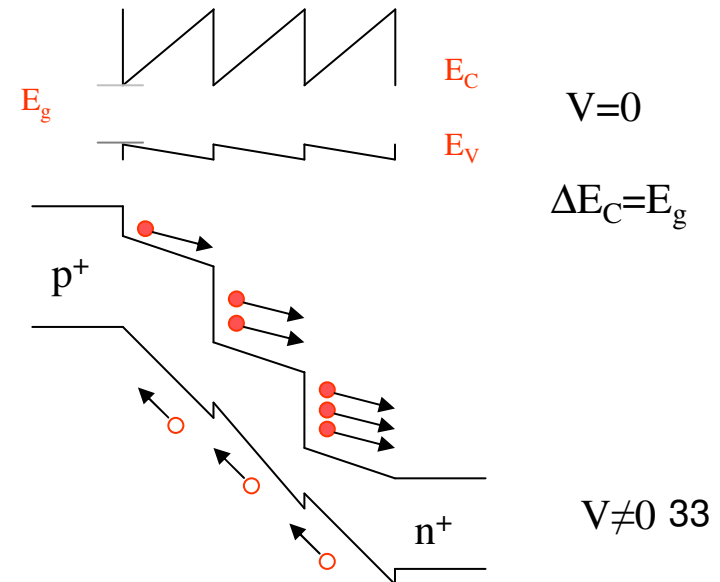
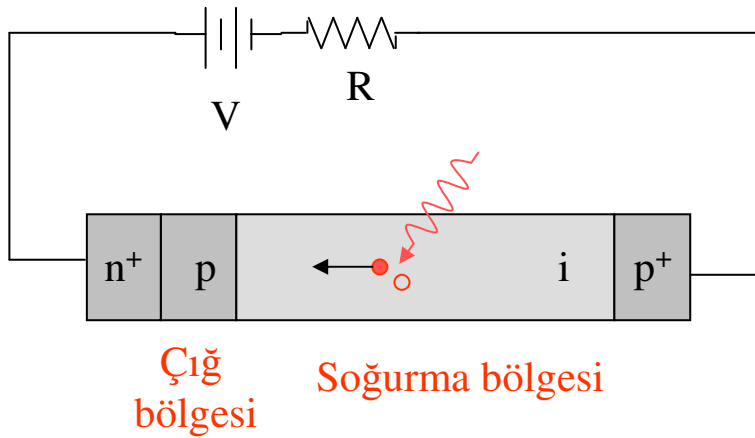
- Zaman kaybına
- Gürültü artışına
- Çığ kırılmasına

neden olur.

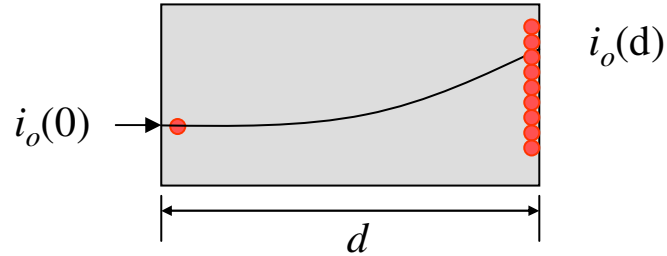
Bu etkileri azaltmak için dedektör tasarımı sadece bir taşıyıcıya göre yapılır [ $\kappa=0$  (elektronlarla) veya  $\kappa=\infty$  (deşiklerle)]

Ayrıca fotonların soğrulduğu ve ivmelendirildikleri bölgeler de farklı tutulur.

Heteroyapılarla oluşturulmuş çığ ışık dedektörü



# Çığ Işık Dedektörleri-Kazanç



$$di(x) = \alpha_e i(x) dx$$

$$i(x) = i_o e^{\alpha_e x}$$

Tek bir taşıyıcı (örneğin elektron) kazanç (G)  $G = e^{\alpha_e d}$

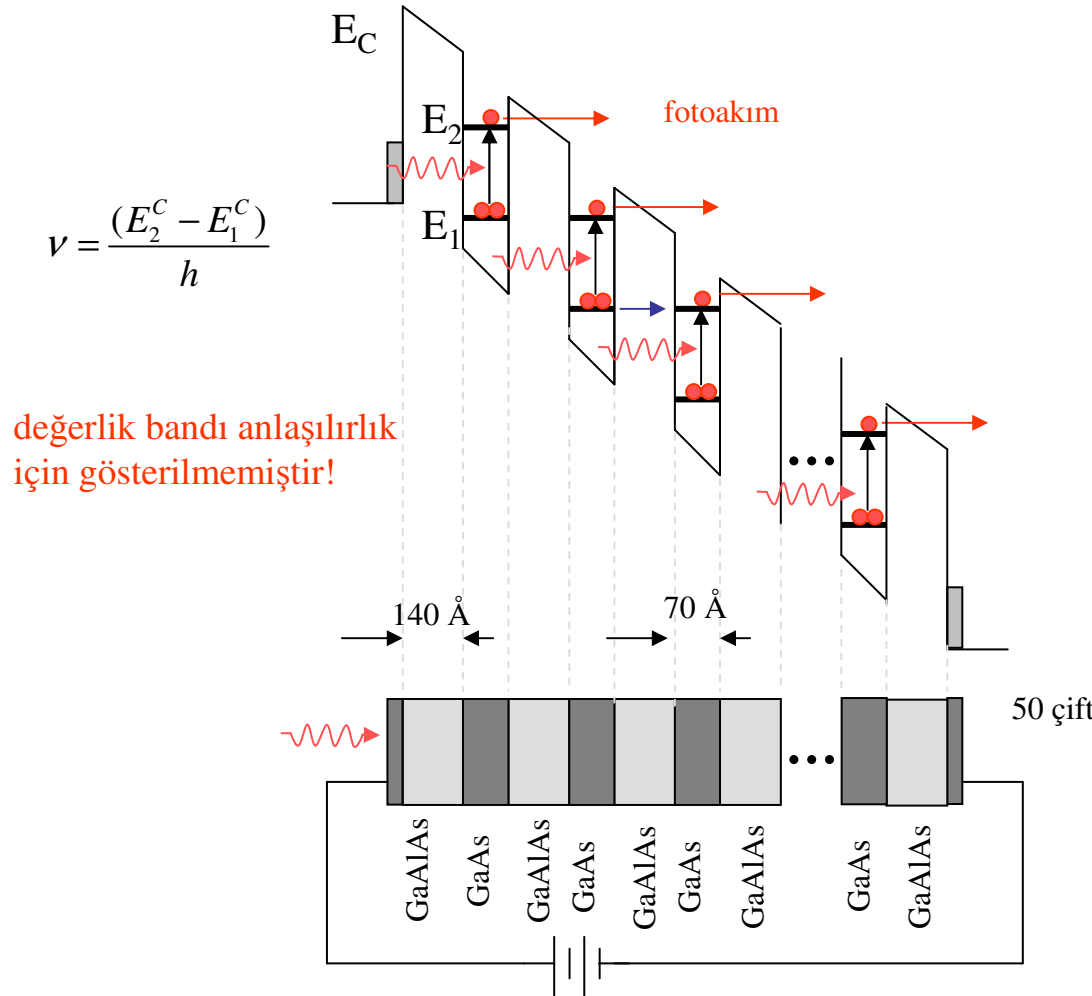
Her iki taşıyıcı olduğu durumda kazanç (G)  $\kappa = 1 \Rightarrow G = \frac{1 - \kappa}{e^{-(1-\kappa)\alpha_e d} - \kappa}$   $\kappa = \frac{\alpha_h}{\alpha_e}$

**Kazanç**  $\kappa = 1 \Rightarrow G = \frac{1}{1 - \alpha_e d}$

# Bant İçi Soğurmalı (Süper Örgülü) FotoDedektörler

Tipik bir dedektörlerde e-d oluşumu iletim ve değerlik bandı arasında olur.

- Yarıiletken süperörgüler (GaAs/GaAlAs) kullanılarak kızılaltı bölgede çok hızlı dedektörler yapılabilir.
- Uygun şekilde oluşturulan kuantum çukurlarında uyarmalar iletim bandı içinde kuantalı enerji seviyeleri arasında da olabilir.



## Üstünlükleri

- Uzun dalgaboylarını algılama
- Kısa tepki süresi

$$\lambda = 10.3 \mu\text{m}$$

$$70 \text{ \AA} \text{ GaAs} \quad n: 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$140 \text{ \AA} \text{ Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{As}$$

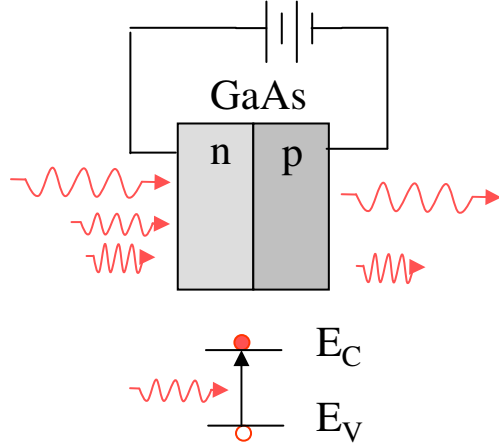
$$R = 2 \text{ A/W} @ 9\text{V besleme}$$

## Olumsuzlukları

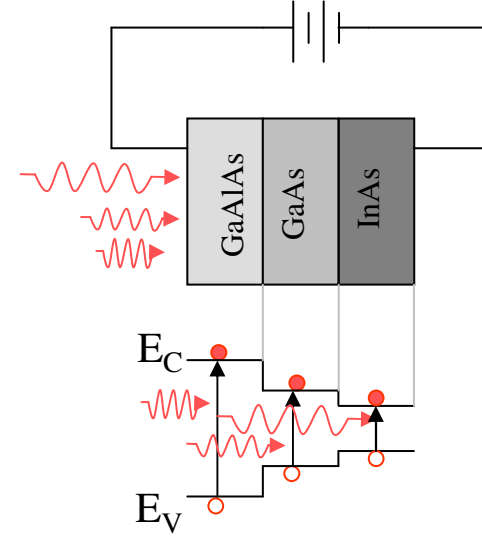
Karanlık akım büyük (tünelleme ile geçen  $E_1 \rightarrow E_2$  elektronlar)

# Katmanlı FotoDiyotlar

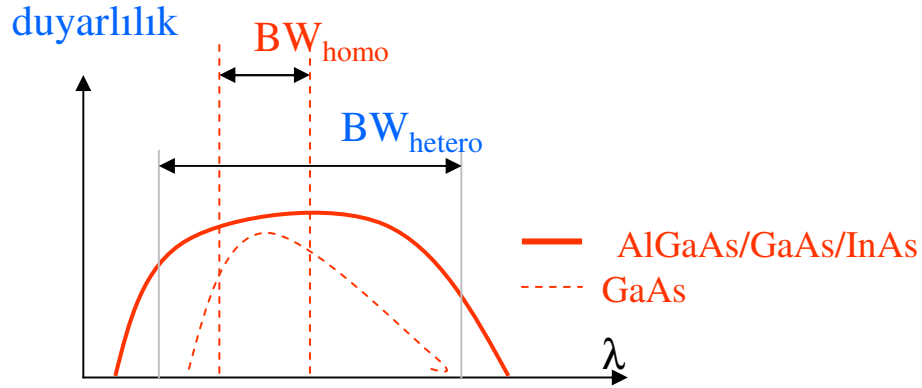
Farklı bant aralığına sahip yarıiletkenler uygun şekilde bir araya getirilerek spektral tepkisi artırılabilir.



Tek katmanlı p-n dedektör



Çok katmanlı p-n dedektör



## Üstünlükleri

- Geniş frekans bant aralığı
- Yüksek verimlilik

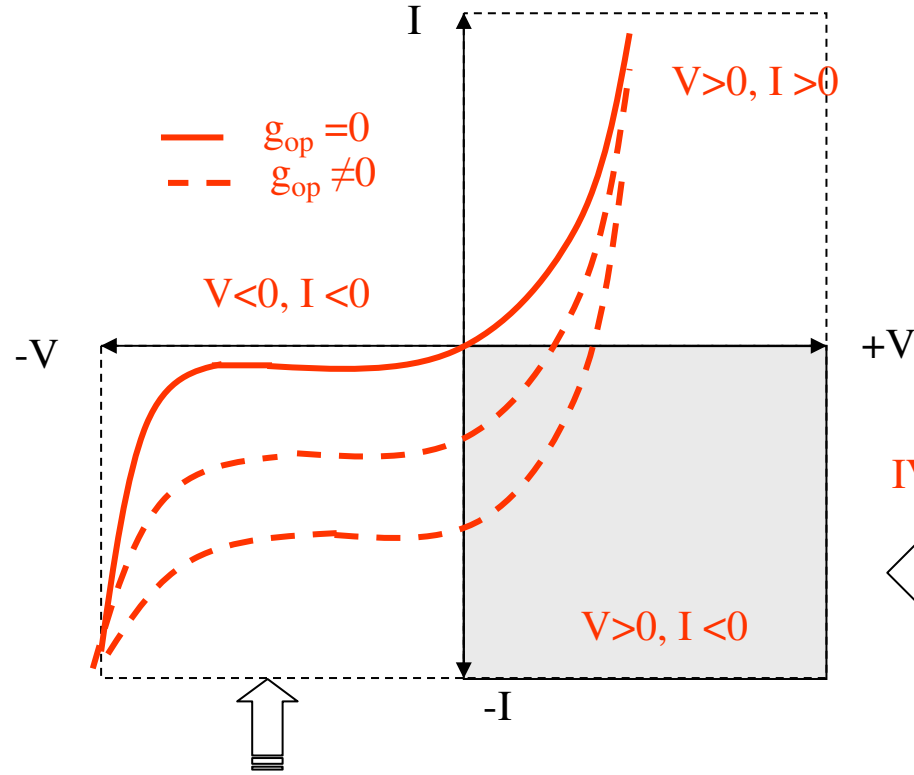
## Olumsuzlukları

- Üretimi pahalı

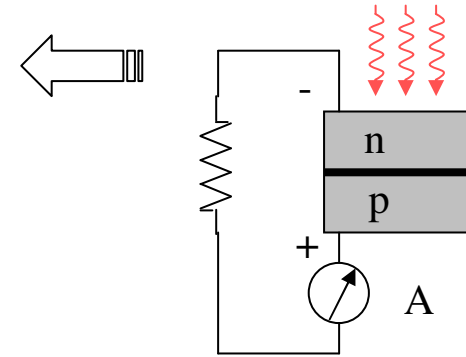
# Güneş Pilleri

# Yarıiletken Eklemlerin Optoelektronik Uygulamaları

Işık altında bir p-n eklemi üzerinde oluşan gerilim ve akım ters yönlü olur, yani eklem emk (elektromotor kuvvet) gibi, başka bir ifade ile pil gibi davranır ve devreye elektriksel güç sağlayabilir.

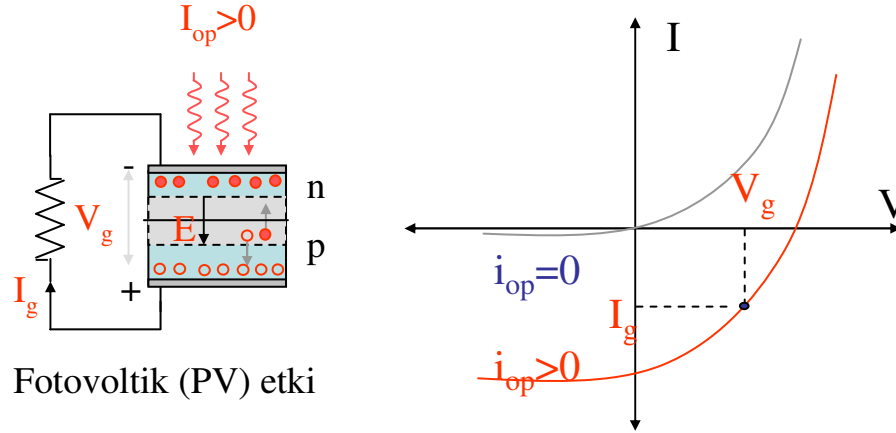


IV. Bölge ( $V > 0, I < 0$ ): Güneş Pilleri



# Güneş Pilleri

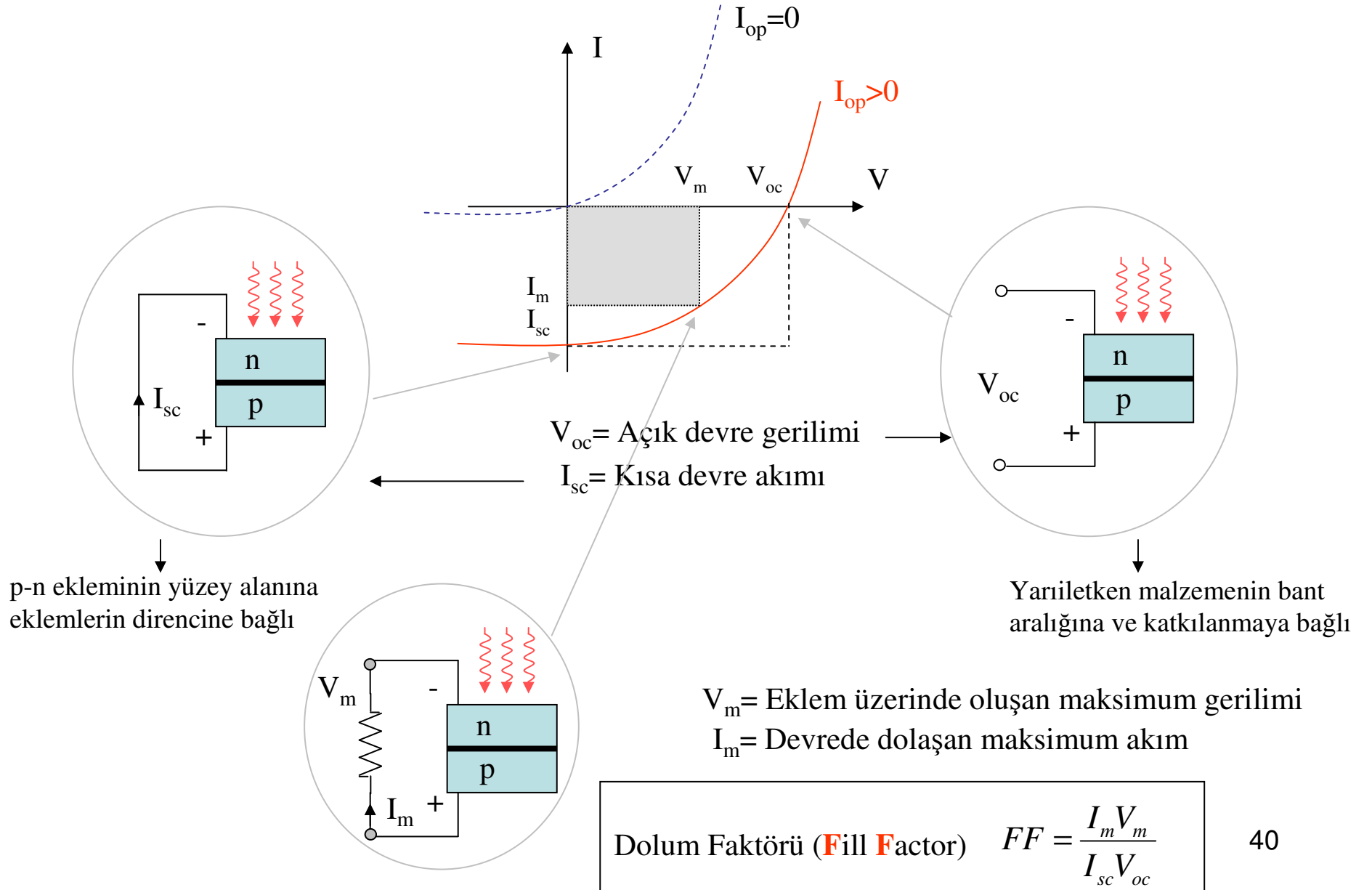
Uygun bir p-n eklemi I-V eğrisinin V. bölgesinde çalıştırılırsa eklem üzerine gelen ışığın oluşturacağı elektron-deşik çifti toplanarak dış devreye elektriksel güç sağlayabilir. Buna *fotovoltaik etki* denir.



- Elektron-deşik çiftinin yaratılması ile p-n eklemının uçları arasında oluşacak olan gerilim kullanılan yarıiletken malzemenin bant aralığından daha düşük olur (Örneğin Si'de bu gerilim  $< 1$  V).
- Akım ise aydınlatılan yüzeye bağlıdır.  $1 \text{ cm}^3$ 'lik alan için 10-100 mA arasında değişir.
- Gerilim düşük olduğundan yüksek güç elde etmek için büyük yüzey alanları kullanmak gerekmektedir.
- Güneş spektrumundaki bütün dalgaboylarının eklem tarafından soğrulması arzulanır.
- Silikon, ucuz oluşundan dolayı güneş pillerinde yaygınca kullanılmaktadır.

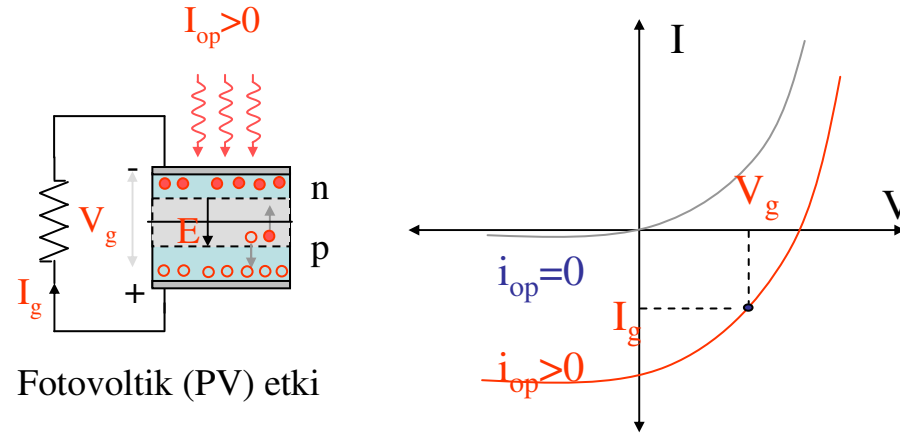
# Güneş Pilleri-2

Güneş pillerinin verimliliği: (oluşturulan e-h sayısı) / (gelen foton sayısı)

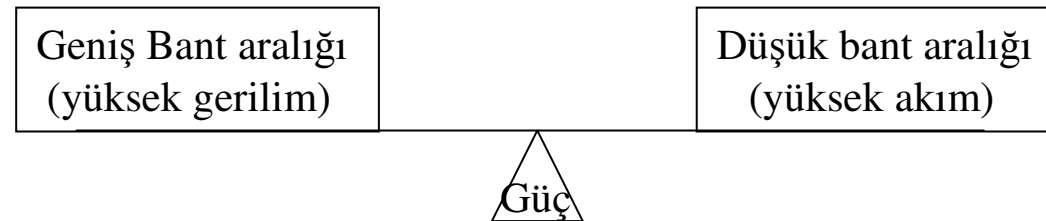




# Güneş Pilleri-Tasarım-1



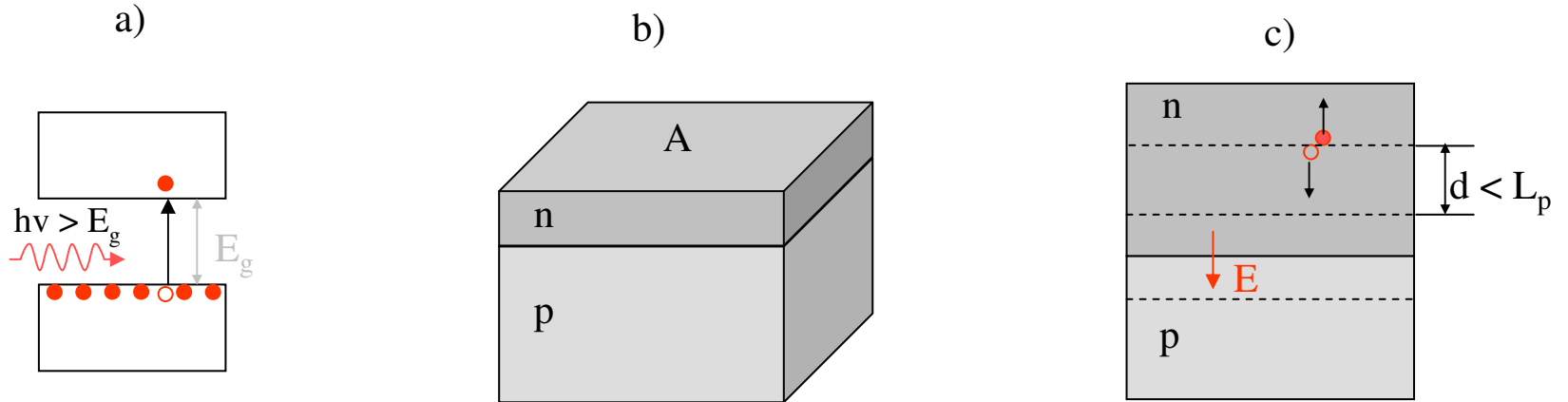
Elektron-deşik çiftinin yaratılması ile p-n eklemının uçları arasında oluşacak olan gerilim kullanılan yarıiletken malzemenin bant aralığından daha düşük olur (Örneğin Si'de bu gerilim  $< 1$  V).



# Güneş Pilleri-Tasarım-2

## Güneş Pili Tasarımı

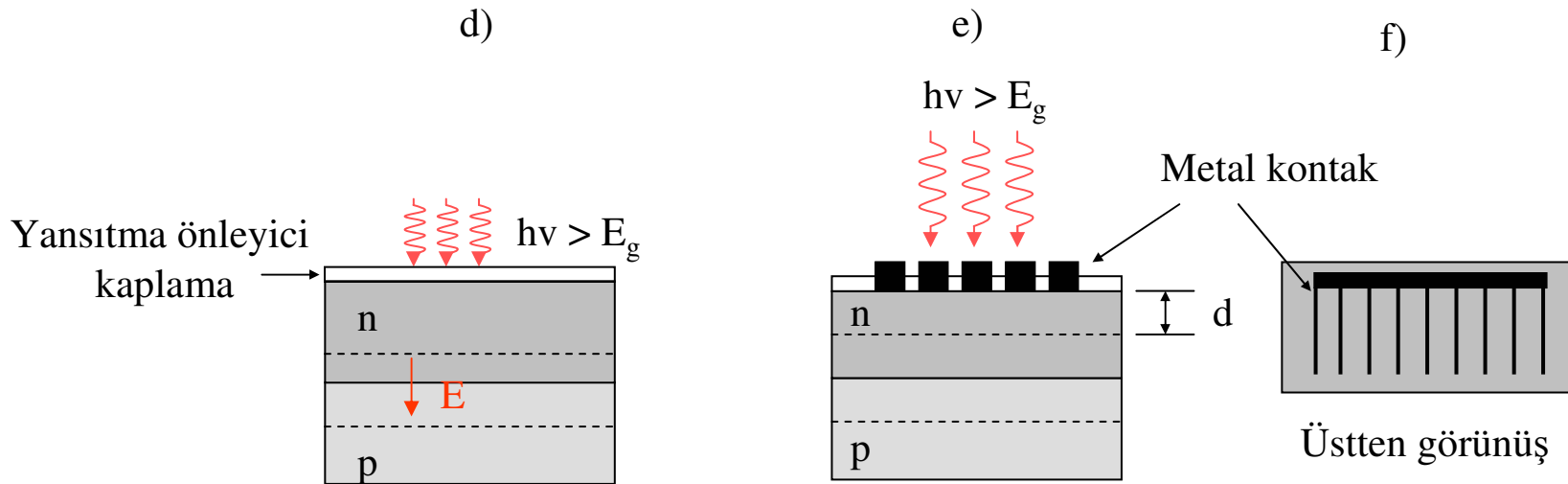
- Gelen güneş ışığının en etkin şekilde elektrik enerjisine (elektron-deşik çiftine) çevirebilme özelliği ( $h\nu \geq E_g$ ).
- Optik güçten maksimum derecede faydalanmak için güneş pilinin geniş yüzeye sahip eklem alanı olmalıdır.
- Oluşacak elektron-deşik çiftlerinin eklem bölgesine ulaşması maksimum olacak şekilde ayarlanmalıdır ( $d < L_p$ ).



# Güneş Pilleri-Tasarım-3

## Güneş Pili Tasarımı (Devam)

- d) Yüzey yansımalarını azaltacak ve taşıyıcıların yüzeyde birleşmesini azaltacak yansıtma önleyici kaplama ile kaplanmalıdır.
- e) Oluşan elektron-deşik çiftlerini tekrardan birleşmeden toplayacak uçların (elektrotların) uygun yerleştirilmesi.
- f) p-n bölgelerinde güç kaybının en aza olabilmesi için çok küçük dirence sahip olmalıdır.



# Güneş Pilleri-Malzemeler-1

- Güneş pillerinde bant yapısı doğrudan ve dolaylı bant yapısına sahip malzemeler kullanılabilir.
- Kristal yapıya sahip malzemelerde verim yüksektir ancak maliyet artar.
- Güneş pillerinin yapımında kullanılan en yaygın malzeme Silisyumdur (Si).
- Güneş pillerinde kullanılan silikon, sıcaklıkla verimliliği düştüğü için bunun yerine yüksek sıcaklıklarda verimliliği daha iyi olan bileşik yarıiletkenler kullanılmaktadır.
- Örneğin GaAs-GaAlAs heteroyapılı güneş pilleri yüksek verimliliğe ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Ancak GaAs-GaAlAs heteroyapıların üretimi pahalıdır.

## Güneş Pilleri-Malzemeler-2

- Güneş pillerinde bant yapısı doğrudan ve dolaylı bant yapısına sahip malzemeler kullanılabilir.
- Kristal yapıya sahip malzemelerde verim yüksektir ancak maliyet artar.
- Güneş pillerinin yapımında kullanılan en yaygın malzeme silisyumdur (Si).

Malzeme	Teorik verim (%)	Pratik verim (%)	Bant aralığı (eV)
Silisyum (kristal)	23	14-17	1.12
Silisyum (poli-kristal)	18	13-15	1.12
Silisyum (amorf)	13	5-7	1.70
GaAs	26	-	1.43
CdTe	12	-	1.44
CuInSe <sub>2</sub> -(CIS) (Bakır İndiyumdiSelenide)	14	-	1.00
Cu <sub>2</sub> O (Bakır-2 oksit)	18	1.76	2.10

# Özet

Neredeyse bütün optoelektronik devre elemanları p-n eklemi şeklinde oluşturulur. Bu derste ışık dönüştürücü optoelektronik devre elemanları olan ışık algılayıcılar (dedektörler) ve güneş pilleri incelenmiştir.

Bir p-n eklemi I-V grafiğinin 3. bölgesinde çalıştırıldığında eklem üzerine düşen ışık verimli bir şekilde akım veya gerilim gibi ölçülebilen niceliklere dönüştürülebilir. p-n ekleminin yapısı amaca uygun olarak tasarlandığında hızlı, duyarlı ve kazancı çok yüksek olan ışık algılayıcıları yapılabilir. Dedektörler sözkonusu olunca, duyarlılık, kazanç verimlilik gibi parametreler dedektörün kullanılabilirliğini öne çıkarır.

Bir p-n eklemi I-V grafiğinin 4. bölgesinde çalıştırıldığında eklem üzerine düşen ışığı çok verimli şekilde elektrik enerjisine dönüştürebilir. Güneş pillerinde elektrik gücünü arttırmak için geniş eklem yüzeylerine ihtiyaç duyulur. Güneş pillerindeki en önemli parametre verimdir. Güneş pili yapımında kullanılan bir malzemenin verimini artırmanın yolu uygun tasarım yapılması ile sağlanır.

## **UADMK - Açık Lisans Bilgisi**

Bu ders malzemesi öğrenme ve öğretme yapanlar tarafından açık lisans kapsamında ücretsiz olarak kullanılabilir. Açık lisans bilgisi bölümü yani bu bölümdeki, bilgilerde değiştirme ve silme yapılmadan kullanım ve geliştirme gerçekleştirilmelidir. İçerikte geliştirme değiştirme yapıldığı takdirde katkılar bölümüne sadece ekleme yapılabilir. Açık lisans kapsamındaki malzemeler doğrudan ya da türevleri kullanılarak gelir getirici faaliyetlerde bulunulamaz. Belirtilen kapsam dışındaki kullanım açık lisans tanımına aykırı olduğundan kullanım yasadışı olarak kabul edilir, ilgili açık lisans sahiplerinin ve kamunun tazminat hakkı doğması söz konusudur.