



MIKROELEKTRONIKAI ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

BMF KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet
és
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

4. ELŐADÁS (OPTIKAI SUGÁRZÁSÉRZÉKELŐK, 1. RÉSZ)

2008/2009 tanév 1. félév

1

4. ELŐADÁS OPTIKAI SUGÁRZÁSÉRZÉKELŐK

1. A fény tulajdonságai
2. Félvezetőanyagok optikai tulajdonságai
3. Félvezető fényérzékелők (fotodetektorok) általános tulajdonságai
4. Fotoellenállások fizikája
5. Fotoellenállások konstrukciója, tulajdonságai és alkalmazásai

2

A FÉNY KETTŐS TERMÉSZETE

Terjedés – a fény (többnyire...) **hullám**

Emisszió és abszorpció – a fény (többnyire...) **részecske**

A fény emissziója és abszorpciója: diszkrét „adagok” ezek a **fény kvantumok** azaz a **fotonok**

$$E_{\text{foton}} = h\nu$$

A foton energia a fény frekvenciájától függ de nem függ a fény intenzitásától.

A fényintenzitás a a fotonok számával arányos.

3

A FÉNY: ELEKTROMÁGNESES HULLÁM

A fény **elektromágneses hullám**, melynek elektromágneses terét egymáshoz csatolt elektromos tér, **E** és egy mágneses tér **B** vagy **H** ($\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$) alkotja.

Síkhullám: a két térvektor **E** és **B** továbbá a terjedés iránya (a **k** hullámszámvektor) egymásra kölcsönösen merőlegesek, és az **E**, **B**, **k** sorrendben jobbsodrású koordináta-rendszer tengelyeivel párhuzamosak.

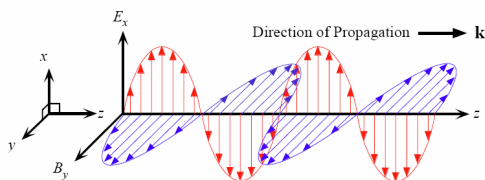
A **hullámszám** $k = 2\pi/\lambda$ (λ a fény hullámhossza).

Síkhullám:

TEM-módus (**T**ransverse **E**lectric and **M**agnetic mode).

4

AZ ENERGIA TERJEDÉSE ELEKTROMÁGNESES HULLÁM



An electromagnetic wave is a travelling wave which has time varying electric and magnetic fields which are perpendicular to each other and the direction of propagation, z.

5

A HULLÁMEGYENLET MEGOLDÁSA

Ha a terjedés iránya a **+z** tengely, és az **E** elektromos tér az **x** tengellyel párhuzamos, ekkor **H** az y tengellyel párhuzamos, és $\omega = kc = 2\pi c/\lambda$

$$E_x = E_{x0} \cos(\omega t - kz) = E_{x0} \cos 2\pi(\nu t - z/\lambda)$$

$$H_y = H_{y0} \cos(\omega t - kz) = H_{y0} \cos 2\pi(\nu t - z/\lambda)$$

EM hullámok (fény) sebessége vákuumban

$$c = 1/\sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)} = 2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

A **c** fénysebesség rögzített érték mely az SI mértékrendszer egyik pillére. Az $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs/Am}$ értéke definiált, ezek együtt meghatározzák ϵ_0 értékét is.

6

TELJESÍTMÉNYSŰRŰSÉG: A POYTING VEKTOR

Az EM hullám, és így a fény teljesítménysűrűsége (a hullámfront egységnyi keresztmetszetén időegység alatt áthaladó energia)

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

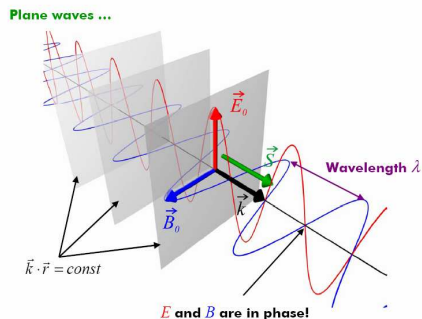
\mathbf{S} a Poyting vektor, dimenziója [VA/m²].

Effektív értékekkel számolva a teljesítménysűrűség

$$P/A = c\epsilon_0 E^2 = cB^2/\mu_0$$

7

SÍKHULLÁM

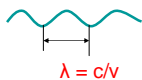


8

A FÉNY: RÉSZECSCKE

Max Planck (1900): fekete test sugárzási spektruma úgy érthető meg, hogy a kisugárzott energia kvantált

$$E = h\nu = hc/\lambda$$



$$E = h\nu$$

azaz a sugárzás és anyag kölcsönhatásakor az energiacsere csak diszkrét energiakvantumokban megy végbe.

A Planck állandó
a h "vonás"

$$h = 6,626\,076 \times 10^{-34} \text{ VAs}^2,$$

$$\hbar = h/2\pi = 1,054\,573 \times 10^{-34} \text{ VAs}^2.$$

9

A FÉNY: RÉSZECSCKE

Albert Einstein (1905):

Minden sugárzás (EM sugárzás, fény) kvantált, független energiakvantumokból ("részecskék") áll.

A fény (EM hullám) kvantuma a **photon**.

Közvetlen klasszikus kísérleti bizonyíték: fényelektromos jelenség, elektronok kilépése fémekből fényvel való megvilágítás hatására.

Einstein fizikai Nobel díj (1921) "érdemdús matematikai-fizikai kutatásaiért, különös tekintettel a fotoelektromos-effektus törvényének felfedezéséért."

10

RADIOMETRIAI ÉS FOTOMETRIAI EGYSÉGEK

Radiometriai egységek: a sugárzás által vitt energiára vonatkoznak, ezek az SI mértékrendszer részei.

Fotometriai egységek: Ezek az emberi szem által érzékelt spektrális tartományra és az ember "fényérzetére" vonatkoznak.

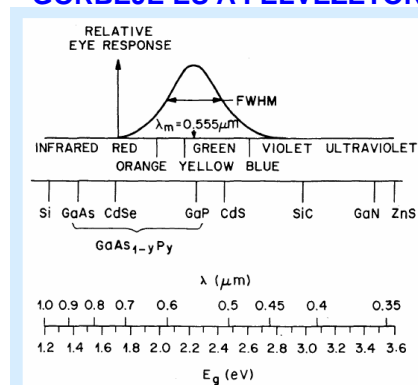
CIE (Commission International d'Eclairage):

Emberi szem standardizált érzékenységi görbéje szerint a relatív érzékenység maximuma $\lambda = 0,550 \mu\text{m}$ -nél van, (sárgás-zöld), itt 1 watt sugárzási teljesítmény 680 lumennel egyenértékű (1 lm megfelel 1,47 mW-nak).

A relatív érzékenység 0,380 μm -nél (ibolya) és 0,780 μm -nél (vörös) válik nullává.

11

AZ EMBERI SZEM ÉRZÉKENYSÉGI GÖRBÉJE ÉS A FÉLVEZETŐK



12

RADIOMETRIA ÉS FOTOMETRIA

Mennyiség	Radiometria	Fotometria
Fényáram	W	lumen
Fényerősség	W/szteradián	kandela
Megvilágítás	W/m ²	lux = lumen/m ²

Fényerősség → egységnyi térszögbe kibocsátott fényáram

Egy kandela erősségű fényforrás 4π lument bocsát ki.

13

RADIOMETRIA ÉS FOTOMETRIA

A kandela (cd) mai definíciója (1979):

Annak a fényforrásnak az erőssége, mely adott irányba 540×10^{12} Hz frekvenciájú monokromatikus fényt bocsát ki és sugárerőssége 1/683 W/szteradián.

Az adott frekvencia 556 nm hullámhossznak (zöld fény) felel meg.

Az így definiált kandela az SI rendszerben alapegység.

14

FÉNY ÉS FÉLVEZETŐ

$$E = hv = hc/\lambda$$

$$E [\text{eV}] = 1,24/\lambda [\mu\text{m}] = 1240/\lambda [\text{nm}]$$

E → a kölcsönhatás karakterisztikus energiája, pl. tiltott sáv, szennyezési centrum ionizációs energiája, stb.

Példa: látható zöld fény $\lambda = 500$ nm, $E = 2,48$ eV

Példa: szilícium tiltott sáv $E = 1,12$ eV, fotováltozás küszöbhullámhossza $\lambda = 1107$ nm

15

OPTIKAI TULAJDONSÁGOK: FÉNY ÉS FÉLVEZETŐ KÖLCSÖNHATÁSA

Optikai tulajdonságok: az energiasáv-szerkezet a meghatározó. Az EM sugárzás, így a fény is elnyelődik (elektron-lyuk párok keletkezése mellett), ha

$$hv = hc/\lambda_g \geq E_g$$

A hosszuhullámú levágás λ_g határhullámhossza $\lambda_g = hc/E_g$, gyakorlati egységekben $\lambda_g [\text{m}] = 1,24/E_g [\text{eV}]$. A tiltott sávnál kisebb energiájú fotonok, illetve a határhullámhossznál hosszabb hullámhosszú fény számára a félvezető átlátszó. Ezt a határt abszorpciósnak is nevezik.

16

FÉLVEZETŐK FÉNYELNYELÉSE ILLETVE ÁTLÁTSZÓSÁGA

Egy félvezetőkristály elnyeli a tiltott sávjánál nagyobb energiájú fotonokkal jellemezhető fényt, a kisebb energiájú fotonokból álló, azaz nagyobb hullámhosszú fényt pedig átengedi. A küszöbhullámhossz és a félvezető tiltott sávja nagysága közötti kapcsolat szintén a Max Planck/Einstein-féle összefüggést tükrözi.

A szilíciumban tiltott sávja 1,12 eV. A fény spektrum milyen tartományába esik a levágási hullámhossz?

A levágási hullámhossz lényegében az adott energiával (tiltott sáv) egyenértékű hullámhossz. A megoldáshoz az eV-ban megadott energiát át kell számítani SI egységbe!

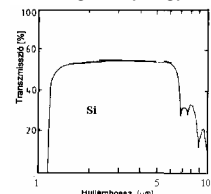
17

SZILÍCIUM HATÁRHULLÁMHOSSZA ÉS TRANSZMISSZIÓJA

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1,603 \times 10^{-19} \times 1,12} = \frac{1,24 [\mu\text{m}]}{E [\text{eV}]} = 1,11 \mu\text{m}$$

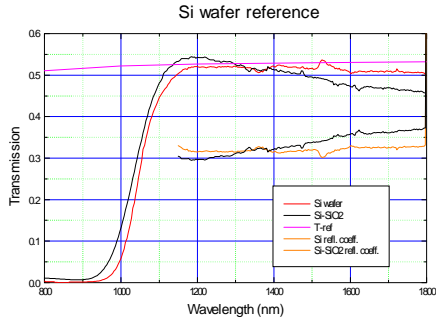
Ez a hullámhossz a közeli infravörös tartományba esik. A Si elnyeli az ennél rövidebb hullámhosszú fényt, így a látható fény tartományában fotodiódaként, napelemként, stb. használható.

A μm -ben kifejezett λ hullámhossz és az eV-ban kifejezett E energia között tehát az átszámítási összefüggés $\lambda = 1,24/E$.



18

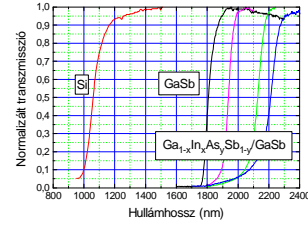
SZILÍCIUM SZELET TRANZMISSZIÓJA



380 μm Si szelet transzmissziója. 1200 nm felett a be- és kilépési felületeken való reflexió határozza meg a fényáteresztést.

19

FÉNYÁTERESZTÉS A HULLÁMHOSSZ FÜGGVÉNYÉBEN



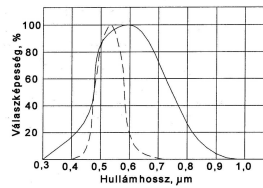
Különböző félvezető anyagok fényáteresztése a hullámhossz függvényében. A határhullámhosszra, illetve a tiltott sávra jó közelítő érték adódik az 50 %-os transzmisszióból (OTKA 30395 projekt).

20

HATÁRHULLÁMHOSSZ

A λ_g III-V típusú félvezetőkben a tiltott sávnak megfelelően kb. 0,35 μm (AlP) és 6,9 μm (InSb) közé esik. Ez átfogja a teljes látható és a közeli infravörös tartományt.

Példa: a kadmium-szulfid (CdS) és kadmium-szelenid (CdSe), illetve elegyük a kadmium-szulfid-szelenid (CdSSe) mint fotoellenállások a látható fény spektrális tartományában érzékenyek, a CdSSe fotoellenállás érzékenysége jól követi az emberi szemét.



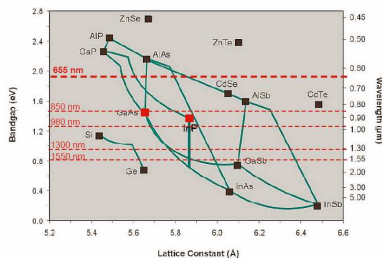
CdS fotoellenállás karakterisztikája. A szaggatott vonal az emberi szem hullámhossz-érzékenysége.

21

ELEMI ÉS VEGYÜLET-FÉLVEZETŐK

Elements	Compounds IV-IV	Compounds III-V	Compounds II-VI	Compounds IV-VI
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

TILTOTT SÁV ÉS HATÁRHULLÁMHOSSZ



A tiltott sáv szélessége, a határhullámhossz (abszorpciós él) és a kristály rácsállandójának kapcsolata különböző félvezetőkben.

23

HATÁRHULLÁMHOSSZ: IR

A közeli infravörös tartományban érzékeny az ólomszulfid (PbS) fotoellenállás, melynek érzékenységi spektrális tartománya 1...4 μm .

Kadmium-higany-tellurid (CdHgTe) vegyület-félvezetővel 0,1 eV nagyságrendű tiltott sáv realizálható, az ebből készült fotoellenállás érzékeny pl. a 8 - 12 μm spektrális tartományban (éjjel látó készülék, *night vision*).

24

ABSZORPCIÓS TÉNYEZŐ

Bouguer-Lambert törvény: az anyagon áthaladó fény intenzitásának a távolsággal (x) való változását (csökkenését) írja le

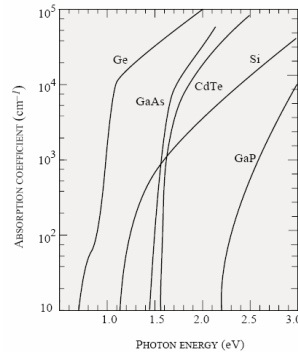
$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$$

α [m^{-1}] az **abszorpciós (elnyelési) tényező**.

Az abszorpciós él feletti energiáknál az elnyelési tényező igen nagy (10^3 - 10^5 cm^{-1}). α nagyobb és gyorsabban emelkedik az ún. **direkt sáv szerkezetű** félvezetőkben (pl. GaAs, InP, GaN, CdS) mint az ún. **indirekt sáv szerkezetű**-ekben (pl. Si, Ge, GaP, SiC).

25

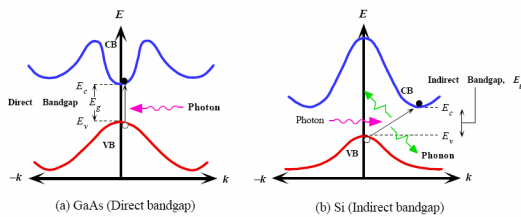
FÉLVEZETŐK ABSZORPCIÓS TÉNYEZŐJE



Az abszorpciós él feletti energiáknál az α abszorpciós tényező igen nagy. α nagyobb és gyorsabban emelkedik az ún. **direkt sáv szerkezetű** félvezetőkben (pl. GaAs, CdTe) mint az ún. **indirekt sáv szerkezetű**-ekben (pl. Si, Ge, GaP).

26

OPTIKAI ÁTMENETEK FIZIKÁJA



Optikai átmenetek az energia-impulzus (hullámszám) diagramon. a. direkt sáv szerkezet (pl. GaAs); b. indirekt sáv szerkezet (pl. Si).

27

DIREKT ÉS INDIREKT ÁTMENET

A sávok közötti átmenetek: energia és impulzus-megmaradás!

Egy elektron-lyuk pár keltéséhez két sáv energiája különbségének megfelelő energiájú foton szükséges. Mivel a foton impulzusa elhanyagolhatóan kicsi a töltéshordozók tipikus impulzusaihoz képest, ezért az impulzus-megmaradás megköveteli, hogy közvetlen (direkt) elektron-lyuk keltésnél csak azonos impulzusú töltéshordozók keletkezhetnek.

Eltérő impulzusú elektron és lyuk csak egy, az impulzus-megmaradás feltételét biztosító harmadik részecske, esetünkben egy vagy több fonon (a rácsrezgés kvantuma) részvételével mehet végbe (indirekt folyamat).

28

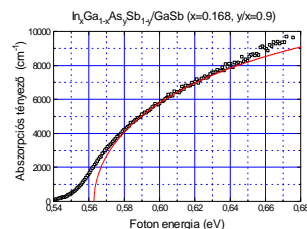
Direct and Indirect Materials

- Only specific materials have a direct bandgap
- Material determines the bandgap

Material	Element Group	Bandgap Energy E_g (eV)	Bandgap wavelength λ_g (μm)	Type
Ge	IV	0.66	1.88	I
Si	IV	1.11	1.15	I
AlP	III-V	2.45	0.52	I
AlAs	III-V	2.16	0.57	I
AlSb	III-V	1.58	0.75	I
GaP	III-V	2.26	0.55	I
GaAs	III-V	1.42	0.87	D
GaSb	III-V	0.73	1.70	D
InP	III-V	1.35	0.92	D
InAs	III-V	0.36	3.5	D
InSb	III-V	0.17	7.3	D

29

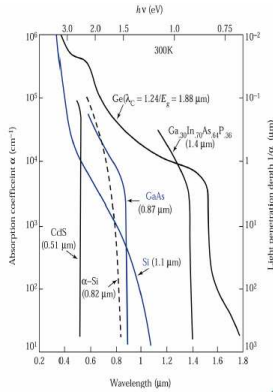
ABSZORPCIÓS TÉNYEZŐ MÉRÉSE



Az α abszorpciós tényező a félvezető optikai transzmissziós spektrumának méréséből határozható meg. Indium-gallium-arszenid-antimonid elegykristály esetén mely az adott összetételben a GaSb-hoz illeszkedik rácsállandóját tekintve. A folytonos vonal az α abszorpciós tényező elméleti képletének a mért adatokhoz való illesztésének eredménye, $E_G = 0,5629$ eV, $\lambda_G = 2202$ nm adódik. (OTKA 30395 projekt).

30

BEHATOLÁSI MÉLYSÉG



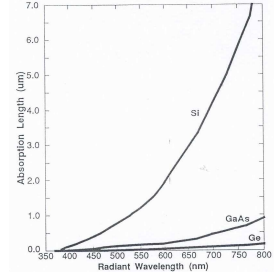
Behatolási mélység $d = 1/\alpha$,
a fényintenzitás 1/e részre
(kb. 37 %) csökken
 $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$.

31

FOTONOK BEHATOLÁSI MÉLYSÉGE SZILÍCIUMBAN

Nagy tisztaságú (alacsony adalékolású) szilíciumban (pl. napelem) a fotonok behatolási mélysége az elnyelési küszöb környékén, illetve az elnyelési tartományban

Hullámhossz (μm)	Behatolási mélység (μm)
1,064	300
0,90	30
0,70	5



FÉLVEZETŐ FÉNYÉRZÉKELŐK

Fotodetektorok jellemzői:

Optikai: spektrális karakterisztika, kvantumhatásfok, stb.

Elektromos: sötétáram, érzékenység, válaszidő, zaj, egyedi foton-detektálási valószínűség, foton számlálási hatások, detektálási küszöb, stb.

Félvezető detektorok: töltött részecske-, illetve foton-detektálás ionizáció az az töltéshordozó-generálás alapján. Kvantum-detektor.

Félvezető anyag megválasztása szempontjai: Szilícium és vegyület-félvezetők (főleg a III-V típusúak): Fizikai tulajdonságok, elérhetőség, egyszerű használhatóság, költség. ³³

FÉLVEZETŐ FÉNYÉRZÉKELŐK

Szilícium technológia: nagyon érett, viszonylag olcsó, de a Si fizikai tulajdonságai miatt nem alkalmazható mindenütt!

Eszközök:

fotoellenállás,
pn-átmenetes dióda (PIN- és lavina-fotódióda),
fém-félvezető átmenetes dióda,
fototranzisztor,
napelem.

34

FÉNYDETEKTÁLÁS FÉLVEZETŐVEL

Fizikai mechanizmus: optikai abszorpció töltéshordozó (elektron-lyuk pár) keltés által.

Kvantum feltétel: $h\nu = hc/\lambda > E_G$

Detektálás: fotóáram, fotófeszültség, ellenállás változás. A detektálási folyamat kvantumos jelenségen alapul:

kvantum-hatású ill. foton-detektor.

35

ÉRZÉKENYSÉG ÉS KVANTUMHATÁSFOK

A fotoáram (fotoválás) arányos a beeső fényteljesítménnyel

$$I_{\text{foto}} = R P_{\text{opt}}$$

R (A/W) – (áram-)érzékenység (*responsivity*).

Kvantumhatásfok η :

$$\eta = \frac{\text{elektron-generálás/idő}}{\text{fotonszám/idő}} = \frac{I_{\text{foto}}/q}{P_{\text{opt}}/h\nu} = \frac{h\nu}{q} R$$

36

KVANTUMHATÁSFOK

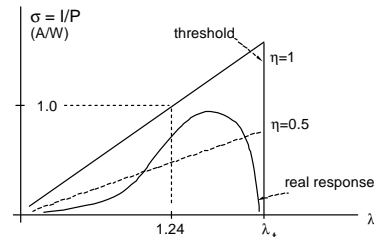
$$\eta = \frac{\text{elektron-generálás/idő}}{\text{fotonszám/idő}} = \frac{I_{\text{fotó}}/q}{P_{\text{opt}}/h\nu} = \frac{h\nu}{q} R$$

$$R = \frac{\eta q}{h\nu} = \frac{\eta \lambda [\mu\text{m}]}{1,24}$$

Egy fotodetektor R (áram-)érzékenysége a λ hullámhosszal nő amiatt, hogy ugyanazon áram egyre kisebb energiájú fotonokkal keltődik. A λ_G határhullámhossz elérésekor R eléri maximumát, utána az η kvantumhatásfok és így R is meredeken nullára esik le.

37

FOTODETEKTOROK KVANTUMHATÁSFOKA

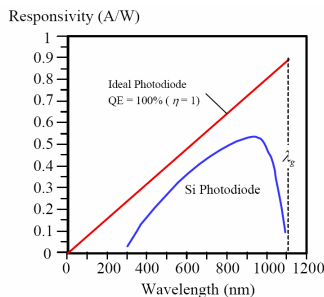


A kvantum-detektor általános karakterisztikája (válaszgörbéje):

Ha $P = \text{const}$, az áram lineárisan nő λ -val, majd meredeken 0-ára csökken a fotoelektromos küszöbnél.

Reális detektornál a válaszgörbe a háromszögtől eltérő görbge.

PÉLDA: Si FOTODIÓDA KARAKTERISZTIKÁI



Si fotodióda spektrális karakterisztikái. Jól látható az R érzékenységek lineáris növekedése majd a határhullámhossz elérése utáni meredek lecsökkenése.

39

FOTODIÓDA KVANTUMHATÁSFOKA

Egy kereskedelmi Si PIN fotodióda (HP 5082-4200-as sorozat, az egyes típusok az érzékeny felület nagyságában illetve a tokozásban különböznek) érzékenysége 770 nm-en $0,5 \mu\text{A}/\mu\text{W}$. A kvantumhatásfoka

$$\eta = \frac{(I_{\text{fotó}}/q)}{(P_{\text{opt}}/h\nu)} = \frac{h\nu R}{q} = \frac{hcR}{q\lambda} = \frac{1,24R[\text{A/W}]}{\lambda[\mu\text{m}]} = 0,81 = 81 \%$$

40

A KVANTUMHATÁSFOK

Az α abszorpciós tényező hullámhosszfűggésén keresztül η függ λ -tól. d vastagságú elnyelő réteg (antireflexiós bevonat esetén el lehet tekinteni a reflexiós veszteségtől):

$$P_{\text{tr}} = \exp(-\alpha d) P_{\text{in}} \text{ és } P_{\text{abs}} = P_{\text{in}} - P_{\text{tr}} = (1 - \exp(-\alpha d)) P_{\text{in}}$$

mivel minden elnyelt foton egy elektron-lyuk párt kelt

$$\eta = P_{\text{abs}}/P_{\text{in}} = 1 - \exp(-\alpha d)$$

$\eta = 0$ ha $\alpha = 0$, $\eta \rightarrow 1$ ha $\alpha d \gg 1$ (ha az elnyelő réteg d vastagsága jóval nagyobb mint az $1/\alpha$ optikai vastagság). Szinte minden félvezetőben nagy α értékek ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-1}$) realizálhatók, így $d \approx 10 \mu\text{m}$ -nél η megközelíti 1-et.

A félvezetők igen hatékony fotodetektorok!

41

FOTOVEZETÉS FIZIKÁJA

A fotoellenállás (más néven fotokonduktív cella) olyan passzív elem, melynek megvilágítás hatására lecsökken az ellenállása. Alapanyaga valamely félvezető, melynek vezetőképessége az elnyelt fényt által generált elektronok és lyukak koncentrációja arányában növekszik. A változás mértéke a megvilágítás erősségétől logaritmikusan függ.

$$\sigma = q[(n_0 + \Delta n)\mu_n + (p_0 + \Delta p)\mu_p] = \sigma_0 + \Delta\sigma$$

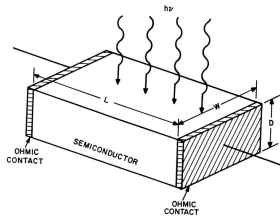
$$\Delta\sigma = q(\Delta n\mu_n + \Delta p\mu_p) = q\mu_n(1 + \mu_p/\mu_n)\Delta n, \text{ mivel } \Delta n = \Delta p$$

Mivel általában az elektronok mozgékonyasága jóval nagyobb mint a lyukaké

$$\Delta\sigma \approx q\mu_n\Delta n$$

42

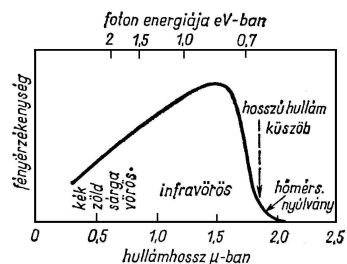
FOTOELLENÁLLÁS



A fotoellenállás egy félvezető darab vagy réteg, melynek két végén ohmos kontaktus van.

43

FOTOELLENÁLLÁS (Ge)



Ge fotoellenállás (határhullámhossz 1,88 μm) spektrális érzékenysége. Az érzékenység csak a határhullámhossz felett -kT-nek (kb. 26 meV) megfelelő hullámhosszaknál csökken nullára.

FOTODETEKTOROK ANYAGAI

Szilícium $E_G = 1,12 \text{ eV}$, $\lambda_G = 1,11 \mu\text{m}$,
 germánium $E_G = 0,66 \text{ eV}$, $\lambda_G = 1,88 \mu\text{m}$
 Mindkét érték a közeli infravörös tartományba (NIR) esik.

A kadmium-szulfid (CdS) és kadmium-szelenid (CdSe), illetve elegyük a kadmium-szulfid-szelenid (CdSSe) mint fotóellenállások a látható tartományában érzékenyek, a CdSSe fotoellenállás érzékenysége jól követi az emberi szemét. Ezek az eszközök polikristályosak. Az eszköznek nagy az erősítése, de eléggé nagy az időállandójuk (10-100 msec).

45

FOTODETEKTOROK ANYAGAI

A közeli infravörös tartományban érzékeny az ólom-szulfid (PbS) fotoellenállás, spektrális tartománya 1...4 μm . Legnagyobb érzékenységük 2 μm körül van. Időállandójuk kb. 1 msec bagyságrendű.

Kadmium-higany-tellurid (CdHgTe) vegyület-félvezetővel (a Cd/Hg aránytól függően a tiltott sáv 1,6 eV és 0 eV között van, a CdTe félvezető, a HgTe fél-fém) 0,1 eV nagyságrendű tiltott sáv realizálható, az ebből készült fotoellenállás érzékeny pl. a 8 - 12 μm spektrális tartományban (éjjel látó készülék, *night vision*).

46

FOTODETEKTOROK ANYAGAI: TÁVOLI IR

A távoli infravörös tartományban arannyal adalékolt germánium (Ge:Au), illetve ZnCdTe vagy HgCdTe a detektor anyaga. A Zn/Cd, illetve Hg/Cd arány megfelelő beállításával a tiltott sáv akár 0,01 eV-ra is csökkenthető.

Alkalmazás: 50 μm -es infravörös sugárzási tartományra. Orvosi alkalmazás a termográfia, mint diagnosztikai módszer, amikor az emberi test hőterképét felvéve gyulladások és daganatok helye deríthető fel.

47

AZ INFRAVÖRÖS SPEKTRUM ÉS AZ ALKALMAS FÉLVEZETŐK

Near-infrared (NIR) (IR-A DIN)	0,75-1,4 μm	Si
Short-wave IR (SWIR) (IR-B DIN)	1,4-3 μm (ezen belül 1530-1560 nm, nagytávolságú optikai átvitel)	InGaAs
Mid-wave IR (MWIR) (IR-C DIN)	3-8 μm	InSb, HgCdTe, PbSe
Long-wave IR (LWIR) (IR-C DIN)	8-15 μm	HgCdTe
Far-infrared (FIR)	15-1000 μm	adalékolt Si, Ge

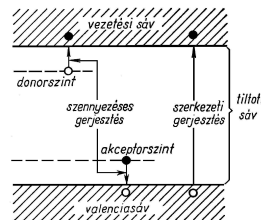
48

INFRAVÖRÖS TARTOMÁNYBAN ÉRZÉKENY FOTOELLENÁLLÁSOK

Félvezető	Max. érzékenység helye, μm	Spektrális tart., μm	Hőmérséklet K
Ólom-szulfid (PbS)	1,9	1,5-3 (Ge szűrővel)	300
Ólom-szulfid (PbS)	2,2	0,3-3,5	300
Indium-antimonid (InSb)		VIS-7,5	300
Indium-antimonid	6-6,3		77
HgCdTe		9,6-15	77
Ge:Hg		10-11	35
Ge:Hg		15	4,2

49

A FOTOVEZETÉS GERJESZTÉSI MECHANIZMUSAI



Sáv-sáv (intrinsic) gerjesztés, donorszint-vezetési sáv, illetve vegyértéksáv-akceptorszint (extrinsic) gerjesztés. Ge:Hg esetén az akceptorszint energiája ~ 90 meV a spektrális érzékenység tartománya $\lambda \geq 10 \mu\text{m}$.

50

FOTOELLENÁLLÁSOK A GYAKORLATBAN

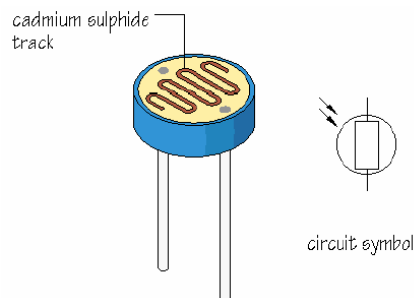
Technikai kivitelüket tekintve a fotoellenállások vákuumpárolgatott vagy kémiai úton egy megfelelő hordozóra felvitt vékony félvezető rétegből állnak meander, vagy fésűs szerkezetben. Sötétellenállásuk igen nagy, tipikusan 1...100 Mohm.

A fotoellenállást áramgenerátoros kapcsolásban célszerű használni. Az infravörös érzékelőket általában alacsony hőmérsékleten (pl. 77 K) működtetik, és az érzékelendő sugárzást valamilyen módon (pl. mechanikus szaggatóval) modulálják.

Példa: CdS fotoellenállás "sötét" ≥ 2 Mohm
 "normál szoba" ~ 3 kohm
 "erős napfény" ~ 120 ohm

51

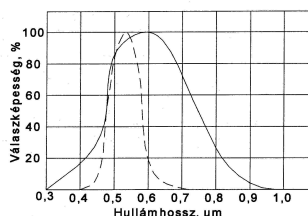
FOTOELLENÁLLÁS



A meanderszerkezettel növelhető a hossz és csökkenthető a keresztmetszet így a sötétellenállás igen nagy lehet, tipikusan 10...100 Mohm.

52

CdS FOTOELLENÁLLÁS



A Mullard ORP12 CdS fotoellenállás karakterisztikája. A szaggatott vonal az emberi szem hullámhossz-érzékenysége. A sötétellenállás kb. 10 Mohm, az ellenállás 50 lx megvilágításnál 2-3 kohm.

53

ERŐSÍTÉS

Fontos jellemzője még a fotoellenállásnak (és általában minden fotodetektornak) az erősítés. Fotoellenállásnál az erősítés az elektródák között az időegység alatt áthaladó töltéshordozók számának és az időegység alatt elnyelt fotonok számának hányadosa. Egyszerű modell alapján az erősítés mint a keltett töltéshordozók élettartama és a futási idő (a töltéscsomagnak az eszközön való áthaladási ideje) viszonya adható meg. A fotoellenállás erősítése az élettartam-mozgékonyosság szorzattal azaz $T_n \mu_n$ -nel arányos, ugyanakkor az eszköz felső határfrekvenciája pedig a τ_n -nel fordítva arányos.

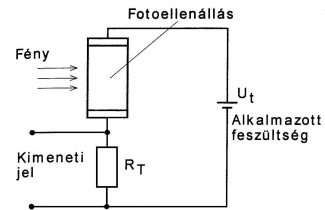
54

FOTODETEKTOROK ERŐSÍTÉSE ÉS VÁLASZIDEJE

Fotódetektor	Erősítés	Válaszidő sec	Működési hőmérséklet, K
Fotoellenállás	$1-10^6$	$10^{-3}-10^{-8}$	4,2-300
PN dióda	1	10^{-11}	300
PIN dióda	1	$10^{-8}-10^{-11}$	300
Fém-félvezető dióda	1	10^{-11}	300
Lavina fotodióda	10^2-10^4	10^{-10}	300
Bipoláris fototranzisztor	10^2	10^{-8}	300
Térvezérlésű fototranzisztor	10^2	10^{-7}	300

55

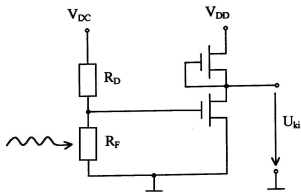
FOTOELLENÁLLÁS MŰKÖDTETÉSE



A fotoellenállás áramgenerátoros meghajtást igényel. Mivel megvilágítva az ellenállás több (4-5) nagyságrenddel is változik, ezért a munkaellenállást a megvilágítási szintnek megfelelően kell átkapcsolni.

56

FET-ES ILLESZTŐKAPCSOLÁS FOTOELLENÁLLÁSHOZ



A kapcsolás mind analóg, mind digitális jelekkel való működtetés esetén alkalmazható.

57

VÉGE
(A NEGYEDIK ELŐADÁSNAK)

58