

4. / 5. / 6.

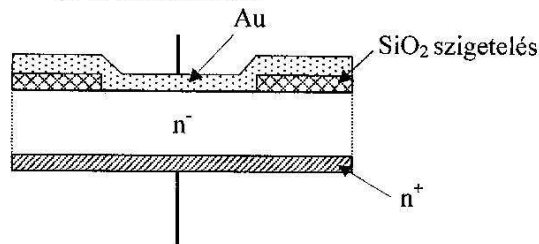
Hátrányai:

- Kis jel amelyet erősíteni kell
- a pn átmenet miatti zaj
- a lezárt pn átmenet erős hőmérsékletfüggése

Felhasználás elsősorban gyors jelek detektálására.

#### 4.2.3.1. Shottky-fotodióda

A Shottky félvezetők fém-félvezető átmenetű alkatrészek. A fém az opto-elektronikai alkatrészeknél általában arany (Au), a félvezető réteg alapanyaga GaAs vagy GaP. Az alkatrész elvi struktúrája az ábrán látható:

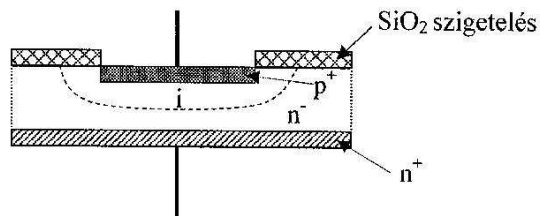


A Schottky dióda különösen gyors eszköz. Elsősorban az ultraibolya (UV) tartományban alkalmas detektornak.

#### 4.2.3.2. PIN dióda

A PIN dióda a normál pn átmenetes diódáktól annyiban különbözik, hogy a két réteg közé beintegrált sajátvezetési (intrinsic) rétege van.

*Az elvi felépítés:*



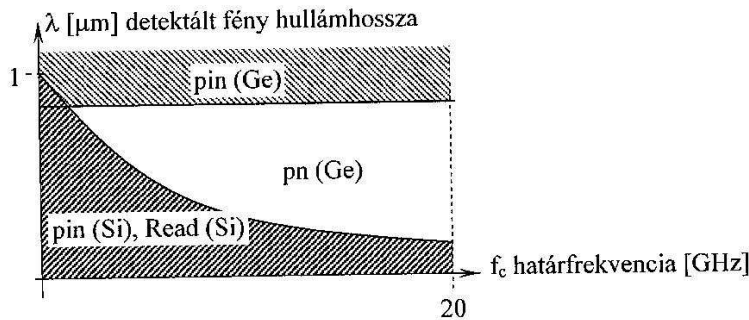
Az intrinsic réteg megnöveli a kiürített réteg szélességét. A kiürített rétegben található kevés szabad töltéshordozó fel tud gyorsulni a maximális sebességre anélkül, hogy ütközne (nagy a töltéshordozók szabad úthossza). A nagy töltéshordozó sebesség miatt az eszköz gyors lesz (a jelterjedési idő ns nagyságrendű). A sebességet elsősorban a nagy kiürített réteg miatt kialakuló feszültséggel vezérelhető kapacitás korlátozza, ezért a két folyamat között kell optimálisan tartani a viszonyt.

A PIN diódát elsősorban gyors jelek detektálására használjuk, pl. lézer dióda jelének detektálására. Az elérhető jelterjedési idő ~10-50 ps.

A PIN dióda készülhet Ge alapanyagra is nagyfrekvenciás alkalmazások esetén.

Hasonló struktúrát és tulajdonságokat mutat a **Read-dióda** is, amelynek szerkezete:  $p^+ - n - i - n^+$

Az alkalmazhatósági karakterisztika a detektált fény hullámhossza és az eszköz határfrekvenciája között:

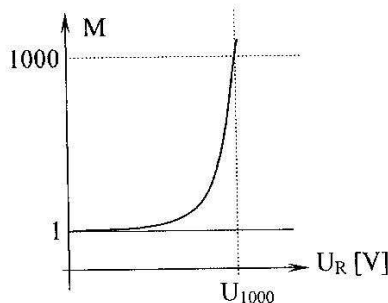


#### 4.2.3.3. Lavina dióda (APD, Avalanche Photo Diode)

Az eddigi detektorok a fotonok számával arányos áramot bocsátottak ki, ami kicsi, ezért további erősítést igényel. A lavina diódák az első erősítő típusú alkatrészek, amelyek árama jelentősen nagyobb, mint az a beeső fotonok számából következne. Az alapelv hasonló, mint a PIN diódáknál, azaz a kiürített réteg megnövelése a sebességnövelés céljából, azonban ezeknél az eszközöknél ezt a rákapcsolt záró irányú feszültség megnövelésével érik el nem pedig beiktatott intrinsic réteggel. A nagy záró irányú feszültség hatására megnövekedett kiürített rétegben a töltéshordozók nemcsak felgyorsulnak és nagy mozgási energiára tesznek szert, hanem a kötött elektronoknak is át tudják adni energiájukat és így további elektronokat szakítanak ki (másodlagos és további elektronok) és növelik a szabad töltéshordozók számát. A sokszorozásnak az egyre növekvő számú töltéshordozó szab határt, mivel ekkor növekszik az ütközés valószínűsége és csökken a szabad úthossz. A működési mód miatt elsősorban a fény jelenlétét és nem a megvilágítás nagyságát detektálja. A nagy töltéshordozó sebesség miatt az eszköz gyors (jelterjedési idő ns-ps nagyságrendű).

A sokszorozási tényező:

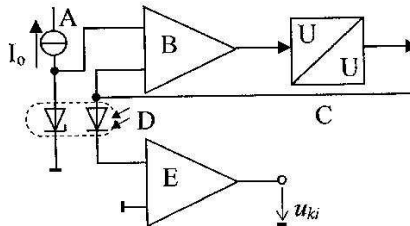
$$M = \frac{I_{\text{foto}}(U)}{I_o}$$



Az alkatrész erősen hőmérsékletfüggő, mivel a jelenség a termikus gerjesztés miatt töltéshordozó párokra is ugyanígy zajlik le. A letörési feszültség változása kb. 200-300 mV/C°. A hőkompenzációhoz egy az APD-vel egy tokban levő referencia diódát használnak, amelynek hőfokfüggése közel azonos. Megoldást jelent a szabályozott hőmérsékletű tokban elhelyezett APD is.

Egy referencia diódával stabilizált letörési feszültségű APD elvi blokkvázlata:

- A konstans áramforrás  
 B hibaerősítő  
 C nagyfeszültségű átalakító  
 D kompenzált APD  
 E kimeneti jelerősítő



A referencia dióda egy tokban van szerelve az APD-vel, így hőmérséklete azonos. A Hőmérsékleti együttható azonosra van beállítva, így az APD feszültségét úgy hangolja, hogy a hőmérsékleti változások kikompenzálódjanak.

*Előny:*

- gyors, az elérhető jelterjedési idő ~20-50 ps
- erősítő jellegű, már nagyon gyenge jelet is tud detektálni

*Hátrány:*

- nagy zaj a lavina-hatás miatt
- erősen hőmérsékletfüggő működés

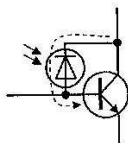
A pn, pin és a APD közel azonos sebességet elérő eszközök, az alapvető különbség a szükséges fényintenzitásban van. Az APD nagyon gyenge jeleket is tud detektálni (akár egy fotont is, ekkor *Single Photon Avalanche Diode*-nak nevezik), azonban analóg lineáris jelátvitelre nem alkalmas, mivel a kimeneten a jel nemcsak a beeső fotonokkal arányos. Az APD felhasználási területe nagyon hasonló a fotosokszorozó csövekkel. A különösen vékony impulzusok tartományában (<10 ns, lézer impulzus) azonban a fotosokszorozók még jobb detektálási tulajdonsággal rendelkeznek.

#### 4.2.4. Fototranzisztor

*Áramköri jelölés:*



*Helyettesítő kapcsolás:*

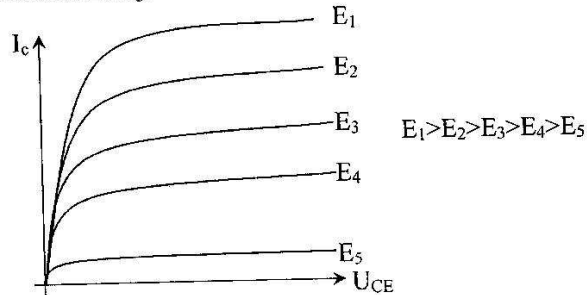


A fototranzisztor –bár ugyanazokat a rétegeket tartalmazza- különbözik a hagyományos tranzisztortól a detektálásra használt C-B átmenet kiképzésében. Detektálásra a lezárt átmenet alkalmas, ami tranzisztornál normál üzemben a C-B átmenetnél áll fenn. Az E-B átmenet nyitott állapotra van előfeszítve normál üzemben, ami a nagy számú töltéshordozó miatt nem alkalmas a hozzá képest jelentősen kisebb számban fotonok által generált töltések detektálására. A kollektor réteg nagy felületű a jó detektálhatóság érdekében.

A foton hatására az átmenetben keletkező töltéshordozók a bázisba jutva ugyanúgy vezérlik a tranzisztort, mint az a normál tranzisztornál külső forrásból származó bázis árammal történik.  
 A lezárt átmeneten azonban nemcsak a foton-gerjesztette áram ( $i_f$ ) folyik, hanem a kisebbségi töltéshordozók árama ( $i_o$ ) is. Ezt az áramot sötétáramnak nevezzük, mivel  $E=0$  lx megvilágítás esetén is folyik. A két áram összege a tényleges bázisáram.

$$i_c = h_{21e}(i_f + i_o)$$

A tranzisztor kimeneti karakterisztikája:



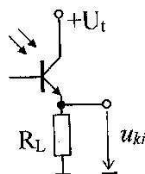
A maximális relatív érzékenység Si detektor esetén kb.  $0.87 \mu\text{m}$  hullámhossznál van (IR tartomány). Az elérhető áramerősítési tényező  $h_{21e}=100..800$ .

A fototranzisztor lehetséges üzemmódjai:

a) Fototranzisztor kivezetett bázis nélkül

Ez a leggyakoribb alkalmazási mód. Ebben az üzemmódban a fény meglétét kell detektálni, nem pedig annak abszolút értékét. A tranzisztort külső tápforrásból előfeszítjük, de nem állítjuk munkapontba, így lineáris erősítésre nem alkalmas. Fő felhasználási területe: optocsatolók, közelítéskapcsolók, vonalkód leolvasók, stb.

Elvi kapcsolás:



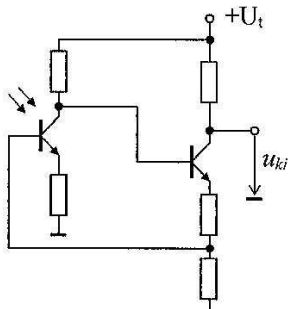
Megjegyzés: a fototranzisztort alkalmanként két kivezetéses eszközként gyártják, azaz közvetlenül ebben az üzemmódban használhatók csak. Ez kisebb méretű eszközök gyártását teszi lehetővé. Különösen tömbbe foglalt detektoroknál gyakori megoldás a két kivezetés.

b) Fototranzisztor kivezetett bázissal

A tranzisztort külső tápforrásból előfeszítjük, és a szokásos munkapont-beállító kapcsolásokkal munkapontba állítjuk, így lineáris erősítésre korlátozottan alkalmas. A fototranzisztor a linearitása továbbra sem lesz a teljes jeltartományban megfelelő, ezért információt nem közvetlenül, hanem moduláltan visszük át. A moduláció lehet bármely

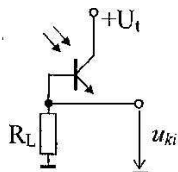
alapsávi AM, FM vagy PM moduláció. Fő felhasználási területe: alapsávi jelátvitel üvegszál kábelben, jelátvitel forgó detektorokon, stb.

Egy lehetséges elvi kapcsolás kétfokozatú közvetlen csatolt erősítővel:



c) Fotodióda üzemmód

A tranzisztort külső tápforrásból előfeszítjük, de csak a C-B átmenetet, mint diódát használjuk fel. A fotodióda sebessége lényegesen nagyobb, mint a fototranzisztoré. Egy fotodióda (vagy tranzisztor dióda üzemmódban) és egy Shottky tranzisztor együttesen sokkal gyorsabb eszközt eredményez, mint egy fototranzisztor. Felhasználási lehetőségek ugyanazok, mint a fototranzisztor kivezetett bázis nélkül.



d) Fotoelem üzemmód

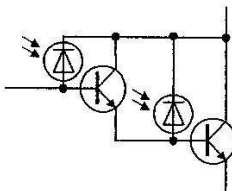
Ez egy elvi lehetőség, mivel a detektálási felület sokkal kisebb, mint egy fotoelemnél, így a határfoka rosszabb. A C-B átmenetet felhasználva fény hatására mérhető kimeneti feszültség alakul ki, amely (nem lineárisan) arányos a beeső fotonok számával.

4.2.4.1. Foto-Darlington

Áramköri jelölés:



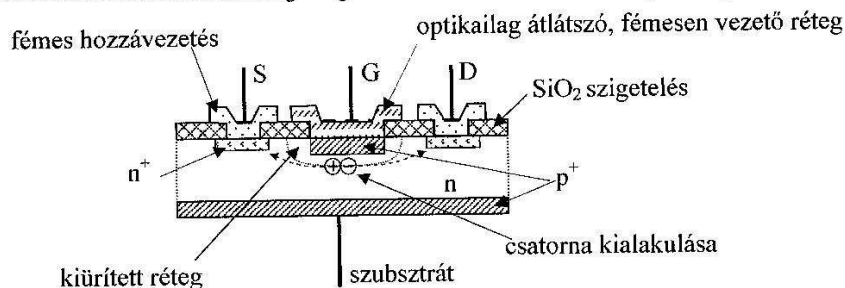
Ekvivalens helyettesítő kapcsolás:



A foto-Darlington kapcsolásnak ugyanolyan tulajdonságai vannak, mint a Darlington kapcsolásnak, figyelembe véve azt a különbséget, ami a tranzisztor és a fototranzisztor működése között van. Alkalmazása –a nagy áramerősítési tényező miatt- elsősorban kis jelek erősítésére, illetve kapcsolóüzemben.

#### 4.2.5. Foto-FET

Működési elvét tekintve egy fotodióda és egy MOSFET kombinációjának tekinthető, ahol a fotodióda által generált töltéshordozók építik fel a növekményes MOSFET csatornáját. A MOSFET vezérlő elektrodájával előfeszítve elérhető, hogy sötétben éppen ne folyjon áram és az eszköz már rendkívül kicsi megvilágítások esetén is detektálható jelet adjon.



*Előnyök:*

- alacsony zaj (nincs sörétzaj)
- nagyon jó detektálhatóság,  $D^* \approx 3 \cdot 10^8 \text{ mHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$  ( $\lambda = 900 \text{ nm}$ , IR tartomány)
- nagyfokú linearitás, különösen alacsony megvilágítások tartományában

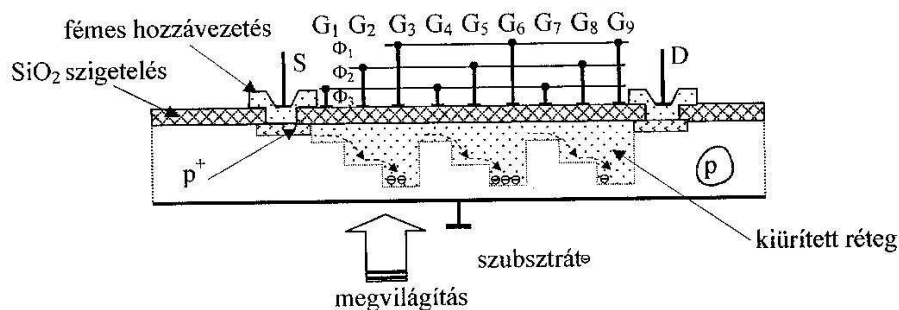
Az erősítés növelhető, ez azonban a határfrekvencia csökkenésével jár.

A foto-MOSFET kategóriába több eszköz is tartozik, így a CCD, CID, stb.

##### 4.2.5.1. Töltéscsatolt eszközök (Charge Coupled Device)

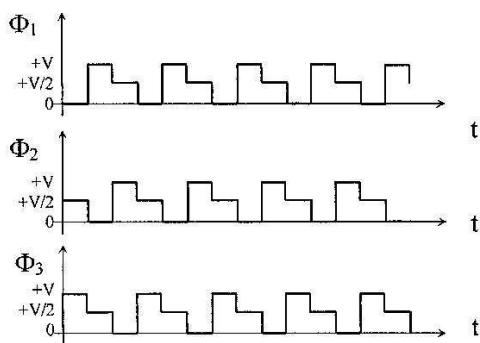
A CCD eszközök a modern képleképező és videó technika alapvető eszközei. Egyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy felépítésük egy sok vezérlőelektrodás MOSFET struktúrának felel meg és alapvetően a töltések áttöltését végzik egyik MOS kapacitásból egy másikba irányított módon (analog léptető regiszter). A töltések forrása a foton (opto-elektronikai alkalmazásban) vagy a közvetlenül betáplált elektromos töltés (analog vagy digitális léptetőregiszter/soros tároló felhasználásban), maga a CCD a töltések egy vagy kétdimenziós léptetését végzi.

*Egyszerűsített CCD struktúra (3-fázisú):*



Több vezérlő elektróda (valóságban több ezer) helyezkedik el elszigetelten ( $\text{SiO}_2$ ) a homogénan szennyezett félvezető ( $n$  felett). A vezérlő elektródára lépcsőzetesen változó pozitív feszültséget kapcsolva a kiürített réteg nagysága a rákapcsolt feszültséggel lesz arányos. Az elektronok, amelyek keletkezhetnek optikailag átlátszó vezetőket alkalmazva a foton-gerjesztésből (opto-elektronikai CCD) vagy a drain vagy source elektródán bejuttatott töltésekből (analóg vagy digitális soros RAM) a minimális potenciális energián fognak elhelyezkedni (amely a rajzon a töltéssel jelölt helyen van). Egymáshoz szinkronizáltan változtatva a vezérlő elektródákra kapcsolt feszültséget a kiürített réteg is halad vagy balra, vagy jobbra. A töltéseket a drain elektródán csatoljuk ki. Az egyes vezérlőelektródák egymáshoz nagyon közel helyezhetők el, így nagy felbontás érhető el.

A vezérlőfeszültség alakja:

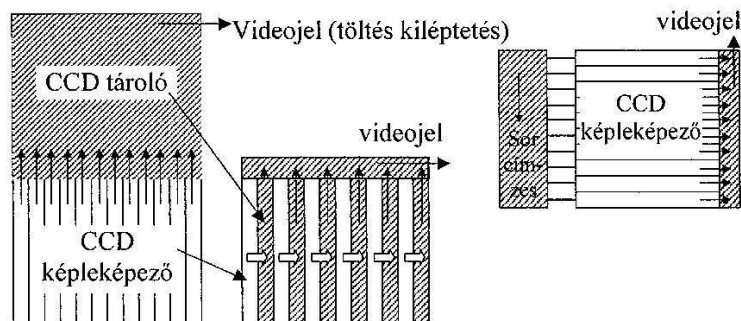


Lehetséges egyéb fázisszámú vezérlés is. A vezérlőelektródák a szigetelő rétegen belül is kialakításra kerülhetnek (térbeli szétválasztás), így már kevésbé bonyolult vezérlő feszültség esetén is kialakítható többfázisú vezérlés. (pl. 2 szint és 2 fázis esetén négy lehetséges kiürítési szint van)

A vezérlés frekvenciája sohasem lehet nulla, mert töltésvesztés lépne fel. Általában a minimális frekvencia 10 kHz és 1 MHz közé esik. A felső határfrekvenciát a MOS-kapacitások korlátozzák.

A CCD megvilágítása történhet a vezérlőelektródák vagy a szubsztrát (hordozó) felől. Ez utóbbi dinamikai szempontból jobb eredményt mutat. Ez a megoldás egyben lehetőséget ad arra, hogy IR kamerák (éjjel látó) esetén a látható fényt a félvezető réteg kiszűrje, mert a hordozó réteg vastagsága miatt nem tud a foton behatolni a kiürített rétegig. Látható fényt detektáló CCD kamerák esetén viszont nagyon vékony hordozó réteget kell kialakítani.

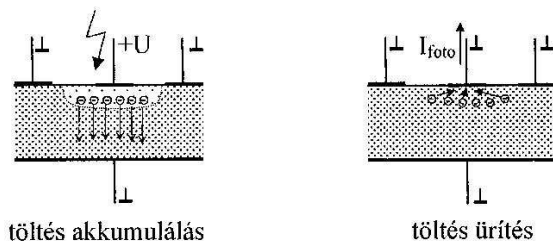
Néhány 2D CCD struktúra:



A CCD kamerák vegyesen tartalmaznak CCD szenzort, CCD soros tárolót és CCD léptetőregisztert.

#### 4.2.5.2. Töltés injekciós eszközök (Charge Injection Device)

A CID működési elve hasonló a CCD-hez, gyakran nem különböztetik meg egymástól őket. Két fázisban működnek: első fázis töltésfelhalmozás, második fázis töltés ürítés.

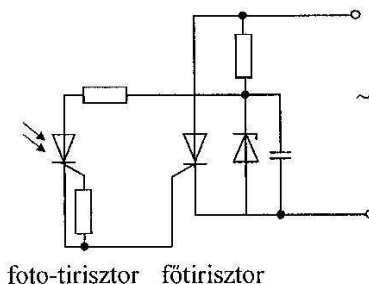


A pozitív feszültség hatására kiürített réteg keletkezik, amelyben a beeső fotonok töltéshordozókat halmoznak fel. A vezérlő feszültség 0 V-ra állításával a töltések kiüríthetők. Előnye a CCD-vel szemben az, hogy az áthallás a szomszédos detektor cellák között kisebb, mivel cellánként egy potenciálgát van kialakítva a két segédelektrodával.

#### 4.2.6. Egyéb félvezetős opto-elektronikai detektorok

A hagyományos Si alapú félvezetők a fotofélvezetőktől a detektálási felület nagyságában különböznek alapvetően. Így elvileg minden hagyományos félvezető alkalmas fotofélvezetőnek is. Bár nem azonos gyakorisággal használják, de a gyakorlatban a legtöbb hagyományos félvezetőnek valóban van opto-elektronikai párja, így pl. létezik foto-tirisztor, foto-triac, stb. A teljesítményelektronika opto-elektronikai eszközeit elsősorban szilárdtest-relekben vagy annak megfelelő diszkrét kapcsolásokban alkalmazzák.

Pl egy nagyáramú váltakozó áramú kapcsoló fényvezérléssel



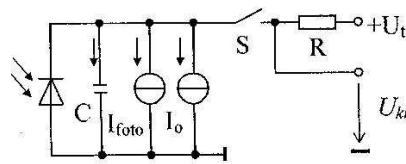
##### 4.2.6.1. Szenzor-tömb (array)

Az egyedi szenzorokból -amelyek mérete tokozás nélkül igen kicsire szorítható le, különösen ha közös alapra integrálással kerülnek kialakításra- 1D vagy 2D szenzor-tömbök alakíthatók ki az infravörös tartományban. A szenzorok lehetnek diszkrét szenzorok vagy közös hordozóra kialakított szenzorok.



#### 4.2.6.1.1. Diszkrét fotodióda tömb

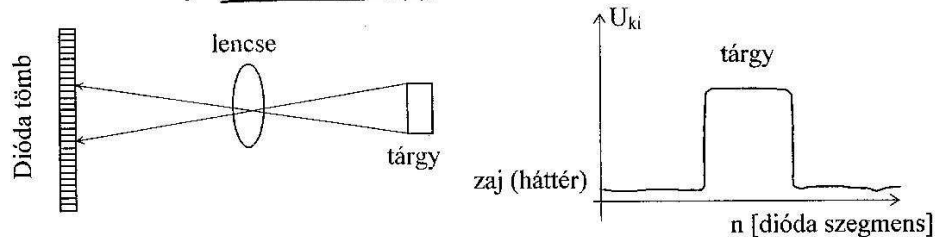
A tömb egy elemének helyettesítőképe



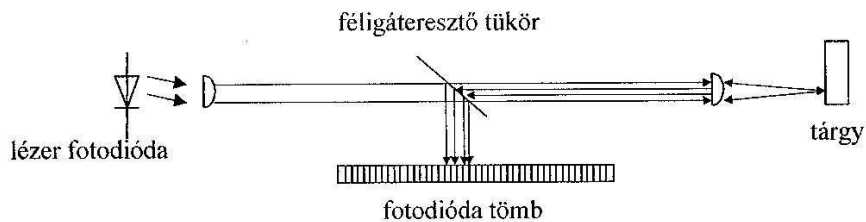
Az S kapcsoló (letapogató által vezérelt) zárása után a C kondenzátor az R ellenálláson keresztül feltöltődik. Az  $I_o$  sötétáram (termikusan gerjesztett áram) sokkal kisebb, mint az  $I_{\text{foto}}$  áram, így a kapcsoló nyitott állapotában a fotoáram süti ki a kondenzátort. A kisülés időállandójából lehet következtetni a fotoáram nagyságára, így a megvilágításra is.

Alkalmazás:

a) Külső mesterséges megvilágítás nélkül:



b) Külső (mesterséges megvilágítással)

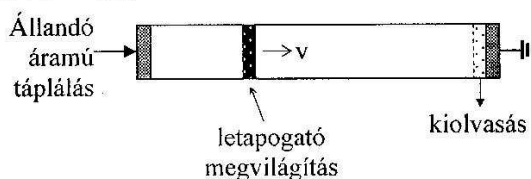


Az eszköz az interferencia elvén dolgozik, mivel a tárgyról visszavert fény és a lézer fotodiódáról érkező fény interferencia csíkokat fog létrehozni, amelyekből következtetni lehet a tárgy kiterjedésére és pozíciójára.

#### 4.2.6.1.2. CMT eszközök

A diszkrét szenzorokból kialakított tömbök egyik fajtája a **Cd-Hg-Te** (Cadmium Mercury Telluride) alapra kialakított diszkrét szenzorok, amelyek több száz elemet tartalmaznak. Az egyedi szenzor vastagság 50  $\mu\text{m}$ . Az eszköz 77 K-ra történő hűtést igényel az alacsony zaj és jó detektálhatóság érdekében (éjjel látó kamerák). A detektálási hullámhossz tartomány 8-13  $\mu\text{m}$  (IR tartomány). Az egyedi szenzorok működési elve a CCD szenzorokhoz hasonló.

Az integrált szenzortömbök egy lehetséges kialakítása a CMT alpra kialakított **SPRITE** szenzor, ahol nem egyedi szenzorok vannak, hanem a  $v$  sebességgel haladó letapogató fény  $v$  töltéshordozó sebességet (drift) kényszeríti ki a CCD léptetésnek megfelelően.



### 4.3. Fotoadók (emittálók)

#### *Optikai lumineszcencia jelensége a félvezetőkben*

A félvezetők azon tulajdonságaik alapján, hogy a töltéshordozók gerjesztésekor hullámszámvektor változás is bekövetkezik-e vagy sem két csoportra oszthatók: (lásd 2. fejezet): direkt és indirekt félvezetők. A direkt félvezetők elsősorban foton sugároznak ki, még az indirekt félvezetőknel a fonon kisugárzás a jellemző. A fénytartományba sugárzó eszközök a direkt félvezetők, amelynek jellemző alapanyagai a GaAs, GaN. Az indirekt félvezetők a hőtartományban sugároznak elsősorban. Az indirekt félvezetők közül a GaP használt -elsősorban, mint szennyező anyag- a fotoadók területén. Természetesen a direkt félvezetőknek is van fonon kisugárzásuk, így az eszközön hő alakjában távozó veszteségi teljesítmény is fellép.

A direkt félvezetők által kisugárzott fény spektruma eshet a láthatófény tartományba vagy az IR tartományba.

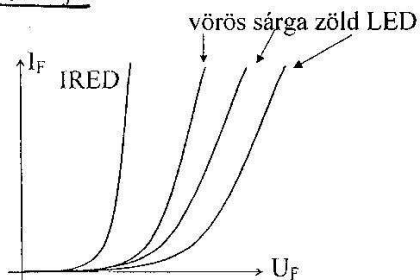
#### 4.3.1. IRED

A leggyakrabban alkalmazott GaAs anyagok a közeli IR tartományban sugároznak.

*Jellemzőik:*

- Az elérhető hatásokok 1..5%-a a bevezetett villamos teljesítménynek.
- A kisugárzott fény spektruma szűk sávban mozog  $\rightarrow$  monochromatikus fényforrás.
- A kapcsolat a bevezetett villamos áram és a kisugárzott fény intenzitása között egy sávban lineáris, de kis és nagy jelek tartományában eltér az ideálistól.
- A hőmérséklet növekedésére a relatív fényerő csökken.
- A kisugárzás irányfüggő, a sugárzási kúp keskeny nyílásszögű.

Az IRED és LED karakterisztikája:

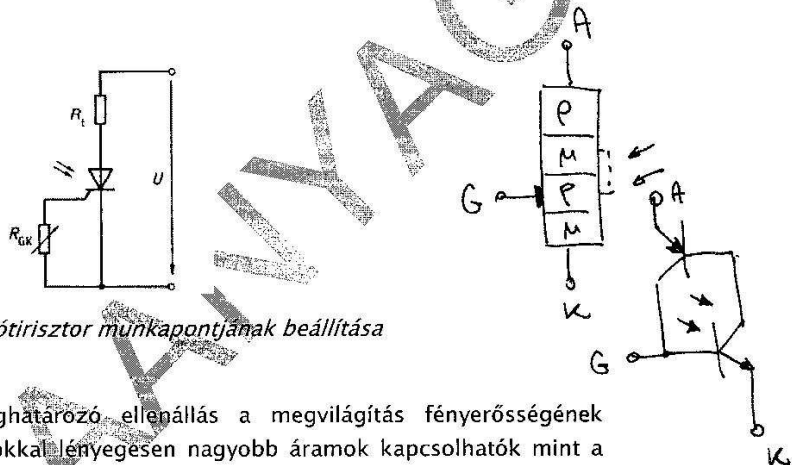


A fotótírisztorok felépítése megegyezik egy közösregezes tirisztoréval. Különbség az, hogy a fotótírisztor fény energia hatására billen át a vezetési állapotba.

A normál tirisztor középső rétege a vezérlőelektródára kapcsolt feszültség hatására billen át, a fotótírisztor középső zárórétegét optikai lencsén keresztül lehet elérni, így alakították ki.

Ha a fotótírisztor középső p-n átmenetét fény éri a tirisztor vezető állapotba kerül.

A fotótranszisztorhoz hasonlóan a fotótírisztor kapu elektródájának kivezetésére nincs szükség, de általában valamennyi típusnál kivezetik, így elérhető, hogy a fotótírisztor gyújtóimpulzusokkal is vezérelhető.



14. ábra. A fotótírisztor munkapontjának beállítása

A fotótírisztor munkapontját meghatározó ellenállás a megvilágítás fényerősségének beállítására szolgál. A fotótírisztorokkal lényegesen nagyobb áramok kapcsolhatók mint a fotótranszisztorral, így olyan kapcsolásokban ahol nagy erősítésre lenne szükség fotótírisztorok alkalmazhatók.

#### A LED dióda ( Light Emitting Diode)

A fénykibocsátó diódák speciális félvezetőkből felépített diódák, amelyek a diódán átfolyó áram hatására fényt bocsátanak ki.

Ha nyitóirányú áram folyik keresztül a p-n átmeneten az n rétegből elektronok jutnak a p rétegbe, a p rétegből lyukak diffundálnak az n rétegbe. A diffúziós folyamat során felszabaduló energia fotonok formájában kisugárzódik.

A kisugárzott fény spektrumtartománya jól definiálható, és az alapanyagtól függ.

A fénydióda jellemző értéke a fénykibocsátó felület, a sugárzási teljesítmény, a fényerősség.

Jellemző határértékek a legnagyobb megengedett nyitóirányú áram illetve záróirányú feszültség és a legnagyobb megengedett veszteségi teljesítmény.

## 1.8. Töltéscsatolt eszköz

A *töltéscsatolt eszköz* (*Charge Coupled Device - CCD*) olyan félvezető eszköz, amelynek egyik elemében tárolt töltésmennyiség átvihető a szomszéd elembe külső potenciálok megfelelő alkalmazásával. A töltéscsatolt eszköz 1969-ben jelent meg és néhány év alatt igen látványos fejlődésen ment keresztül.

A működési alapelv azon a felismerésen alapul, hogy a MOS kapacitás bizonyos körülmények között és rövid ideig analóg információ tárolására alkalmas. Két kellő közelségben kialakított MOS kapacitással elérhető, hogy kiürített tartományaik érintkezzenek egymással. Megfelelő kapufeszültséggel az is megvalósítható, hogy a közös potenciálgödör különböző mélységű legyen (lépcsőzetesség). Ennek következtében az elsőben eredetileg jelenlevő töltésmennyiség a másikba fog átvándorolni. Az egymással érintkező, különböző mélységű potenciálgödrök által lehetővé váló töltésátvitel a tulajdonképpeni töltéscsatolás. Lényegében tehát egy elektród (kapu) alatt tárolt töltésmennyiség a szomszédos elektróddal vezérelhető a potenciálgödör mélységének a befolyásolása által. A vázolt módon működő MOS kapacitáslánc képezi a töltéscsatolt eszközt. A kapupotenciálok változtatásához, tehát a töltésátvitel megvalósításához, egy három vagy négy fázisú jelre van szükség (órjel).

A felületi töltéstárolás és mozgatás a félvezető tömbben is megvalósulhat.

A töltéscsatolt eszközöket integrált kivitelben gyártják. Alkalmazásának lényeges területe az analóg jelfeldolgozás, minthogy működési elve analóg. Talán legfontosabb alkalmazása a töltéscsatolt eszköz alapú képfelvevő, amelynél a mozgatásra kerülő töltéscsomagok megvilágítás hatására jönnek létre. Manapság kizárólag ilyen típusú képfelvevőket használnak.

A működési elvet tekintve ugyancsak töltéscsatolt eszköz a *vödörlánc eszköz*, valamint a *töltésinjektálású eszköz*.

Az előbbi lényege az, hogy egy sorbakötött MOS tranzisztorlánc egymás után következő elemeit két vezérlőimpulzus felváltva, egymás után nyitja. Ezáltal az első tranzisztor bemeneti kondenzátorában felhalmozott töltés vödörláncszerűen töltődik tovább a többi tranzisztor között levő kondenzátorokba (kézről-kézre adott tüzőltő veder elve). Az elemek száma, valamint a vezérlőimpulzusok periódusa ismeretében a lánc késleltetése pontosan meghatározható.

A töltésinjektálású eszköz lényegében egy MOS kapacitás-párokból kialakított mátrixszerkezet. Egy páron belül, ha legalább egy kapu megfelelően polarizált, akkor például a fény hatására létrejött töltések tárolhatók és mozgathatók. Ha viszont mindkét kapu potenciálja nulla, akkor megszűnik a kiürítési tartomány (potenciálgödör) és a töltések a hordozóba injektálódnak, majd ott rekombinálódnak. A rekombináció viszonylag lassú, ezért az injektált töltések semlegesítésére más módszereket is alkalmaznak. A párok kapui a mátrix sorait és oszlopait képezik. A töltésinjektálású eszközöket főleg képfelvevőként alkalmazzák.

## 2. Digitális MOS/CMOS alkalmazások

A következőkben néhány jellegzetes digitális MOS/CMOS alkalmazást mutatunk be.

### 2.1. MOS/CMOS logika

A MOS tranzisztorok jellegzetes alkalmazása a digitális elektronikában van. Emlékeztetünk a MOS tranzisztor figyelemreméltó tulajdonságára, hogy tranzisztorként, ellenállásként, vagy kapacitásként viselkedhet.