

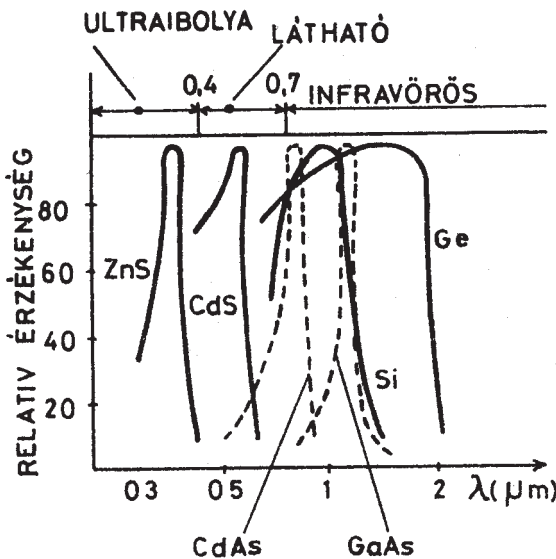
4-2.5. A fotodióda

Kísérleti fizikai tanulmányainkból ismeretes egyes anyagok azon tulajdonsága, hogyha olyan fotonokat abszorbeálnak, amelyek energiája, nagyobb mint a tiltott sáv szélessége, akkor azokban elektron-lyuk párok keletkeznek. Ezen alapul legtöbb fénydetektor működése. A 4-1. táblázatban felsoroltunk néhány fénydetektorként használatos anyagot, megadva szobahőmérsékleten a tiltott sáv szélességét. Ezen anyagok zöme intermetallikus ötvözet és a germániumhoz hasonlóan a gyémánt-rács szerkezetnek megfelelően kristályosodik.

Tiltott sáv szélessége félvezetőkben, szobahőmérsékleten

4-1. táblázat

Kristály	E_g (eV)	Kristály	E_g (eV)
CdS	2,4	InAs	0,43
GaP	2,2	PbS	0,37
GaAs	1,4	PbTe	0,29
Si	1,1	InSb	0,23
Ge	0,7		



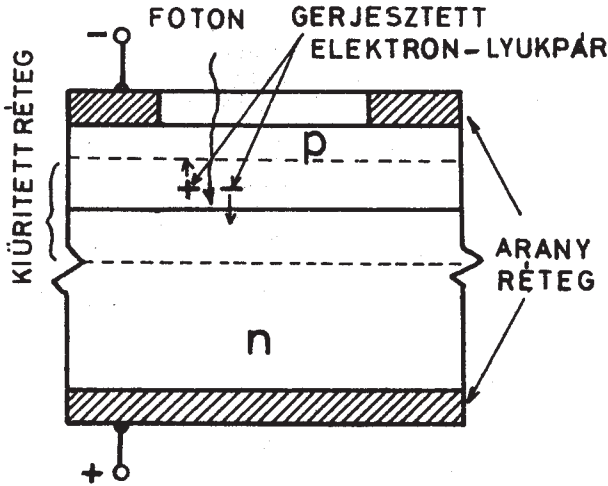
4-13. ábra

Fotodióda alapanyagok viszonylagos spektrálérzékenysége

A 4-13. ábrán bemutatjuk néhány fotodióda-alapanyag viszonylagos spektrálérzékenységét. A Si és Ge esetén látható $1,1\mu$ és $1,8\mu$ hosszuhullámu levágás az $1,1$ és $0,7$ eV-os tiltott-sáv szélességgel kapcsolatos. Ezen hullámhosszak felett már olyan kicsi a fotonok energiája, hogy nem tudnak töltéshordozókat gerjeszteni. A rövidebb hullámhosszu tartományban a levágás viszont azzal indokolható, hogy a nagyobb energiájú fotonok már a felület közelében létrehozják a töltéshordozókat, amelyek a gyors rekombináció miatt nem jutnak el

a kiürítési tartományba. Ezen kívül a legtöbb fotodióda az ultraibolya sugárzási tartományban kisebb fotoáramot mutat, mivel a diódák burkolatán levő ablak ezeket a sugarakat már nagymértékben abszorbeálja.

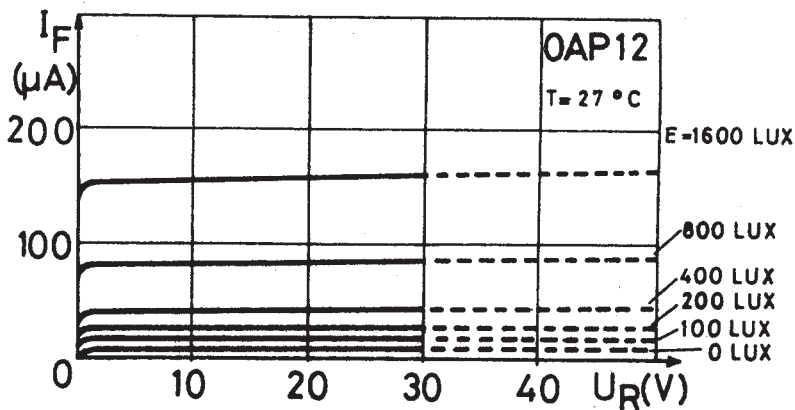
A 4-14. ábrán egy pn fotodióda felépítését és működési alapelvét láthatjuk. A záróirányban előfeszített fotodiódán - ha nem esik rá fény igen kicsiny záróirányú áram folyik, amelyet a termikusan gerjesztett



4-14. ábra

pn fotodióda felépítési és működési elapelve

kisebbségi töltéshordozók közvetitene. Fény hatására a dióda különböző rétegeiben elektron-lyuk párok keletkeznek, az előbb említett feltételek mellett. Ha a töltéshordozó-párok a p vagy n tartományban keletkeznek, akkor az ott levő szabad töltéshordozók miatt igen nagy a rekombináció valószínűsége. A fotoáram létrehozásában azok az elektronok és lyukak játsszák a döntő szerepet, amelyek a kiürített rétegben gerjesztődnek és ezeket a nagy térerő - a kisebbségi töltéshordozókhöz hasonlóan - átemeli a potenciálgáton. Ebből kifolyólag a záróirányú áram a megvilágítás erősségének függvényében változik (4-15. ábra). A fotodióda alkalmazhatósága szempontjából igen fontos az érzékenység növelése, azaz, hogy adott megvilágítás hatására a lehető legnagyobb fényáram keletkezzen. Ehhez az előbbieknél megfelelően azt kell elérnünk, hogy minél több foton a kiürített rétegben gerjesszen töltéshordozókat. Ezt úgy tudjuk megvalósítani, hogy a p réteget igen vékonyra ($\sim 1\mu$) készítjük, másrészt vastag kiürített réteget hozunk létre, amit a szennyezés mértékével, valamint a zárófeszültség nagyságával tudunk beállítani.



4-15. ábra

OAP 12 tip. fotodióda záróirányú áramának változása a megvilágítás függvényében

Tájékoztatásul megadjuk a Philips gyártmányu OAP 12 Ge fotodióda fontosabb adatait:

U_{Rmax}	maximális záróirányú feszültség	30 V
I_{Rmax}	maximális záróirányú áram	3 mA
P_{max}	maximális teljesítmény disszipáció	30 mW
Sötétáram	$U_R = 10$ V esetén	15 μ A
r_d	dióda ellenállása	3 Mohm
Érzékenység		0,05 μ A/lux
Fényérzékeny terület		1 mm ²
Maximális érzékenységhez tartozó hullámhossz		1,55 μ .

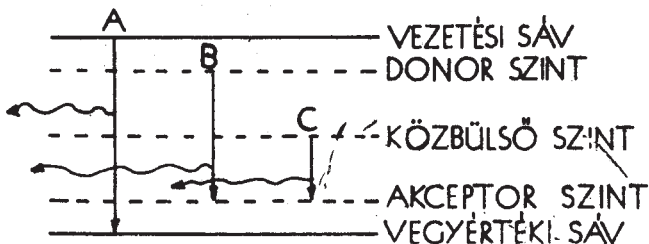
Ha a fotodiódára nem kapcsolunk külső feszültséget, akkor sötétben a p-n átmenet vizsgálatánál leirtaknak megfelelő egyensúlyi állapot áll be. Ha azonban a diódát megvilágítjuk, akkor az elektron-lyuk párok képzése megindul, a kiürített rétegben fellépő elektromos tér hatására a lyukak a p, az elektronok az n réteg felé diffundálnak. Ennek következtében a p réteg pozitív, az n réteg negatív potenciálra töltődik fel, és ún. fényelektromos feszültség keletkezik. Ez a feszültség nyitóirányban mérhető. Ha terhelést kapcsolunk a p-n átmenetre, akkor a körben mindaddig áram folyik, amíg a megvilágítás tart, így a fotodióda elektromos energiaforrásként is alkalmazható. Ilyen elven működnek a speciális kiképzésű, nagyfelületű fotodiódaként felfogható napelemek is.

A korszerű fotodiódák igen magas frekvencián (néhány száz MHz) használhatók, mivel a fényimpulzust követően 1 ns-on belül megindul a fotoáram.

4-2.6. Fényemittáló diódák

Az a jelenség, hogy a p-n átmenetben abszorbeált fény hatására áram keletkezik, régóta ismert, és számos területen alkalmazást is nyer. A jelenség fordítottja is igaz: ha megfelelő anyagú és ötvözésű félvezetőbe elektronokat és lyukakat injektálunk, akkor a dióda fényt bocsát ki. A fényemisszió az elektronok-lyukak rekombinációjának eredménye. A jelenség könnyen megérthető, ha arra gondolunk, hogy a szabad elektronok rekombinációja tulajdonképpen nem más, mint visszatérés a nagyobb energiájú (gerjesztett) állapotból az alapállapotba, és az átmenethez tartozó energiakülönbség megfelelő hullámhosszú fény formájában kisugárzódik.

Ez az átmenet történhet közvetlenül a vezetési sávból a vegyérték sávba, de nagyobb tiltott sáv szélesség esetén közbenső energiaszintek közötti átmenetek is lehetségesek (4-16. ábra), ennek megfelelően a kisugárzás is különböző hullámhosszú tartományokba esik [8].

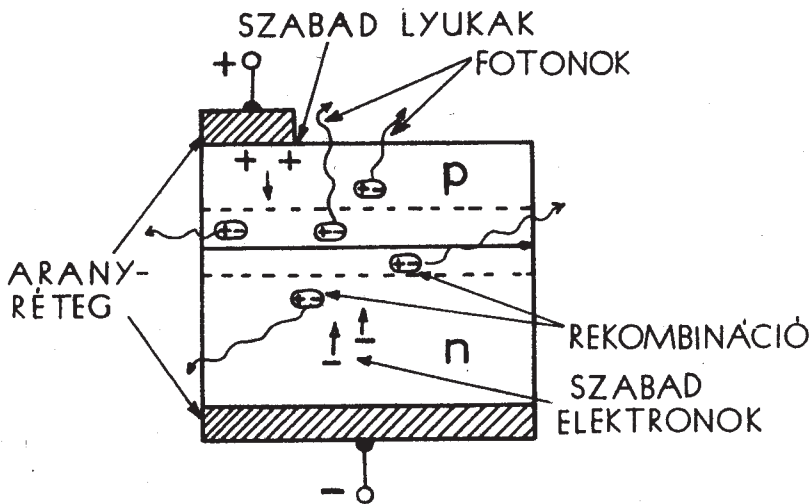


4-16. ábra

Különböző LED anyagok energia diagramja és a lehetséges átmenetek

A szilárdtest fényemittáló diódáknál a nagyobb energiájú elektronok nyitóirányú feszültség hatására injektálódnak az n rétegbe (és a lyukak a p rétegbe), mint ahogy azt a 4-17. ábra mutatja. A diódába injektált elektronok és lyukak a p-n átmenet közelében rekombinálódnak és a minden irányba kibocsátott fotonok közül a külső megfigyelő számára azok válnak láthatóvá, amelyek a felső, vékony rétegben keletkeznek.

A legrégebben használt fényemittáló félvezető anyag a gallium-arszénid, amely főleg az infravörös tartományban sugároz. A GaP tiltott sáv-



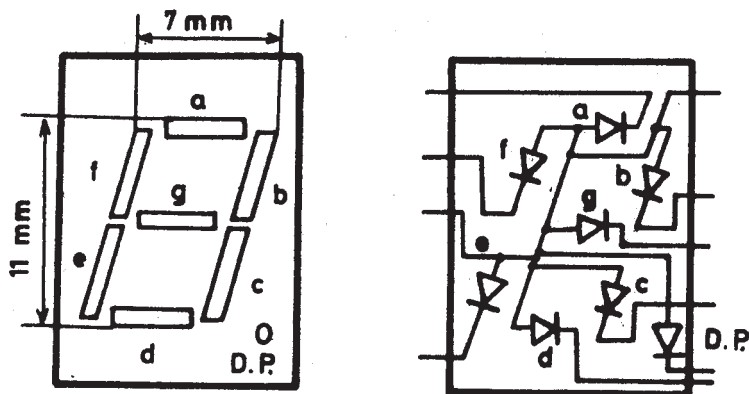
4-17. ábra
Fényemittáló dióda keresztmetszete

ja széles, két átmenetben sugároz, a látható spektrum zöld és vörös részében. A GaAsP hármasszöglet, amelyben az As/P arány megfelelő beállításával a tiltott sáv 1,4 és 2,2 eV között változtatható. Narancssárga és vörös színben sugárzó diódákat gyártanak belőle. Az utóbbi években több új anyaggal kísérleteznek. Egyike ezeknek a szilícium-karbid, amely narancs, sárga, zöld és kék színű fények kisugárzására alkalmas. Előállításukhoz és ötvözésükhöz magas, 2500 °C hőmérsékletre van szükség, ami nagyon megnehezíti ipari gyártásukat. Jelenleg még csak a sárga fényt sugárzó típusa van kereskedelmi forgalomban. További új, nagy reményeket keltő anyag a GaN, amely az egész látható spektrumot átfogó fényemissziós diódáknak alapanyagául szolgálhat majd, ha megfelelő fajlagos ellenállású és fényhatású vegyületet sikerül belőle kialakítani.

Vannak olyan fényemittáló diódák is, amelyek egymással ellentétes polaritással párhuzamosan vannak kapcsolva, vörös és zöld színt kibocsátó rétegből épülnek fel, lehetővé téve a rajta levő feszültség polaritásának jelzését.

Az utóbbi években a fényemittáló diódákat - amelyeket angol nevük: Light--Emitting Diode kezdőbetűi után töviden LED-nek jelölik - igen széles körben alkalmazzák. Készítenek belőlük néhány mm nagyságú jelzőlámpákat; előnyük a kis anód-katód feszültség, a néhány mA-es áramfelvétel és a korlátlan élettartam. Lényegesen nagyobb jelentőségűek azok a dióda rendszerek, amelyek szám és betűjelzésre alkalmasak és digitális mérőkészülékek, számológépek, órák kijelző rendszerét alkot-

ják. Számok kiírására az ún. hétszegmeneses LED kijelzők terjedtek el (4-18. ábra), amelyekben a számjegyeket 0-tól 9-ig a hét vonalszerűen kiképzett dióda megfelelő kombináció szerinti működtetésével lehet láthatóvá tenni. Feszültség és áramigényük nagyon kicsi, általában néhány V üzemi feszültségűek.

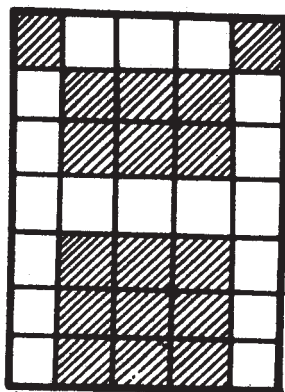


4-18. ábra
Hét szegmeneses LED kijelző és elvi kapcsolása

Tájékoztató adatként közöljük, hogy az előbbi ábrán bemutatott viszonylag nagyméretű (8 mm) hétszegmeneses számkijelző feszültségigénye 1,6 V, szegmenenként 20 mA az áramfelvétele.

Számok és betűk kiírására fényemittáló diódás matrixokat alkalmaznak. A legtöbb esetben elegendő a 35 diódából álló 7x5 mátrix használata (4-19. ábra). Itt a számjegyek és betűk kijelzése a megfelelő pontok világításából adódik. (Az ábra éppen az A betű kijelzését mutatja.)

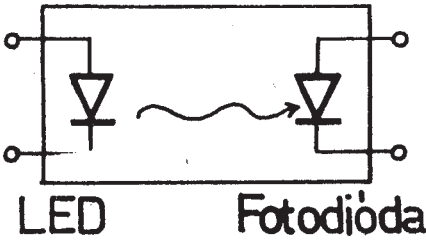
A korszerű LED-ekben a nyitóirányú feszültség bekapcsolása után nanosecundumon belül megindul a fényemisszió. Ezeket a típusokat impulzustechnikai célokra készítik.



4-19. ábra
35 LED diódából álló kijelző mátrix

4-2.7. Optikai izolátorok (optikai kapcsolók)

Mint az előbbieken már láttuk, a LED-ek elektromos áram hatására fényt bocsátanak ki és a fényintenzitás arányos az áramerősséggel. Ezzel ellentétben, a fotodiódák a beeső fény intenzitásával arányos fotoáramot hoznak létre. E két alkatrész felhasználásával olyan új elektronikus elem alakítható ki, amely jelátvitelt tesz lehetővé galvanikus kapcsolat nélkül (4-20. ábra). (Az angolszász irodalomban ezen elektronikus elemek Photon-Coupled Pairs vagy Optically Coupled Isolators néven ismeretesek). A bemeneten átfolyó áram és annak változásai a kimeneten a bemenő jelhez hasonló elektromos jelet hoz létre optikai csatolás révén. A rendszer felépítésétől függően a be- és kimenet közötti szigetelő ellenállás értéke igen nagy lehet. Készítenek olyan optikai izolátorokat is, amelyek be-



4-20. ábra

Optikai izolátor elvi felépítése

és kimenete között 100 kV nagyságú feszültségkülönbség engedhető meg.

A fentiek szerint az optikai izolátor lehetővé teszi elektronikus egységek és berendezések illesztését galvanikus kapcsolat nélkül. A módszer egyik előnye, hogy az optikai csatolás révén kiküszöbölődik az egységek közötti zavaró kölcsönhatás. További előny a nagy és kisfeszültségek elválasztása, ami biztonságtechnikai okokból is kívánatos.

Mivel mind a LED-ek, mind a fotodiódák igen nagy frekvenciáig használhatók, elsősorban impulzustechnikai (digitális mérés technikai) áramkörökben alkalmazzák mint illesztő elemeket.

Az utóbbi időben készítenek olyan optikai izolátorokat is, amelyek bemenő és kimenő jele között a kapcsolt nagymértékben lineáris, ami alakhú jelátvitelt tesz lehetővé.

4-2.8. A folyadékkristályok

Bár a folyadékkristályok nem tartoznak a félvezetők csoportjába, de az utóbbi időben széles körben alkalmazzák számkijelző eszközökben s így célszerűnek tartjuk működési elvük rövid ismertetésére kitérni.

Folyadékkristályoknak olyan anyagokat nevezünk, amelyek különleges közbenső állapotot képeznek a szilárd és a cseppfolyós halmazállapot között. Ezek az anyagok szivar alaku szerves molekulákból állnak. Két fő csoportjukat a nematikus és a koleszterikus kristályok alkotják.