

Teljesítmény LED-ek

Vörös Tamás tanár, voros.tamas@x1.hu

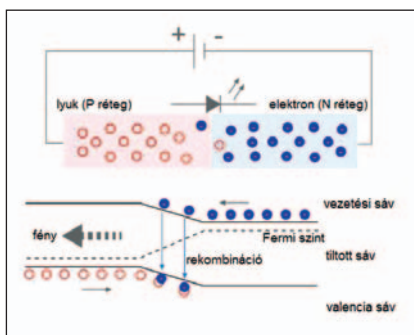
A Rádiótechnika 2016/7-8. számában bemutattunk egy teljesítmény LED-eken alapuló nagy fényerejű lámpát. Ott részletesen olvashattunk a LED hatásfokáról, izzólámpával való összehasonlításáról. Nyilvánvaló, hogy az idő elérkezett az izzók és fénycsövek tömegével való LED-es fényforrásra cserélésére. Jelen cikk az akkori írást továbbgondolva jött létre.

Bevezetés

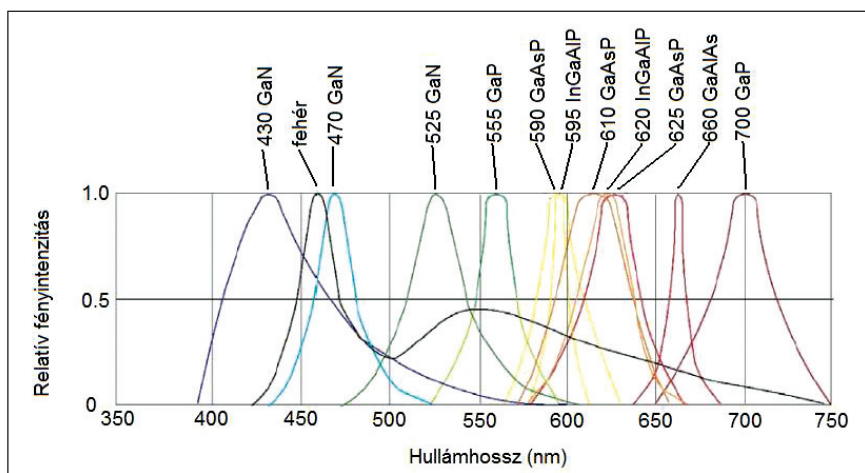
A teljesítmény LED-eket elsősorban a világítástechnikában használjuk. Egy olyan, viszonylag új eszköz használatakor, mint amilyen a fehér LED, az érdeklődő felhasználó számára nem kerülhető meg a kérdés: hogyan áll elő a fehér fény?

Vannak, akiknek ilyenkor rögtön a régi katódsugárcsőves színes tévék jutnak eszükbe, a maguk kis RGB csíkcokskáikkal a képernyőn. Végül is igazuk is lehetne, mert tényleg előállítható fehér fény a vörös, a zöld és a kék színű fény megfelelő arányú összeadódásával. Ennél azonban egyszerűbb mód is létezik a fehér fény megjelenítésére. Az RGB megoldást csak olyan helyeken érdemes alkalmazni, ahol követelmény, hogy a fehér fény mellett színeket is elő lehessen állítani a világítótesttel. Röviden kanyarodjunk vissza sokunk rettegett középiskolai, vagy egyetemi tananyagához, a félvezetők fizikájához.

Az egyszerű félvezető diódát két különböző típusú félvezető réteg szoros egymás mellé helyezésével érhetjük el. Ezt mutatja az 1. ábra is. A P és N típusú réteg alapja napjainkban már többféle



1. ábra



2. ábra

anyag lehet (szilícium, germánium, gallium-arszenid...). Ebbe az alaprétegbe juttatnak bele különféle típusú „szennyező anyagokat”, amelyek révén az alapréteg vezetési tulajdonságai megváltoznak. Ha olyan atom kerül be a kristályszerkezetbe, amelynek több elektronja érhető el mint az alaprétegnek, akkor ezek rövid úton a vezetési sávba kerülnek, azaz jelentősen növelik a réteg vezetőképességét. Fordított esetben pedig elektronhiány keletkezik az alapréteg anyagához képest, ami szintén növeli a vezetőképességet. A relatív elektronhiányt hívjuk itt lyuknak. Tehát az N típusú félvezetőrétegben jellemzően az elektronoknak, míg a P típusúban a lyukaknak köszönhető az elektromos áramvezetés. Ha egy alkalmasan megválasztott polaritású és nagyságú külső áramforrást kapcsolunk a PN átmenet két végére, megindul az elektromos áram.

Az, hogy mekkora feszültség szükséges az áram megindításához, szokásos körülmények kö-

zött csak a kristályszerkezetbe bejuttatott szennyező anyagok fajtájától függ. Persze tudjuk, hogy más módon is be lehet energiát juttatni a rácsba, pl. melegítéssel, fényrel, de általában nem ez a jellemző. Azt a feszültséget, ahol az áram megindul, a PN átmenet nyitófeszültségének nevezzük. Az egyszerű PN átmenetet hívhatjuk nyugodtan diódnak az egyszerűség kedvéért. Az áram megindulásával elektronok kerülnek a lyukakba az átmeneten keresztül, amit rekombinációnak hívunk. Ennek során, mivel a PN átmenetnek üzemi körülményektől függő, de jól meghatározható vezetőképessége van, energia szabadul fel. Ez a diódák többségénél hő formájában jelentkezik, ami persze többnyire nem kívánatos, mert veszteséget jelent. Bizonyos szennyező anyagok jelenlétekor azonban nemcsak hő, hanem fény is keletkezik a rekombináció során. Ezzel pedig létrejön a LED, azaz a fénykibocsátó dióda.

A rekombináció során a PN átmenet által kibocsátott fény szí-

ne szoros kapcsolatban áll a rétegek alapanyagával, így az 1950-es évek óta a kutatók az újabb anyagok alkalmazásával különféle színű LED-eket hoztak létre. A **2. ábrán** látható grafikonon [1] a különböző alapanyagú félvezető átmenetek által kibocsátott hullámhosszokat (gyakorlatilag színeket) láthatjuk. A grafikonról jól látszik, hogy az egyes esetekben kibocsátott fény nem teljesen monokromatikus, bár gyakorlatilag annak érzékeljük. A különféle anyagok esetében a spektrum szoknyájának szélessége változó. A 660 nm-es GaAlAs piros esetben kapjuk a legélesebb görbét, így ez a kibocsátott fény a leginkább egyszínű. A GaN anyag esetén 430 nm-nél látjuk a legszeleesebb szoknyát, ez már az ibolya tartományba esik. A GaAsP esetén narancs fényt kapunk, itt is elég széles a kibocsátott fény spektruma.

Térjünk vissza az eredeti kérdéshez: hogyan kapunk fehér fényt? A dolog érdekes, ugyanis a fehér nem tekinthető olyan értelemben színnek, mint a piros vagy a kék. Ahhoz, hogy fehér fényt érzékeljünk, gyakorlatilag le kell fedni a látható fény 400 ... 700 nm-es terjedelmét. Persze nem szükséges ezt egyenletesen tenni, gondoljunk csak az RGB által nyerhető fehérre. Az igazsághoz tartozik, hogy az RGB

nem teljesen fehér fényt ad vissza, csak majdnem. A megoldás hasonló a fénycsövek működési elvéhez. Ott arról van szó, hogy gázkiszáradással keletkezik többnyire UV fény, a cső fényporbevonata ezt elnyeli és hővé, meg látható fényre alakítja. Hogyan oldható meg ez LED-del? Kétségtelen, hogy nagyobb energiájú, azaz kisebb hullámhosszú fényre van szükség már a fénycsőnél is, mint amit látni szeretnénk valójában, mert egyrészt a fényporbevonat hatásfoka nem 100%, másrészt pedig az elnyelés során a nagyobb energiájú fotonból könnyű kisebb energiájú csihin, fordítva nehezebb. Az UV fényt a komplex összetételű fényporbevonat atomjai elnyelik, gerjesztődnek, majd a gerjesztéskor kapott energiát kisugározzák szélesebb spektrumban. A fehér fényhez tehát kék, ibolya vagy UV LED-ből kell kiindulni. Sajnos ezeknek a megalkotása elég sokáig váratott magára, mert a kék LED-et csak a '70-es évek elején, míg a jó hatásfokú változatát csak a '90-es évek közepén fejlesztették ki. A hagyományos LED-del ellentétben itt a PN átmenet által kibocsátott fény nem jut közvetlenül a külvilágba, hanem egy speciális fluoreszkálni képes réteg kapja meg azt. A fénykibocsátás folyamata során ez a réteg elnyeli az UV fényt, és

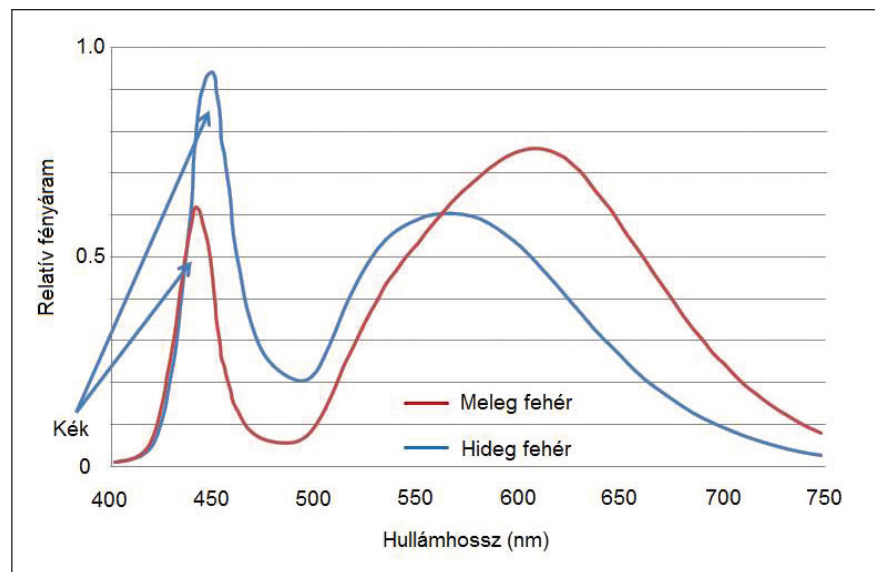
más hullámhossztartományban sugározza ki. A réteg megfelelő anyagválasztásával elérhető, hogy a viszonylag szűk UV spektrumot lejjebb jól „elkenje”, azaz csaknem a teljes látható tartományba transzformálja. Persze nem várhatunk egyenletes transzformációt, lesznek itt-ott csúcsok, völgyek a spektrumban, amint az ábrán látható is. A belépő UV energia mintegy szétterül a különféle hullámhosszok között.

Már a fénycsöveknél is tapasztalhattuk, hogy „többféle fehér” létezik. A két kiemelkedő a hideg és a meleg fehér. A meleg fehér élettani hatásában jobban hasonlít a napfényre, mert a spektruma inkább a meleg színek, azaz a piros és a sárga felé tolódik el. A hideg fehér ezzel szemben inkább több kéket és ibolyát tartalmaz. A kétféle fehér energiaeloszlása teljesítmény LED-ek esetében a **3. ábrán** [2] látható.

A grafikon a hideg fehér esetén éles kék csúcsot tartalmaz és egy kisebb, de szélesebb púpot a zöld-sárga tartományban. Ennek a púpnak gyakorlatilag nincsen piros komponense, mert a görbe elég gyorsan lecseng a narancs után. Az alkatrészben az ilyen spektrum eléréséhez sárga színű fluoreszkáló réteget használnak közvetlen az UV PN átmenet felett. Ez a réteg adja a sokhelyütt látott sárga színt a COB LED belső részében.

Kicsit más a helyzet a meleg fehér tartománnyal. Ebben az esetben a keletkező UV fény egy olyan rétegen halad át, amely jelentősen lecsökkenti a kék komponenst, cserébe viszont jelentős energiataralmú púpot generál a zöld-sárga-piros tartományban. A széles elkené tartománynak köszönhetően sokkal jobb a megvilágítás színvisszaadása is, mert csupán a kékeszöld tartományban található minimum. A kék csúcs létezése miatt majdnem valóságghú a színvisszaadás. A fluoreszkáló réteg színe ezeknél az eszközöknél nem citromsárga, hanem inkább narancsos árnyalatú.

Belátható, hogy elektromos szempontból a hideg és a meleg fehér LED-ek ugyanúgy kezelhe-



3. ábra

4. ábra	UV	Fehér	Ibolya	Kék	Zöld	Sárga	Narancs	Piros	IR
Kibocsátott fény hullámhossza	<400 nm	-	400-450 nm	450-500 nm	500-570 nm	570-590 nm	590-610 nm	610-760 nm	>760 nm
Nyitófeszültség tartomány	3,1-4,3 V	3,4-3,6 V	2,7-4 V	2,5-3,7 V	1,9-4 V	2,1-2,2 V	2-2,1 V	1,6-2 V	0,8-1,9 V
Jellemző nyitófeszültség	3,7 V	3,5 V	3,3 V	2,8 V	2,2 V	2,1 V	2,05 V	1,8 V	1,2 V

tők, csupán a csip és a külvilág közötti réteg más. Élettani hatását tekintve a hideg fehér LED alkalmazása esetén figyelembe kell venni a jelentős kék komponenst, ami főleg este nemkívánatos, mert képes az ember biológiai óráját a melatonin nevű hormon termelésén keresztül befolyásolni. A lapos tévékben és a notebookok kijelzőiben is fénycsöveket vagy újabban már fehér LED-eket használnak a megvilágításhoz. Ebből adódik többek közt ezen kijelzők nem teljesen színhű képvisszaadása, és nem utolsósorban ezért okozhat a lefekvés előtti notebook- és tévéhasználat alvászavart is.

LED-ek nyitófeszültségének mérése

A különféle anyagú félvezetőárammenetek, mint láttuk, különböző színű fények kibocsátását teszik lehetővé. Az elmélet szerint az alkalmazott anyagtól függ a nyitófeszültség is, mivel a fény hullámhossza közvetlen kapcsolatban áll a foton energiájával, így a szükséges feszültséggel is. (Planck féle összefüggés: $E_{\text{foton}} = h \cdot f$, ahol h a Planck állandó, f a fény frekvenciája.)

A 4. ábrán összefoglalva láthatjuk a különféle LED-ek jellemző tulajdonságait. A táblázatot összevetve a 2. ábra grafikonjaival érdekes összefüggéseket fedezhetünk fel. Először is egyértelmű a kapcsolat a kibocsátott fény hullámhossza és a jellemző közepes nyitófeszültség között. Minél nagyobb energiájú fotonokat sugároz ki a LED, annál nagyobb nyitófeszültség jellemző az alkatrészeire. A PN átmenet modellje alapján ez könnyen érthető. A távirányítóknak is használatos infravörös LED-ekhez kell a legkisebb feszültség, míg az UV-hez

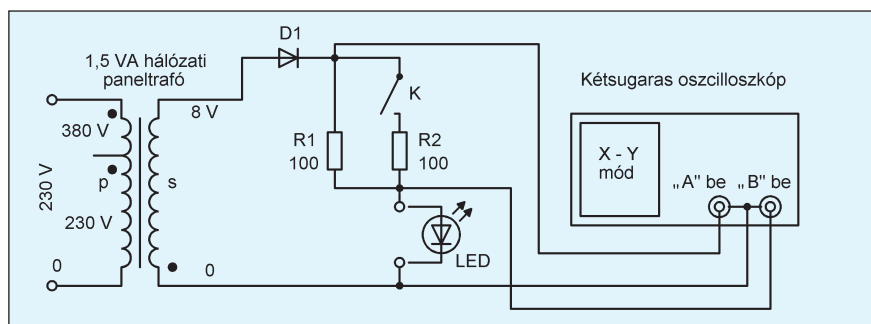
a legnagyobb. Kicsit továbbgondolva a dolgot, már érthető, hogy miért jön csak hő pl. egy 0,7 V-os 1N4148-ból vagy egy OA1161-ből. Csíholható persze fény ezekből is (egyszer többnyire), de akkor ott már nagy a baj.

Az igazi érdekesség azonban a következő: a fehér LED-et a fluoreszkáló réteg jelenléte miatt kihagyva vessük össze a táblázatban található nyitófeszültség tartományokat a 2. ábra grafikonjainak csúcshélességével. A legkeskenyebb csúcsokat egy sárga, egy narancs és egy piros LED esetében tapasztalhatjuk. A sárga és a narancs esetében gyakorlatilag tizedvoltos a nyitófeszültség tartomány, azaz kis feszültségváltozás nagy áramváltozást eredményez. Az alkatrész dinamikus ellenállása ebben a tartományban rendkívül kicsi. Ezzel pedig a LED kiválóan alkalmas feszültség stabilizálására, mivel a jellemző feszültség-áram grafikon a nyitás környékén nagyon meredekké válik. A leginkább lehangoló ebből a szempontból a zöld LED tulajdonsága, ennél ugyanis „elhúzódik” a nyitás a feszültség függvényében.

A nyitási karakterisztika közelítő felvételére az 5. ábra kapcsolásánál egyszerűbbet és kevesebb alkatrészt igénylőt – véleményünk szerint – nem lehet találni. (Aki mégis megpróbálná, az

első öt sikeres vállalkozót szóbeli dicséret illeti.) A cél az volt, hogy egy digitális szkóppal a lehető legegyszerűbben lehessen szemléltetni a különféle nyitófeszültség-áram grafikonokat. Ehhez egy Voltcraft DSO 1062D típusú kétsugaras digitális szkópot használtunk. A digitális szkóp rendkívüli előnye, hogy egy gombnyomással pendrájra menthető a képernyőkép, így nem kell fényképezni.

A karakterisztika rajzoló áramkör lelke egy kisteljesítményű hálózati nyákráfó. Sikerkült olyan típust találni, amelynek van 380 V-os bemenete is, így sokkal kisebb a vas gerjesztettsége, ha 230 V-ot kapcsolunk rá. A szekunder oldalon nyerhető 50 Hz-es szinusz jel alakja szinte csak a hálózat terheltségétől függ. Hálózati csúcsidőszakon kívül egész szép jelalakot sikerült kihozni a 8 V-os tekercsen. A szemléltetés elve a következő: felhasználva azt, hogy a szinusz jel fél periódusa szimmetrikus és a feszültségtartomány majdnem felében majdnem lineáris, fűrészjel nélkül is egész szép grafikonok rajzoltathatók ki a szkóppal. A belső időalapot mellőzve X-Y módba kapcsoljuk a gépet. Ekkor az egyik bemenetre („A”) a vízszintes eltérítést adó egyenirányított szinusz jelet kapcsoljuk, a másikra („B”) pedig a LED



5. ábra