MUNKAKÖZI VÁLTOZAT

LED there be light – Amit a LED-es világításról tudni érdemes

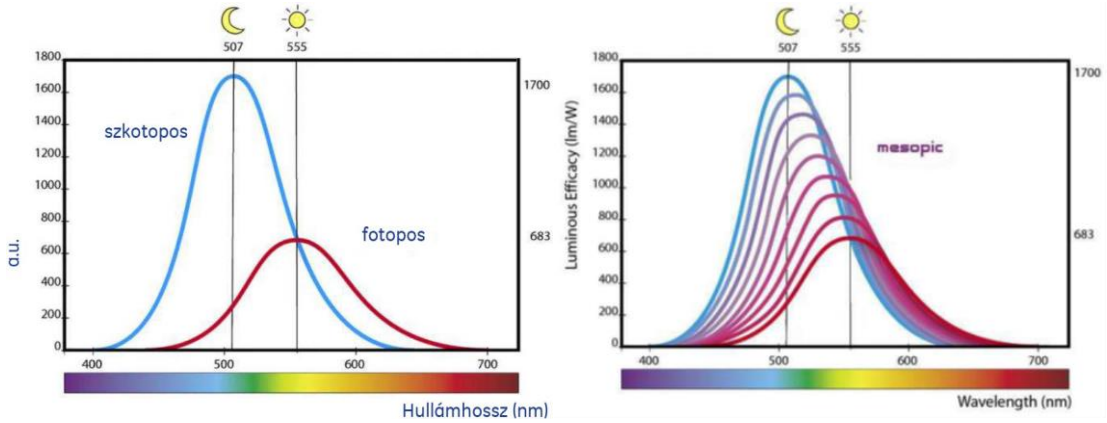
Az Energetikai Szakkollégium 2015. őszi, Lévai András emlékfélévének harmadik, a LED technológiát közelebbről is bemutató előadása 2015. október 8-án került megrendezésre, az IEEE Day rendezvénysorozat keretében. A rendezvényt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékének vezetője, Dr. Poppe András tartotta. Az előadás során részletesen hallhattunk a fényforrások fejlődéséről, a fénnyel kapcsolatos fontosabb fogalmakról, a LED-ek működésének fizikai hátteréről, alkalmazásáról, méréstechnikájáról, modellezéséről és egyéb érdekes tulajdonságairól.

Általános történelmi áttekintés

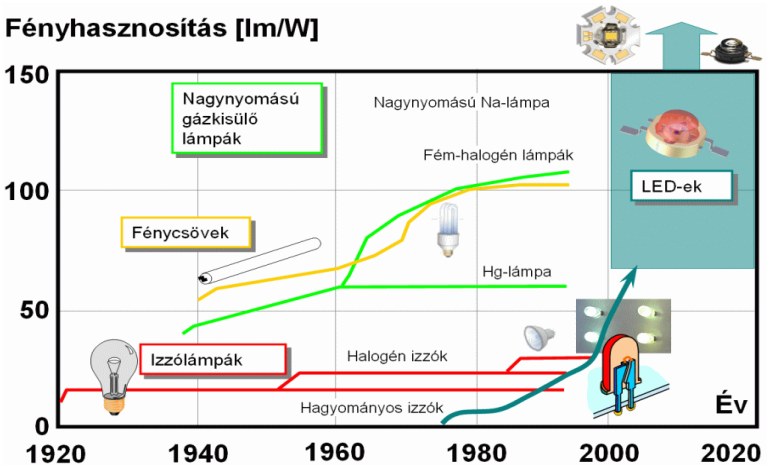
A fénykeltés a kezdetektől fogva fontos kérdés volt az emberek életében. 35-100 ezer évvel ezelőtt még a tűz jelentette a legfőbb fényforrást civilizációnk számára. Ezt a kezdetleges megoldást később az olajmécses, a gyertya, a gázlámpa és az ívlámpa váltotta fel. 1879-ben nagy áttörésnek számított Edison szénszálas izzólámpája, mely sokáig egyeduralkodó volt a világítás területén. A tudomány további fejlődésének köszönhetően sorra jelentek meg a különféle kompakt fénycsövek, fluoreszcens fényforrások és higanygőz lámpák. Napjainkban pedig a legújabb vívmányok közé a félvezető technikával előállított színes és fehér LED-ek és OLED-ek tartoznak.

Tekintsünk át néhány, a fénnyel kapcsolatos fontosabb fogalmat

- Az optikai teljesítmény (radiant flux, radiometrial fluxus) egy fényforrás által egységnyi idő alatt elektromágneses hullámok formájában kisugárzott energia. Meghatározásának módja: $\Phi e = \int S(\lambda)\, d\lambda$.
- A fényáram (luminous flux, Lichtsstrom) egy fényforrás által a látható tartományba eső elektromágneses hullámok formájában, időegység alatt kibocsájtott energia, az átlagos emberi szem fotopos spektrális érzékenységével súlyozva. Számítása a $\Phi v = Km * \int S(\lambda) * V(\lambda) d\lambda$ képlettel történik, az integrálási határt 380 nm és 780 nm közöttire választva.
- A V(λ) görbe a CIE által vizuális kísérletek révén megállapított érzékenységi görbe. Segítségével definiálhatjuk és ábrázolhatjuk a fotopos (nappali megvilágítás melletti), szkotopos (sötétben történő) és mezopos (szürkületi) látás fogalmát.

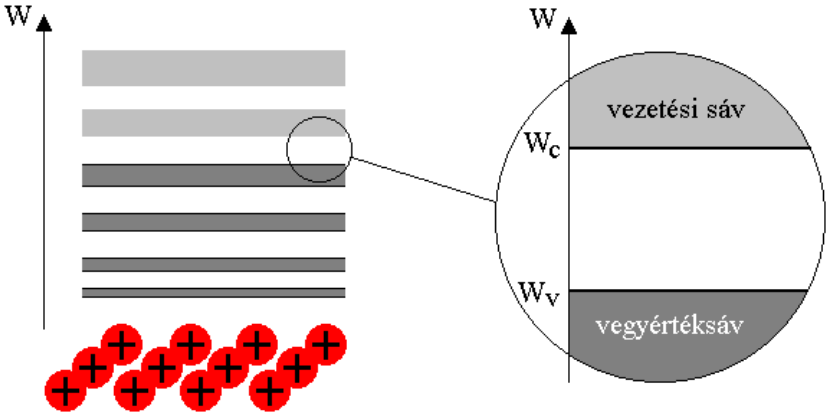


- A fényhasznosítás (efficacy) egy fényforrás energiahatékonyságának a mértéke. Mivel nem értelmezhető villamos fényforrásra, ezért helyette elterjedtebb a sugárzás fényhasznosításának a használata.



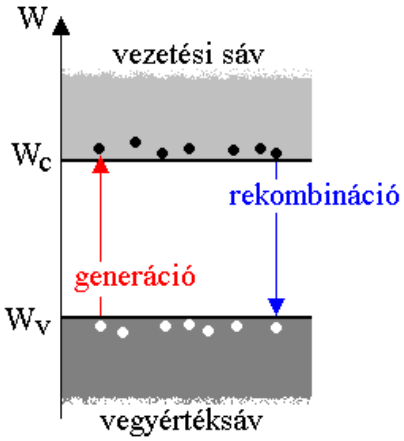
A LED-es technológia működésének félvezető fizikai háttere

Tudjuk, hogy az atomok elektronhéjain lévő elektronok csak kvantált energiaszinteket foglalhatnak el. Ha egy függőleges W tengely mentén ábrázoljuk a megengedett energiaszinteket, akkor gerjesztetlen állapotban az elektronok alulról felfelé töltik be ezeket a szinteket. A legfelső, még betöltött szintet elfoglaló elektronokat vegyértékelektronoknak nevezzük. Ha több atom olyan közelségben helyezkedik el, hogy az atommagjaik elektrosztatikus potenciál függvénye átfedésbe kerül, akkor az energiaszintek szétválnak, annyi szintre amennyi atom alkotja a kialakuló rendszert. A kristályt alkotó atomok diszkrét energiaszintjei is ezen ok miatt szétválnak, a nagyszámú atom miatt gyakorlatilag folytonos energiasávokká szélesednek. Áramvezetési szempontból a vegyérték elektronok szintjéből kialakult (vegyértéksáv) és a közvetlenül felette elhelyezkedő (vezetési) sáv lesz a fontos.



a v és c kezdőbetűk a valence band és conduction band angol elnevezésekre utalnak

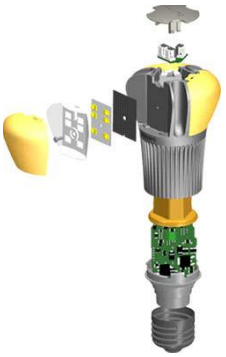
A termikus átlagenergia egyenlőtlen megoszlása folytán lehet a nagy elektronsokaságnak egy olyan kicsiny töredéke, ami a vegyértéksávból a vezetési sávba való feljutáshoz elegendő többlet energiához jut. Ezt a folyamatot nevezzük generációnak, aminek az eredményeképpen egy üres hely, lyuk keletkezik a vegyértéksávban. Előfordul, hogy az elektronok, melyek a vezetési sávba kerültek, találkoznak egy lyukkal, és betöltik azt (rekombináció), miközben a többlet energiát leadják.



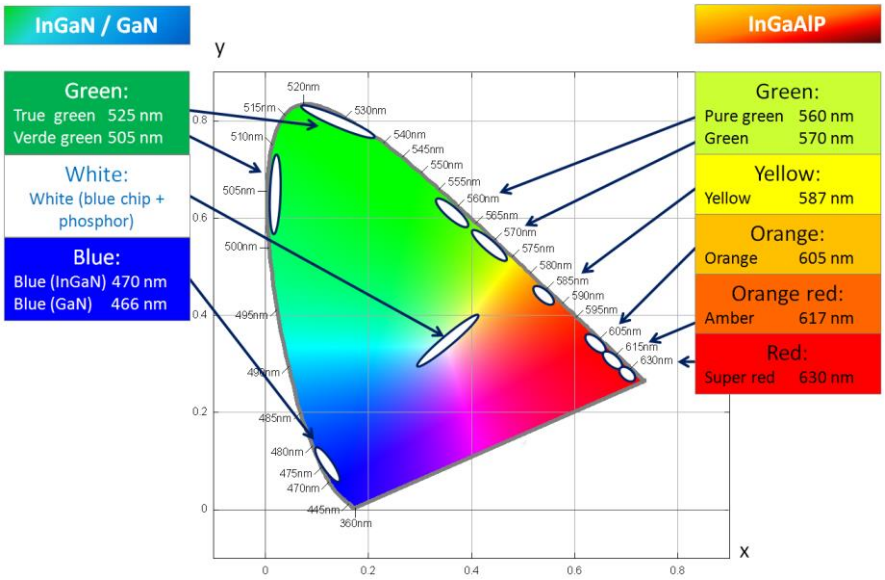
Ha megnézünk egy valamelyest összetettebb diagramot, amelyen az energia mellett az elektronok P kristálybeli impulzusát is ábrázolták, akkor arra a következtetésre jutunk, hogy fénykibocsátásról akkor beszélhetünk, ha olyan sávszerkezetű (direkt) félvezetővel rendelkezünk, hogy a vegyértéksáv maximuma és a vezetési sáv minimuma egyaránt a P=0 helyen van. Így ugyanis a foton kibocsátásos, direkt rekombináció lehetséges.
Ezek az elemek a periódusos rendszer III. és V. oszlopában találhatóak, és a LED-ek alapanyagainak tekinthetőek.

A LED, mint fénykibocsátó dióda

A LED (Light Emitting Diode) egy speciális félvezető dióda, egy különleges pn átmenet. Működésének a hátterében az a megállapítás áll, miszerint, ha áramot kapcsolunk egy diódára, akkor számos kémiai és fizikai folyamat indul meg, melynek eredményeképpen a félvezető anyag fényt bocsát ki. A kilépő fény színe a félvezető anyag összetételétől függ.
Az első LED 1967-ben jelent meg, de egészen 2014-ig kellett várni, hogy Akasaki, Amano és Nakamura professzorok megkapják a Nobel-díjat a kék LED felfedezéséért. Kezdetben a Ga, As és P elemek számítottak a főbb alapanyagoknak. Az 1900-as évek második felében még csak indikátorokként (berendezések előlapján) használták, napjainkra viszont betört a világítástechnika területére, és a 1...10…100 W nagyságrendű LED-ek gyártása sem elképzelhetetlen. Így már nem csak kijelzők, előlapok elemei, hanem a korszerű nagy fényerejű változatok akár díszvilágításra, sőt a közeljövőben már megvilágításra is alkalmazhatóak lesznek. Az elterjedést az ár szabja meg, ami a többi félvezető eszközhöz hasonlóan folyamatosan csökken. Az első, igazán jó fényhasznosítású, jó színvisszaadási indexű, meleg fehér, majdnem a teljes térszögbe sugárzó LED, az E27-es retrofit LED lámpa.



A technológia történelme során a fehér és a zöld LED-ek megvalósítása nagy kihívást jelentett és jelent napjainkban is a kutatók és tudósok számára. Míg előbbi vörös, zöld és kék LED vagy kék LED és fénypor, esetleg UV LED és fénypor kombinációkkal már létrehozható, addig igazán hatékony zöld LED-et még mindig nem találtak fel (green gap).



LED-es technológia esetén a következő négy hatásfokról érdemes beszélni:

- Quantum efficiency (kvantumhatásfok): emittált fotonok száma viszonyítva az elektronok számához.
- Extraction efficiency (kicsatolási hatásfok): hogy aránylik a külvilágba kijutó fotonok száma a LED aktív régiójában generált fotonok számához.
- Power efficiency / wall-plug efficiency – WPE / radiant efficiency ηe (energiakonverziós hatásfok): hogy aránylik a kisugárzott fényteljesítmény (teljes radiometriai fluxus, total radiant flux) a betáplált elektromos teljesítményhez.
- Efficacy / luminous efficiency ηV (fényhasznosítás): hogy aránylik az emittált fényáram a betáplált elektromos teljesítményhez.

Szinte minden modern LED-re jellemző a dupla heteroátmenetes szerkezet. A heteroátmenet egy olyan változás a félvezető anyagban, ahol nem csak a vezetési sáv alja és a vegyérték sáv teteje (ez az ún. homo-junction), hanem a tiltott sáv szélessége is változik. A szerkezet a kicsatolási hatásfokra nézve előnyös, ugyanis a befoglaló rétegek sávszélessége nagyobb, mint az aktív rétegé, ezért azok az aktív rétegben keltett fényre nézve átlátszóak.

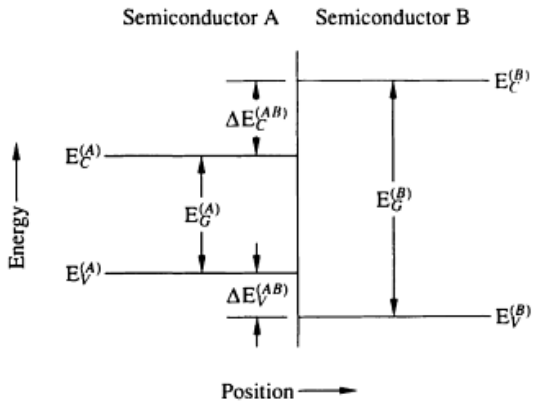
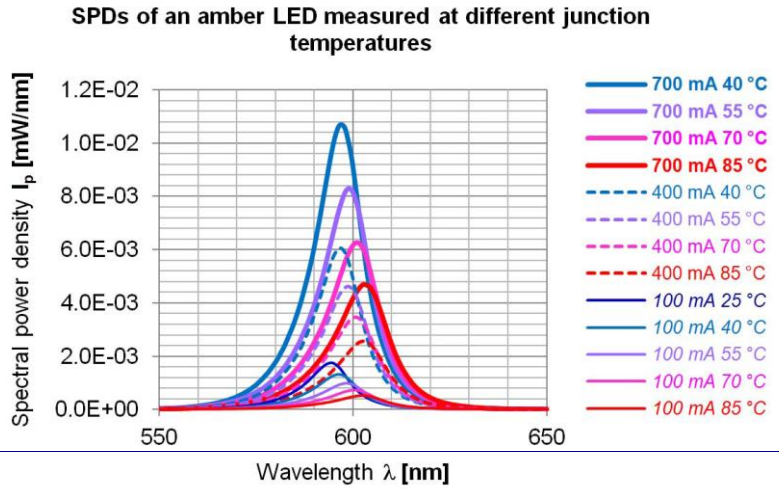


Fig. 3. Definition of the quantities required to describe the band alignment of a heterojunction.

A LED-eknek rendkívül sokféle tokozása létezik, ugyanakkor a hetvenes évekre már kialakult az 5 mm átmérőjű hengeres műanyag kivitel, ami a mai napig átlagosnak tekinthető. Ezen kívül terjed a 3 mm-es, és a 10 mm átmérőjű kivitel, de megtalálható a piacon a 2 mm-es méret, valamint ezek szögletes és ovális változata is. Az ismertebb tokozási megoldások közé tartoznak továbbá a Lumileds, OSRAM és CoB (chip on board) toktípusok.

Az elektronikai alkatrészek, köztük a félvezető elemek mai változatai igen nagy megbízhatósággal készülnek. A mai LED-ek élettartama megfelelő üzemeltetés mellett 100 ezer óra is lehet. A működés közben keletkező hő elvezetését mindenképpen meg kell oldani, különben az élettartam csökkeni fog. A LED-ek megbízhatósága, élettartama és a



kibocsátott fény jellemzői is erősen hőmérsékletfüggőek, ezért nagy jelentőségű az eszközök termikus jellemzése. A hőmérséklet befolyásolja a fényerősséget, egyes (vörös) LED típusok +50°C-ot változó hőmérsékletre -50% fényerőváltozással is reagálhatnak. A vörös

LED-nél hőmérséklet emelkedés esetén a hosszabb hullámhosszok felé tolódik a színkép (csúcseltolódás).

Különböző világítástechnikai megoldások képekben

Irinyi Dorián

Energetikai Szakkollégium