

# Itt a fehér LED!

**GRUBER LÁSZLÓ**

*Több mint egy évtizede, hogy felfedezték és megalkották a LED-et, amely először piros volt, azután zöld, majd sárga lett. A színpalettáról hiányzott a kék, amely sokat váratott magára, ugyanis félvezető anyagot kellett váltani, a galliumot nem arzénnel, alumíniummal, foszforral stb. kellett ötvözni, hanem nitrogénnel vegyíteni. A megszületett három alapszínből – a fénytudban tanultak szerint – ki lehet keverni a fehéret, amire az iparnak nagy szüksége van. Szükség volt azonban egy egyszerű felépítésű, fehér LED-re is, amely olcsó és könnyen tömeggyártható. A Siemens kutatói tavaly nyáron megalkották a fehér LED-et, ami azóta egyre fényesebb pályát fut be.*

## A fehér LED működési elve

A kvantummechanikából ismeretes, hogy egy nyitóirányú pn átmeneten átfolyó nyitóirányú áram hatására az n rétegből elektronok haladnak át a p rétegbe (vagy lyukak az ellenkező irányba), és adott valószínűséggel találkoznak a lyukakkal (vagy elektronokkal), amelyekkel egyesülnek (rekombinálódnak). A gerjesztett elektron-lyuk pár rekombinációja során közvetlen vagy közvetett módon fénykvantum keletkezik. A rekombinációs fény hullámhosszát (színét) az alkalmazott félvezető anyag tiltott zónájának szélessége határozza meg, amely az emberi szem számára látható, vagy láthatatlan fénytartományba esik, de mindenképpen keskeny hullámhossz-tartományú. (Ennél keskenyebb hullámhossz-tartományú, monokromatikus fényt bocsátanak ki a lézerek.) A félvezető anyagának megválasztásával, kismértékben a technológiai fogásokkal befolyásolhatjuk a LED színét, de spektrumának kiszélesítése fizikai képtelenség. Pedig a jó hatásfokú, hideg fehér fényt sugárzó eszközre már régóta szüksége van az iparnak. A fejlesztők előtt két út állt:

- három alapszínű chip összeépítése, a fehér fény ki keverésére,
- szekunder sugárzó alkalmazása.

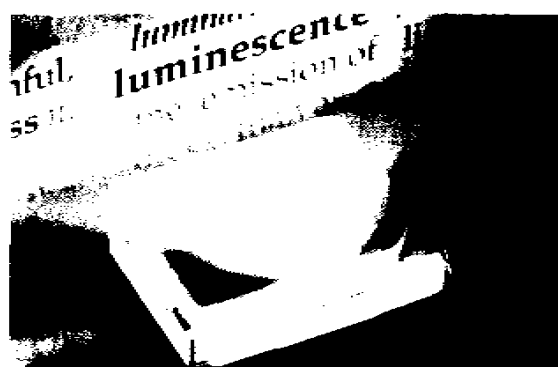
Az első út volt a kézenfekvőbb, hiszen ezen az elven gyártanak a nagyobb cégek R-G-B fénypontokat, főként nagyobb méretben, amivel fényűrságok, nagyméretű színes display-k építhetők. Ezt ugyan készítik kis méretben is (pl. Kingbright Electronic SMT chip LED-je), de itt az alapvető cél a három LED áramának beállításával a tetszőleges szín kikeverése. Ha ezt csak fehér fény előállítására alkalmazzuk, drága eszközhöz jutunk. Járulékos probléma, hogy az egyes LED-ek fényerősségének időbeli stabilitása nem hozható össze, idővel az egyes diódák más-más öregedési mértékének megfelelően a fehér szín elmegy valamilyen irányban. Az út járhatatlannak bizonyult.

A Siemens fejlesztői a második utat választották, és 1998 júniusában megalkották a kék alapú, lumineszcens konverzióval fehéren sugárzó LED-et. Az elektrolumineszcencia jelenségét először H. J. Round írta le 1909-ben, és lényege, hogy fényt közvetlen energiaátalakítással, sugárzás révén gerjesztett atomokkal állítunk elő.

A Siemens fehér LED-jének alapanyaga GaN vagy InGaN bázisú, kéken világító LED, amelynek közvetlen sugárzási útjába olyan anyagot helyeznek, amely a LED diszkrét energiacsomagjaitól néhány nanoszekundumig magasabb, gerjesztett energiaállapotba kerül, és szekunder sugárzásként látható zöld, sárga, vagy piros fényt bocsát ki. A lesugárzott fény hatására az anyag eredeti stabil energiaállapotba kerül. A leírt ciklus természetesen folyamatosan megy végbe, tehát a szekunder lumineszcens sugárzás is folyamatos.

Az alapelv egyébként hasonlít a fénycsövek vagy katódsugárcsövek fényporos bevonataihoz, de ott a plazmakisülés, vagy az elektronsugár gerjeszti a lumineszcens fényport. A Siemens mérnökei azt oldották meg, hogy a kék LED sugárenergiája gerjeszse a szekunder sugárzót. Persze meg kellett találni a megfelelő anyagot is, amely a maga sárga fényével a primer kék fénnel kikeveri a fehéret. (Tudvalévő, hogy a sárga fény a vörös és zöld additív keveréke.) Így előáll a három alapszínből kikevert fehér. A konverzió útján előálló szekunder fény (a sárga) nem diszkrét hullámhossz-tartományú, így az öregedés nem okoz észrevehető színeltolódást.

A fejlesztés során – szoros együttműködésben az Osram fejlesztőivel – megtalálták az ideális lumineszcens-konverziós anyagot, amely  $Y_3Al_5O_{12}$  alapú pigment  $Ce^{3+}$  ionnal adalékolva. Ezt az anyagot – ismét szellemes fejlesztési ötlettel – azzal a műgyantával keverik, amelyből a LED tokja készül. Így a kék LED által gerjesztett egész tok bocsátja ki a fehér fényt (lásd 1. ábra).

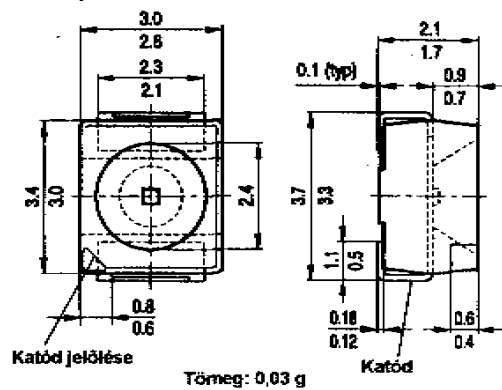


1. ábra. Fehér LED

## A megvalósított fehér LED

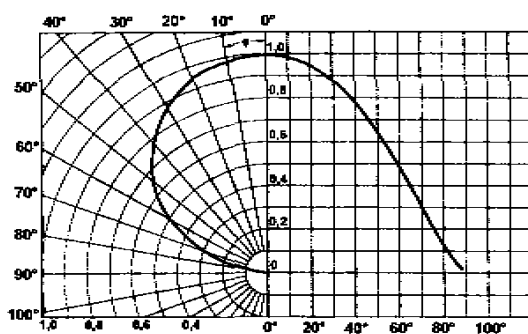
Az első – kereskedelmi forgalomba hozott – fehér LED a Siemens ismert Hyper TOPLED® tokban. SMD kivitelben került forgalomba. Típusa LW T676. Tokrajzatát a 2. ábra mutatja.

120°-os sugárzási térszöge kifejezetten „világítási” alkalmazástechnikát sugall. Valójában ez így is van.



2. ábra. Fehér LED tokrajza

elsőként az autóipar érdeklődik iránta, és nagy mennyiségben használja műszerfal-megvilágítás céljára. Sugárzási karakterisztikáját a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra. LW T676 fehér LED sugárzási diagramja

A fehér LED villamos határadatait az 1. táblázat mutatja.

Paraméter	Jelölés	Egység	Érték
Működési hőmérséklet	$T_{op}$	°C	-40...+100
Tárolási hőmérséklet	$T_{stg}$	°C	-40...+100
Réteghőmérséklet	$T_j$	°C	+100
Nyitóirányú áram	$I_F$	mA	20
Záróirányú feszültség	$U_R$	V	5
Veszteségi teljesítmény	$P_{tot}$	mW	90
Termikus ellenállás			
Beültetve ( $pad \geq 16mm^2$ )	$R_{thJA}$	K/W	500

Sugárzási adatait pedig a 2. táblázaton tanulmányozhatjuk.

Típus	Emittált szín	LED fényemittáló felületének színe	Fényerősség $I_F = 10 \text{ mA}$ $I_V (\text{mod})$	Fényáram $I_F = 10 \text{ mA}$ $\Phi_V (\text{mlm})$
LW T676				
LW T676-L2			12,5...20,0	50
LW T676-M1	Fehér	Színes, diffúz	16,0...25,0	60
LW T676-M2			20,0...32,0	80
LW T676-N1			25,0...40,0	100

Láthatóan a fehér LED meglehetősen nagy fényerejű, és ha hozzávesszük, hogy várható élettartama 100 000 óra, valamint hatásfoka 20%-al nagyobb, mint az izzólámpáé, akkor meg lehetünk győződve, hogy a

világítástechnika forradalmian új eszközt kapott (a normál izzólámpa élettartama mintegy 5000 óra, a kompakt fénycsőé ennek többszöröse).

Az LW T676 villamos paramétereit a 3. táblázat tartalmazza. A színkoordináták értelmezéséhez azonban a spektrális tulajdonságok vizsgálata szükséges.

3. táblázat. Az LW T676 típusú LED villamos paramétere

Paraméter	Jelölés	Érték		Egység
		Tipikus	Maximális	
Színkoordináta	X	0,300	—	—
Színkoordináta	Y	0,320	—	—
Sugárzási szög	$2\phi$	120	—	fok
Nyitóirányú feszültség	$U_F$	3,5	4,2	V
Záróáram	$I_R$	0,01	10	$\mu\text{A}$
X koordináta hőmérsékleti együtthatója	$TC_X$	0,07	—	$10^{-3}/\text{K}$
Y koordináta hőmérsékleti együtthatója	$TC_Y$	0,25	—	—
UF hőmérsékleti együtthatója	$TC_V$	-3,1	—	mV/K

#### Spektrális tulajdonságok

Az új, Siemens fehér LED spektrális tulajdonságainak megértéséhez egy kissé fel kell eleveníteni fénytani ismereteinket.

Szemünk nem egyforma erősséggel látja a színeket, tehát a fizikai sugárenergia, vagy az abszolút fényerősséget a színskálán korrigálni kell.

Az emberi szem érzékenységi maximuma a  $\lambda = 555 \text{ nm}$ -es hullámhossznál van, itt az átszámítás:  $1 \text{ W} = 682 \text{ lm}$

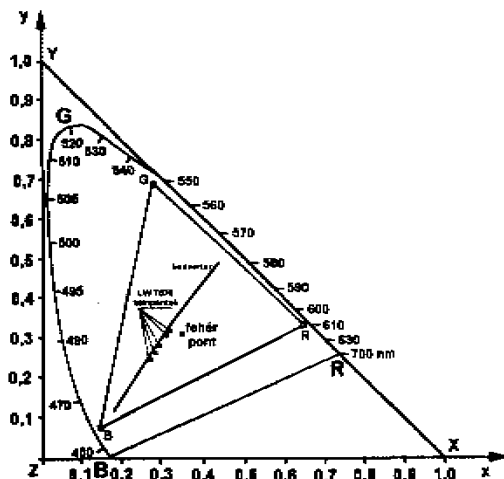
Ez egy zöld szín, ami azt jelenti, hogy azonos sugárteljesítményű fényforrások közül a zöldet látjuk erősebbnek. Egy tetszőleges színű fény három alapszínre: pirosra, zöldre és kékre bontható fel. Egy összetett szín e három komponens tetszőleges arányú keveréke, de nem feltétlenül szerepel benne mindegyik. A három komponens egyenlő arányú keveréke adja a fehér színt.

Egy szint tisztaságával is jellemezhetünk, vagyis annak mértékével, hogy milyen kevés benne a fehér-tartalom. Nyilvánvaló, hogy egy vagy két alapszínt tartalmazó szín 100%-os tisztaságú, viszont 0% tisztaságú a teljesen fedetlen fehér szín.

A keverékszínnek nagy jelentősége van a LED-eknél is. Egy LED spektrális sugárdiagramja rendszerint tartalmaz a főmaximumán (alapszínén) kívül egy vagy több mellékmaximumot is. Ha ez a mellékmaximum a láthatatlan (infravörös vagy ultraibolya) tartományba esik, akkor csupán a fényhasznosítási hatásfok csökken, ellenben ha ez egy másik látható fény, akkor kismértékben módosíthatja a LED eredő színét. Ez tapasztalható a fehér LED-nél is, ahol főként a szekunder sugárzó elektrolumineszcens konverter színe változtatható adagolással, amivel a dióda eredő színe a hideg-fehér tónusoktól a meleg-fehér tónusokig állítható.

Az egyes színeket a három alapszínből (R, G, B, azaz vörös, zöld és kék) lehet additíve, vagy ezek komplementer színeiből (M, Y, C, azaz bíbor, sárga és kékeszöld) szubsztuktíve kikeverni. Így egy-egy színt háromdimenziós koordináta-rendszerben lehetne ábrázolni, azonban ez túlságosan komplikált lenne.

Ezért nemzetközi szabványban elfogadott színtábla (CIE: Commission Internationale de L'Eclairage, azaz Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság, DIN 5033) szerint x-y koordináta-rendszerben kétdimenziósan ábrázolhatunk minden színt, amelynek diagramját a 4. ábrán láthatjuk. A patkó alakú görbe a spektrális színeket köti össze. R, G, és B pontjai a monokromatikus alapszínek, a görbén 100%-os telítettségű színek vannak. A görbe két végpontját összekötő egyenes (R-B) az ún. bíborvonal, amely nem monokromatikus, hanem keverékszíneket képvisel.

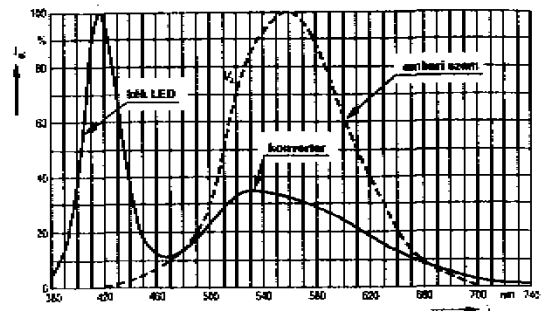


4. ábra. Színtábla-diagram

A görbén belül látható az R-G-B elméleti háromszög, amelyből azonban – az emberi szem nemlineáris érzékenysége miatt – nem lehet előállítani a fehéret. Erre szolgál a színtábla görbéje. A diagram közepén helyezkedik el a fehér szín pontja, az elméleti  $x = y = 0,33$  pontban. A diagramba berajzoltuk a Siemens fehér LED-görbéjét, amelyen helyezkednek el a LED lehetséges pontjai. A gyártó ugyanis – igény esetén – négy osztályba sorolva gyártja (válogatja) a LED-eket a 4. táblázat szerint:

Csoport	x		y	
	Min.	Max.	Min.	Max.
1	0,280	0,325	0,300	0,350
2	0,285	0,330	0,330	0,380
3	0,295	0,340	0,345	0,395
4	0,270	0,315	0,285	0,335

Nem közömbös megvizsgálni ennek a LED-nek a spektrális intenzitását. Az 5. ábra mutatja a kisugárzott fényteltjesítményt a hullámhossz függvényében. Látható, hogy a primer sugárzó kék LED a 410 nm-



5. ábra. LW T676 fehér LED relatív spektrális emissziója

es keskeny tartományban ad, míg a konverter a teljesen elnyújtott sárga hullámtartományban (530 nm). Az eredő szín szemünkben integrálódik, és fehéret látunk.

A diagramba berajzoltuk az emberi szem relatív színérzékenységét is, a jobb összehasonlíthatóság érdekében.

#### Felhasználási területek

A fehér LED első alkalmazási területe az autópálya. Itt belső világításra és a műszerfal hátsó megvilágítására használják. Az eszköz kiválóan alkalmas külső és belső téri információs kijelzők megvilágítására, műszerek, kezelőszervek (kapcsolók, nyomógombok) helyzetének és állapotának jelzésére (pl. pilóta-műszerfal), vagy éppenséggel alfanumerikus és grafikus LCD panelek hátsó megvilágítására. Jó fényhasznosítási hatásfoka és végtelennek tűnő élettartama miatt az izzólámpák jó alternatívája, ami az egyszerű zseblámpától az olvasólámpán át a vészvilágításig bezárólag minden területen használható. A tavaly nyári megjelenése óta most kezdi felismerni az ipar a hasznosítási területeket.

#### A további fejlesztés lehetőségei

A kidolgozott elv, a lumineszcens konverzió további fejlesztésre ad lehetőséget. A meglévő eszköz paramétereinek további javítása mellett (nagyobb fényerősség, más kiviteli forma, stb.), újabb szekunder sugárzó keresésével lehetőség nyílik egycipűs UV-sugárzó LED megalkotására is.

#### Irodalom:

- [1] A. Debray, K. Höhn: Langlebige Beleuchtung mit hohem Wirkungsgrad, Siemens Components 5/98, p. 20.
- [2] Barna Tamás: Videotechnika a gyakorlatban. 1988.
- [3] Telefunken Fachbuch: Farblichttechnik



### G6RN relécsalád

- Kis méret (28 x 10 x 15 mm), 8 A/250 VAC terhelhetőség
- 1 váltó- vagy 1 záróérintkező, 5, 12, 24 DC tekercs
- 4000 VAC átütési szilárdság

OMRON Electronics Kft. 1046 Bp. Kiss Ernő u. 1-3. Tel.: 399-3050. Fax: 399-3060

**OMRON**

**339 Ft-tól**  
+ ÁFA