LED fényforrások

Nádas József
Óbudai Egyetem
Kandó Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet
1084 Budapest, Tavaszmező u. 15. B. ép. 014.
nadas.jozsef@kvk.uni-obuda.hu
Tel.: +36 1 666 5073
Mobil: **+36 20 999 3355**

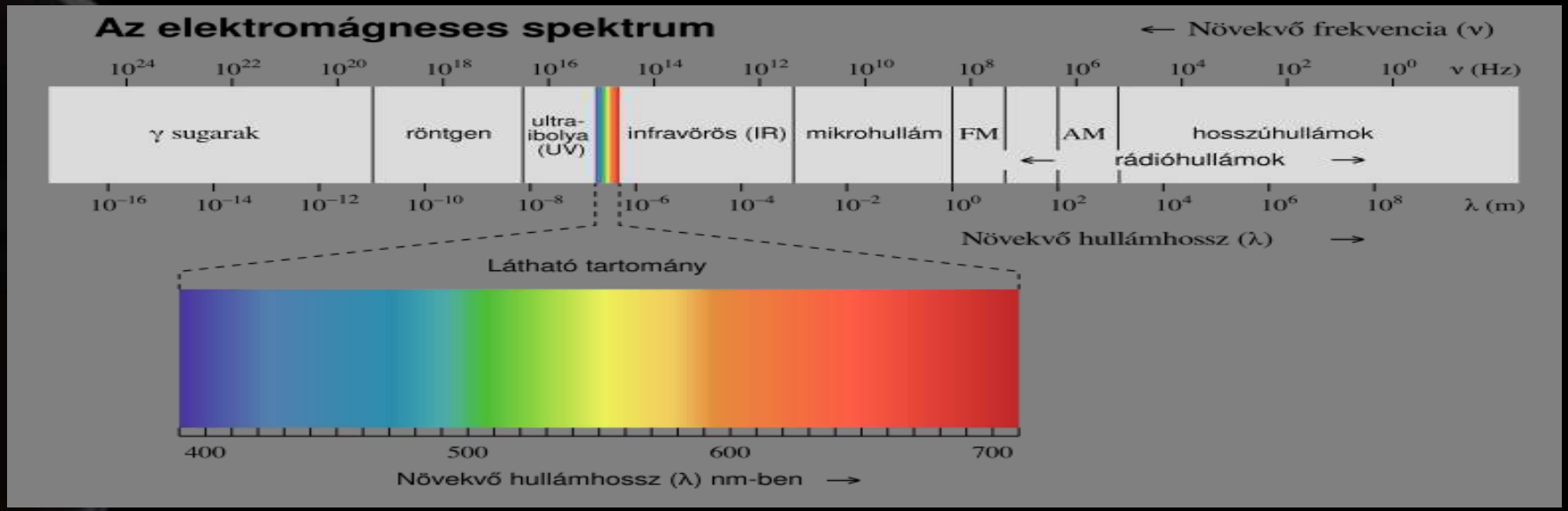
Fénymérés Bt. (**fenymeres@fenymeres.hu**)

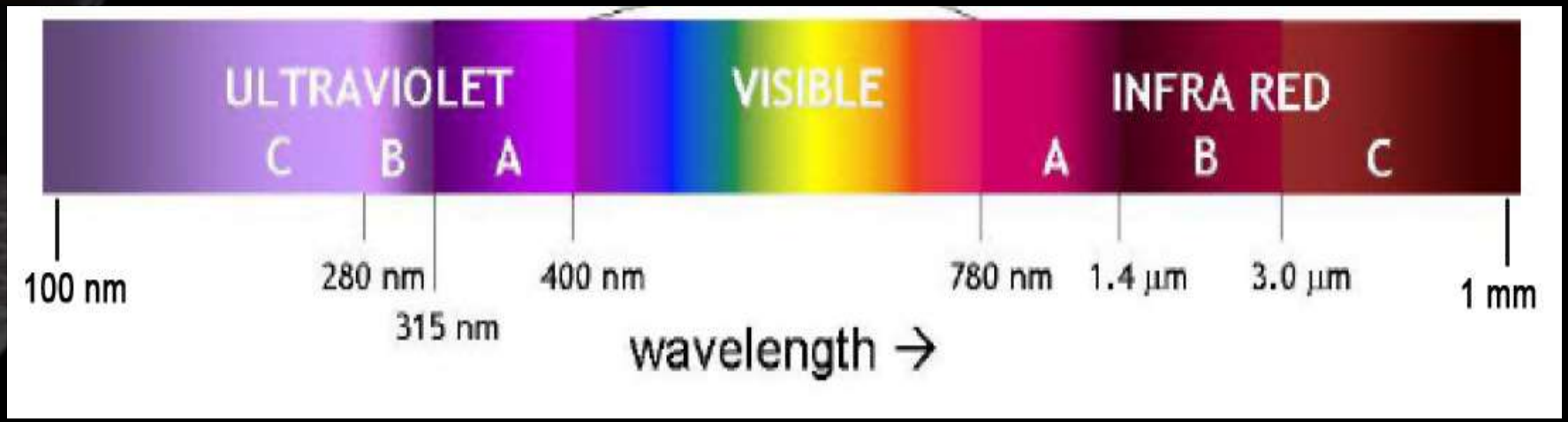
Világítástechnikai alapfogalmak

”Ha a szavak használata nem helyes, a fogalmak értelmezése zavaros, nem lehet szabatosan cselekedni.”

(Konfucius)

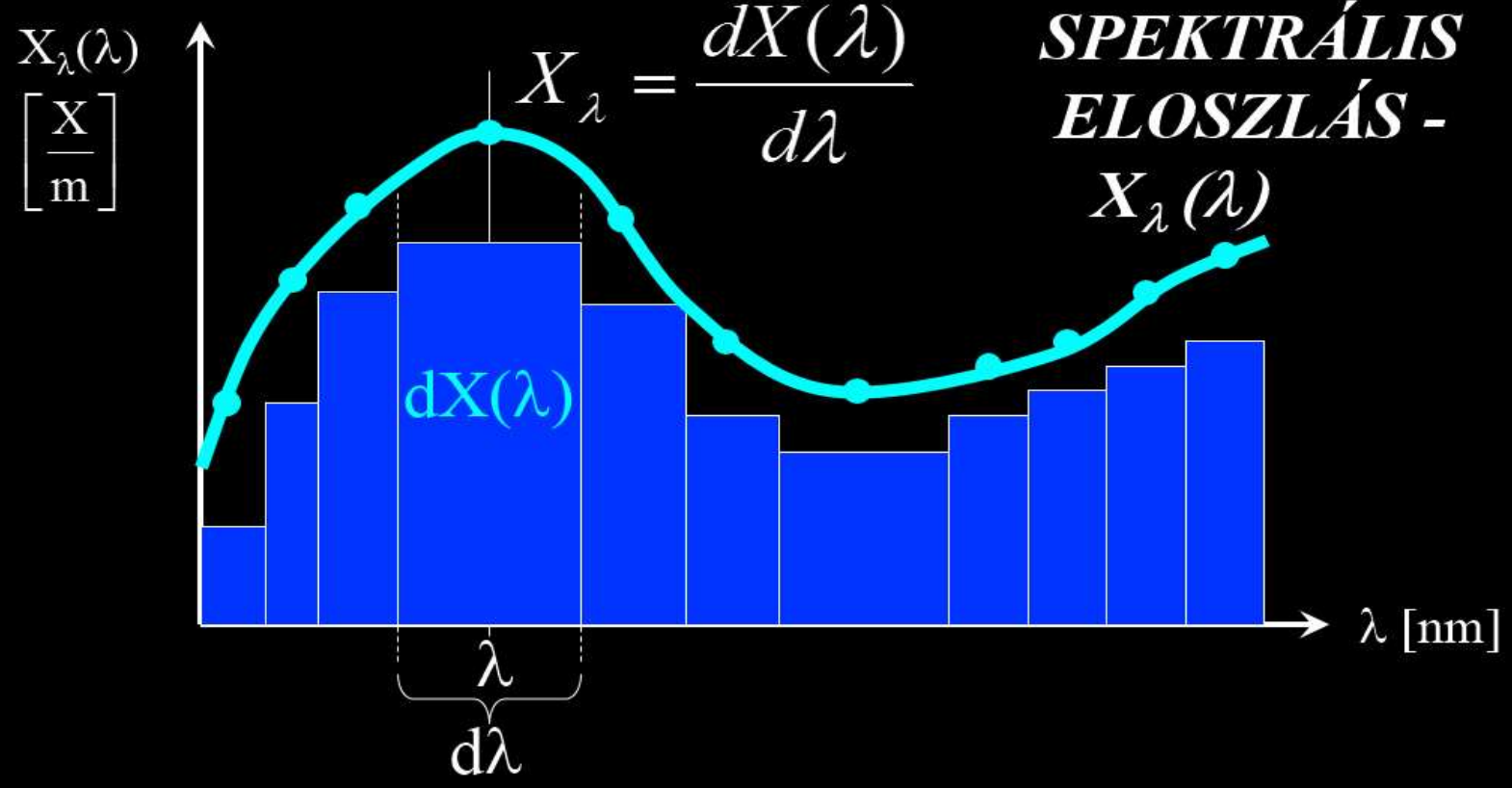
Az optikai színkép felosztása





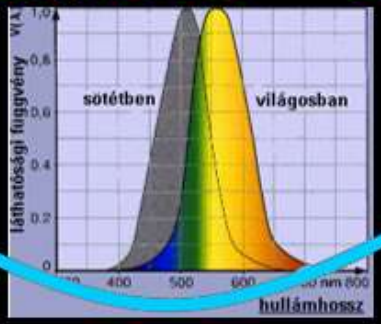
Energia spektrális eloszlása

SPEKTRÁLIS: X mennyiség függ a hullámhossztól $X(\lambda)$



Sugárzásból -> fény

Optikai **RADIOMETRIA** **FOTOMETRIA**

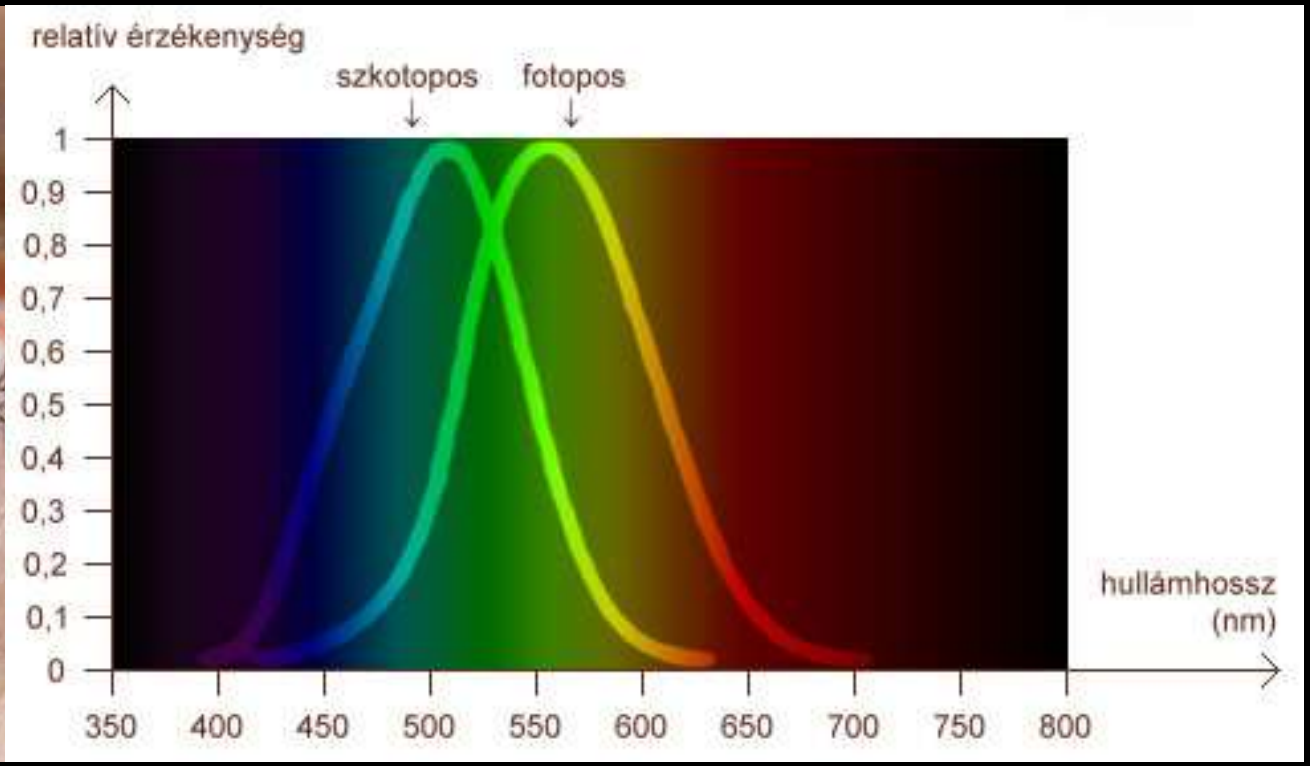


Az optikai sugárzást fizikai mennyiségek formájában határozza meg.

Az optikai sugárzást az átlagos emberi megfigyelő látására jellemző színképi függvény szerint értékeli

Sugárzásból -> fény

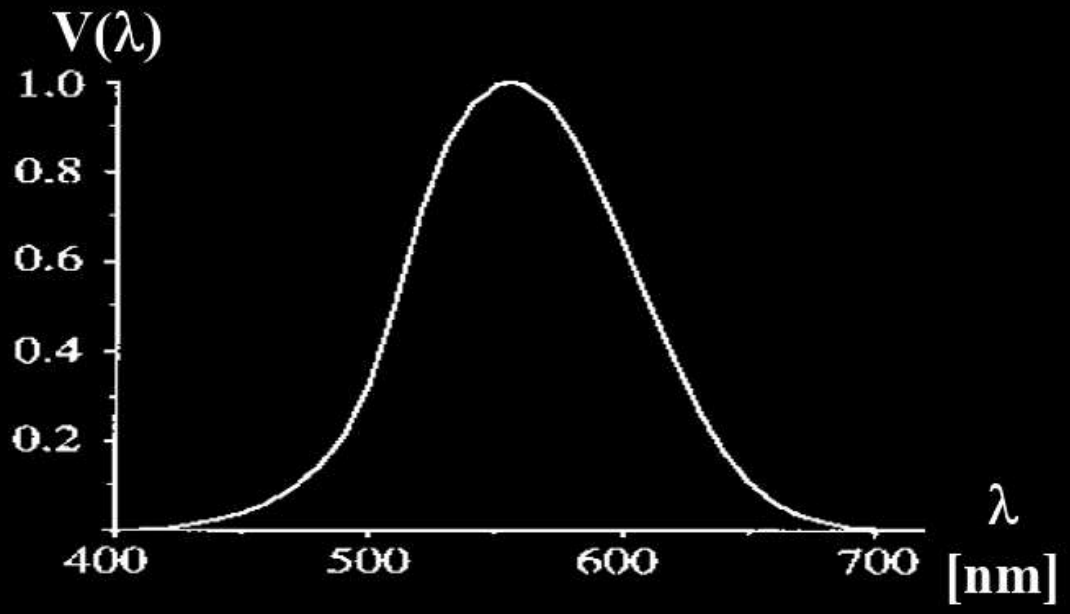
- Szem érzékenysége: láthatósági függvény
  - FOTOPOS látás v(λ) max: 555nm
  - SZKOTOPOS látás v'(λ) max: 507nm



Sugárzásból -> fény

RADIOMETRIA	FOTOMETRIA
X_e	$X_{(v)}$

CIE szabványos fénymérő észlelő - láthatósági függvény - V(λ)



Teljesítmény -- fényáram

RADIOMETRIA

Sugárzott teljesítmény

$(\Phi_e ; \Phi ; P)$

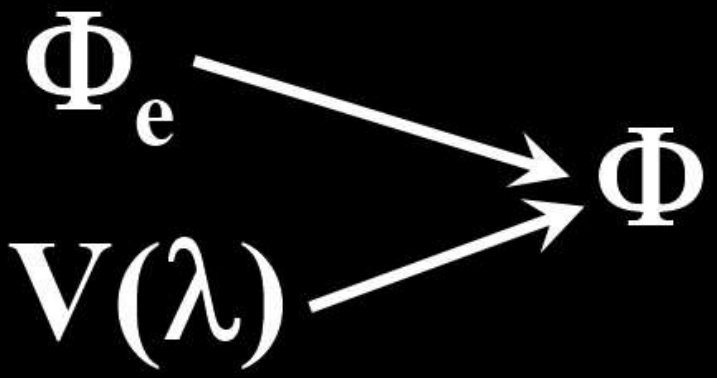
Sugárzás formájában kibocsátott, áteresztett vagy felfogott teljesítmény

[W]

FOTOMETRIA

Fényáram

$(\Phi_{(v)} ; \Phi)$



lumen [lm]

Fényáram

$$\Phi = K_m \cdot \int_{380nm}^{780nm} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda$$

$\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ **a sugárzott teljesítmény spektrális eloszlása**

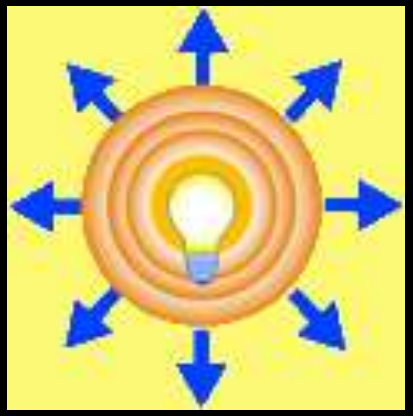
$V(\lambda)$ **a fotopos látásra vonatkozó láthatósági tényező**

K_m **a fotopos látásra 683 lm/W**

Fényáram

FÉNYÁRAM

- **jele: Φ mértékegysége: lumen [lm]**
- egy adott térrészbe kisugárzott összes fény (az el. mágn. sugárzás fizikai teljesítmény és a láthatósági tényező szorzata)
- elméleti maximum: 555nm hullámhosszúságú fény esetén 683lm, 1W felvett teljesítmény esetén
- **hétköznapi értelemben egy fényforrás fényárama az őt körülvevő térbe kisugárzott összes fény,**
  - **irányfüggetlenül**
  - **de függ a fényforrás színképétől (színétől) - *V*(λ)**

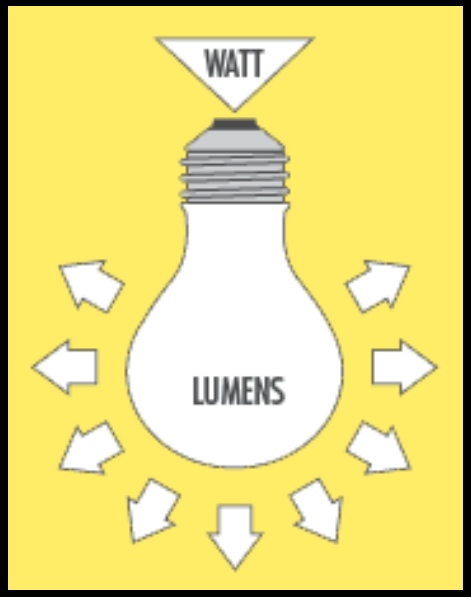


Fényhasznosítás

Fényhasznosítás

- **A fényáram és a fényforrás által felvett teljesítmény hányadosa.**
- **Egysége: lumen/watt [lm/W], jele: η**

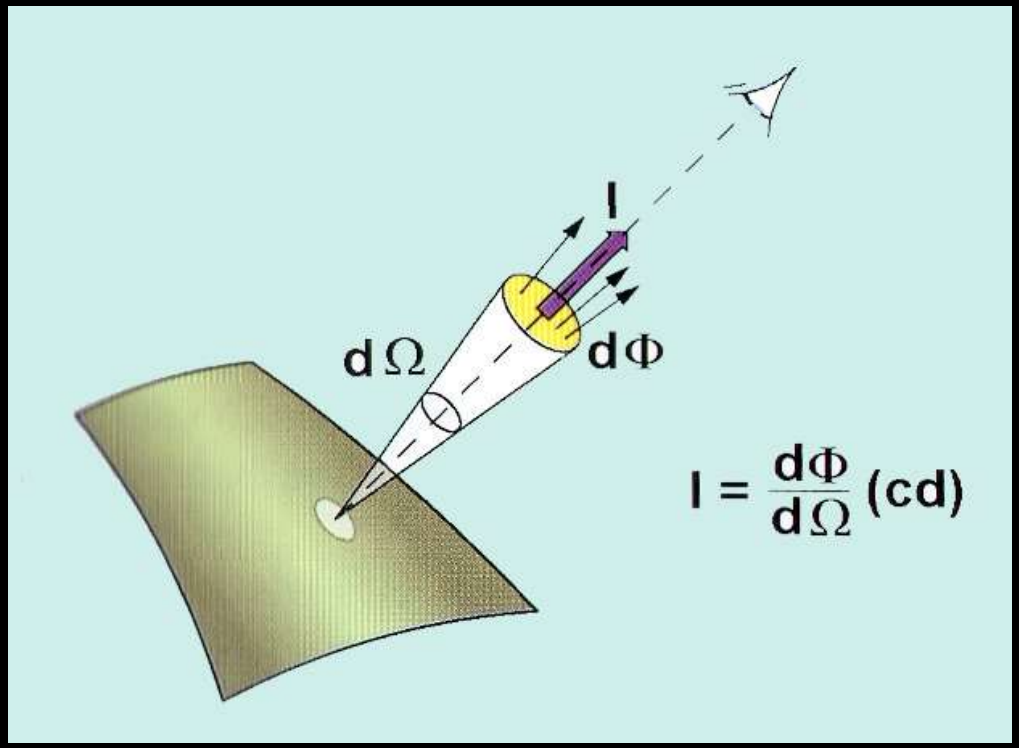
- Néhány jellemző fényforrásfajta fényhasznosítása:
  - Normál izzólámpa 10...15 lm/W
  - Halogén izzólámpa 18…25 lm/W
  - Fénycső 80 - 90 lm/W
  - Higanylámpa 40 - 52 lm/W
  - Fémhalogénlámpa 60 - 90 lm/W
  - Nagynyomású Na lámpa 80 -120 lm/W
  - Kisnyomású Na lámpa 160...200 lm/W



Fényerősség

FÉNYERŐSSÉG

- A fényáram adott irányú elemi térszögbe sugárzott része a fényerősség
  - **jele: I mértékegysége a kandela [cd] – SI alapegység**
  - A kandela az olyan fényforrás fényerőssége adott irányban, amely $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvenciájú monokromatikus fényt bocsát ki és sugárerőssége ebben az irányban 1/683 W/sr.



Fényerősség

Fényerősség

RADIOMETRIA

Sugárerősség

$(I_e ; I)$

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$$

$$\left[\frac{W}{sr}\right]$$

FOTOMETRIA

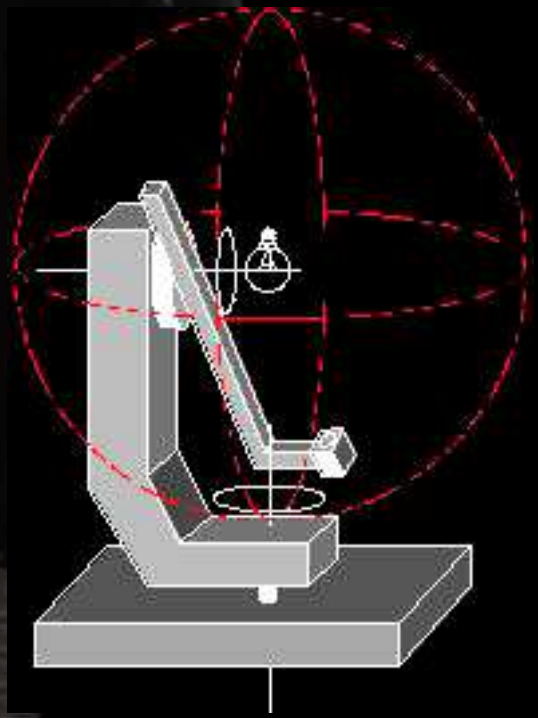
Fényerősség

$(I_{(v)} ; I)$

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

$$\left[\frac{lm}{sr}\right] = \textbf{kandela [cd]}$$

Fényerősség eloszlás



Goniofotometer

Direct: 90-100% downward

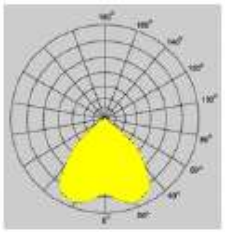


Photo: Courtesy of OSRAM SYLVANIA

Semi-direct: 60-90% downward; 10-40% upward

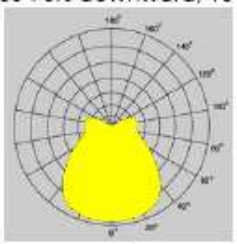


Photo: Randall Perry

Semi-indirect: 10-40% downward; 60-90% upward

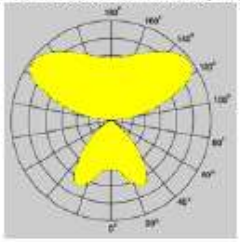


Photo: Courtesy of Lightolier

Indirect lighting: 90-100% upward

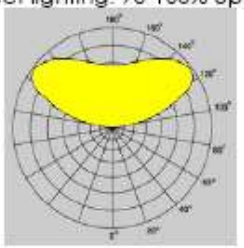


Photo: Courtesy of Litecontrol

General diffuse: 40-60% downward; 40-60% upward

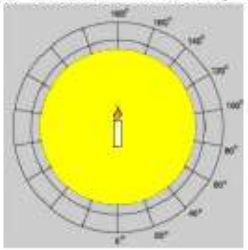
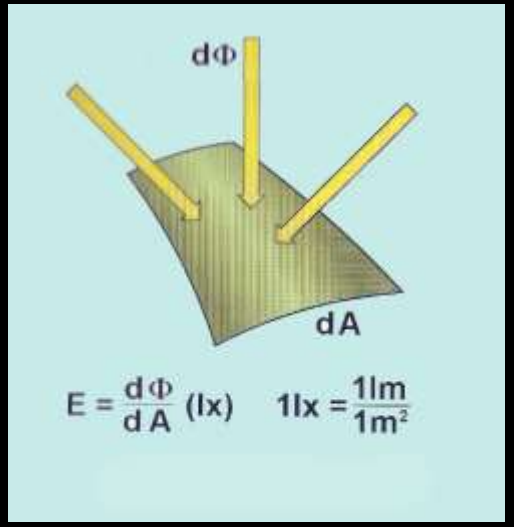


Photo: Courtesy of Kichler Lighting

Megvilágítás

- **MEGVILÁGÍTÁS:**
  - Az adott pontot tartalmazó felületelemre beeső fényáramnak és a felületelemnek a hányadosa.
  - **Jele: E.**
  - **Mértékegysége: lux [lx]**



Tipikus megvilágítási értékek:

A világítás leírása	Megvilágítás, lx
100W-os izzólámpától 1 m távolságban	~ 100
Irodai munkahelyen	300 – 500
Felhős időben külső térben nyáron	~ 20.000
Déli napfényben nyáron	~ 150.000
Teliholdnál	~ 1

Megvilágítás

RADIOMETRIA

Besugárzott felületi teljesítmény

(E_e ; E)

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}$$

$$\left[\frac{W}{m^2}\right]$$

FOTOMETRIA

Megvilágítás

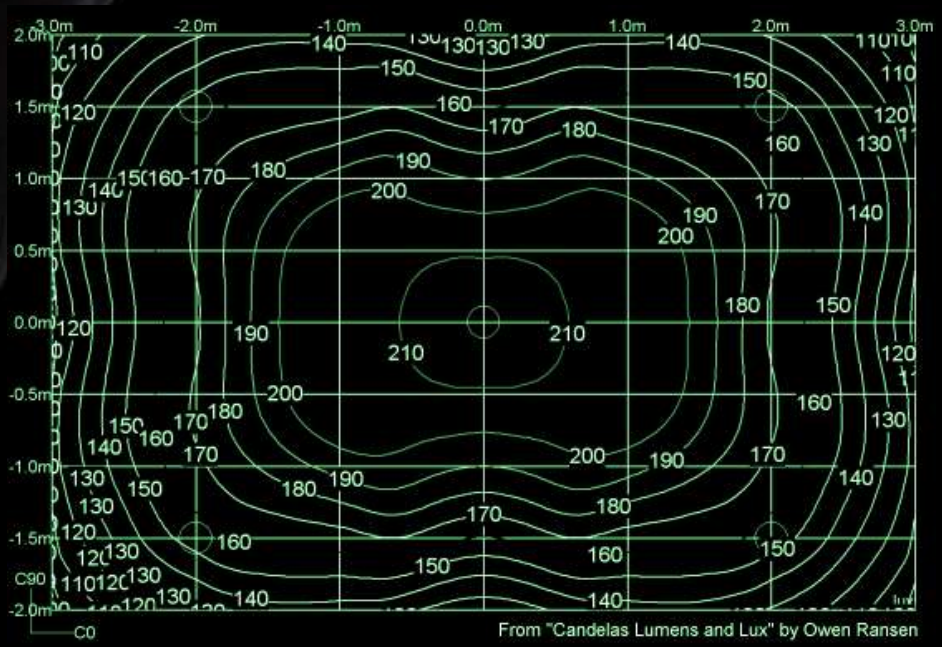
($E_{(v)}$; E)

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

$$\left[\frac{lm}{m^2}\right] = \textbf{lux [lx]}$$

Megvilágítás

- Mérése:
  - megvilágításmérővel
    - **fénymérő szenzor**
    - **V-lambda érzékenység, cos**
- Ábrázolás:
  - izolux diagramok

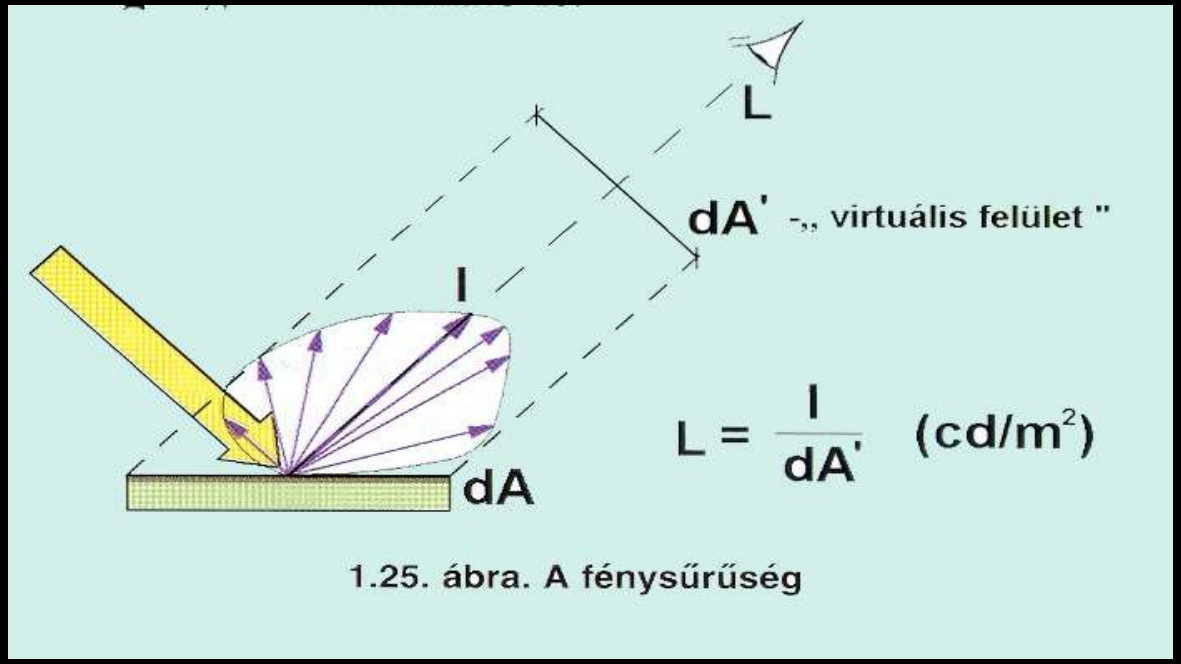


From "Candelas Lumens and Lux" by Owen Ransen

Fénysűrűség

FÉNYSŰRŰSÉG

- **A legfontosabb: csakis ezt látjuk!**
- **Mértékegysége: kandela / négyzetméter [cd/m²]**
- A fényerősség és a felület nézési irányra merőleges vetületének hánya dosa
- A felület egészen kicsi is lehet (pl. egy káprázta tó fényforrás)
- A korszerű szemléletű világítástechnika legfontosabb egysége



1.25. ábra. A fénysűrűség

Fénysűrűség

RADIOMETRIA

Sugársűrűség

(L_e ; L)

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cdot \cos\Theta}$$

$$\left[\frac{W}{m^2 \cdot sr}\right]$$

FOTOMETRIA

Fénysűrűség

($L_{(v)}$; L)

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\Theta}$$

$$\left[\frac{cd}{m^2}\right]$$

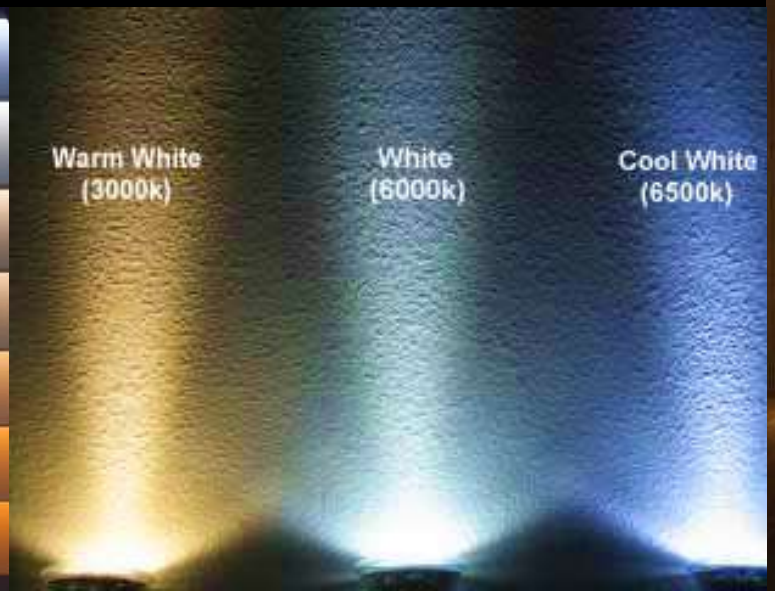
Színvisszaadás, színhőmérséklet

„Csak látszólag van a dolgoknak színe...”

Démokritosz ie. 460- 370

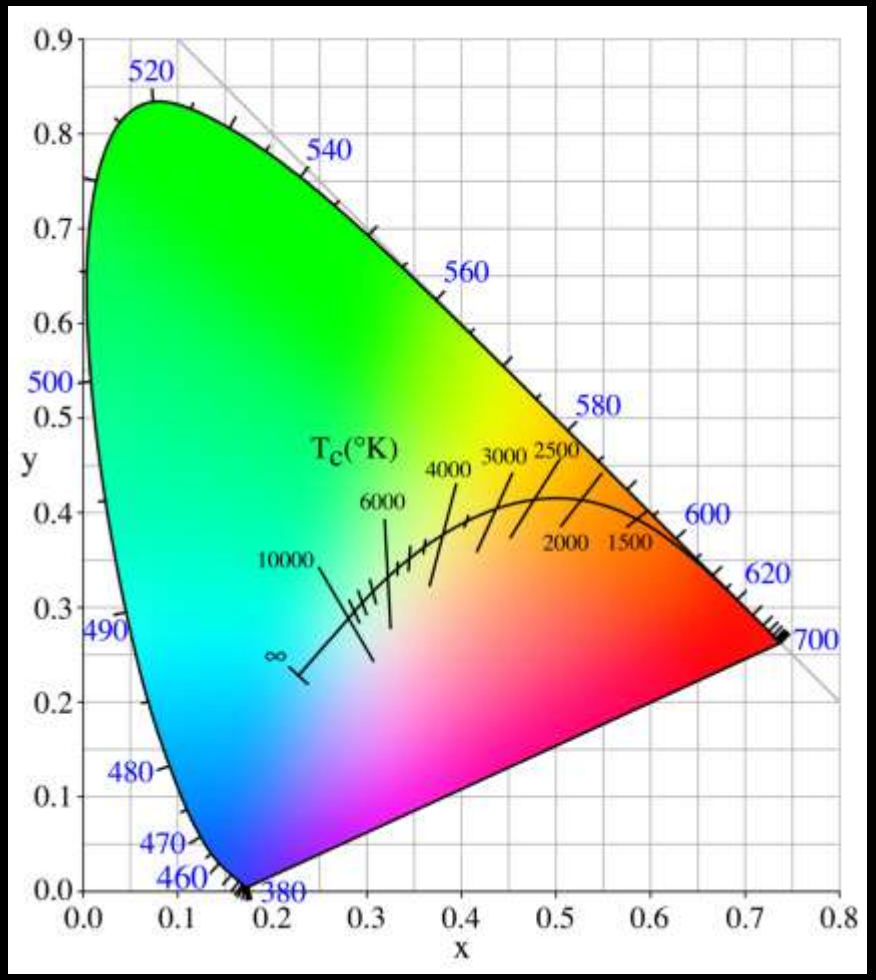
Színhőmérséklet

- A színhőmérsékleti csoportok jellemzően:
  - **Meleg <3300K**
  - **Semleges 3300-5300K**
  - **Hideg >5300K**



Színhőmérséklet

- SZÍNHŐMÉRSÉKLET
  - az abszolút fekete test izzási hőmérséklete
  - hőmérsékleti sugárzó fényének színe, mely megegyezik egy fekete test izzási hőmérséklettel
  - Planck-görbe!
- Korrelált színhőmérséklet
  - A fekete test azon valóságos abszolút hőmérséklete, amelynek a fekete test színe a legjobban hasonlít a kérdéses sugárzó színére.



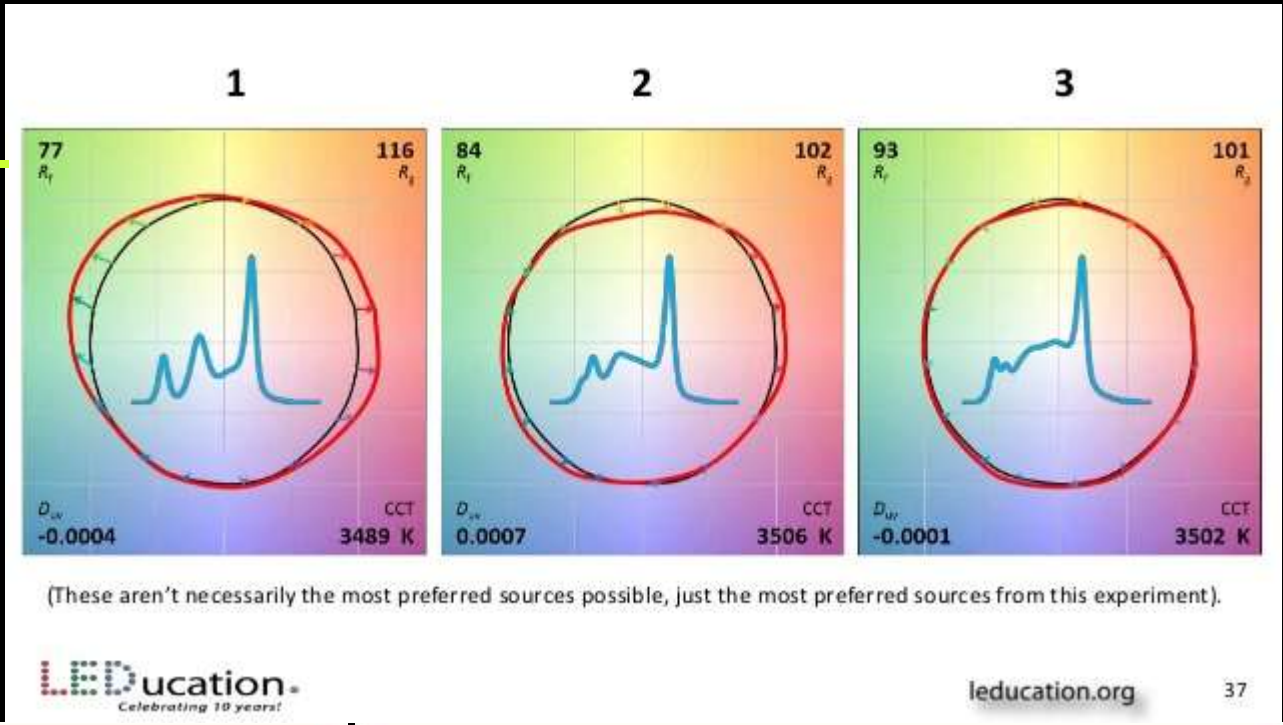
Színvisszaadás

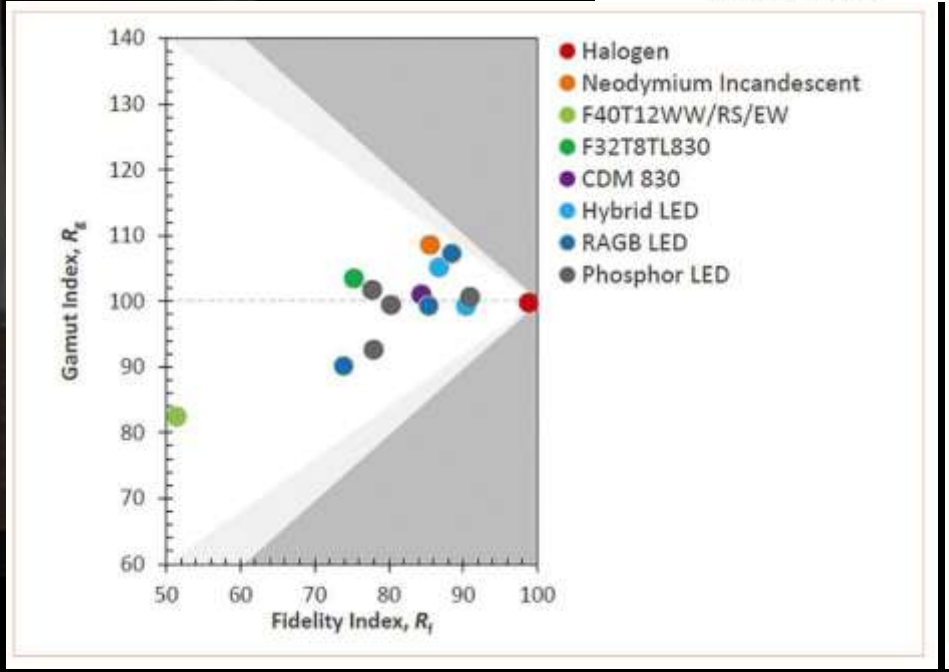
- **Színvisszaadási index: CRI**
  - **R_a értéke 0÷100 közötti**
  - az adott fényforrással megvilágítva valamit, annak színe mennyire tér el a referenciától
  - a referencia a természetes fény vagy hőmérsékleti sugárzó
- Általános esetekben:
  - **jó szinvisszadású a 80 feletti**
  - **kitűnő 90 feletti**
- A színvisszaadás nem jellemzi a spektrális arányokat (kékben szegény izzólámpa=100, de egy kitűnő LED is csak 95-98)

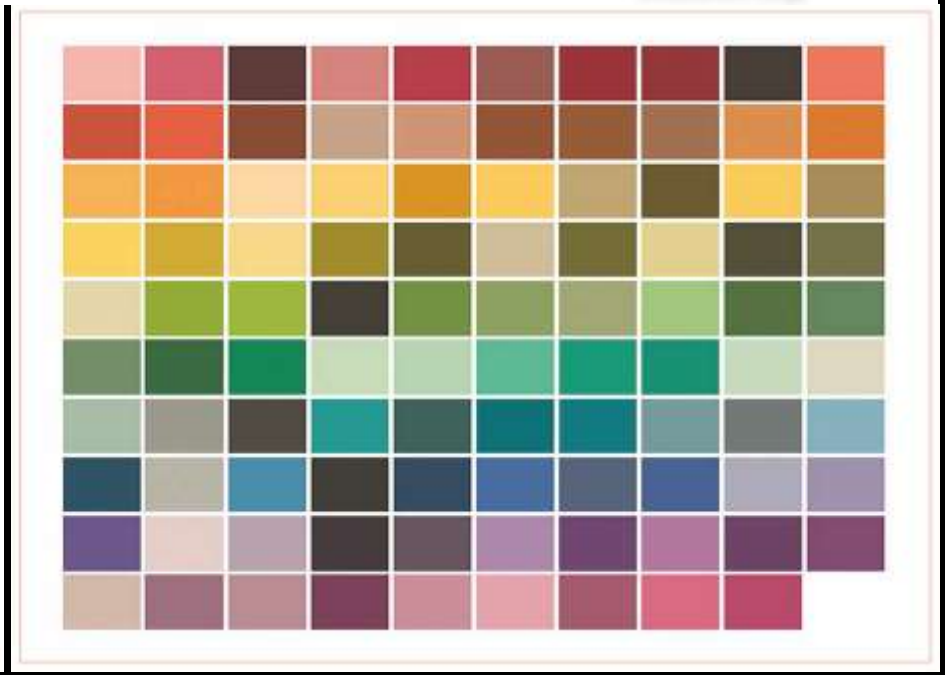
Appearance under daylight	Swatch
Light greyish red	
Dark greyish yellow	
Strong yellow green	
Moderate yellowish green	
Light bluish green	
Light blue	
Light violet	
Light reddish purple	
Strong red	
Strong yellow	
Strong green	
Strong blue	
Light yellowish pink	
Moderate olive green	

Színvissza-adás

Színvisszaadási index: TM-30-15







LED

LED

~~LED égő~~

~~LED izzó~~

Led filament gyertya égő 4W, 450 Lumen, 40W izzó helyett, E14, 2900K, meleg fehér, nem vibrál a fénye!

Ár: 712 Ft (560 Ft + ÁFA)

Elérhetőség: Külső raktáron

Várható szállítás: 2018. december 31.

Kiszállítás, fizetés, személyes átvétel. (Klikk ide infó!)

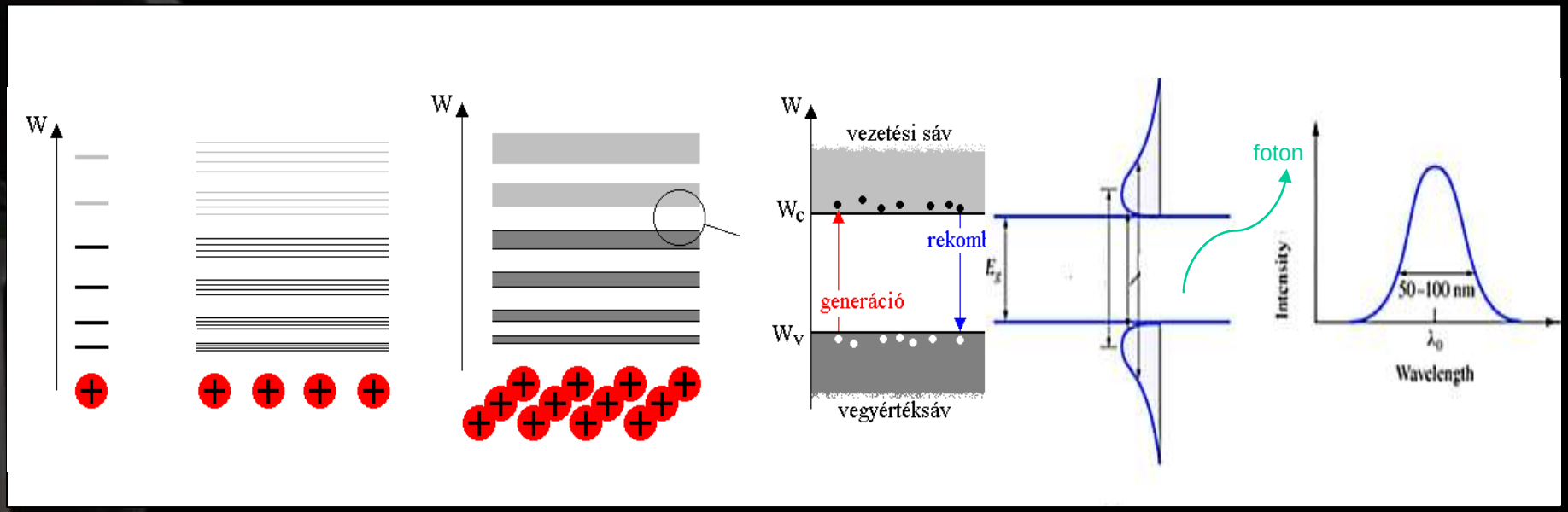
Led átlátszó filament, látszó izzószálas gyertya égő 4W, 450 Lumen, /nem led izzó!/, E14 foglalattal, 2800-2900 Kelvin, meleg fehér, 3 év garanciával! Nem vibrál a fénye! AP ház, átlátszó. Kiváltható vele a 40W gyertya izzó! 30.000 óra élettartam! CE, ROHS. NEM VIBRÁL A FÉNYE! AC220-240V között működik! Figyelem, ez az átlátszó égő zárt opál burás csillárokba nem való, csíkos lesz a fénye!LIFE LIGHT LED= NEM BÁNTJA A SZEMET!Life Light Led a GARANCIA 3 ÉV!

Gyártó: Life Light LED

~~LED körtelámpa~~

~~LED fénycső~~

LED fénykeltése



Energia → Gerjesztés → Rekombináció → Fénykibocsátás

Gerjesztés: elektromos (nyitóirányú áram) vagy fény (foton energia)

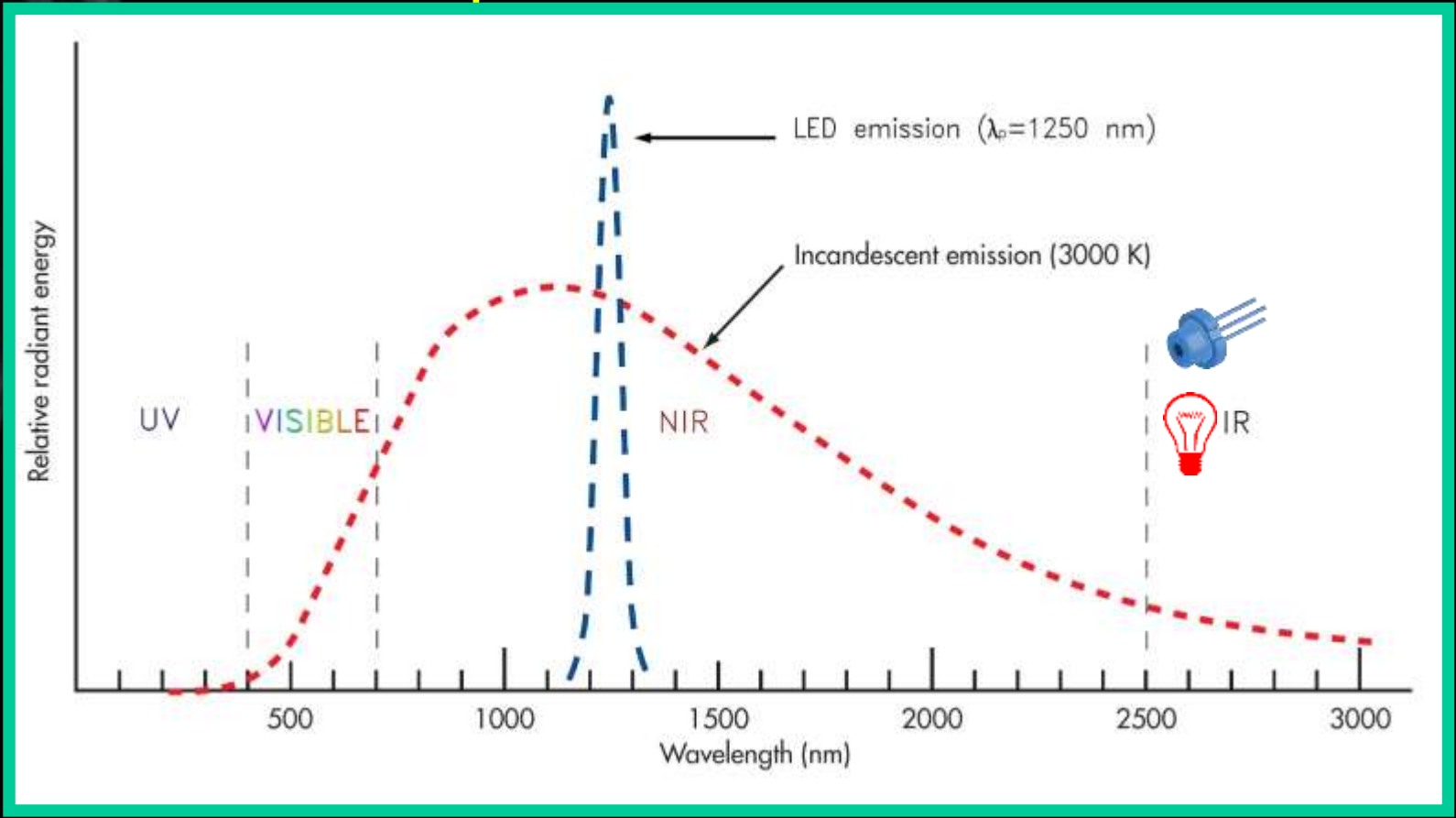
Az egyedülálló atom energiaszintjei a kristályban sávokká szélesednek.

A legfelső, (majdnem) teli sávban lyukak és a fölötte levő, (majdnem) üres sávban elektronok rekombinációja során foton keletkezhet.

Direkt sávú félvezető szükésges (vegyületfélvezetők)

Miért a LED? LED előnyei az izzólámpához képest

Izzólámpa LED



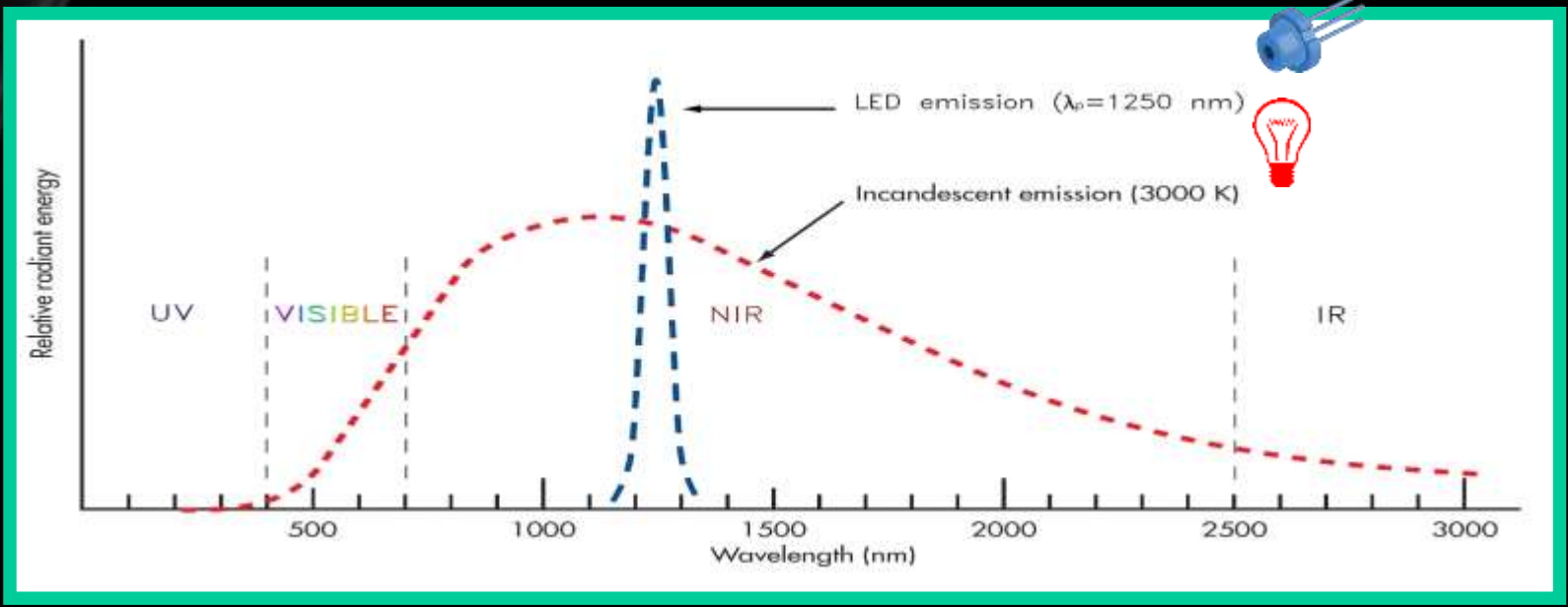
Miért a LED? LED előnyei az izzólámpához képest

Izzólámpa

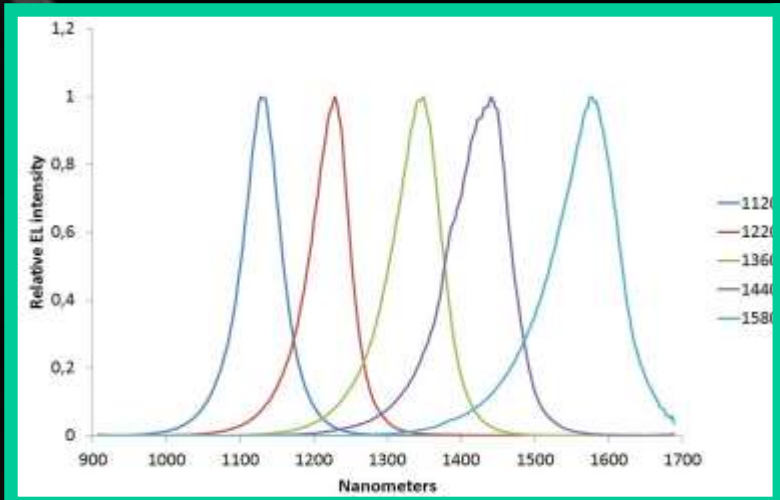
\+ Folytonos spektrum IR-ben
– Miniatürizálás nehéz, nem pontszerű
– Válaszidő hosszú (x*10^{-1} s)
– Sugárzás erősen feszültségfüggő
– Élettartama rövid (x*10^{3} h)

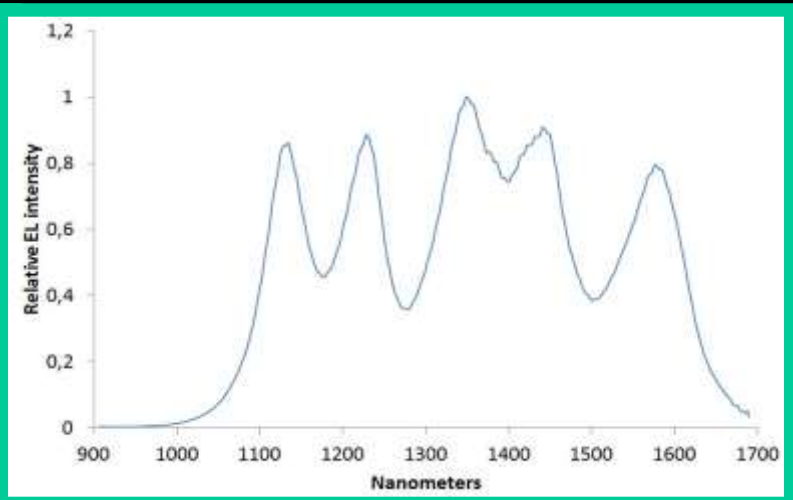
LED

– Tervezhető, de keskeny tartományú sugárzás
\+ Miniatürizálható, pontszerű
\+ Válaszidő rövid (x*10^{-9} s)
\+ Munkapont könnyen beállítható
\+ Élettartama hosszú (x*10^{4} h)

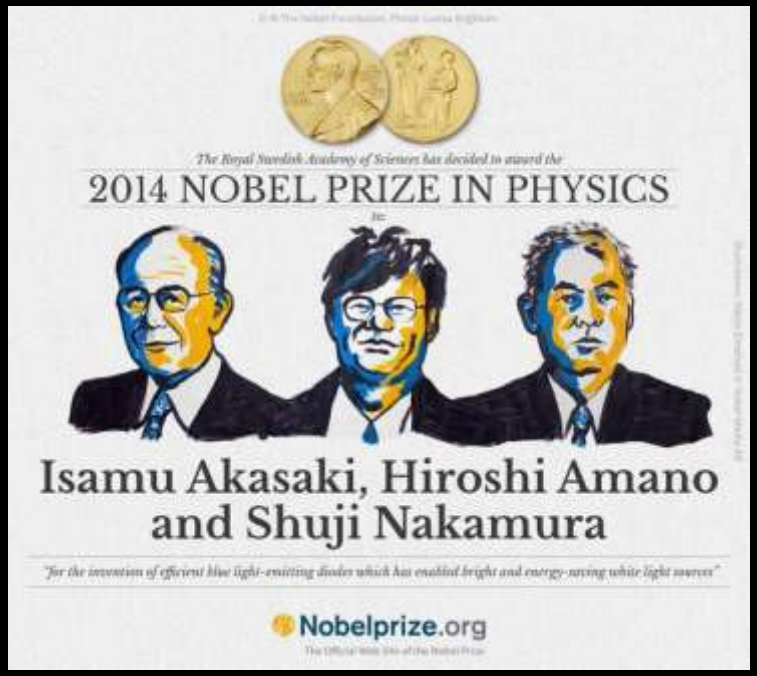


Sávszélesítés





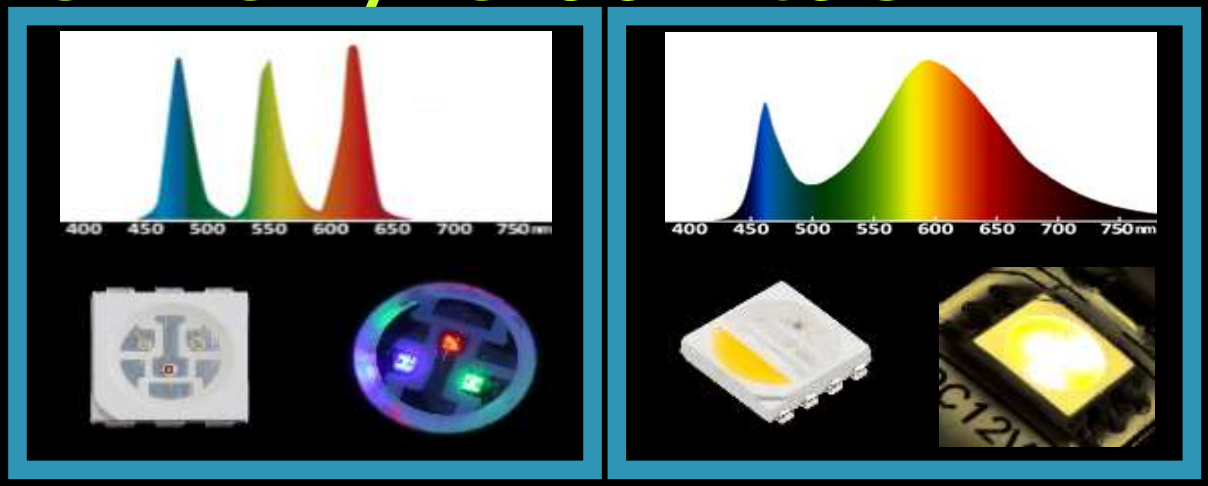
Kék LED



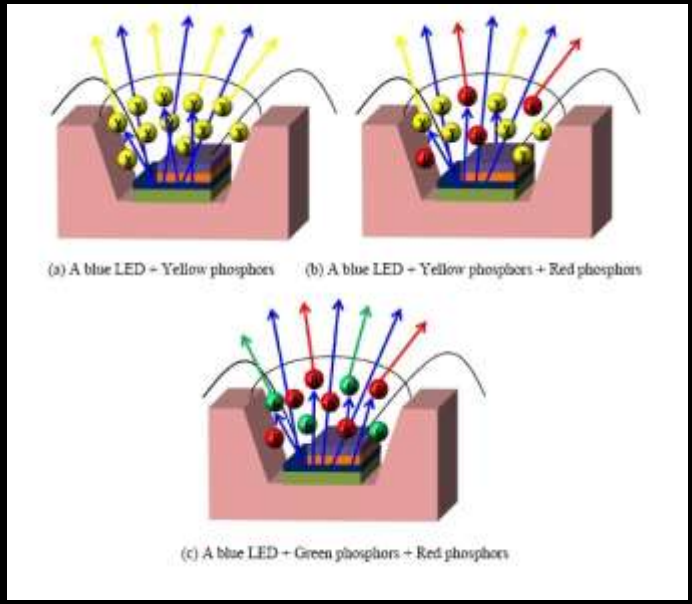
1993-94-ben kék fénnyel világító LED
- fényhasznosítás
- gyártástechnológia
- tömegtermelés

Nakamura Shuji, Amano Hiroshi és Akasaki Isamu, (Nichia Corporation)

Fehér fény előállítás LED-del

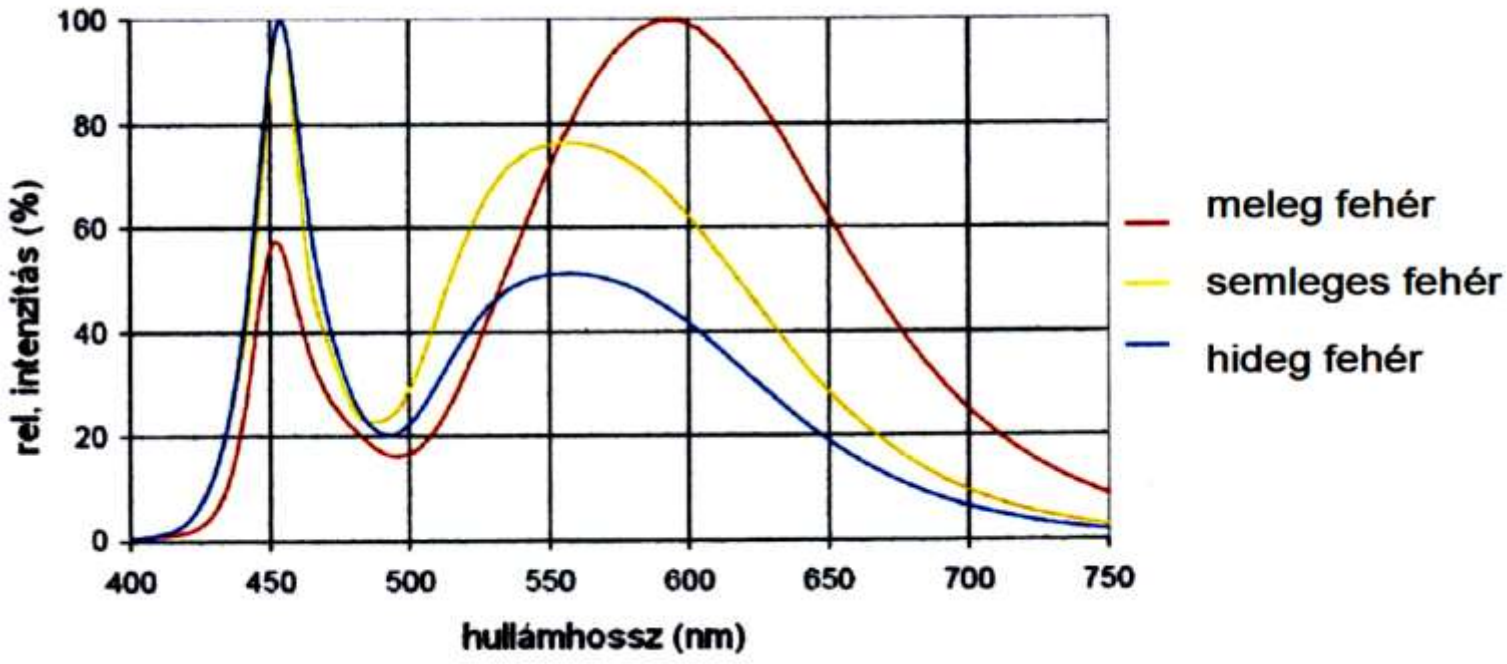


1. RGB LED (három chip)
2. RGB LED (integrált)
3. **Kék LED sárga fényporral**
4. Kék LED sárga és vörös fényporral
5. Kék LED zöld és vörös fényporral
6. Kék LED sárga fénypor és InGaAlP félvezető réteg

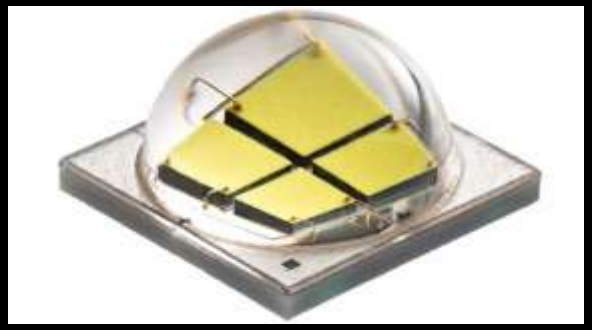


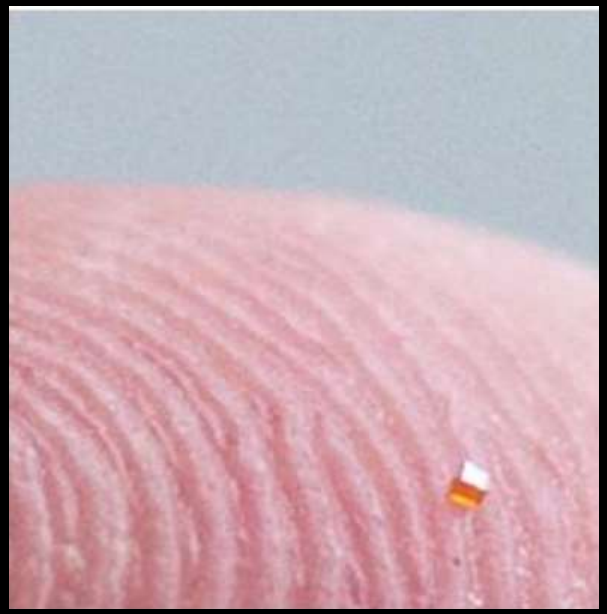
Fehér fény előállítás LED-del

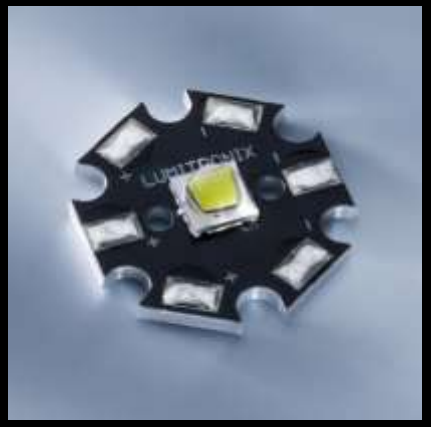
3. Kék LED sárga fényporral

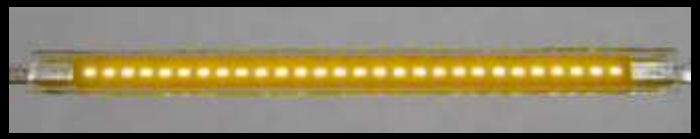


LED chip









LED szalag

Fehér LED – fehér NYÁK
P=4,8--43,2W /m
U=12V;24V
Profil: tart, véd, HŰT
Tk=2700--6500K
fehér, 2*Tk; egyszínű, bicolor, RGB, RGBW
IP00--65

LED modul

Lámpatestgyártók
- részletes katalógusadatok, mérési jkv-ek
- gondos kiválasztás
- tesztelés

LED világítótest

Retrofit LED fényforrás

Retrofit LED

- LED fényforrás
- korábbi technológiájú fényforrás helyettesítésére szánt eszköz
- minden villamos és fénytechnikai paramétere azonos vagy kedvezőbb
- lámpatest kiegészítése, átalakítása vagy megbontása nélkül használható
- különösebb szakértelem nélkül kiválasztható és üzemeltethető

Retrofit LED

Lakossági:

- lakásvilágítás
- főként E27, E14, GU10, G9 fejű fényforrások
- elsősorban normálizzók, halogénlámpák helyett

Nem lakossági:

- mélysugárzók kompakt fénycsövei
- fénycsöves lámpatestek
- ipari mélysugárzók
- közvilágítás
- térvilágítás, fényvetők

problémák

elektromos kompatibilitás

fényeloszlás

biztonság

Veszek egy LED-et : csomagolás

Fényáram
Színhőmérséklet
Színvisszaadás
Teljesítmény
Élettartam
Kapcsolási ciklus
Szabályozhatóság

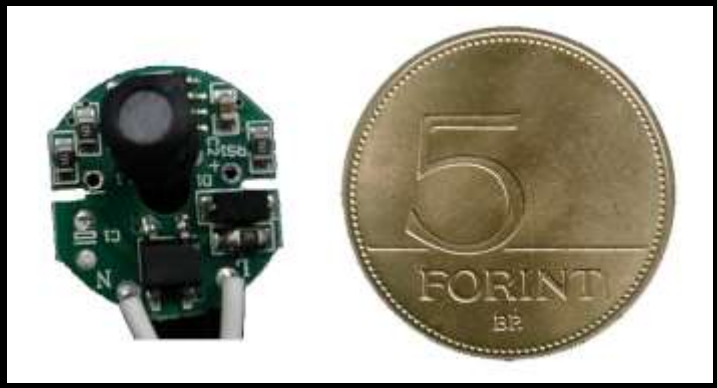
Fényáram

A 4W az hány W?

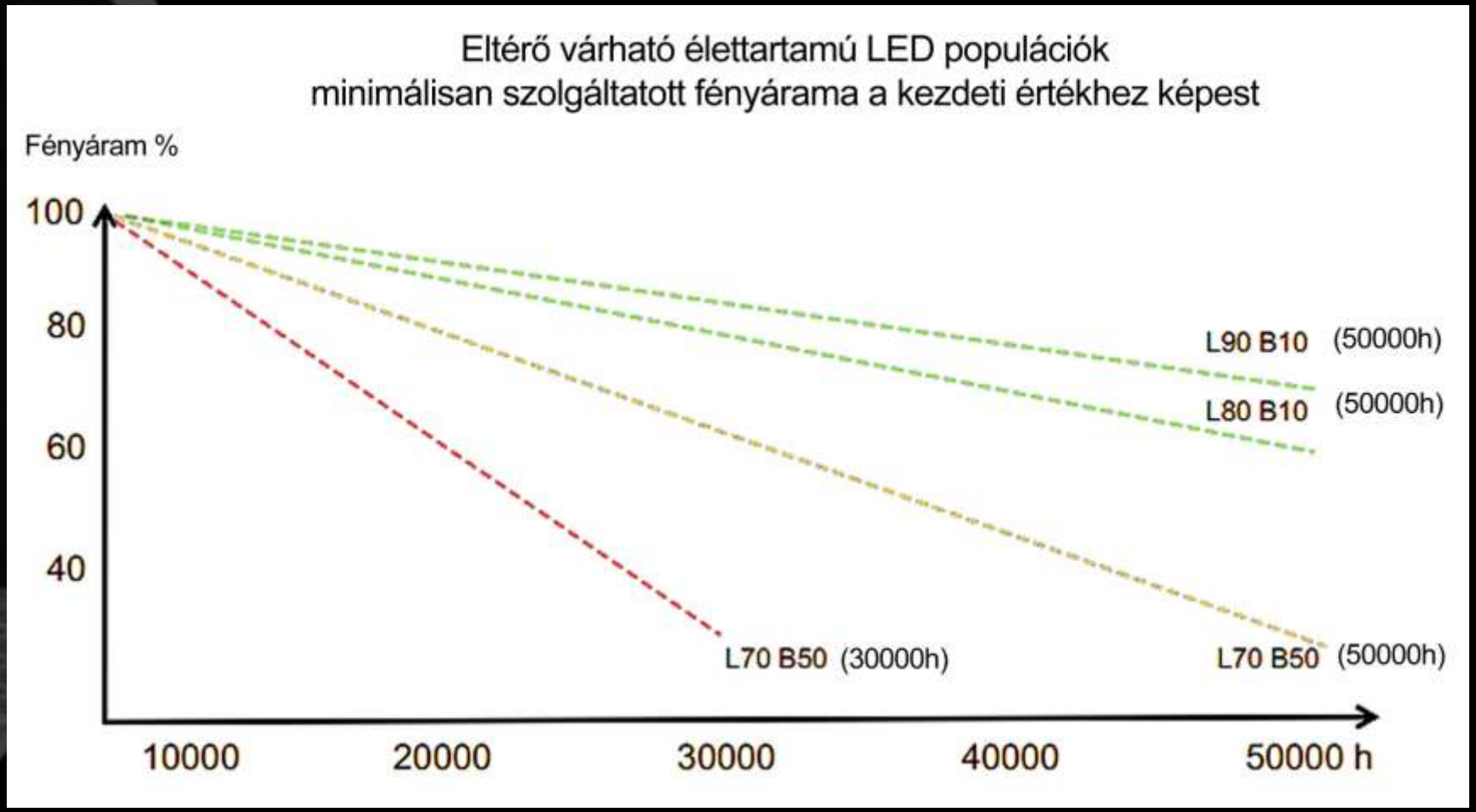
Előírt fényáram Φ [lm]			A feltüntetett egyenértékű izzólámpa teljesítménye
Kompakt fénycsövek	Halogén lámpa	LED és más lámpák	[W]
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1 055	75
1 398	1 326	1 521	100
2 253	2 137	2 452	150
3 172	3 009	3 452	200

Működtetés

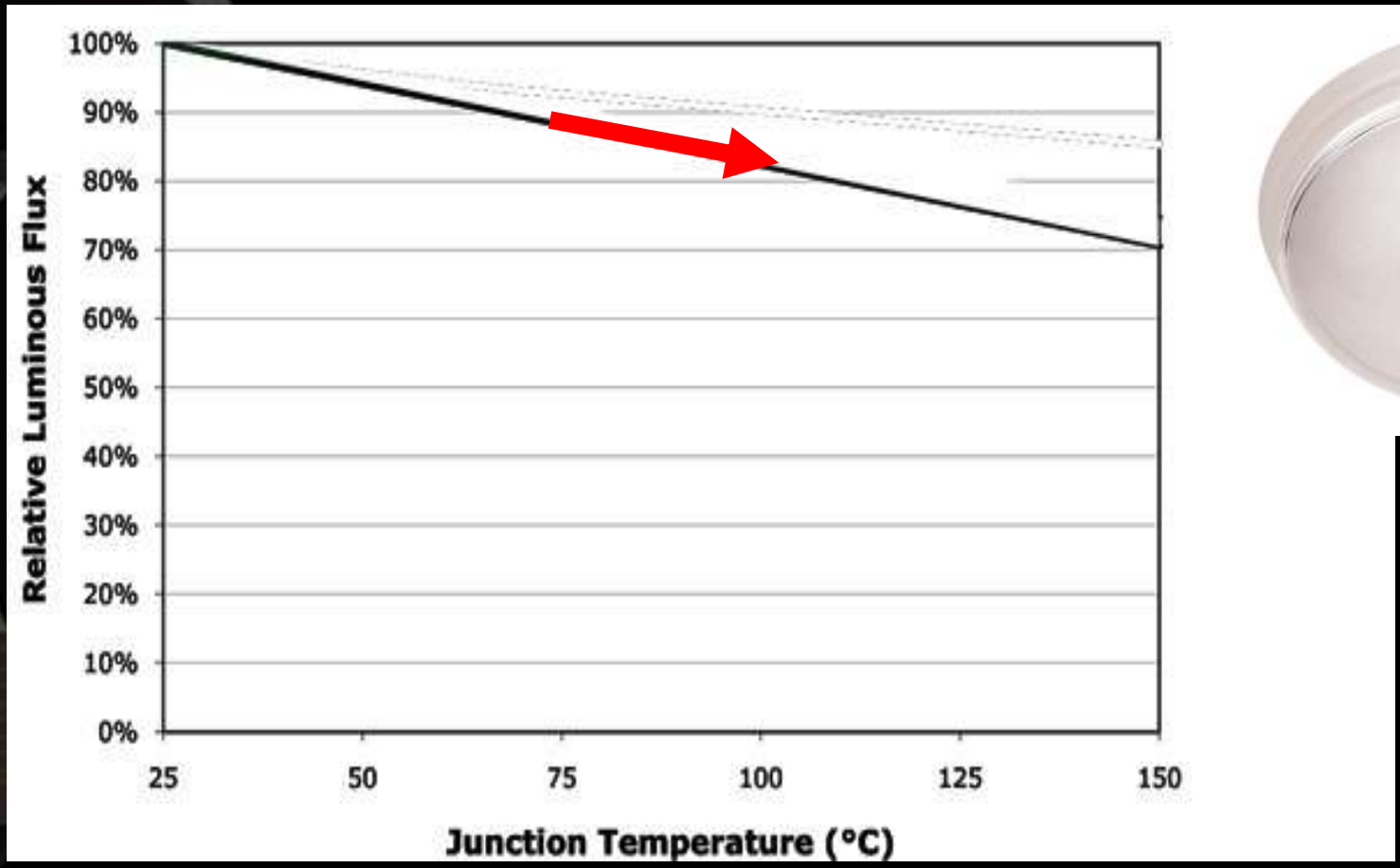
- áramgenerátoros tápegység
  - fix áram, közvetlenül a chip-ek meghajtására
  - inkább professzionális használatra
  - 350mA-2A
  - van teljesítménykorlát
- feszültséggenerátoros tápegység
  - fix feszültség, közvetett meghajtással
  - végfelhasználói megoldások
  - 12V, 24V
  - van tejesítménykorlát
- integrált tápegység
  - miniatűr, célorientált
  - minőség?
  - élettertam?
  - dimelhetőség?



Élettartam


Eltérő várható élettartamú LED populációk
minimálisan szolgáltatott fényárama a kezdeti értékhez képest
Fényáram %
100
80
60
40
L90 B10 (50000h)
L80 B10 (50000h)
L70 B50 (30000h)
L70 B50 (50000h)
10000
20000
30000
40000
50000 h

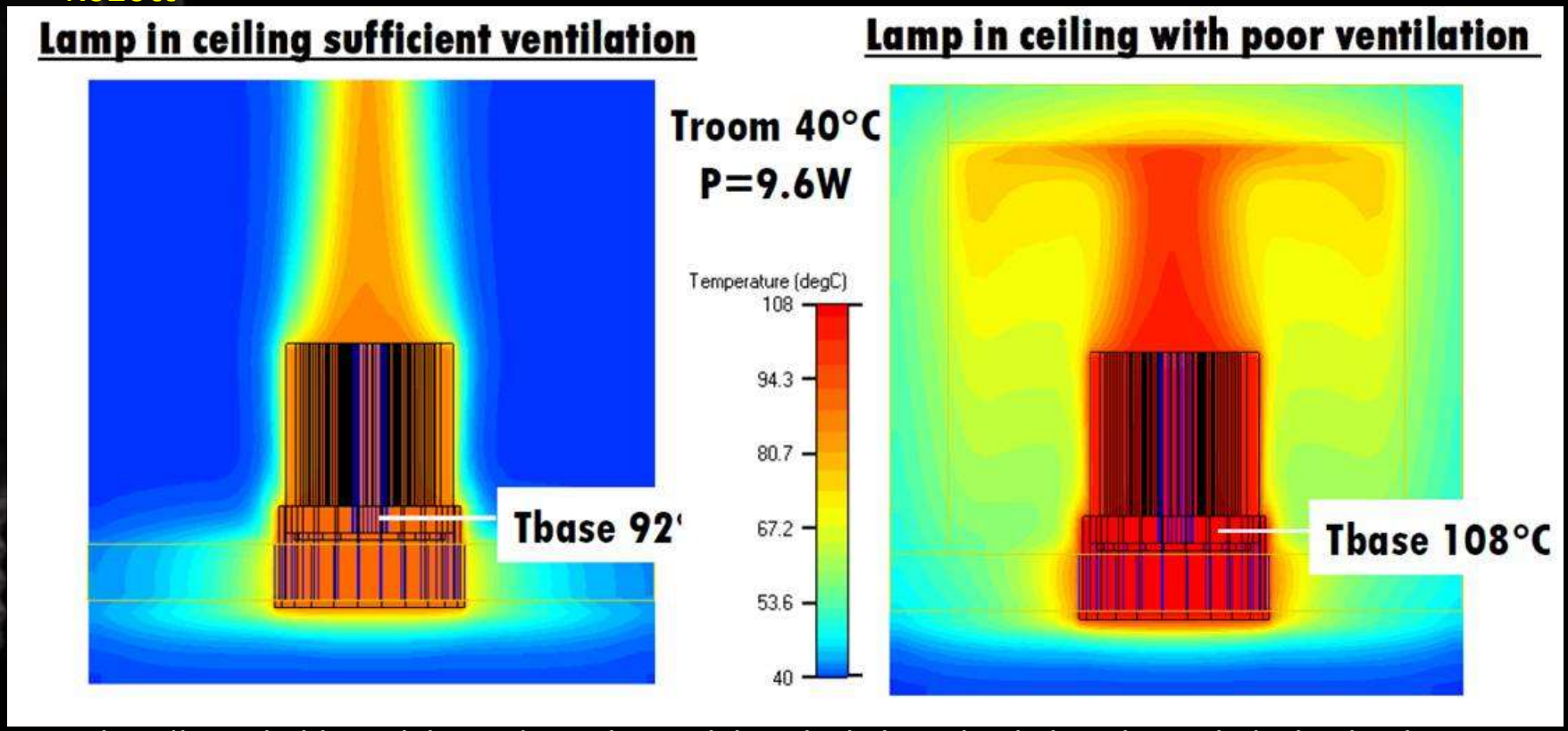
Fényáramtartás



Zárt lámpatest:
+10…20° C!

Blokkolt légáramlás hatása

Pl. álmennyezetbe sűllyesztett LED lámpa sokszor nem szellőzik jól, ezért magasabb lesz a pn-átmenet hőmérséklete… hiába van jó hőátadás a chip és a hűtőborda között

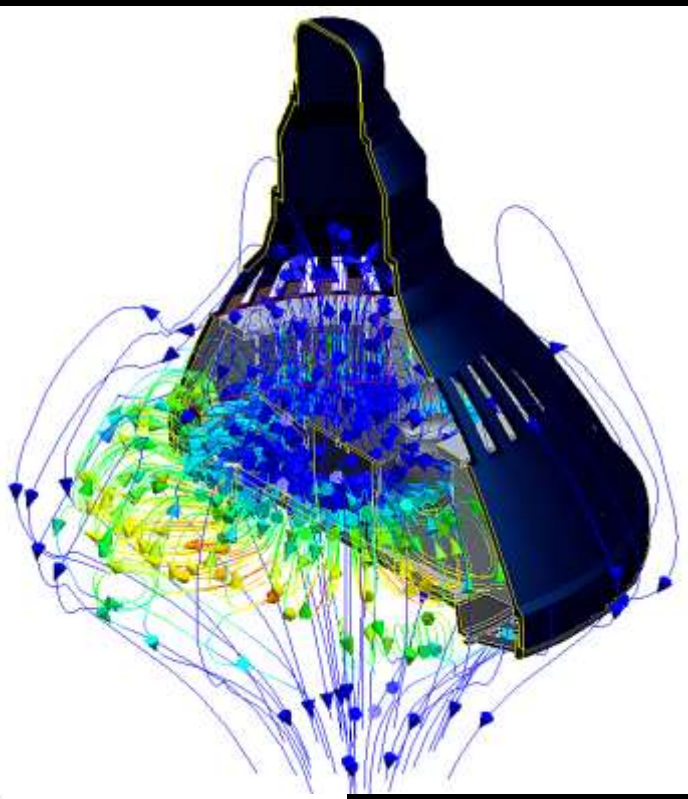


http://www.led-heatsink.com/LED_heat_sink_calculation_simulation_thermal_design.html

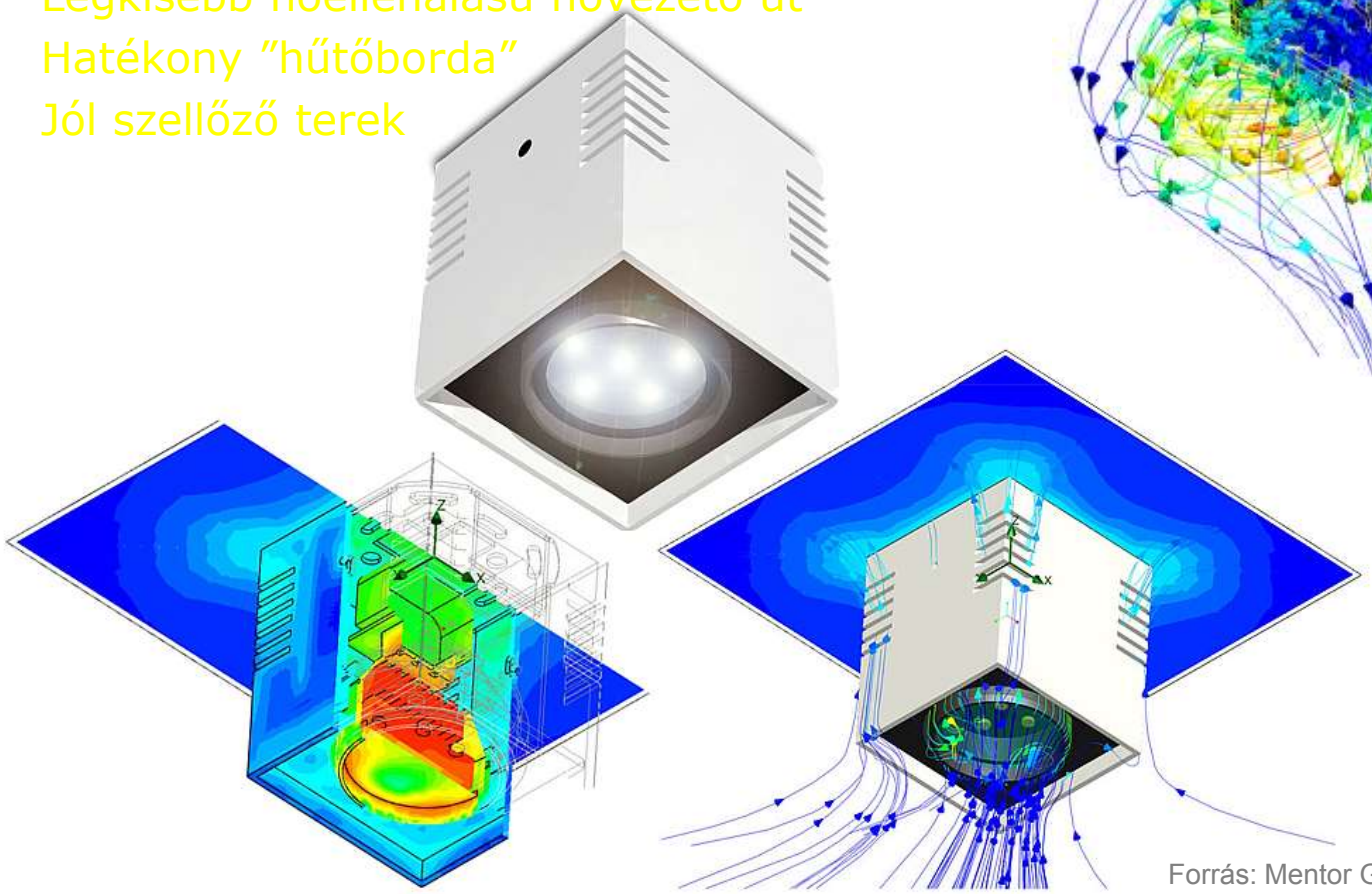
Ideális esetben

A hűtést ne blokkolja semmi

- Legkisebb hőellenálású hővezető út
- Hatékony "hűtőborda"
- Jól szellőző terek



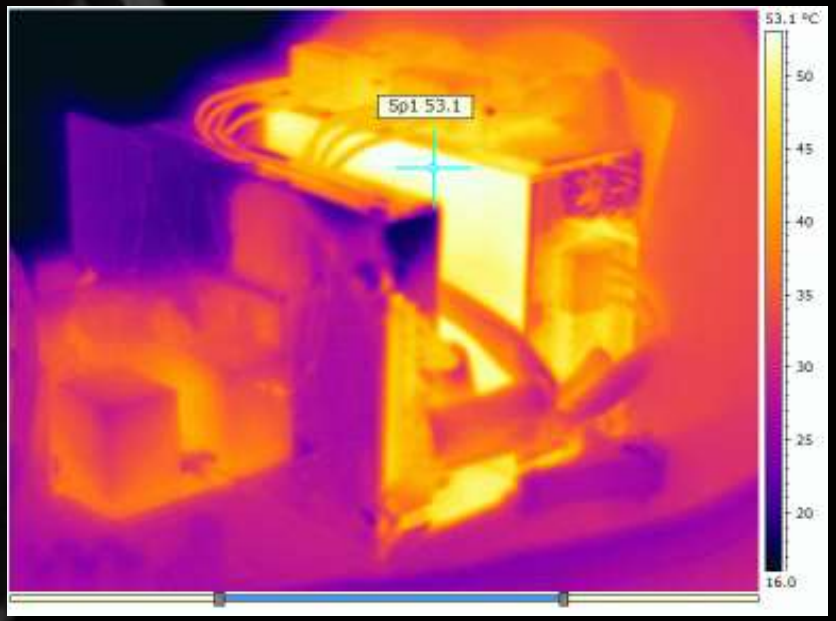
Forrás: Mentor Graphics



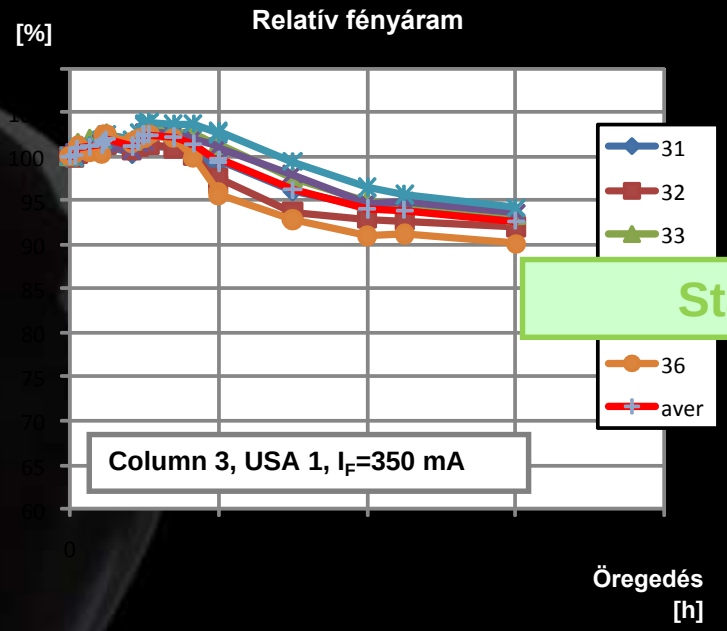
Forrás: Mentor Graphics

Nem csak a LED-ek melegednek

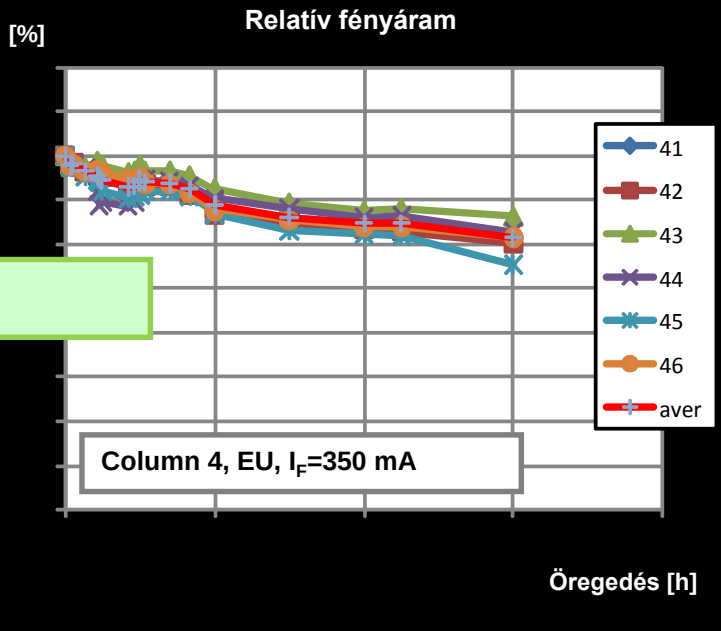
Hanem a tápegység is…

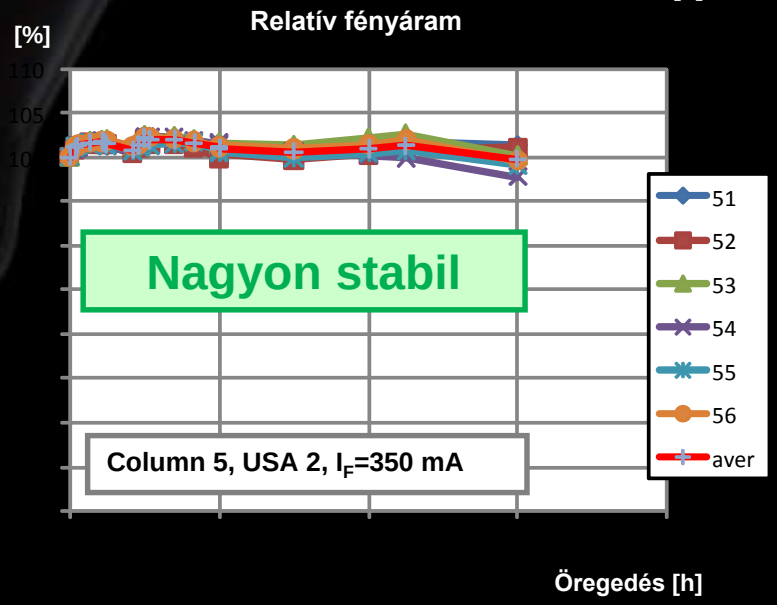


Fényáram változások

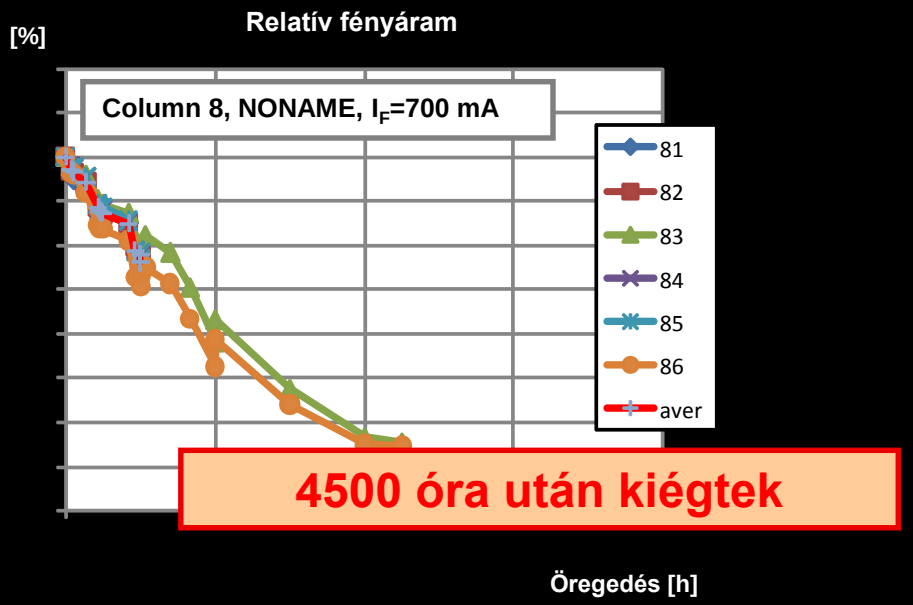


Stabil



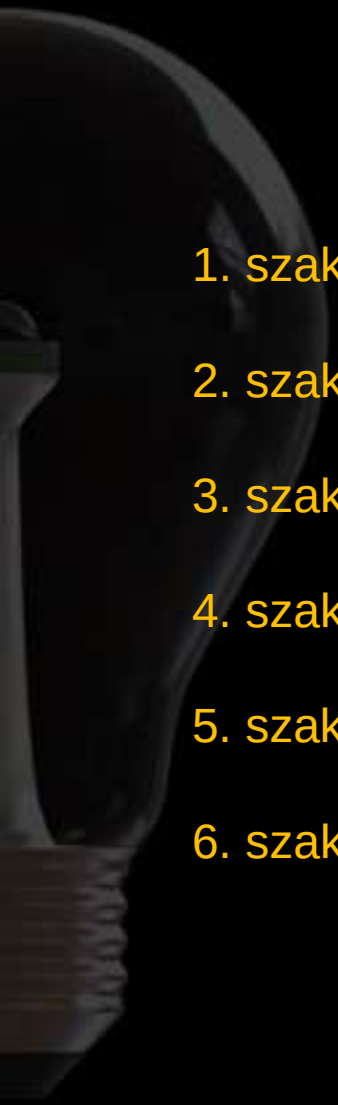


Nagyon stabil



4500 óra után kiégtek

Fényforrások kivonása a forgalomból



1. szakasz: 2009. szeptember 1-jétől; ~~P≥100W; összes homályos, opál~~

2. szakasz: 2010. szeptember 1-jétől; ~~P ≥75W~~;

3. szakasz: 2011. szeptember 1-jétől; ~~P ≥60W~~;

4. szakasz: 2012. szeptember 1-jétől; ~~P ≥25W~~;

5. szakasz: 2013. szeptember 1-jétől; ~~P ≥8W~~;

6. szakasz: 2016. szeptember 1-jétől; ~~hálózati fesz. halogének~~

Fényforrások kivonása a forgalomból

1. szakasz: 2009. szeptember 1-jétől; ~~P≥100W; összes homályos, opál~~

2. szakasz: 2010. szeptember 1-jétől; ~~P ≥75W~~;

3. szakasz: 2011. szeptember 1-jétől; ~~P ≥60W~~;

4. szakasz: 2012. szeptember 1-jétől; ~~P ≥25W~~;

5. szakasz: 2013. szeptember 1-jétől; ~~P ≥8W~~;

6. szakasz: 2016. szeptember 1-jétől; ~~irányított fényű izzó és halogén~~
(halogének elhalasztva)

6. szakasz: 2018. szeptember 1-jétől ~~hálózati fesz. halogének~~

2015. ápr.: elfogadva a halasztás
2015. aug.: tervezet az irányított fényű lámpák módosításból kivételére
2015 okt.: döntés az irányított fényű lámpák kivonásáról

Fényforrások kivonása a forgalomból

6. sza

Fényforrások kivonása a forgalomból

6. sza

Fényforrások kivonása a forgalomból

2015/1428 EK rendelet

hist

dekor

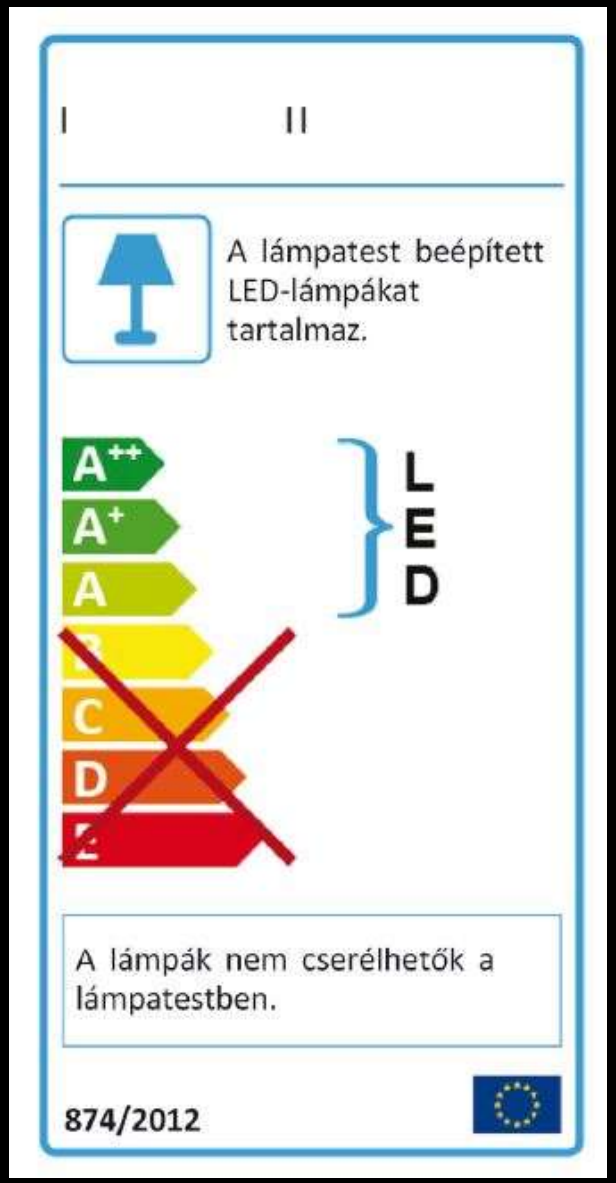
megerőstett

Fényforrás kivonása a forgalomból

LED csak A; A+; A++ lehet

Hálózati halogén lámpák: C; D

Normálizzók: E



Fényforrások kivonása a forgalomból

Lámpák energiahatékonysági osztályai

Energiahatékonysági osztály		Nem irányított fényű lámpák energiahatékonysági mutatója (EEI)	Irányított fényű lámpák energiahatékonysági mutatója (EEI)
A++ (leghatékonyabb)	136 lm/W	EEI ≤ 0,11	EEI ≤ 0,13
A+	88 lm/W	0,11 < EEI ≤ 0,17	0,13 < EEI ≤ 0,18
A	**62 lm/W**	0,17 < EEI ≤ 0,24	0,18 < EEI ≤ 0,40
B		0,24 < EEI ≤ 0,60	0,40 < EEI ≤ 0,95
C		0,60 < EEI ≤ 0,80	0,95 < EEI ≤ 1,20
D		0,80 < EEI ≤ 0,95	1,20 < EEI ≤ 1,75
E (legkevésbé hatékony)		EEI > 0,95	EEI > 1,75

EEI_{LED}=1.1*P_{eff}/(0.88*√Φ_{haszn}+0.049*Φ_{haszn}) | Φ_{haszn}≤1300lm

Fényforrások kivonása a forgalomból

Lámpák energiahatékonysági osztályai

Energiahatékonysági osztály		Nem irányított fényű lámpák energiahatékonysági mutatója (EEI)
A++ (leghatékonyabb)	136 lm/W	EEI ≤ 0,11
A+	88 lm/W	0,11 < EEI ≤ 0,17
A	**62 lm/W**	0,17 < EEI ≤ 0,24
B		0,24 < EEI ≤ 0,60
C		0,60 < EEI ≤ 0,80
D		0,80 < EEI ≤ 0,95
E (legkevésbé hatékony)		EEI > 0,95

Eco label 2018-

	lm/W	
EE Class	min	max
A	210	-
B	185	210
C	160	185
D	135	160
E	110	135
F	85	110
G	0	85

Fényforrások kivonása a forgalomból

Lámpák energiahatékonysági osztályai

Energiahatékonysági osztály	Nem irányított fényű lámpák energiahatékonysági mutatója (EEI)
A++ (leghatékonyabb)	EEI ≤ 0,11
A+	0,11 < EEI ≤ 0,17
A	0,17 < EEI ≤ 0,24
B	0,24 < EEI ≤ 0,60
C	0,60 < EEI ≤ 0,80
D	0,80 < EEI ≤ 0,95
E (legkevésbé hatékony)	EEI > 0,95

136 lm/W

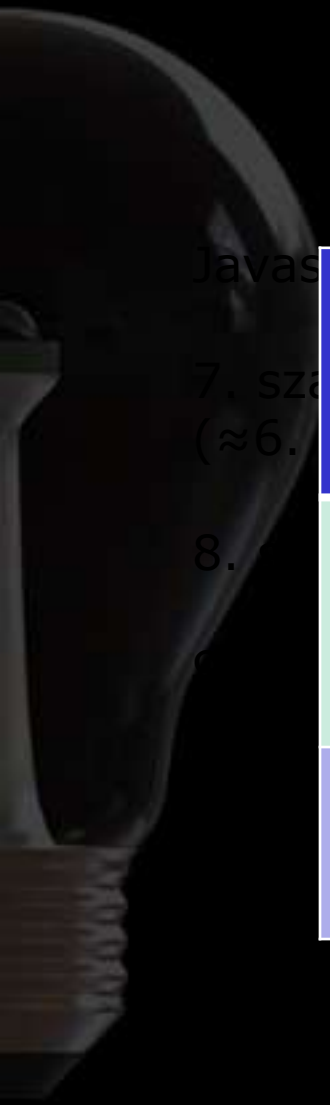
88 lm/W

62 lm/W

Eco label 2018-

	lm/W	
EE Class	min	max
A	210	-
B	185	210
C	160	185
D	135	160
E	110	135
F	85	110
G	0	85

Fényforrások kivonása a forgalomból



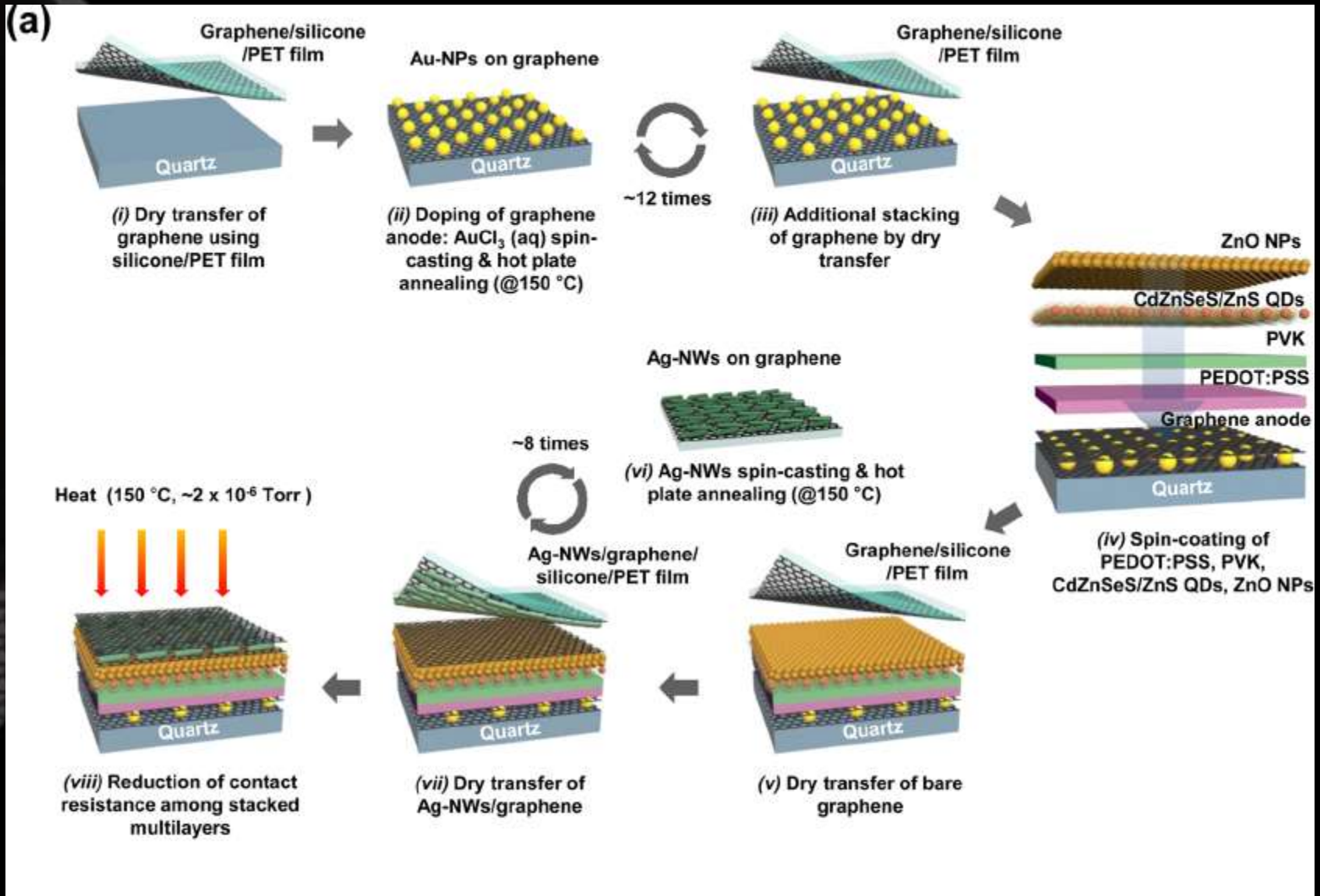
Piacvezetők legkorszerűbb termékeinek átlaga	2015	2020 cél
Fényporos LED-ek fényhasznosítása	143 lm/W	242 lm/W
Világítótestek fényhasznosítása	125 lm/W	196 lm/W

forrás: www.doe

Mi lesz ezután?

?

Quantum-dot LED

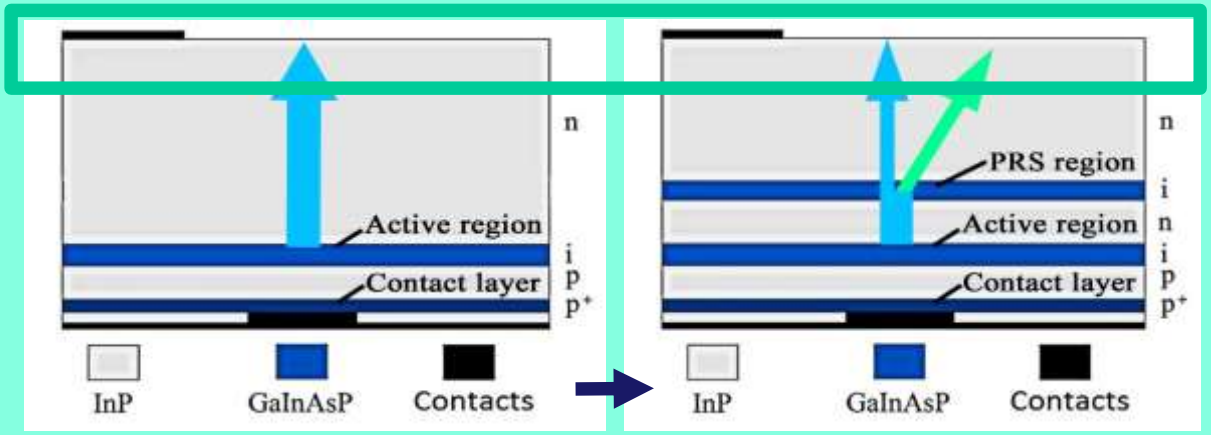


Sávszélesítés lumineszkáló réteggel

Elsődleges rétegben keletkező sugárzás csak részben lép ki változatlan formában a diódából

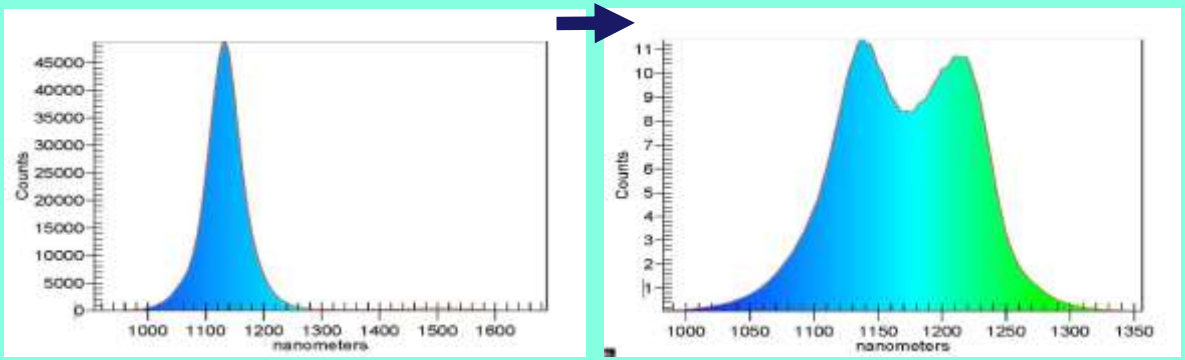
Egy része a további rétegeket gerjeszti majd lumineszkálással több sugárzási csúcsot valósít meg

PRS=Photon Recycling Semiconductor



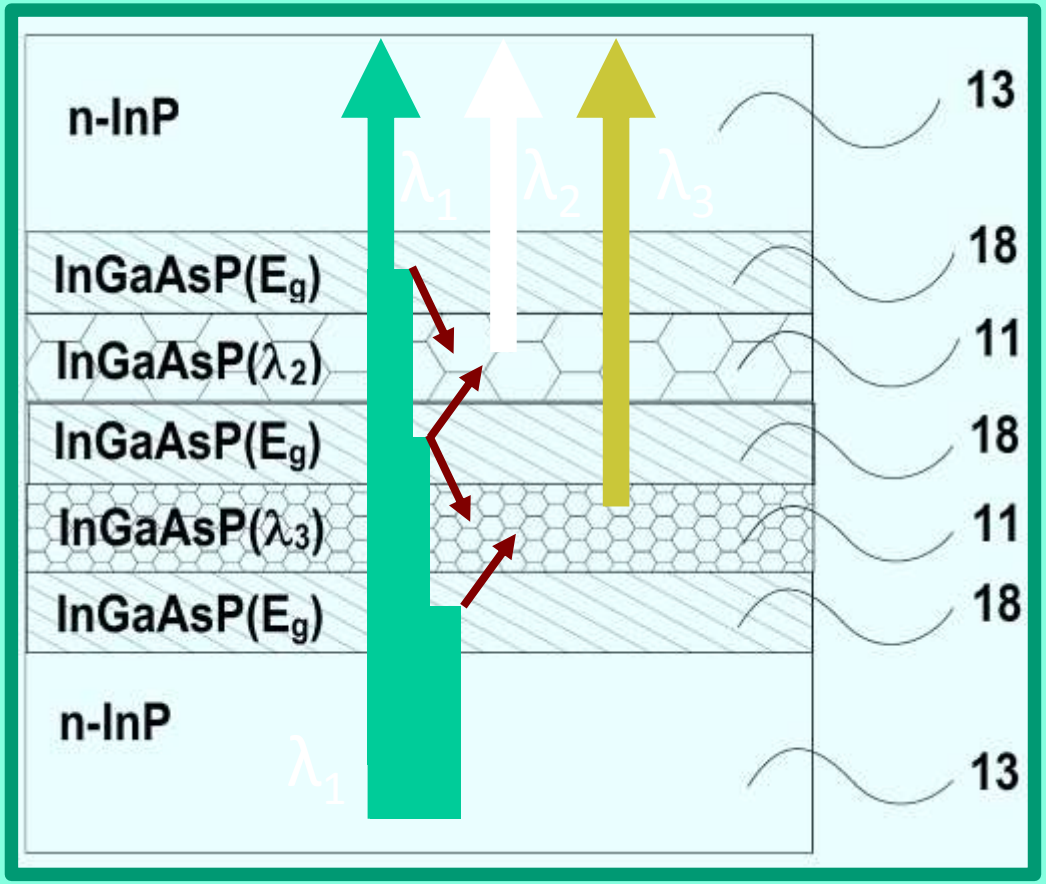
Szokásos szerkezet

Sávszélesített szerkezet



Hullámhossz konverter két lumineszkáló réteggel

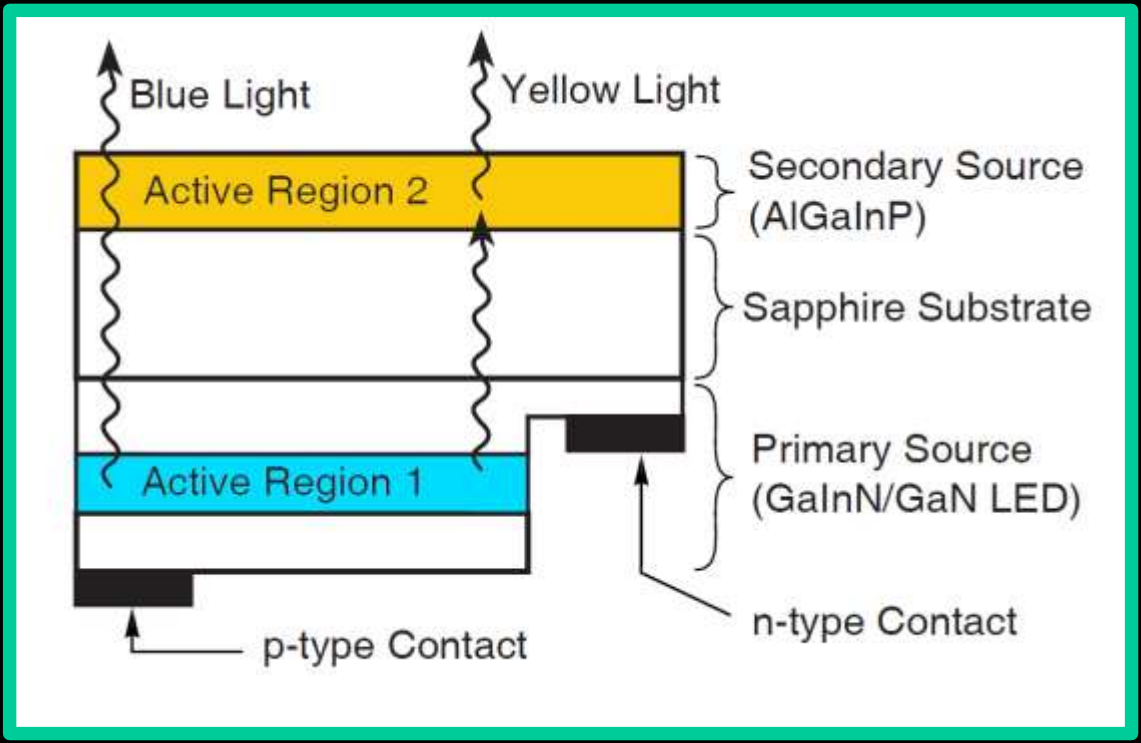
- Külön abszorpciós és két beágyazott emissziós réteg
- A emissziós rétegek is abszorbeálnak, de a kis rétegvastagság miatt ez elhanyagolható
- Az abszorpciós rétegek potenciálgát szerepét is betöltik
- Az abszorpciós réteg egyben vissza-oldódásgátló réteg is



$$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$$

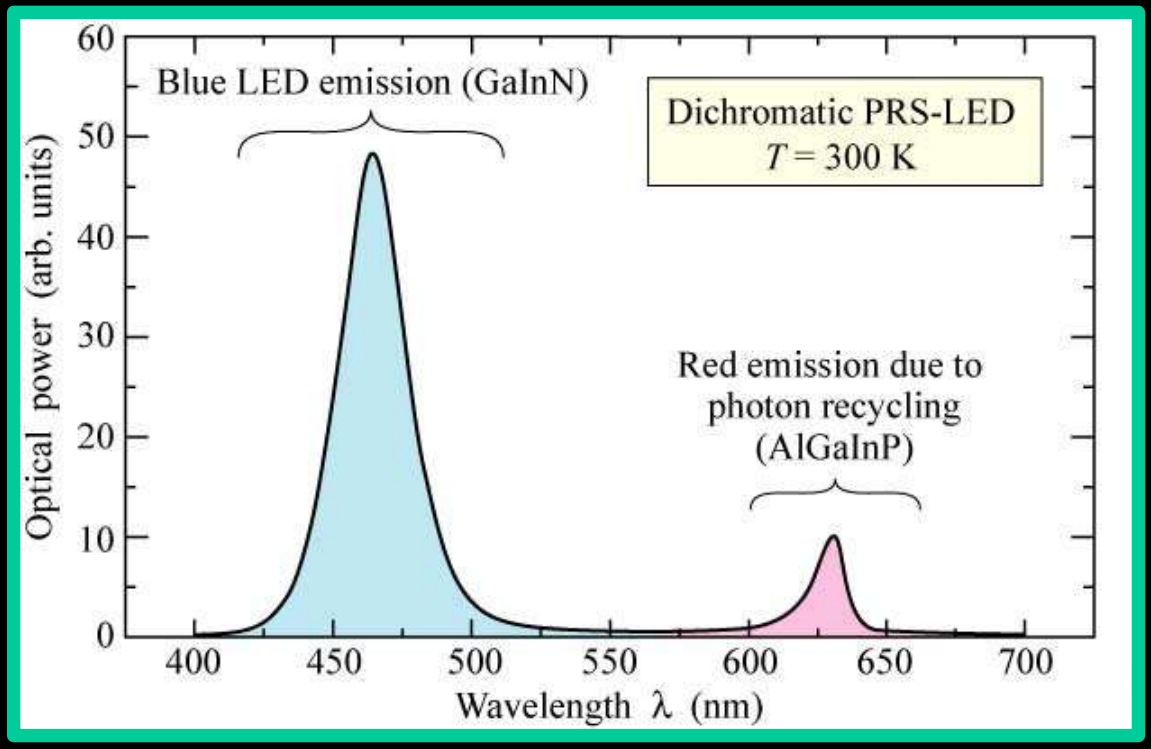
A szabad töltéshordozók a szabad úthosszukon belül a szomszédos (kisebb tiltott sávú) emissziós sávba diffundálnak

Lumineszcencia látható tartományban



Az AlGaInP összetételének változtatásával szintén hangolható a másodlagos sugárzás

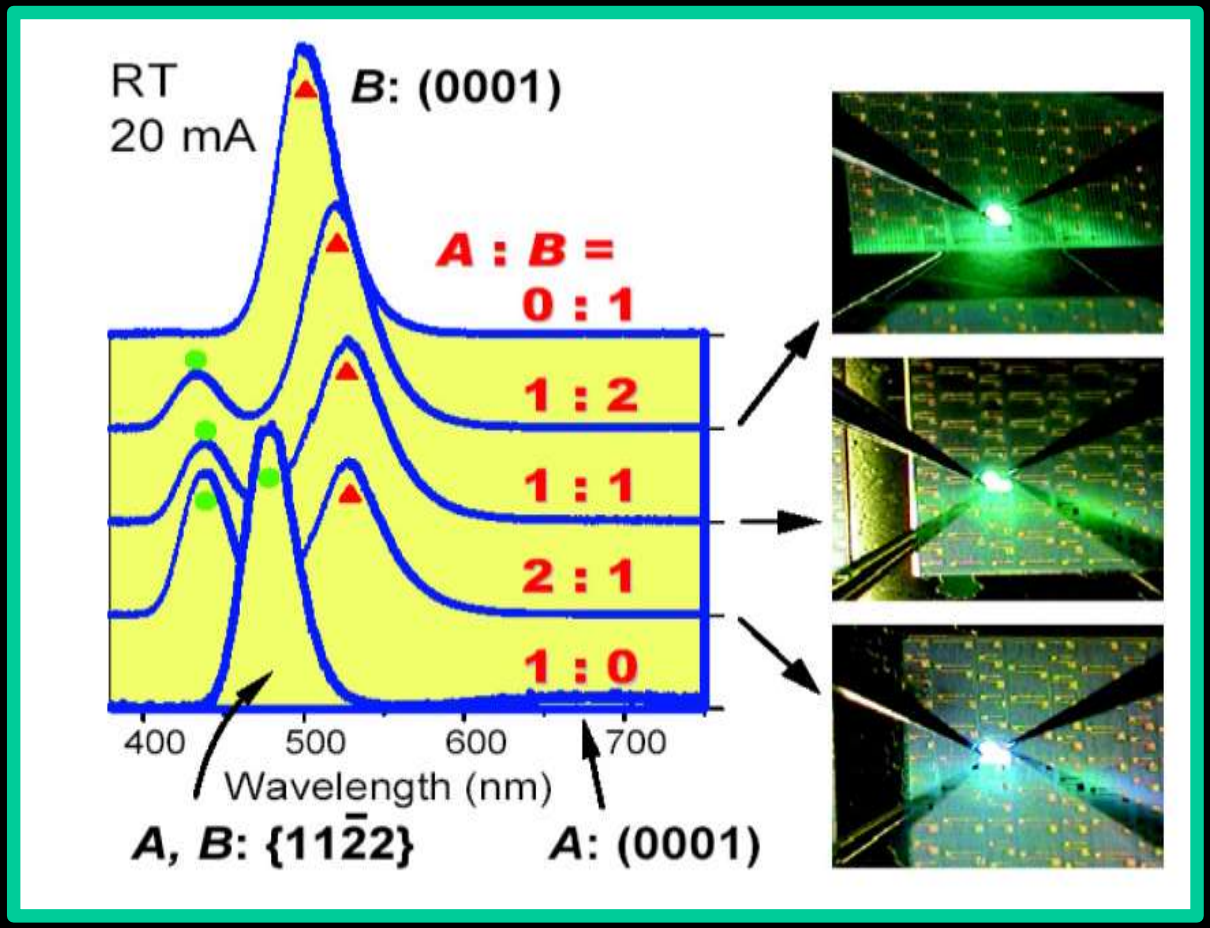
Lumineszcencia látható tartományban



Az alapsugárzás mellé komplementer színű másodlagos sugárzás szükséges. A lumineszcencia intenzitása a rétegvastagságtól is függ. A PRS LED színvisszaadása még fejlesztésre szorul.

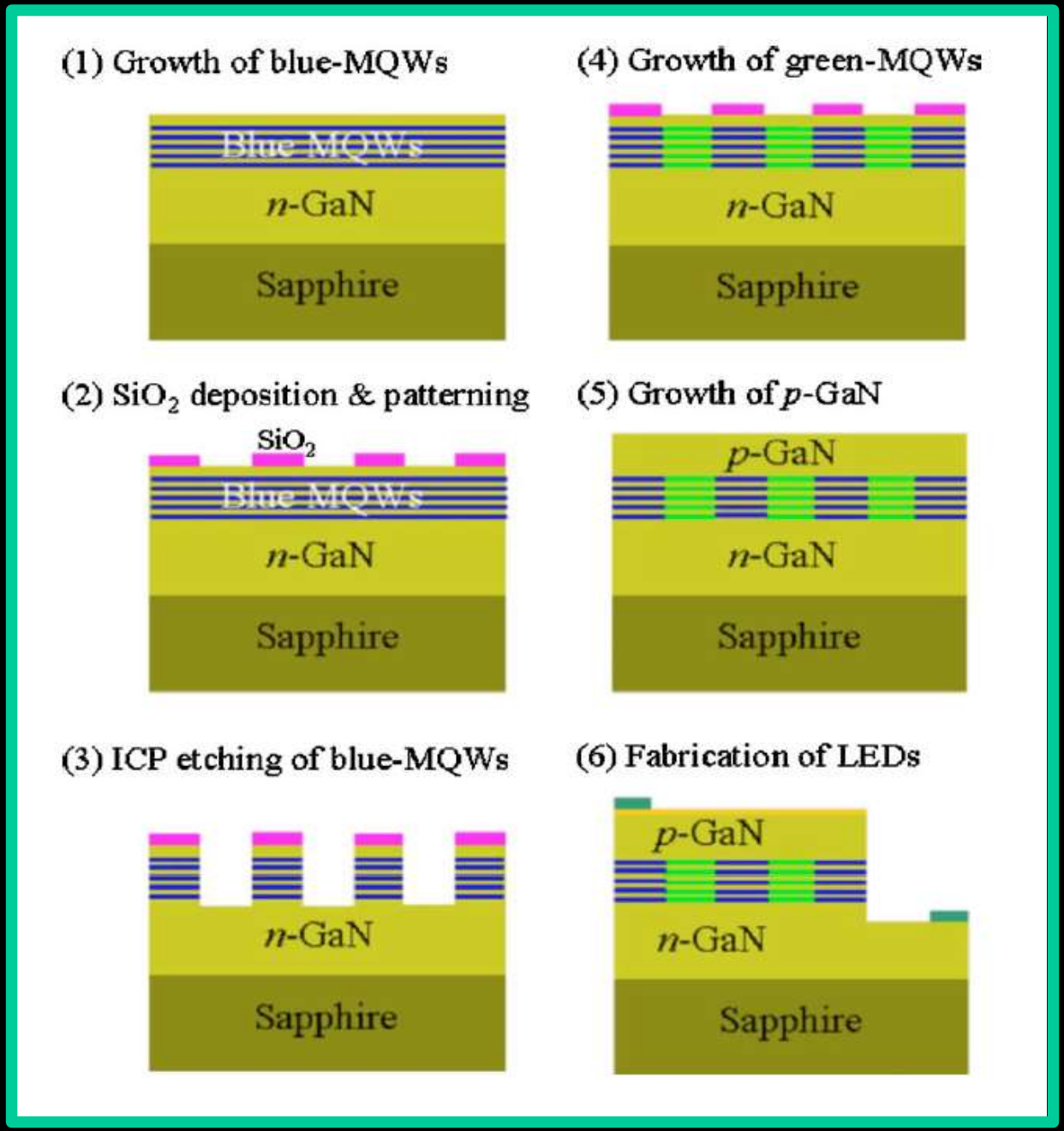
Strukturált hordozón növesztett szerkezetek

Főként a kék-zöld tartomány gazdagítása érhető el. A fehér színhez fénypor vagy más ismert megoldásokkal való kiegészítés szükséges.



Szelektív növesztés-sel készült LED-ek

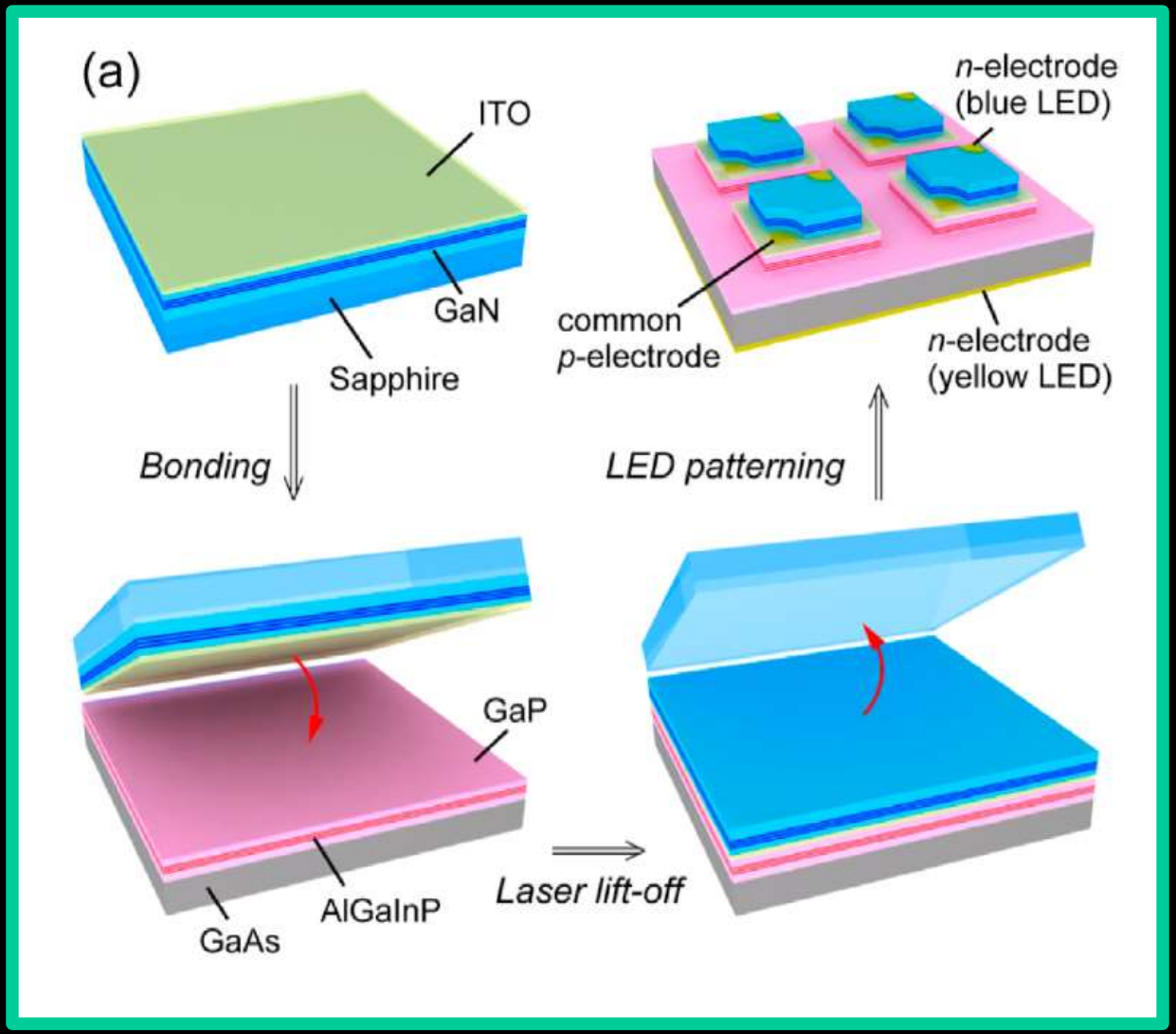
Két hullámhosszú, technológialag viszonylag bonyolult. A kvantum-sávokban felváltva helyezkednek el, 5um-enként.

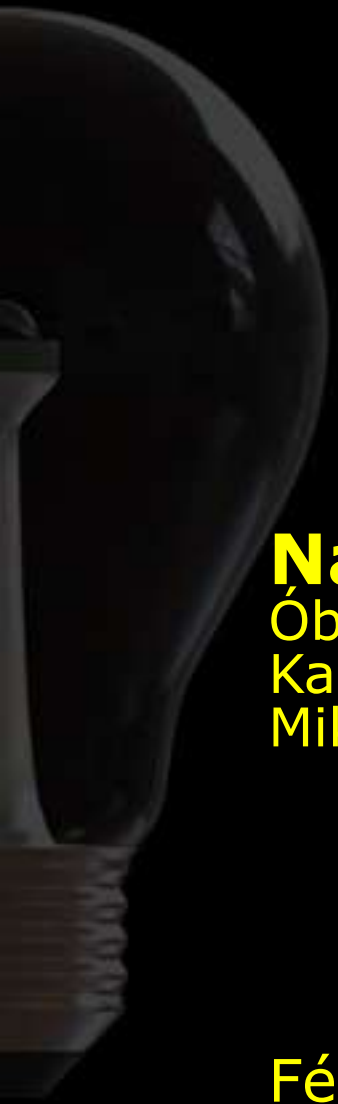


Több LED szelet-kötéssel

Egymás fölé éptett individuális LED-szerkezetek szeletkötéssel összekötve. Közös bennük a közös elektróda.

Optikailag egységes, öregedése különböző.





Köszönöm a figyelmet!

Nádas József
Óbudai Egyetem
Kandó Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet
1084 Budapest, Tavaszmező u. 15. B. ép. 014.
nadas.jozsef@kvk.uni-obuda.hu
Tel.: +36 1 666 5073
Mobil: **+36 20 999 3355**

Fénymérés Bt. (**fenymeres@fenymeres.hu**)