

GaInAsP/InP LED-ek kutatása és spektroszkópiai alkalmazása a közeli infravörös tartományban

Fény abszorpció és reemisszió egyetlen szélessávú LED chip szerkezetében

NÁDAS JÓZSEF

TÉMAVEZETŐ: DR. RAKOVICS VILMOS



Kutatási terület

- Biológiai eredetű *szerves anyagok*
- indikatív kimutatásához és *spektroszkópi*ai vizsgálatához optimalizált
- *fényforrás* tervezése és készítése
- *kéziműszerek*ben történő alkalmazásra.

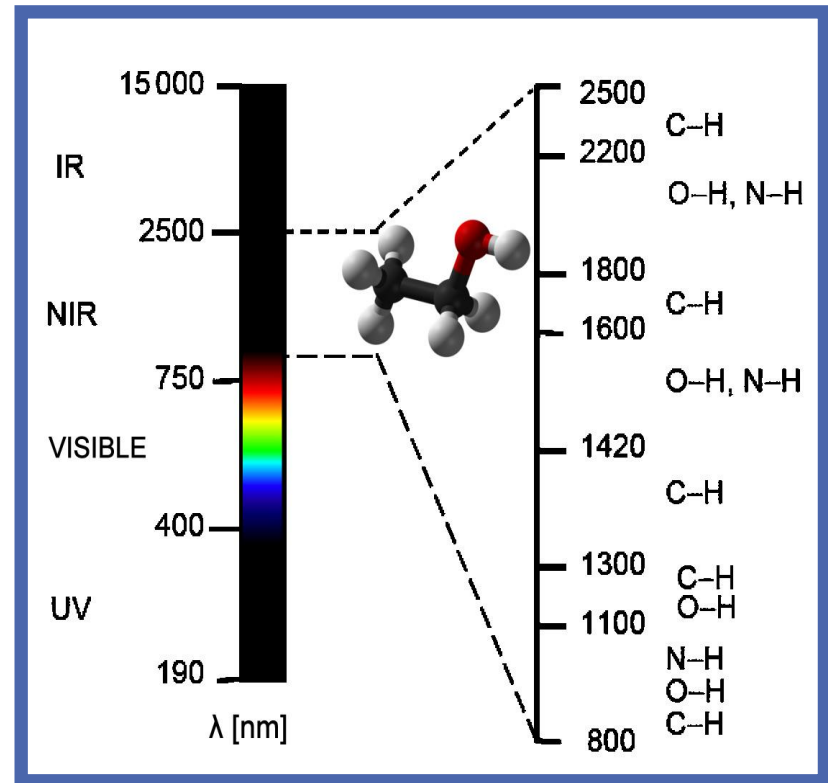


Követelmények:

- miniatürizálás, pontszerűség a pontos optikai leképezéshez
- kis fogyasztás, önálló kéziműszer (laptop nélkül)
- nagy intenzitás
- vizsgálandó anyaghoz illesztett hullámhossz tartomány

Spektroszkópiára alkalmas közeli IR hullámhossztartomány

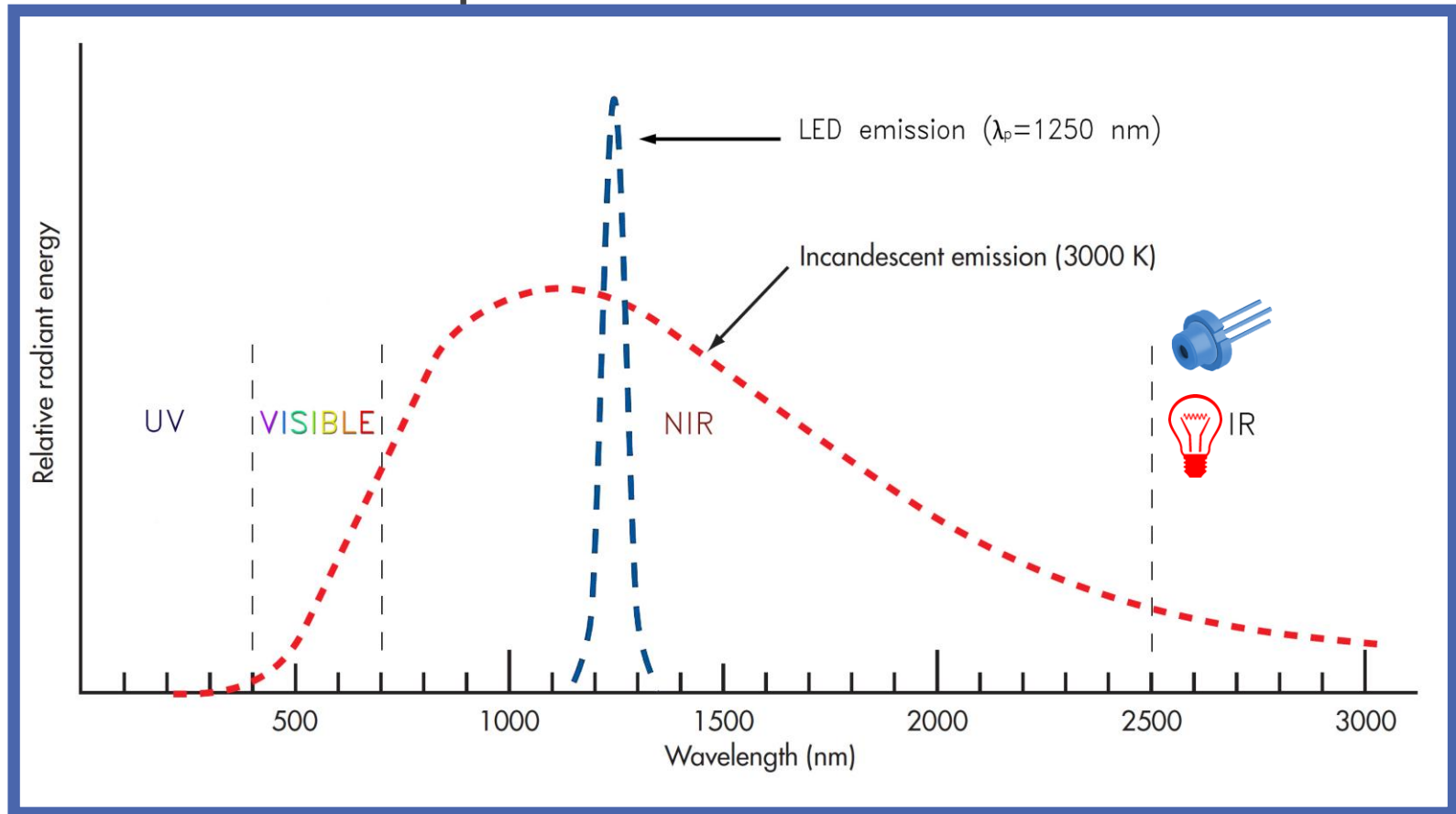
- a spektroszkópia alkalmas a szerves anyagok **OH, -NH, CH** funkciós csoportjai kimutatására
- kötések vegyértékrezgéseire jellemző rezonancia-hullámszám $2500-4000\text{ cm}^{-1}$, ($\lambda=3-4\text{ }\mu\text{m}$)
- az **1-3. felharmonikusok mérése közeli IR-ben**, nagyságrendekkel kisebb jelek is hatékonyan mérhetők (jobb jel-zaj viszony)
- felharmonikusok hullámhosszán „mélyebbre” látni az anyagban



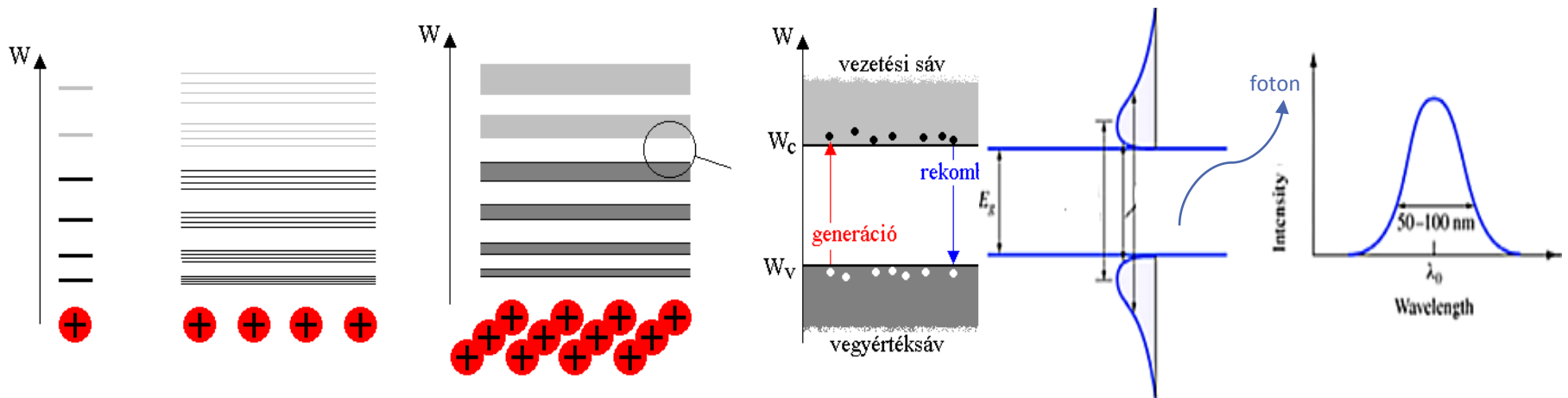
Miért a LED? LED előnyei az izzólámpához képest

Izzólámpa

LED



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 szükséges (vegyületfélvezetők)

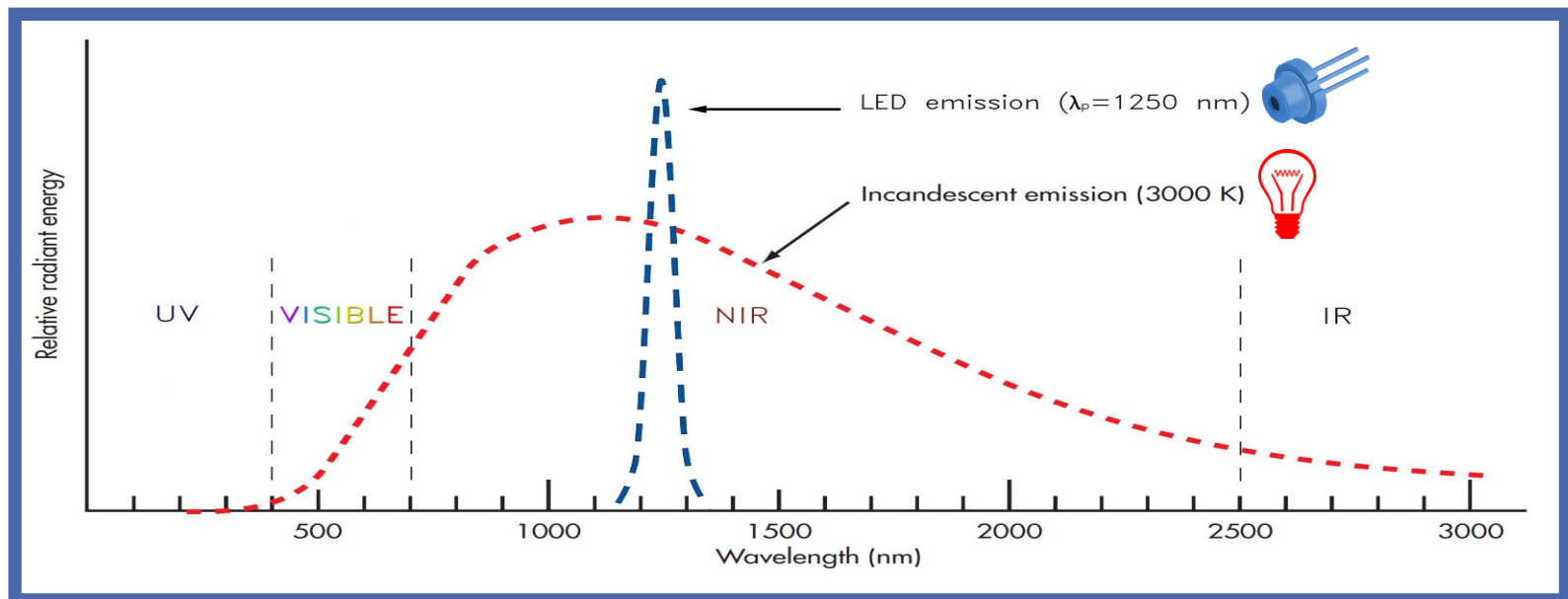
Miért a LED? LED előnyei az izzólámpához képest

Izzólámpa

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

LED

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

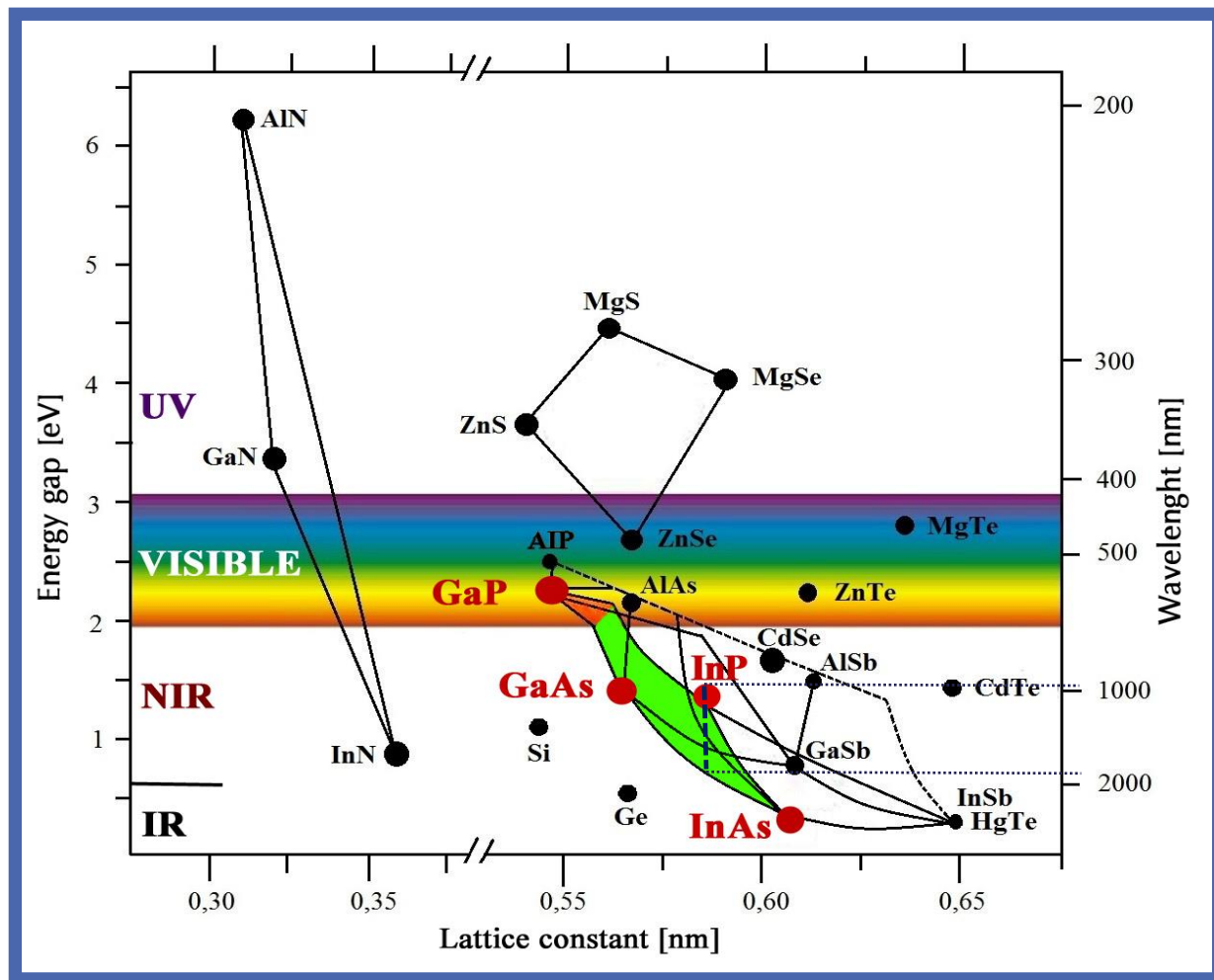


Anyag- rendszerek

*Vegyületfélvezetők
rácsállandó-tiltottsáv-
hullámhossz
összefüggése*

GaInAsP/InP: keskeny és az összetétellel hangolható a hullámhossz, közben a rácsállandó változatlan marad

960-1670 nm tartományban az InP-hoz rácsillesztett LED (hordozó abszorpciója elhanyagolható).



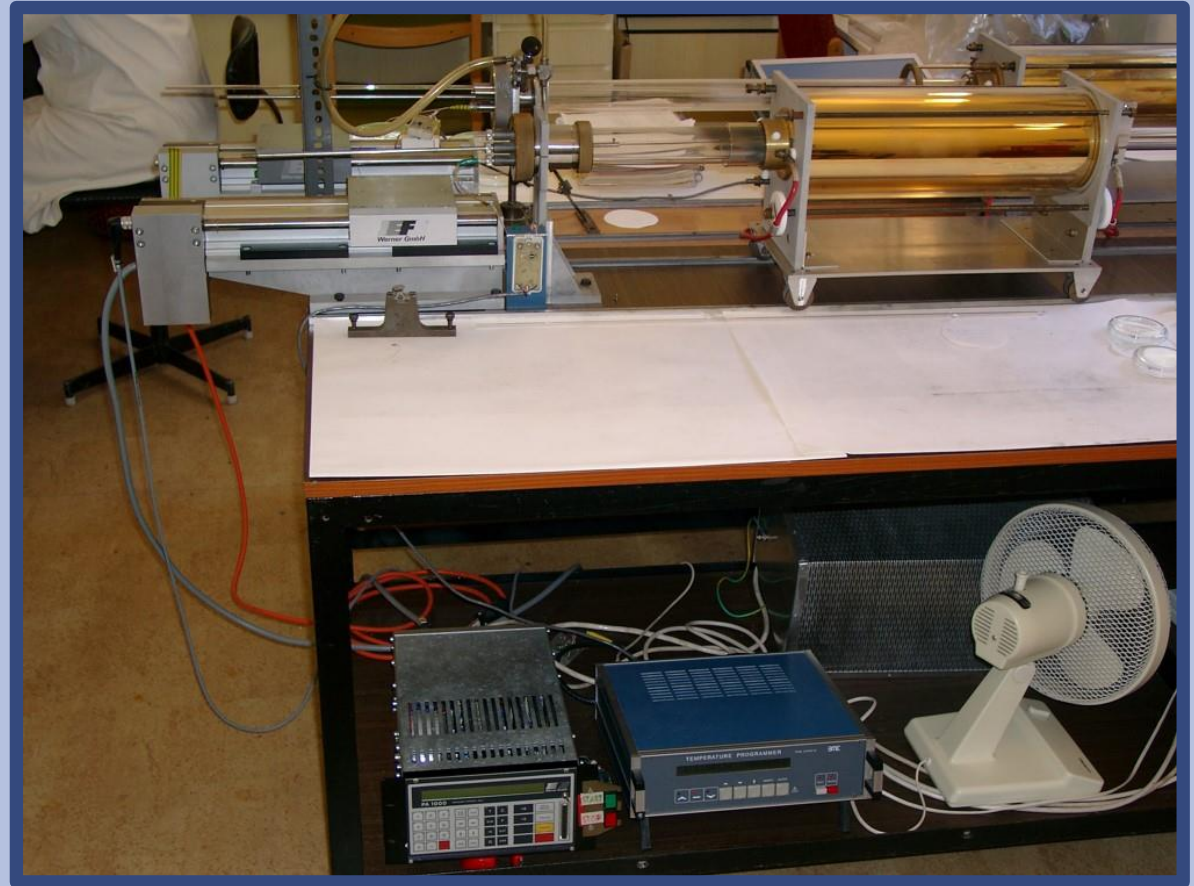
[3]

LPE technológia

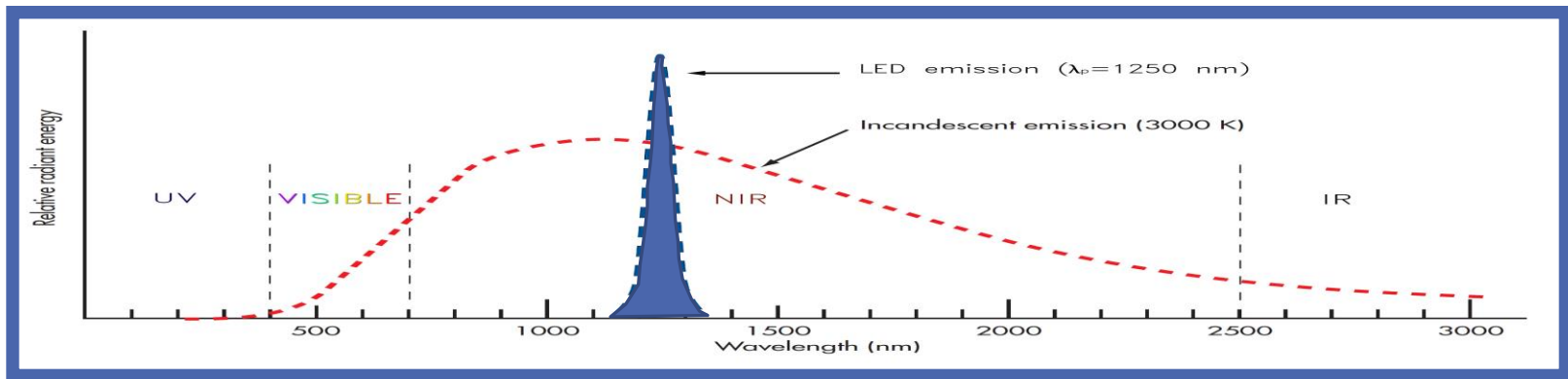
Liquid Phase Epitaxy

Folyadékfázisú epitaxia

- nagyon pontosan beállíthatók kis rétegvastagságok
- viszonylag olcsó és egyszerű
- anyagtakarékos
- gyorsan készíthetők kis sorozatok
- kísérleti-kutatási célokra és kissorozatú gyártásra ideális

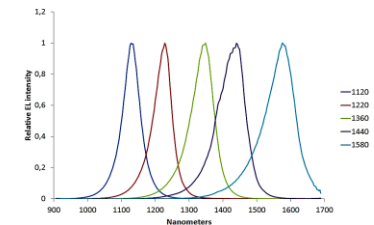
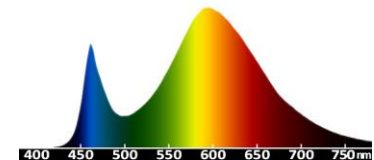


Sávszélesítés



Lehetséges elvi megoldások:

- fénypor alkalmazása (világítástechnikában elterjedt)
- aktív rétegek szerkezeti kialakításával (pl. tandem LED)
- eltérő hullámhosszúságon sugárzó LED-ek csoportja

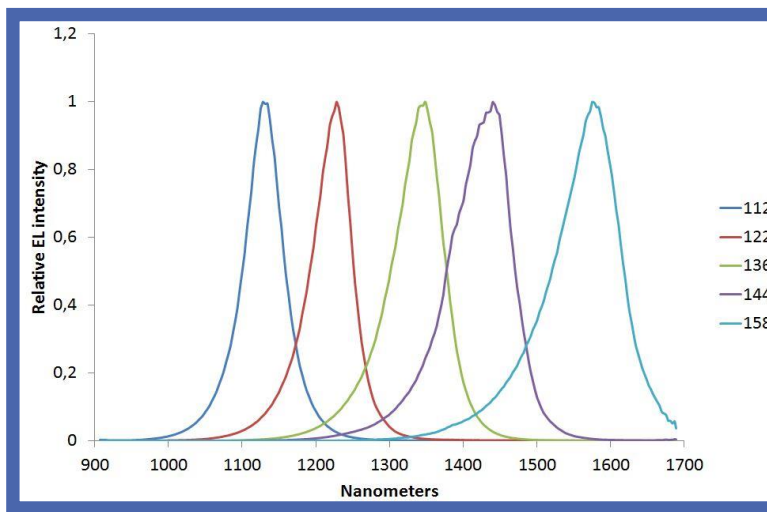


Sávszélesítés

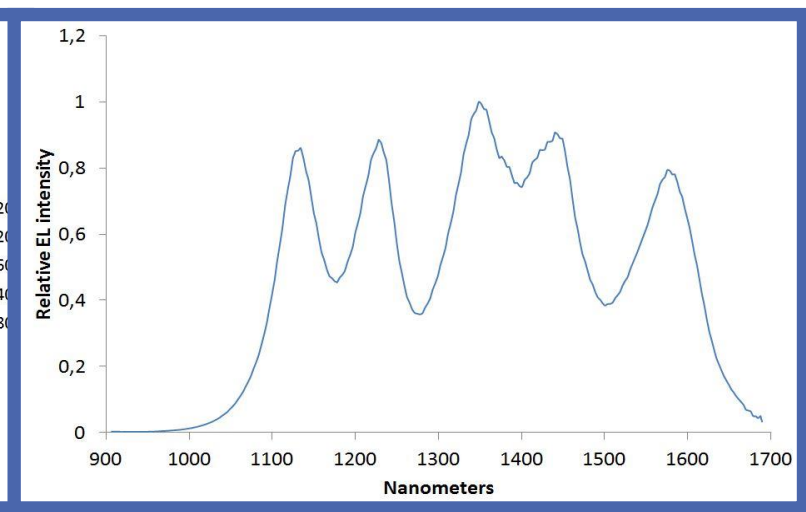
InGaAsP/InP LED sorozat

5 chip IR LED array relatív sugárzási spektruma:

elvi



megvalósított, mért



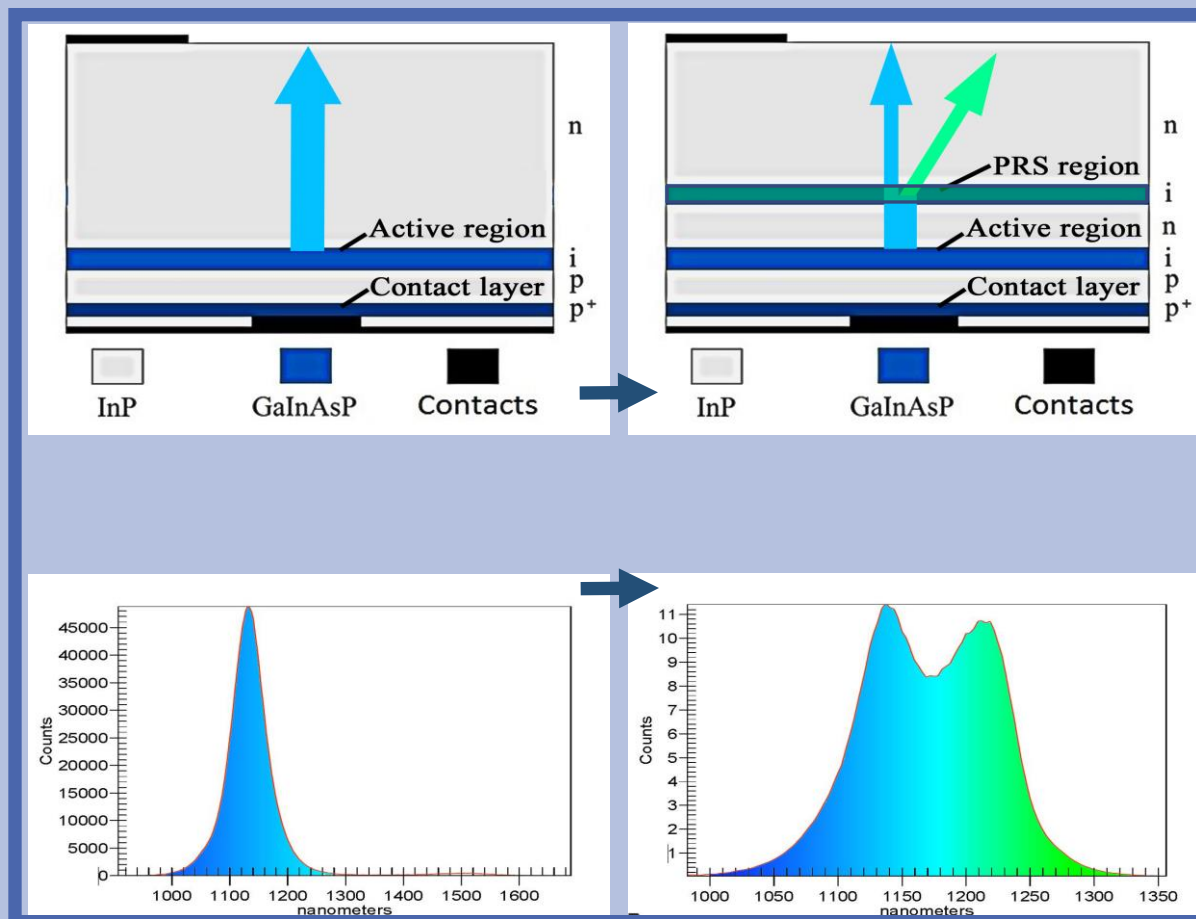
Sávszélesítés lumineszkáló réteggel

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

Egy része a további rétegeket gerjeszti

Lumineszkálással több sugárzási csúcsot valósít meg

PRS=Photon Recycling Semiconductor



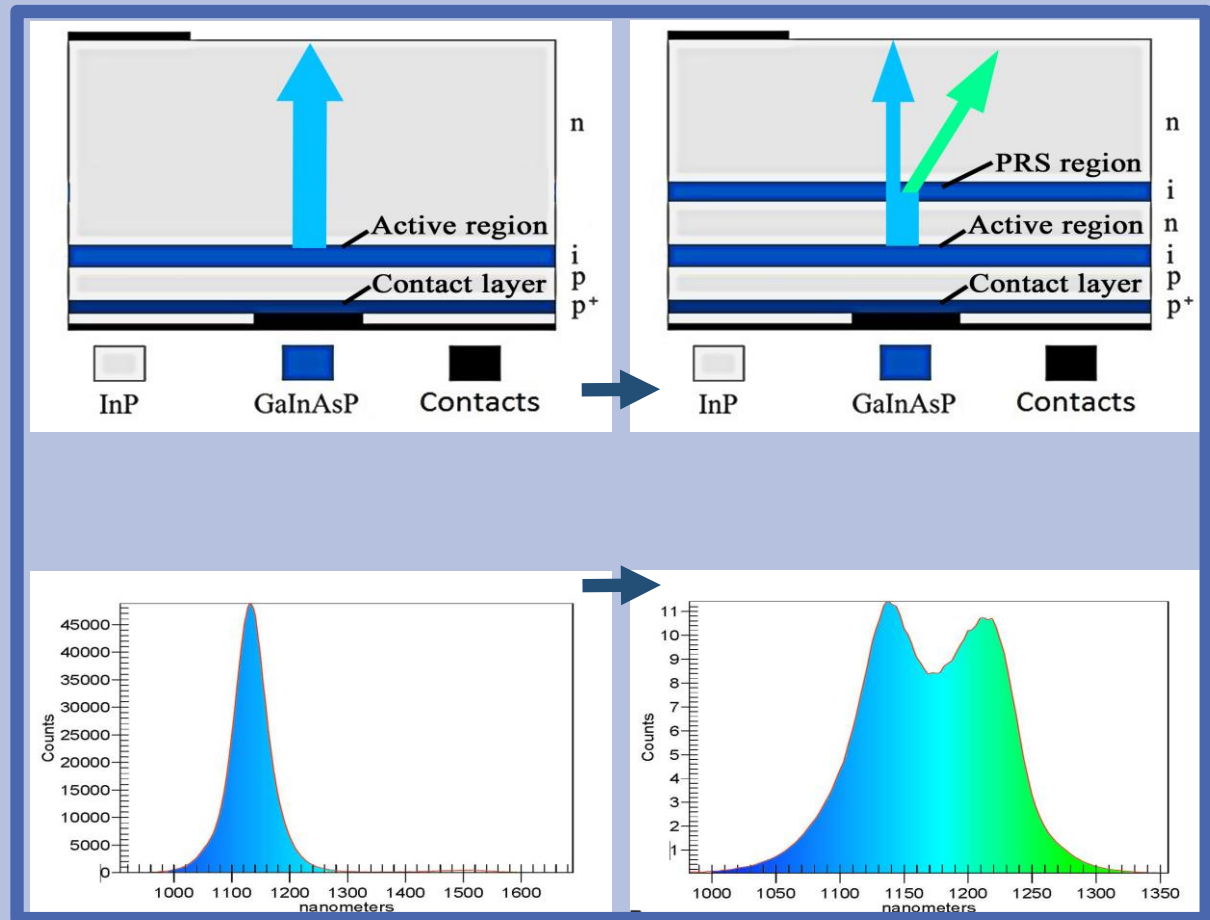
Sávszélesítés lumineszkáló réteggel

A kontaktusréteg alatt körben szigetelő van

A kis kinyitott kontaktuson nagy áramsűrűség -> nagy sugárzási intenzitás

A hőelvezető felület nagy, a hőellenállás kicsi -> az aktív réteg kevésbé melegszik

A sugárzási kúpszög 2-3°, a sugárzás nagyon jól irányítható



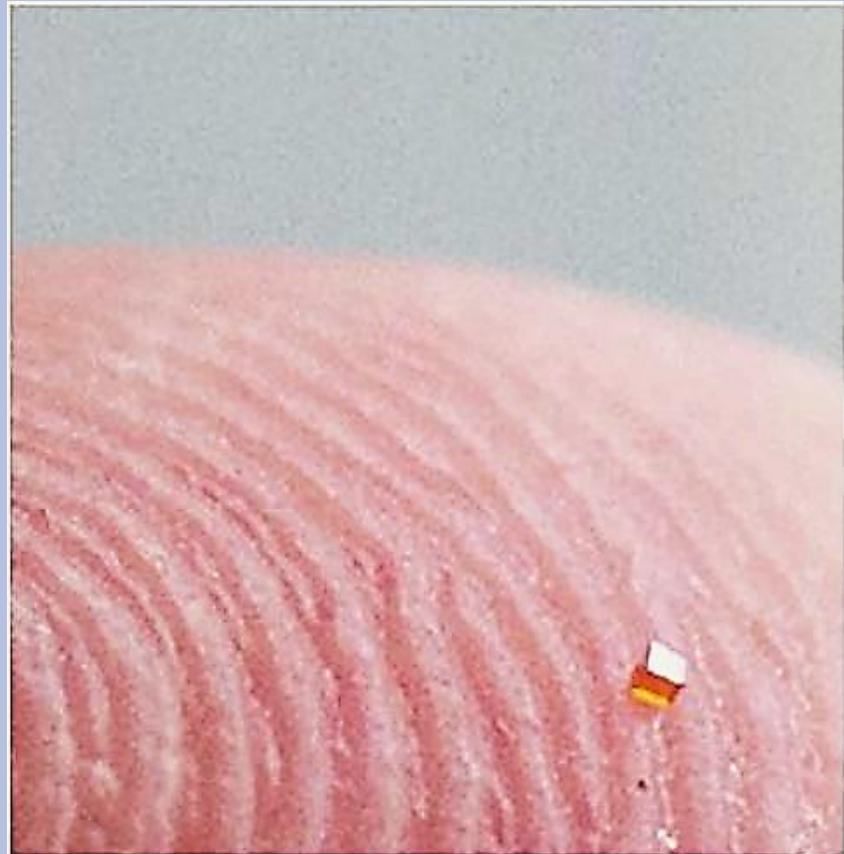
Kutatási irányok

- Lehet-e több (2-3) lumineszkáló réteggel GaInAsP/InP NIR LED-eket készíteni?
- Ha igen, milyen áron? (hatásfok, technológiai nehézségek, gazdaságosság)
- Pufferrétegek szerepe, vizsgálata.
- Rétegvastagságok szerepe.
- Rétegek egymásra hatásának szerepe. (p-n átmenet és lumineszkáló réteg kölcsönhatása, szomszédos lumineszkáló rétegek kölcsönhatása)



Mérések

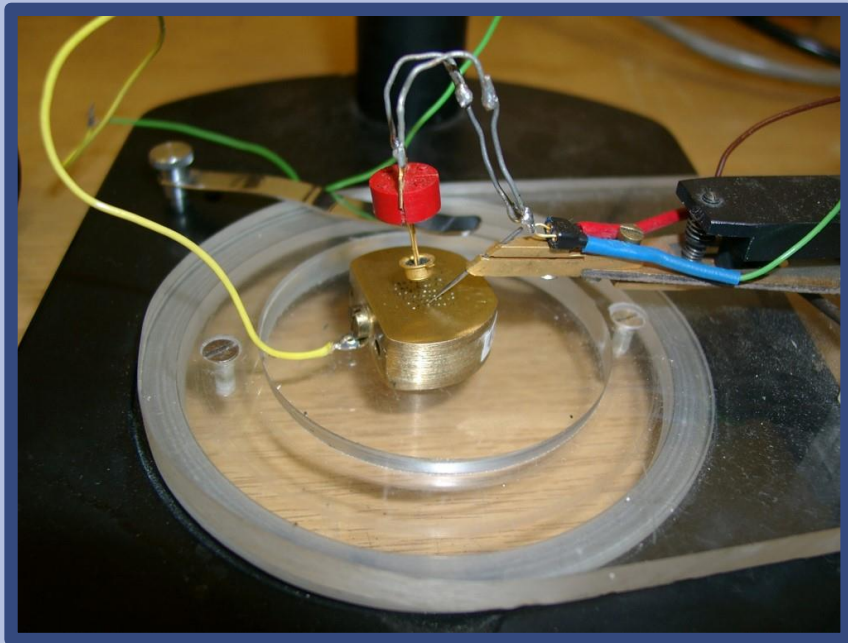
A tokozatlan LED.



Mérések

Tűs méréssel a LED teljes emisszióját és karakterisztikáját lehet mérni.

További mérési mód a külső gerjesztéssel mért lumineszkálás.



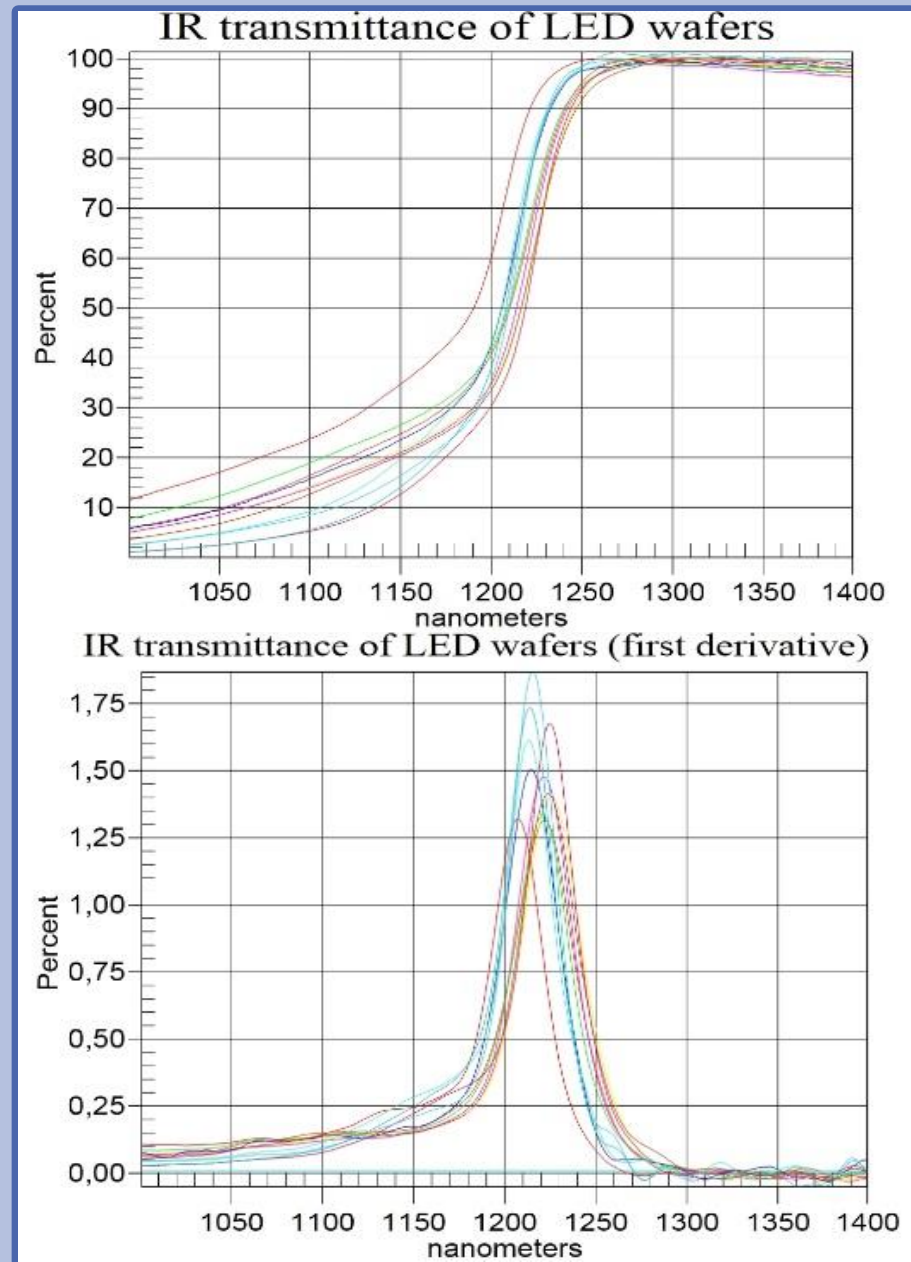
Mérések

Bemért tokozott LED-ek.

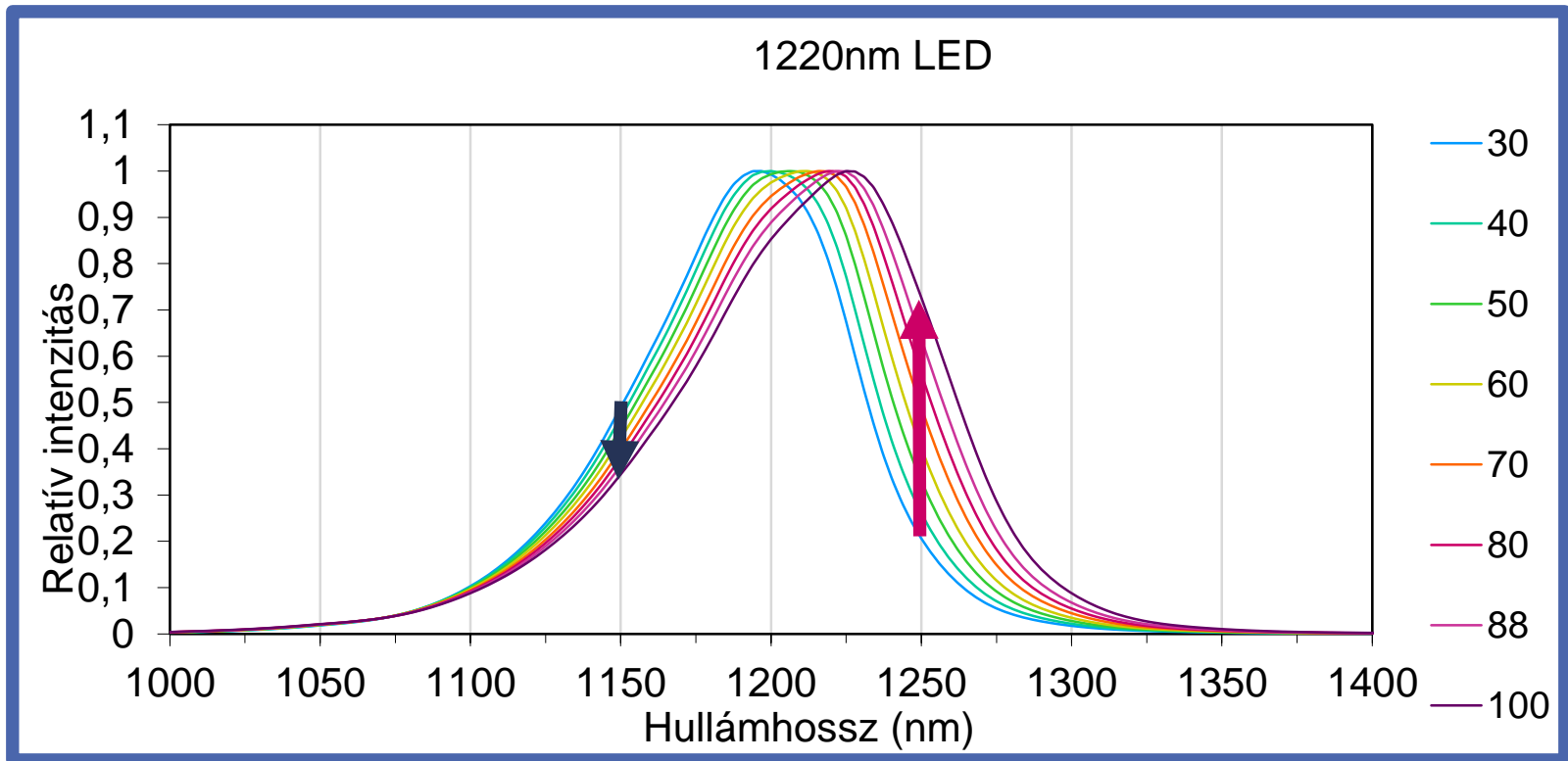


Mérések

A növesztett diódák sugárzási csúcsának ellenőrzéséhez egyszerű passzív spektrális transzmisszió mérés elegendő, ahol a transzmisszió gyors növekedési szakasza (első deriváltjának csúcsa) mutatja meg a sugárzási csúcsot.

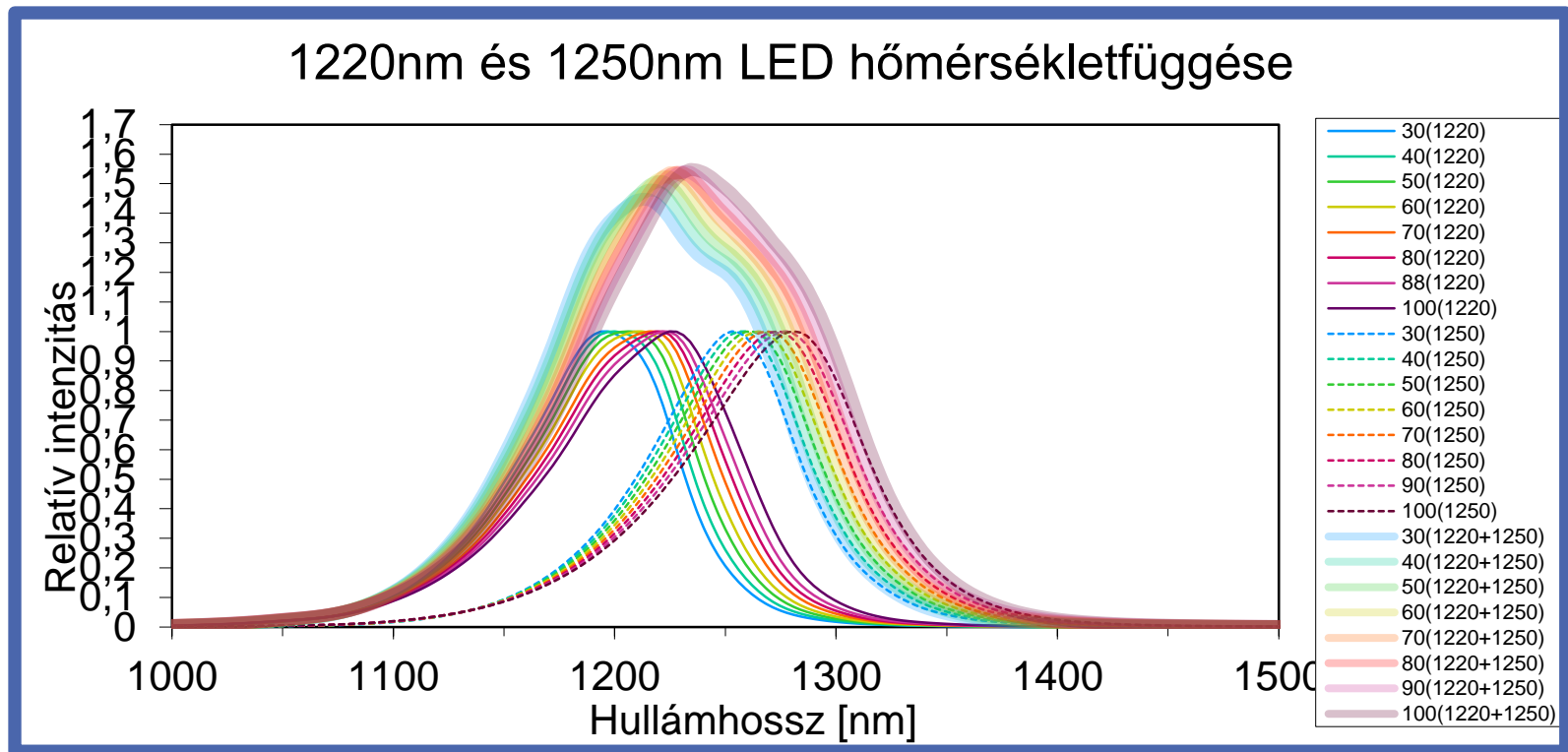


Hőmérsékletfüggés



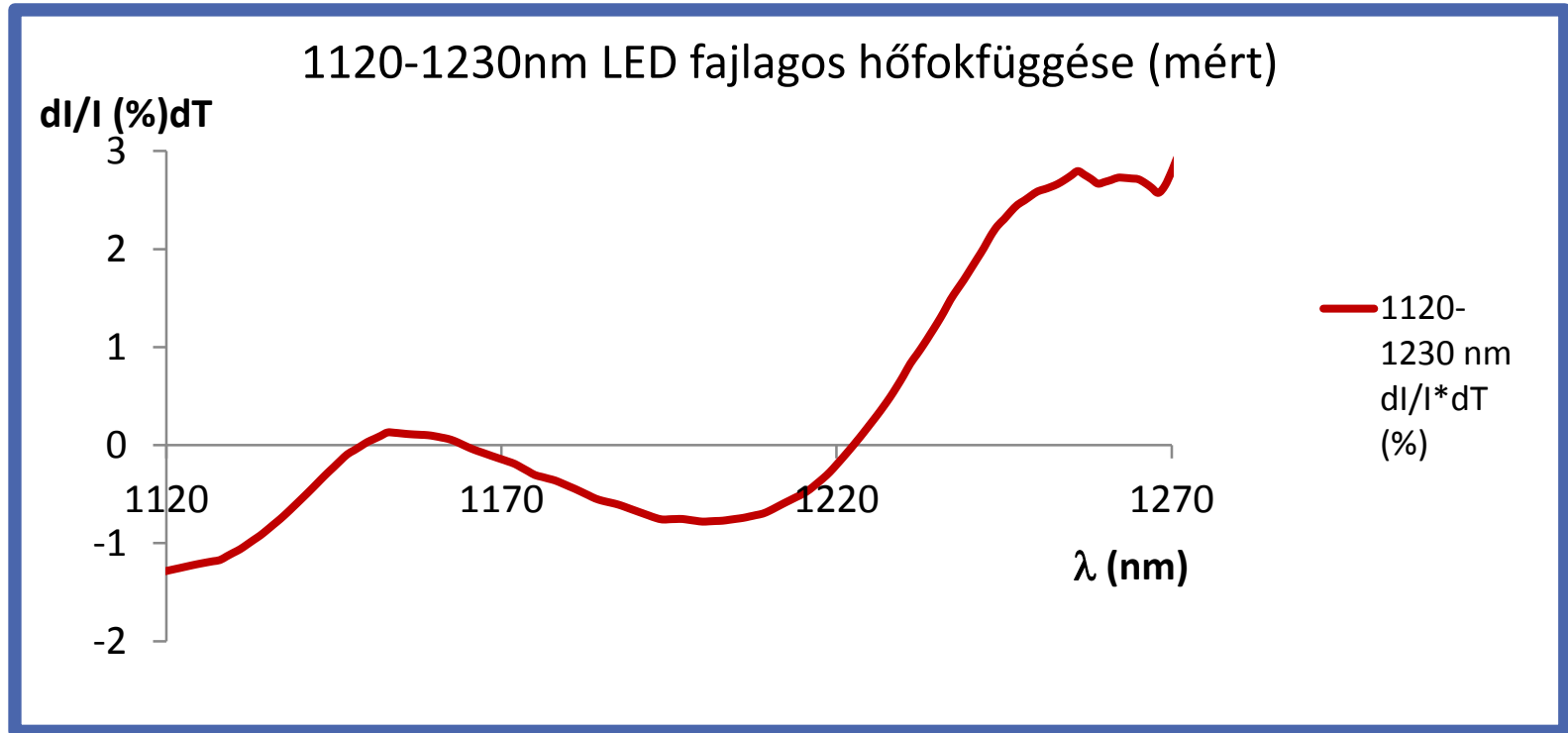
Hőmérsékletváltozás hatására egymáshoz közel álló hullámhosszokon nemlineárisan és ellentétes irányban változhat a sugárzás intenzitása

Hőmérsékletfüggés



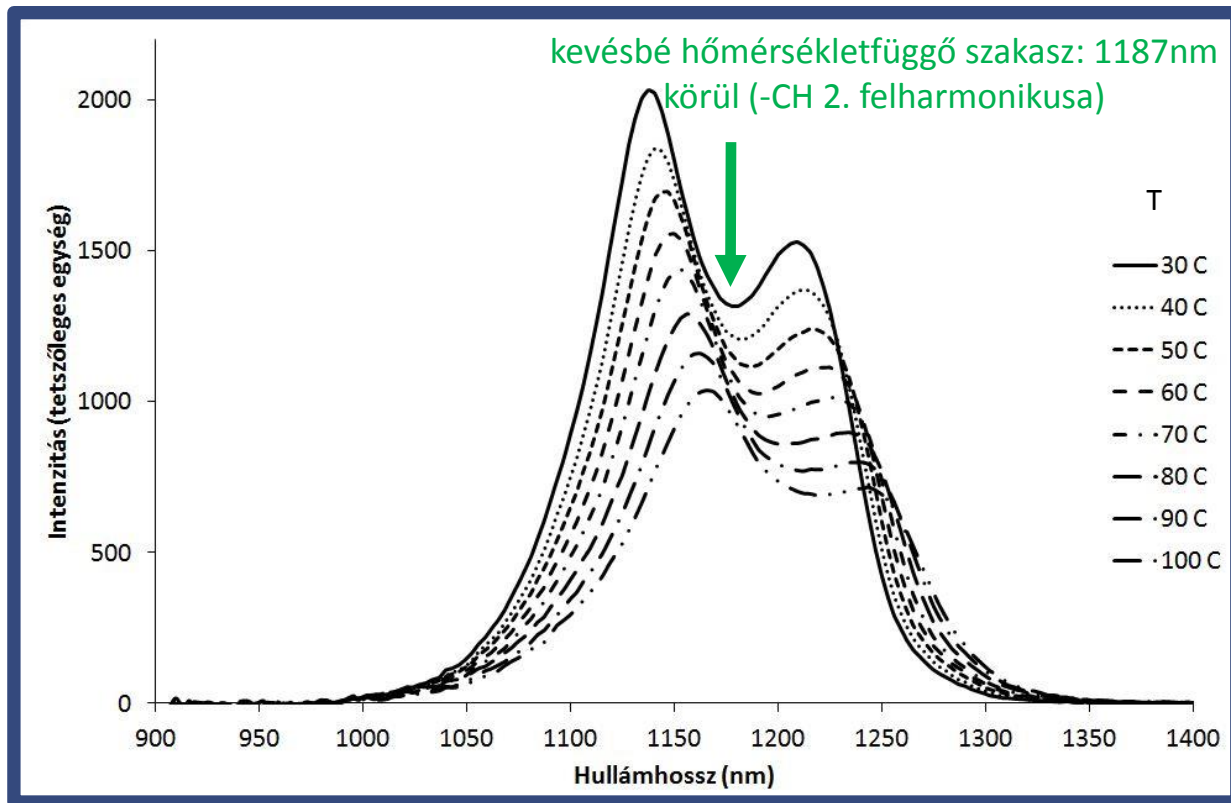
A két réteg sugárzása összeadódik, de hőfokfüggés jellege nem változik

Hőmérsékletfüggés

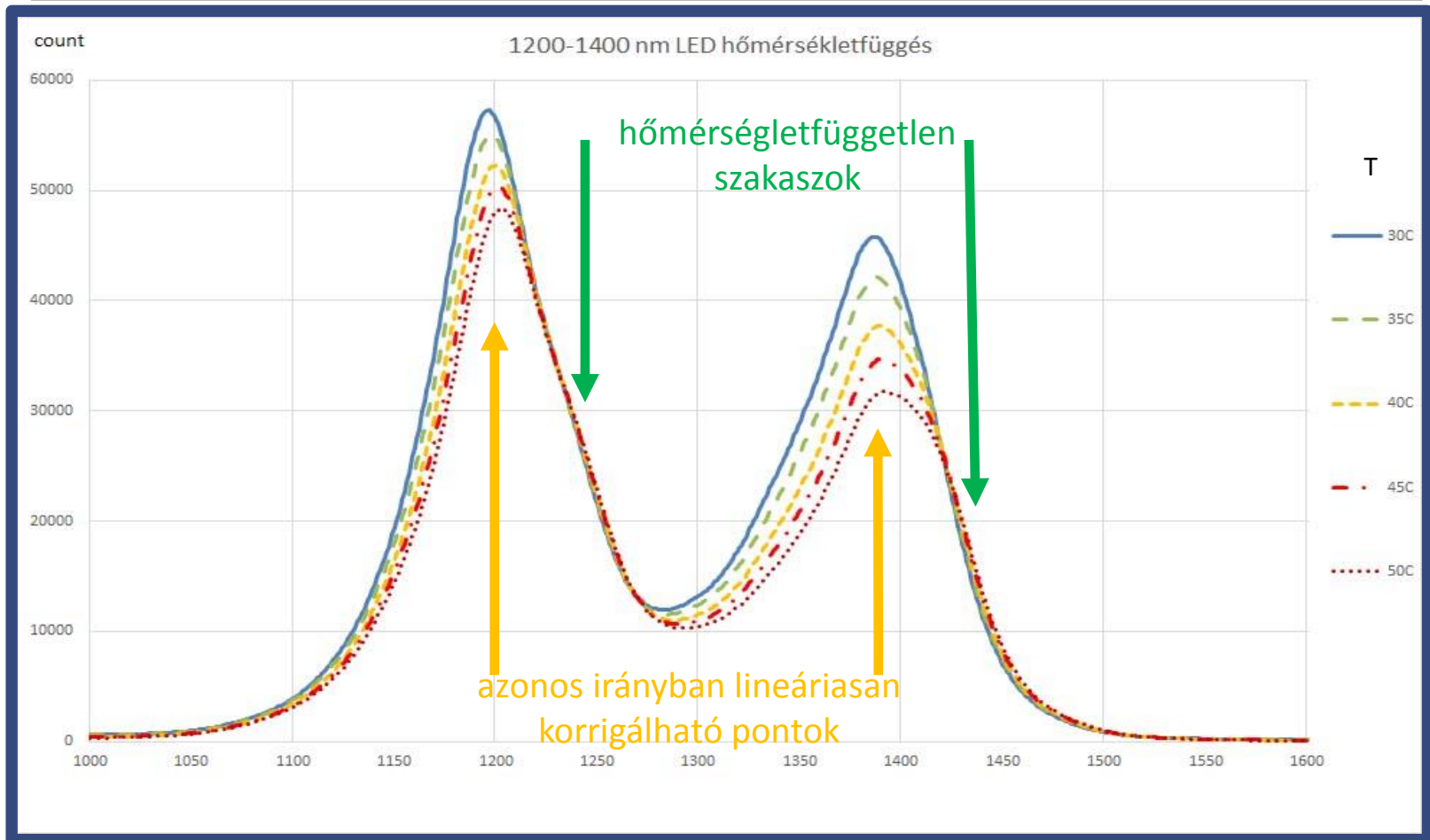


Lumineszkáló 1120-1230nm-es LED mért fajlagos (%) hőfokfüggése. A két sugárzási csúcs közt közel lineáris szakasz. Hőmérséklet kompenzálás nélküli méréstechnikai felhasználási lehetőség.

1150-1220 nm LED hőmérsékletfüggése



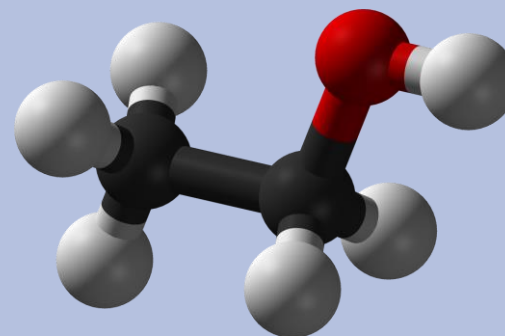
1200-1400 nm LED hőmérsékletfüggése



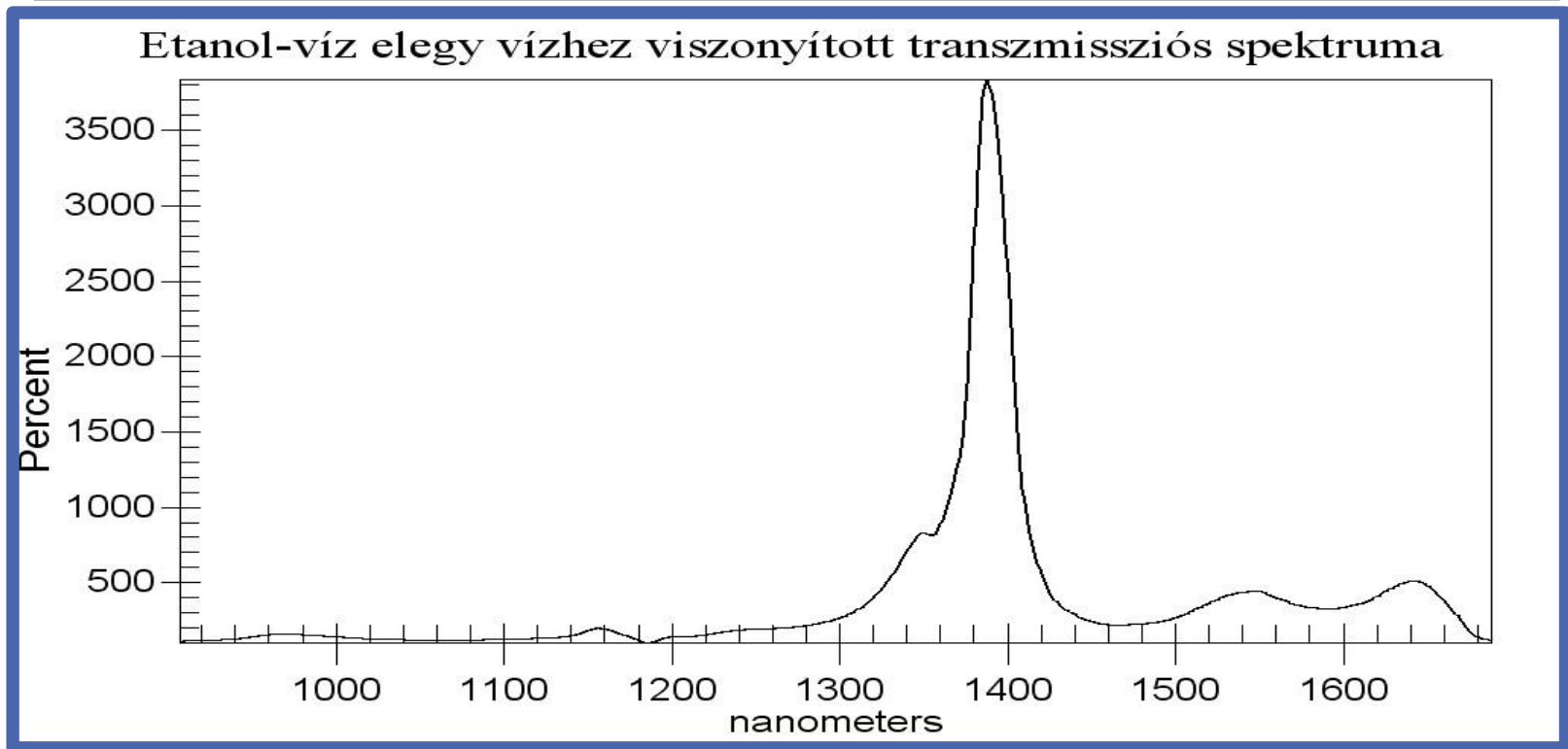
Etanol kimutatása vízben

GaInAsP/InP LED
optimalizálása etanol
kimutatására, etanol-
víz elegyben

- Modellanyag
- Jól reprezentálja szerves anyagok mérését a gyakorlatban (pl. etanol, víz és „egyéb” szerves anyagok arányainak kimutatása)
- Emberi szövetek, szerves növényi anyagok –OH –CH kötéseinek kimutatása vízben nagyon hasonló



Etanol kimutatása vízben



Az etanol koncentrációját a vízhez képest az 1400nm hullámhossznál lehet mérni, ahol az éles letörésnél jelentős a relatív abszorpciós különbség a két anyag közt. [1]

Mérési elrendezések

Mérési alapelrendezések:

- szélessávú forrás – minta – 3 detektor



- szélessávú forrás – minta – 3 szűrő – 1 detektor



- 3 fényforrás – minta – 1 (nagyfelületű)detektor



Mérési elrendezések

- **3 keskenysugárzó LED + ref. dióda – minta – 1 detektor**

Hátránya: nagyfelületű detektor kell

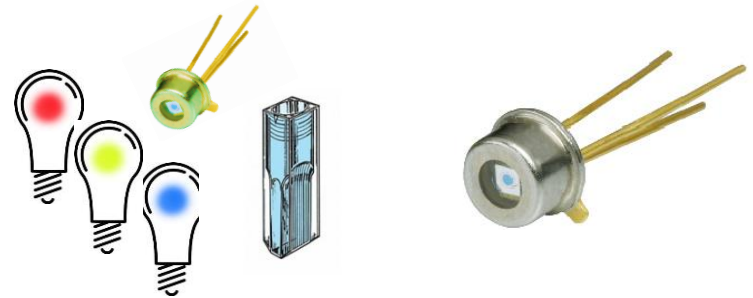
nagy felületű detektor kell, nagy a sötétárama
nem pontszerű

geometriailag nem optimális az elrendezés

hőmérséklet függése, öregedése eltérő

szűrőzése (ha szükséges) drága

monitordióda téves referenciaszintet szolgáltat



- **1 többsávú LED – minta – 1 szendvicsdetektor**

Előnye:

többsávú LED esetén pontszerű sugárforrás

hullámhosszeloszlása stabil

hőmérséklet- és áramingadozás függése minimális

optimális geometriai elrendezés

könnyen elkülöníthető hullámhosszok

szűrőzése (ha szükséges) olcsó

olcsó Si diódával a minta után is mérhető a referenciaszint



Etanol-víz elegy mérése mint célfeladat

3 keskenyensugárzó LED – minta – 1 detektor

$\lambda_1=1200$ nm: $\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = \alpha_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \rightarrow$ egyenlő abszorpció

$\lambda_2=1300$ nm: $\alpha_{\text{H}_2\text{O}} \gg \alpha_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \mid \alpha_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}(\lambda) \geq \alpha_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}(1450) \rightarrow$ etanol min. absz.

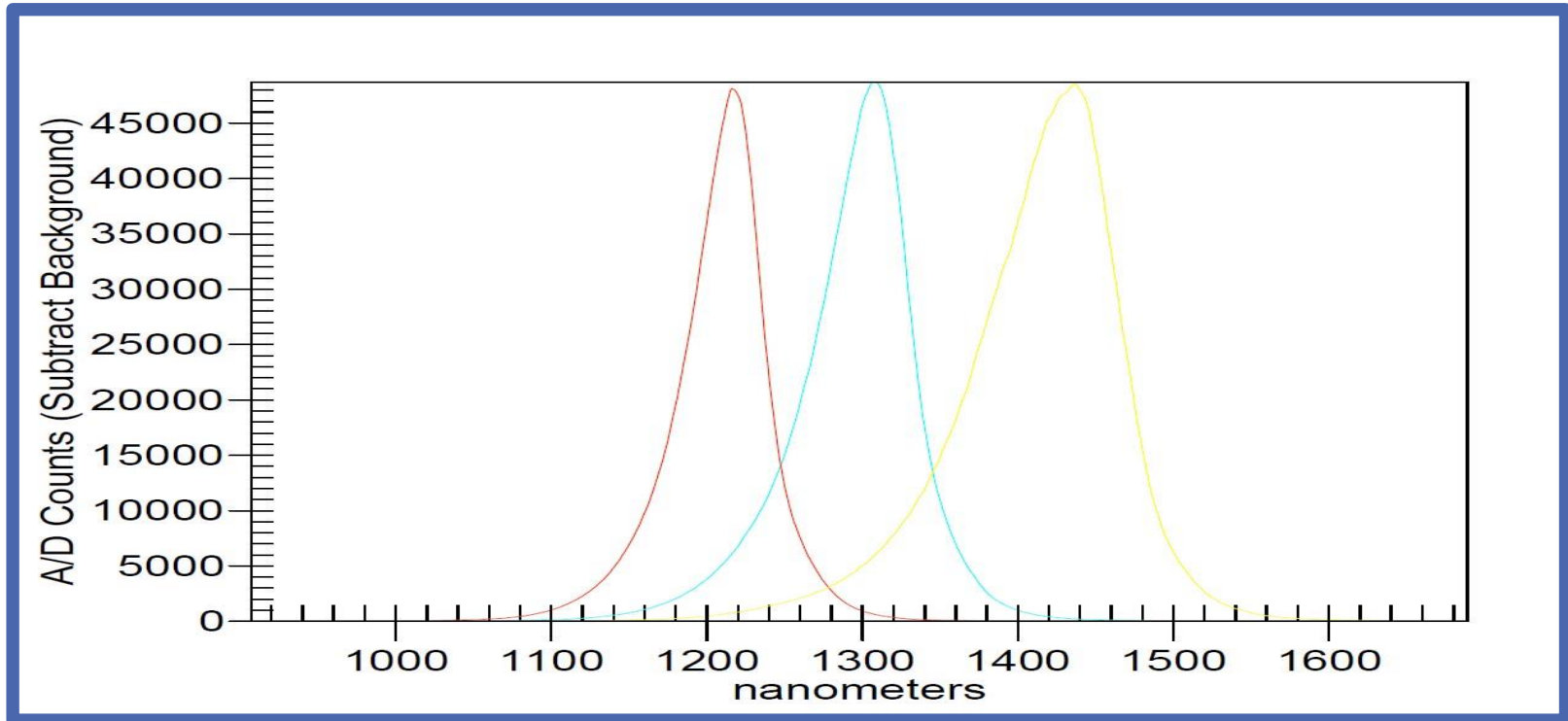
$\lambda_3=1450$ nm: $\alpha_{\text{H}_2\text{O}} \gg \alpha_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \rightarrow$ víz max. absz.

Detektor: Si 1100 nm-ig + InGaAs 1700 nm-ig mér -> szendvicsdetektor

Kalkuláció: mért értékek $\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3$ -nál ($\lambda_1 \pm \Delta\lambda; \lambda_2 \pm \Delta\lambda; \lambda_3 \pm \Delta\lambda$ -nál)

empirikus és kalibráción alapuló függvénnel etanol koncentráció

Korábbi szabadalom etanol-víz mérésére



Szabadalomban <US8106361B2> etanol kimutatására (kézi műszerrel), a méréshez használandó három független LED sugárzása egy diagramban ábrázolva (MFA-ban fejlesztett LED-ek)

Etanol-víz méréshez LED

Célfeladatra
kifejlesztett LED:
1200-1400 nm

jó hatásfokú

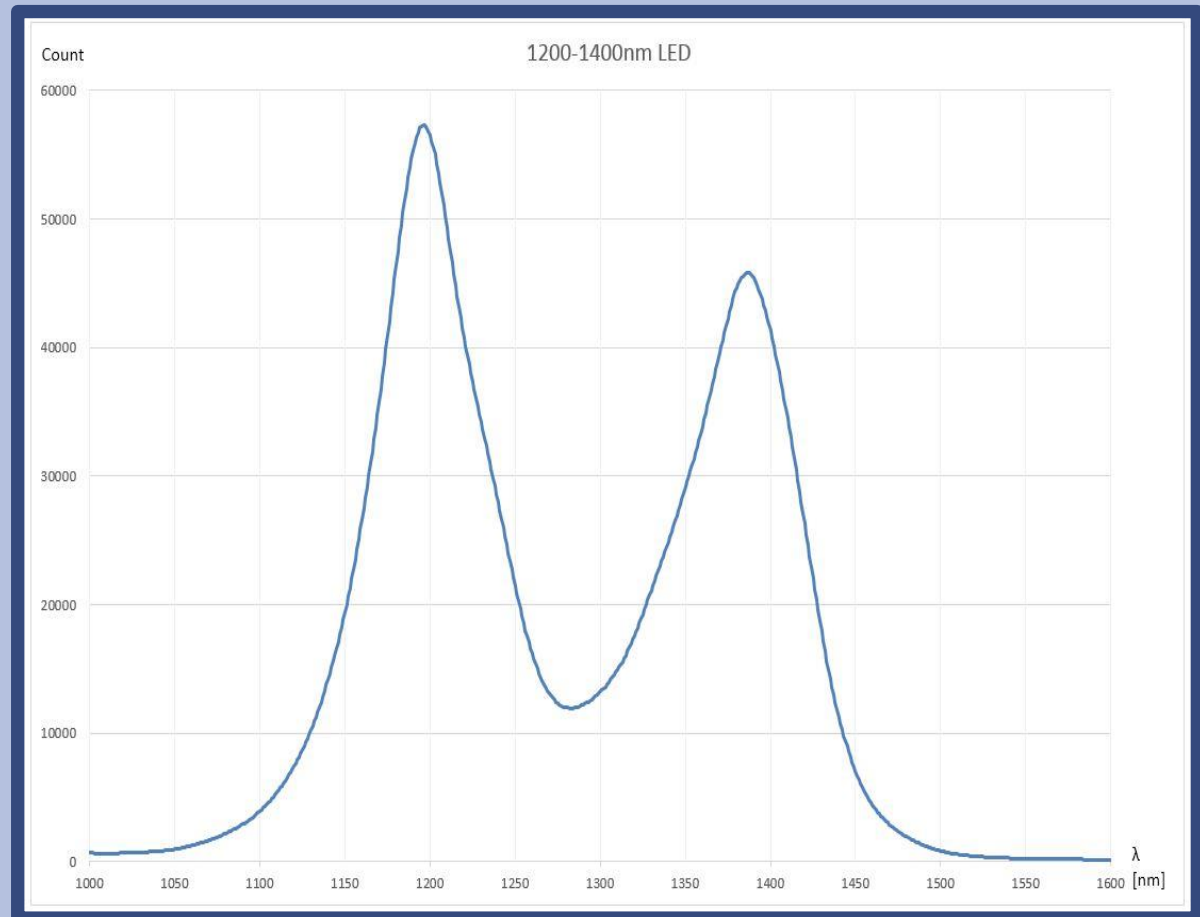
széles sugárzási
tartomány

sugársűrűsége magas
(nem a sugárzott
teljesítménye)

Célfeladatra (csak víz-etanol) elegendő két
hullámhosszon ($\lambda_1; \lambda_3$) mérni

LED InGaAsP:

- két hullámhosszon sugároz ($\lambda_1; \lambda_3$)



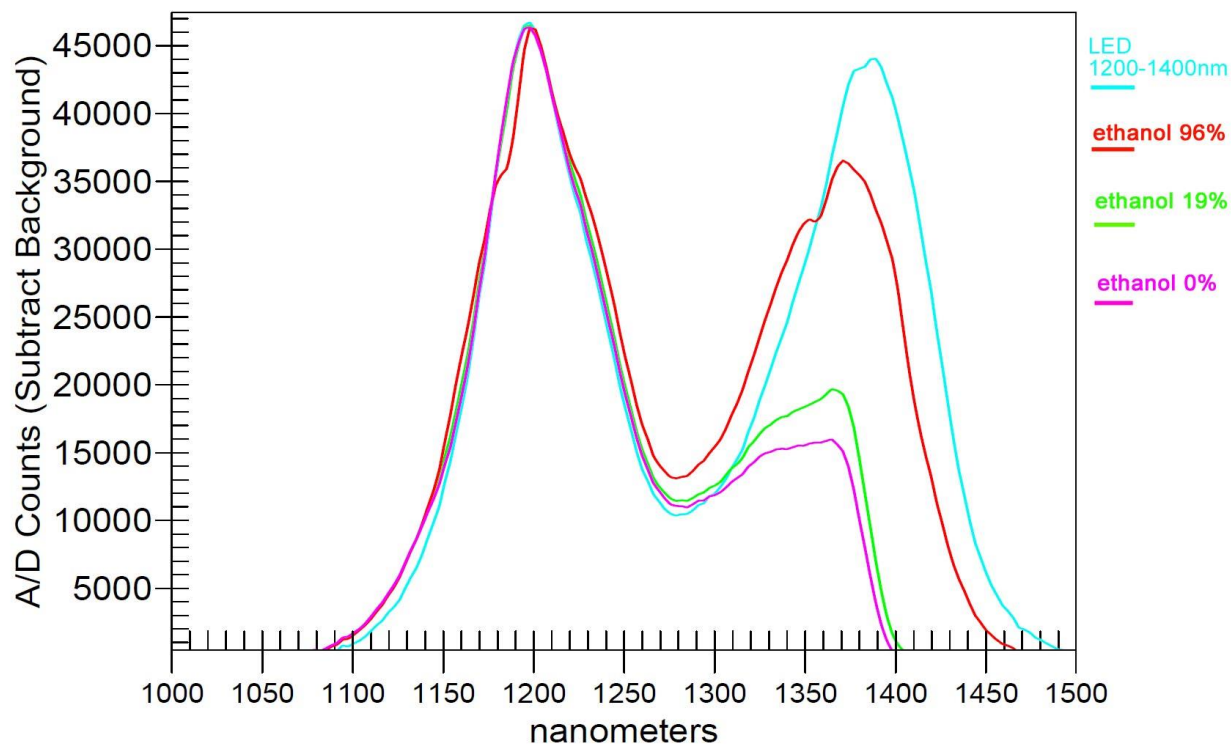
Etanol-víz méréshez LED

Célfeladatra
kifejlesztett LED:
Miért nem 1450nm?

Víz abszorpciós csúcs
1450 nm-nél \rightarrow 0
intenzitás

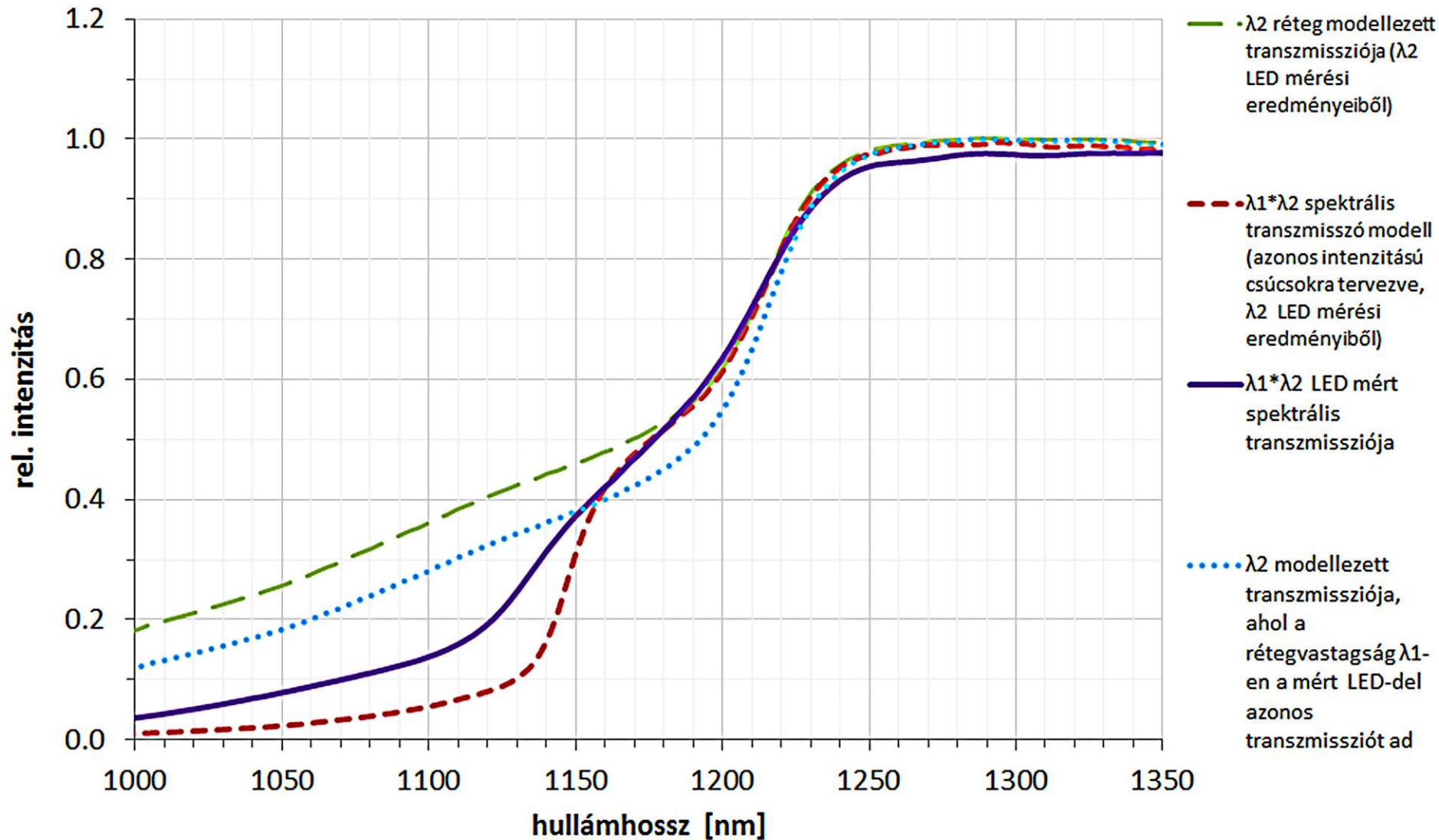
LED spektruma
„kilógna” a
legnagyobb
meredekségű (1390-
1400 nm) szakaszból

1200-1400 nm LED spectra and water-ethanol transmission

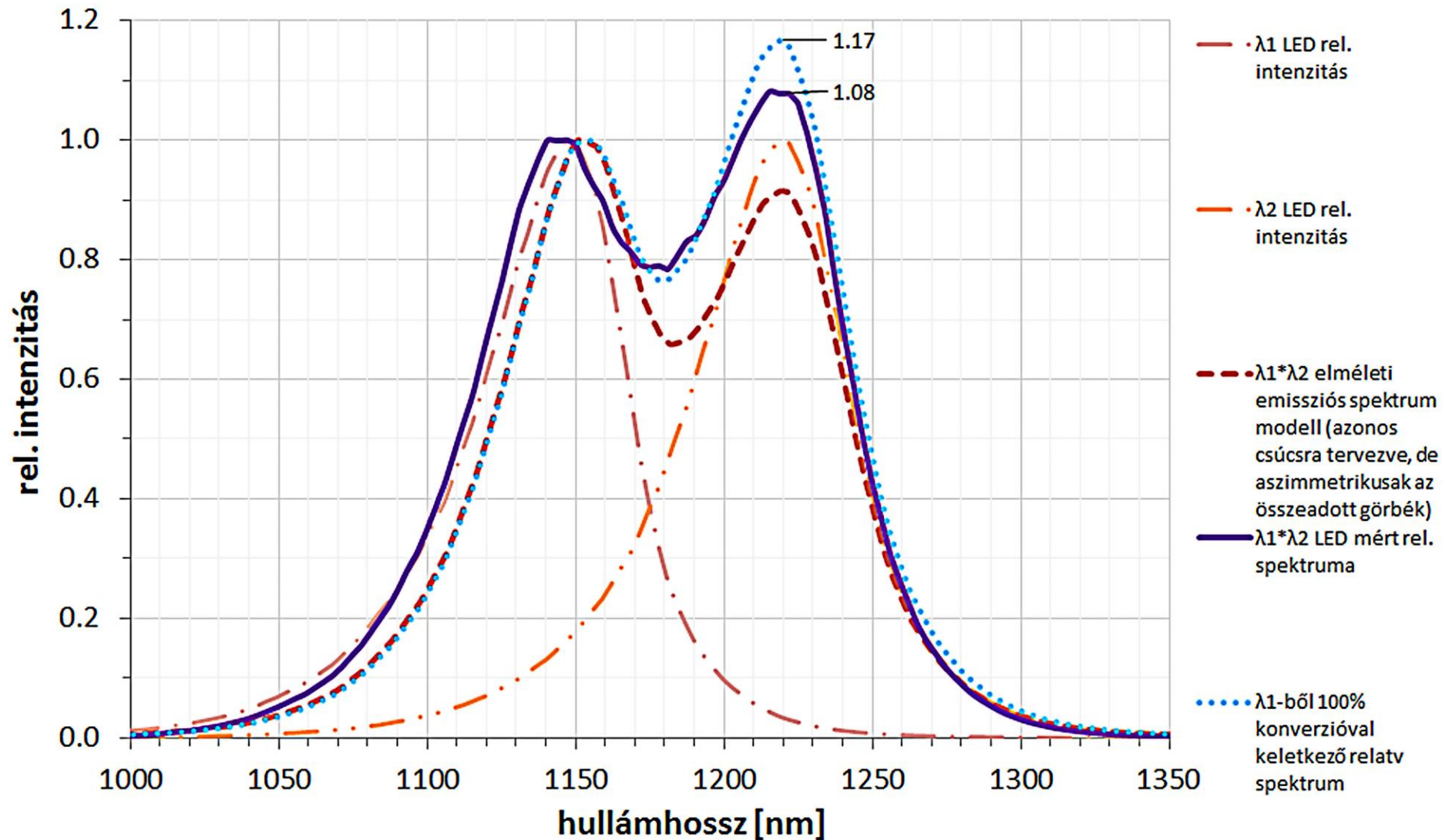


1200-1400 nm LED spektruma és ezzel mért víz-
etanol elegy transzmissziója néhány etanol
koncentráció esetén

Transzmisszók - 1150-1220 LED tervezése



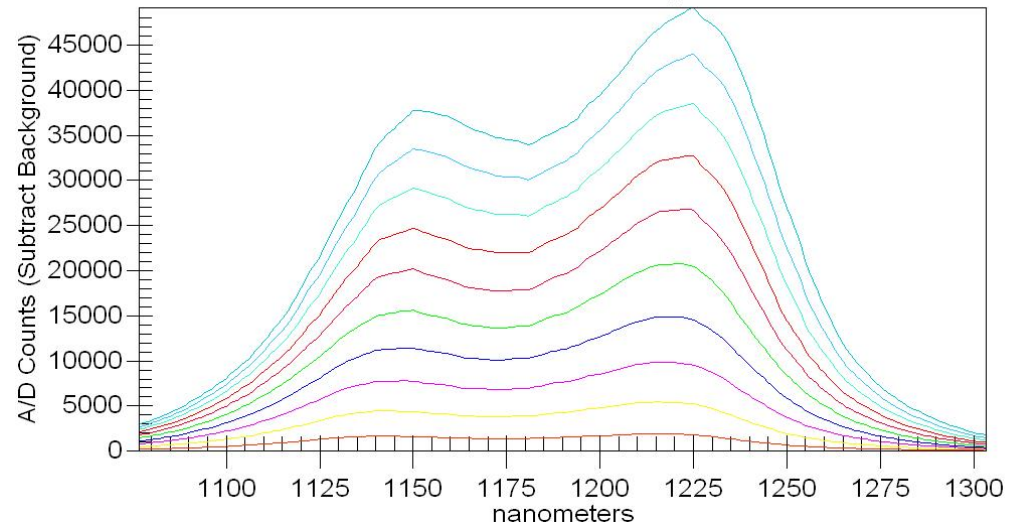
Sugárzási intenzitás - 1150-1220 LED tervezése



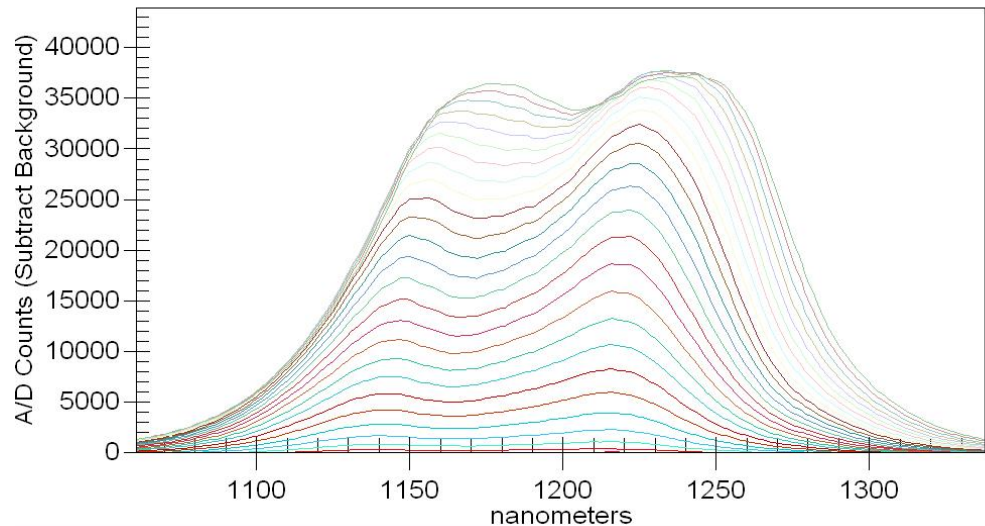
Hatásfok áram- függése

Kis áramok esetén (10-100mA) nagyon jó az emissziós réteg hatásfoka, e felett az áram növekedésével arányosan csökken a hatásfok

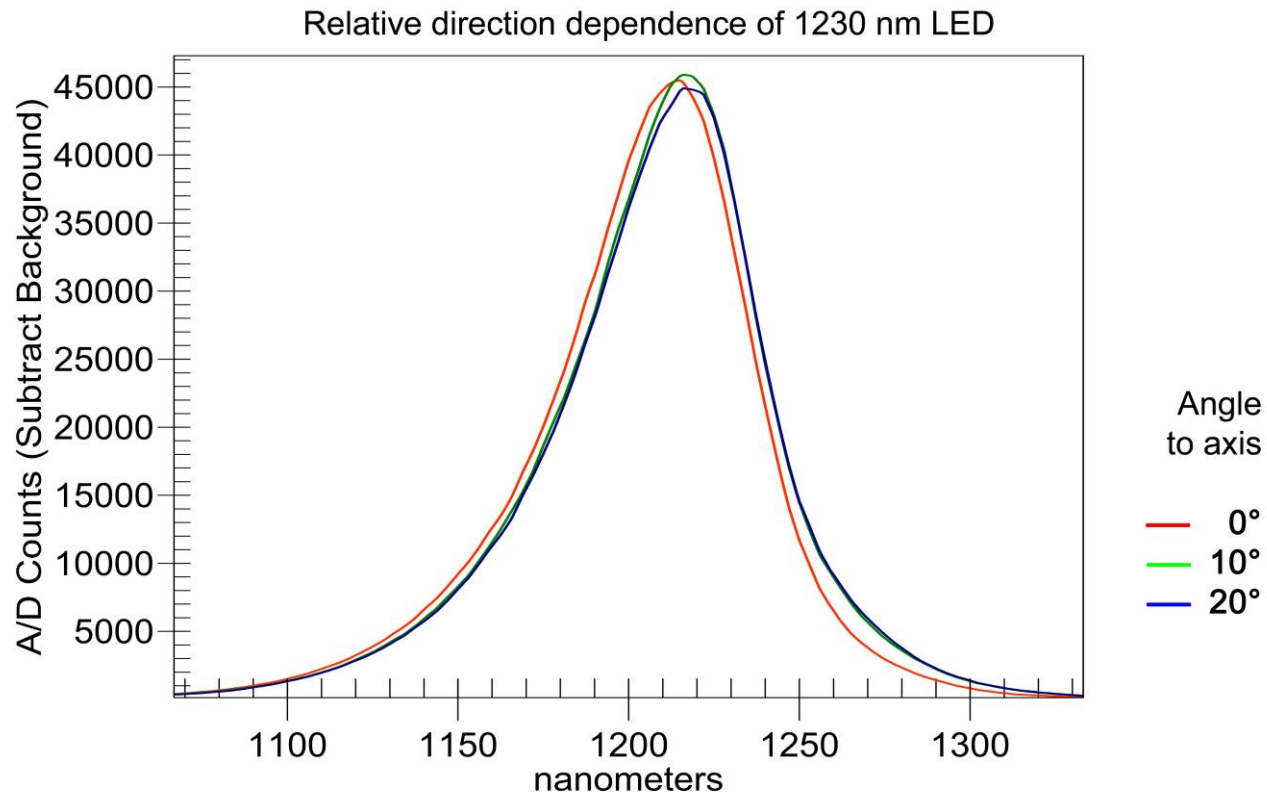
1150-1230 nm LED spectra



SN0000

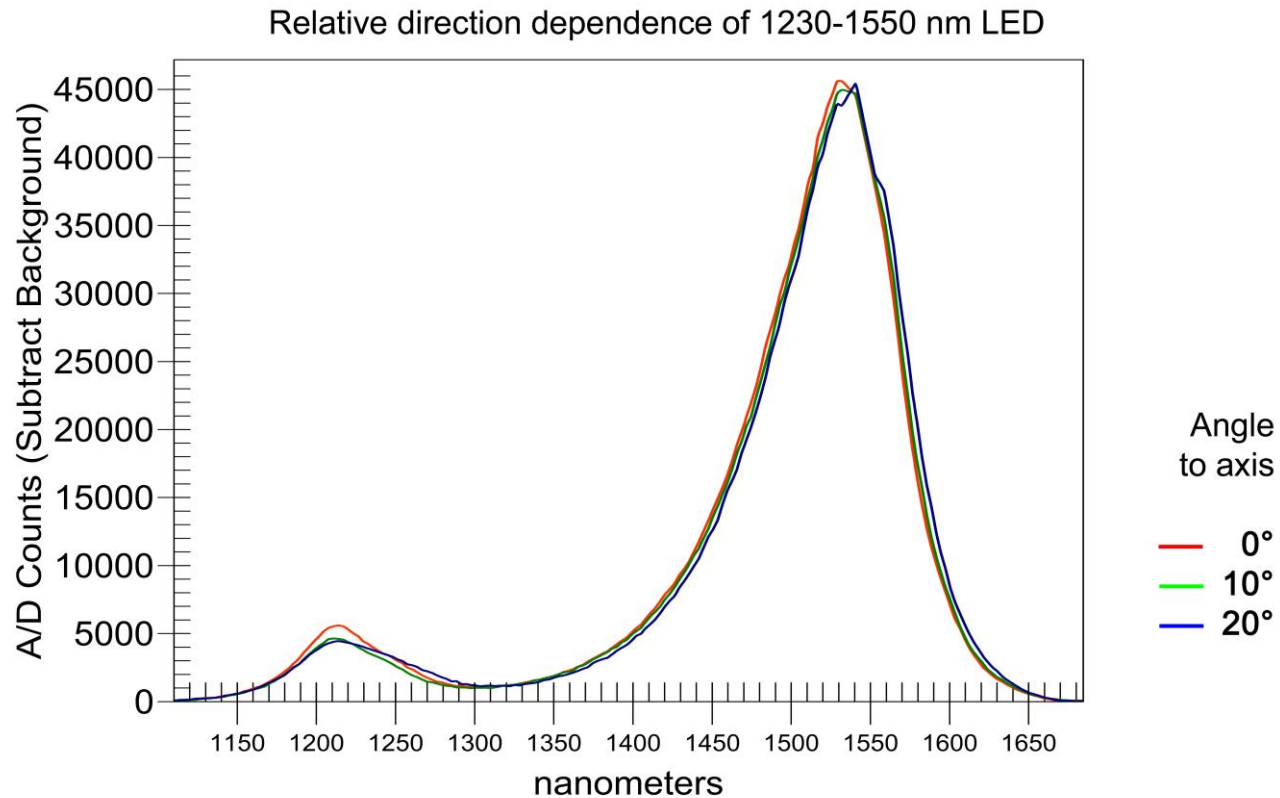


Írányfüggés – 1230 nm LED



Minimális vöröseltolódás, néhány nm

Írányfüggés – 1230-1550 nm LED



A mért irányokban a sugárzás spektruma gyakorlatilag állandó.

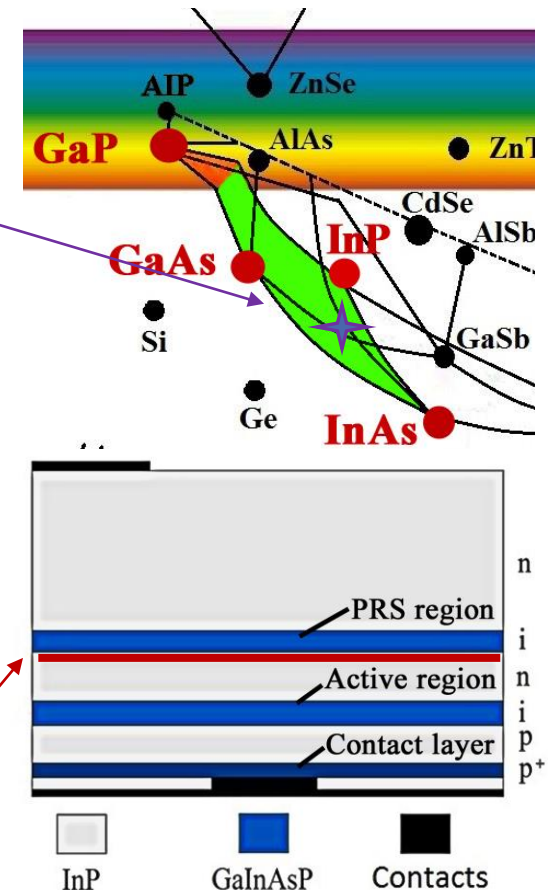
Növesztési körülmények

Növesztési hőmérséklet

- Elegyedési korlát a növesztési hőmérséklet meghatározásában döntő
- 1400nm: már **mind a négy összetevőből relatív sok van**
- A fázisszeparáció elkerülése érdekében növesztéskor magasabb hőmérséklet kell
- 600-650°C szokásos hőmérséklet, itt 645°C
- Lumineszcens réteg kevésbé érzékeny a növesztési hibákra, alacsonyabb hőmérsékleten kivált kristályok kevésbé csökkentik a hatásfokot, mint p-n átmenetben, visszaoldódási hajlamot ugyanakkor csökkenti.

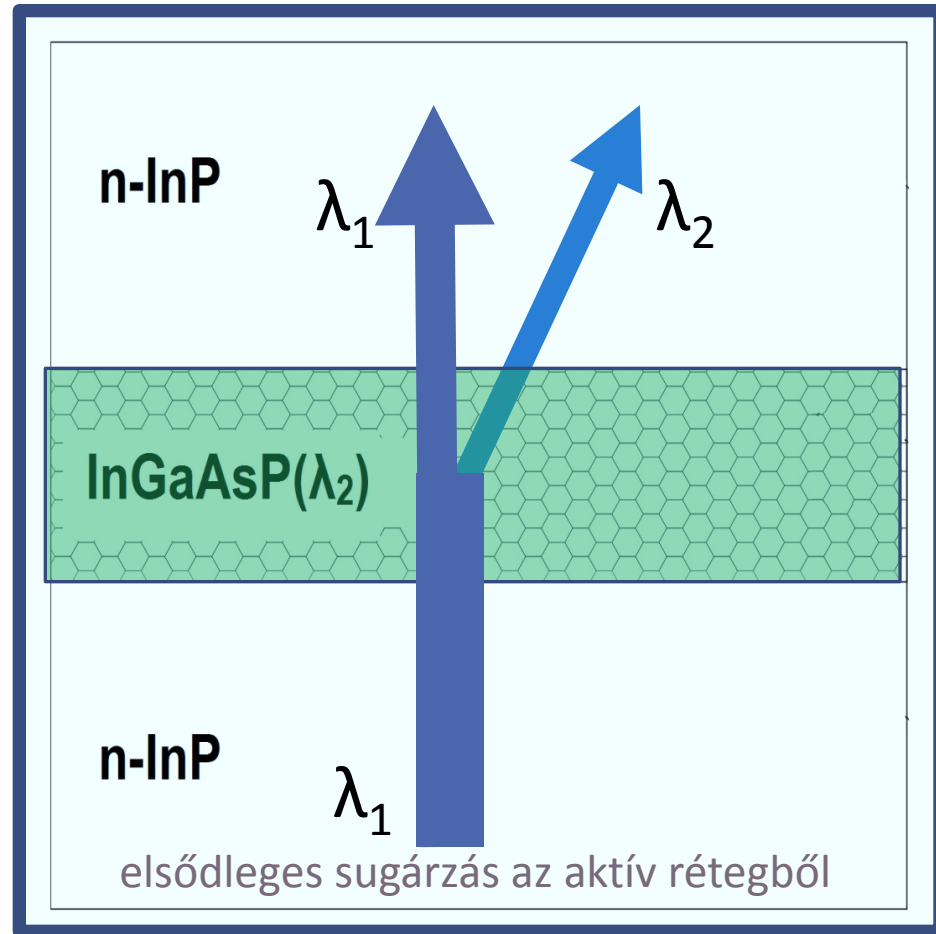
Visszaoldódás

- A lumineszkáló réteget követően **visszaoldásgátló réteg** növesztése (praktikusan 1200nm összetétellel).

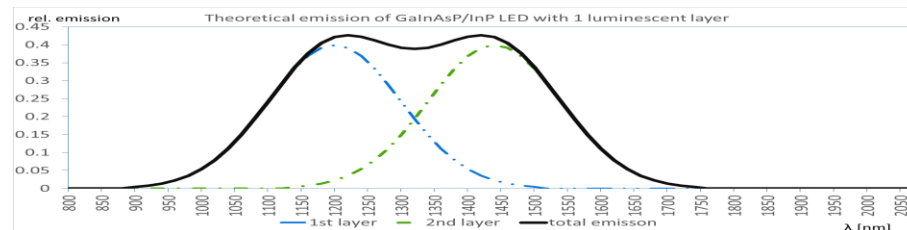


Hullámhossz konverter **egy** lumineszkáló

Nincs külön abszorpciós és emissziós réteg



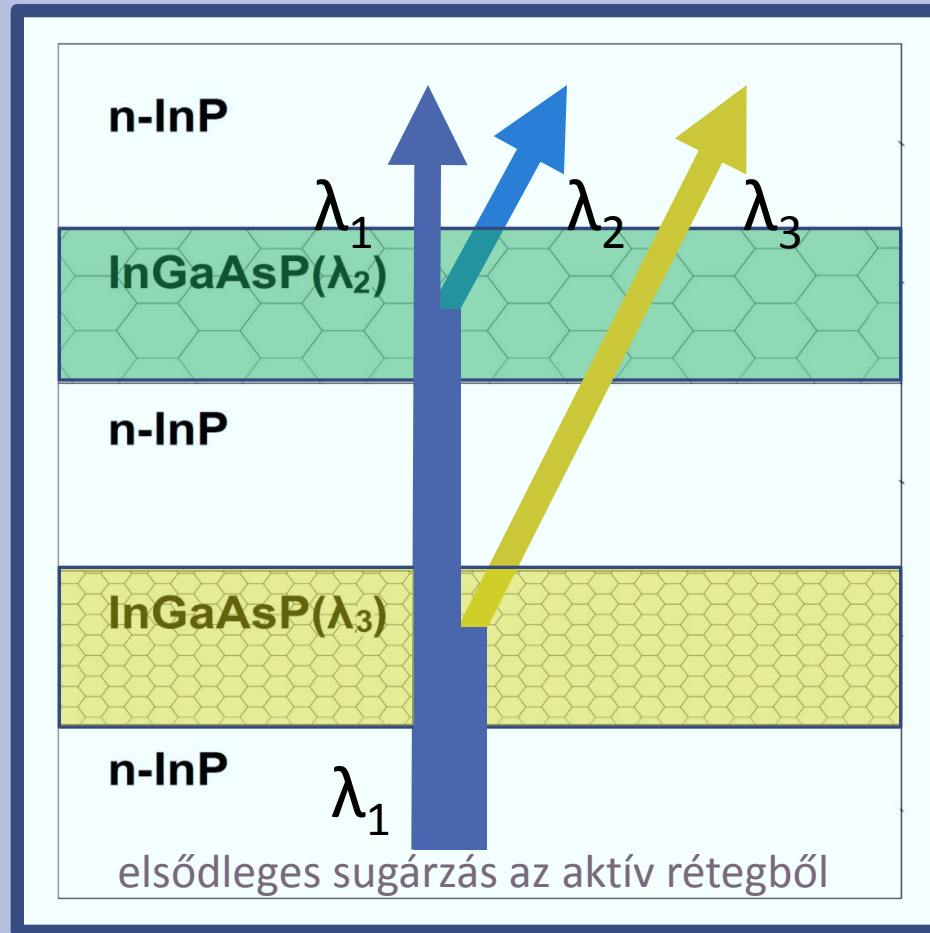
$$\lambda_1 < \lambda_2$$



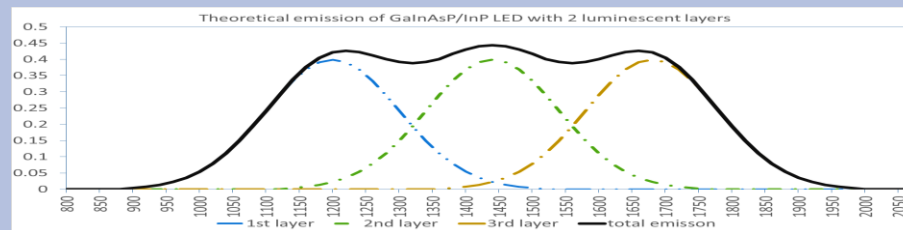
Nádas József: GaInAsP/InP LED-ek kutatása és spektroszkópiai alkalmazása a közeli infravörös tartományban (Féléves beszámoló 6)

Hullámhossz konverter két lumineszkáló

Nincs külön abszorpciós és emissziós réteg



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



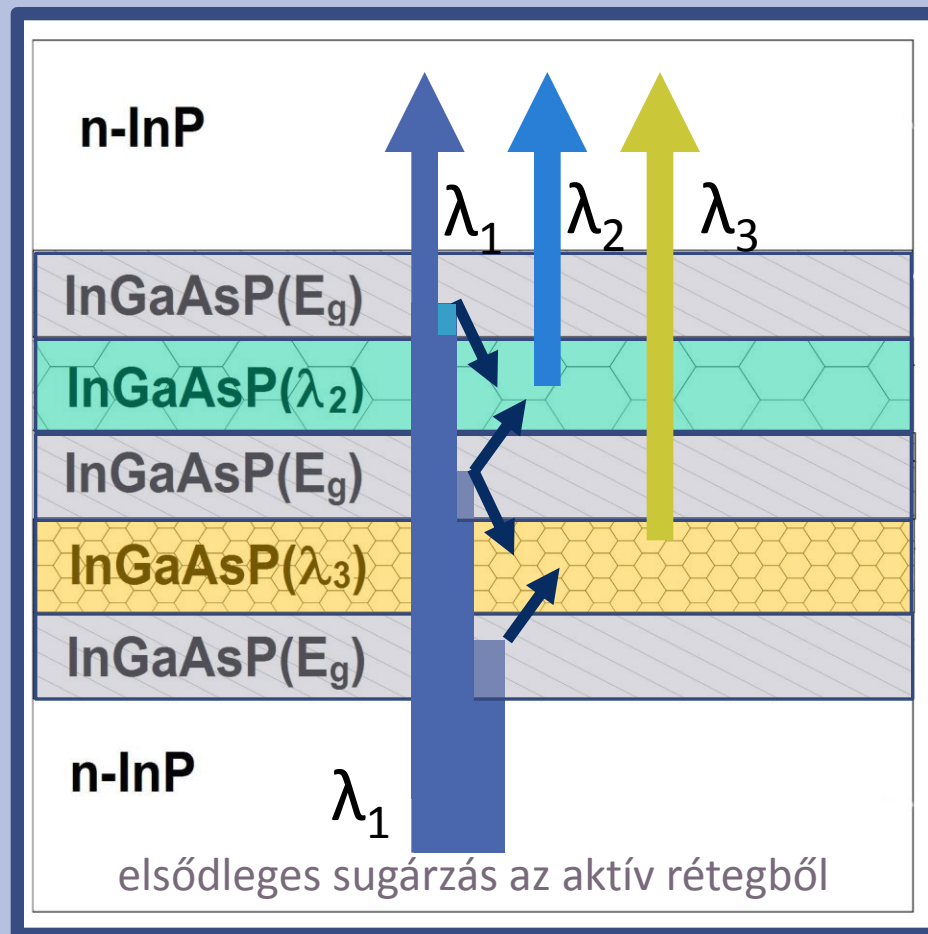
Hullámhossz konverter lumineszkáló réteg-rendszerrel

Külön abszorpciós és két beágyazott emissziós réteg

A emissziós rétegek is abszorbeálnak, de a kis rétegvastagság miatt ez elhanyagolható

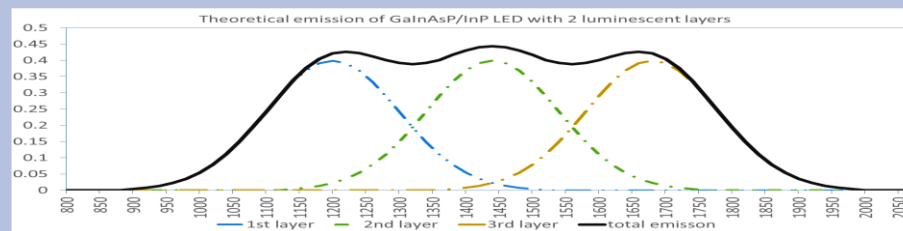
Az abszorpciós rétegek potenciálját szerepét is betöltik

Az abszorpciós réteg egyben visszafordítást is



abszorbeáló
lumineszkáló
abszorbeáló
lumineszkáló
abszorbeáló

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



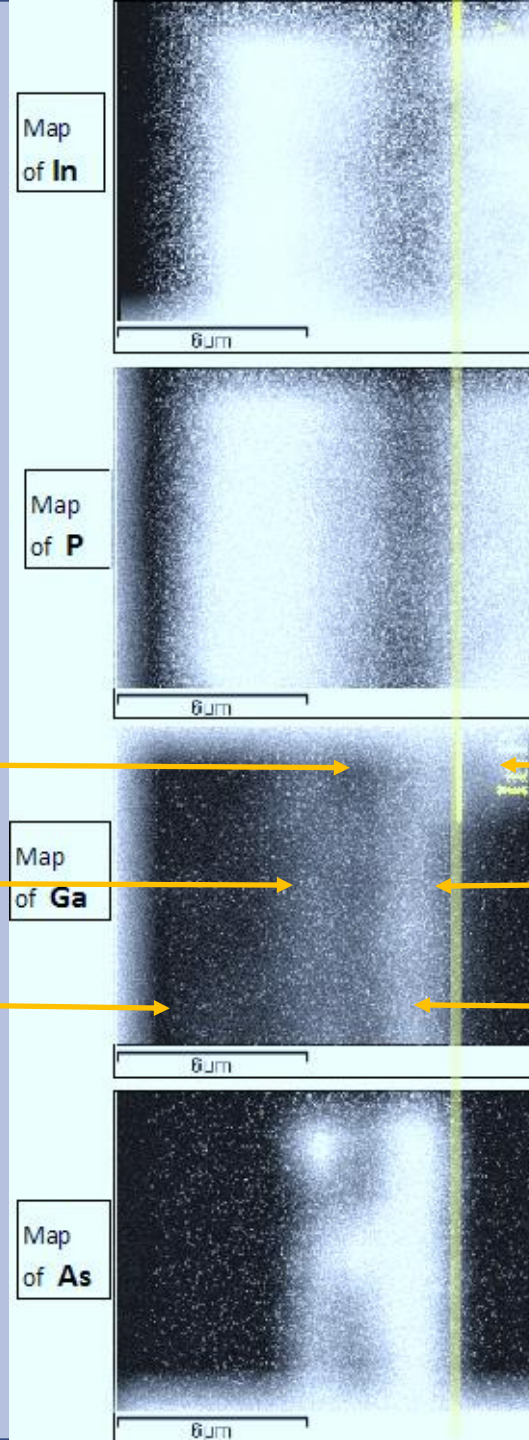
1230-1650 nm hullámhossz- konverteres LED réteg- szerkezete

X-EDS SEM
koncentráció
mérés –
kontraszt-
kiemeléssel

Köszönettel:
Dr. Cesare Frigeri
(Istituto CNR-IMEM,
Parma)

határoló
réteg
aktív
réteg
határoló
réteg

puffer
réteg
lumineszkáló
réteg
abszorpciós
réteg



1230-1400 nm hullámhossz- konverteres LED réteg- szerkezete

X-EDS SEM koncentráció mérés

Köszönettel:
Dr. Cesare Frigeri
(Istituto CNR-IMEM,
Parma)

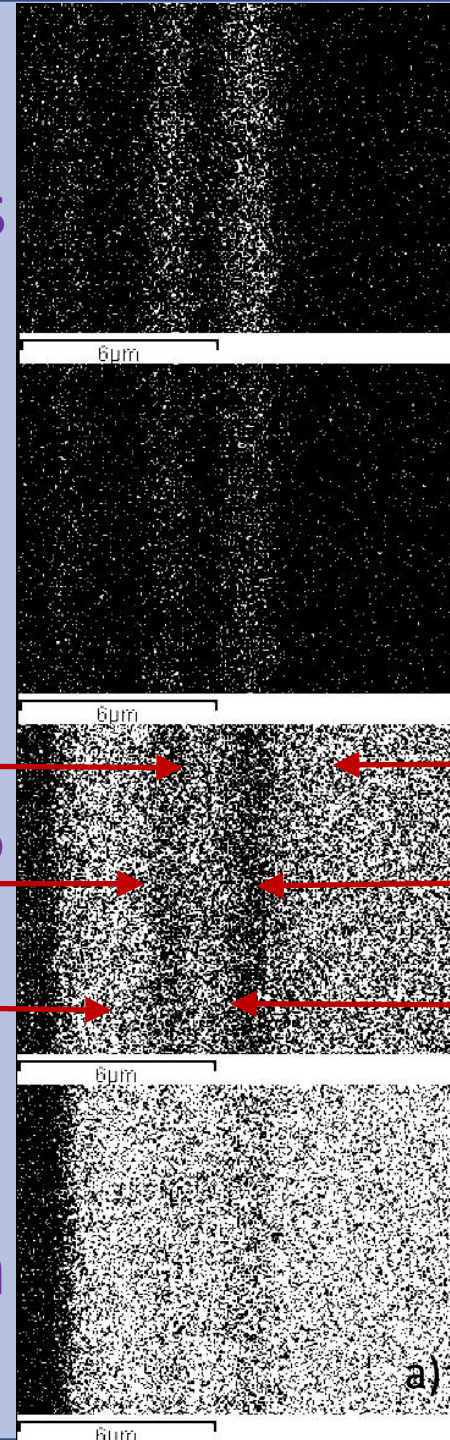
határoló
réteg (4)
aktív
réteg (5)
határoló
réteg (6)

As

Ga

P

In



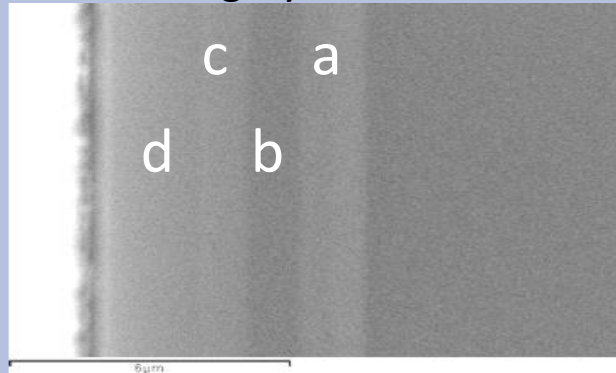
puffer
réteg (1)
lumineszkáló
réteg (2)
abszorpciós
réteg (3)

1230-1400 nm hullámhossz- konverteres LED réteg- szerkezete

X-EDS SEM koncentráció mérés

Köszönettel:
Dr. Cesare Frigeri
(Istituto CNR-IMEM,
Parma)

gray levels

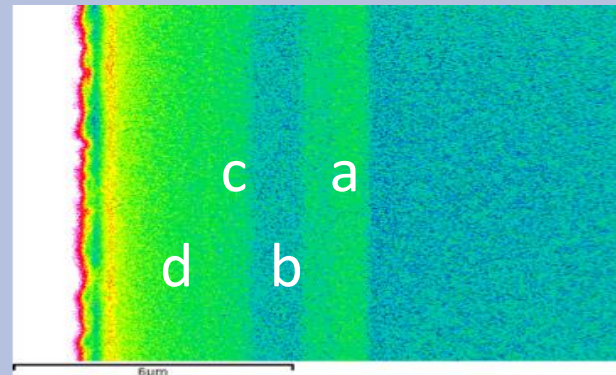


1 μm
↔

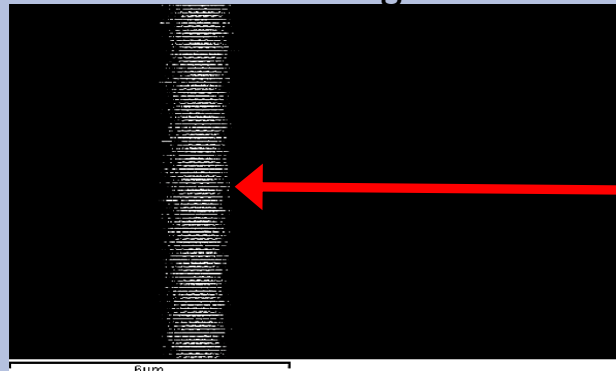
Thicknesses:

- stripe *a* (layers 2+3): 1470 nm
- stripe *b* (layer 4): 1120 nm
- stripe *c* (layer 5): 1045 nm
- stripe *d* (layers 6+7): 2190 nm

color image



EBIC image

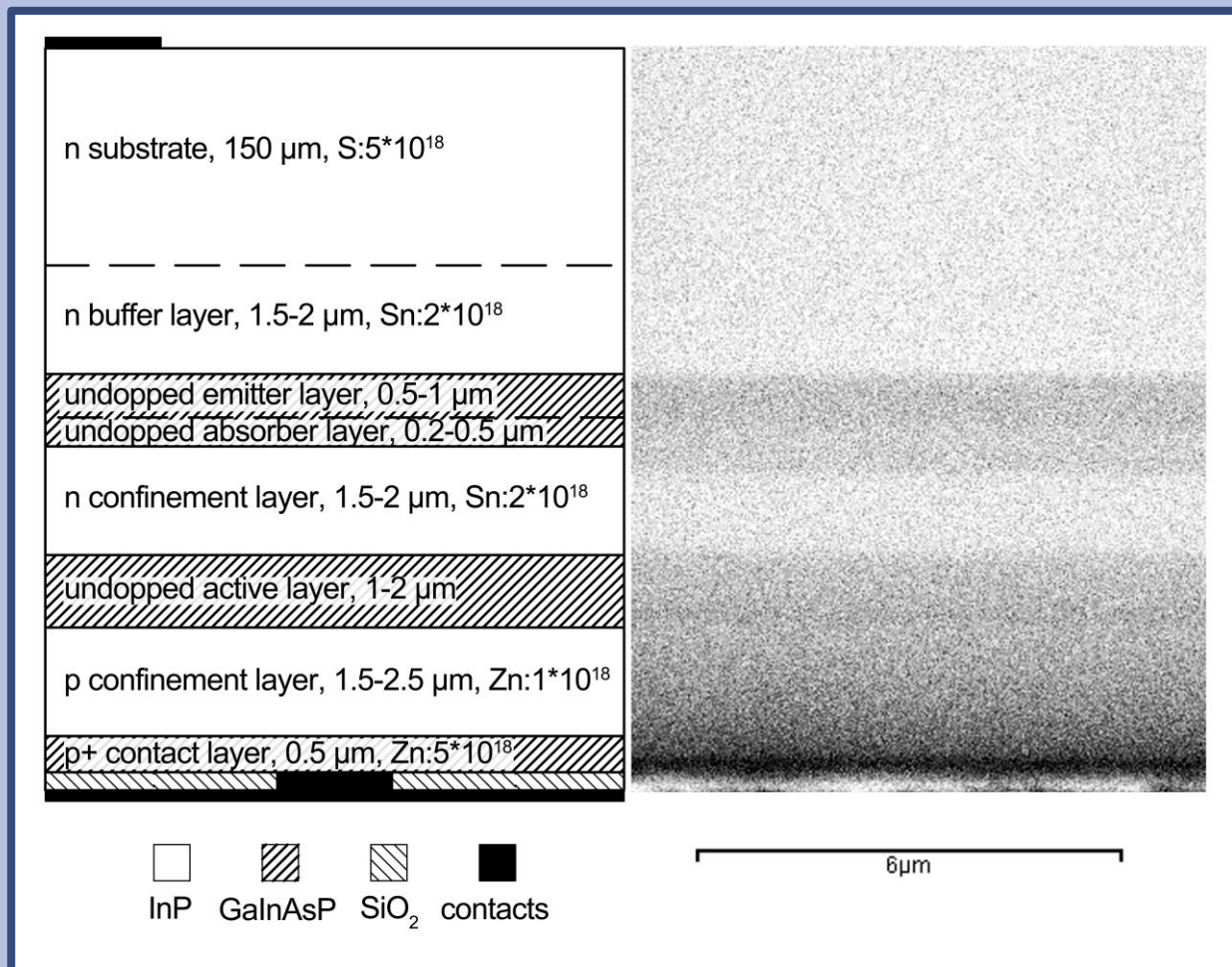


The **p-n junction** (bright stripe) is between stripes '*c*' and '*d*'

Hullámhossz- konverteres LED tipikus réteg- szerkezete

Elvi szerkezet és
X-EDS SEM
koncentráció
méréssel készített
keresztmetszeti
kép

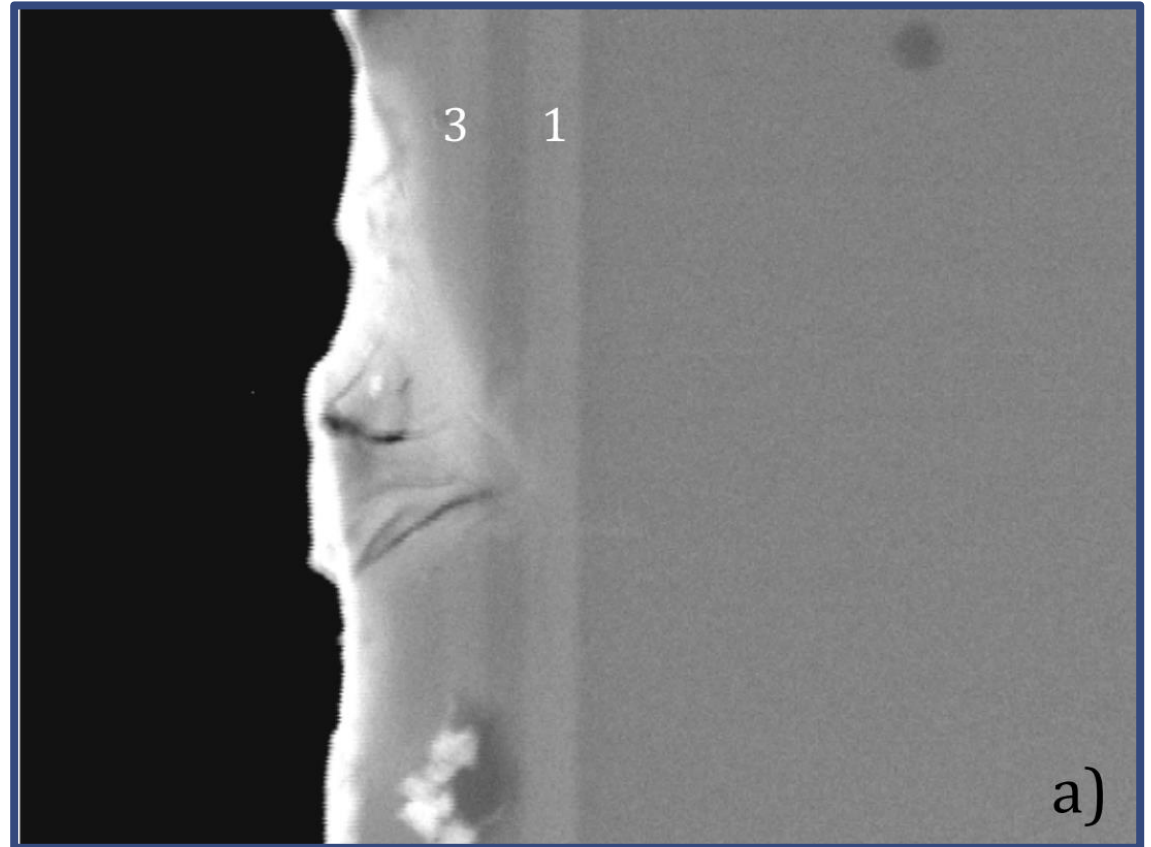
Köszönettel:
Dr. Cesare Frigeri
(Istituto CNR-IMEM,
Parma)



1230-1400 nm hullámhossz- konverteres LED réteg- szerkezete

X-EDS SEM
koncentráció
mérés –
hibahelyek

Köszönettel:
Dr. Cesare Frigeri
(Istituto CNR-IMEM,
Parma)



Közeli, közepes és távoli sugárzási csúcsokkal növesztett LED-ek

1. tábla. A vizsgált sávszélesített LED-ek főbb jellemzői

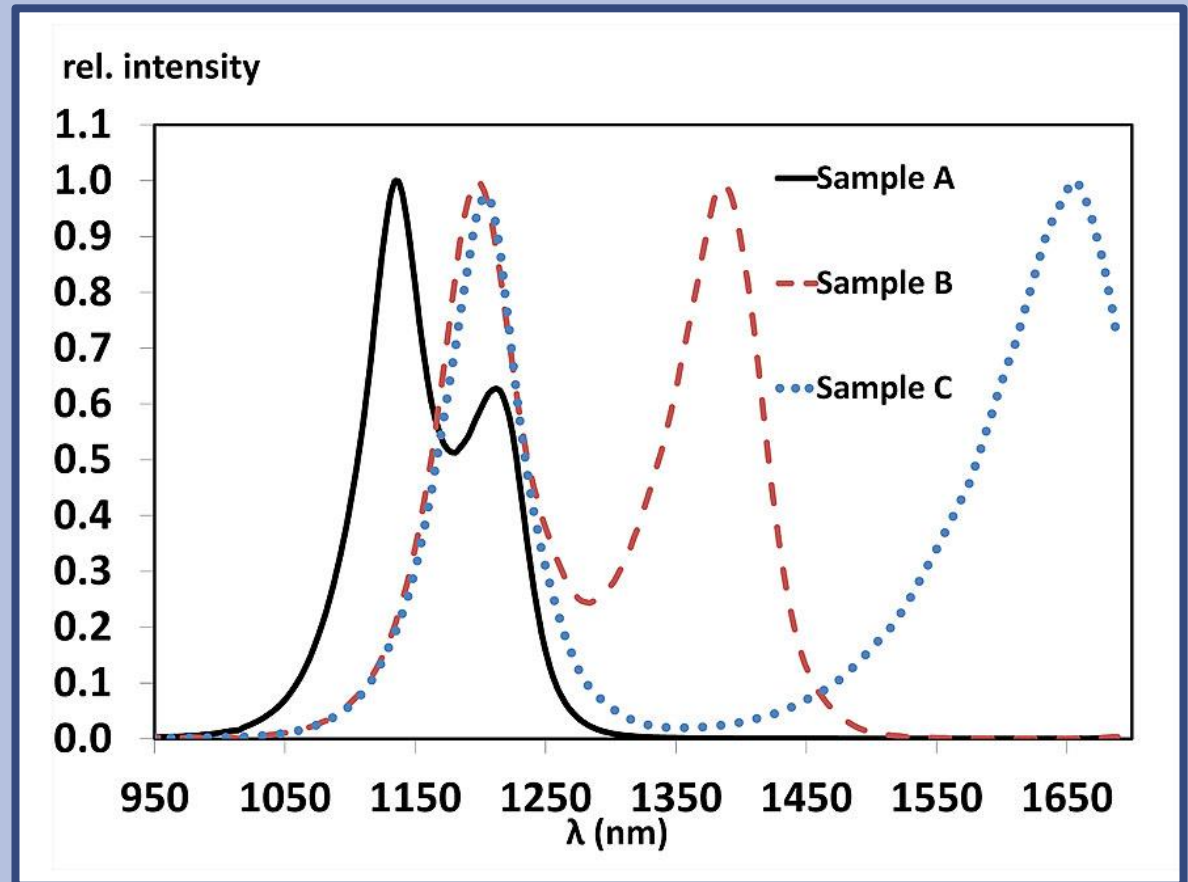
Sample	Active layer l_1 (nm)	Converter layer l_2 (nm)	Anti-melt-back layer l_3 (nm)	Conversion efficiency	Optical power at 50 mA (mW)	Structural defects
A	1140	1210	—	0.7-0.9	1.6	—
B	1200	1400	1220	0.6-0.7	0.7	large point defects
C	1200	1650	1300	0.7-0.9	0.6	—

2. tábla. GaInAsP rétegek vastagságai és növesztési jellemzői

Sample layers	Peak wavelength of emission spectra (nm)	Peak wavelength of derivative transmission (nm)	Growth time (s)	Super-saturation DT (K)	Growth constant (mm/DTmin ^{1/2})	Calculated thickness (nm)	Measured thickness by SEM (nm)
A converter	1212	1214	60	10	0.11	1100	520
A active	1135	1138	120	9	0.085	1078	1090
B emitter	1385	1403	15	10	0.16	800	
B absorber	—	1235	30	10	0.11	+781=1481	1470
B active	1197	1212	120	7.4	0.11	1043	1045
C emitter	1657	1642	10	7	0.26	742	
C absorber	—	1302	5	10	0.14	+406=1148	1200
C active	1206	1209	60	10	0.11	1100	1205

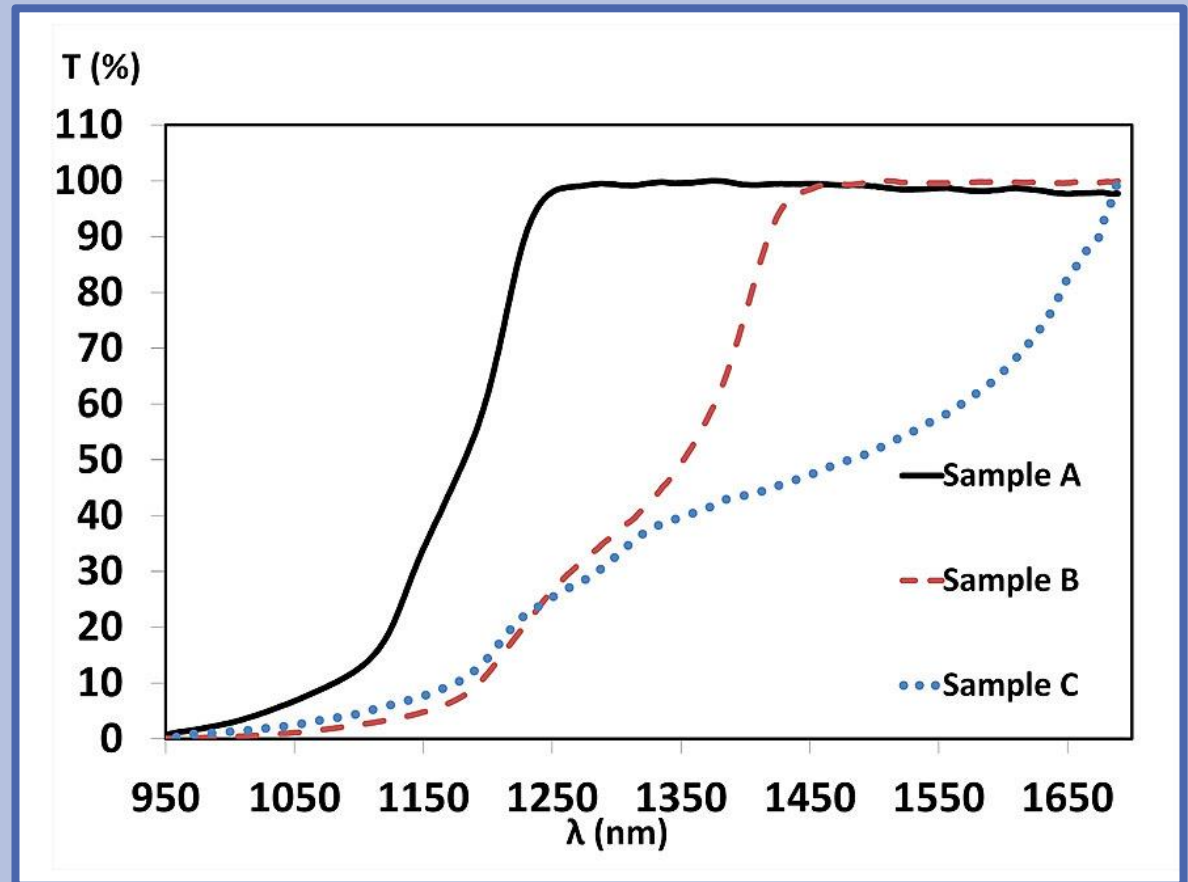
Közeli, közepes és távoli sugárzási csúcsokkal növesztett LED-ek

Relatív spektrális emisszió



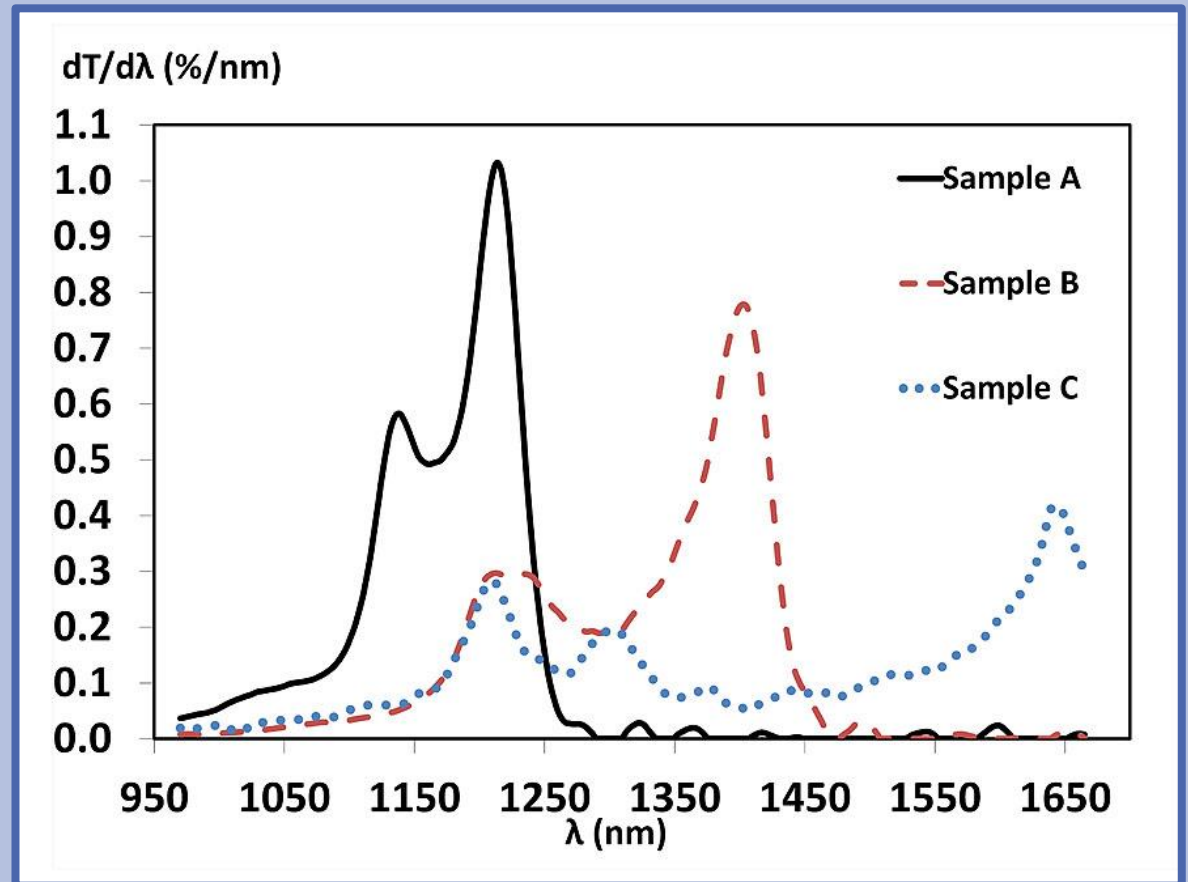
Közeli, közepes és távoli sugárzási csúcsokkal növesztett LED-ek

Relatív spektrális transzmisszió



Közeli, közepes és távoli sugárzási csúcsokkal növesztett LED-ek

Spektrális transzmisszió első deriváltja



Összefoglalás

- ✓ **GalnAsP/InP anyagrendszerben a hullámhossz-konverziós NIR LED-ek megvalósíthatók**
- ✓ **a konverziós réteg hatékonyan gerjeszthető, függetlenül a gerjesztő és a konverziós réteg hullámhossz különbségétől**
- ✓ **az így kialakított LED-ek hőmérsékletfüggése csekély, közel hőmérsékletfüggetlen szakaszok keletkeznek a spektrum egyes részein**
- ✓ **a konstrukcióból adódóan keskenyen sugárzó, ugyanakkor a spektrum irányfüggése több sugárzási csúcsot megvalósító rétegrendszer esetén is elhanyagolható marad**
- ✓ **a kézi spektroszkópai műszerekben a korábban alkalmazott 3 chip-es megoldásoknál pontoszerűbb és könnyebben meghajtható**
- ✓ **az abszorpció és az emisszió szétválasztásával újszerű és jó hatásfokú összetett rétegszerkezet hozható létre (szabadalom)**
- ✓ **az összetett rétegszerkezet további konstrukciós előnyei a vékony emissziós réteg alacsony önabszorpciója és a vastag abszorpciós réteg jó abszorpciós hatásfoka**
- ✓ **a spektrum áramfüggetlenségéhez az emissziós réteg és az aktív réteg konverziós térfogatainak (közel) azonosnak kell lenniük**

Összefoglalás

- ✓ akár 3 hullámhosszon sugárzó LED is megvalósítható az összetett konverziós rendszerrel
- ✓ az összetett konverziós rendszerben a hullámhossz konverzió hatásfoka akár 90% is lehet, mely lényegesen jobb más sávszélesítési módszereknél
- ✓ az aktív és konverziós rétegek tervezésénél az eddig ismert képletet kis mértékben korrigálni szükséges, így mérésekkel igazolhatóan pontosabban tervezhetők a hullámhosszak
- ✓ meghatározhatók azon körülmények, melyekkel adott kvaterner rétegek egy lépésben megnöveszthetők
- ✓ a tervezett rétegszerkezet összetétele és vastagsága mérésekkel igazolhatóan, igen nagy pontossággal megvalósítható
- ✓ a rétegszerkezet viszonylag kis áramok esetén (10-100 mA) az ideális LED karakterisztikát közelítve és nagyon jó reemisszós hatásfokkal működik
- ✓ nagyobb áram esetén a nagyobb áramsűrűség és nagyobb veszteség hőhatása belső hőmérsékleti lépcsőt hoz létre, a szerkezet tulajdonságai romlanak
- ✓ a konverziós rétegben kisebb kristályhibák nem csökkentik jelentősen a hatásfokot (60-70%), szemben a csak aktív réteget tartalmazó szerkezetekkel, ahol az alacsony hőmérsékleten növesztett aktív réteg kristályhibáin „elfolyik” az áram

2016/17 őszi félév tárgyai

- Beszámoló VI. {10 kr}
- Kutatási projekt VI. {10 kr}

Publikációk

Konferencia előadás

Réti István, Rakovics Vilmos, Ürmös Antal, Nádas József, Nanostruktúrák LED-ek, V. LED Konferencia, Budapest, 2014 február 4-5. magyar

Nádas József: Elektro- és fotolumineszcencia együttes alkalmazásán alapuló LED-ek, VI. LED Konferencia, Óbudai Egyetem, Budapest, 2015. február 3-4. magyar

Nádas József, Rakovics Vilmos: Nagy fényűrűségű széles spektrumú félvezető fényforrások a közeli infravörös tartományban; X. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonalmádi, 2015. október 11-13. magyar

Nádas József, Rakovics Vilmos: Sávszélesített LED-ek; XXXI. Kandó Konferencia, Óbudai Egyetem, Budapest, 2015. november 19. magyar

Nádas József: LED fényforrások felhasználásának elemzése; XXXI. Kandó Konferencia, Óbudai Egyetem, Budapest, 2015. november 19. magyar

Nádas József, Rakovics Vilmos: Félvezető fényforrások a közeli infravörös spektroszkópiában; Műszaki Kémiai Napok 2016 Veszprém, 2016. április 26-28. magyar

J. Nádas, V. Rakovics, I. Réti, C. Dücső, G. Battistig: Spatially and spectrally stable semiconductor light sources for near infrared spectroscopy, 2nd International Conference nanoFIS, 27-29 June 2016, Graz angol

Nádas József, Rakovics Vilmos: Spektroszkópiák kéziműszerekben használható közeli infra LED-ek, ÓE-MTA Fiatal Diplomások Fóruma, Óbudai Egyetem, 2016. dec. 08. magyar

Publikációk

Folyóirat cikk

Réti István, Rakovics Vilmos, Ürmös Antal, Nádas József, Nanostruktúrák LED-ek, Elektrotechnika 107. évf. 11. szám (2014/11) pp. 19-21

magyar

József Nádas, Vilmos Rakovics: High Intensity Broad Spectrum LEDs in the Near Infrared Range; Materials Science Forum vol. 885., Materials Science, Testing and Informatics VIII., pp. 141-146, 2017., doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.885.141

angol

Nádas József, Rakovics Vilmos: »Fehér« LED a közeli infravörös tartományban, Fizikai Szemle (2017/1) LXVII. évf. 745. szám pp. 2-6.

magyar

József Nádas, Vilmos Rakovics: Bandwidth widening of semiconductors with luminescent layer in: Dariusz Sawicki, Piotr Pracki (szerk.) IEEE Xplore Digital Library 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4) Karpacz, 2016. pp. 1-4., DOI: 10.1109/LUMENV.2016.7745519

angol

Elfogadott, megjelenés alatt:

J. Nádas, V. Rakovics, I. Réti, C. Dücső, G. Battistig: Spatially and spectrally stable semiconductor light sources for near infrared spectroscopy Materials Today: Proceedings ##

angol

V. Rakovics, J. Nádas, I. Réti, C. Dücső, G. Battistig: Growth and characterization of broad spectrum infrared emitting GaInAsP/InP heterostructures, Journal of Crystal Growth

angol

Publikációk

Konferencia közlemény

József Nádás : GaInAsP/InP LEDs for Application in Near Infrared Spectroscopy in: Ákos Borbély: Proceedings of the International Conference On Design And Light Industry Technologies 19 – 20 November 2014, Budapest, Hungary, pp.49-54. RKK Óbuda University ISBN 978-615-5460-33-3

angol

Nádás József, Rakovics Vilmos: Félvezető fényforrások a közeli infravörös spektroszkópiában; in: Vonderviszt F. (szerk.): Műszaki Kémiai Napok konferenciakiadvány 2016 Veszprém ISBN 978-963-396-087-5 pp.70-76.

magyar

Publikációk

Konferencia poszter

Vilmos Rakovics, József Nádas, István Réti, Csaba Dücső and Gábor Battistig, Broad spectrum InGaAsP/InP near infrared emitting device, HETECH 2014, 23rd European Workshop on Heterostructure Technology - HETECH 2014, 12-15 October, Justus Liebig University Giessen, Germany.

angol

József Nádas : GaInAsP/InP LEDs for Application in Near Infrared Spectroscopy; International Conference on Design and Light Industry Technologies ICDLIT 19 – 20 November 2014, Budapest, Hungary Óbuda University

angol

Nádas József, Rakovics Vilmos: Nagy fénysűrűségű széles spektrumú félvezető fényforrások a közeli infravörös tartományban; X. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonalmádi, 2015. október 11-13.

magyar

V. Rakovics, J. Nádas, I. Réti, C. Dücső, G. Battistig: Growth and characterization of broad spectrum infrared emitting GaInAsP/InP heterostructures, 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), August 7-12, 2016., Nagoya, Japan

angol

Nádas József, Rakovics Vilmos: „Fehér” LED a közeli infravörös tartományban; Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2016. augusztus 24-27. Szeged

magyar

József Nádas, Vilmos Rakovics: Bandwidth widening of semiconductors with luminescent layer; VI. LumenV4 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries 13.-16. September 2016, Karpacz, Poland

angol

Publikációk

Szabadalom (bejegyzés folyamatban)

**Rakovics Vilmos , Réti István, Dücső Csaba, Battistig Gábor, Nádas József:
Széles spektrumú, félvezető alapú infravörös fényforrás mobil spektroszkópiai
alkalmazásra optimalizálva**

magyar

Kreditek

	Aktuálisan bejegyzett	Összes teljesített	Kötelező minimum
tanulmányi	54	54	48
beszámoló	34	44	44
kutatási projekt	50	60	0
oktatás	45	45	45
publikáció	16	185	50
összesen	199	388	180

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

NÁDAS JÓZSEF

✉ NADAS.JOZSEF@KVK.UNI-OBUDA.HU

