

GaInAsP/InP LED-ek kutatása

NÁDAS JÓZSEF

TÉMAVEZETŐ: DR. RAKOVICS VILMOS

Tartalom

Feladat ismertetése

LED mint fényforrás

GaInAsP/InP LED előnyei

LPE technika előnyei

Mérések

Megválaszolandó elméleti kérdések

Konkrét feladatok a következő félévre

Feladat

Biológiai eredetű szerves anyagok indikatív kimutatásához és spektroszkópiai vizsgálatához optimalizált GaInAsP/InP LED tervezése és készítése kéziműszerben történő alkalmazásra

Követelmények: [2] [3]

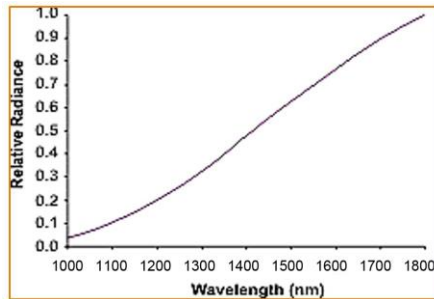
- miniatürizálás, pontszerűség a pontos optikai leképezéshez
- kis fogyasztás
- nagy intenzitás
- vizsgálandó anyaghoz illesztett széles hullámhossz tartomány [4]

Sajátos, egyedi tulajdonságokkal bíró LED-et kell készíteni. [5]

Miért LED?

Izzólámpa

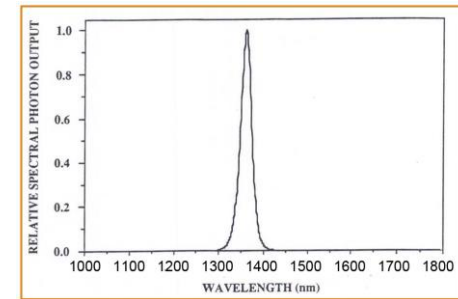
- + Folytonos spektrum IR-ben



- Miniaturizálás nehézkes, nem pontszerű
- Válaszidő hosszú ($x \cdot 10^{-1}$ s)
- Sugárzás erősen feszültségfüggő
- Élettartama rövid ($x \cdot 10^3$ h)

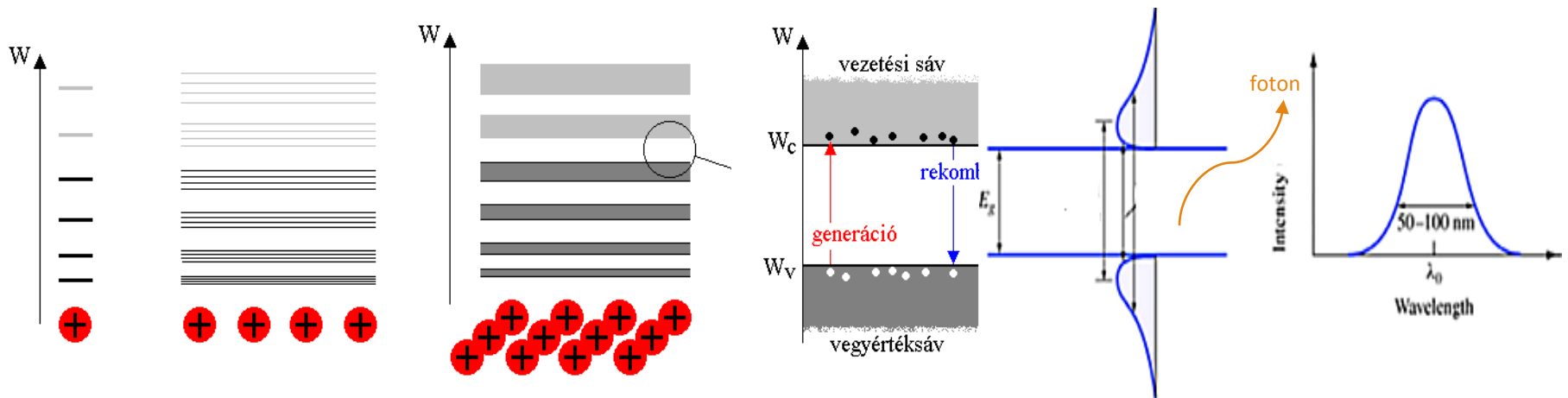
LED

- Tervezhető, de keskeny tartományú sugárzás



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

LED fénykeltése

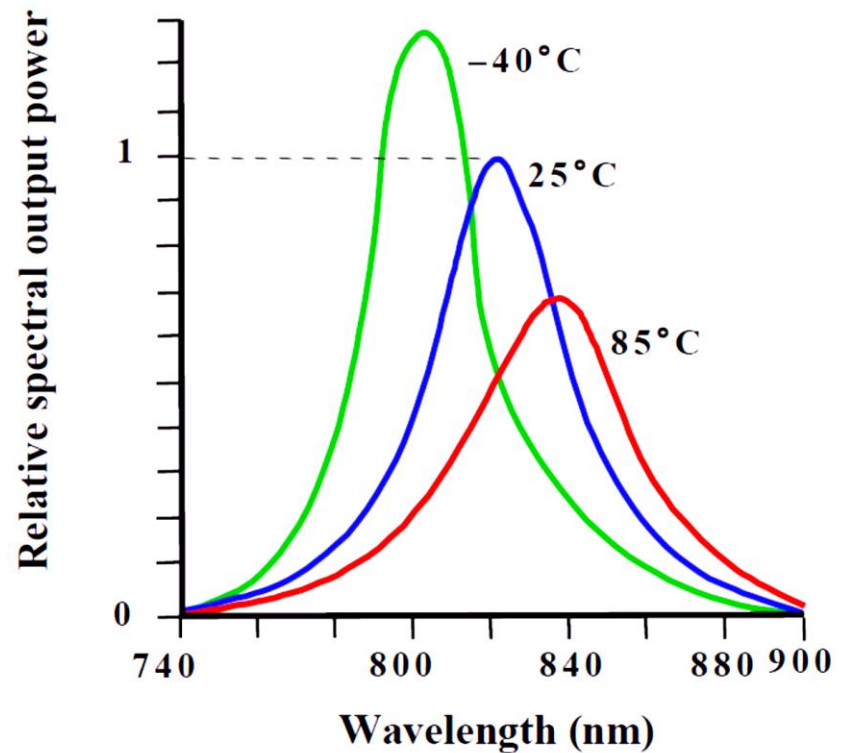


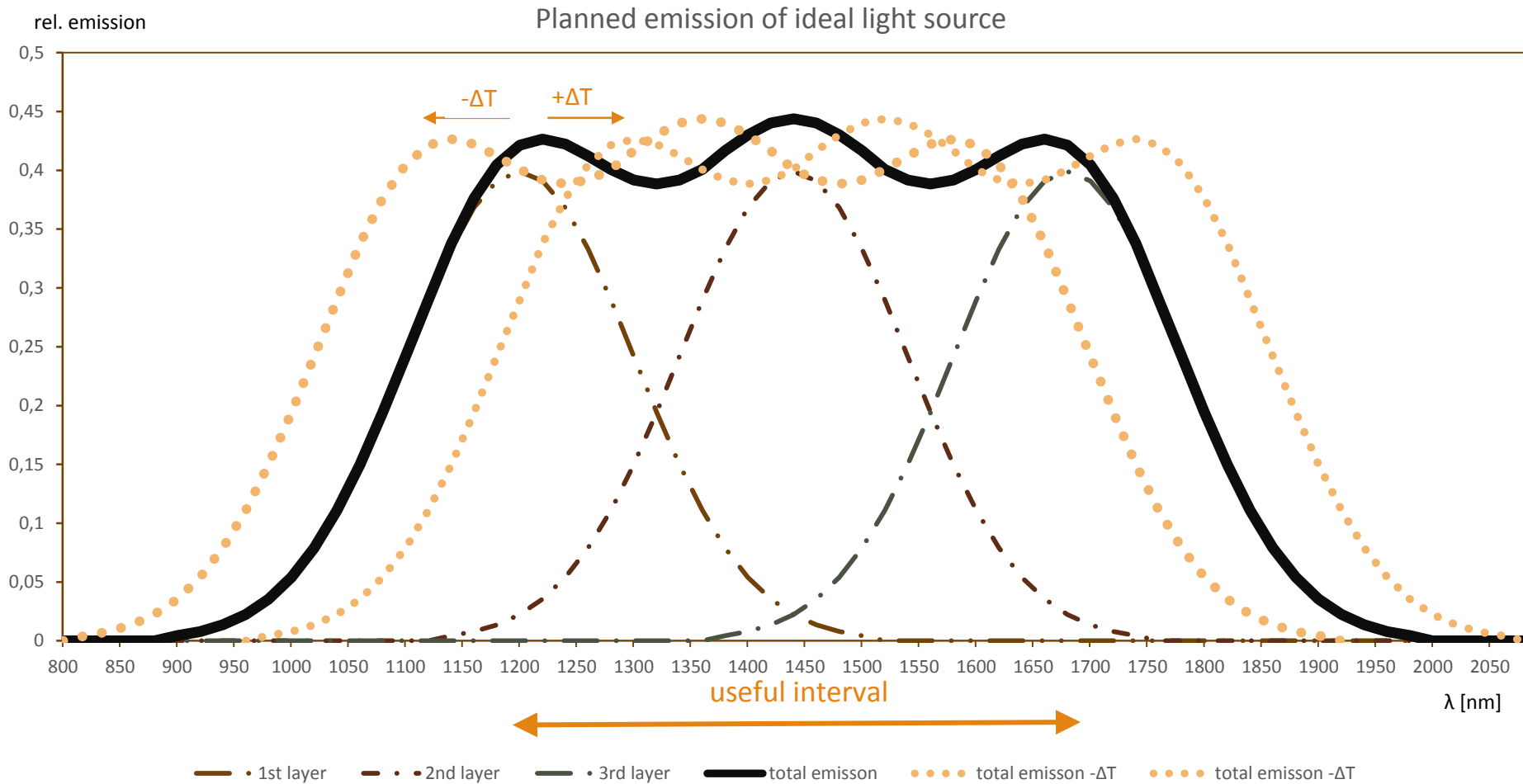
Az egyedülálló atom energiaszintjei a kristályban sávokká szélesednek

A legfelső, (majdnem) teli sávban lyukak és a fölötte levő, (majdnem) üres sáv elektronok rekombinációja során foton keletkezhet [21]

Hőfokfüggés

- Hőmérsékletváltozás hatására a sávközép nagysága és helye ill. a eloszlás alakja változik. [22]





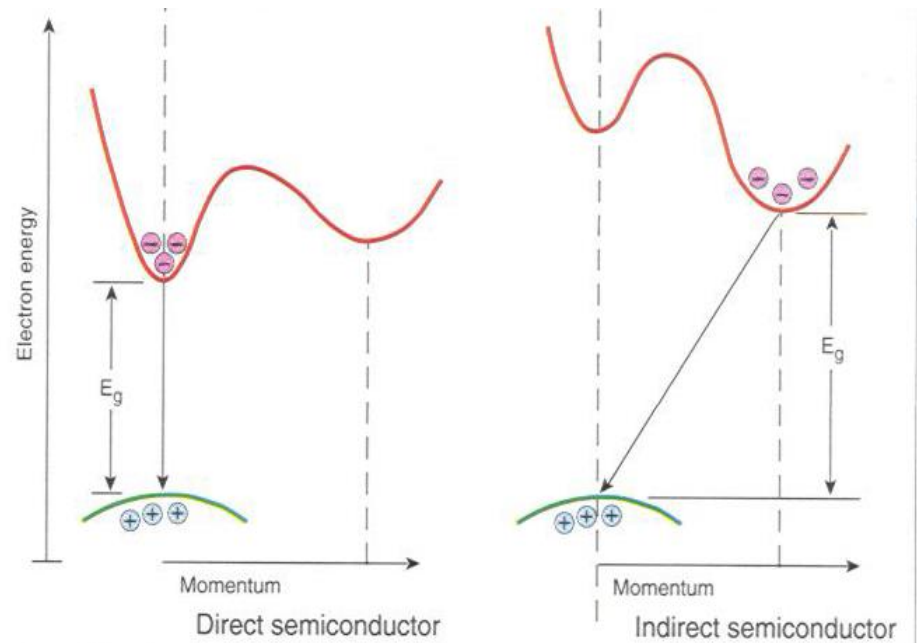
Hőfokfüggés eliminálása

Több hullámhosszon sugárzó ideális fényforrás elvi spektrális emissziója

A hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező eltolódáskor is a hasznos hullámhossz tartományban marad.

Direkt és indirekt félvezetők

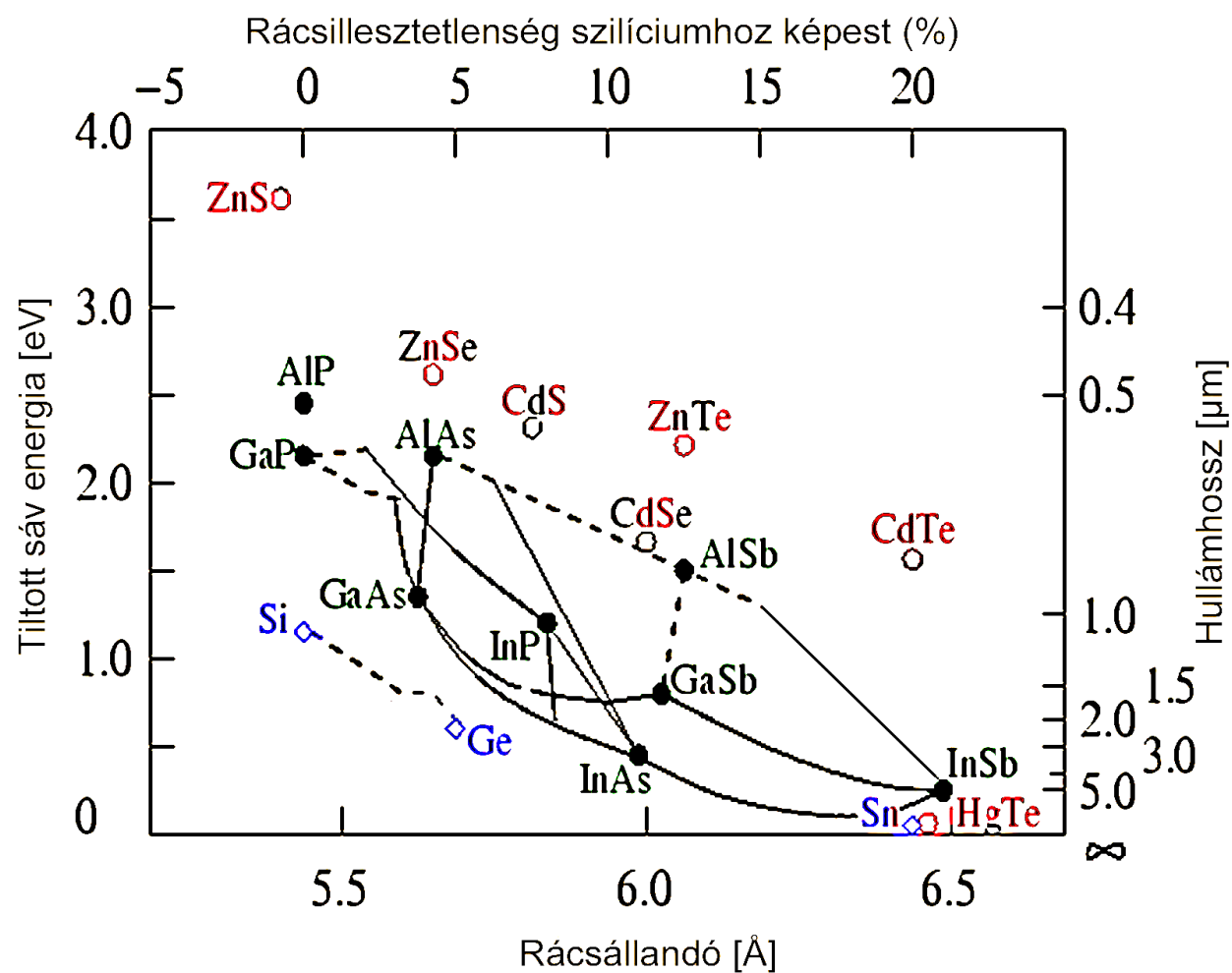
- a vegyértéksávba elektronátmenet csak számottevő impulzusváltozás nélkül eredményezhet foton emissziót (mert foton impulzus kicsi az elektronhoz képest)
- foton emisszióhoz direkt félvezető szükséges, ilyen a vegyületfélvezetők többsége, pl. GaInAsP/InP



Anyag- rendszerek

*Vegyületfélvezetők
rácsállandó-tiltottsáv-
hullámhossz összefüggése*

*A kívánt hullámhosszúságú
sugárzáshoz „hangolni” kell
a félvezető tiltott sáv
szélességét, optimális
eredményt InP alapú
dióddal lehet elérni*



◇ = Elemi félvezető

● = III - V félvezetők

○ = II - VI félvezetők

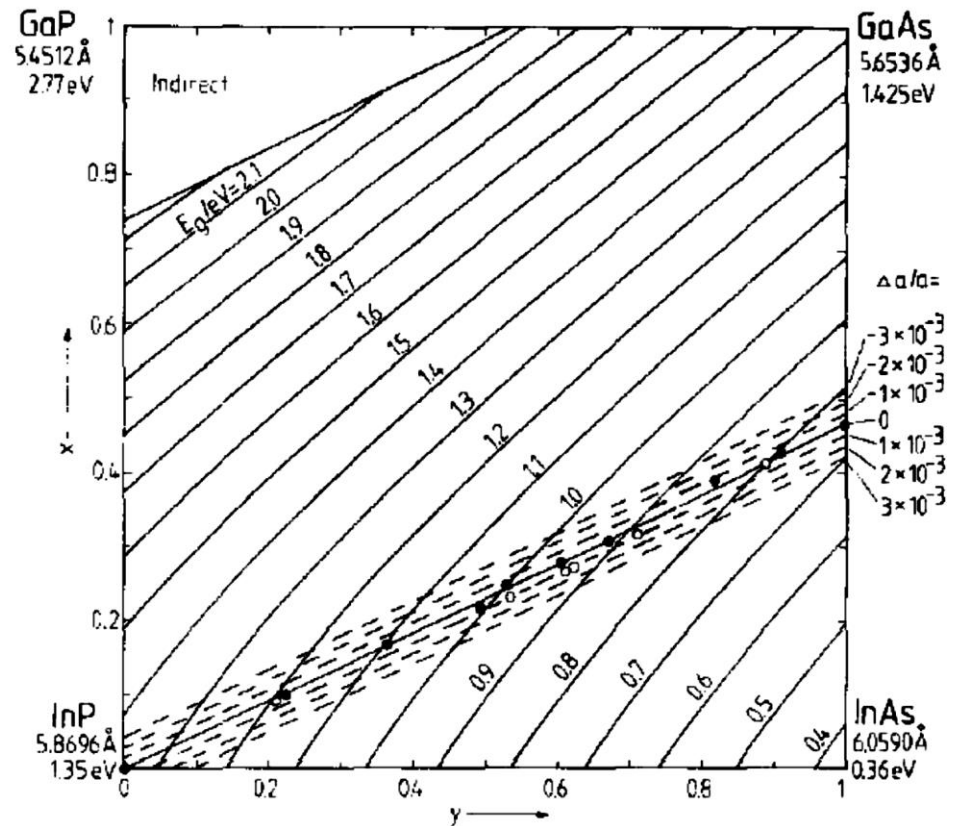
— = Szilárd oldat közvetlen tiltott sávval

---- = Szilárd oldat közvetett tiltott sávval

Rácsillesztettség

Négy komponensű
GaInAsP/InP LED-ek
rácsillesztettsége [19]

Egy-egy energiaszintnek adott hullámhossz felel meg. A tervezett hullámhosszon sugárzás csak egy pontban valósítható meg rácsillesztett módon. (A rácsszerkezet által „elviselhető” eltérések a szaggatott vonalakon.)



GaInAsP/InP LED előnyei

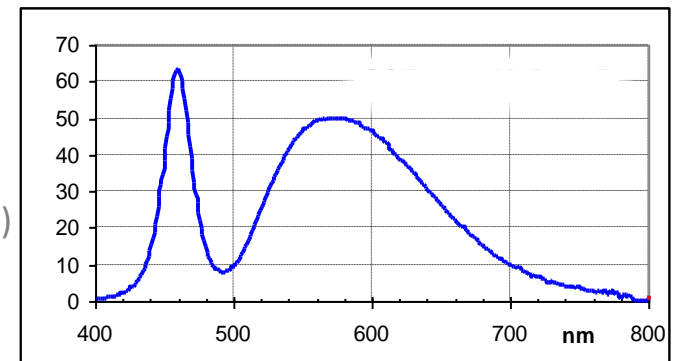
- LED: GaInAsP/InP

- azonos hordozójú, egységes anyagcsalád, rácsillesztett
- jó hatásfok [6]
- pontszerűség, jól fókuszálható
- egyszerűen, egy növesztéssel készíthető,
- **több réteg esetén több sugárzási csúcs -> lumineszkálás**
- ***ebben az anyagrendszerben ilyet még nem valósítottak meg***



- Elvetett megoldások

- fénypor alkalmazása (degradáció, hatásfok) [7] →
- több eltérő hullámhosszúságú LED-ek csoportja (pontszerűség)
- egyéb vizsgált, de nem megfelelő szerkezet (pl. tandem LED)



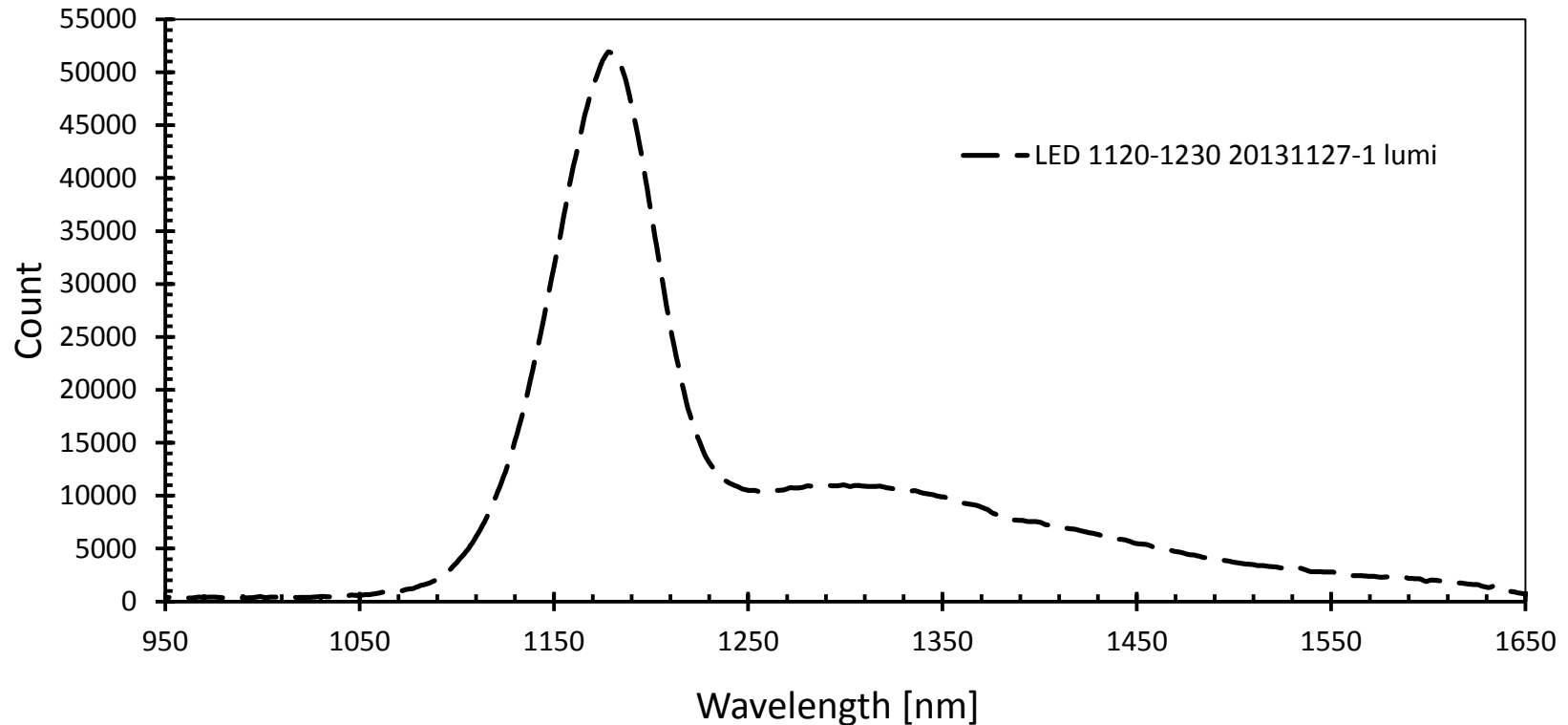
LPE előállítás előnyei

- Létrehozás: LPE (folyadékfázisú epitaxia) előállítási mód
 - nagyon pontosan beállítható kis rétegvastagságok
 - viszonylag olcsó és egyszerű, anyagtakarékos
 - viszonylag gyorsan készíthetők kísérleti sorozatok kutatás céljára
 - jellegénél fogva illeszkedik a kísérleti és a kis sorozatú mennyiségekhez (<100db/sorozat)
- Elvetett megoldások
 - VPE (gőzfázisú epitaxia) előállítási mód (drága, nagy szórású alkatrészek, nagy sorozatok)
 - MBE (molekulasugaras epitaxia) előállítási mód (drága, bonyolult, lassú)

Munkaterv

- Az optimális sugárzási hullámhosszak kiválasztása a spektroszkópai szakirodalom alapján
- Megismerkedés az MFA-ban kidolgozott LED technológiával
- Önálló mérések
- Tervezett hullámhosszú LED szerkezetek növesztése folyadékfázisból
 - sugárzási sáv szélesítése beépített lumineszkáló rétegekkel
 - hőfokfüggés kiküszöbölése
 - nagy hatásfokú és kis kúpszögben sugárzó diódaszerkezet
 - nagy pontossággal és kis szórással reprodukálhatóság
- Eredmények feldolgozása

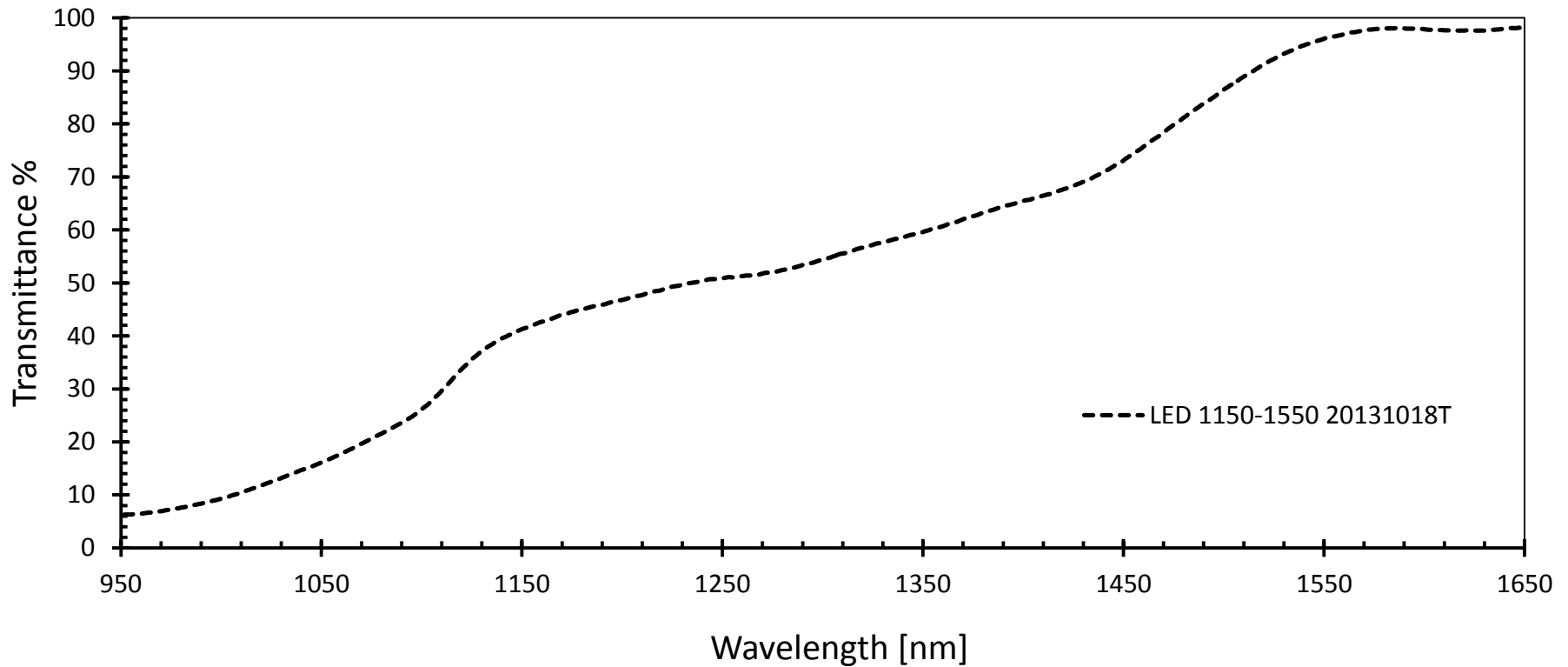
1120-1250 nm IR LEDs' luminescence measure



Mérések: GaInAsP/InP LED-ek lumineszkálása

A LED spektrumának kiszélesítése lumineszkálással. A p-n átmenet sugárzása gerjeszti a következő, más összetételű réteget, mely más hullámhosszon fog sugározni. Több lumineszkáló réteggel jelentősen kiterjeszhető a spektrum. A csúcsok intenzitás arányából kiszámítható a hullámhossz-konverzió (lumineszcencia) hatásfoka. A hatásfok ismeretében már a második emittáló réteg vastagsága pontosabban tervezhető.

LED 1150-1550 nm 20131018T LEDs' transmission measure



Mérések: Transzmisszió mérés

A transzmissziós spektrumból látható, hogy a p-n átmenetnél keletkező sugárzás mekkora részét nyeli el a második emittáló réteg, mi lesz a második emissziós hullámhossz.

Kutatási irányok

Elméleti kérdések:

- Lehet-e 3 rétegű (4-5-stb. rétegű?) gyakorlatban jól használható GaInAsP/InP NIR LED-eket készíteni?
- Ha igen, milyen áron? (hatásfok, technológiai nehézségek, gazdaságosság)
- Pufferrétegek szükségesek, de szerepük nem tisztázott, ennek vizsgálata.
- Rétegvastagságok szerepe.
- Rétegek egymásra hatásának szerepe (p-n átmenet és lumineszkáló réteg kölcsönhatása, szomszédos lumineszkáló rétegek kölcsönhatása)
- Növesztés hőmérséklet és az olvadékok túltelítettségének szerepe. Szilárdfázisú elegyedési korlát, és az eltérő visszaoldódási hajlam miatt az összetétel homogenitása és a határfelületek élessége változhat. Több hullámhosszú LED struktúrák esetén a növesztési technológia optimalizálása rendkívül nagy feladat.

Következő félévi feladatok

- Rácsillesztett és tervezett hullámhossztartományú GaInAsP/InP LED növesztéséhez a bemérések kiszámításához szükséges képletek vizsgálata, esetleges korrekciója
- Különböző növesztési hőmérsékletek hatása a többrétegű GaInAsP/InP szerkezetekre
- Megvalósítás körülményeinek vizsgálata (grafitcsónak kezdőpozíciójának pontossága, tisztaság, stb.)
- Pufferréteg szerepének vizsgálata.
- Rétegvastagságok szerepe.
- Rétegek egymásra hatásának szerepe (p-n átmenet és lumineszkáló réteg kölcsönhatása, szomszédos lumineszkáló rétegek kölcsönhatása)

Irodalom

[1] Schanda János és N. Vidovszky Ágnes: A „feher feny” es a kozvilagitas, Elektrotechnika 96/3 85-90 (2003)

[2] Rakovics V., Réti I.: Infravörös diódák alkalmazása az élelmiszerek spektroszkópiai vizsgálatára.: Application of infrared emitting diodes for food spectroscopy. In: Műszaki Kémiai Napok '08. Veszprém, Magyarország, 2008.04.22-2008.04.24. Veszprém: pp. 64-68.(ISBN:978-963-9696-36-5)

[3] Rakovics Vilmos, Réti István, Bársony István: Vízben oldott szénhidrogének meghatározása infravörös abszorpciós módszerrel. In: Műszaki Kémiai Napok 07'. Veszprém, Magyarország, 2007.04.25-2007.04.27. Veszprém: Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar Műszaki Kémiai Kutató Intézet, p. 359.(ISBN:978-963-9696-15-0)

[4] Akke Bakker, Brianne Smith, Philip Ainslie and Kurt Smith (2012). Near-Infrared Spectroscopy, Applied Aspects of Ultrasonography in Humans, Prof. Philip Ainslie (Ed.), ISBN: 978-953-51-0522-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/applied-aspects-of-ultrasonography-in-humans/near-infrared-spectroscopy>

[5] Wenbo Wang, Jitendra Paliwal: Near-infrared spectroscopy and imaging in food quality and safety; Sens. & Instrumen. Food Qual. (2007) 1:193–207

[6] Jarmo T. Alander, Vladimir Bochko, Birgitta Martinkauppi, Sirinnapa Saranwong, TimoMantere: Review of Optical Nondestructive Visual and Near-Infrared Methods for Food Quality and Safety; Hindawi Publishing Corporation International Journal of Spectroscopy; Volume 2013, Article ID 341402, pp. 1-36.

[7] Clemens J M Lasance , Andras Poppe: Challenges in LED thermal characterisation, Proceedings of the 10th International Conference on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE'09), Delft, Hollandia, 2009.04.27-2009.04.29. pp. 1-11

[8] Rakovics V., Püspöki S., Serényi M., Réti I., Balázs J., Bársony I.: GaInAsP/InP infravörös diódák és lézerek. Híradástechnika 62:(10) pp. 12-18. (2007)

[9] Jin-Wei Shi, J.-I. Chyi, J.-K. Sheu, W.-C. Lai, Ying-Jay Yang: Visible and infrared light-emitting diodes provide stable broadband output (8 August 2007), [<http://spie.org/x15596.xml>]; 2014-02-26] SPIE Newsroom 10.1117/2.1200708.0695

[10] Rakovics V, Balázs J, Püspöki S, Frigeri C.: Influence of LPE growth conditions on the electroluminescence properties of InP/InGaAs(P) infrared emitting diodes. Materials Science And Engineering B - Solid State Materials For Advanced Technology 80:(1-3) pp. 18-22. (2001)

Irodalom

- [11] V Rakovics, J Balázs, S Püspöki, M Serényi, C Frigeri: Influence of LPE Growth Condition on the Electroluminescent Properties of InP/InGaAs(P) Infrared Light Emitting Diodes. In: 5th International Workshop on Expert Evaluation and Control of Compound Semiconductor Material and Technologies. Crete, Görögország, 2000.05.21-2000.05.24. p. P-064.
- [12] Rakovics V, Gorog T, Lendvay E: Semitransparent Lpe Reactor And Its Application For The Growth Of The Inp/Ingaasp Heterosystem. *Physica Status Solidi A-Applied Research* 94:(2) pp. 727-730. (1986)
- [13] Rakovics V, Püspöki S, Balázs J, Réti I, Frigeri C.: Spectral characteristics of InP/InGaAsP Infrared Emitting Diodes grown by LPE. *Materials Science And Engineering B - Solid State Materials For Advanced Technology* 91-92: pp. 491-494. (2002)
- [14] Balázs J, Pődör B, Lábadi Z, Rakovics V.: Vegyületfélvezető diódák minősítése infravörös transzmissziós spektrum mérésével. In: Varró S (szerk.) *Kvantumelektronika 03: V. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről*. Budapest, Magyarország, 2003.10.21. p. P-22. Paper P-22. (ISBN:963-372-629-8)
- [15] Yukihiro Ozaki: Near-Infrared Spectroscopy—Its Versatility in Analytical Chemistry; *Analytical Sciences* (The Japan Society for Analytical Chemistry) June 2012, Vol. 28; pp 545-563.
- [16] M. Blanco, I. Villarroya: NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool trends in analytical chemistry, vol. 21, no. 4, 2002, pp 240-250
- [17] Rakovics Vilmos: Félvezető sugárforrások és detektorok. Előadás, MFA, 2004
- [18] Rakovics Vilmos, Püspöki Sándor, *Faragó Sándor és Balázs János: Szélessávú InP/InGaAsP infravörös sugárdióda (MFA tanulmány, 2003)
- [19] E. Kuphal: Phase Diagrams of InGaAsP, InGaAs and InP Lattice-matched to (100) InP (*Journal of Crystal Growth* 67 p.441-457, Amsterdam, 1984)
- [20] Réti I, Rakovics V, Ürmös A, Nádas J: Nanostrukturás LED-ek, V. LED Konferencia, 2014, Budapest
- [21] Székely Vladimír : Félvezető-fizikai összefoglaló I, BME, 2000
- [22] A.Khan: Light Emitting Diodes, Laser Diodes (2008)

Köszönöm a figyelmet!

NÁDAS JÓZSEF