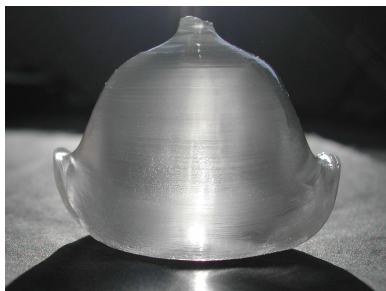


Egykristályok mint a kvantumtechnológia fotonforrásai

Tichy-Rács Éva



Wigner FK SZFI Kristályfizikai Osztály

ELTE TTK Kémia Doktori Iskola

Témavezető: Lengyel Krisztián,

Polgár Katalin

Bemutakozás

- ELTE TTK vegyész, 2011
szakdolgozat, MTA SZFKI: Nanoszemcsés alkáli-ortoborát szcintillátoranyagok szintézise és vizsgálata
- ELTE TTK, Kémia Doktori Iskola, 2011-
téma: *Ritkaföldfém-alkáli-borát szcintillátoranyagok szintézise, kristályosítása és spektroszkópai vizsgálata*
abszolutórium: 2015
- MTA Wigner FK SZFI, Kristályfizika
1 éves szerződés: K80896, ELI-09-1-2010-0010, K77653
- Wigner FK, **MTA fiatal kutató**, 2012. szeptembertől
- Szülési szabadság, 3 év
- HunQuTech, 2018. februártól kezdve

Tartalom

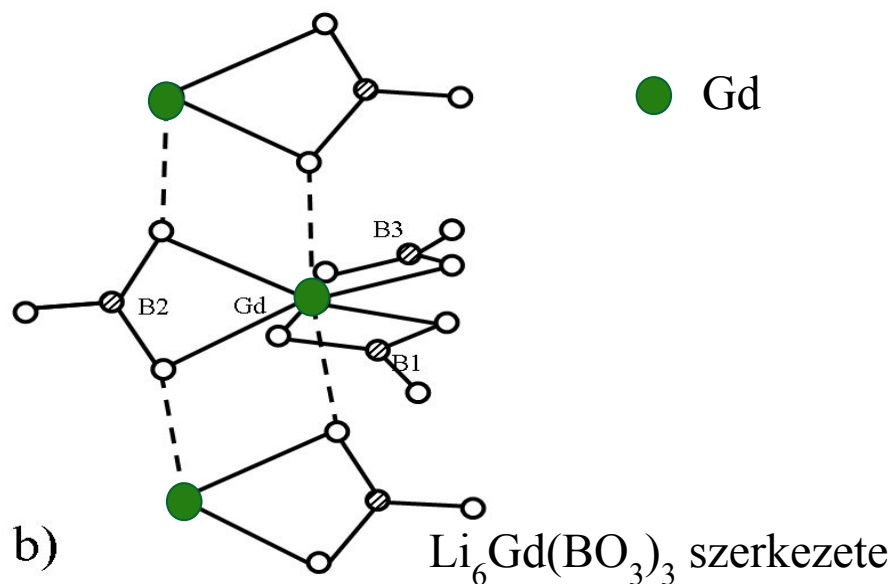
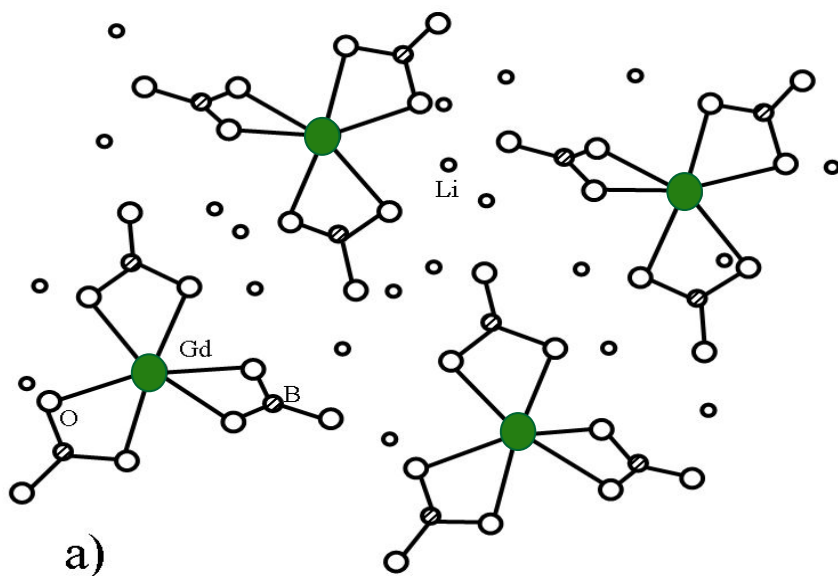
- Lítium-ritkaföldfém-borát szcintillátoranyagok előállítása és vizsgálata - beszámoló a doktori munkáról
 - Előállítás
 - Egykristálynövesztés
 - Vizsgálati módszerek
- Kristályfizika laborban növesztett kristályok megmunkálása
 - Kristályok alkalmazásai
- HunQuTech pályázat

Bevezetés

- A borát kristályok bór-oxigén váza nagyon jó fizikai és optikai stabilitást biztosít a rácshoz.
- A kristályrácsba beépült ritkaföldfém ionok csak gyengén csatolódnak a rácshoz, így az ezekkel adalékolt borátok kitűnő alapanyagai különböző lézeres alkalmazásoknak.
- Egyes borátok széles UV-áteresztési tartománya lehetővé teszi az alkalmazások rövid hullámhosszakra történő kiterjesztését.
- A $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ és $\text{Li}_6\text{Ln}(\text{BO}_3)_3$ kristályok új tagjai a borátok családjának perspektívikus tulajdonságokkal (pl. szcintillátor)

A lítium-ritkaföldfém-ortoborátok tulajdonságai

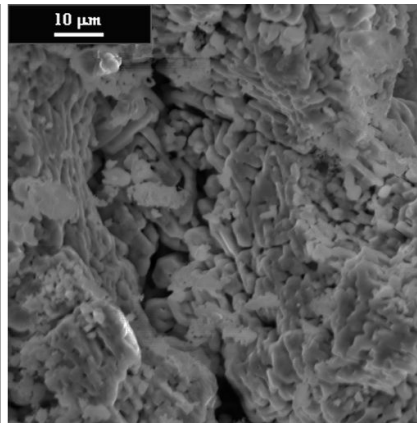
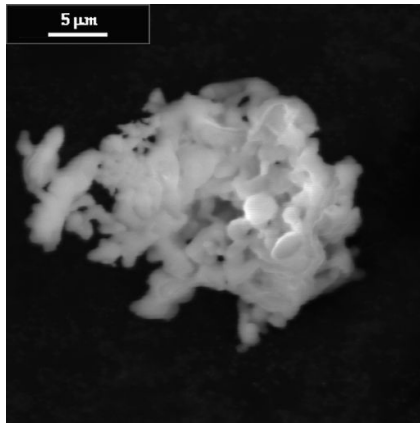
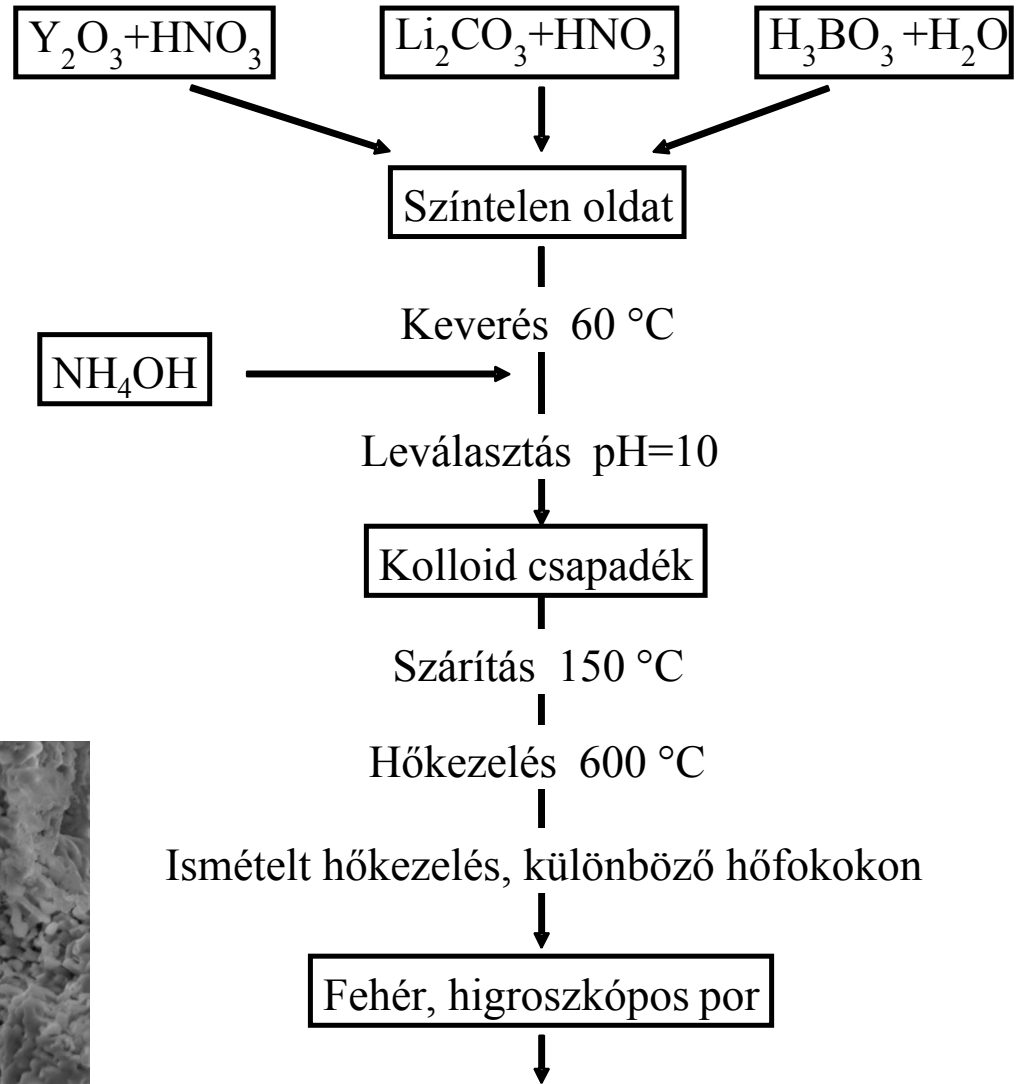
- $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ kristályok monoklin rendszerbe tartoznak ($P2_1/c$ térceport)
 $\text{Li}_6\text{Ln}(\text{BO}_3)_3$ kristályokkal izostrukturálisak \rightarrow izomorf helyettesítés
 $\text{Ln} = \text{Ce}, \text{Pr}, \mathbf{Gd}, \text{Dy}, \text{Er}, \text{Yb}$
- Nagy sűrűség, nagy effektív atomszám $\rightarrow \gamma$ -foton elnyelő
- ^6Li és ^{10}B (^{157}Gd) izotópok \rightarrow neutronbefogó
- Gazdarácsba beépülő egyes ritkaföldfémionok lumineszcenciája UV/VIS tartományban (pl. Dy^{3+} , Ce^{3+}) \rightarrow szcintillátoranyag, LED forrás, lézer



$\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ előállítása oldat fázisban

Lépések:

- Oldatkészítés
- Hőkezelés
- Vizsgálat



Egykristálynövesztés

Szinterelt alapanyagból [$6 \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3 + 3 \text{B}_2\text{O}_3 = 2 \text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3 + 6 \text{CO}_2$]

Bridgman és Czochralski módszerrel

Czochralski növesztés paramétereit:

- Op. ~880 °C
- 10-14 nap
- 20 mm átmérő
- 20-40 mm hossz

$\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$

LYB:Er 0,05 mol%; 1,00 mol%

LYB:Yb 0,10 mol% - 20,00 mol%

LYB:Dy 1,00 mol%; 5,00 mol%

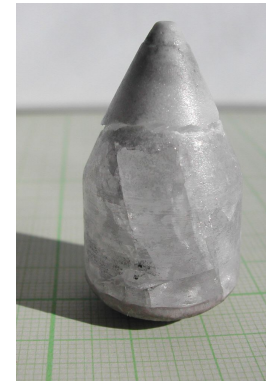
LYB:Pr 1,00 mol%; 10,00 mol%

$\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3$

LGB:Ce 0,20 mol%; 1,00 mol%

LYB

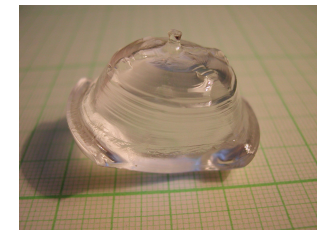
Bridgman



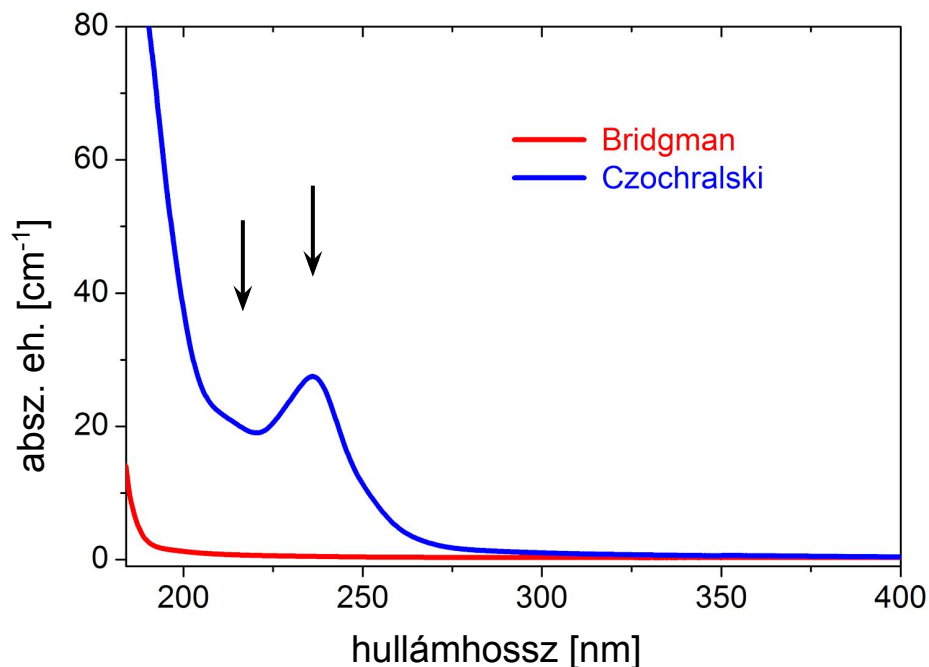
Czochralski



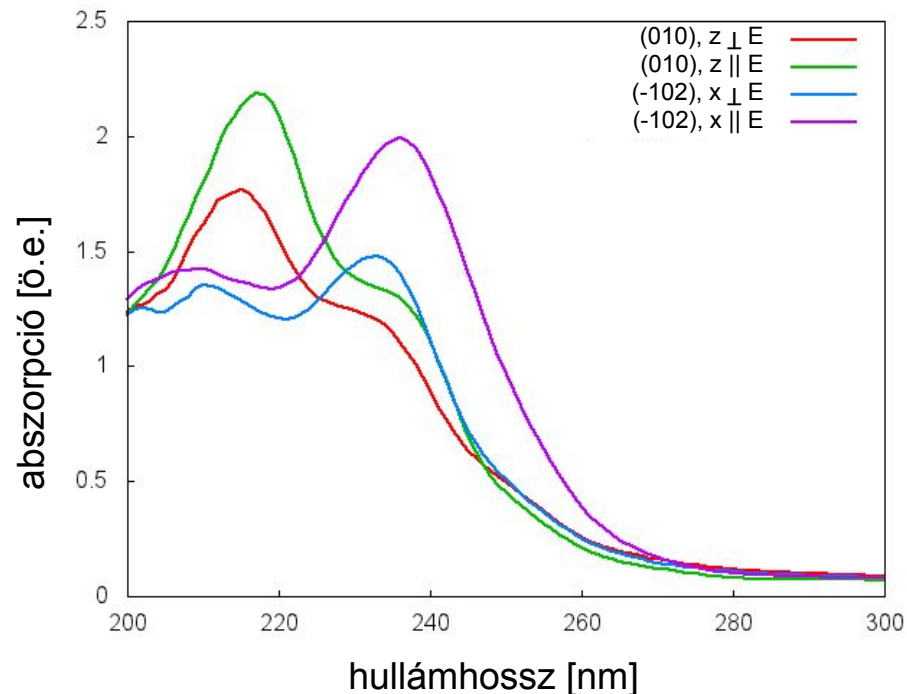
LGB



UV abszorpció



abszorpciós sávok polarizációfüggése



Czochralski növesztésnél UV abszorpciós élnél sávok jelennek meg:

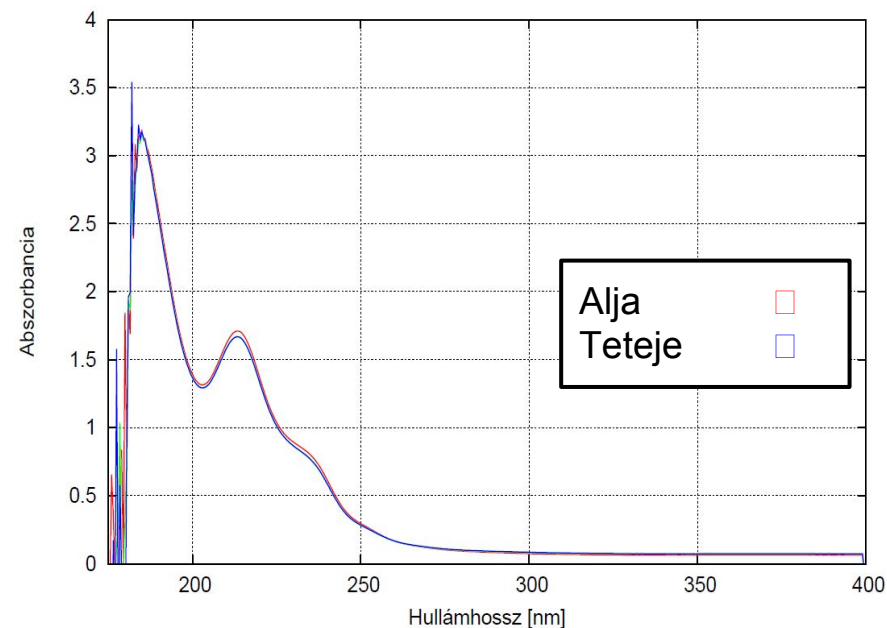
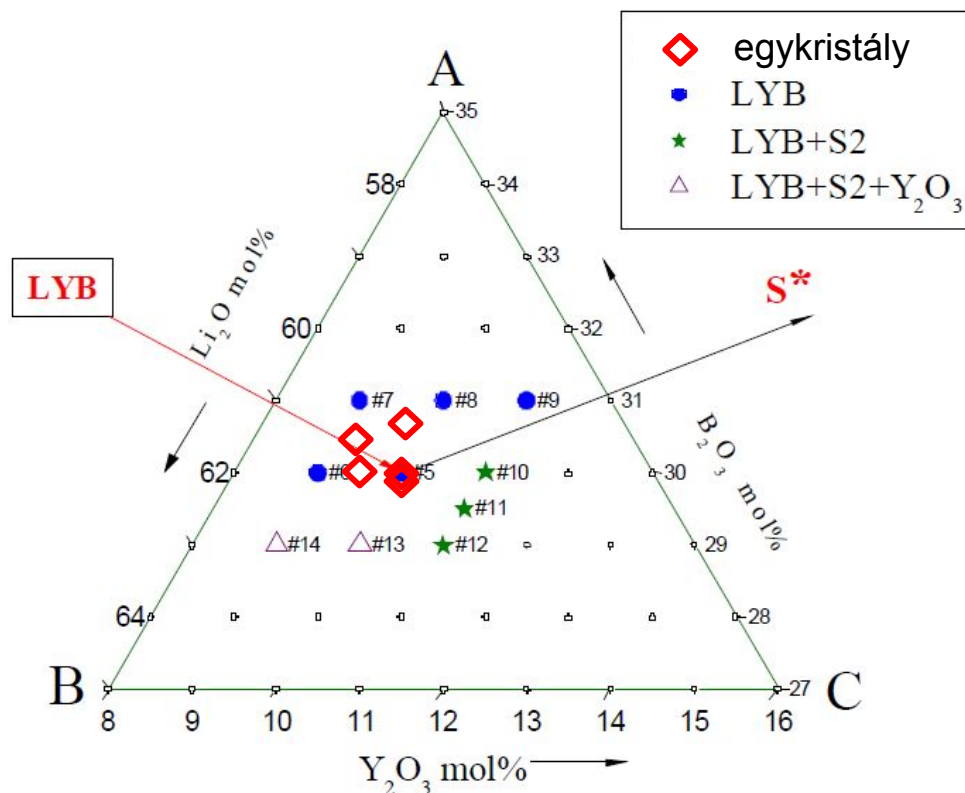
Bridgman: zárt rendszer, inert atmoszféra, grafittégely

Czochralski: levegőn, arany bevonatú platinatégely

XRF, TSL, analitika mérések → intrinszik hiba

Eltolt sztöchiometriájú $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ kristályok

Á. Péter, K. Polgár, M. Tóth, *J. Cryst. Gr.* 346 (2012) 69–74.

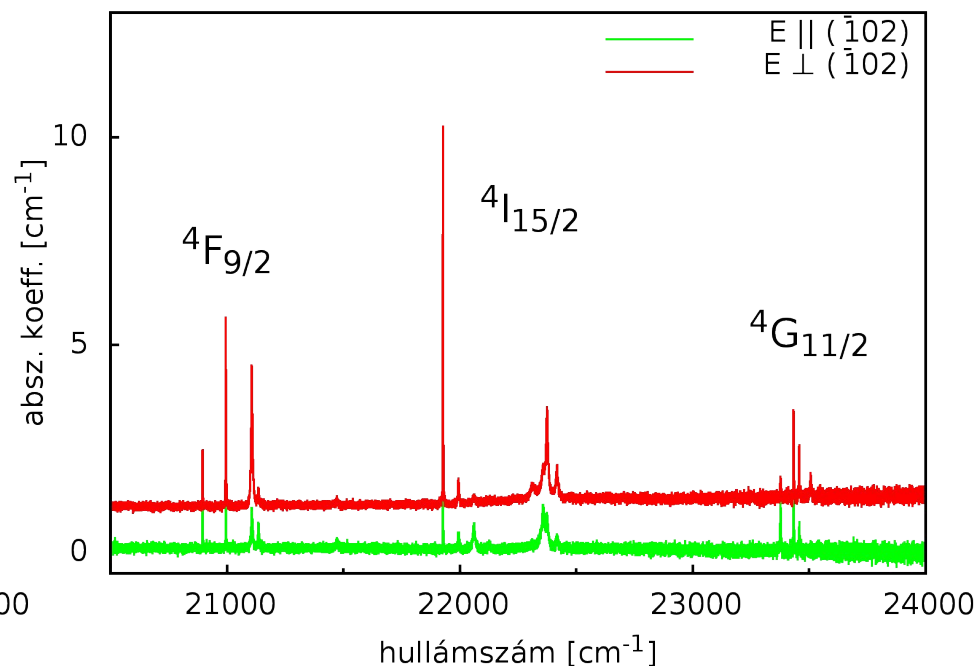
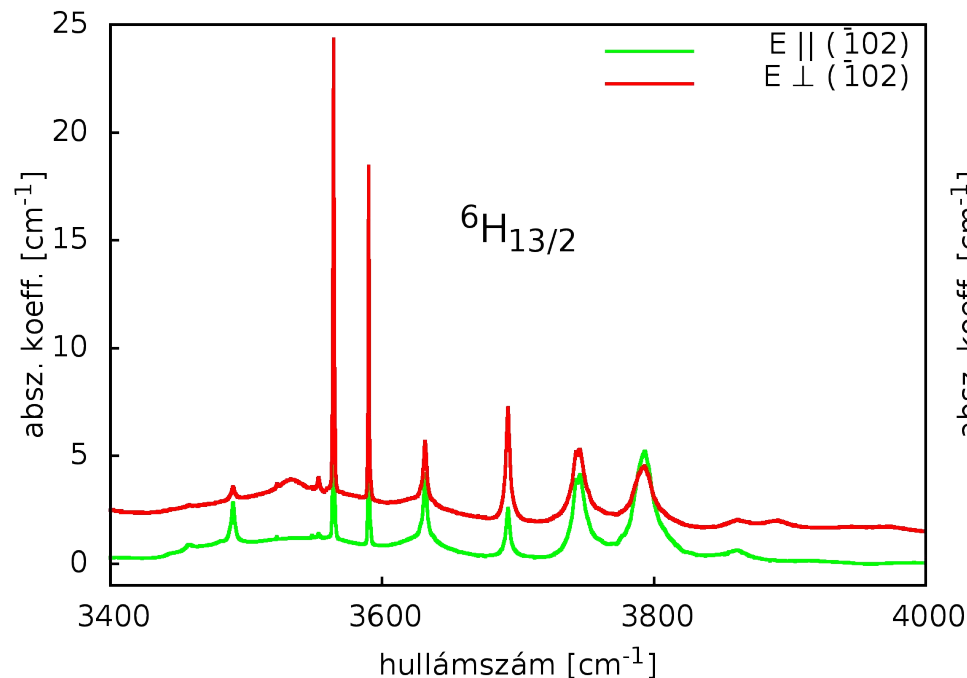


Növesztési tartomány meghatározása,
Y-szegény, B- / Li-gazdag kiindulási alanyagból.

Sztöchiometrikus kiindulási anyag →
kristály hossz tengelye mentén nincs változás.

Ritkaföldfémekkel adalékolt LYB kristályok

Dy³⁺ FTIR abszorpció



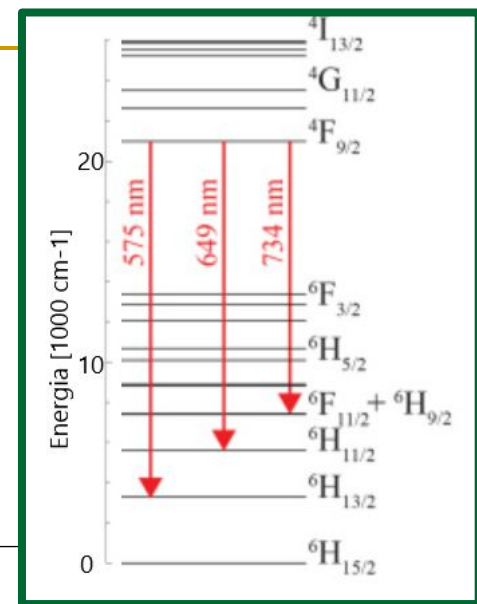
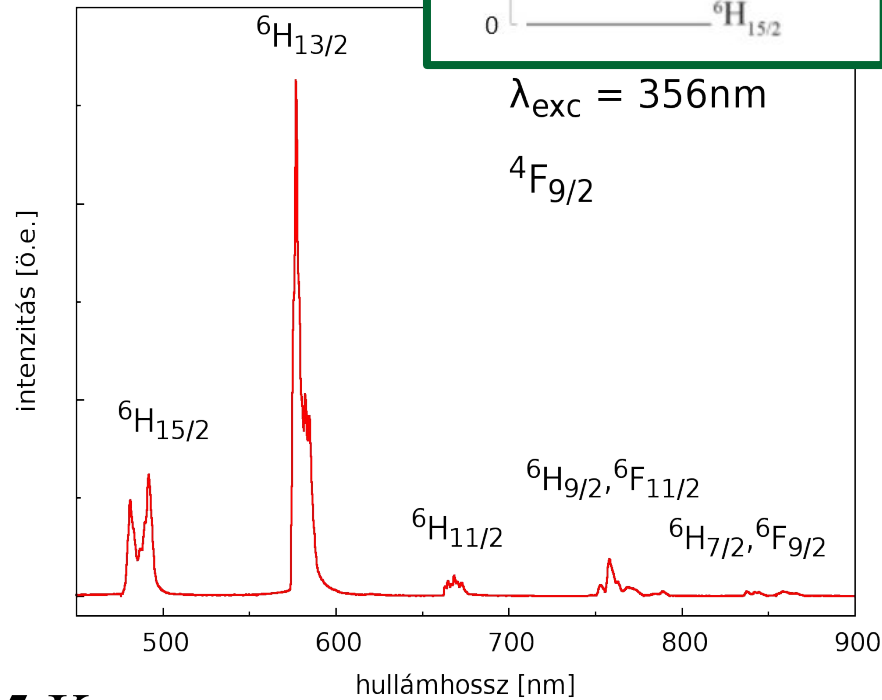
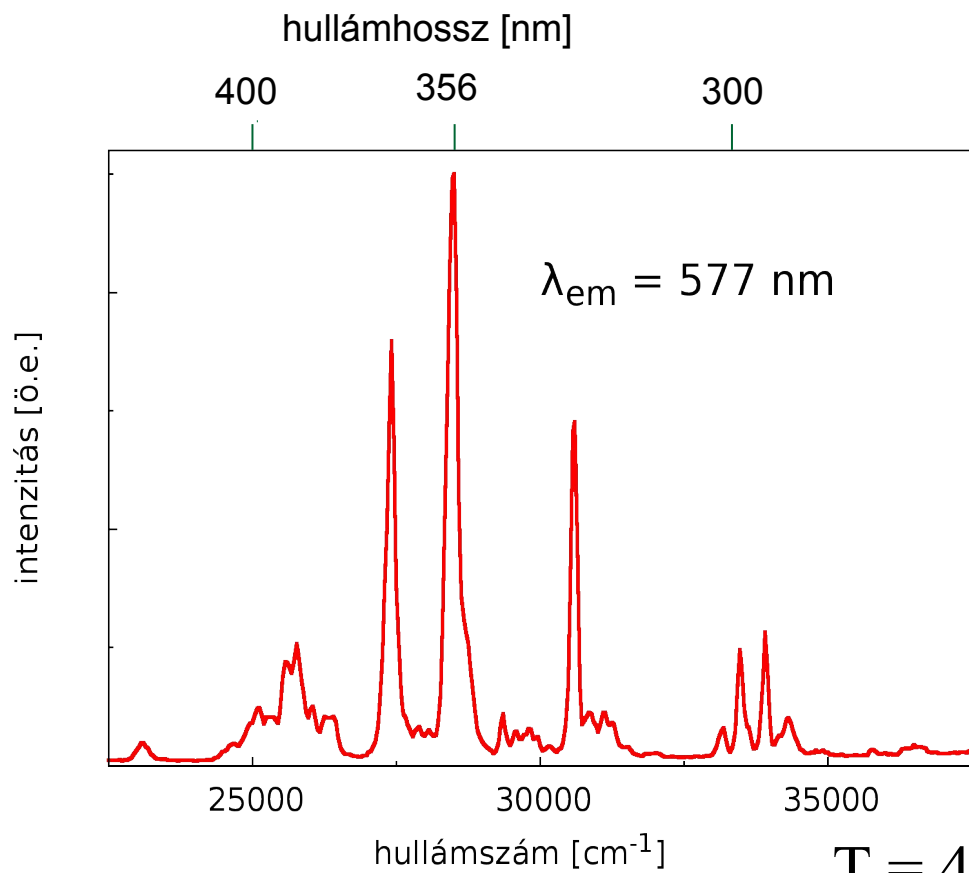
3000-40000 cm⁻¹ tartomány, T = 8 K

polarizáció és hőmérsékletfüggés

Er³⁺, Yb³⁺, Pr³⁺ ionok hasonlóképpen

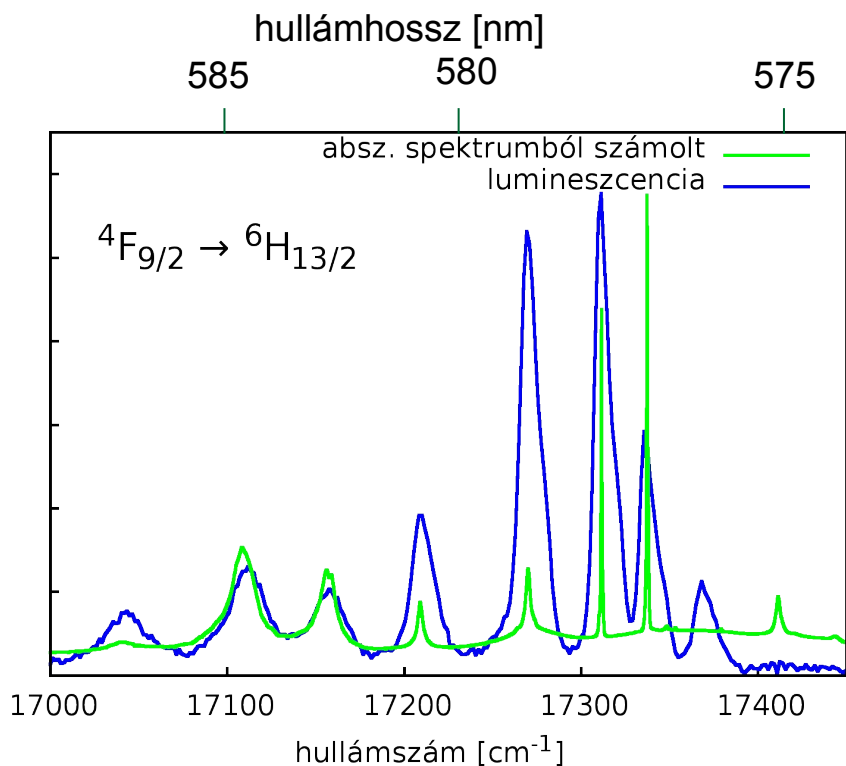
LYB:Dy lumineszcencia

Gerjesztési és emissziós spektrumok



Dy³⁺ ion energiaszintjei

Abszorpció + lumineszcencia

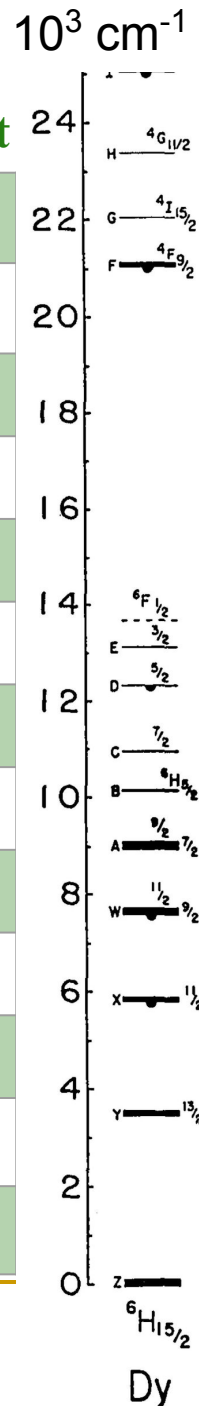


T = 78 K (lumineszcencia)

T = 8K (FTIR)

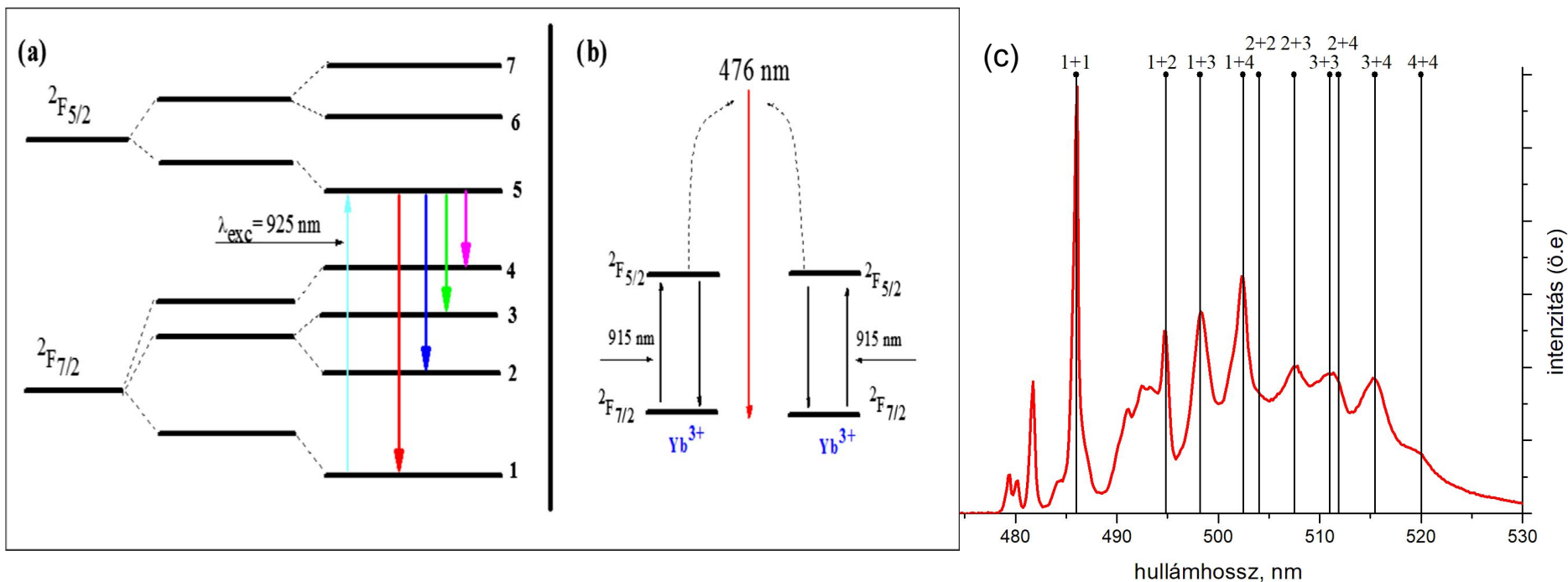
1. sáv Kísérlet Elmélet

$4G_{11/2}$	23378	4	6
$4I_{15/2}$	21928,7	8	8
$4F_{9/2}$	20896,0	5	5
$6F_{1/2}$	13873,6	1	1
$6F_{3/2}$	13327,2	2	2
$6F_{5/2}$	12470,0	3	3
$6F_{7/2}$	11038,6	4	4
$6H_{5/2}$	10233,0	3	3
$6H_{7/2} + 6F_{9/2}$	8980,3	9	9
$6H_{9/2} + 6F_{11/2}$	7613,4	11	11
$6H_{11/2}$	5901,2	6	6
$6H_{13/2}$	3564,7	7	7
$6H_{15/2}$	0	8	8



Yb³⁺ ionok kooperatív lumineszcenciája

LYB:Yb 20 mol% koncentrációjú kristályban



(a) Yb³⁺ ionok energiadiagramja

(b) két Yb³⁺ ion részvételével létrejövő kooperatív emisszió (IR → kék felkonverzió) semája.

(c) 972,3 nm-es CW lézerrel gerjesztett Yb-párok emissziós spektruma LYB kristályban.

Kristálymégmunkálás

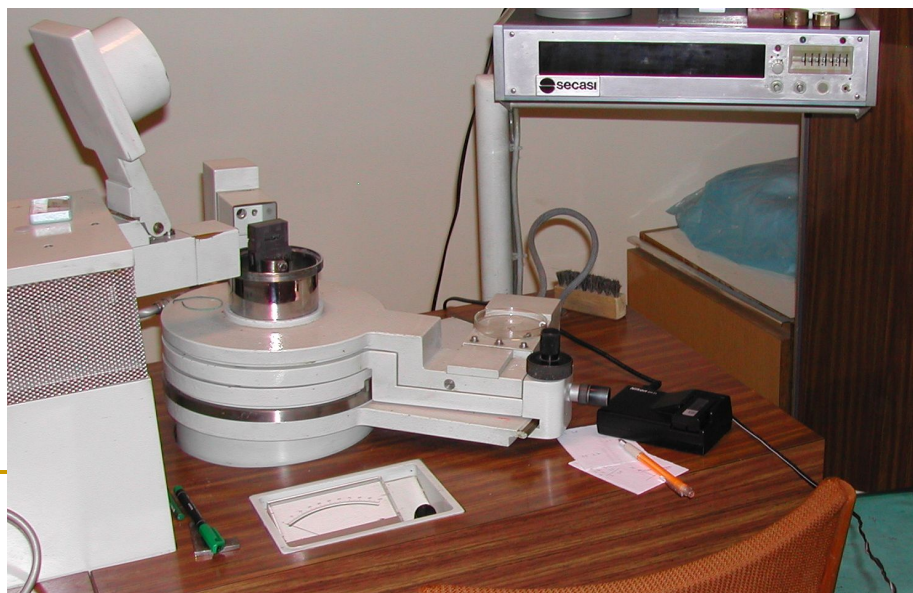
2017. szeptember óta

Mintakészítés spektroszkópiai célokra: LiNbO_3 , LYB

Partnerintézmények kérésére:

- BBO: frekvenciakétszerezés, fotonpárkeltés
- TeO_2 : nagy törésmutató, AOM
- LiNbO_3 szeletek, prizmák: THz-es alkalmazások

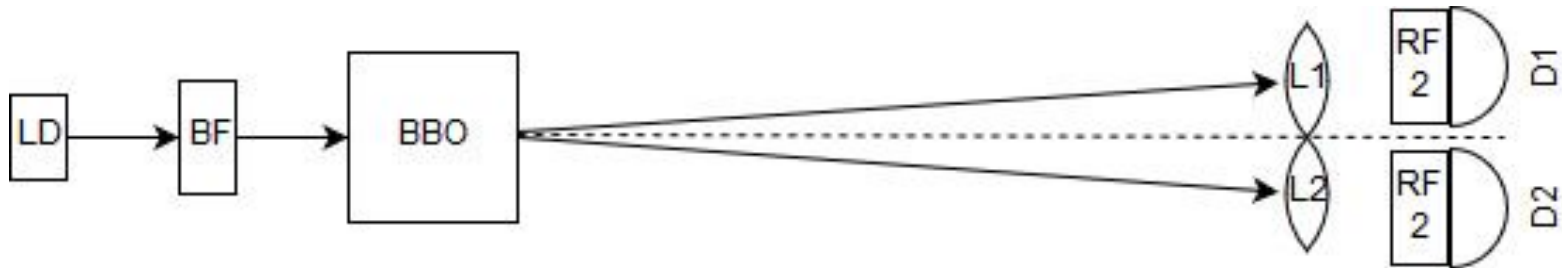
Eszközök, anyagok karbantartása, beszerzése.



Fotonpárkeltés

Egytengelyű, másodrendű nemlinearitással rendelkező kristály.

Type I fázisillesztésnél extraordinárius bemenetből keletkezik két ordinárius polarizációjú foton.



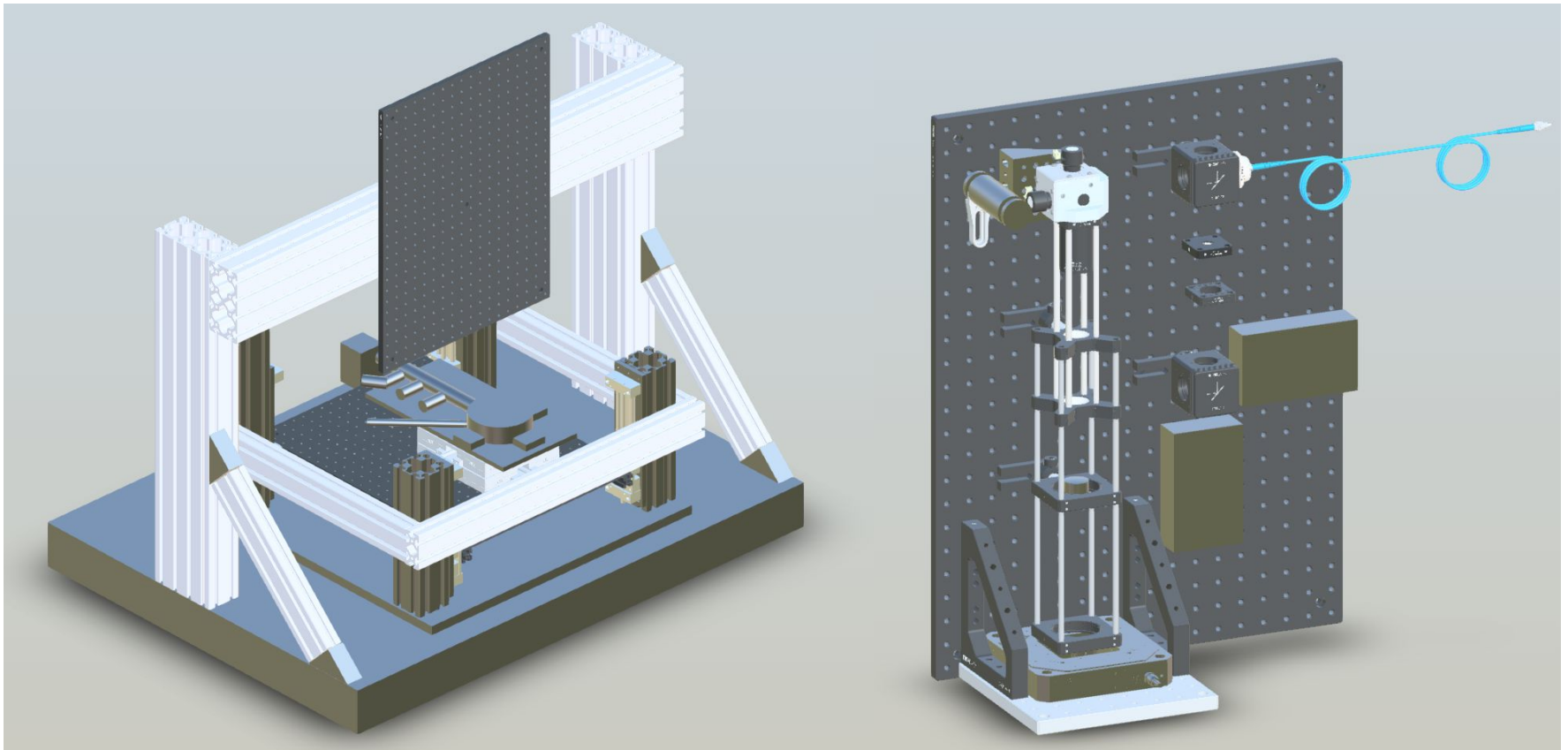
LD: lézerdióda, **BF:** kék szűrő, **BBO:** kristály,
L: fókuszáló lencse, **RF:** vörös szűrő, **D:** detektor

A keltett fotonpárok a pumpáló fénynyaláb körüli kúpfelületen helyezkednek el.

Lekonvertált fotonpárok energiában és időben összefonódtak.

Kvantumtechnológia Program

Konfokális mikroszkóp mechanikai és optikai tervezése 3D grafikai programmal.
Cél: ritkaföldfémekkel adalékolt nanoszemcsék fotoemisszóját detektálni.



Összefoglaló

- Doktori
 - $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ és $\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3$ oldatfázisú előállítás
 - LYB és LGB egykristálynövesztés
 - Abszorpciós mérések és lumineszcencia mérések
 - Dy^{3+} , Er^{3+} , Pr^{3+} és Yb^{3+} ionok energiaszintjei
- Kristálymegmunkálás
- HunQuTech
- Egyéb (laborlátogatások, interjú)

Tervek

- Dy^{3+} és Pr^{3+} ionok beépüléséről szóló cikkek
- Konferenciák idén: Kvantumelektronika, EURODIM, ECCG
- Házivédés tervezett ideje 2019. év eleje

Konferencia részvétel

- VIII. OATK, 2011
 - *Preparation and Study of $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ and $\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3$ Double Borates,*
É. Tichy-Rács, Á. Péter, V. Horváth, K. Polgár, K. Lengyel, L. Kovács
- EURODIM 2014
 - *Hydroxyl ions in $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ crystals,*
L. Kovács, É. Tichy-Rács, K. Komlai, K. Lengyel
 - *Spectroscopic properties of Yb^{3+} ions in $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ single crystals,*
G. Mandula, Z. Kis, É. Tichy-Rács, K. Komlai, L. Kovács, K. Lengyel, G. Corradi
- Kvantumelektronika 2014
 - *Lítium-ittrium-ortoborát kristályok infravörös és UV abszorpciós spektroszkópiája,*
Tichy-Rács É., Hajdara I., Komlai K., Szaller Zs., Lengyel K., Kovács L., Mandula G.
 - *Ritkaföldfém ionok spektroszkópiai tulajdonságai lítium-ittrium-borát egykristályokban,*
Tichy-Rács É., Komlai K., Mandula G., Lengyel K., Kis Zs., Kovács L., Corradi G.
- LUMDETR 2015
 - *Optical spectroscopy of $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ single crystal doped with dysprosium,*
É. Tichy-Rács, I. Romet, L. Kovács, K. Lengyel, G. Corradi, V. Nagirnyi, I. Hajdara
- ICDIM 2016
 - *Incorporation of rare earth ions in $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ single crystals,*
K. Lengyel, L. Kovács, É. Tichy-Rács, L. Oláh, G. Corradi
- EURODIM 2018, július, Lengyelország
- LUMDETR 2018, szeptember, Csehország
- ECCG6, 2018 szeptember, Bulgária

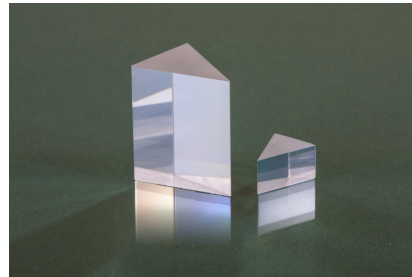
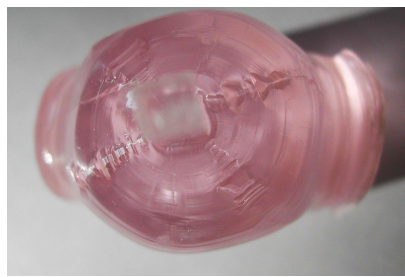
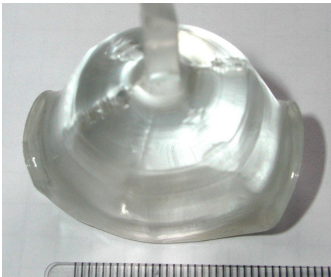
Publikációk

- D. K. Menyhárd, A. Kiss-Szemán, **É. Tichy-Rács**, B. Hornung, K. Rádi, Z. Szeltner, K. Domokos, I. Szamosi, G. Náray-Szabó, L. Polgár, V. Harmat, *A self-compartmentalizing hexamer serine protease from Pyrococcus horikoshii - substrate selection achieved through multimerization*, *J BIOL CHEM* **288**: (24) 17884-17894, 2013
- **É. Tichy-Rács**, Á. Péter, V. Horváth, K. Polgár, K. Lengyel, L. Kovács, *Preparation and Study of $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ and $\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3$ Double Borates*, *Materials Science Forum* 729 (2013) 493-496
- **Tichy-Rács É**, Hajdara I, Komlai K, Szaller Zs, Lengyel K, Kovács L, Mandula G, *Lítium-ittrium-ortoborát kristályok infravörös és UV abszorpciós spektroszkópiája*, Kvantumelektronika 2014, ISBN:978-963-642-697-2 P76, 2014
- **Tichy-Rács É**, Komlai K, Mandula G, Lengyel K, Kis Zs, Kovács L, Corradi G, *Ritkaföldfém ionok spektroszkópiai tulajdonságai lítium-ittrium-borát egykristályokban*, Kvantumelektronika 2014, ISBN:978-963-642-697-2 P77, 2014
- Szaller Zs, **Tichy-Rács É**, *Ultraibolya tartományban működő nemlineáris optikai egykristályok*, Természet Világa 146 (3) 121-124, 2015
- Romet I, Buryi M, Corradi G, Feldbach E, Laguta V, **Tichy-Rács É**, Nagirnyi V, *Recombination luminescence and EPR of Mn doped $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ single crystals*, *OPTICAL MATERIALS* 70: pp. 184-193. (2017)
- Kovács L, Arceiz Casas S, Corradi G, **Tichy-Rács É**, Kocsor L, Lengyel K, Ryba-Romanowski W, Strzep A, Scholle A, Greulich-Weber S, *Optical and EPR spectroscopy of Er^{3+} in lithium yttrium borate, $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$:Er single crystals*, *OPTICAL MATERIALS* 72: pp. 270-275. (2017)
- **É. Tichy-Rács**, I. Romet, L. Kovács, K. Lengyel, G. Corradi, V. Nagirnyi, I. Hajdara, *Optical spectroscopy of $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ single crystals doped with dysprosium* (beküldés előtt)
- K. Lengyel, **É. Tichy-Rács**, V. Nagirnyi, K. Timpmann, S. Vielhauer, I. Romet, L. Kovács, G. Corradi, R. Butkus, M. Vengris, R. Grigonis, V. Sirutkaitis, I. Sildos, V. Kiisk, L. Puust, *Cooperative luminescence of Yb pairs in $\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$:Yb single crystals* (beküldés előtt)

Köszönetnyilvánítás

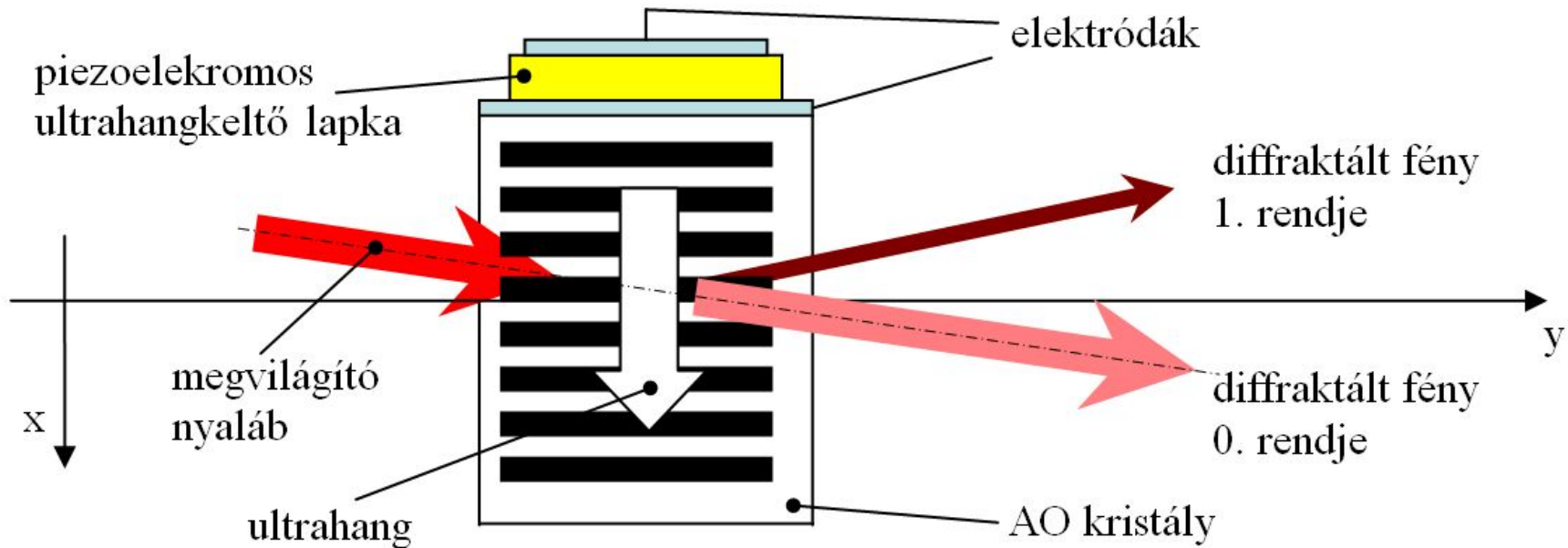
- Lengyel Krisztián és Polgár Katalin: témavezetők
- Horváth Valentina: preparatív és analitikai munkák
- Szaller Zsuzsanna, Komlai Krisztina, Kocsor Laura: kristálynövesztés
- Hajdara Ivett, Kovács László, Veres Miklós: spektroszkópia
- Kálmán Gyula, Matók Gyula, Péter Ágnes: mintakészítés, röntgen
- Vitali Nagirnyi, Ivo Romet, Corradi Gábor: lumineszcencia
- Czitrovsky Aladár, Donkó Zoltán, Kis Zsolt: pályázatok
- Kis Zsolt, Mandula Gábor: szaturációs spektroszkópiai mérések

Köszönöm a figyelmet!



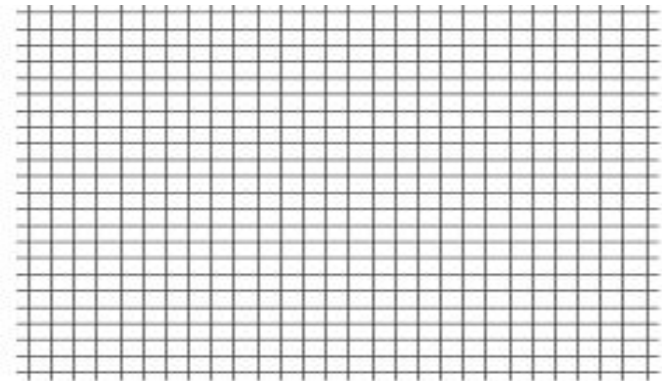
Alkalmazás - AOM

Hanghullámok terjedése szilárd anyagban



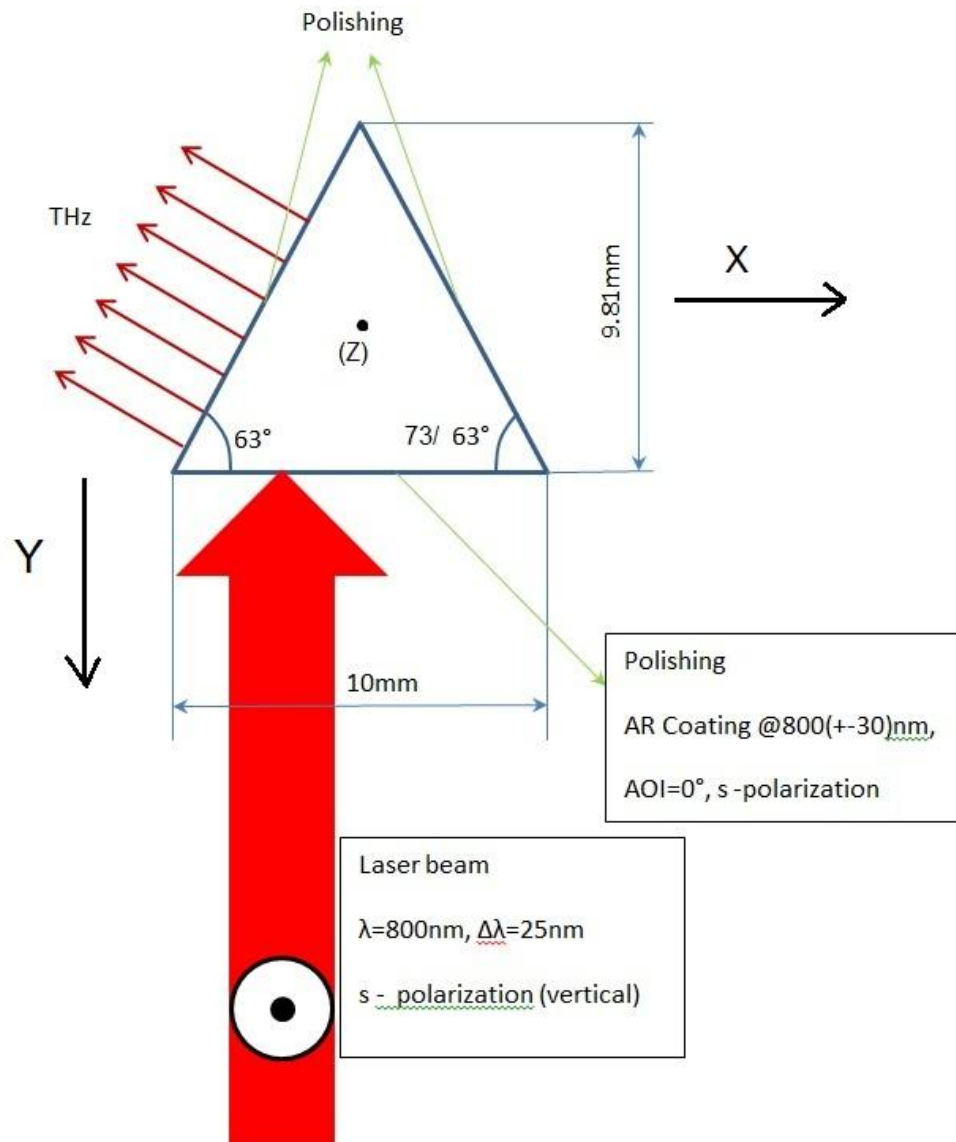
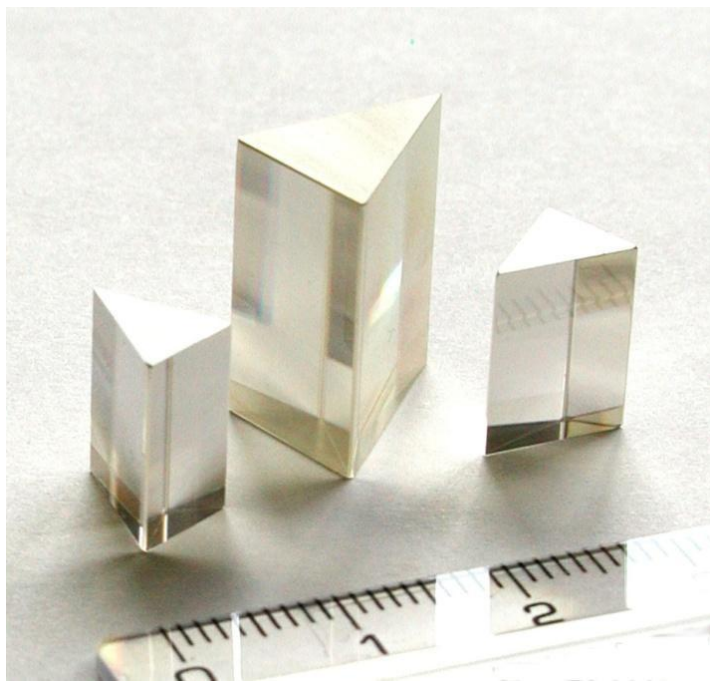
hullámkeltő: LiNbO_3

AO közeg: TeO_2



Alkalmazás - Terahertz

LiNbO_3



PTE, ELI