

2018

# ANKIETA OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

**ARTUR PODHORODECKI**

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA | Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Katedra Fizyki Doświadczalnej

## Spis treści

<b>INFORMACJE O OSIĄGNIĘCIACH I DOROBKU NAUKOWYM</b> .....	3
<b>1. OSIĄGNIĘCIA I DOROBEK NAUKOWY</b> .....	3
1.1. Dane bibliometryczne.....	3
1.2. Patenty.....	3
1.3. Wykaz współautorskich publikacji naukowych.....	3
<b>2. INFORMACJE O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ</b> .....	11
2.1 Wystąpienia naukowe .....	11
2.1.1. Zaproszone wystąpienia konferencyjne po uzyskaniu habilitacji .....	11
2.1.2 Zaproszone wystąpienia seminaryjne po uzyskaniu habilitacji.....	12
2.1.3 Ustne wystąpienia konferencyjne po uzyskaniu habilitacji.....	12
2.1.4 Zaproszone wystąpienia konferencyjne po doktoracie.....	12
2.1.5 Zaproszone wystąpienia seminaryjne po doktoracie .....	13
2.1.6 Ustne wystąpienia konferencyjne po doktoracie.....	13
2.1.7 Zaproszone wystąpienia konferencyjne przed doktoratem.....	14
2.1.8 Zaproszone wystąpienia seminaryjne przed doktoratem.....	14
2.1.9 Ustne wystąpienia konferencyjne przed doktoratem.....	14
2.3 Wykaz zrealizowanych projektów naukowo-badawczych.....	15
2.4 Kierowanie zespołami badawczymi.....	18
2.5 Recenzje prac doktorskich i udział w komisjach habilitacyjnych.....	19
2.6 Recenzje grantów i projektów.....	21
<b>3. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM</b> .....	21
<b>4. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ</b> .....	21
4.1 Recenzowanie prac w czasopismach międzynarodowych.....	21
4.2 Udział w komitetach organizacyjnych.....	21
4.3 Udział w konsorcjach i sieciach badawczych.....	22
4.4 Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism.....	22
4.5 Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych .....	23
4.6 Współpraca międzynarodowa .....	23
4.7 Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich.....	24
<b>5. OSIĄGNIĘCIA I DOROBEK DYDAKTYCZNY, POPULARYZATORSKI I ORGANIZACYJNY</b> .....	25
5.1 Opiekun prac doktorskich .....	25
5.2 Opiekun staży poddoktorskich i doktorskich .....	26
5.3 Opiekun zagranicznych staży studenckich.....	26
5.4 Działalność dydaktyczna.....	27
5.5 Udział w przygotowaniu nowych materiałów dydaktycznych i/lub kursów.....	27
5.6 Inna działalność dydaktyczna.....	27
<b>6. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA</b> .....	29
<b>INFORMACJA O NAJWAŻNIEJSZYM OSIĄGNIĘCIU NAUKOWYM</b> .....	30

## INFORMACJE O OSIĄGNIĘCIACH I DOROBKU NAUKOWYM

### 1. Osiągnięcia i dorobek naukowy

#### 1.1. Dane bibliometryczne

Informacje za bazą Scopus (29.11.2018)

**Liczba publikacji:** 103

**Liczba cytowań (bez autocytowań):** 1104 (854)

**Liczba publikacji po habilitacji:** 36

**Indeks Hirscha:** 19

#### 1.2. Patenty

1. *Method of Surface Modification of Inorganic Fluoride Nanocrystals Doped with Rare Earth Ions*, B.Sojka, **A.Podhorodecki**, M.Bański, J.Misiewicz, **P.408279 (2014)/wdrozenie** (2018).
2. *Method of Lanthanides Doped Fluoride Nanocrystals Synthesis*, M.Bański, **A.Podhorodecki**, J.Misiewicz, Polish patent pending **P.407146 (2014)/wdrozenie** (2018).

#### 1.3. Wykaz współautorskich publikacji naukowych

##### 2018

---

103. [if 7.23] **A. Podhorodecki**, B. Krajnik, L. W. Golacki, U. Kostiv, G. Pawlik, M. Kaczmarek, D. Horak, Percolation limited emission intensity from up-converting NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals - a single nanocrystals optical studies, **Nanoscale** 10, 21186 (2018).
102. [if 2.94] M. Banski, M. Chrzanowski, G. Zatryb, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, Enhanced photoluminescence stability of CdS nanocrystals through a zinc acetate reagent, **RSC Advanced** 8, 25417 (2018).
101. [if 1.93] G. Zatryb, L. W. Golacki, M. M. Klak, F. Gourbilleau, **A. Podhorodecki**, Influence of rapid thermal annealing on the photoluminescence of Tb ions embedded in almost stoichiometric amorphous silicon nitride films, **Thin Solid Films**, w druku (2018).
100. [N/A] S. Ya. Paryzhak, T.I. Dumych, O.I. Karmash, E.E. Bila, D. Stachowiak, M. Banski, **A. Podhorodecki**, R.O. Bilyy, Simple two-step covalent protein conjugation to PEG-coated nanocrystals, **Ukrainian Biochemical Journal** 90, 8 (2018).

##### 2017

---

99. [N/A] **A. Podhorodecki**, L. W. Golacki, B. Krajnik, M. Banski, A. Lesiak, A. Noculak, E.Fiedorczyk, H. P.Woznica, J. Cichos, Infrared active nanoprobe for bio-medical imaging based on inorganic nanocrystals, The TechConnect World Innovation Conference (2017).

- 98.[if 2.89] G.Pawlik, J.Niczaj, A.Noculak, W. Radosz, **A.Podhorodecki**, Multiband Monte-Carlo modelling of up-conversion emission in sub 10 nm NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals - effect of Yb<sup>3+</sup> content, **J.Chem.Phys.** 146, 244111 (2017).
- 97.[if 3.22] D.Horak, U. Kostiv, V. Patsula, A. Noculak, **A. Podhorodecki**, D. Větvička, P. Poučková, Z.Sedláková, Phthalocyanine-conjugated upconversion NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup>@SiO<sub>2</sub> nanospheres for NIR-triggered photodynamic therapy, **Chem.Med.Chem.** 12, 2066-2073 (2017).
- 96.[if. 2.01] B.Sojka, D.Kociotek, M.Banski, T. Borisova, N. Pozdnyakova, A. Pastukhov, A. Borysov, M. Dudarenko, **A. Podhorodecki**, Effects of surface functionalization of hydrophilic NaYF<sub>4</sub> nanocrystals doped with Eu<sup>3+</sup> on glutamate and GABA transport in brain synaptosomes, **J.Nanoparticles Res.** 19, 275(2017).
- 95.[if 5.02] Down-Shifting Si-based layer for Si solar applications, L.Dumont, P.Benzo, J.Cardin, I.S.Yu, C.Labbe, P.Marie, C.Dufour, G.Zatryb, **A.Podhorodecki**, F. Gourbilleau **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 169, 132 (2017).
- 94.[if. 3.57] A.Noculak and **A.Podhorodecki**, Surface and shape effects in β-NaGdF<sub>4</sub>:Yb,Er nanocrystals, **Nanotechnology** 28,175706 (2017).
- 93.[if. 2.01] B. Sojka, A.Liskova, M.Kuricova, M. Banski, J.Misiewicz, M.Dusinska, M. Horvathova, S.Ilavka, M. Szabova, E. Rollerova, **A. Podhorodecki**, J. Tulinska, The effect of core and lanthanide ion dopants in sodium fluoride based nanocrystals on phagocytic activity of human blood leukocytes, **J.Nanoparticles Res.** 19, 68 (2017).
- 92.[if. 3.57] C. Labbé, Y.-T. An, G. Zatryb, X. Portier, **A. Podhorodecki**, P. Marie, C. Frilay, J. Cardin and F. Gourbilleau, Structural and emission properties of Tb<sup>3+</sup>-doped nitrogen-rich silicon oxynitride films, **Nanotechnology**, 28 115710 (2017).

## 2016

---

91. [if 3.84] A. Wozniak, A.Noculak, J. Gapiński, D. Kociotek, A. Boś-Liedke, T. Zalewski, B. F. Grzeškowiak, A.Kołodziejczak, M. Banski, S. Jurga, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, Cytotoxicity and Imaging Studies of β-NaGdF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>,Er<sup>3+</sup>@PEG-Mo Nanorods, **RSC Advances** 6, 95633 (2016).
90. [if 3.84] B.Sojka, **A. Podhorodecki**, M. Banski, S. Drobczynski, T.Dumych, M. M. Lutsyk, A. Lutsyk, R.Bilyy, NaGdF<sub>4</sub>:Eu nanocrystal markers for melanoma tumor imaging, **RSC Advances** 6, 57854 (2016).
89. [if 3.27] M.Banski, A.Noculak, J.Misiewicz, A.Podhorodecki, Rice oil as a green source of capping ligands for GdF<sub>3</sub> nanocrystals, **New Journal of Chemistry**, 40, 7928 (2016).
88. [if 3.30] K. Dubas, M. Baranowski, **A. Podhorodecki**, M. Jones, K. Gibasiewicz, Unified model of nanosecond charge recombination in closed reaction centers from Rhodobacter sphaeroides. Role of protein polarization dynamics, **The Journal of Physical Chemistry B**, 120, 4890 (2016).
87. [if 1.76] M. M Klak, G. Zatryb, J. Wojcik, J.Misiewicz, P. Mascher, **A.Podhorodecki**, Mechanism of enhanced photoluminescence of Tb ions in hydrogenated silicon rich silicon oxide films, **Thin Solid Films** 611, 62 (2016).

## 2015

---

86. [if 2.27] G. Zatryb, M. Klak, J. Wojcik, J. Misiewicz, P. Mascher, **A. Podhorodecki**, Effect of hydrogen passivation on the photoluminescence of Tb ions in silicon rich silicon oxide films, **J. Appl. Phys.** 118, 243104 (2015).
85. [if 7.39] A. Noculak, **A. Podhorodecki**, G. Pawlik, M. Banski and J. Misiewicz, Ion-ion interactions in β-NaGdF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals – effect of ions concentration and their clustering, **Nanoscale** 7, 13784 (2015).

- 84.[if 3.73] G.Zatryb, P.Wilson, **A.Podhorodecki**, J.Misiewicz, J.Wojcik, P.Masher, Raman scattering from confined acoustic phonons of silicon nanocrystals in silicon oxide matrix, **Phys. Rev. B.** , 91, 235444 (2015).
- 83.[if 5.82] R.Bilyy and **A.Podhorodecki**, Can we use rare-earth nanocrystals to target glycans for the visualization of melanoma?, **Nanomedicine** 10, 1997 (2015).
- 82.[if 8.35] M. Banski, M.Afzaal, M.A. Malik, **A.Podhorodecki**, J. Misiewicz, P. O'Brien, A Special Role for Zinc Stearate and Octadecene in the Synthesis of Luminescent ZnSe Nanocrystals, **Chem. Mater.** 27,3797 (2015).

## 2014

---

- 81.[if 6.96 after JMC] M. Banski, M. Afzaal, D. Cha, X. Wang, H. Tan, J. Misiewicz and **A. Podhorodecki**, Crystal phase transition in  $\text{Li}_x\text{Na}_{1-x}\text{GdF}_4$  solid solution nanocrystals - tuning of optical properties, **J.Mat.Chem. C** 2, 9911 (2014).
80. [if 4.09] J. Akhtar, M. Banski, M. Azad Malik, N. Revaprasadu, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, Facile Synthesis of Phosphine Free Ultra-Small PbSe Nanocrystals and Their Light Harvesting studies in ETA Solar Cell, **Dalton Transactions** 43, 16424 (2014).
79. [if N/A] T. Naz, A.Afzal, H.M. Siddiqi, J. Akhtar, A. Habib, M. Banski, **A. Podhorodecki**, 2-Aminoethanol-mediated wet chemical synthesis of ZnO nanostructures, **Appl Nanoscience**, uDOI 10.1007/s13204-014-0334-1 (2014).
78. [if 2.04] G. Zatryb, J. Misiewicz, P.R.J. Wilson, J. Wojcik, P. Mascher, **A. Podhorodecki**, Stress transition from compressive to tensile for silicon nanocrystals embedded in amorphous silica matrix, **Thin Solid Films** 571, 18-22 (2014).
- 77.[if 3.17] B.Sojka, M.Kuricova, A. Liskova, M. Bartusova, M. Banski, J.Misiewicz, M.Dusinska, M. Horvathova, E. Jahnova, S. Ilavska, M. Szabova, E. Rollerova, **A. Podhorodecki** and J. Tulinska, Hydrophobic sodium fluoride-based nanocrystals doped with lanthanide ions: assessment of in vitro toxicity to human blood lymphocytes and phagocytes, **Journal of Applied Toxicology** 34, 1220 (2014)
76. [N/A] **A. Podhorodecki**, A. Noculak, M.Banski, B. Sojka, A. Zelazo, J.Misiewicz, J. Cichos, M.Karbowiak, B. Zasonska, D. Horak, B.Sikora, D.Elbaum, T.Dumych, R. Bilyy, M.Szewczyk, Lanthanides Doped Nanocrystals for Biomedical Applications, **ECS Transactions**, 61(5), 115 (2014).
75. [if 1.60] T. Dumych, M. Lutsyk, M. Banski, A. Yashchenko, B.Sojka, R. Horbay, A. Lutsyk, R. Stoika, J.Misiewicz, A. Podhorodecki, R. Bilyy, Visualization melanoma tumor with lectin-conjugated rare-earth nanocrystals, **Cro. Medical Journal**, 55, 186 (2014).
- 74.[if 2.04] L.W. Golacki, N.V. Gaponenko, L.S. Khoroshko, A.M. Asharif, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, Thermal Tb emission quenching in  $\text{YAlO}_3$  matrix embedded in porous anodic alumina, **Optical Materials** 37, 200 (2014).
- 73.[if 2.22] **A.Podhorodecki**, L.W.Golacki, G.zatryb, J.Misiewicz, J.Wojcik, P.W.Wilson, P.Masher,J.Wang, W.Jadwisienczak, K.Fedus, Excitation mechanism and thermal emission quenching of Tb ions in Silicon Rich Silicon Oxide thin films grown by PECVD - do we need silicon nanoclusters?, **J.Appl. Phys.**, 115, 143510 (2014).
- 72.[if 2.28] A.Noculak, Y. S. Fhui, M. Banski, J. Misiewicz and **A. Podhorodecki**,  $\text{Yb}^{3+}$  and  $\text{Tm}^{3+}$  concentration dependent structural and optical properties of hexagonal  $\text{NaGdF}_4$  nanocrystals, **J.Nanoparticles Research**, 16, 2396 (2014).

## 2013

---

- 71.[if N/A] N. Gaponenko, V. Kortov, V. Pustovarov, L. Khoroshko, M. Rudenko, A. Asharif, I. Molchan, G. Thompson, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, S. Prislopskii, Enhanced Photo-and X-Ray luminescence from xerogels embedded in mesoporous anodic alumina, ISBN: 978-966-335-395-1. IEEE Catalog Number: CFP13788, 857 (2013).
- 70.[if 2.10] G. Zatoryb, **A. Podhorodecki**, J. Serafińczuk, M. Motyka, M. Banski, J. Misiewicz, N. V. Gaponenko, Optical properties of Tb and Eu doped cubic YAlO<sub>3</sub> nanophosphors synthesized by sol-gel method, **Optical Materials**, 35, 2090 (2013).
- 69.[if 2.54] **A. Podhorodecki**, N. V. Gaponenko, G. Zatoryb, I. S. Molchan, M. Motyka, J. Serafinczuk, L. W. Golacki, L.S. Khoroshko, J. Misiewicz, G. E. Ion-ion interaction in two dimensional nanoporous alumina filled with cubic YAlO<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> matrix, **J. Phys. D: Appl. Phys.** 46, 355302 (2013).
- 68.[if 3.83] M. Banski, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, NaYF<sub>4</sub> nanocrystals with TOPO ligands: synthesis-dependent structural and luminescent properties, **Phys. Chem. Chem. Phys.** 15, 19232 (2013).
- 67.[if 2.72] G. Zatoryb, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, J. Cardin, F. Gourbilleau, Correlation between matrix structural order and compressive stress exerted on silicon nanocrystals embedded in silicon-rich silicon oxide, **Nanoscale Res. Lett.** 8, 40 (2013).
- 66.[if 2.72] **A. Podhorodecki**, G. Zatoryb, L.W. Golacki, J. Misiewicz, J. Wojcik, P. Masher, On the origin of emission and thermal quenching of SRSO:Er<sup>3+</sup> films grown by ECR-PECVD, **Nanoscale Res. Lett.** 8, 98 (2013).
- 65.[if 2.10] G. Zatoryb, **A. Podhorodecki**, M. Banski, J. Misiewicz, N. V. Gaponenko, Influence of annealing temperature on the electron-lattice coupling strength in terbium doped yttrium alumina perovskite xerogels embedded in nano-porous anodic alumina, **Optical Materials** 35, 1230-1235 (2013).
- 64.[if 5.92] M. Banski, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, M. Afzaal, P. O'Brien, Selective excitation of Eu<sup>3+</sup> in the core of small β-NaGdF<sub>4</sub> nanocrystals, **J. Mater. Chem. C** 1, 801 (2013).
- 63.[if 5.91] **A. Podhorodecki**, M. Banski, A. Noculak, B. Sojka, G. Pawlik, J. Misiewicz, On the nature of carriers relaxation and ion-ion interactions in ultrasmall β-NaYF<sub>4</sub> nanocrystals-effect of the surface, **Nanoscale** 5, 429 (2013).

## 2012

---

- 61.[if 3.97] **A. Podhorodecki**, G. Zatoryb, J. Misiewicz, J. Wojcik, P. R. J. Wilson, P. Mascher, Green light emission from terbium doped silicon rich silicon oxide films obtained by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, **Nanotechnology** 23, 475707 (2012).
- 60.[if 2.34] R. Reisfeld, V. Levchenko, Ts. Saraidarov, E. Rysiakiewicz-Pasek, M. Baranowski, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, T. Antropova, Steady state and femtosecond spectroscopy of Perylimide Red dye in porous and sol-gel glasses, **Chemical Physics Letters** 171, 546 (2012).
- 59.[if 2.02] **A. Podhorodecki**, N.V. Gaponenko, M. Banski, M.V. Rudenko, L.S. Khoroshko, A. Sieradzki, J. Misiewicz, Green emission from barium strontium titanate introduced into nanoporous substrate, **Optical Materials** 34, 1570 (2012).
- 58.[if N/A] **A. Podhorodecki**, Designing, Synthesis and Optical Properties of Ultrasmall β-NaYF<sub>4</sub> Nanocrystals Doped by Lanthanides Ions for Bio-Medical Applications, **ECS Trans.** 45, 191 (2012).
- 57.[if 3.28] M. Banski, M. Afzaal, **A. Podhorodecki**, Jan Misiewicz, Paul O'Brien, Passivation of lanthanide surface sites in ultrasmall NaYF<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup> nanocrystals, **J. Nanoparticles Research** 14, 1228 (2012).
- 56.[if 5.96] **A. Podhorodecki**, M. Banski, J. Misiewicz, M. Afzaal, P. O'Brien, D. Cha, X. Wang, The Multicolor light emitters based on energy exchange between Tb and Eu ions co-doped into ultrasmall β-NaYF<sub>4</sub> nanocrystals, **J. Materials Chemistry** 22, 5356 (2012).

## 2011

---

- 55.[if 3.97] G.Zatryb, **A. Podhorodecki**, X. J. Hao, J. Misiewicz, Y. S. Shen and M. A. Green, Correlation between stress and carriers nonradiative recombination for silicon nanocrystals in an oxide matrix, **Nanotechnology** 22, 335703(2011).
- 54.**A. Podhorodecki**, M.Banski, J.Misiewicz, Synthesis and optical properties of lanthanides based inorganic markers for bio-medical applications, **Biopolymers and Cell** 27,154 (2011).
- 53.[if 2.27] **A. Podhorodecki**, P. Gluchowski, G. Zatryb, M. Syperek, J. Misiewicz, W. Lojkowski, W. Strek, Influence of pressure induced transition from nanocrystals to nanoceramic form on optical properties of Ce doped  $Y_3Al_5O_{12}$  **Journal of American Ceramic Society** 94, 2135 (2011).
52. [if 2.72] G. Zatryb, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, F.Gourbilleau, On the origin of stretched exponential photoluminescence decay of silicon nanocrystals, **Nanoscale Research Letter** 6, 106 (2011).
51. [if 9.90] J. Akhtar, M. Afzaal, M.Banski, **A. Podhorodecki**, J.Misiewicz, U. Bangert, S. J. O. Hardman, D. M. Graham, W.R. Flavell, D. Binks, S.Gardonio, S. Lizzite and P. O Brien, Investigations into Luminescent Homogenous  $PbS_xSe_{1-x}$  Nanoalloys, **Journal of American Chemical Society** 133, 5602 (2011).

## 2010

---

- 50.O. Debieu, D. Bréard, **A. Podhorodecki**, G. Zatryb, J. Misiewicz, C. Dufour, C. Labbé, and F. Gourbilleau, Effect of annealing and Nd concentration on the photoluminescence of  $Nd^{3+}$  ions coupled with silicon nanoparticles, **Journal of Applied Physics**, 108, 113114 (2010).
- 49.G. Zatryb, **A. Podhorodecki**, X. J. Hao, J. Misiewicz, Y. S. Shen, M. A. Green, Quantitative evaluation of boron-induced disorder in multilayered matrix containing silicon nanocrystals designed for photovoltaic applications, **Optics Express** 18, 22004 (2010).
- 48.**A. Podhorodecki**, M. Banski, J. Misiewicz, C. Lecerf, P. Marie, J. Cardin, and X. Portier, Influence of neodymium concentration on excitation and emission properties of Nd doped gallium oxide nanocrystalline films, **Journal of Applied Physics** 108, 063535 (2010).
- 47.**A. Podhorodecki**, M. Banski, J. Misiewicz, N. V. Gaponenko, T.Kim, Excitation mechanisms of green emission from terbium ions embedded inside the sol-gel films deposited onto nano-porous substrates, **ECS Transactions**, 28, 81 (2010).
- 46.**A. Podhorodecki**, M. Banski, J. Misiewicz, J. Serafinczuk, N. V. Gaponenko, Influence of the annealing temperature on excitation of terbium luminescence in yttrium-aluminum oxide films deposited onto porous anodic alumina, **Journal of Electrochemical Society**, 157, H628 (2010).
- 45.M. Banski, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, Influence of sol-gel matrices on the optical excitation of Europium ions ( $Eu^{3+}$ ), **Materials Science-Poland** 28, 217 (2010).
- 44.**A. Podhorodecki**, G. Zatryb, J. Misiewicz, F. Gourbilleau, R. Rizk, Temperature dependent emission quenching in silicon-rich oxide films, **J. Nanoscience and Nanotechnology** 10, 1 (2010).
43. **A. Podhorodecki**, J.Misiewicz, F. Gourbilleau and C. Dufour, Direct evidence of the energy transfer from silicon nanocrystals to Nd ions, **Electrochemical Solid State Letters**, 13, K26 (2010).

## 2009

---

42. G. Zatryb, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, J. Wójcik, P. Masher, Size dependent indirect excitation of  $Er^{3+}$  ions embedded into Si nanocrystals matrix deposited by ECR-PECVD, **Journal of Nanotechnology**, 769142, (2009).

41. X. J. Hao, **A. Podhorodecki**, Y. S. Shen, G. Zatoryb, J. Misiewicz, M. A. Green, Effects of non-stoichiometry of O/Si ratio on the structural and optical properties of silicon quantum dots in a silicon dioxide matrix, **Nanotechnology**, 20, 485703 (2009).
40. **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, M. Nyk, J. Misiewicz, W. Stręk, Surface- and volume-related excitation mechanism of Eu-doped nanocrystalline GaN powders, **Optical Materials** 31, 1252 (2009).
39. **A. Podhorodecki**, M. Nyk, G. Zatoryb, J. Misiewicz, W. Stręk, Influence of europium concentration of optical and structural properties of GaN nanocrystalline powder, **Electrochemical Solid State Lett.** 12, K33-K36 (2009).
38. Amit Kumar, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, D. K. Avasthi, J. C. Pivin, Modification of molecular transitions in fullerene films under ion impacts, **J. Appl. Phys.** 105, 024314 (2009).
37. R. Billy, A. Tomyń, Y. Kit, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, M. Nyk, W. Stręk, R. Stoika, Detection of dying cells using lectin-conjugated fluorescent and luminescent nanoparticles, **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik**, 40, 4 (2009).
36. **A. Podhorodecki**, G. Zatoryb, J. Misiewicz, Danuta Kaczmarek, Jarosław Domaradzki, Agnieszka Borkowska, The influence of annealing temperature on excitation mechanism of europium ions embedded into TiO<sub>2</sub> nanocrystalline thin films, **Journal of Electrochemical Society**, 2, K33 (2009).
35. **A. Podhorodecki**, G. Zatoryb, J. Misiewicz, D. Kaczmarek, J. Domaradzki, A. Borkowska, E. Prociow, Excitation mechanism of europium ions embedded into TiO<sub>2</sub> nanocrystalline thin films, **Thin Solid Films**, 517, 6331 (2009).

## 2008

---

34. J. Prazmowska, R. Korbutowicz, R. Paszkiewicz, A. Szyszka, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, M. Tlaczala, Influence of the deposition parameters of nucleation layer on the properties of thick gallium nitride layers, **Mater. Sci-Poland** 26, 79 (2008).
33. J. Prazmowska, R. Korbutowicz, R. Paszkiewicz, A. Szyszka, J. Serafinczuk, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz and M. Tlaczala, Optimization of GaN nucleation layer deposition conditions on sapphire substrates in HVPE system, **Vacuum** (2008).
32. M. Wosko, A. Szyszka, B. Paszkiewicz, R. Paszkiewicz, J. Serafinczuk, M. Tlaczala, **A. Podhorodecki**, G. Sęk, J. Misiewicz, A. Olszyna, K. Biesiada and K. Kosciwicz, New nanocrystalline powder substrates for nitrides layer epitaxy, **Vacuum**, (2008).
31. **A. Podhorodecki**, M. Nyk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, W. Stręk, R. Paszkiewicz, GaN ceramics obtained by fusing of nanocrystalline GaN powder at high pressures and temperatures as substrate for growth of GaN epilayers, **Journal of Crystal Growth** 310, 940 (2008).
30. **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, F. Gourbilleau, R. Rizk, Absorption mechanisms of silicon nanocrystals obtained at different hydrogen partial pressure in co-sputtered (SRSO) film, **Electrochemical Solid State Letters**, 11, K31 (2008).
29. R. Bilyy, **A. Podhorodecki**, A. Zaichenko, N. Mitina, R. Stoika, M. Nyk, J. Misiewicz, W. Stręk, Utilization of functional luminescent GaN:Eu<sup>3+</sup> nanoparticles for the detection of programmed cell death, **Physica E**, 2096 (2008).

## 2007

---

28. G. Zatoryb, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, K. Nauka, Influence of the cap layer and its stoichiometry on the optical properties of CdSe/ZnS-TOPO (amine) nanocrystalline powder, **Optica Applicata**, 37, 459 (2007).



27. Danuta Kaczmarek, Jarosław Domaradzki, Agnieszka Borkowska, **Artur Podhorodecki**, Jan Misiewicz, Optical emission from luminescence center: Eu, Tb, Nd In TiO<sub>2</sub> films obtained by magnetron sputtering method, **Optica Applicata** 37, 343 (2007).
26. G. K. Maliarevich, E. A. Stepanova, N. V. Gaponenko, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, Luminescence from Eu-doped garnets In porous anodic alumina membrane , **Euro Displays** S8, 149 (2007).
25. **A. Podhorodecki**, M. Nyk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, W. Strek, Optical investigation of the emission lines for Eu<sup>3+</sup> and Tb<sup>3+</sup> ions in the GaN powder host, **Journal of Luminescence**, 126, 219 (2007).
24. J. C. Pivin, M. Sendova-Vassileva, G. Lagarde, F. Singh, **A. Podhorodecki**, Photoluminescence of Eu<sup>3+</sup> and Sm<sup>3+</sup> ions in SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>:Na<sub>2</sub>O films formed from gels and ion implanted silica, **J. Optoelectronic and Advanced Materials** 9, 1872 (2007).
23. R. Paszkiewicz, M. Wosko, B. Paszkiewicz, M. Tlaczala, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, A. Olszyna, K. Biesiada, K. Kosciwicz, Nitrides Layer Growth on Nanocrystalline Composite Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC, Book of Extender Abstracts of 12 th European Workshop on Metalorganic Vapour Phase Epitaxy, Bratislava, Slovakia, Jun 3-5, p. 293 (2007).
22. **A. Podhorodecki**, G. Zatoryb, J. Misiewicz, J. Wojcik, P. Mascher, Influence of the annealing temperature and silicon concentration on the absorption and emission properties of Si nanocrystals, **Journal of Applied Physics** 102, 043104 (2007).
21. J. Domaradzki, A. Borkowska, D. Kaczmarek, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, Influence of post annealing on optical and structural properties of Eu and Pd-doped TiO<sub>2</sub> thin films, **Optica Applicata** 37, 51 (2007).
20. E. L. Prociow, J. Domaradzki, **A. Podhorodecki**, A. Borkowska, D. Kaczmarek, J. Misiewicz, Photoluminescence of Eu-doped TiO<sub>2</sub> thin films prepared by low pressure hot target magnetron sputtering, **Thin Solid Films** 515 6344 (2007).
19. M. Nyk **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, and W. Strek, Size shrinkage of GaN nanograins induced by Eu<sup>3+</sup> doping, **Electrochemical Solid State Letters** 10, H203 (2007).
18. P. Lutsyk, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, Ya. Vertsimakha, Photovoltaic properties of SnCl<sub>2</sub>Pc films and SnCl<sub>2</sub>Pc/pentacene heterostructures, **Solar Energy Materials and Solar Cells** 91, 47 (2007).
17. **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, M. Nyk, J. Misiewicz, and W. Strek, Energy transfer process between GaN nanocrystalites and Eu<sup>3+</sup> ions, **Electrochemical Solid State Letters** 10, H88 (2007). Wybrane do druku w Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology.

## 2006

- 
16. **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, K. Nauka, Photoluminescence and photoluminescence excitation spectroscopy of CdSe/ZnS core-shell free standing nanocrystals in the ultraviolet spectral range, **Physica Status Solidi C** 3, 3836 (2006).
  15. **A. Podhorodecki**, M. Nyk, J. Misiewicz, W. Strek, Total photoluminescence spectroscopy of GaN nanocrystals doped by Eu<sup>3+</sup> ions, **Proc. SPIE** 6321, 63210 (2006).
  14. V. Gayvoronsky, S. Yakunin, V. Pergamenshichik, V. Nazarenko, K. Palewska, J. Sworakowski, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, Photoluminescence of Nematic Liquid Crystal Doped with Anthraquinone Dye, **Ukr. J. Phys. Opt.** 7, 1 (2006).
  13. **A. Podhorodecki**, J. C. Pivin, M. Nyk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, and W. Strek, Optical properties of GaN nanocrystals embedded into silica matrices, **Super Lattices and Microstructures** 40, 533 (2006).
  12. **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, J. Wojcik, E. Irvin, P. Masher, 1.54 μm room temperature emission from Er<sup>3+</sup>-doped Si nanocrystals obtained by plasma enhanced chemical vapor deposition, **Journal of Luminescence** 121, 230 (2006).
  11. J. C. Pivin, M. Sendova-Vassileva, G. Lagarde, F. Singh, **A. Podhorodecki**, Optical activation of Eu<sup>3+</sup> ions by Ag nanoparticles in ion exchanged silica-gel films, **J. Phys. D: Appl. Phys.** 39, 2935 (2006).

10. R. Kudrawiec, M. Nyk, M. Syperek, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, and W. Strek, Photoluminescence from GaN nanopowder: The size effect associated with the surface-to-volume ratio, **Applied Physics Letters** 88, 181916 (2006). Wybrane do druku w Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology.
9. **A. Podhorodecki**, J. Andrzejewski, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, J. Wojcik, B.J. Robinson, T. Roschuk, D.A. Thompson and P. Mascher, Photoreflectance investigations of quantum well intermixing processes in compressively strained InGaAsP/InGaAsP QW laser structures emitting at 1.55  $\mu\text{m}$ , **Journal of Applied Physics** 100, 013111 (2006).
8. R. Kudrawiec, M. Nyk, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz, W. Strek, M. Wolcyrz, The change in photoluminescence spectra of Eu-doped GaN powders due to the aggregation of nano-sized grains to micrometer conglomerations, **Applied Physics Letters** 88, 061916 (2006).
7. **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, N. V. Gaponenko, D.Tsyrukunow, 1.53  $\mu\text{m}$  photoluminescence from Er-doped sol-gel derived  $\text{In}_2\text{O}_3$  films embedded in porous anodic alumina, **Optical Materials** 28, 685-687 (2006).

## 2005

---

6. **A. Podhorodecki**, A. Andrzejewski, M. Motyka, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, J. Wojcik, B. J. Robinson, Optical properties of InGaAsP quantum well for infrared emission investigated by modulation spectroscopy, **Optica Applicata** 35, 509 (2005).
5. D. Tsirkunov, I.S. Molchan, J. Misiewicz, R. Kudrawiec, **A. Podhorodecki**, G. E. Thompson, Strong green Erbium-related luminescence from a xerogel-porous anodic alumina structure, Physics, Chemistry And Application of Nanostructures: Reviews And Short Notes to Nanomeeting-2005, By V. E. Borisenko, World Scientific Pub Co Inc. (2005).
4. J. C. Pivin, **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, J. Misiewicz:, Study of neodymium photoluminescence and energy transfer in silicon-based gels, **Optical Materials** 27, 1467 (2005).
3. **A. Podhorodecki**, A. Andrzejewski, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, J. Wojcik, B. J. Robinson, D. A. Thomson, and P. Mascher, Influence of the annealing temperature on the optical transitions of InGaAsP-based quantum well structures investigated by photoreflectance spectroscopy, **Physica Status Solidi A** 202, 1263 (2005).

## 2004

---

2. J. Domaradzki, E. L. Prociow, D. Kaczmarek, **A. Podhorodecki**, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, X-ray, optical and electrical characterization of doped nanocrystalline titanium oxide thin films, **Material Science and Engineering B** 109, 249 (2004).

## 2003

---

1. R. Kudrawiec, **A. Podhorodecki**, N. Mirowska, J. Misiewicz, I. S. Molchan, N. V. Gaponenko, A. A. Lutich, S. V. Gaponenko, Photoluminescence Investigations of Europium-doped alumina, titania and indium sol-gel-derived films in porous anodic alumina, **Material Science and Engineering B** 105, 53 (2003).

## 2. Informacje o aktywności naukowej

### 2.1 Wystąpienia naukowe

Po habilitacji prezentowałem wyniki łącznie na **15 konferencjach**, w większości międzynarodowych. Poniżej przedstawiam listę wszystkich swoich wystąpień.

#### Wystąpienia konferencyjne:

**26** (2 przed doktoratem/9 po doktoracie/**15** po habilitacji) zaproszonych referatów na międzynarodowych konferencjach.

**23** (5/9/9) zaproszonych seminariów.

**19** (8/8/1) ustnych wystąpień na międzynarodowych konferencjach.

ponad **150** prezentacji plakatowych na międzynarodowych konferencjach.

---

#### 2.1.1. Zaproszone wystąpienia konferencyjne po uzyskaniu habilitacji

1. *Nanostruktury koloidalne – potencjał aplikacyjny*, III Międzyuczelniana Konferencja Studencka, Wrocław, **Polska** – Maj 2018.
2. *Up-converting nanocrystals- synthesis and optical properties*, ECS San Diego, **USA** – Maj 2016.
3. *Inorganic nanocrystals for bio-medical imaging*, RECOOP, Praga, **Czechy** - Kwiecień 2016.
4. *Infrared active, multimodal nanoprobe for bio-medical imaging based on inorganic nanocrystals*, Polish Conference on Nanotechnology, Poznan, **Polska** – Czerwiec 2015.
5. *Lanthanides doped nanocrystals. Synthesis, optical properties and applications in biomedicine*, 44<sup>th</sup> "Jaszowiec" International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Wisła, **Polska** - Czerwiec 2015.
6. *Inorganic nanocrystals for biomedical applications*, 3rd Nanomedicine for Imaging and Treatment Conference, Los Angeles, **USA** – Marzec 2015.
7. *Lanthanides Doped Fluoride Nanocrystals. Their Properties and Potential Applications in the Framework of Other Existing Non-Epitaxial Zero-Dimensional Structures*, ICSS, Hong Kong, **Chiny** - Grudzień 2014.
8. *Fluoride nanocrystals for bio-medical applications*, TriNet RECOOP Meeting, Split, **Chorwacja** - Maj 2014.
9. *Lanthanides doped nanocrystals for bio-medical applications – their spectral and temporal properties*, ECS Meeting, Orlando, **USA** - Maj 2014.
10. *Ion-ion interaction as a tool for controlling spectral and temporal properties of nanocrystals*, LEDS, OLEDs, Electronic Materials Seminar, Ville sur Mer, **Francja** – Wrzesień 2013.
11. *Ion-ion interaction as a tool for controlling spectral and temporal properties of nanocrystals*, **15ACC**, Singapore, **Singapur** – Sierpień 2013.
12. *Nanocrystals for bioimaging*, TriNet RECOOP Meeting, Split, **Chorwacja** – Czerwiec 2013.
13. *Nanocrystals - new materials for optoelectronic and bio-medical applications*, Polish Conference on Optics, Sandomierz, **Polska** - Lipiec 2013.

14. *Ion-ion interaction as a tool for controlling spectral and temporal properties of nanocrystals*, 6th Polish Conference on Nanotechnology, Szczecin, **Polska** - Lipiec 2013.
15. *Nanocrystals for bioimaging*, 3rd Summer Symposium on Nanomaterials and Their Applications in Biology and Medicine, Poznan, **Polska** - Czerwiec 2013.

#### **2.1.2. Zaproszone wystąpienia seminaryjne po uzyskaniu habilitacji**

1. *Nanokryształy – synteza, właściwości, zastosowania*, Seminarium Wydziału PPT, Wrocław, **Polska** – Listopad, 2018.
2. *Nanokryształy – synteza, właściwości, zastosowania*, Wykład inauguracyjny roku akademickiego na WPPT, **Polska** – Październik, 2018.
3. *Lanthanides doped nanostructures*, Ohio University, Athens, **USA** – Maj, 2017.
4. *Nanomateriały w medycynie*, Komisja PAN, Wrocław, **Polska** - Listopad, 2016.
5. *Nanotechnology for Medicine*, Akademia Medyczna, Seminarium Katedry Genetyki, Wrocław, **Polska** – Maj 2016.
6. *Development and Biomedical Applications of Tunable Nanocrystals*, Cedars Sinai Medical Centre, Los Angeles, **USA** - Maj 2014.
7. *Nanocrystals*, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Angewandte Physik, Freiberg, **Niemcy** - Czerwiec 2014.
8. *Nanocrystals-new materials for optoelectronic and bio-medical applications*, IChF PAN, Warszawa, **Polska** - Listopad 2013.
9. *Fluoride nanocrystals for bio-medical applications*, IF PAN, Warszawa, **Polska** – Listopad 2013.

#### **2.1.3. Ustne wystąpienia konferencyjne po uzyskaniu habilitacji**

1. *Infrared active nanoprobe for bio-medical imaging based on inorganic nanocrystals*, The TechConnect World Innovation Conference, Washington, **USA** – Maj (2017).
- 

#### **2.1.4. Zaproszone wystąpienia konferencyjne po doktoracie**

1. *Inorganic Nanocrystals Doped by lanthanide ions for Bio-medical Applications*, TriNet RECOOP Meeting, Prague, **Czechy** (2012).
2. *Synthesis and Optical Properties of Ultrasmall Inorganic Optical Markers Based on Lanthanides Emission for Bio-Medical Applications*, 221<sup>st</sup> ECS Meeting, Seattle, **USA** (2012).
3. *Synthesis and optical of new class of inorganic optical markers based on lanthanides emission for bio-medical applications*, Bridges in Life Science, RECOOP Meeting, Budapest, **Węgry** (2012).
4. *Light sources in silicon technology*, IV National Conference on Nanotechnology, Poznań, **Polska** (2010).
5. *Excitation Mechanisms of Green Emission from Terbium Ions Embedded Inside the Sol-Gel Films Deposited onto Nanoporous Substrates*, 217<sup>th</sup> ECS Meeting, Vancouver, **Kanada** (2010).

6. *Nanocrystals doped by lanthanide ions for bio applications*, Bridges in Life Science, RECOOP Meeting, Lviev, **Ukraina** (2010).
7. *Optical Properties of nanocrystalline materials*, IV International Students Chapters Meeting, Toruń, **Polska** (2008).
8. *Size effects in nanocrystalline materials*, Workshop on Hybrid Nanostructured Materials, Wrocław, **Polska** (2008).
9. *Optical Properties of nanocrystalline materials*, III International Students Chapters Meeting, Wrocław, **Polska** (2008).

#### 2.1.5. Zaproszone wystąpienia seminaryjne po doktoracie

1. *Inorganic nanostructures doped with lanthanides*, Seminar of Institute of Physics, University of Nicolas Copernicus, Toruń, **Polska** (2013).
2. *Group of synthesis and spectroscopy of nanocrystalline materials*, Bionanocentrum, Poznań, **Polska** (2013).
3. *Nanomaterials doped with lanthanides*, Seminar of Institute of Physics, Wrocław University of Technology, Wrocław, **Polska** (2012).
4. *Inorganic Nanocrystals Doped by lanthanide ions for Bio-medical Applications*, seminar of Group of Molecular Biophysics, Adam Mickiewicz University, Poznań, **Polska** (2012).
5. *Seminar at Institute of Physical & Theoretical Chemistry (Molecular Modelling & Quantum Chemistry Group)*, WRUT, Wrocław, **Polska** (2011).
6. *Optical spectroscopy of nanocrystalline materials*, University of Western Ontario, London, **Kanada** (2011).
7. *Semiconductor nanostructures doped with lanthanide ions*, McMaster University, Hamilton, **Kanada** (2010).
8. *Optical properties of semiconducting nanostructures doped with lanthanides*, Seminar at Department of Physics and Technology of Wide band gap semiconducting materials, Institute of Physics, Polish Academy of Science, Warsaw, **Polska** (2010).
9. *Optical properties of nanocrystalline materials*, Seminar at AMOLF, Amsterdam, **Holandia** (2009).

#### 2.1.6. Ustne wystąpienia konferencyjne po doktoracie

1. *Controlling emission properties of nanocrystals used for bio-applications by controlling ion-ion interactions*, REMAT, Wrocław, **Polska** (2013).
2. *Inorganic Nanocrystals Doped by lanthanide ions for Bio-medical Applications*, **Bionanotechnologia.pl**, Warsaw, **Polska** (2012).
3. *Exchange interactions between Eu and Tb ions in  $\text{Eu}^{2+}$ -NaYF<sub>4</sub> nanocrystals*, EMRS Spring Meeting, Nice, **Francja** (2011).
4. *New class of inorganic optical markers for bio-imaging*, Bridges in Life Science, RECOOP Meeting, Bratislava, **Słowacja** (2011).

5. *Excitation mechanisms of green emission from terbium ions embedded inside the  $YAlO_3$  sol-gel films deposited onto nano-porous substrates*, Excited States of Transition Elements, Piechowice, **Polska** (2010)
  6. *Temperature emission quenching of Si clusters and its influence on the excitation mechanism of co-doped Nd ions*, EMRS Spring Meeting, Strasbourg, **Francja** (2010).
  7. *Excitation Mechanisms of Green Emission from Terbium Ions Embedded Inside the  $YAlO_3$  Sol-Gel Films Deposited onto Porous Anodic Alumina*, EMRS Spring Meeting, Strasbourg, **Francja** (2010).
  8. *Excitation Mechanism of Europium Ions Embedded into  $TiO_2$  Nanocrystalline Thin Films*, 217 ECS Meeting, Vancouver, **Kanada** (2010).
- 

#### **2.1.7. Zaproszone wystąpienia konferencyjne przed doktorem**

1. *Excitation mechanisms of  $Eu^{3+}$  ions doped into nanocrystalline GaN powder and their potential optical application*, Workshop on Hybrid Nanostructured Materials, Prague, **Czechy**, (2007).
2. *Optical properties of semiconducting nanocrystals*, Marie-Curie Research Training Network: NanoMatch, Summer School, Jugowice, **Polska** (2007).
3. *Modulation spectroscopy as a powerful tool in characterization of novel optoelectronic materials*, ICEPOM, Gurzuf, **Ukraina** (2006).

#### **2.1.8. Zaproszone wystąpienia seminaryjne przed doktorem**

1. *Mechanisms of Energy Transfer from Nanocrystals to Lanthanide Ions*, Seminar at Department of Physics and Chemistry of Materials, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Technology, Wrocław, **Polska** (2007).
2. *Optical properties of semiconducting nanostructures*, Institute of Atomic Physics – National Institute for Lasers, Plasma and Radiation Physics Department of Lasers, Bucharest, **Rumunia** (2007).
3. *Optical properties of semiconducting nanomaterials*, Seminar of Institute of Physics, Wrocław University of Technology, Wrocław, **Polska** (2007).
4. *Modulation techniques as a powerful tool for investigation of the optical and structural properties of novel optoelectronic materials*, Seminar at CNRS, Caen Cedex, France (2006).
5. *Intermixing processes in InGaAsP/InGaAsP laser structures*, University of Nicolas Copernicus, Toruń, **Polska** (2006).

#### **2.1.9. Ustne wystąpienia konferencyjne przed doktorem**

1. *GaN ceramics obtained by fusing of nanocrystalline GaN powder at high pressures and temperatures as substrate for growth of GaN epilayers*, EMRS Spring Meeting 2007, Strasbourg, **Francja** (2007).
2. *Optical characterization of novel semiconductor nanostructures for optical applications*, II International Students Chapters Meeting, Wrocław, **Polska** (2007).

3. Influence of size effects in GaN nanocrystals on energy transfer processes from nanocrystals to, I National Conference on Nanotechnology, Wrocław, **Polska** (2007).
4. *Semiconductor nanocrystals. Properties and applications*, I International Students Chapters Meeting, Wrocław, **Polska** (2006).
5. *Photorefectance investigations of intermixing processes in InGaAsP laser structures*, International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures, Wrocław, **Polska** (2005).
6. *Optical properties of semiconducting nanocrystals*, III Student Scientific Conference, Wrocław, **Polska** (2005).
7. Optical investigations of sol-gel structures doped with lanthanides, NanoSymposium 2004, PAN, Wrocław, **Polska** (2004).
8. *New age for silicon nanocrystals*, II Student Scientific Conference, Wrocław, **Polska** (2004).

## 2.3 Wykaz zrealizowanych/realizowanych projektów naukowo-badawczych

Nr	Projekt	Tytuł	Data	Stanowisko	Budżet (PLN)
<b>Kierowanie projektami krajowymi</b>					
1.	Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014-2020, Bon na Innowację	<i>Wyłonienie najlepszej struktury chemicznej pod kątem wprowadzenia nowego produktu, jakim będzie etykieta interaktywna w firmie COLOR PRESS Sp. z o.o.</i>	2018	<b>Kierownik</b>	20 000
2.	Grant badawczy NCN, OPUS 14-ST5 (UMO-2017/27/B/ST5/01209)	<i>Cienkowarstwowe źródła światła o przestrajalnej emisji w zakresie 1000-2000 nm bazujące na koloidalnych, półprzewodnikowych nanostrukturach kwantowych</i>	2018-2021	<b>Kierownik</b>	1 480 000
3.	Grant badawczy NCN, FUGA (2016/20/S/ST3/00277)	<i>Trójwymiarowa super-rozdzielcza mikroskopia fluorescencyjna z wykorzystaniem kropek kwantowych i nanokryształów fluorkowych aktywnych w podczerwieni</i>	2016-2019	Opiekun (Dr B. Krajnik)	594 500
4.	Grant badawczy NCN, Sonata Bis 3, (UMO 2013/10/E/ST5/00651)	<i>Synteza i zaawansowane badania nanokryształów w geometrii rdzeń-płaszcz optycznie aktywnych w podczerwieni</i>	2014-2019	<b>Kierownik</b>	1 500 000
5.	Grant „Lider” NCBiR (014/L-2/10)	<i>Synteza Nanokryształów Półprzewodnikowych Domieszkowanych Lantanowcami do Zastosowań w Bio-Nano Medycynie.</i>	2011-2014	<b>Kierownik</b>	988 000
6.	Grant badawczy własny, NCN	<i>Optyczne badania dwu-wymiarowych kryształów fotonicznych wypełnianych</i>	2011-2013	<b>Kierownik</b>	312 400

	(NN507321240)	<i>matrycami zol-żelowymi domieszkowanymi jonami ziem rzadkich.</i>			
7.	Grant badawczy MNiSW, <i>luventus plus</i> (IP2011 042971)	<i>Optyczne badania mechanizmów wzbudzenia jonów ziem rzadkich w celu uzyskania wydajnych emiterów światła zielonego otrzymywanych w technologii krzemowej (CMOS).</i>	2011-2013	<b>Kierownik</b>	243 500
8.	Grant badawczy MNiSW, <i>luventus plus</i> (IP2010032570)	<i>Optyczne badania procesów transferu energii z nanoklasterów krzemowych do jonów ziem rzadkich w celu uzyskania wydajnych emiterów światła otrzymywanych w technologii krzemowej (CMOS) oraz w celu zwiększenia wydajności ogniw słonecznych trzeciej generacji.</i>	2010-2011	<b>Kierownik</b>	260 000
<b>Kierowanie/koordynowanie projektami międzynarodowymi</b>					
1.	Program współpracy dwustronnej NAWA <b>Polska-Czechy</b> (PPN/BIL/2018/1/0064)	Surface engineering of fluorides nanocrystals and quantum dots with use of modified polymeric and silica shells Institute of Macromolecular Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Praga, Czechy.	2018-2019	<b>Koordinator</b> Wykonawca	
2.	Program współpracy dwustronnej MNiSW <b>Polska-Czechy</b> (ID AMB16PL080)	<i>Surface engineering of fluorides nanocrystals and quantum dots with use of modified polymeric and silica shells,</i> Institute of Macromolecular Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Praga, Czechy.	2016-2017	<b>Koordinator</b> Wykonawca	
3.	International Visegrad Fund Strategic Grant (31110035) Kierownik: dr S.Vari, CSMC, LA, USA	<i>Future of Visegrad Four Families Depends on Healthy Women and Children.</i>	2013	<b>Koordinator</b> Wykonawca	
4.	International Visegrad Fund Strategic Grant (21110096) Kierownik: dr S.Vari CSMC, LA,USA	<i>Network in V4 for Translational and Nanotechnology Research for Cancer.</i>	2012	<b>Koordinator</b> Wykonawca	
5.	Program współpracy dwustronnej MNiSW <b>Polska-Francja</b> (Polonium)	<i>Nanomateriały krzemowe, domieszkowane jonami ziem rzadkich do zastosowań w emiterach światła.</i>	2012-2013	<b>Koordinator</b> Wykonawca	
6.	QNano Research Infrastructure w ramach 7th EU FP	<i>In vitro Immunotoxicity of Semiconducting Optically Active Nanoparticle NaYF<sub>4</sub>.</i>	2011	<b>Koordinator</b> Wykonawca	



Udział w projektach w roli wykonawcy					
1.	Grant MNiSW, Strategia Doskonałości – Uczelnia Badawcza	<i>Strategiczne kierunki rozwoju Politechniki Wrocławskiej, jako uczelni badawczej o zasięgu międzynarodowym</i>	2018-2019	<b>Wykonawca</b>	
2.	Grant Miasta Wrocław, MOZART	<i>Cienkowarstwowe elementy fotoniczne zawierające nanostruktury nieorganiczne</i>	2017-2018	<b>Wykonawca</b>	
3.	Grant badawczy własny NCN (2012/05/D/ST7/01121) Kierownik: dr G.Zatryb, IF, PWR	<i>Spektroskopia optyczna nanomateriałów bazujących na krzemie domieszkowanych lantanowcami</i>	2013-2016	<b>Wykonawca</b>	
4.	Program współpracy dwustronnej MNiSW <b>Polska-Francja</b> (Polonium)	<i>Optical investigations of nanocrystalline materials based on silicon, doped by Nd ions for photonic and optoelectronic applications</i>	2010-2011	<b>Wykonawca</b>	
5.	7th EU FP Kierownik: Dr Syed Tofail, UL, Irlandia.	<i>Bottom up approach for biomimetic surface of biomaterials.</i>		<b>Wykonawca</b>	
6.	Grant badawczy własny KBN (NN515410834) Kierownik: Prof. J. Misiewicz, IF, PWR.	<i>Optyczne badania nanokrystalitów krzemowych oraz nanokrystalitów krzemowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich przeznaczonych na emitery oraz wzmacniacze światła.</i>	2008-2010	<b>Koordynator Wykonawca</b>	
7.	Grant badawczy rozwojowy MNiSW, (N R02 0019 04) Kierownik: Prof. D. Kaczmarek, WEMiF, PWR.	<i>Przezroczyste powłoki na bazie tlenków aktywnych elektro-foto-chemicznie</i>	2008-2010	<b>Wykonawca</b>	
8.	Grant badawczy własny KBN (N507 137 31/3393) Kierownik: Prof. D. Kaczmarek, WEMiF, PWR.	<i>Badanie właściwości elektrycznych i optycznych cienkich warstw tlenków na bazie tytanu oraz możliwość ich zastosowania w mikrostrukturach półprzewodnikowych optycznie aktywnych.</i>	2006-2008	<b>Wykonawca</b>	
9.	6th EU FP Kierownik: Prof. J. Misiewicz, IF, WUT.	<i>Zero Order Dimension based Industrial components Applied to telecommunications (ZODIAC)</i>	2006-2008	<b>Wykonawca</b>	
10.	Grant JM. Rektora PWR.	<i>Dynamika relaksacji procesów elektronowych w nanomateriałach luminescencyjnych.</i>		<b>Wykonawca</b>	

11.	Program współpracy dwustronnej MNiSW <b>Polska-Francja</b> (Polonium)	<i>Study of the rare earth ions optical emission and energy transfer processes in silicon – based gels</i>	2005-2007	<b>Koordynator Wykonawca</b>	
12.	CERION, 5 <sup>th</sup> EU FP (IST-2001-39059)	<i>Kanadyjsko-Europejska Inicjatywa o Nanostrukturach-2 CERION-2.</i>		<b>Wykonawca</b>	
13.	5 <sup>th</sup> EU FP Director: Prof. J. Misiewicz, IF, PWR.	<i>GaAs based emitters for fiber-optical data and telecommunication (GIFT)</i>	2003-2004	<b>Wykonawca</b>	
14.	NATO Collaborative Linkage Grant Director: Prof. N. Gaponenko, BSUIR, Białoruś.	<i>Synthesis of luminescent xerogel films embedded in porous anodic alumina.</i>		<b>Wykonawca</b>	

## 2.4 Kierowanie zespołami badawczymi

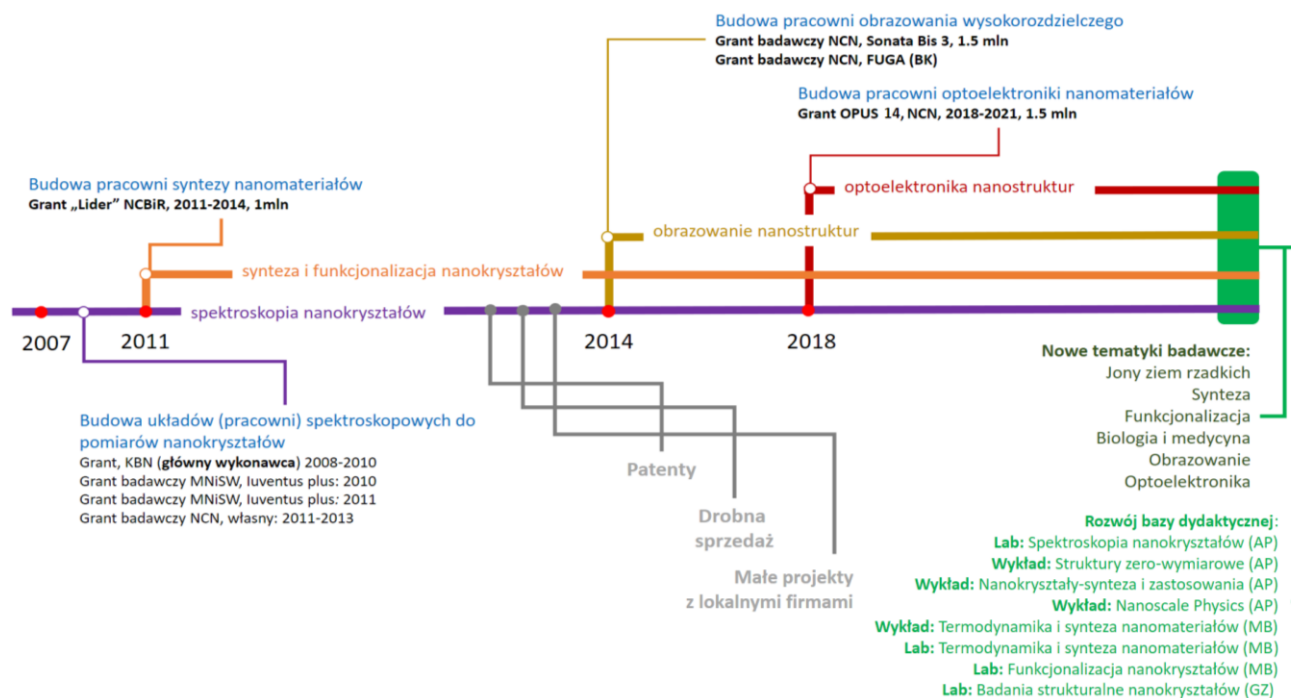
W latach 2007-2011 kierowałem pracami dwóch doktorantów (G. Zatryb oraz M. Bański) oraz kilku studentów w ramach swoich badań prowadzonych w *Laboratorium Optycznej Spektroskopii Nanostruktur*, Instytutu Fizyki, Politechniki Wrocławskiej. W roku 2011, w ramach realizacji projektu LIDER, NCBiR, założyłem swoją grupę badawczą, funkcjonującą obecnie pod nazwą **Grupa Nanostruktur Koloidalnych** ([collnano.pwr.edu.pl](http://collnano.pwr.edu.pl)). Do chwili obecnej, w ramach działania tej Grupy, udało mi się wypracować 5 niezależnych, lecz komplementarnych tematów badawczych, których prace koordynuje. Tematyki te, realizowane są w nowopowstałych laboratoriach, które udało mi się zaprojektować wraz z Zespołem, wyposażyć oraz uruchomić na przestrzeni ostatnich lat. W ramach swojej grupy badawczej, koordynuję prace następujących Zespołów:

- Zespół syntezy nanostruktur koloidalnych
- Zespół funkcjonalizacji nanostruktur koloidalnych
- Zespół spektroskopii optycznej nanostruktur koloidalnych
- Zespół obrazowania optycznego nanostruktur koloidalnych
- Zespół optoelektroniki nanostruktur koloidalnych

W chwili obecnej, grupa którą kieruję, liczy **ponad 10 osób**, w tym 3 doktorów, 4 doktorantów, 3 studentów od kilku lat związanych z naszą grupą (min. 2 lata) oraz liczną grupę studentów realizujących w naszej Grupie projekty dyplomowe, praktyki oraz projekty rozwojowe. W celu wprowadzenia każdej nowej tematyki badawczej na Wydział, udawało mi się wypracować spójną koncepcję badawczą, nawiązać współpracę w kraju i zagranicą z ekspertami z danej tematyki, pozyskać środki finansowe na rozpoczęcie planowanych badań oraz na wyposażenie nowo

powstających laboratoriów oraz przekonać lokalne władze do wsparcia moich działań. W chwili, gdy nowo rozpoczęta w mojej grupie tematyka badawcza osiągała dojrzałość badawczą i organizacyjną, pozwalając moim młodszym współpracownikom na pozyskiwanie kolejnych grantów w tej tematyce, opracowywałem nowe kierunki badawcze dla swojego zespołu, koordynując te już się rozwijające.

Do chwili obecnej, udało mi się stworzyć kompletną i komplementarną strukturę laboratoriów oraz tematów badawczych, umożliwiającą prowadzenie interdyscyplinarnych badań od etapu syntezy nanomateriału do jego wykorzystania w kilku aplikacjach (głównie znaczniki optyczne w biologii i medycynie oraz ostatnio diody elektroluminescencyjne). Obecny potencjał Grupy pozwala nam również rozpocząć badania nad nowymi zjawiskami fizycznymi, do których badania jesteśmy w stanie opracować własne materiały i umiejętnie je modyfikować. W chwili obecnej, głównym moim celem, jako kierownika Grupy, jest podnoszenie jakości prowadzonych przez nas badań we wszystkich obszarach jakimi się zajmujemy oraz pogłębianie współpracy pomiędzy poszczególnymi zespołami badawczymi. Poniżej, schematycznie pokazano rozwój mojej Grupy, zaznaczając chronologię pojawiania się w Grupie nowych tematów badawczych.



Rysunek 1. Rozwój Zespołu Nanostruktur Koloidalnych.

## 2.5 Recenzje prac doktorskich i udział w komisjach habilitacyjnych

### Udział w komisjach habilitacyjnych

1. **Sekretarz Komisji habilitacyjnych**, dr inż. Krzysztof Ryczko, *Badanie wybranych struktur kwantowych związków III-V pod kątem poprawy parametrów pracy półprzewodnikowych emiterów promieniowania podczerwonego*, PWr. Wrocław, Luty 2018.
2. **Recenzent**, dr Krzysztof Wiśniewski, *Badanie procesów rekombinacji promienistej w wybranych materiałach domieszkowanych jonami europu przy użyciu wysokich ciśnień hydrostatycznych*, UMK, Toruń, Marzec 2018.
3. **Recenzent**, dr Piotr Wojnar, *Wpływ efektu polaronu magnetycznego na rozpraszanie Ramana z odwróceniem spinu w objętościowym CdMnTe*, IFPAN, Warszawa, Styczeń 2017.
4. **Członek komisji habilitacyjnej**, dr inż. Łukasz Marciniak, *Nanorozmiarowe matryce nieorganiczne domieszkowane jonami lantanowców i metali przejściowych do zastosowań w termometrii luminescencyjnej*, INTiBS, Wrocław, Lipiec 2017.
5. **Członek komisji habilitacyjnej**, dr Dorota Świętkowska-Wartkocka, *Impulsowe naświetlanie laserowe - badanie nierównowagowych warunków otrzymywania submikronowych cząstek hybrydowych*, Instytut Fizyki Jądrowej, PAN, Kraków, Grudzień 2018.

### Recenzowanie doktoratów

1. **Andy Shang-Yuan Hsieh**, *Investigation of Si/SiO<sub>2</sub> and Si/SiO<sub>x</sub> Quantum Well Structures for Applications as Energy Selective Contacts and All-Silicon Tandem Cells*, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 2012.
2. Mgr inż. **Izabella Kamińska**, *Nanostruktury tlenkowe domieszkowane lantanowcami lub metalami przejściowymi do obrazowania biomedycznego*, IFPAN, Warszawa, Czerwiec 2016.
3. Mgr **Marcin Stachowicz**, *Spektroskopowe badania domieszkowanych erbem warstw epitaksjalnych GaN, InGaN i struktur GaN:Er/AlN*, IFPAN, Warszawa, Czerwiec 2017.
4. Mgr **Jakub Kobak**, *Spektroskopowe badania anizotropii kropek kwantowych CdTe z pojedynczymi jonami kobaltu*, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Wrzesień 2017.

### Recenzowanie pracy dyplomowych

Do chwili obecnej, byłem recenzentem **ponad 30 prac dyplomowych oraz inżynierskich**. Dokładny wykaz tych prac znajduje się w dokumencie pt. Autoreferat.

## 2.6 Recenzje grantów i projektów

- **Recenzent Narodowego Centrum Nauki:** program *Preludium, Opus*.
- **Recenzent MNiSW:** program *Index Plus, Iuventus Plus, Diamentowy grant*.
- **Ekspert Narodowego Centrum Badań i Rozwoju**
- Członek komitetu naukowego RECOOP, Budapeszt, Węgry (2017).
- Członek komitetu naukowego *Konferencji Naukowej Studentów PWr.* (2014).
- Członek komisji jurorskiej konkursu *Mam Talent do Nauki*, PWr. (2014).

## 2.7 Udział w innych komisjach

- Członek komisji nostryfikacyjnej rozprawy doktorskiej Nanasheba Devappa Thorata, W11, PWr. (2019)

## 3. Informacja o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym

W ramach swojej działalności badawczej, realizowałem prace B+R dla kilku firm zewnętrznych (np. *Mastercook, FutureSynthesis*). Realizowałem również z firmą *MDM Electronics* projekt MOZART (12 miesięcy), w ramach którego Miasto Wrocław udziela finansowego wsparcia partnerstwu naukowo-biznesowemu na realizację wspólnych projektów B+R. Realizowałem również projekt Bon na Innowacje dla MŚP dla firmy *ColorPress*, zainteresowanej pracami mojego zespołu. Odebrałem także szereg szkoleń z zakresu B+R (własność intelektualna, branding, zarządzanie MŚP, ...) w ramach programu Pomysł na Biznes organizowanego przez Wrocławskie Centrum Transferu Technologii, Wrocław, gdzie zdobyłem 2 nagrodę za swój projekt B+R. Obecnie, mój zespół intensywnie pracuje nad poszerzeniem zakresu usług komercyjnych przeznaczonych dla biznesu.

## 4. Informacja o aktywności międzynarodowej

### 4.1 Recenzowanie prac w czasopismach międzynarodowych

Do chwili obecnej byłem recenzentem ponad 100 publikacji w międzynarodowych czasopismach naukowych. Między innymi:

**Advanced Materials** (IF 21.95), **Nanoscale** (IF 7.23), **Nature-Scientific Reports** (IF 4.60), **J. Mat. Chem. C** (IF 5.97), **J. Phys. Chem.** (IF 4.48), **Applied Phys. Lett.** (IF 3.40), **New Journal of Chemistry** (IF 3.2), **RSC Advances** (IF 2.93), **Physical Chemistry Chemical Physics** (IF 3.90), **Journal of Applied Physics** (IF 2.17), **Journal Physics D: Applied Physics** (IF 2.37), **Journal of Fluorescence** (IF 1.66), **Optical Materials** (IF 2.32),..

### 4.2 Udział w komitetach organizacyjnych

1. Członek komitetu organizacyjnego RECOOP Bridges in life Sciences, Meeting (**120 uczestników**), kwiecień, Wrocław, Polska (2015).
2. Członek komitetu organizacyjnego RECOOP TriNet Meeting (**60 uczestników**), październik, Wrocław, Polska (2014).
3. Członek komitetu naukowego Naukowej Konferencji Studenckiej, Boguszów Gorce, wrzesień, Polska (2014).
4. Główny organizator oraz przewodniczący komitetu organizacyjnego oraz naukowego Sympozjum: *Nanoscaled Si, Ge based materials: Fabrication, characterization, devices*, podczas EMRS Fall Meeting, Warszawa, Polska (2012) (**100 uczestników**).
5. Członek komitetu organizacyjnego i naukowego Sympozjum: *Nanoscaled Si, Ge based materials*, podczas EMRS Fall Meeting, Warszawa, Polska (**60 uczestników**) (2010).
6. Członek Komitetu Programowego spotkania SPIE, *Leadership Day*, San Diego, USA (2007).
7. Przewodniczący komitetu programowego oraz organizacyjnego spotkania III *International Student Chapters Meeting*, Wrocław, Polska (2009).
8. Przewodniczący komitetu programowego oraz organizacyjnego spotkania II *International Student Chapters Meeting*, Wrocław, Polska (2008).
9. Przewodniczący komitetu programowego oraz organizacyjnego spotkania I *International Student Chapters Meeting*, Wrocław, Polska (2007).
10. Sekretarz Sympozjum: *Opera-2015, Platform for Photonics Technologies for the 7th Framework Programme* (2006) (**200 uczestników**).
11. Członek komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji półprzewodnikowej: "*International Workshop on GaAs based lasers for 1.3-1.5  $\mu\text{m}$  wavelength range*", Wrocław, Polska (2003).
12. Członek komitetu organizacyjnego spotkania: *International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures*, Wrocław, Polska (2004).
13. Członek komitetu organizacyjnego spotkania sprawozdawczego projektu GIFT w ramach Piątego Europejskiego Programu Ramowego, Wrocław, Polska (2002).

#### 4.3 Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

1. Przedstawiciel Politechniki Wrocławskiej w *The European Photonics Industry Consortium (EPIC)*.
2. Członek Zarządu, *Regional Cooperation for Health, Science and Technology (RECOOP HST) Association Strategic Partnership* – scientific board member since 2010. Sieć finansowana przez International Visegrad Fund oraz Cedras Cinai Medical Centre, LA, USA.

#### 4.4 Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

1. 2015-2018, Associate Editor, *Currents in Bionanotechnology* (IF = 1.5)
2. Edytor numeru specjalnego *Nanoscale Research Letter* (IF = 2.72), wrzesień (2010) - marzec (2011).
3. Edytor numeru specjalnego *Nanoscale Research Letter* (IF = 2.72), wrzesień (2012) - marzec (2013).

#### 4.5 Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

1. Członek Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (2012-2016).
2. Członek Komisji Odwoławczej Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (2012-2016).
3. Członek Rady Młodych Naukowców będącej organem doradczym MNiSW (2011-2012).
4. Członek: *Regional Cooperation for Health, Science and Technology (RECOOP)* HST Scientific Advisory Board (od 2010).
5. Członek Komisji Programowej Kierunku Fizyka Techniczna, WPPT, PWr, specjalność Nanoinżynieria (od 2012).
6. Członek Wydziałowej Komisji (WPPT, PWr) do oceny pracowników (2012-2013).
7. Współopiekun koła naukowego PHOBIA: *Photonics and Bionanotechnology Association of Monabiphot Students, Alumni and Friends* (2008-2014).
8. Założyciel oraz opiekun naukowy koła naukowego OSA: *Optical Society of America* (od 2006).
9. Prezes studenckiej placówki organizacji SPIE: *The International Society for Optical Engineering* (2006-2007).
10. Wiceprezes studenckiej placówki organizacji SPIE (2005-2006)
11. Członek SPIE (2005-2008).
12. Członek *Electrochemical Society (ECS)* (2011 - 2012).

#### 4.6 Współpraca międzynarodowa

Jestem **inicjatorem** oraz jestem/byłem koordynatorem następujących współprac międzynarodowych:

1. Prof. P. Masher, *McMaster University*, Hamilton, Kanada.  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
2. Dr. W. Jadwisieńczyk, *Ohio University*, Athens, USA.  
[wspólne publikacje, wymiana osobowa]
3. Prof. F. Gourbilleau, *CIMAP*, Cean, Francja.  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
4. Prof. R. Reisfeld, *Hebrew University of Jerusalem*, Jerusalem, Izrael.  
[wspólne publikacje]
5. Dr. R. Billy, *Institute of Cell Biology*, NASU, Lwów, Ukraina.  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]

6. Prof. D. Horak, The Institute of Macromolecular Chemistry of the Czech Academy of Sciences, Praga, Czechy.  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
7. Dr. J. Tulinska, Slovak Medical University, Bratysława, Słowacja.  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
8. Dr. X. J. Hao, (Grupa M.Green) *Photovoltaics Centre of Excellence Address: University of New South Wales, Sydney, Australia.*  
[wspólne publikacje]
9. Prof. M. S. Moghimi, *Department of Pharmaceutics and Analytical Chemistry, University of Copenhagen, Kopenhaga, Dania.*

Jestem/byłem koordynatorem następujących współprac międzynarodowych:

1. Prof. N. V. Gaponenko, *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Mińsk, Białoruś.*  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
2. Dr. J. C. Pivin, *CNRS, Orsey, Francja.*  
[wspólne projekty, wspólne publikacje, wymiana osobowa]
3. Dr. K. Nauka, *Hewlett-Packard, Palo Alto, USA.*  
[wspólne publikacje]

#### 4.7 Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

##### Staże naukowe krótkoterminowe

L.P.	Data	Liczba dni	Miejsce	Kraj
1.	2012	5	CIMAP, UMR CNRS 6252, Ensicaen 6 Bd Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex 4	Francja
2.	2011	5	Canadian Light Source, A 3rd generation synchrotron in Saskatoon, Saskatchewan, Saskatoon	Kanada
3.	2009	10	CIMAP, UMR CNRS 6252, Ensicaen 6 Bd Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex 4	Francja



4.	2007	5	Institute of Atomic Physics - National Institute for Lasers, Plasma and Radiation Physics Department of Lasers, Bucharest	Rumunia
5.	2005	3	SIFCOM UMR 6176, CNRS ENSIACAEN, Caen	Francja
6.	2005	10	Principles of Fluorescence Techniques, Genua	Włochy
7.	2004	10	Uniwersytet w Minsku, Mińsk	Białoruś
8.	2003	10	Letnie, europejskie warsztaty: European Summer University 2003, Fundamentals of Nanoscience, Strasbourg	Francja
9.	2002	10	Letnie Warsztaty organizowane przez Instytut Niskich Temperatur Polskiej Akademii Nauk, Wrocław	Polska
10.	2000	10	Letnie Warsztaty organizowane przez Instytut Niskich Temperatur Polskiej Akademii Nauk, Wrocław	Polska

#### Stáže naukowe długoterminowe

L.P.	Data	Liczba dni	Miejsce	Kraj
1.	2011	50	McMaster University, Hamilton	Kanada
2.	2010	30	McMaster University, Hamilton	Kanada
3.	2006	30	CSNSM-IN2P3 Batiment, Orsay Campus	Francja
4.	2005	30	CSNSM-IN2P3 Batiment, Orsay Campus	Francja

## 5. Osiągnięcia i dorobek dydaktyczny, popularyzatorski i organizacyjny

### 5.1 Opiekun prac doktorskich:

1. **Agnieszka Noculak** (2012 – czerwiec 2016) **Zakończony**. Obecnie (2018) na stażu ETH Zurich, Szwajcaria, Grupa Prof. M. Kovalenko.  
*Synteza i badanie właściwości optycznych nanokryształów  $\text{NaGdF}_4: \text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}(\text{Tm}^{3+})$  pozwalających na konwersję energii.*
2. **Bartłomiej Sojka** (2012 – maj 2018) **Zakończony**. Obecnie (2018) EIT+ Wrocław.

*Funkcjonalizacja i badania spektroskopowe nanokryształów fluorkowych do zastosowania w biomedycynie.*

**3. Łukasz Gołacki (2014 – 2018) Otwarty przewód.**

*Advanced optical investigations of core-shell nanocrystals optically active in infrared spectral range*

**4. Maciej Chrzanowski (2016-2020) – doktorant 2 roku**

*Cienkowarstwowe źródła światła o przestrajalnej emisji w zakresie 1000-2000 nm bazujące na koloidalnych, półprzewodnikowych nanostrukturach kwantowych.*

**5. Anna Lesiak (2016-2020) [jako drugi promotor, doktorat interdyscyplinarny z dr hab. J. Cabaj, prof. PWr. Zakład Chemii Medycznej i Mikrobiologii Wydział Chemii, PWr.]**

*Funkcjonalizacja nanostruktur półprzewodnikowych z grupy związków II-VI.*

**6. Hanna Woźnica (2017-2021) – doktorant 2 roku**

*Synteza i właściwości heterostruktur półprzewodnikowych z grupy II-VI.*

Ponadto, na początku swojej kariery naukowej opiekowałem się dwoma doktorantami Prof. J. Misiewiczza:

**7. dr inż. G. Zatoryb (2008-2011).** Obecnie Grupa Nanostruktur Koloidalnych, PWr.  
*Właściwości optyczne nanokryształów krzemowych w matrycach tlenkowych*

**8. dr inż. M. Bański (2009-2012).** Obecnie Grupa Nanostruktur Koloidalnych, PWr.  
*Fluoride nanocrystals doped with lanthanide ions as imaging markers – synthesis, structural and optical characterization.*

## 5.2 Opiekun staży podoktorskich i doktorskich

- 1. dr B.Krajnik (2016-2019),** Belgia, w ramach projektu Fuga, NCN (36 miesięcy):  
*Trójwymiarowa super-rozdzielcza mikroskopia fluorescencyjna z wykorzystaniem kropek kwantowych i nanokryształów fluorkowych aktywnych w podczerwieni.*
- 2. Ahman Rosikhin (2016-2017),** Faculty of Mathematics and Natural Science, IndonesiaInstitut Teknologi Bandung, Indonezja, w ramach projektu EM - INTACT (12 miesięcy).

## 5.3 Opiekun zagranicznych staży studenckich

1. **Maciej Ryba**, *University de Paris*, Francja (90 dni).
2. **Marin Gilles**, *Ecole Normale Supérieure de Cachan*, Francja (30 dni).
3. **Zyiad Chaker**, *University Louis Pasteur*, Francja (90 dni) (praca magisterska).
4. Grupa studentów z Rosji wizytujących w ramach letniej szkoły organizowanej przez PWr. (21 dni).
5. Prace inżynierskie studentów z *Université de Montpellier II, Montpellier*, Francja (staże po 90 dni): Thibaut Campodarve (2014), Ciprian Donnet (2014), Benoit Juven (2015), Maxime Fabre (2015), Lea Aragon (2016), Robin Pubill (2016), Marion Perez (2017), J. Cantor (2017).

#### 5.4 Działalność dydaktyczna

1. Wykład autorski: *Nanoscale Physics* (j.ang.)
2. Wykład autorski: *Nanokryształy – otrzymywanie i zastosowania*
3. Wykład autorski: *Fizyka Struktur Zerowymiarowych*
4. Wykład autorski: *Nanostruktury i Nanokryształy półprzewodnikowe*
5. Wykład autorski: *Spektroskopia Nanostruktur* (2012)
6. Wykład: *Fizyka 1.1 (I, II, III)*
7. Wykład: *Materiały porowate i szkła*
8. Ćwiczenia rachunkowe: *Fizyka Ogólna (I, II, III)*
9. Laboratoria Podstaw Fizyki ((j. ang.)/(j. pl.))
10. Autorskie Laboratorium: *Laboratory: Solid State Physics* (j.ang.)
11. Autorskie Laboratorium: *Nanoscale Physics* (j.ang.)
12. Autorskie Laboratorium: *Fizyka Struktur Zerowymiarowych*
13. Autorskie Laboratorium: *Optyczna spektroskopia nanostruktur*
14. Autorskie Laboratorium: *Spektroskopia Nanostruktur*
15. Seminarium: *Nanokryształy – otrzymywanie i zastosowania*

#### 5.5 Udział w przygotowaniu nowych materiałów dydaktycznych i/lub kursów:

W przypadku Laboratoriów specjalistycznych, które prowadzę, zaplanowałem pomiary, skonstruowałem układy pomiarowe oraz opracowałem instrukcje do ćwiczeń wykonywanych przez studentów.

#### Opracowanie instrukcji oraz stanowisk pomiarowych do laboratoriów:

1. Nanoscale Physics
2. Laboratory: Solid State Physics
3. Optyczna spektroskopia nanostruktur

#### Opracowanie i udostępnianie materiałów dydaktycznych:

1. E-Skrypt: *Optyczna Spektroskopia Nanostruktur*, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, G. Sęk
2. E-Skrypt: *Introduction to Nanoscale Physics and Nanomaterials*, **A. Podhorodecki**, J. Misiewicz,

## 5.6 Inna działalność dydaktyczna

Jestem założycielem oraz opiekunem naukowym studenckiego koła naukowego OSA *Optical Society of America* popularyzującego aktywnie fizykę/optykę na terenie Wrocławia i Dolnego Śląska oraz byłem współ-opiekunem międzynarodowego koła naukowego *Photonics and Bionanotechnology Association of Monabiphot Students, Alumni and Friends „PhoBiA”*. Byłem również współzałożycielem oraz prezesem koła naukowego SPIE (podobnie jak i OSA) zajmującego się również popularyzacją nauki wśród młodzieży. W ramach działalności koła naukowego SPIE oraz OSA brałem wielokrotnie udział w pokazach (oraz ich przygotowywaniu) popularyzujących fizykę w ramach różnego rodzaju festiwali nauki jak i wielu wizytach w szkołach Wrocławia:

1. Wykład pt. *Nanotechnologia* dla studium Talent, PWr (2015).
2. Wykład pt. *Nanotechnologia* dla XIV LO, Wrocław (2014).
3. Wykład i seria doświadczeń dla gimnazjów Wrocławia popularyzujących Fizykę pt. *Nanotechnologia* (2013).
4. Wykład popularyzujący Fizykę dla szkół średnich Wrocławia pt. *Nanotechnologia* (2012).
5. Wykład popularyzujący Fizykę dla szkół średnich Wrocławia pt. *Nanotechnologia* (2011).
6. Wykład popularno-naukowy *Nanotechnologia* w ramach działalności Uniwersytet Młodego Odkrywcy (2010).
7. Wykład popularno-naukowy *Nanotechnologia* w ramach działalności Uniwersytet Młodego Odkrywcy (2010).
8. Seria wykładów popularyzujący fizykę pt. *Nanotechnologia* w III, XIII LO, Wrocław (2009).
9. Wielokrotne organizowanie zwiedzania laboratoriów Instytutu Fizyki dla studentów oraz uczniów gimnazjów oraz liceów (2008, 2009).
10. Udział w Dolnośląskim Festiwalu Nauki (2006, 2007).
11. Udział w targach edukacji TARED (2005, 2006).
12. Współorganizowanie imprezy „Cyrk Fizyczny” (2006).
13. Wykład popularno-naukowy w ramach targów edukacji TARED (2005).

W roku 2007, działalność koła naukowego SPIE pod moją opieką wyróżniona została prestiżową nagrodą Centrali SPIE w USA, przeznaczoną w całości na działalność dydaktyczną Instytutu Fizyki. Także w roku 2007 otrzymałem wyróżnienie pro-rektora ds. studenckich PWr za zaangażowanie w organizowanie Naukowej Konferencji Studentów PWr.

Byłem także inicjatorem oraz organizatorem międzynarodowego spotkania naukowo-dydaktycznego *International Student Chapters Meeting* (SPIE, OSA, IEEE, Phobia), które odbywało się corocznie od roku 2006. W roku 2008 liczba uczestników wynosiła 60 osób z Polski, Rumuni, Ukrainy, Indii, Irlandii, Francji oraz Stanów Zjednoczonych.

## 6. Nagrody i wyróżnienia

1. Nagroda Prezesa Rady Ministrów za najlepszą pracę doktorską w dziedzinie *Inżynieria Materiałowa* (2008).
2. Stypendium MNiSW dla Wybitnych Młodych Naukowców (2011).
3. Nagroda START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (2009).
4. Nagroda START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (2008).
5. Nagroda naukowa Rektora PWr. imienia Dionizego Smoleńskiego za wybitne osiągnięcia w dziedzinie nauk interdyscyplinarnych (2012).
6. Stypendium im. Maxa Borna w dziedzinie *Fizyka* (2006).
7. Nagroda Rektora za wyróżniający wkład w działalność Uczelni (2014).
8. Brązowy medal za długoletnią służbę – odznaczenie Państwowe (2017).
9. Nagroda Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej: Stypendia Konferencyjne (2008).
10. Stypendium „Młoda Kadra 2015 Plus” w ramach unijnego programu operacyjnego Kapitał Ludzki (2011).

11. Stypendium „Młoda Kadra” w ramach unijnego programu operacyjnego Kapitał Ludzki (2010).
12. Stypendium „Młoda Kadra” w ramach unijnego programu operacyjnego Kapitał Ludzki (2009).
13. Nagroda Prezydenta miasta Wrocławia w konkursie „Pomysł na Biznes” organizowanym przez Wrocławskie Centrum Transferu Technologii (2010).
14. II Nagroda w finale konkursu „Pomysł na Biznes” organizowanym przez Wrocławskie Centrum Transferu Technologii (2011).
15. Nagroda: *Australian Research Council Nanotechnology Network and Australian Research Network for Advanced Materials* za najlepszą prezentację plakatową podczas konferencji IUMRS Conference, Sydney, Australia (2008).
16. Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej za pracę doktorską (2008).
17. Stypendium na dwumiesięczny staż w na Uniwersytecie McMaster, Kanada oraz na pomiary synchrotronowe na *Canadian Light Source* przyznane w ramach unijnego programu operacyjnego Kapitał Ludzki (2011).
18. Stypendium konferencyjne przyznane przez: *Dielectric Science & Technology Division of the Electrochemical Society*, 217<sup>th</sup> ECS Meeting, Vancouver, Kanada (2010).
19. Wyróżnienie pracy doktorskiej (2007).
20. SPIE Educational Scholarship in Optical Science and Engineering (2007).
21. Stypendium w ramach programu: Zintegrowany Program Operacyjny Rozwoju Regionalnego (ZPORR)-Stypendia dla najlepszych doktorantów Politechniki Wrocławskiej (2005-2007).
22. Stypendium za wybitne wyniki w nauce dla doktorantów Wydziału Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej (2006).
23. Nominacja do nagrody dla najlepszego studenta Wydziału Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej (2003).

## **INFORMACJA O NAJWAŻNIEJSZYM OSIĄGNIĘCIU NAUKOWYM**

Po uzyskaniu habilitacji (2013), rozpocząłem z zespołem prace nad rozwojem nowej tematyki badawczej, związanej z obrazowaniem i pomiarami emisji (oraz jej migotania) z pojedynczych nanokryształów, zarówno fluorkowych ( $\text{NaYF}_4: \text{RE}^{3+}$ ) jak i półprzewodnikowych (CdSe, PbS, PbSe, CdSe/CdS, PbS/CdSe) oraz nad rozwojem metod wysokorozdzielczego obrazowania fluorescencyjnego układów biologicznych. Prace te, wymagały konstrukcji nowych układów pomiarowych, wypracowania nowej metodologii badawczej, skompletowania zespołu, pozyskania środków finansowych oraz skoordynowania tych nowych aktywności z pozostałymi pracami zespołu. W zakresie tych prac, było również opracowanie technologii wzrostu nowych nanostruktur półprzewodnikowych (PbS, PbSe, PbS/CdS) wykorzystywanych do naszych nowych badań. W chwili obecnej, opracowywane są pierwsze wyniki uzyskane przez moją Grupę w tym nowym obszarze badawczym.

W ostatnim roku, moja Grupa intensywnie rozwinęła także nową aktywność badawczą, związaną z konstrukcją diod elektroluminescencyjnych na bazie naszych półprzewodnikowych kropek kwantowych. Wstępne rezultaty, związane z tą tematyką badawczą, są obecnie w

opracowaniu i stały się one podstawą do powstania obecnie uruchomianego projektu OPUS 14, NCN.

W okresie po habilitacji, rozwijałem również szeroko pojęte badania nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich. Pierwsze moje wyniki, dotyczące tej tematyki, stanowiły fragment mojej habilitacji (wyniki otrzymane dla nanokryształów  $\text{NaYF}_4:\text{Eu}^{3+}$ ). Po uzyskaniu habilitacji, rozpocząłem badania nanokryształów  $\text{NaGdF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+}$  wykorzystujących mechanizm konwersji energii wzbudzenia w górę (*ang. up-conversion nanocrystals, UCNCs*) starając się wprowadzić do swoich badań nowe aspekty eksperymentalne oraz teoretyczne podnosząc ich jakość. Wyniki tych badań, udało się opublikować w serii spójnych tematycznie publikacji. Z tego powodu, przedkładam właśnie ten fragment mojej aktywności badawczej po uzyskaniu habilitacji jako moje najważniejsze osiągnięcie naukowe w ostatnich latach.

Moje prace w tym zakresie miały charakter interdyscyplinarny i związane były z syntezą nanokryształów, inżynierią ich powierzchni, spektroskopią optyczną, wysokorozdzielczym obrazowaniem nanokryształów oraz badaniami nad możliwościami wykorzystania tego rodzaju materiałów w biologii i medycynie. Do prowadzonych przeze mnie badań, udało się również wprowadzić elementy modelowania numerycznego. Tematyka ta, w połączeniu z opracowaną przez nas wysokorozdzielczą mikroskopią oraz spektroskopią pojedynczych nanostruktur są obecnie przez nas intensywnie rozwijane. Ponadto, prowadzone przeze mnie prace, zawierały także badania nad toksycznością tego rodzaju nanomateriałów oraz dotyczyły prób zastosowania UCNCs jako znaczników optycznych w biologii oraz jako materiałów aktywnych w terapii fotodynamicznej. Kilka lat badań, we współpracy z innymi grupami badawczymi nad naszymi materiałami, przyniosło nie tylko nową wiedzę na temat nietypowych właściwości fizycznych tego rodzaju nanostruktur, ale też ujawniło ich realny (nie domniemany) potencjał aplikacyjny. Otrzymane przeze mnie wyniki, umożliwiły także wyjaśnić kilka efektów występujących w tego rodzaju strukturach oraz pozwoliły zdefiniować dalsze kierunki rozwoju tej tematyki. Podczas moich badań, udało się również stworzyć unikalny warsztat eksperymentalny oraz wypracować metodologię badań nanokryształów zawierających jony ziem rzadkich.

Główne wyniki eksperymentalne, otrzymane przeze mnie w omawianym powyżej zakresie, zawarto m.in. w cyklu publikacji, które ukazały się w czasopismach z obszaru nanotechnologii oraz szeroko pojętej fotoniki oraz spektroskopii optycznej. Poniżej, przedstawiono wybrane prace, w kolejności dobranej kierując się kryterium tematycznym przedstawionych prac. Pierwsza praca [P1] zamieszczona na liście, zawarta została w dokumentacji dotyczącej mojej habilitacji. Chciałbym jednak zacząć omawianie moich wyników otrzymanych po habilitacji od pracy [P1], aby nadać kontekst dla podejmowanych przeze mnie późniejszych tematów badawczych. Poniżej lista prac, których wyniki stanowią moje główne osiągnięcie naukowe:

[P1] [if 7.39] **A. Podhorodecki\***, M.Banski, A. Noculak, B. Sojka, G. Pawlik, J. Misiewicz, *On the nature of carriers relaxation and ion-ion interactions in ultrasmall  $\beta\text{-NaYF}_4$  nanocrystals-effect of the surface*, **Nanoscale** 5, 429 (2013).

[P2] [if 7.76] A. Noculak, **A. Podhorodecki\***, G. Pawlik, M. Banski and J. Misiewicz, *Ion-ion interactions in  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals - effect of ions concentration and their clustering*, **Nanoscale** 7, 13784 (2015).

[P3] [if 3.57] A. Noculak and **A. Podhorodecki\***, *Surface and shape effects in  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>:Yb,Er nanocrystals*, **Nanotechnology** 28, 175706 (2017).

[P4] [if 7.23] **A. Podhorodecki\***, B. Krajnik, L. W. Golacki, U. Kostiv, G. Pawlik, M. Kaczmarek, D. Horak, *Percolation limited emission intensity from up-converting NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals – a single nanocrystals optical studies*, **Nanoscale** 10, 21186 (2018).

[P5] [if 2.89] G. Pawlik, J. Niczyj, A. Noculak, W. Radosz, **A. Podhorodecki**, *Multiband Monte-Carlo modelling of up-conversion emission in sub 10 nm NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> nanocrystals - effect of Yb<sup>3+</sup> content*, **J. Chem. Phys.** 146, 244111 (2017).

[P6] [if 3.22] D. Horak, U. Kostiv, V. Patsula, A. Noculak, **A. Podhorodecki**, D. Větvička, P. Poučková, Z. Sedláková, *Phthalocyanine-conjugated upconversion NaYF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup>@SiO<sub>2</sub> nanospheres for NIR-triggered photodynamic therapy*, **Chem. Med. Chem.** 12, 2066-2073 (2017).

[P7] [if 2.01] B. Sojka, A. Liskova, M. Kuricova, M. Banski, J. Misiewicz, M. Dusinska, M. Horvathova, S. Ilavska, M. Szabova, E. Rollerova, **A. Podhorodecki\***, J. Tulinska\*, *The effect of core and lanthanide ion dopants in sodium fluoride based nanocrystals on phagocytic activity of human blood leukocytes*, **J. Nanoparticles Res.** 19, 68 (2017).

[P8] [if 3.84] A. Wozniak, A. Noculak, J. Gapiński, D. Kocielek, A. Boś-Liedke, T. Zalewski, B. F. Grześkowiak, A. Kołodziejczak, M. Banski, S. Jurga, J. Misiewicz, **A. Podhorodecki**, *Cytotoxicity and Imaging Studies of  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>Er<sup>3+</sup>@PEG-Mo Nanorods*, **RSC Advances** 6, 95633 (2016).

[P9] [if 5.82] R. Bilyy and **A. Podhorodecki**, *Can we use rare-earth nanocrystals to target glycans for the visualization of melanoma?*, **Nanomedicine** 10, 1997 (2015).

## I. Wprowadzenie

W ramach prac mojej Grupy, w ostatnich latach udało się nam skutecznie otrzymać wysokiej jakości optycznej (czystość spektralna, wysoka wydajność emisji) i strukturalnej (wąska dystrybucja morfologii nanokryształów) nanokryształy  $\beta$ -NaXF<sub>4</sub>: RE<sup>3+</sup> (X = Y, Gd<sup>3+</sup>; RE<sup>3+</sup> = Eu<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup> + Tb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> + Yb<sup>3+</sup>, Tm<sup>3+</sup>, Tm<sup>3+</sup> + Yb<sup>3+</sup>) o rozmiarach od 3 do 100 nm. Otrzymane przez nas nanokryształy, w zależności od stosowanych procedur wzrostu, w sposób kontrolowany krystalizowały zarówno w fazie heksagonalnej jak i w fazie kubicznej. Głównym naszym celem były jednak nanokryształy w fazie heksagonalnej. Jak pokazaliśmy w naszych pracach, możliwe było również kontrolowanie kształtu tego rodzaju nanokryształów (kreski, sześciokąty, romby, kwadraty, kropki) oraz wzrastanie nanokryształów stopowych np. Li<sub>x</sub>Na<sub>1-x</sub>GdF<sub>4</sub>. Udało się również otrzymać nanokryształy w geometrii rdzeń – powłoka (NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>/NaYF<sub>4</sub>; NaGdF<sub>4</sub>: Eu<sup>3+</sup>/NaYF<sub>4</sub>) oraz nanokryształy w odwróconej geometrii rdzeń – powłoka (NaYF<sub>4</sub>/NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>,



Er<sup>3+</sup>). Ponadto, udało się uzyskać nanokryształy, które były bardzo stabilne w formie koloidu (w czasie, temperaturze, pH), i które charakteryzowały się wysoką czystością koloidu. W trakcie prac mojej Grupy, udało się nam również opracować kilka różnych i bardzo powtarzalnych metod wzrostu nanokryształów fluorkowych. Wymienione czynniki, są kluczowe dla skutecznego, dalszego wykorzystania nanokryształów fluorkowych jako znaczników optycznych w biologii i medycynie. Dodatkowo, udało się nam opracować protokoły umożliwiające skuteczne wymienianie ligandów powierzchniowych naszych nanokryształów (głównie TOPO, kwas oleinowy oraz kwas palmitynowy). W tym celu, opracowano w naszej Grupie protokoły: wymiany ligandów, przyciągania ligandów oraz usuwania ligandów. We współpracy z innymi ośrodkami badawczymi, opracowano także metodę silanizacji nanokryształów. Procedury te, pozwoliły wprowadzić na powierzchnię naszych nanokryształów grupy –COOH, –NH<sub>2</sub> oraz OH, umożliwiając dalszą biokoniugację nanokryształów i wykorzystanie ich jako markerów optycznych w biologii i medycynie.

Opanowanie technologii wzrostu i modyfikacji nanokryształów fluorkowych, pozwoliło nam również na przeprowadzenie badań podstawowych i podjęcie się zrozumienia zachodzących w tego rodzaju nanostrukturach zjawisk fizycznych.

## II. Jakie postawiono sobie problemy badawcze do rozwiązania po habilitacji ?

### Wyzwania technologiczne

- Otrzymać małe < 10 nm nanokryształy fluorkowe NaXF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> o wysokiej jakości morfologicznej (wąska dystrybucja rozmiarów, jedna faza krystalograficzna) oraz krystalizujące w fazie heksagonalnej.
- Opracować technologię, dającą wysoką jakość nanokryształów i powtarzalności procesu ich wzrostu.
- Kontrolować kształt, rozmiar oraz architekturę (rdzeń-powłoka) nanokryształów.
- Otrzymać czysty i stabilny koloid, zawierający nanokryształy fluorkowe.
- Kontrolować właściwości optyczne nanokryształów (kolor, intensywność emisji).
- Kontrolować właściwości powierzchni nanokryształów.

W momencie definiowania powyższych celów, na świecie jedynie kilka grup badawczych było w stanie syntezować nanokryształy NaXF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> o rozmiarach poniżej 10 nm w fazie heksagonalnej. Jeszcze mniej grup, było w stanie otrzymać takie nanokryształy o wystarczającej jakości optycznej, pozwalającej użyć takie nanokryształy do dalszego zastosowania w biologii i medycynie. Z drugiej strony, dla wielu aplikacji medycznych, rozmiar nanokryształów powinien być poniżej 20 nm, a dla niektórych zastosowań nawet poniżej 10 nm. Ponadto, otrzymanie nanokryształów małego rozmiaru było ważne, w celu zbadania zjawisk rozmiarowych. Nasze wcześniejsze prace dla nanokryształów z jonami Eu<sup>3+</sup> pokazały, że efekty rozmiarowe (powierzchniowe) odgrywają głównie rolę dla małych nanokryształów < 20 nm.

W tym zakresie, za swoje osiągnięcie naukowe po habilitacji uważam zrealizowanie postawionych sobie powyższych celów badawczych. W szczególności, opracowanie wraz z moim zespołem technologii wzrostu nanokryształów β-NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> o rozmiarach poniżej 10 nm w geometrii rdzeń-płaszcz.

## Wyzwania eksperymentalne

- Zrozumieć oddziaływania jon-jon w nanokryształach fluorkowych oraz zrozumieć jak te oddziaływania zależą od rozmiaru nanokryształów oraz od koncentracji jonów.

Wydajność emisji nanokryształów zawierających jony ziem rzadkich, zależy w głównej mierze od rodzaju i wydajności oddziaływań jon-jon (wydajność wzbudzenia, kanały niepromieniste) oraz od wydajności sprzężenia elektron-fonon (relaksacja, kanały niepromieniste). Zrozumienie tych oddziaływań, pozwolić może na kontrolę zarówno wydajności emisji jak i jej spektrum. W konsekwencji, możliwe będzie otrzymanie lepszych jakościowo nanokryształów o potencjale do wdrożenia.

W tym zakresie, za swoje najważniejsze osiągnięcia naukowe po habilitacji, uważam: zaproponowanie modelu opisującego wyniki eksperymentalne, bazującego na efekcie agregacji jonów  $\text{Yb}^{3+}$  pojawiającej się dla małych (< 20 nm) nanokryształów i powiązanie tego zjawiska ze zmianą mechanizmu wzbudzenia jonów  $\text{Er}^{3+}$ ; podanie scenariusza zmiany oddziaływań jonów w układzie  $\beta\text{-NaGdF}_4: \text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$  dla wzrostu koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$ , w oparciu o numeryczne modelowanie konfiguracji jonów w tego rodzaju nanomateriale; zaproponowanie opisu strat energii wzbudzenia w nanokryształach fluorkowych na skutek migracji energii do powierzchni, stosując model perkolacyjny oraz we współpracy z zespołem określenie wartości progu perkolacji dla tego procesu. Za ważne, uważam również wyniki swoich badań, dotyczące procesu dyfuzji jonów z rdzenia do powłoki w układach typu rdzeń-powłoka. Model ten umożliwił wyjaśnienie obserwowanych wyników eksperymentalnych, wielokrotnie interpretowanych wcześniej w błędny sposób.

- Znaleźć sposób na ilościowy pomiar intensywności emisji z nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich.

Do chwili obecnej, w tej tematyce badawczej, istnieje krytyczna trudność eksperymentalna związana z pomiarem intensywności emisji nanokryształów. Intensywność emisji próbki (koloidu) zależy od liczby aktywnych optycznie jonów  $\text{Er}^{3+}$  ( $N_{\text{Er}^*}$ ). Liczba ta, zależy od liczby wzbudzonych w jednym nanokryształu jonów ( $n_{\text{Er}^*}$ ) oraz od liczby nanokryształów znajdujących się we wzbudzonej objętości koloidu ( $n_{\text{NC}}$ ). Zakładając najprostszy przypadek, przypadek nanokryształów o stałym stosunku liczby jonów ( $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ )/NCs, a więc przypadek stałej wartości  $n_{\text{Er}^*}$ , nie jesteśmy w stanie porównać ze sobą dwóch próbek, różniących się parametrem technologicznym (nie zmieniającym  $n_{\text{Er}^*}$ ), ponieważ liczba nanokryształów  $n_{\text{NC}}$  nie jest znana przed pomiarem. Uniemożliwia to porównywanie intensywności emisji pomiędzy próbkami. To uniemożliwia badanie wielu zjawisk fizycznych oraz znacznie utrudnia optymalizację procesu wzrostu nanokryształów pod kątem uzyskania nanokryształów o

najwydajniejszej emisji. Z tego powodu, postęp (komercjalizacja) w tej tematyce jest bardzo powolny i rekordowe wydajności emisji UPC to kilka procent < 10%, gdzie w większości przypadków, są to wartości poniżej 1%. Fakt ten, czyni UCNCs nadal słabo konkurencyjnymi do standardowo stosowanych znaczników optycznych, nawet po uwzględnieniu ich unikalnych zalet.

Ta trudność eksperymentalna, wynika z bardzo małego przekroju na absorpcję jonów ziem rzadkich i w konsekwencji sporych trudności w pomiarach absorpcji, typowo stosowanej do wyznaczania koncentracji nanokryształów w roztworze. W celu obejścia tego problemu, stosuje się trzy metodologie badawcze: wagowe szacowanie liczby nanokryształów lub pomiar wydajności kwantowej emisji. Oba podejścia posiadają bardzo duże błędy i w większości przypadków nie dają wiarygodnych wyników (zwłaszcza, gdy zmianie od próbki do próbki ulegają koncentracje jonów czy mamy do czynienia ze strukturami rdzeń-powłoka lub różnymi ligandami). Trzecim sposobem, jest pomiar stosunku pasma emisji czerwonej do pasma emisji zielonej – jest to również jedynie metoda pozwalająca na jakościową dyskusję otrzymanych wyników eksperymentalnych. Z powyższych powodów, interpretacja wyników i zrozumienie oddziaływań jon-jon w tego rodzaju układzie jest bardzo utrudniona, a postęp w tej dziedzinie powolny.

Wyniki otrzymane w tym zakresie swoich badań uważam za swoje najważniejsze osiągnięcie naukowe po habilitacji. W tym zakresie problemowym, zaproponowano pomiary pojedynczych nanokryształów  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> w modzie szerokiego pola. Podejście to, w przeciwieństwie do wcześniej stosowanych (lecz bardzo nielicznie) pomiarów pojedynczych nanokryształów w modzie skaningowym, pozwala na otrzymanie sygnału jednocześnie z wielu pojedynczych, policzalnych nanokryształów. Pozwala to, na porównanie intensywności emisji od próbki do próbki ponieważ znane jest  $n_{NC}$ . Metoda ta, pozwala nie tylko na skuteczne optymalizowanie procesu wzrostu ale pozwala również na badanie ilościowe wielu innych zjawisk fizycznych, np. strat energii wzbudzenia na powierzchni UCNCs. Metodologia ta, umożliwi również badania efektów kolektywnych w nanokryształach  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> otwierając kilka nowych wątków badawczych, które są obecnie rowiajane w mojej Grupie.

- **Opracować metodologię, pozwalającą na wiarygodną interpretację zaników (narostów) emisji, w szczególności metodologię łączącą podejście teoretyczne z podejściem eksperymentalnym.**

Nanokryształy zawierające jony ziem rzadkich, w większości przypadków charakteryzują się skomplikowaną kinetyką zaniku emisji. Fakt ten wynika głównie z istnienia jonów powierzchniowych oraz jonów objętościowych (różne lokalne pola krystaliczne) oraz ze skomplikowanych oddziaływań jon-jon (Donor-Akceptor, D-D, A-A oraz powyższe kombinacje pomiędzy jonami powierzchniowymi i objętościowymi). Jest to szczególnie wyraźny efekt dla małych UCNCs. W konsekwencji, w ogólności, stosowanie modeli analitycznych opracowanych dla zaniku emisji z jonów wprowadzanych do litych kryształów nie jest możliwe lub otrzymane w ten sposób wyniki są mało wiarygodne. Z tego powodu, w większości przypadków, eksperymentalne dane zaniku emisji są analizowane jedynie jakościowo lub poprzez podanie średniego czasu zaniku. Z drugiej

strony, istnieje znikoma liczba prac teoretycznych, dotycząca tego zagadnienia i w większości są to prace czysto teoretyczne, bez odniesienia do danych eksperymentalnych lub bazujące na równaniach różniczkowych zawierających bardzo dużą liczbę parametrów swobodnych. W efekcie tych trudności, interpretacja tak wartościowych wyników eksperymentalnych jak pomiary czasów zaniku (narostu), pozwalających na zrozumienie oddziaływań jon-jon, jest znacznie utrudniona.

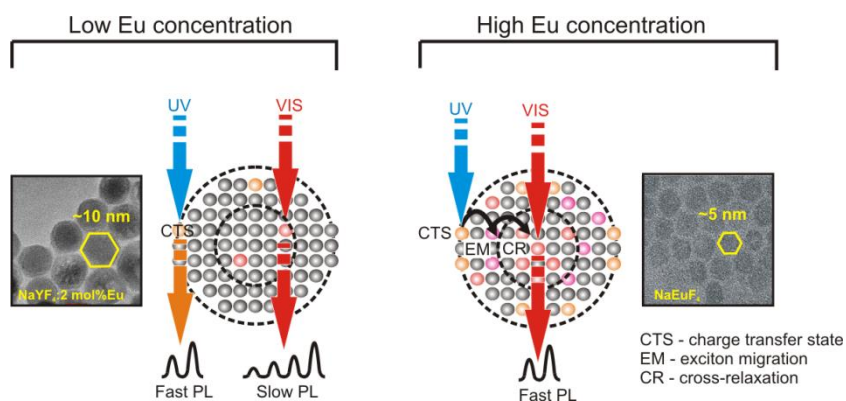
Głównym moim osiągnięciem w tym zakresie, było opracowanie metodologii i wdrożenie we współpracy z dr hab. inż. G. Pawlikiem modelu numerycznego (Monte Carlo) umożliwiającego dopasowywanie wielu krzywych zaniku emisji jednocześnie. Pozwoliło to na uzyskanie wiarygodnych parametrów materiałowych, bazując na danych eksperymentalnych, oraz stworzenie modelu nanokryształu  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> *in silico*. Tak otrzymany model, pozwolił na modelowanie właściwości optycznych nanokryształu, otrzymywanych przy różnych zadanych warunkach eksperymentalnych.

- Uzyskać hydrofilowe nanokryształy  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> oraz sprawdzić ich toksyczność oraz przydatność do obrazowania.

Otrzymywane przez nas nanokryształy po syntezie mają powierzchnię hydrofobową, co wyklucza je z większości zastosowań w biologii i medycynie. Dużym wyzwaniem było więc otrzymanie nanokryształów hydrofilowych, które moglibyśmy zastosować w biologii i medycynie oraz sprawdzić ich toksyczność.

Głównym osiągnięciem moim i mojego zespołu w tym zakresie, było otrzymanie nanokryształów hydrofilowych oraz wykonanie wstępnych pomiarów ich toksyczności. Obecnie prowadzimy badania nad testowaniem nanokryształów  $\beta$ -NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> w obrazowaniu oraz aplikacjach medycznych.

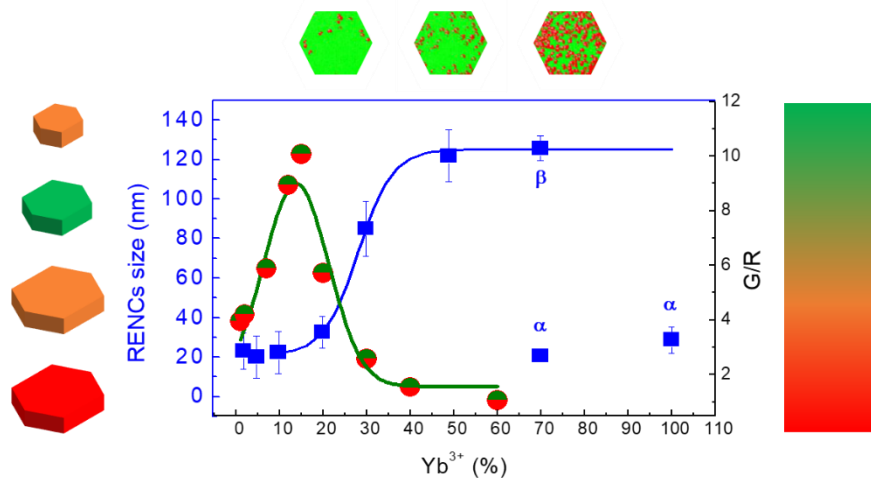
### III. Szczegółowy opis rezultatów otrzymanych w wymienionych publikacjach



Rysunek 1. Model opisujący zmiany właściwości optycznych nanokryształów fluorkowych w funkcji koncentracji jonów  $\text{Eu}^{3+}$ .

W pracy [P1] badano **oddziaływanie jon-jon** oraz podjęto się sprawdzenia czy rzeczywiście w nanokryształach fluorkowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich **efekty rozmiarowe** nie odgrywają istotnej roli ze względu na niewielki, w stosunku do rozmiarów nanokryształów rozmiar funkcji falowej. Po pierwsze pokazano, że z faktu istnienia jonów powierzchniowych oraz jonów objętościowych, wraz ze zmianą rozmiaru NCs (zmiana stosunku powierzchni do objętości,  $S/V$ ) ulegają zmianie wypadkowe właściwości optyczne nanokryształów. Po drugie pokazano, że nie tylko zmianie ulegają właściwości emisyjne jonów powierzchniowych ale również jony te charakteryzują się innymi mechanizmami relaksacji nośników wzbudzonych (inne sprzężenie elektron-fonon) oraz posiadają inny dominujący mechanizm wzbudzenia (via charge transfer state). Ponadto, jony powierzchniowe, ze względu na inne lokalne pole krystaliczne (względem jonów objętościowych) charakteryzują się innymi czasami rekombinacji promienistej. W pracy tej pokazano także, że jony  $\text{Eu}^{3+}$  (również  $\text{Er}^{3+}$  czy  $\text{Tm}^{3+}$ ) zaczynają ze sobą bardzo intensywnie oddziaływać, gdy stężenie jonów przekroczy wartość ok. 5 %. Oddziaływanie to ma postać niepromienistego transferu energii pomiędzy jonami, skutkującego migracją energii wzbudzenia, najprawdopodobniej ku jonom znajdującym się na powierzchni NCs, gdzie jest ona tracona w sposób niepromienisty na skutek oddziaływania wzbudzonych nośników z ligandami powierzchniowymi. Zagadnienie to dokładniej omówione będzie w kolejnych pracach, gdzie badano nanokryształy z jonami  $\text{Er}^{3+}$  i  $\text{Yb}^{3+}$ . W pracy [P1], zaproponowano metodologię, umożliwiającą wyznaczenie średniej odległości pomiędzy jonami, dla której większość jonów intensywnie ze sobą oddziałuje. W tym celu wykonano symulację komputerową, mającą na celu policzenie średniej, minimalnej odległości pomiędzy jonami, dla różnych koncentracji jonów. Wykonano także pomiary czasów zaniku emisji jonów dla NCs o różnej koncentracji jonów. Na skutek oddziaływania jon-jon, wartość średniego czasu życia emisji uległa wykładniczemu skracaniu ze wzrostem koncentracji jonów, gdzie przy 5% czas ten uległ skróceniu e-razy. Porównanie tej wartości z wynikami symulacji, pozwoliło oszacować średnią odległość pomiędzy jonami, przy której zachodzi ich intensywne oddziaływanie jako 0.65 nm.

Dodatkowo, w pracy [P1] udało się podać kompleksowy model wyjaśniający zmiany widm emisji, zaników emisji oraz widm wzbudzenia emisji dla nanokryształów fluorkowych w funkcji zmiany koncentracji jonów  $\text{Eu}^{3+}$ . Zaproponowany model przedstawia Rys.1.

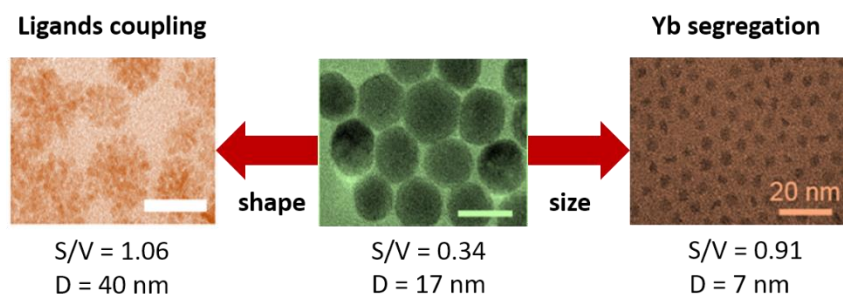


Rysunek 2. Abstrakt graficzny związany z treścią pracy [P2].

W pracy [P2] pokazano wyniki eksperymentalne otrzymane dla nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami  $\text{Yb}^{3+}$  oraz  $\text{Er}^{3+}$ , gdzie zmieniano zarówno zawartość jonów  $\text{Yb}^{3+}$  jak i  $\text{Er}^{3+}$ . Potwierdzono, że zmiana koncentracji domieszki istotnie wpływa na rozmiar nanokryształów. Rozmiar nanokryształów mógł być zmieniany od 20 do 120 nm, w zależności od koncentracji jonów w kryształach. Dodatkowo, potwierdzono wcześniejsze doniesienia, że wysokie koncentracje jonów ziem rzadkich, mogą istotnie wpływać na fazę krystaliczną nanokryształów. Dwufazowość (faza heksagonalna + faza kubiczna) zaobserwowana została przez nas dla wysokich (powyżej 70%) stężeń jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Zaobserwowana silna zależność rozmiaru nanokryształów od koncentracji jonów, istotnie skomplikowała analizę otrzymanych wyników eksperymentalnych. Jak pokazano we wcześniejszej naszej pracy [P1], właściwości optyczne nanokryształów w ogólności zależą od ich rozmiaru. Z drugiej strony, właściwości optyczne NCs silnie zależą od koncentracji jonów i oddziaływania jon-jon. W celu dokonania wiarygodnej interpretacji wyników, w pracy tej, wykonano proste obliczenia numeryczne szacujące stosunek liczby jonów powierzchniowych do jonów objętościowych w funkcji rozmiaru nanokryształów oraz wykonano obliczenia pozwalające oszacować liczbę jonów  $\text{Yb}^{3+}$  wokół jonów  $\text{Er}^{3+}$  w funkcji koncentracji, zarówno jonów  $\text{Er}^{3+}$  jak i jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Otrzymane wyniki porównano z wynikami eksperymentalnymi zaników emisji oraz emisji – w szczególności pomiarami stosunku emisji zielonej do emisji czerwonej (G/R). Zmiana tego stosunku, używana jest powszechnie w badaniach tego rodzaju materiałów do określenia stopnia zmian procesów relaksacji niepromienistej pomiędzy wzbudzonymi poziomami jonów  $\text{Er}^{3+}$ . Zakłada się, że nośniki wzbudzone do „stanu zielonego” relaksują do „stanu czerwonego” w procesie oddziaływania  $\text{Er}^{3+}$ -  $\text{Er}^{3+}$  typu relaksacja krzyżowa (wzrost koncentracji jonów  $\text{Er}^{3+}$ ) lub w efekcie procesów sprzężenia elektron-fonon (np. redukcja rozmiaru NCs i większy udział jonów powierzchniowych). Jak pokazaliśmy w kolejnych naszych pracach, taka interpretacja zmian G/R jest niepełna i nie uwzględnia zmian wydajności wzbudzenia do „stanów zielonych” i „stanów czerwonych”. Ponadto, takie założenie nie tłumaczy zmian G/R wraz ze zmianą koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Niemniej jednak, w pracy [P2] pokazano, że w tego rodzaju nanokryształach, efekty rozmiarowe (w tym rola jonów  $\text{Er}^{3+}$  znajdujących się na

powierzchni UCNCs) są pomijalne dla nanokryształów o rozmiarach powyżej 20 nm. W pracy tej, bazując na porównaniu wyników modelowania numerycznego oraz wyników eksperymentalnych, zaproponowano także scenariusz opisujący zmiany właściwości optycznych nanokryształów UCNCs w funkcji zmiany koncentracji zarówno jonów  $\text{Er}^{3+}$  jak i jonów  $\text{Yb}^{3+}$ .

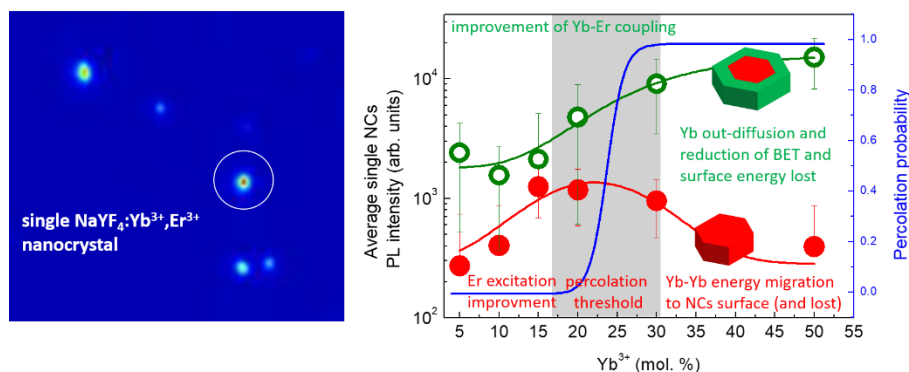
Dla wzrostu koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$  zaproponowano, że dla bardzo niskich stężeń  $\text{Yb}^{3+}$ , w większości jony  $\text{Er}^{3+}$  są wzbudzone rezonansowo. Gdy koncentracja jonów  $\text{Yb}^{3+}$  rośnie, pojawiają się pary  $\text{Yb}^{3+}$ - $\text{Er}^{3+}$ . W efekcie, zachodzi transfer energii z jonów  $\text{Yb}^{3+}$  do jonów  $\text{Er}^{3+}$  i wydajność wzbudzenia rośnie. Możliwe jest to jedynie w procesie sekwencyjnego wzbudzenia jonu  $\text{Er}^{3+}$  przez ten sam jon  $\text{Yb}^{3+}$ . W efekcie, na jednostkę czasu, jest to nadal proces o bardzo niskiej wydajności. Dalsze zwiększanie stężenia  $\text{Yb}^{3+}$  powoduje pojawianie się układów  $\text{Yb}^{3+}$ - $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$ . Na tym etapie, wzbudzenie jonów  $\text{Er}^{3+}$  z dwóch jonów  $\text{Yb}^{3+}$  może zachodzić symultanicznie i wydajność up-konwersji jest wysoka. Dalsze zwiększanie koncentracji  $\text{Yb}^{3+}$  poprawia wydajność tego wzbudzenia do momentu, gdy wokół jonów  $\text{Er}^{3+}$  pojawiają się niewzbudzone jony  $\text{Yb}^{3+}$ . W tym zakresie koncentracji  $\text{Yb}^{3+}$ , zachodzi zaczyna proces wstecznego transferu energii z jonów  $\text{Er}^{3+}$  do jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Zatem na jednostkę czasu, wydajność wzbudzenia jonów  $\text{Er}^{3+}$  nie ulega zwiększeniu. Ten efekt potwierdzono pośrednio w pracy [P2]. Jednocześnie, w pracy tej zaproponowano, że dalsze zwiększanie stężenia jonów  $\text{Yb}^{3+}$  mogłoby poprawić wydajność wzbudzenia nanokryształu poprzez tworzenie się klasterów jonów  $\text{Yb}^{3+}$  mogących doprowadzać energię wzbudzenia do nie sprzężonych wcześniej z jonami  $\text{Yb}^{3+}$  jonów  $\text{Er}^{3+}$ . Jednak dalsze zwiększanie stężenia jonów  $\text{Yb}^{3+}$  powodować powinno także pojawienie się dużych klasterów połączonych z powierzchnią, gdzie energia wzbudzenia może być wydajnie tracona. Udowodnienie tych ostatnich hipotez (powstawanie klasterów  $\text{Yb}^{3+}$ ) stało się motywacją do powstania moich kolejnych prac.



Rysunek 3. Schemat pokazujący treść zawartą w pracy [P3].

W pracy [P3] starano się rozwiązać wcześniej pojawiający się problem istotnej zmiany rozmiaru nanokryształów wraz ze zmianą koncentracji jonów. Modyfikując metodę syntezy, udało się uzyskać małe nanokryształy, których zmiany rozmiaru były znacznie mniejsze niż we wcześniejszych naszych pracach (czynnik ok. 2 przy zmianie koncentracji  $\text{Yb}^{3+}$  od 0.5 do 70 %). Otrzymano również serię nanokryształów o stałej koncentracji jonów, lecz o różnym rozmiarze oraz kształcie. Głównym celem tej pracy, było badanie zjawisk powierzchniowych oraz rozmiarowych w tego rodzaju układach. W pracy tej pokazano, że dla małych nanokryształów zachodzi segregacja jonów  $\text{Yb}^{3+}$ , która powoduje istotne zmiany w mechanizmie wzbudzenia jonów  $\text{Er}^{3+}$ . Zmiany w mechanizmie wzbudzenia powodują zmiany w stosunku G/R. Zatem, dla

stałej koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$ , możemy zmieniać mechanizm wzbudzenia jonów  $\text{Er}^{3+}$  poprzez zmianę rozmiaru nanokryształów lub tworzenie układu rdzeń-płaszcz i wykorzystywanie zjawiska out-dyfuzji, zaobserwowanej przez nas wcześniej. Otrzymane przez mnie wyniki, pozwoliły także na dokładniejszą interpretację powszechnie stosowanego wskaźnika G/R zwracając uwagę, że jego końcową wartość kształtują nie tylko procesy relaksacji lecz również procesy wzbudzenia, które mogą się zmieniać zarówno z rozmiarem nanokryształów jak i z koncentracją jonów  $\text{Yb}^{3+}$ , co również zostało pokazane dla serii nanokryształów referencyjnych o zmiennej koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$  i podobnym rozmiarze.

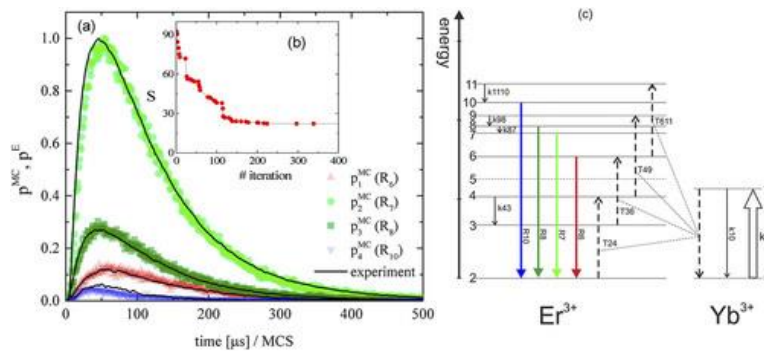


Rysunek 4. Abstrakt graficzny związany z pracą [P4]

Praca [P4], jest w mojej ocenie **najważniejszych z moich prac z tej tematyki** powstała w okresie po habilitacji. Jest ona także publikacją, która otwiera całą serię prac, jakie będą się pojawiać w najbliższym czasie w mojej Grupie. Głównym nowością tej pracy, było wykonanie pomiarów z pojedynczych nanokryształów UCNCs w modzie szerokiego pola. Pomiar taki, pozwala bowiem zmierzyć emisję z jednej próbki i policzyć z ilu nanokryształów został zebrany sygnał emisyjny. Takie podejście pozwala w sposób ilościowy porównywać ze sobą różne próbki. **Udało się więc rozwiązać jeden z najważniejszych problemów eksperymentalnych** obecnych w tej tematyce. Bazując na otrzymanych wynikach pokazano dla jakich wartości  $\text{Yb}^{3+}$  emisja z  $\text{Er}^{3+}$  jest największa. Jak pokazuje Rys. 4, emisja ta jest maksymalna dla 2%  $\text{Er}^{3+}$  oraz 20%  $\text{Yb}^{3+}$ . Otrzymane koncentracje są zgodne z wynikami innych grup badawczych z całego świata, które otrzymywały taki wynik innymi, często pośrednimi metodami badawczymi. Kolejną ogromną wartością tej pracy, jest potwierdzenie wcześniej postawionej przez mnie hipotezy, że duża zawartość jonów  $\text{Yb}^{3+}$  powoduje powstanie dużych klasterów jonów, które mogą zostać połączone z powierzchnią nanokryształu i odprowadzać energię wzbudzenia do powierzchni, gdzie jest ona tracona. Aby potwierdzić tą hipotezę, w pracy zaproponowano opis tego procesu w języku perkolacji i wykonano modelowanie numeryczne pozwalające na określenie progu perkolacji, tj. momentu kiedy pojawiają się klasterzy jonów połączone od środka do powierzchni nanokryształu. Pokazano, że zakładając oddziaływanie pomiędzy jonami (migracja energii) o charakterze typu dipol-dipol, próg perkolacji pojawia się przy około 20-30% jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Otrzymany wynik, jest bardzo zgodny z otrzymaną wartością eksperymentalną, powyżej której emisja z nanokryształów istotnie spada. Tym samym, udało się wyjaśnić przyczynę optymalnej koncentracji dla nanokryształów  $\text{NaYF}_4$  jako 2%  $\text{Er}^{3+}$  oraz 20%  $\text{Yb}^{3+}$ .



Kolejnym, bardzo ważnym wynikiem tej pracy, było otrzymanie intensywności emisji dla tych samych struktur wzrastanych w geometrii rdzeń-płaszcz. Okazało się, że dla tego rodzaju struktur, intensywność emisji jest niemal liniowa wraz ze wzrostem koncentracji jonów  $\text{Yb}^{3+}$ . Jest to wynik zaskakujący, lecz dość prosty do wytłumaczenia. Podczas wzrostu powłoki, odcinamy dostęp klasterom  $\text{Yb}^{3+}$  do powierzchni nanokryształu. Energia wzbudzenia jest w takim przypadku zamknięta w rdzeniu nanokryształu i krąży po klasterze, wydajniej wzbudzając jony  $\text{Er}^{3+}$ , które są z nim sprzężone. Dodanie płaszczu, powoduje także rozrzedzenie klasterów, co też będzie miało wpływ na końcowy scenariusz pobudzenia jonów  $\text{Er}^{3+}$  (redukując np. procesy wstecznego transferu energii). Widać zatem, że powszechnie przyjmowana jako optymalna koncentracja 2: 20, nie jest już optymalna dla układów o geometrii rdzeń-powłoka. Co więcej, w zależności od grubości płaszczu tendencja ta może ulec zmianie.



Rysunek 5. Przykładowe krzywe zaniku dopasowane modelem Monte Carlo przy założeniu najprostszego modelu struktury energetycznej oddziaływującej pary  $\text{Yb}^{3+}$ - $\text{Er}^{3+}$  [P5].

Wyniki zawarte w pracy [P5] były rezultatem mojej współpracy z dr hab. inż. G. Pawlikiem, który przeniósł zaproponowany przeze mnie układ równań różniczkowych wraz z metodologią równoległego dopasowywania wielu zaników do formalizmu Monte Carlo. W efekcie tej współpracy, udało się dopasować modelem zmierzone przeze mnie zaniki emisji zachodzących jednocześnie z czterech poziomów jonów  $\text{Er}^{3+}$ . Na podstawie otrzymanych parametrów materiałowych, w ramach poprawności założonego modelu, możliwe było modelowanie emisji nanokryształów o innych koncentracjach jonów. Otrzymane wyniki, pozwoliły także na zasymulowanie eksperymentu, w którym szerokość oraz repetycja impulsu pobudzającego może być zmieniana. Stworzony przez nas model, pozwala także na symulowanie eksperymentu prowadzonego przy różnych gęstościach pobudzenia oraz analizy sygnału przy różnym czasie integracji sygnału oraz różnej temperaturze. Opracowany model stanowi podstawę naszych obecnych badań nad stanami nierównowagowymi w tego rodzaju układach, gdzie kolor emisji zależy od gęstości mocy wiązki pompującej ale także od czasu trwania impulsu oraz jego repetycji, ze względu na złożoność procesów oddziaływania jon-jon.

Ponadto, we współpracy z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi, w okresie po habilitacji, udało się rozpocząć badania toksyczności naszych nanokryształów oraz podjąć próby ich zastosowania w biologii i medycynie. W chwili obecnej, w ramach tej tematyki rozwijana jest przez nas metodologia pomiarów przy użyciu naszego układu pomiarowego, pozwalającego na wysokorozdzielcze obrazowanie 3D przy wykorzystaniu jako znaczników optycznych UCNCs. Poniżej, przedstawiono jedynie główne wnioski wynikające z publikacji [P6-P9] dotyczące prób stosowania naszych nanokryształów w biologii i medycynie. Udało się nam:

- skutecznie sfunkcjonalizować i biokoniugować nasze nanokryształy i doprowadzić do komórek czerniaka skóry w procesie cyrkulacji nanokryształów w obiegu krwionośnym i następnie wykonać obrazowanie oznakowanych komórek w modzie 2D (mikroskop fluoroscencyjny) oraz 3D (obrazowanie masy nowotworowej),
- zaobserwować brak istotnych reakcji immunologicznych (immunotoksyczność) w obecności naszych nanokryształów do ich wysokich stężeń 50 mg/cm<sup>2</sup>,
- zaobserwować wzrost cytotoxyczności dla komórek HeLa, jedynie dla dużych stężeń nanokryształów (powyżej 60 mg/ml – dla 48h),
- wykazać, że obecność nanokryształów w obszarze synaps, wpływać może istotnie na transport neurotransmiterów GABA. Przy czym, zachodzi zależność stopnia zachodzących zaburzeń (poziom neurotoksyczności) od rodzaju ligandów znajdujących się na powierzchni nanokryształów,
- udowodnić wydajny transfer energii z nanokryształów NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> do ftalocyjaniny dołączonej do powierzchni nanokryształów. W konsekwencji, zastosowanie tego rodzaju nanokryształów istotnie przyspieszyło czas trwania terapii fotodynamicznej dla nowotworów piersi u myszy, na skutek generowania tlenu singletowego po wzbudzeniu nanokryształów wiązką 980 nm.