

2018

AUTOREFERAT

ARTUR PODHORODECKI

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA | Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Katedra Fizyki
Doświadczalnej

Spis treści

1. ŻYCIORYS ZAWODOWY	3
1.1 DANE OSOBOWE	3
1.2 DANE TELEADRESOWE	3
1.3 DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE.....	3
1.4 STOPNIE NAUKOWE I TYTUŁY ZAWODOWE	4
2. AUTOREFERAT	4
2.1 OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE	4
2.1.1. Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora.....	4
2.1.1 Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora.....	7
2.1.2 Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora habilitowanego.....	12
2.1.3 Opis planowanej działalności	13
2.2 OSIĄGNIĘCIA W ZAKRESIE OPIEKI NAUKOWEJ I KSZTAŁCENIA KADRY	15
2.2.1 Opieka nad doktorantami i promowane prace doktorskie.....	15
2.2.2 Prace magisterskie realizowane pod moją opieką.....	16
2.2.3 Prace inżynierskie realizowane pod moją opieką.....	17
2.2.4 Członkostwo w komisjach habilitacyjnych.....	18
2.2.5 Recenzje rozpraw doktorskich.....	19
2.2.6 Recenzowanie prac magisterskich.....	19
2.2.7 Recenzowanie prac inżynierskich.....	19
2.3 DZIAŁALNOŚĆ POPULARYZUJĄCA NAUKĘ	21

1. Życiorys zawodowy

1.1. Dane osobowe



Imię i nazwisko	Artur Piotr Podhorodecki
Data i miejsce urodzenia	5.07.1978, Legnica, Polska
Miejsce zameldowania:	ul. Inżynierska 49/31, 53-228 Wrocław, Polska
Obywatelstwo:	Polskie
Stan rodzinny:	Żonaty, 3 synów (Wiktor, Leonard, Aleksander)

1.2. Dane teleadresowe

Katedra Fizyki Doświadczalnej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Tel. 71 320 45 73
E-mail: artur.p.podhorodecki@pwr.edu.pl

1.3. Doświadczenie zawodowe

1998 – 2003	Studia magisterskie na Politechnice Wrocławskiej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Fizyka.
2003 – 2007	Studia doktoranckie na Politechnice Wrocławskiej, Instytut Fizyki
2007 – 2008	Asystent naukowo-dydaktyczny na Politechnice Wrocławskiej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Instytut Fizyki.
2008 – 2013	Adiunkt na Politechnice Wrocławskiej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Instytut Fizyki.
2011-2012	Członek Rady Młodych Naukowców będącej organem doradczym MNiSW.
2012-2016	Członek Rady Narodowego Centrum Badań i Rozwoju Członek Komisji Odwoławczej NCBiR
2013 – 2015	Adiunkt z habilitacją Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Instytut Fizyki.
Od 2015	Profesor PWr. <i>Spektroskopia oraz synteza nanomateriałów.</i> Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Katedra Fizyki Doświadczalnej

Tematyka prowadzonych badań:

Optyczna spektroskopia nanostruktur półprzewodnikowych.
Badania mechanizmów wzbudzenia, emisji oraz relaksacji nośników w nanostrukturach oraz nanostrukturach domieszkowanych jonami ziem rzadkich.
Synteza oraz funkcjonalizacja nanomateriałów nieorganicznych.
Prototypy urządzeń optoelektronicznych na bazie nanomateriałów.
Zastosowania nanomateriałów w biologii i medycynie (głównie jako markery optyczne).
Wysokorozdzielcza mikroskopia fluoroscencyjna.

1.4. Stopnie naukowe i tytuły zawodowe

2003. Mgr inż. fizyki (Specjalność: Fizyka Ciała Stałego)

Praca dyplomowa, IF, PWr.: *Optyczne badanie struktur laserowych InGaAsP.*

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz

2007 Dr nauk fizycznych

Rozprawa doktorska, IF, PWr.: *Optyczne badania nanokrystalitów krzemowych oraz nanokrystalitów grup II-VI i III-V*

Promotor: Prof. Dr hab. inż. Jan Misiewicz, Recenzenci: Prof. M. Godlewski, IF PAN, Warszawa; Prof. W. Ryba-Romanowski, INTiBS, PAN, Wrocław.

Praca wyróżniona Nagrodą Prezesa Rady Ministrów RP

2013 Habilitacja (Fizyka)

Rozprawa habilitacyjna, IF, PWr.: *Optyczne badania nanostruktur domieszkowanych jonami ziem rzadkich*

Recenzenci: Prof. M. Grinberg, Uniwersytet Gdański, Gdańsk; Prof. P. Kossacki, Uniwersytet Warszawski, Warszawa; Dr hab. inż. L. Bryja, PWr. Wrocław.

2. AUTOREFERAT

2.1. Osiągnięcia naukowe

2.1.1. Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora.

Pracę badawczą w zespole Zaawansowanej Spektroskopii Nanostruktur pod kierunkiem prof. Jana Misiewicza rozpocząłem pod koniec trzeciego roku studiów na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, na kierunku Fizyka, specjalność Fizyka Ciała Stałego, PWr. Przedmiotem moich badań było zastosowanie spektroskopowych technik optycznych, takich jak: fotoodbicie, elektroodbicie oraz fotoluminescencja, w pomiarach optycznych właściwości nanostruktur, wykorzystywanych do konstrukcji laserów telekomunikacyjnych opartych na półprzewodnikowych strukturach niskowymiarowych.

Pierwszy etap moich badań, zakończony obroną pracy magisterskiej na temat: „*Optyczne badania struktur laserowych InGaAsP/InP*”, dotyczył badań optycznych studni kwantowych InGaAsP,

wzrastanych na podłożach InP. Badania te były wykonywane we współpracy z McMaster University (Kanada), a ich wyniki zawarte zostały w przeglądowej pracy w **Journal of Applied Physics** pt. *Photoreflectance investigations of quantum well intermixing processes in compressively strained InGaAsP/InGaAsP QW laser structures emitting at 1.55 μm* [¹] oraz w dwóch innych artykułach [^{2,3}].

Przewodnym tematem prowadzonych przeze mnie w tym okresie prac, były badania procesów interdyfuzji (*ang. intermixing*) w wielokrotnych studniach kwantowych, w celu przestrajania długości fali emisji w strukturach laserowych po wzroście (*ang. post growth treatment*). Dzięki przeprowadzonym pomiarom, zbadano wpływ procesów wygrzewania i przykrywania struktur warstwą dielektryka na strukturę energetyczną studni kwantowych. Pokazano, że procesy interdyfuzji prowadzą do rozmycia kształtu potencjału studni kwantowej, a odpowiedni dobór parametrów wygrzewania oraz grubości dielektryka, pozwala sterować energią emisji badanych struktur. Studia ukończyłem z oceną bardzo dobrą, otrzymując nominację do nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej dla najlepszego absolwenta Wydziału Podstawowych Problemów Techniki.

Studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, pod opieką prof. Jana Misiewicza, rozpocząłem w 2003 roku. Pierwszy etap studiów doktoranckich poświęcony był kontynuacji badań dotyczących struktur laserowych oraz rozwojowi spektroskopii modulacyjnej. Równolegle, rozpocząłem własne badania struktur zol-żelowych domieszkowanych jonami lantanowców, którymi wypełniane były matryce porowate. Dzięki tym badaniom, zacząłem zdobywać wiedzę teoretyczną oraz eksperymentalną dotyczącą jonów ziem rzadkich, materiałów polimerowych oraz struktur porowatych. W tym początkowym okresie swojej pracy badawczej, miałem również okazję pracować z ciekłymi kryształami, opalami, fulerenami [⁴], materiałami chemicznymi [⁵] oraz wieloma innymi, nowymi na naszym Wydziale materiałami.

Najważniejszy okres mojej pracy naukowej w tym okresie, to ostatnie dwa lata studiów doktoranckich. W okresie tym, skoncentrowałem swoją uwagę na badaniach struktur nanokrystalicznych wykonywanych we współpracy z licznymi ośrodkami międzynarodowymi, m.in. Laboratorium Hewlett Packard, Pao Alto, USA; McMaster University, Kanada; CNRS, Orsey, Francja; CNRS, Cean, Francja oraz ośrodkami krajowymi INTiBS, PAN, Wrocław i WEMiF, PWR, Wrocław. Do badanych materiałów zaliczały się głównie nanokryształy GaN domieszkowane jonami ziem rzadkich, nanokryształy w architekturze rdzeń-powłoka CdSe/ZnS oraz nanokryształy krzemu wytrącane w matrycach tlenkowych Si_xO_y .

¹ 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 μm* , **Journal of Applied Physics** 100, 013111 (2006).

² 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).

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).

⁴ 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)

⁵ P. Lutsyk, J. Misiewicz, A. Podhorodecki, Ya. Vertsimakha, Photovoltaic properties of SnCl₂Pc films and SnCl₂Pc/pentacene heterostructures, **Solar Energy Materials and Solar Cells** 91, 47 (2007).

Podjęta przeze mnie tematyka badawcza, była nową w grupie Zaawansowanej Spektroskopii Nanostruktur, wymagającą gruntownego zapoznania się z literaturą przedmiotu oraz konstrukcją nowych układów pomiarowych przystosowanych do pomiaru tego rodzaju materiałów. W konsekwencji, powstały trzy nowe układy pomiarowe: zintegrowany układ, pozwalający na przeprowadzenie standardowych pomiarów spektroskopowych takich jak: luminescencja, transmisja czy odbicie w szerokim przedziale spektralnym (200-2000 nm) oraz w szerokim przedziale temperatur (4-500 K) dla różnych mocy oraz polaryzacji wiązki pompującej. Dodatkowo, uruchomiony został przeze mnie nowy układ do dwuwymiarowego wzbudzania widm emisji w szerokim przedziale temperatur (10-500 K) dla zakresu wzbudzania od 200-800 nm oraz detekcji od 300-1600 nm. Uruchomiono także nowy układ do pomiarów fototransmisji oraz układ do pomiarów fotoodbicia.

Przy użyciu wymienionych technik, możliwe stało się analizowanie mechanizmów wzbudzania oraz relaksacji nośników w nanostrukturach półprzewodnikowych oraz w jonach ziem rzadkich. W szczególności, możliwe stało się badanie procesów transferu energii do jonów lantanowców z nanostruktur półprzewodnikowych oraz badanie mechanizmów gaszenia emisji. Wyniki moich badań, dotyczących struktur nanokrystalicznych, zebrane zostały w pracy doktorskiej Pt. "***Optyczne badania nanokrystalitów krzemowych oraz nanokrystalitów grupy II-VI i III-V***".

Głównymi osiągnięciami zawartymi w tej pracy, było określenie wpływu rozmiarów i powierzchni nano-krystalitów GaN na ich właściwości luminescencyjne. Pokazano także jak domieszkowanie tego rodzaju nano-kryształów jonami ziem rzadkich wpływa na optyczne właściwości jonów oraz optyczne i strukturalne właściwości samych nanokryształów. Pokazano, że dla nanoziaren GaN otrzymywanych metodą hydrotermalną nie jest możliwe wprowadzenie jonów do rdzenia nanokryształu. Większość jonów, znajduje się w tym przypadku na powierzchni nanokryształu. Pokazano także, że domieszkowanie jonami Eu^{3+} powoduje istotne zmiany w rozmiarze nano-kryształów GaN, najprawdopodobniej ze względu na wytwarzanie się warstwy tlenkowej na powierzchni nanokryształów zmieniającej kinetykę ich wzrostu. Badano także wpływ ciśnienia (0.1-6 GPa), pod jakim sprasowywany jest tego rodzaju proszek, na optyczne właściwości otrzymanych w ten sposób nanoceramik.

Dla struktur domieszkowanych europem, pokazano, że przy użyciu wysokoenergetycznej wiązki elektronowej możliwa staje się aglomeracja nanokrystalitów do większych mikro-rozmiarów, na skutek lokalnego wzrostu temperatury. Zaobserwowano, że emisja zarówno z jonów europu jak i z nanokrystalitów jest różna dla różnych rozmiarów ziaren. Związane jest to z różnym stosunkiem powierzchni-do-objętości. Zostało pokazane, że zmiany emisji z jonów europu, wynikają z różnych położzeń jonów europu w strukturze nanokrystalitów.

W kolejnym kroku, przy użyciu technik absorpcyjnych, wyjaśniono mechanizm wzbudzania jonów europu w nanokrystalitach GaN o różnych rozmiarach. Pokazano, że istnieją cztery kanały wzbudzania jonu: poprzez matrycę GaN, poprzez stany defektowe, bezpośrednio wzbudzanie jonów oraz wzbudzanie w procesie przenoszenia ładunku, najprawdopodobniej od atomów tlenu znajdujących się na powierzchni nanokrystalitu. Ostatni mechanizm wzbudzania, dominuje dla małych rozmiarów nanokrystalitów, gdzie jony europu znajdują się głównie na powierzchni, w otoczeniu tlenowym. Natomiast, w przypadku większych mikro-krystalitów dominujący mechanizm wzbudzania związany jest z procesem transferu energii z mikro-krystalitu GaN do jonu, gdyż znaczna część jonów najprawdopodobniej znajduje się wewnątrz mikro-krystalitu.

Dla nanokryształów krzemu pokazano, że w większości badanych próbek emisja związana jest z rekombinacją, z udziałem stanów powierzchniowych, a nie jak się spodziewano z rekombinacją ekscytonową zachodzącą wewnątrz nanokryształu. Na podstawie pomiarów absorpcyjnych stwierdzono, że dominujący mechanizm absorpcji w nanokryształach krzemu, związany jest z absorpcją z udziałem prostych (dozwolonych) przejść w nanokryształach krzemu. Ze względu na efekty kwantowe, występujące w nanostrukturach krzemowych o rozmiarach poniżej 5 nm, spodziewano się znaczącego wzrostu wydajności absorpcji z udziałem przejść zabronionych (skośnych) w obszarze VIS-NIR. Przeprowadzone badania pokazały jednak, że przejścia te mogą odgrywać istotną rolę jedynie w procesie rekombinacji promienistej. Zaproponowano także wyjaśnienie obserwowanego wzrostu intensywności emisji z nanokryształów krzemu wraz ze wzrostem temperatury w zakresie temperatur od 5 do 150 K. Tego rodzaju trend, wyjaśniano istnieniem subtelnego efektu rozszczepienia podstawowego stanu ekscytonowego na stan jasny i ciemny, które ulegają zmianie populacji ze wzrostem temperatury. Jako alternatywne wyjaśnienie, zaproponowano zjawisko polegające na wzroście populacji nośników wewnątrz nanokryształów ze wzrostem temperatury, na skutek depopulacji stanów defektowych znajdujących w matrycy i/lub na powierzchni nanokryształów (zjawisko tzw. hoppingu). Dla nanokryształów krzemowych, pokazano również, że bardzo słaba zależność pasma emisji od temperatury wygrzewania struktur SRSO wynikać może z faktu istnienia dwóch przeciwstawnych mechanizmów. Wraz ze wzrostem temperatury wygrzewania rośnie rozmiar nanokryształów (przerwa wzbroniona się zawęża). Jednocześnie, wygrzewanie powoduje przejście nanokryształów z fazy amorficznej do fazy krystalicznej, powodując redukcję ogonów gęstości stanów (przerwa wzbroniona się otwiera). W późniejszych pracach pokazano także, że wygrzewanie powoduje jednocześnie zmianę naprężeń na między-złączu nanokryształ/matryca (zmiana fazy, rozmiaru nanokryształów oraz gęstości matrycy), redukcję defektów w matrycy i w ogólności nie jest odpowiednim parametrem do badania zjawisk kwantowych w tego rodzaju układach. Dla tego rodzaju struktur pokazano również, że możliwe jest wykorzystanie nanokryształów krzemu do wzbudzenia jonów Er^{3+} oraz Nd^{3+} współdomieszkowanych do matrycy zawierającej nanokryształ krzemu. W doktoracie badano także mechanizmy transferu energii od nanokryształów krzemu do jonów Er^{3+} oraz Nd^{3+} oraz mechanizmy rekombinacji niepromienistej w tego rodzaju układach.

Dla struktur, CdSe/ZnS , pokrytych różnego rodzaju ligandami (HDA, TOPO) pokazano, że rodzaj użytego ligandu w znaczący sposób wpływa na właściwości emisyjne nanokryształu, natomiast w mniejszym stopniu na ich właściwości absorpcyjne. Stwierdzono ponadto, że w zależności od rodzaju użytego ligandu, nie tylko zmieniają się właściwości optyczne, lecz również rozkład rozmiarów nanokryształów. Na podstawie pomiarów absorpcyjnych, pokazano także, że dla struktur poddanych długotrwałemu działaniu powietrza oraz silnej, ultrafioletowej wiązki laserowej, pojawiają się nowe kanały rekombinacji promienistej, związane z rekombinacją poprzez stany defektowe warstwy ZnS lub między-złącza ZnS-HDA . Na podstawie pomiarów dwuwymiarowego wzbudzenia luminescencji pokazano, że stany energetyczne warstwy ZnS odgrywają istotną rolę w redystrybucji energii wzbudzenia do niższych stanów tj. wspomniane poziomy defektowe oraz poziomy energetyczne rdzenia CdSe , dla energii wzbudzenia powyżej ~ 4 eV.

Na podstawie wyników prezentowanych w mojej pracy doktorskiej oraz badań prowadzonych równolegle, zostałem autorem lub współautorem **27 prac** w czasopiśmie z listy

Filadelfijskiej takich jak: *Applied Physics Letters*, *Journal of Applied Physics*, *Journal of Luminescence*, *Electrochemical Solid State Letters* i wielu innych. Dwa z nich zostały wybrane ponadto do prestiżowego czasopisma elektronicznego *Virtual Science and Technology*. Ponadto w trakcie trwania studiów doktoranckich wygłosiłem **13 prezentacji** dotyczących prowadzonych badań. Do najistotniejszych wśród nich, zaliczyć można zaproszony wykład na konferencji ICEPOM, Gurzuf, Ukraina, zaproszony wykład w ośrodku badawczym CNRS, Caen, Francja, zaproszony wykład na zakładowym seminarium Zakładu Fizyki i Chemii Materiałów, Politechniki Wrocławskiej, wykład na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, wykład na Spotkaniu NanoSymposium w INTiBS, Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu oraz wykład na Konferencji *International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures* we Wrocławiu. W czasie trwania studiów doktoranckich brałem ponadto udział w **7 projektach badawczych** tj. wewnętrzny grant promotorski, grant własny z Wydziałem Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, PWr, Projekt Pollonium, Projekt NATO, Projekt CERION, Projekt w ramach Piątego oraz Szóstego Europejskiego Programu Ramowego.

W czasie trwania studiów doktoranckich, brałem także udział w **7 szkoleniach** oraz stażach zagranicznych we Francji, Białorusi, Stanach Zjednoczonych, Włoszech, a także w kraju, podnosząc swoje kwalifikacje zawodowe.

W roku 2005, otrzymałem Stypendium w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego, a w roku 2006 Stypendium za wyniki w nauce dla najlepszych doktorantów WPPT oraz Stypendium Maxa Borna w dziedzinie fizyka.

Ponadto, pomimo intensywnie prowadzonych badań naukowych, zaangażowany byłem także w społeczne życie Uczelni oraz popularyzację fizyki. W latach 2006-2007 byłem prezesem studenckiej placówki SPIE *International Society for Optical Ingeenering*, a w latach 2007-2008 byłem także prezesem studenckiej placówki OSA *Optical Socjety of America*, której jestem także założycielem. Wielokrotnie brałem udział we współorganizowaniu wydarzeń naukowych Uczelni, w tym w przygotowaniu spotkania sprawozdawczego projektu GIFT w ramach Piątego Europejskiego Programu Ramowego, spotkania *International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures*, międzynarodowej konferencji półprzewodnikowej: *International Workshop on GaAs based lasers for 1300-1500 nm wavelength range* oraz pełniłem funkcję sekretarza Symposium: *Opera-2015, Platform for Symposium on Photonics Technologies for the 7th Framework Programme*.

Zaangażowany byłem także w działalność popularyzującą fizykę. Wielokrotnie brałem udział w targach edukacji TARED, Festiwalu Nauki, imprezie Cyrk Fizyczny oraz popularyzowaniu fizyki wykonując pokazy fizyczne w gimnazjach i liceach Wrocławia. Byłem także inicjatorem oraz organizatorem Międzynarodowej Naukowej Konferencji Studenckich Kół Naukowych (SPIE, OSA, IEEE).

Praca doktorska, podsumowująca mój dorobek naukowy została wyróżniona nagrodą Rektora, PWr. oraz nagrodą Prezesa Rady Ministrów.

2.1.2. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora

Po zakończeniu studiów doktoranckich, 1 października 2007 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Instytucie Fizyki, Politechniki Wrocławskiej. W

pierwszych latach po doktoracie, swoje badania skoncentrowałem na czterech klasach materiałów dostarczanych od różnych partnerów krajowych i zagranicznych:

Nanostruktury krzemowe niedomieszkowane i domieszkowane jonami ziem rzadkich.

[USW, Sydney, Australia; McMaster Univ., Hamilton, Kanada; CIMAP, Cean, Francja]

Synteza: *magnetron co-sputtering*, (ICP, ECR)-PECVD; **Aplikacje:** optoelektronika, fotowoltaika

Nanoporowate materiały wypełniane zol-żelami domieszkowanymi jonami ziem rzadkich.

[BSUIR, Mińsk, Białoruś; Hebrew Univ. Jerusalem, Jerusalem, Izrael]

Synteza: zol-żel; **Aplikacje:** fotonika

Nanoproszki oraz nanoproszki domieszkowane jonami ziem rzadkich.

[INTiBS, PAN, Wrocław, Polska; UM, Manchester, UK]

Synteza: ko-termoliza, techniki hydrotermalne, zol-żel; **Aplikacje:** biologia, medycyna, fotonika, fotowoltaika

Nanokrystaliczne warstwy domieszkowane jonami ziem rzadkich.

[WEMiF, PWr., Wrocław, Polska; CIMAP, Cean, Francja]

Synteza: *magnetron co-sputtering*, *sputtering*; **Aplikacje:** optoelektronika

W celu rozwoju prowadzonych przeze mnie prac, rozpocząłem badania nad procesami oddziaływania jon-jon, procesami transferu energii pomiędzy jonami ziem rzadkich, a nanostrukturami nieorganicznymi. Równoległe, prowadziłem badania nad mechanizmami wzbudzenia i emisji w nanostrukturach niedomieszkowanych. W tym okresie, w celu prowadzenia powyższych badań, uruchomiłem kilka nowych stanowisk pomiarowych. W okresie tym, udało mi się zainteresować swoimi badaniami kilku studentów (później doktorantów), co umożliwiło mi stworzenie małej grupy badawczej.

W celu rozwoju prowadzonych przeze mnie **badania w zakresie nanostruktur krzemowych**, w ramach grantu KBN, którego byłem głównym wykonawcą, na bazie modułowego systemu firmy PTI, skonstruowany został układ do pomiarów widm emisji rozdzielonych w czasie, widm wzbudzenia rozdzielonych w czasie oraz czasów zaniku emisji w szerokim przedziale detekcji (200-1600 nm), szerokim przedziale wzbudzenia (200-2000 nm) oraz szerokim przedziale czasów zaniku emisji (od 1 ns do 1 s). Dodatkowo, w ramach dwóch grantów *luventus plus* (2011, 2012-2014), których byłem kierownikiem, rozbudowany został układ do pomiarów wzbudzenia widm emisji o możliwość wysokoczułej i wysokorozdzielczej detekcji w podczerwieni oraz o możliwość pomiarów w zakresie temperatur od 10-500 K.

W ramach tej aktywności, udało mi się utworzyć trzy osobowy zespół, składający się z doktoranta, a obecnie doktora i dwóch studentów: drugiego i trzeciego roku studiów. Powyższe układy pomiarowe, rozwijana przeze mnie współpraca zagraniczna oraz pomoc moich współpracowników pozwoliły mi na prowadzenie pogłębionych badań nad strukturami krzemowymi. W szczególności, w tematyce tej prowadzono spektroskopowe badania wielowarstw zawierających nanokryształy krzemu różnego rozmiaru do wykorzystania w fotowoltaice. Dodatkowo, prowadzono badania cienkich warstw zawierających nanokryształy

krzemu lub nanokryształy krzemu współdomieszkowane jonami ziem rzadkich (Tb^{3+} , Er^{3+} , Nd^{3+} , Ce^{3+} , Pr^{3+}) do zastosowania w optoelektronice.

W ramach współpracy dotyczącej badania nanokryształów krzemowych, kilkakrotnie odbyłem krótko terminowe staże: McMaster Univ., Kanada (30 dni w 2011 oraz 60 dni w 2012) oraz CIMAP, Cean, Francja. W ramach tej współpracy, miałem także okazję pracować na synchrotronie (5 dni, *Canadian Light Source, Saskatoon*) wykonując pomiary XAS, XEOL, TR-XEOL oraz wykonywać kilkudniowe pomiary RBS na *Univ. London, Ontario, Kanada*. Podczas pobytu w McMaster Univ. brałem także udział w procesach syntezy nanokryształów metodą ECR-PECVD.

W ramach powyższej działalności, dla niedomieszkowanych nanokryształów krzemu do chwili obecnej pokazano, że wraz ze zmianą parametrów technologicznych powodujących zmianę rozmiaru nanokryształów (temperatura wygrzewania, koncentracja krzemu) jednocześnie zmianie ulega ich faza krystaliczna (przechodząc od amorficznej do krystalicznej). W konsekwencji, wzrostowi rozmiarów nanokryształów towarzyszy zmniejszanie się ich przerwy, a jednocześnie redukcji ulega ogon gęstości stanów nanokryształów, otwierając ich przerwę wzbronioną [6]. Dodatkowo pokazano, że wraz ze wzrostem rozmiaru nanokryształów zmieniają się także naprężenia na między-złączu nanokryształ/matryca, powodując najprawdopodobniej generowanie defektów oraz także mogące wpływać na zmiany struktury energetycznej samych nanokryształów [7,8,9,10]. Ponadto, zmianie ulega jakość samej matrycy – w tym liczba defektów. Wszystkie te badania pozwoliły na zrozumienie specyfiki i złożoności tego rodzaju materiałów, pozwalając na rozpoczęcie bardziej zaawansowanych badań. Poszerzenie zakresu naszych badań w tym obszarze, było możliwe również dzięki wprowadzeniu do naszej działalności badawczej pomiarów absorpcji w podczerwieni (FTIR) oraz pomiarów Ramana. W szczególności, udało się wypracować metodologię i wykonać pomiary widm Ramana nanokryształów krzemu dla akustycznych modów fononowych (dr inż. G. Zatryb).

W zakresie **badania nad materiałami porowatymi**, w ramach grantu NCN, którego byłem kierownikiem, skonstruowany został wysokorozdzielczy przestrzennie układ mikroskopowy do pomiarów emisji oraz zaników emisji bazujący na wzbudzeniu 266 nm. Celem prowadzonych w tym obszarze badań, była konstrukcja wydajnego konwertera światła UV- VIS w technologii niskobudżetowej oraz próba konstrukcji lasera cienkowsarstwowego (*ang. Thin Film Laser*). Dzięki pracom nad zrozumieniem mechanizmów wzbudzenia jonów Tb^{3+} w tego rodzaju strukturach, oraz dzięki rozbudowie warsztatu eksperymentalnego, badania w tym zakresie ukierunkowały się w stronę badań podstawowych z zakresu nanofotoniki. Jako, że badane przeze mnie materiały

⁶ X. J. Hao, A. Podhorodecki, Y. S. Shen, G. Zatryb, 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).

⁷ 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).

⁸ 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)

⁹ 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).

¹⁰ G. Zatryb, 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).

porowate wykazywały wysoką regularność porów, możliwe do obserwowania stały się efekty fotoniczne, wpływające na procesy rekombinacji emiterów umieszczonych wewnątrz porów. W tej tematyce, udało się pokazać, że wzrost materiału YAlO na podłożu porowatym powoduje jego krystalizację w niespotykanej fazie kubicznej. Wyjaśniono główne mechanizmy wzbudzenia jonów Tb^{3+} w tego rodzaju układzie oraz omówiono wpływ struktury porowatego aluminium na właściwości optyczne jonów Tb^{3+} . Przebadano także kilka innych ciekawych matryc zawierających jony ziem rzadkich i umieszczonych w PAA. Bazując na pomiarach wzbudzenia emisji, badano także sprzężenie elektron-fonon w matrycach $YAlO_3$. Z powodów logistycznych, braku finansowania oraz znaczącego rozwoju innych uprawianych przeze mnie tematów badawczych tematyka ta nie została dalej kontynuowana.

W zakresie **badania nad nanokrystalicznymi warstwami** domieszkowanymi jonami ziem rzadkich, w okresie po doktoracie prowadziłem badania głównie nad warstwami takimi jak: $TiO_2:RE^{3+}$, $Ga_2O_3:RE^{3+}$, $HfO:RE^{3+}$, $SiON:RE^{3+}$, $ORSO:RE^{3+}$. Do głównych badań, jakie wykonywałem dla tego rodzaju materiałów, były badania mechanizmów wzbudzenia i tłumienia emisji z jonów ziem rzadkich oraz badanie jak te procesy zależą od parametrów technologicznych procesu ich wzrostu.

W zakresie **badania nad nanokrystalicznymi proszkami** w okresie od doktoratu do habilitacji prowadziłem badania nad nanoproszkami (nanoceramikami) $GaN:Eu^{3+}$, $YAG:Ce^{3+}$, nanoproszkami YAG: (Tb^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+}), nanokryształami ZnSe, PbS, PbSe, PbS_xeS_{1-x} oraz C-60. Dodatkowo, rozpocząłem badania spektroskopowe nanokryształów fluorkowych, co stanowiło jeden z głównych elementów mojej rozprawy habilitacyjnej.

Przy wsparciu grupy OSN oraz projektów, których byłem kierownikiem, możliwe stało się stworzenie w ramach grupy OSN nowego laboratorium spektroskopii nanokryształów, którego zostałem liderem. W laboratorium tym, prowadzone były badania spektroskopowe wymienionych powyżej nanomateriałów.

Poza uruchomieniem i rozwojem laboratorium spektroskopii nanokryształów, największą chyba nowością, którą udało mi się wprowadzić w Instytucie Fizyki po doktoracie było doprowadzenie do uruchomienia laboratorium syntezy oraz funkcjonalizacji nanokryształów półprzewodnikowych. Dzięki projektowi LIDER, NCBI R, którego byłem kierownikiem oraz przychylności władz Instytutu Fizyki oraz Wydziału PPT w roku 2011 uruchomione zostało laboratorium syntezy i funkcjonalizacji nanokryształów. W ramach prac tego laboratorium kierowałem zespołem: (a) projektującym nanokryształy, (b) syntezującym nanokryształy fluorkowe domieszkowane jonami ziem rzadkich oraz nanokryształy półprzewodnikowe, (c) zespołem prowadzącym funkcjonalizację nanokryształów (d), zespołem prowadzącym ich badania spektroskopowe oraz (e) zespołem prowadzącym ich badania interdyscyplinarne poza Instytutem Fizyki, np. badania ich immuno- oraz neuro-toksyczności, ich biofunkcjonalizację oraz obrazowanie *in vitro* oraz *in vivo*. W ramach tych interdyscyplinarnych badań, przeprowadzane były syntezy oraz badania spektroskopowe nanometrycznych (ok. 2 – 20 nm) nanokryształów emitujących światło w obszarze widzialnym i bliskiej podczerwieni. Otrzymane nanokryształy po funkcjonalizacji oraz bio-funkcjonalizacji wykorzystywane były, jako optyczne markery w biologii i medycynie.

Moje badania w tym obszarze, koncentrowały się głównie na badaniu procesów oddziaływania jon-jon takich jak: relaksacja krzyżowa, transfer energii, itp. Dodatkowo,

prowadziłem badania spektroskopowe nad wpływem kształtu, rozmiaru, fazy krystalicznej oraz powierzchni nanokryształów na ich właściwości optyczne.

2.1.3. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora habilitowanego

Po uzyskaniu tytułu Dr hab. kontynuowałem rozbudowę swojej Grupy i rozpocząłem wprowadzanie do mojej aktywności naukowej nowych tematów badawczych. W tym okresie, w znaczący sposób udało mi się **rozbudować naszą aktywność** w obszarze spektroskopii nanokryształów, obszarze syntezy oraz inżynierii powierzchni nanokryształów oraz w obszarze wykorzystania naszych nanokryształów w biologii. Działania te, były możliwe dzięki pozyskanym przeze mnie środkom finansowym oraz kilku projektom badawczym pozyskanym przez członków mojego zespołu. W okresie po habilitacji, udało mi się również **wprowadzić całkiem nowe tematyki badawcze** do naszej aktywności badawczej. W szczególności, udało mi się pozyskać nowy projekt badawczy **NCN, SONATA BIS 3: Synteza i zaawansowane badania nanokryształów w geometrii rdzeń-płaszcz optycznie aktywnych w podczerwieni**. Projekt ten umożliwił mi zbudowanie nowego laboratorium obrazowania i spektroskopii pojedynczych nanokryształów. W chwili obecnej, opracowywane są nasze pierwsze wyniki, otrzymane przy wykorzystaniu nowych układów pomiarowych oraz nowych nanomateriałów syntezowanych w naszej Grupie. W tym okresie, udało się znacznie powiększyć mój zespół badawczy. W celu rozwoju tej nowej tematyki badawczej, we współpracy z Dr B. Krajnikiem udało się pozyskać kolejny projekt badawczy **NCN, FUGA: Trójwymiarowa super-rozdzielcza mikroskopia fluorescencyjna z wykorzystaniem kropek kwantowych i nanokryształów fluorkowych aktywnych w podczerwieni**. W ramach tego projektu oraz wykorzystując pozyskane przeze mnie środki uczelniane, udało się rozbudować laboratorium obrazowania i spektroskopii pojedynczych nanokryształów oraz rozwinąć kolejną aktywność w mojej grupie – wysokorozdzielcze obrazowanie układów biologicznych (chemicznych). W ramach tej aktywności, badamy procesy transferu energii pomiędzy pojedynczymi białkami, nasze nanokryształy wprowadzane do bakterii oraz komórek jak i wykonujemy obrazowanie tkanek 3D w podczerwieni. W ramach tej aktywności, prowadziliśmy również bardzo zaawansowane i szeroko zakrojone badania fantomów biologicznych zawierających różnego rodzaju nanostruktury otrzymywane w mojej Grupie. Badania te, miały na celu opracowanie uniwersalnych protokołów oceniających przydatność poszczególnych nanokryształów do konkretnej aplikacji w biofotonice. Wyniki dotyczące tych badań, stanowią treść powstającego w mojej Grupie doktoratu (którego jestem promotorem) oraz obszernej publikacji.

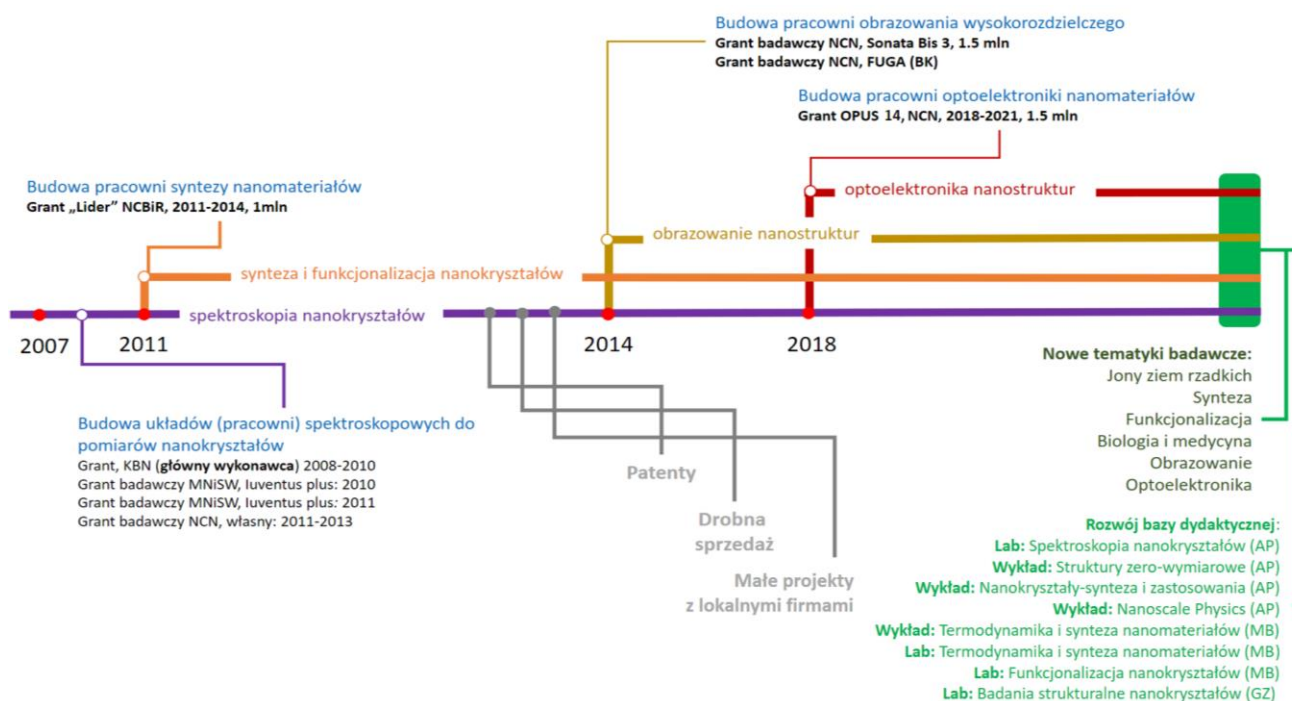
W okresie po habilitacji, zwiększyło się także moje zainteresowanie współpracą z przemysłem oraz możliwościami wykorzystania zdobytej przeze mnie wiedzy oraz technologii w praktyce. W tym zakresie, powstały z moim udziałem 2 patenty (oba obecnie wdrożone). Wykonywano drobne zlecenia dla firm zewnętrznych oraz aplikowano w projektach wdrożeniowych, mających na celu intensyfikację współpracy biznesu z nauką. W okresie tym, intensywnie działałem także w międzynarodowych sieciach badawczych pozyskując nowe kontakty, wiedzę oraz wspólnie aplikując o projekty badawcze na różnym poziomie.

W ostatnim roku, udało mi się rozpocząć kolejną, nową działalność w mojej Grupie. W tym celu, udało się pozyskać projekt, **NCN, OPUS 14: Cienkowarstwowe źródła światła o przestrajalnej emisji w zakresie 1000-2000 nm bazujące na koloidalnych, półprzewodnikowych nanostrukturach kwantowych** oraz uruchomić nowe laboratorium optoelektroniki nanostruktur koloidalnych.

Obecnie, w ramach tej aktywności, udało się nam wykonać przezroczyste diody VIS oraz realizowane są prace dyplomowe, doktorskie oraz staże, w tym studentów zagranicznych.

W okresie po habilitacji, dużą część mojej aktywności zawodowej poświęciłem także rozwojowi bazy dydaktycznej na naszym Wydziale, głównie dla kierunku Nanoingenieria, Fizyka Techniczna. Jestem autorem 3 nowych wykładów specjalistycznych, uruchomiłem nowe laboratorium studenckie spektroskopii nanomateriałów koloidalnych oraz wraz ze współpracownikami uruchomiliśmy 3 inne, specjalistyczne pracownie studenckie (synteza, funkcjonalizacja, badania strukturalne).

W okresie po habilitacji, kontynuowałem także swoje badania nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich. W okresie tym, zająłem się jednak nanokryształami o emisji z konwersją energii w górę (*ang. up-conversion*). W ramach tych badań, udało się skonstruować nowe układy pomiarowe do pomiaru emisji oraz zaniku emisji w modzie UPC, we współpracy z Dr B. Krajnikiem udało się uruchomić układ do wysokorozdzielczego obrazowania nanokryształów UCNCs, udało się nawiązać współpracę z teoretykami z naszego Wydziału i rozpocząć modelowanie różnego rodzaju zjawisk w otrzymywanych przez nas nanokryształach. Szczegółowy opis otrzymanych w tym zakresie wyników, został zamieszczony w dokumencie Ankieta Osiągnięć Naukowych. Poniżej przedstawiono schematycznie rozwój mojej kariery zawodowej opisaną powyżej.



Rysunek 1. Rozwój Zespołu Nanostruktur Koloidalnych.

2.1.4. Opis planowanej działalności

W najbliższej przyszłości, zamierzam wraz ze swoją Grupą prowadzić badania w następujących kierunkach:

Technologia nanostruktur półprzewodnikowych. Wprowadzenie nowych materiałów półprzewodnikowych do syntezy. W szczególności, synteza nowych nanomateriałów optycznie aktywnych w podczerwieni. Badania podstawowe, mające na celu zrozumienie i opis mechanizmów syntezy nanostruktur. W ramach rozwoju tej aktywności, planowane jest rozwinięcie metod dynamiki molekularnej oraz innych metod numerycznych, wspomagających interpretację wyników strukturalnych otrzymywanych dla naszych nanostruktur. Poprawa jakości naszych nanostruktur w celu ich wykorzystywania do konstrukcji urządzeń optoelektronicznych.

Funkcjonalizacja nanostruktur półprzewodnikowych. Kontynuacja prac mających na celu funkcjonalizację nanostruktur nowego rodzaju ligandami. Badania podstawowe, mające na celu zrozumienie i opis mechanizmu funkcjonalizacji oraz biokoniugacji naszych nanokryształów. Konstrukcja sensora związków psychoaktywnych w oparciu o nasze koloidalne kropki kwantowe.

Spektroskopia nanokryształów. Badania podstawowe zjawisk zachodzących w nanokryształach nieorganicznych, zarówno półprzewodnikowych jak i fluorkowych. W ramach tych badań zaplanowano:

- dalszy rozwój badań migotania emisji z pojedynczych nanokryształów oraz kontynuację współpracy z Wydziałem Matematyki, PWr. dotyczącą opisu otrzymanych sygnałów (szeregów czasowych),
- kontynuację badań emisji oraz zaniku emisji z pojedynczych nanokryształów. W ramach tych badań, jako nowe zadania planowane jest uzyskanie emisji z pojedynczych nanokryształów w temperaturze helowej oraz pomiary elektro-optyczne pojedynczych nanokryształów.
- Ponadto, w ramach nowego projektu realizowanego w mojej Grupie, planowany jest rozwój spektroskopii Ramana z pojedynczych nanokryształów (Sonata Bis, kierownik dr inż. G. Zatryb), w tym również w modzie SERS oraz badania oddziaływań typu ekscyton-fonon,
- W ramach spektroskopowych badań nanokryształów, planowana jest kontynuacja rozwoju technik modelowania komputerowego zaników emisji. W szczególności, dotyczy to skomplikowania obecnego modelu o różne oddziaływania jon-jon. Ponadto, planowane jest rozwinięcie metod obliczeniowych struktury energetycznej otrzymywanych przez nas nanostruktur.
- W ramach rozwoju naszej aktywności badawczej związanej ze spektroskopią, planowana jest także rozbudowa trzech nowych układów pomiarowych uruchomionych ostatnio w

naszym laboratorium tj. techniki Dynamicznego Rozpraszania Światła (DLS), pomiarów wzmocnienia optycznego metodą VSL (*ang. Variable Stripe Length Technique*) oraz układu do pomiarów wydajności elektroluminescencji oraz parametrów diod elektroluminescencyjnych.

Obrazowanie wysokorozdzielcze. W ramach tej aktywności, planowany jest rozwój posiadanych obecnie w laboratorium technik do technik super rozdzielczych pracujących w modzie szerokiego pola, w szczególności dotyczy to metod wykorzystujących algorytm SOFI oraz spekle. Planowane jest również rozwinięcie metod wysokorozdzielczego obrazowania wielokolorowego oraz wysokorozdzielczego obrazowania 3D.

Optoelektronika nanokryształów. Jest to jeden z głównych tematów jakimi planuję się zająć w najbliższych latach. Tematyka ta związana jest z nowym projektem, którego jestem kierownikiem (NCN, OPUS 14). W ramach tych prac, planowana jest konstrukcja transparentnych diod elektroluminescencyjnych światła VIS oraz konstrukcja przezroczystych i elastycznych wyświetlaczy emitujących w podczerwieni. Większość prac mojego zespołu (synteza, funkcjonalizacja oraz badania spektroskopowe) nastawiona będzie na rozwój tej właśnie tematyki, która zakończyć powinna się kilkoma prototypami urządzeń.

2.2 Osiągnięcia w zakresie opieki naukowej i kształcenia kadry

2.2.1. Opieka nad doktorantami i promowane prace doktorskie

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 – 2019) **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) – doktorantka 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.

2.2.2. Prace magisterskie realizowane pod moją opieką

1. **Ewelina Fiedorczyk** (2018): *Badania właściwości sond optycznych opartych na materiałach nieorganicznych do zastosowań w obrazowaniu biomedycznym*
2. **Daria Kociołek** (2015): *Funkcjonalizacja powierzchni nanokryształów nieorganicznych*
3. **Łukasz Gołacki** (2014): *Układ pomiarowy do detekcji wysokorozdzielczych przestrzennie widm fotoluminescencji rozdzielonej w czasie – budowa, oprogramowanie, pomiary.*
4. **Zyiad Chaker** (University Louis Pasteur, Francja) (2013): *Modelling the recombination processes in up-converting NaGdF₄:Yb, Er and NaGdF₄:Yb,Tm nanocrystals*
5. **Yong Shiew Fhui** (Ecole Normale Supérieure de Cachan, Francja) (2012): *Optical Characterization of Nanocrystals doped by Lanthanide Ions for Biomedical Applications*
6. **Agnieszka Noculak** (2012): *Synteza oraz optyczne badania nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami lantanowców do zastosowań w biofotonice*
7. **Bartłomiej Sojka** (2012): *Functionalization and optical investigation on sodium fluoride based nanocrystals doped with lanthanides for biomedical applications*
8. **Filip Pawlicki** (2012): *Optyczne badania nanostruktur zawierających jony ziem rzadkich.*
9. **Mateusz Bański** (2010): *Wpływ temperatury wygrzewania na mechanizm wzbudzenia i optyczne właściwości jonów Tb³⁺ w matrycy YAlO₃ na podłożu z porowatego anodyzowanego tlenku (PAA).*
10. **Marcin Klauziński** (2009): *Wpływ efektów rozmiarowych na optyczne właściwości nanokryształów krzemu w wielowarstwach SRSO/SiO₂.*

11. **Łukasz Zborowski** (2009): *Wpływ temperatury na mechanizmy rekombinacji w nanokryształach krzemowych.*

2.2.3. Prace inżynierskie realizowane pod moją opieką

Poniżej lista dyplomantów, którzy realizowali pod moją opieką prace inżynierskie:

1. **Tymoteusz Strojecki** (2019): *Optymalizacja wybranych procesów nanoszenia cienkich warstw nanomateriałów pod kątem konstrukcji urządzeń elektro-optycznych.*
2. **Ewelina Fiedorczyk** (2016): *Optyczne badania spektroskopowe i optyczne obrazowanie nieorganicznych kropek kwantowych aktywnych w podczerwieni.*
3. **Anna Żelazo** (2015): *Wymiana powierzchni nanokryształów nieorganicznych w celu ich transferu do wody.*
4. **Agnieszka Noculak** (2014): *Techniki obrazowania z wykorzystaniem nanokryształów nieorganicznych.*
5. **Kamil Ryba** (2014): *Pomiary widm wzbudzenia emisji nanokryształów fluorkowych wykorzystanych do obrazowania w bio-nano medycynie.*
6. **Paulina Buńka** (2014): *Development of method for samples preparation for high spatial resolution optical investigations of semiconducting nanocrystals.*
7. **Edyta Duchnicka** (2013): *Badania optyczne nanokryształów fluorkowych wzbudzanych w podczerwieni do zastosowań w bionanomedycynie.*
8. **Zuzanna Szypuła** (2013): *Funkcjonalizacja nanokryształów fluorkowych oraz ich badania optyczne w celu uzyskania hydrofilowych markerów optycznych do zastosowania ich w obrazowaniu procesów apoptozy komórek rakowych.*
9. **Sylwia Szczepaniak** (2013): *Funkcjonalizacja oraz optyczne badania nanokryształów fluorkowych domieszkowanych jonami ziem rzadkich do zastosowań w bio-nano medycynie.*
10. **Paweł Zatoryb** (2013): *Optyczne badania nanokryształów krzemu domieszkowanych jonami Nd^{3+} do zastosowań jako emiterzy światła otrzymywane w technologii CMOS.*
11. **Jarosław Probała** (2013): *Synteza nieorganicznych nanokryształów w geometrii rdzeń-płaszcz.*
12. **Katarzyna Rozbicka** (2013): *Optical investigation of excitation mechanism of terbium ion in oxide matrix*
13. **Bartłomiej Sojka** (2010): *Mechanizmy wzbudzania jonów ziem rzadkich w nanokryształach $NaYF_4$ do zastosowań w biofotonice*

Ponadto, od kilku lat jestem opiekunem corocznych, 3 miesięcznych staży studentów z *Université de Montpellier II, Montpellier, Francja*, którzy w moim zespole realizują odpowiednik naszej pracy inżynierskiej. Do chwili obecnej opiekowałem się bezpośrednio następującymi osobami:

1. **Thibaut Campodarve** (2014): *Optical Spectroscopy of Inorganic Nanocrystals*
2. **Ciprian Donnet** (2014): *Synthesis of up-converting core-shell fluoride nanocrystals*
3. **Benoit Juven** (2015): *Optical investigations of colloidal PbS nanoparticles*
4. **Maxime Fabre** (2015): *Optical spectroscopy of up-converting nanoparticles for bio-medical applications*
5. **Lea Aragon** (2016): *Optical spectroscopy of up-converting nanocrystals for medical and photovoltaic applications*
6. **Robin Pubill** (2016): *Advanced optical spectroscopy of semiconducting nanostructures (II-VI, IV-VI dots and rods)*
7. **Marion Perez** (2017): *Spectroscopic investigations of CdSe nanoparticles*
8. **Cantor Plantier** (2017): *Synthesis of lanthanides doped nanomaterials for biophotonic applications*
9. **Gaël Alazard** (2017): *Construction and measurements of nanocrystal layers*

2.2.4. Członkostwo 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 Świątkowska-Wartkocka, *Impulsowe naświetlanie laserowe - badanie nierównowagowych warunków otrzymywania submikronowych cząstek hybrydowych*, Instytut Fizyki Jądrowej, PAN, Kraków, Grudzień 2018.

2.2.5. Recenzje rozpraw doktorskich

1. **Andy Shang-Yuan Hsieh**, *Investigation of Si/SiO₂ and Si/SiO_x 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.

2.2.6. Recenzowanie prac magisterskich (wybrane)

1. *Synteza i charakteryzacja heterostruktur koloidalnych*, **Hanna Woźnica** (magisterska), promotor: M. Bański, czerwiec 2017.
2. *Opracowanie protokołu syntezy koloidalnych nanokryształów dwu-wymiarowych oraz charakteryzacja ich właściwości strukturalnych i optycznych*, **Wioletta Trzpil** (magisterska), promotor: M. Bański, czerwiec 2017.

2.2.7. Recenzowanie prac inżynierskich (wybrane)

1. *Nieliniowe właściwości optyczne amyloidów - agregatów białkowych*, **Maciej Lipok**, Promotor: dr inż. Joanna Bańska, styczeń 2019.
2. *Badanie emisji polowej w nanostrukturach Pt/C osadzanych ze wspomaganie wiązką elektronową*, **Agnieszka Kuropatwa**, (inżynierska), Promotor: prof. dr hab. inż. Teodor Gotszalk, luty 2018.
3. *Analiza stabilności fotoluminescencji nanokryształów półprzewodnikowych*, **Mateusz Pydych** (inżynierska), promotor : M. Bański, czerwiec 2017.
4. *Budowa wysoko-rozdzielczego przestrzenie mikroskopu fluorescencyjnego pracującego w zakresie UV do obrazowania kropek kwantowych ZnSe*, **Maciej Matuszak**, (inżynierska), promotor: Dr Bartosz Krajnik, czerwiec 2017.
5. *Synteza i charakteryzacja mikro sfer polimerowych domieszkowanych kropkami kwantowymi*, **Grzegorz Kwintal**, (inżynierska), promotor : M. Bański, czerwiec 2017.

6. *Badania spektroskopowe mechanizmów wzbudzenia i relaksacji w cienkich warstwach zawierających jony ziem rzadkich*, **Michał Kłak**, (inżynierska), Promotor: dr Grzegorz Zatryb, czerwiec 2017.
7. *Wykorzystanie pomiaru anizotropii fluorescencji do oceny zmiany kształtu nanokryształów*, **Mateusz Jonczyk**, (inżynierska), Promotor: Dr inż. Mateusz Bański, czerwiec 2017.
8. *Synteza koloidalnych anizotropowych heterostruktur nanokrystalicznych*, **Edyta Bolibrzuch** (inżynierska), Promotor: Dr inż. Mateusz Bański, czerwiec 2017.
9. *Wpływ Parametrów Depozycji Cienkich Warstw Tlenkowo-krzemowych na ich właściwości optyczne*, **Weronika Rynkowska** (inżynierska), promotor : G. Zatryb, czerwiec 2016.
10. *Zagadnienia wymiany ligandów w syntezie nanokryształów półprzewodnikowych*, **Aldona Mielniczek** (inżynierska), Promotor: Dr inż. Mateusz Bański, czerwiec 2016.
11. *Synteza nanokryształów PbS do zastosowań w bionano medycynie*, **Aldona Guzik** (inżynierska), Promotor: Dr inż. Mateusz Bański, czerwiec 2016.
12. *Budowa układu do pomiarów fotoluminescencji metodą zliczania pojedynczych fotonów* **Przemysław Gontar** (inżynierska), promotor: G. Zatryb, czerwiec 2015.
13. *Synteza i właściwości optyczne anizotropowych nanokryształów na bazie ołowiu*, **Hanna Woźnica** (inżynierska), promotor : M. Bański, czerwiec 2015.
14. *Synteza nanokryształów fluorkowych o strukturze rdzeń/płaszcz wraz z badaniem właściwości optycznych domieszek lantanowców*, **Wioletta Trzpil** (inżynierska), promotor: M. Bański, czerwiec 2014.
15. *Synteza i charakteryzacja nanokryształów na bazie kadmu o strukturze typu rdzeń/płaszcz*, **Maciej Chrzanowski** (inżynierska), promotor : M. Bański, czerwiec 2014.
16. *Fotoluminescencja monolitycznych azotku galu otrzymanego w różnych warunkach syntezy chemicznej*, **Anna Sadkiewicz** (inżynierska), Promotor: Prof. R. Kudrawiec
17. *Budowa wysoko-rozdzielczego przestrzennie mikroskopu fluorescencyjnego pracującego w zakresie UV do obrazowania kropek kwantowych ZnSe*, **Maciej Matuszak** (inżynierska), Promotor: Dr B. Krajnik (2017)
18. *Wpływ domieszkowania jonami ziem rzadkich na właściwości optyczne warstw tlenkowo-krzemowych*, **Maciej Szewczyk** (2015), Promotor: Dr G. Zatryb
19. *Wpływ parametrów depozycji cienkich warstw tlenkowo-krzemowych na ich właściwości optyczne*, **Weronika Rynkowska** (2016), Promotor: Dr G. Zatryb

2.3 Działalność popularyzująca naukę

W chwili obecnej, biorę udział w programie „Wybitnie uzdolnieni na Politechnice Wrocławskiej” pełniąc rolę tutora dla „wybitnych” studentów naszego Wydziału. Prowadzę także liczne staże dla studentów naszego Wydziału jak i dla studentów zagranicznych.

Ponadto 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.