

Warszawa 6 marca 2012 r.

**Dr Agata Kamińska**

Oddział Fizyki i Technologii Nanostruktur  
Półprzewodników Szerokoprzerwowych  
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk  
Al. Lotników 32/46  
02-668 Warszawa

e-mail: [kaminska@ifpan.edu.pl](mailto:kaminska@ifpan.edu.pl)

tel. (+4822) 8436861

fax (+4822) 8430926

## **AUTOREFERAT**

### **Spis treści**

1. Dane personalne.....	2.3
2. Wykształcenie i stopnie naukowe.....	2.3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	2.3
4. Informacje o opublikowanych pracach naukowych i twórczych pracach zawodowych..	2.4
4.1. Całkowita liczba publikacji.....	2.4
4.2. Sumaryczny <i>impact factor</i> publikacji według listy Journal Citation Reports.....	2.4
4.3. Całkowita liczba cytowań publikacji i Indeks Hirscha według bazy Web of Science z dn. 27.II.2012 r.....	2.4
4.4. Inne twórcze prace zawodowe.....	2.4
5. Kierowanie i udział w krajowych lub międzynarodowych projektach badawczych.....	2.5
6. Wykaz referatów zaproszonych wygłoszonych na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych.....	2.6
7. Wykaz opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe, zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.).....	2.8
8. Przebieg pracy naukowej.....	2.11
8.1. Dorobek naukowy do uzyskania stopnia doktora nauk fizycznych.....	2.11
8.2. Dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych.....	2.13

8.2.1. Osiągnięcie naukowe stanowiące przedmiot habilitacji - cykl publikacji pt.:	
<b><u>Wysokociśnieniowe badania procesów rekombinacji promienistej</u></b>	
<b><u>w strukturach półprzewodników azotkowych i materiałach</u></b>	
<b><u>z domieszką jonów ziem rzadkich</u></b>	
- omówienie celu naukowego wybranego cyklu publikacji i osiągniętych	
wyników.....	2.15
8.2.2. Działalność w innych tematykach badawczych.....	2.31
8.2.3. Pozostałe osiągnięcia.....	2.33
8.3. Podsumowanie.....	2.34
8.4. Spis cytowanej literatury.....	2.36

## 1. Dane personalne

Agata Kamińska

[REDACTED]

## 2. Wykształcenie i stopnie naukowe

- Doktorat      2001 – doktor nauk fizycznych, Instytut Fizyki PAN w Warszawie,  
specjalność: Fizyka Ciała Stałego,  
praca doktorska pt. *Badania ciśnieniowe struktury elektronowej domieszki chromu w materiałach laserowych*,  
promotor prof. dr hab. Andrzej Suchocki
- Wyższe        1988 – magister fizyki, Wydział Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie,  
specjalność: Fizyka Medyczna,  
praca magisterska pt. *Oddziaływanie centrów paramagnetycznych na relaksację protonów w roztworach o różnym składzie*,  
promotor prof. dr hab. Stanisław Łukiewicz,  
– *dypłom z wyróżnieniem*,  
– *nagroda Wiceprezesa Rady Ministrów z dn. 1.XII. 1988*,  
– *stypendium Przewodniczącego Komitetu do Spraw Młodzieży i Kultury Fizycznej na okres 1.XI.1988 – 31.X.1989*
- Średnie        1983 – I Liceum Ogólnokształcące im. M. Kromera w Gorlicach,  
woj. małopolskie,  
profil matematyczno-fizyczny
- Podstawowe 1979 – Szkoła Podstawowa Nr 4 im. Bohaterów Westerplatte w Gorlicach,  
woj. małopolskie,  
– *pierwsze miejsce w Olimpiadzie Wojewódzkiej z Fizyki dla szkół podstawowych*

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 2002 do dziś:    adiunkt, ON-4, Instytut Fizyki PAN, Warszawa  
2000 – 2001:    asystent, ON-4, Instytut Fizyki PAN, Warszawa  
1995 – 2000:    studia doktoranckie, ON-4, Instytut Fizyki PAN, Warszawa

1988 – 1995: asystent, Zakład Biofizyki, Instytut Biologii Molekularnej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków

#### **4. Informacje o opublikowanych pracach naukowych i twórczych pracach zawodowych**

4.1. Całkowita liczba publikacji = **52**, w tym **45** po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych. Prace publikowane były w znakomitej większości w recenzowanych czasopismach o wysokiej renomie międzynarodowej, takich jak:

- **Physical Review B** – 12 artykułów, w tym 10 opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
- **Applied Physics Letters** – 6 artykułów, wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
- **New Journal of Physics** – 1 artykuł, opublikowany po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
- **Journal of Physics: Condensed Matter** – 4 artykuły, wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
- **Journal of Applied Physics** – 5 artykułów, w tym 4 opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych.

W bazie Web of Science (WoS) uwzględnione są **42** publikacje.

4.2. Sumaryczny *Impact Factor* publikacji według listy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania = **102,409**.

4.3. Liczba cytowań tych publikacji według bazy WoS z dn. 27.II.2012 = **278**.

Indeks Hirscha opublikowanych prac według bazy WoS z dn. 27.II.2012 = **10**.

4.4. Inne twórcze prace zawodowe:

- współautorstwo w 1 skrypcie dla studentów, wydanym przed uzyskaniem stopnia doktora nauk fizycznych,
- 94 prezentacje konferencyjne, w tym:
  - a) 18 wykładów zaproszonych (10 wygłoszonych osobiście), wszystkie wygłoszone po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
  - b) 33 prezentacje ustne (9 wygłoszonych osobiście), w tym 27 po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych (6 wygłoszonych osobiście),
  - c) 43 prezentacje plakatowe, w tym 38 po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych,
- wykład popularno-naukowy wygłoszony na XI Festiwalu Nauki 2007 pt. *Podróż do wnętrza Ziemi czyli wysokie ciśnienia w naturze i badaniach naukowych*,
- całkowita liczba wygłoszonych seminariów = 11, w tym 8 wygłoszonych po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych.

## 5. Kierowanie i udział w krajowych lub międzynarodowych projektach badawczych

### 5.A. Projekty badawcze realizowane przed uzyskaniem stopnia doktora nauk fizycznych

- 1988 - 1990 **wykonawca** w projekcie rządowym CPBP 01-12-9-27, temat kierowany przez prof. dr hab. S. Łukiewicza, realizowany w Zakładzie Biofizyki Instytutu Biologii Molekularnej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie;
- 1997 – 1999 **wykonawca** w projekcie badawczym KBN nr 8T11B 052 13 pt.: „*Badania defektów w monokryształach tlenkowych typu  $ABO_3$* ”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; projekt zakończony 31. XII. 1999;
- 2000 – 2001: **główny wykonawca** projektu promotorskiego nr 8T11B 048 19 pt.: „*Identyfikacja centrów  $Cr^{3+}$  i badanie ich struktury energetycznej przy pomocy spektroskopii wysokociśnieniowej w wybranych kryształach laserowych*”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji od 1. VIII. 2000 do 31. X. 2001.

### 5.B. Projekty badawcze realizowane po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych

- 2003 – 2005: **kierownik** projektu badawczego KBN nr 2P03B 054 24 pt. „*Badania struktury defektowej kryształów  $LiNbO_3:Cr,MgO$* ”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji od 20. III. 2003 do 19. III. 2005;
- 2006 - 2008: **wykonawca** w projekcie badawczym MNiSW nr 1 P03B 021 29 pt.: „*Mechanizmy lokalizacji nośników decydujące o własnościach elektrycznych i optycznych warstw i struktur kwantowych  $InGaN$* ”, realizowanego w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie; projekt zakończony 23. V. 2008;
- 2006 - 2009: **wykonawca** w projekcie badawczym MNiSW nr 1 P03B 100 30 pt.: „*Nanokrystaliczne i monokrystaliczne granaty itrowo-glinowe domieszkowane manganem dla fotoniki oraz dozymetrii termoluminescencyjnej*”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; projekt zakończony 29. III. 2009;
- 2007 - 2011: **wykonawca** w projekcie badawczym MNiSW nr N202 046 32/1179 pt. „*Wpływ wysokich ciśnień hydrostatycznych na własności optyczne kropek kwantowych  $CdTe/ZnTe$  hodowanych metodą MBE*”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; projekt zakończony 17. IV. 2011;
- od 2007: **wykonawca** w projekcie kluczowym POIG 01.01.02-00-008/08 pt.: „*Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie*” (NANOBIOM), realizowanym w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji w latach 2007 – 2013;
- 2008 – 2010: **kierownik** projektu badawczego MNiSW nr N N202 203734 pt. „*Badania wpływu otoczenia krystalicznego na prawdopodobieństwa przejść wewnątrzkonfiguracyjnych wybranych domieszek ziem rzadkich*”,

realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji od 9. V. 2008 do 8. XI. 2010;

od 2009: **wykonawca** w projekcie POIG 01.01.02-00-108/09 pt. "Nowoczesne Materiały i Innowacyjne Metody dla przetwarzania i Monitorowania Energii" (MIME), realizowanym w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji w latach 2009 – 2014;

od 2010: **kierownik** projektu badawczego habilitacyjnego MNiSW nr N N202 203838 pt. „Ciśnieniowe badania procesów rekombinacji promienistej w wybranych strukturach półprzewodników azotkowych i dielektrykach z domieszką jonów ziem rzadkich”, realizowanego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie; termin realizacji od 30. IV. 2010 do 29. IV. 2012.

## 6. Wykaz referatów zaproszonych wygłoszonych na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

**Wszystkie referaty zaproszone wygłoszone zostały po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych.**

1. A. Kamińska, T. Suski, G. Franssen, H. Teisseyre, P. Perlin, A. Suchocki, N. Grandjean, *Localized excitons and the radiative recombination mechanism in InGaN/GaN quantum structures*, 11<sup>th</sup> International Conference on High Pressure Semiconductor Physics, San Francisco, USA, 2-5 sierpnia 2004;
2. A. Kamińska, A. Mycielski, S. Trushkin, A. Suchocki, *ZnO crystals obtained with the chemical vapour transport method – properties and applications*, The 2<sup>nd</sup> Workshop on Physics of Semiconductor Science, Lattakia, Syria, 24 -26 kwietnia 2005;
3. A. Kamińska, G. Franssen, T. Suski, A. Suchocki, K. Kazlauskas, G. Tamulaitis, A. Žukauskas, H. Teisseyre, P. Perlin, N. Grandjean, *Growth and spectroscopic studies of localization effects in InGaN/GaN quantum structures*, The 2<sup>nd</sup> Workshop on Physics of Semiconductor Science, Lattakia, Syria, 24 -26 kwietnia 2005;
4. A. Kamińska, *Photoluminescence Studies of TM and RE Doped Oxides Using Diamond Anvil Cell*, The 2<sup>nd</sup> ASPECT Workshop on Advanced Spectroscopy, Kazimierz Dolny, Polska, 29 września – 2 października 2005;
5. A. Kamińska, *Badania wewnętrznych pól elektrycznych w dopasowanych sieciowo strukturach kwantowych GaN/AlInN*, Nowe materiały i sensory dla optoelektroniki, informatyki i medycyny, Będlewo, Polska, 26 – 28 kwietnia 2008;
6. A. Kamińska, G. Franssen, T. Suski, E. Feltin, N. Grandjean, *High-pressure photoluminescence studies of near-lattice-matched GaN/AlInN quantum wells*, 13<sup>th</sup> International Conference on High Pressure Semiconductor Physics (HPSP-13), Fortaleza, Brazylia, 22 – 25 lipca 2008;
7. A. Kamińska, G. Franssen, T. Suski, I. Gorczyca, H. Teisseyre, A. Suchocki, *Study of radiative recombination mechanisms in nitride semiconductors using high hydrostatic pressure*, The 6<sup>th</sup> Workshop on Physics of Semiconductor Sciences and Lasers, Lattakia, Syria, 24 -26 maja 2009;

8. A. Kamińska, *Optical properties of rare earth doped wide band-gap materials under hydrostatic pressure*, The Third International Workshop on Advanced Spectroscopy and Optical Materials (IWASOM'11), Gdańsk, Polska, 17 - 22 lipca 2011;
9. A. Kamińska, C.-G. Ma, M.G. Brik, A. Kozanecki, A. Suchocki, *Electronic structure of Yb<sup>3+</sup> dopant in III-V semiconductors: experimental and crystal field studies*, E-MRS Fall Meeting, Warszawa, Polska, 19 – 23 września 2011;
10. A. Kamińska, *Radiative recombination mechanisms in nitride semiconductor structures revealed by high-pressure studies*, XIX Ural International Winter School on the Physics of Semiconductors (UIWSPS), Ekaterinburg, Rosja, 20 - 25 lutego 2012.

**7. Wykaz opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe, zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.)**

Tematyka publikacji:

**WYSOKOCIŚNIENIOWE BADANIA PROCESÓW REKOMBINACJI PROMIENISTEJ W WYBRANYCH STRUKTURACH PÓLPRZEWODNIKÓW AZOTKOWYCH I MATERIAŁACH Z DOMIESZKĄ JONÓW ZIEM RZADKICH**

**A. Struktury półprzewodników azotkowych**

- H1.** G. Franssen, **A. Kamińska**, T. Suski, A. Suchocki, K. Kazlauskas, G. Tamulaitis, A. Žukauskas, R. Czernecki, H. Teisseyre, P. Perlin, M. Leszczynski, M. Boćkowski, I. Grzegory, N. Grandjean, *Observation of localization effects in InGaN/GaN quantum structures by means of application of hydrostatic pressure*, Phys. Stat. Sol. (b) **241**, 3285 (2004).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów ciśnieniowych, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 40%.

- H2.** **A. Kamińska**, G. Franssen, T. Suski, I. Gorczyca, N.E. Christensen, A. Svane, A. Suchocki, H. Lu, W.J. Schaff, E. Dimakis, A. Georgakilas, *Role of conduction-band filling in the dependence of InN photoluminescence on hydrostatic pressure*, Phys. Rev. B **76**, 075203 (2007).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w ich analizie i redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 50%.

- H3.** **A. Kamińska**, G. Franssen, T. Suski, E. Feltin, N. Grandjean, *Pressure-induced piezoelectric effects in near-lattice-matched GaN/AlInN quantum wells*, J. Appl. Phys. **104**, 063505 (2008).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, uczestnictwie w ich analizie oraz na redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 70%.

- H4.** I. Gorczyca, T. Suski, **A. Kamińska**, G. Staszczak, H.P.D. Schenk, N. Christensen, A. Svane, *In-clustering effects in InAlN and InGaN revealed by high pressure studies*, Phys. Stat. Sol. (a), **207**, 1369 (2010).

Mój wkład do tej publikacji polegał na uczestnictwie w przeprowadzeniu pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 40%.

- H5.** I. Gorczyca, **A. Kamińska**, G. Staszczak, R. Czernecki, S.P. Łepkowski, T. Suski, H.P.D. Schenk, M. Glauser, R. Butté, J.-F. Carlin, E. Feltin, N. Grandjean, N. E. Christensen, A. Svane, *Anomalous composition dependence of the band gap pressure coefficients in In-containing nitride semiconductors*, Phys. Rev. B **81**, 235206 (2010).



Mój wkład do tej publikacji polegał na uczestnictwie w przeprowadzeniu pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 40%.

### B. Materiały z domieszką jonów ziem rzadkich

- H6.** A. Kamińska, S. Biernacki, S. Kobayakov, A. Suchocki, G. Boulon, M. O. Ramirez, L. Bausa, *Probability of  $Yb^{3+}$  4f-4f transitions in Gadolinium Gallium Garnet Crystals at High Hydrostatic Pressures*, Phys. Rev. B **75**, 174111 (2007).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 50%.

- H7.** A. Kamińska, A. Duzynska, A. Suchocki, M. Bettinelli, *Spectroscopy of f-f radiative transitions of  $Yb^{3+}$  ions in ytterbium doped orthophosphates at ambient and high hydrostatic pressures*, J. Phys.: Condens. Matter **22**, 225902 (2010).

Mój wkład do tej publikacji polegał na kierowaniu pomiarami, przeprowadzeniu wszystkich pomiarów ciśnieniowych, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników, oraz na redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 70%.

- H8.** A. Kamińska, A. Kozanecki, S. Trushkin, A. Suchocki, *Spectroscopy of ytterbium doped InP under high hydrostatic pressure*, Phys. Rev. B **81**, 165209 (2010).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów ciśnieniowych i opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w ich analizie i redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 60%.

- H9.** A. Kamińska, R. Buczko, W. Paszkowicz, H. Przybylinska, E. Werner-Malento, A. Suchocki, M. Brik, A. Durygin, V. Drozd, S. Saxena, *Merging of the  $^4F_{3/2}$  level states of  $Nd^{3+}$  ions in the photoluminescence spectra of gadolinium-gallium garnet under high pressure*, Phys. Rev. B **84**, 075483 (2011).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów optycznych, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na uczestnictwie w redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 40%.

- H10.** A. Kamińska, C.-G. Ma, M.G. Brik, A. Kozanecki, M. Boćkowski, E. Alves, A. Suchocki, *Electronic structure of ytterbium-implanted GaN at ambient and high pressure: experimental and crystal field studies*, J. Phys.: Condens. Matter, **24**, 095803 (2012).

Mój wkład do tej publikacji polegał na przeprowadzeniu wszystkich pomiarów, opracowaniu uzyskanych wyników, oraz na redagowaniu manuskryptu. Udział procentowy oceniam na 60%.

Oświadczenia współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie w/w publikacji załączone są w porządku alfabetycznym w załączniku nr 8 pt. „Oświadczenia współautorów”. Nie zostało załączone oświadczenie prof. W. J. Schaffa do publikacji nr 2 ze względu na brak kontaktu z tym współautorem oraz oświadczenie doc. dr hab. S Biernackiego do publikacji nr 6 ze względu na jego śmierć w 2007 r..

Wkład prof. W. J. Schaffa w publikację nr 2 jest analogiczny, jak wkład opisany w oświadczeniu prof. H.Lu, z którym wówczas pracował on w tej samej grupie w Department of Electrical and Computer Engineering, Cornell University (USA) – tzn. polegał on na wyhodowaniu warstw InN techniką MBE (*molecular beam epitaxy*).

Wkład fizyka teoretyka doc. dr hab. S Biernackiego, wówczas mojego kolegi pracującego w tej samej grupie Oddziału Spektroskopii Ciała Stałego IF PAN, polegał na przeprowadzeniu analizy teoretycznej uzyskanych wyników doświadczalnych.

## 8. Przebieg pracy naukowej

### 8.1 Dorobek naukowy do uzyskania stopnia doktora nauk fizycznych

Po ukończeniu studiów i obronieniu pracy magisterskiej 14-go czerwca 1988 roku, zostałam zatrudniona w Zakładzie Biofizyki w Instytucie Biologii Molekularnej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, początkowo jako wykonawca w projekcie rządowym CPBP 01-12-9-27, a od 1-go października 1988 roku - jako asystent-stażysta. Po odbyciu stażu zostałam przyjęta w Zakładzie Biofizyki na etat asystenta. Moim opiekunem naukowym był prof. dr hab. S. Łukiewicz. Zajmowałam się tam:

- 1) problematyką związaną z diagnostyką i terapią nowotworów, m.in. badaniami środków kontrastowych do tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego, których wyniki były prezentowane na konferencji Seventh Annual Meeting of Society of Magnetic Resonance in Medicine, San Francisco, USA, 1988,
- 2) problemami dotyczącymi obrazowania metodą elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) oraz badaniami EPR tlenku azotu uwalnianego w organizmach żywych w trakcie reakcji immunologicznej,
- 3) organizacją i prowadzeniem ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki dla studentów biologii w latach 1989-1992: praca ta zaowocowała wydaniem w 1999 r. skryptu dla studentów pt. „*Biofizyka: ćwiczenia i seminaria*”, którego jestem współautorką (patrz – załącznik nr 5 pt.: „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 2).

Po przeprowadzce do Warszawy, w czasie trwania urlopu wychowawczego, a następnie urlopu bezpłatnego na Uniwersytecie Jagiellońskim, dnia 1-go października 1995 roku rozpoczęłam studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, pod opieką prof. dr hab. Andrzeja Suchockiego. Umowę o zatrudnieniu na UJ rozwiązałam ostatecznie w listopadzie 1997 roku, będąc na trzecim roku studiów doktoranckich IF PAN w Warszawie.

Słuchaczką Studium Doktoranckiego w Instytucie Fizyki PAN byłam w latach 1995 – 2000. Początkowo brałam udział w badaniach nad pochodzeniem żółtej luminescencji w azotku galu oraz w badaniach efektu Auger’a w  $\text{CdF}_2:\text{Mn}^{2+}$ , w których stosowałam metody spektroskopii optycznej i magnetoptycznej. Tej tematyki dotyczą moje pierwsze publikacje (*Materials Science Forum*, **258-263**, 1149 (1997), *Acta Physica Polonica*, **92**, 815 (1997) oraz *Journal of Applied Physics*, **84**, 6753 (1998)), a także pierwsza prezentacja ustna na

konferencji XXV International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 1997.

W dalszej części studiów doktoranckich rozpoczęłam badania własności optycznych materiałów laserowych domieszkowanych jonami  $\text{Cr}^{3+}$  oraz ich zależności od temperatury i ciśnienia. Tematyka związana z ciśnieniowymi badaniami struktury elektronowej domieszki chromu w wybranych materiałach laserowych stała się ostatecznie przedmiotem mojej pracy doktorskiej. Badałam widma absorpcji, ekscytacji, luminescencji i kinetyki zaniku luminescencji w funkcji temperatury i ciśnienia hydrostatycznego uzyskiwanego przy użyciu kowadeł diamentowych. Spektroskopia wysokociśnieniowa stała się podstawowym narzędziem stosowanym przeze mnie w tych badaniach. Technika ta okazała się skutecznym i wydajnym narzędziem badań procesów radiacyjnych, ułatwiającym wyznaczenie ważnych parametrów w wielu przypadkach niedostępnych albo trudno dostępnych w inny sposób. Pomimo jej skuteczności i pozornej prostoty niewielu badaczy stosuje spektroskopię wysokociśnieniową w swoich laboratoriach. Jest to spowodowane wieloma warunkami, które muszą być jednocześnie spełnione, aby można było prowadzić tego typu badania. Obok pełnego wyposażenia do pomiarów optycznych, możliwości pracy w niskich temperaturach i posiadania odpowiedniej konstrukcji komory diamentowej, potrzebne jest również opanowanie wyrafinowanej techniki przygotowania i przeprowadzania pomiarów. W Polsce oprócz IF PAN technikę wysokociśnieniową stosuje się aktualnie w dwóch innych ośrodkach naukowych: w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN „Unipress” w Warszawie w grupie prof. T. Suskiego oraz w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Gdańskiego w grupie prof. M. Grinberga.

Prowadząc badania materiałów tlenkowych domieszkowanych chromem, współpracowałam z prof. Luisem Arizmendi z Universidad Autonoma de Madrid w Hiszpanii, gdzie w latach 1997-2000 odbyłam kilka wizyt o charakterze naukowo-badawczym oraz z prof. Markiem Grinbergiem, wówczas pracownikiem Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, z którym dyskutowałam otrzymane wyniki oraz ich zgodność z opracowanym przez prof. Grinberga modelem teoretycznym. Zastosowanie tego modelu do analizy uzyskanych przeze mnie danych doświadczalnych umożliwiło wyznaczenie ważnych parametrów spektroskopowych charakteryzujących centra chromowe w badanych materiałach, jak wielkość siły pola krystalicznego, w którym znajdują się jony chromu; siła sprzężenia elektron-fonon (parametr Huanga-Rhys) oraz wartość oddziaływania spin-orbita. Uzyskane wyniki zostały

opublikowane w latach 1999 – 2002 w pięciu artykułach w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR), w tym w trzech artykułach w Physical Review B.

W czasie moich studiów doktoranckich uczestniczyłam w pięciu konferencjach międzynarodowych i jednej krajowej, na których prezentowałam 3 wystąpienia ustne i 2 plakaty, byłam też współautorką dwóch kolejnych wystąpień ustnych i trzech plakatów. Ponadto wygłosiłam 3 seminaria na Seminarium Fizyki Materii Skondensowanej w Instytucie Fizyki PAN. Uczestniczyłam również w realizacji dwóch projektów KBN: projektu badawczego pt.: „*Badania defektów w monokryształach tlenkowych typu  $ABO_3$* ” oraz projektu promotorskiego pt.: „*Identyfikacja centrów  $Cr^{3+}$  i badanie ich struktury energetycznej przy pomocy spektroskopii wysokociśnieniowej w wybranych kryształach laserowych*”, którego byłam głównym wykonawcą.

Oprócz tego w latach 1996/97 i 1997/98 prowadziłam ćwiczenia laboratoryjne dla studentów Szkoły Nauk Ścisłych (obecnie wydział Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego) w Warszawie.

W listopadzie 2001 roku obroniłam pracę doktorską pt. „*Badania ciśnieniowe struktury elektronowej domieszki chromu w materiałach laserowych*”.

Kompletna lista publikacji, prezentacji i wygłoszonych seminariów z tego okresu znajduje się w załączniku nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”.

## **8.2 Dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych**

Od 1-go października 2000 roku do 31-go grudnia 2001 roku byłam zatrudniona na etacie asystenta w Instytucie Fizyki PAN. Od stycznia 2002 roku do dziś zatrudniona jestem w tym samym Instytucie na etacie adiunkta.

W początkowym okresie po doktoracie zajmowałam się głównie badaniami struktury defektowej kryształów  $LiNbO_3:Cr,MgO$ , w których stosowałam pomiary absorpcji, luminescencji, wysokociśnieniowe pomiary luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji oraz pomiary magnetoptyczne. Na te badania uzyskałam fundusze w ramach projektu badawczego KBN nr 2P03B 054 24. Realizując projekt badałam zależności temperaturowe i ciśnieniowe luminescencji oraz kinetyki zaniku luminescencji w IF PAN, a także przeprowadziłam pomiary absorpcji w Universidad Autonoma de Madrid w Hiszpanii, gdzie w 2003 roku odbyłam miesięczny staż badawczy. Pomiary magnetoptyczne w wysokich polach magnetycznych przeprowadziłam podczas dwóch wizyt pomiarowych w Grenoble

High Magnetic Field Laboratory, CNRS, we Francji w 2004 i 2005 roku, na które uzyskałam fundusze w ramach projektu Unii Europejskiej, umowa Nr RITA-CT-2003-505474. Prace te zaowocowały czterema publikacjami w prestiżowych czasopismach [1 - 4] oraz pięcioma prezentacjami na konferencjach międzynarodowych (E-MRS Fall Meeting, Warszawa 2003; International Workshop on Lithium Niobate from material to device, from device to system Metz, Francja 2005; ICL'05, Pekin, Chiny 2005; Polish-French Workshop "High Magnetic Fields in Semiconductor Physics", Warszawa 2006). Na tematy związane z tą problematyką wygłosiłam 2 seminaria, w tym jedno w Universidad Autonoma de Madrid w Hiszpanii (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 4, ref. 4, 5).

W 2003 roku zaczęłam uczestniczyć w badaniach materiałów półprzewodnikowych: kryształów objętościowych ZnO hodowanych w laboratorium prof. dr hab. A. Mycielskiego w IF PAN oraz struktur półprzewodników azotkowych, którymi zajmowałam się w ścisłej współpracy z grupą prof. dr hab. T. Suskiego z Instytutu Wysokich Ciśnień PAN „Unipress”. W ramach tych współprac uczestniczyłam m. in. w badaniach wpływu wygrzewania kryształów ZnO w atmosferze tlenowej na ich własności optyczne oraz w badaniach pól elektrycznych w związkach poczwórnych struktur azotkowych (InAlGaN). Badania te zaowocowały dwiema publikacjami [5, 6] i pięcioma prezentacjami konferencyjnymi, w tym jednym wygłoszonym przeze mnie referatem zaproszonym (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 22), a także jednym wygłoszonym przeze mnie seminarium (patrz – załącznik nr 5, część 4, ref. 6).

### **8.2.1 Osiągnięcie naukowe stanowiące przedmiot habilitacji - cykl publikacji pt.:**

#### **Wysokociśnieniowe badania procesów rekombinacji promienistej w strukturach półprzewodników azotkowych i materiałach z domieszką jonów ziem rzadkich**

W kolejnych latach, rozwijając i udoskonalając technikę pomiarów wysokociśnieniowych, zaangażowałam się w badania procesów rekombinacji promienistej w rozmaitych materiałach, których istniejące i potencjalne zastosowania w wydajnie świecących urządzeniach optycznych i optoelektronicznych oraz w ogniwach słonecznych stymulują od kilkunastu lat intensywnie prowadzone prace badawcze. Celem tych prac jest:

- 1) ulepszenie efektywności i trwałości istniejących już urządzeń (niebieskie i fioletowe emitery światła zbudowane na bazie półprzewodnikowych struktur azotkowych);
- 2) rozszerzenie zakresu spektralnego diod i laserów półprzewodnikowych na obszar zielono-czerwony;
- 3) otrzymanie coraz sprawniejszych, działających w rozmaitych żądanych długościach fali kompaktowych laserów na ciele stałym budowanych z dielektryków domieszkowanych jonami ziem rzadkich, które w niektórych zastosowaniach są konkurencyjne w stosunku do laserów półprzewodnikowych ze względu na lepszą jakość modów i stabilność częstości;
- 4) otrzymanie nowych urządzeń o unikalnych własnościach optycznych i elektrycznych zbudowanych na bazie półprzewodników domieszkowanych jonami ziem rzadkich.

Realizacja tych celów aplikacyjnych wymaga m.in. pełniejszego zrozumienia mechanizmów radiacyjnych i procesów transferu energii zachodzących w materiałach luminescencyjnych, ich zależności od składu danego materiału i jego struktury defektowej oraz siły i symetrii otoczenia krystalicznego centrów rekombinacji promienistej. Do tego typu badań znakomicie nadaje się spektroskopia wysokociśnieniowa, gdyż zmieniając ciśnienie hydrostatyczne oddziałujące na badany materiał, a co za tym idzie – zmieniając odległości pomiędzy jonami, z których ten materiał jest zbudowany oraz siłę wytwarzanego przez nie pola krystalicznego, można w kontrolowany i płynny sposób zmieniać zarówno strukturę energetyczną stanów pasmowych badanego kryształu, jak i poziomy energetyczne wprowadzanych domieszek.

Badane przeze mnie pod tym kątem materiały można podzielić na dwie grupy:

- A) warstwy i heterostruktury kwantowe półprzewodników azotkowych;
- B) dielektryki i półprzewodniki domieszkowane jonami ziem rzadkich.

Ze względu na wartościowe wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu spektroskopii wysokociśnieniowej jako głównego narzędzia badawczego, tę właśnie część mojego dorobku naukowego, dotyczącą **wysokociśnieniowych badań procesów rekombinacji promienistej w strukturach półprzewodników azotkowych i materiałach z domieszką jonów ziem rzadkich**, opisanego w niniejszym rozdziale, uważam za najważniejsze osiągnięcie w mojej pracy naukowej po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiące podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Cykl publikacji, w których prezentowane są wyniki dotyczące tej tematyki wykazuje, że wykorzystując wysokie ciśnienia hydrostatyczne wytwarzane w komorze diamentowej można uzyskać unikalne informacje dotyczące zarówno lokalnej struktury i symetrii badanego układu, jak również istniejących w nim relacji energetycznych wpływających na efektywność i właściwości procesów radiacyjnych zachodzących w badanym materiale.

Publikacje składające się na tę wyróżnioną część mojego dorobku cytowane są zgodnie z ich wykazem, a ich pełne teksty znajdują się w załączniku nr 4 pt. „Teksty opublikowanego cyklu artykułów stanowiącego osiągnięcie naukowe”.

#### **8.2.1.A. Warstwy i struktury kwantowe półprzewodników azotkowych**

Od roku 2003 prowadzę spektroskopowe badania warstw i heterostruktur kwantowych półprzewodników azotkowych. Prosta przerwa energetyczna ( $E_G$ ) półprzewodników azotkowych (Ga,In,Al)N obejmująca szeroki zakres energii: od podczerwieni ( $E_G(\text{InN}) = 0.65$  eV w temperaturze pokojowej) do nadfioletu ( $E_G(\text{AlN}) = 6.04$  eV), zrodziła nadzieje na otrzymanie wydajnie świecących przyrządów optoelektronicznych działających w różnych zakresach widmowych. Azotkowe struktury kwantowe są obecnie szeroko stosowane w niebieskich i fioletowych emiterach światła, rozważa się również ich wykorzystanie w ogniwach słonecznych i tranzystorach. Jednakże pomimo intensywnych prac badawczych mechanizmy rekombinacji radiacyjnej i nieradiacyjnej w azotkach wciąż nie zostały do końca wyjaśnione, jakkolwiek postęp, który dokonał się w ostatnich latach w otrzymywaniu wysokiej jakości struktur, umożliwia coraz bardziej szczegółowe badania i coraz lepsze kontrolowanie ich własności.

Podjęte przeze mnie badania zjawisk wpływających na efektywność emisji światła i transport nośników w tych materiałach dotyczyły:

- 1) problematyki związanej z segregacją indu i wynikającymi z segregacji procesami lokalizacji nośników (ekscytonów) w stopach zawierających ind (InGaN, InAlN),



- 2) efektów związanych z wypełnianiem i nieparabolicznością pasma przewodnictwa w InN, które m.in. okazały się powodem błędnego oszacowania wartości przerwy energetycznej tego materiału, zweryfikowanej dopiero w ostatniej dekadzie [7],
- 3) efektów związanych z wbudowanymi polami elektrycznymi w strukturach kwantowych GaN/AlInN, wynikającymi z polaryzacji spontanicznej, charakterystycznej dla materiałów krystalizujących w strukturze wurcytu oraz polaryzacji piezoelektrycznej, będącej skutkiem różnicy stałych sieci studni i barier.

Ad. 1).

Znaczenie mechanizmów lokalizacji nośników w stopach potrójnych  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  dla  $0 < x < 0,2$  było szeroko dyskutowane od momentu, gdy pojawiły się kwantowe struktury LED (*light emitting diodes*) i LD (*laser diodes*) skonstruowane na bazie azotków z obszarem aktywnym z InGaN. Odznaczały się one efektywną luminescencją pomimo gęstości defektów dochodzącej do  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ , tworzonych głównie przez dyslokacje pełniące rolę centrów rekombinacji niepromienistej [8]. Zgodnie z modelem zaproponowanym przez Chichibu i wsp. [9] centra rekombinacji promienistej powstają w wyniku tworzenia się przestrzennych fluktuacji w profilu potencjału pasma InGaN-u spowodowanych segregacją indu. Obecność fluktuacji potencjału powoduje silną, krótkozasięgową lokalizację nośników, a w konsekwencji - odizolowanie ich od centrów rekombinacji niepromienistej. Późniejsze badania potwierdziły słuszność tego modelu [10, 11]. Wyjaśnia on, dlaczego pomimo dużej gęstości dyslokacji możliwa jest wydajna rekombinacja promienista, tłumaczy również istnienie przesunięcia Stokes'a (czyli różnice w położeniu energetycznym krawędzi absorpcji i maksimum luminescencji), wielokrotnie obserwowane w pomiarach optycznych. Absorpcja światła odpowiada średniej przerwie energetycznej stopu (uśredniona zawartość indu), podczas gdy luminescencja jest wynikiem przejść promienistych, zachodzących pomiędzy lokalnym minimum pasma przewodnictwa a maksimum pasma walencyjnego, a więc pochodzących z obszarów minimalnej przerwy energetycznej oraz maksymalnej, lokalnej koncentracji indu.

Ze względu na ścisły związek fluktuacji zawartości indu z własnościami optycznymi heterostruktur  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  prawidłowe oszacowanie stopnia lokalizacji ekscytonów w stopach InGaN ma zasadnicze znaczenie dla optymalizacji projektowanych urządzeń. Miarą stopnia lokalizacji jest wielkość przesunięcia Stokes'a, którego wyznaczenie wymaga pomiarów absorpcji i luminescencji. Pomiar krawędzi absorpcji w strukturach  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$

stanowi nietrywialny problem, dlatego cenne było znalezienie alternatywnego sposobu szacowania stopnia lokalizacji.

Celem przeprowadzonych przeze mnie badań było sprawdzenie możliwości wykorzystania spektroskopii wysokociśnieniowej w rozwiązaniu powyższego problemu. Ze względu na różnice w zależności energii maksimum fotoluminescencji od ciśnienia (tzw. współczynnika ciśnieniowego fotoluminescencji  $dE_{PL}/dp$ ) pomiędzy InN i GaN można oczekiwać, że wartości współczynników ciśnieniowych mogą odzwierciedlać stopień lokalizacji nośników. Ponieważ  $dE_{PL}/dp$  (InN)  $\approx 25$  meV/GPa [12],  $dE_{PL}/dp$  (GaN)  $\approx 40$  meV/GPa [13], a wyższy stopień lokalizacji oznacza wyższą zawartość indu, współczynnik ciśnieniowy luminescencji powinien być niższy w przypadku przejść radiacyjnych związanych z nośnikami o wyższym stopniu lokalizacji.

Zmierzone przeze mnie w różnych temperaturach wartości współczynników ciśnieniowych fotoluminescencji dla struktur  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  zostały porównane z wynikami pomiarów przesunięcia Stokes'a, w których krawędź absorpcji została wyznaczona przez naszych współpracowników z Uniwersytetu Wileńskiego: w temperaturach powyżej 200 K za pomocą pomiarów fotoodbicia, a poniżej 200 K – z zastosowaniem specjalnie opracowanego modelu teoretycznego, tzw. „*exciton hopping model*” [14]. W modelu tym zakłada się przeskakiwanie (*hopping*) ekscytonów zachodzące w dwóch skalach energetycznych: poprzez stany zlokalizowane tworzące się w wyniku fluktuacji potencjału rzędu 16 meV wewnątrz klastrów o zwiększonej zawartości indu, oraz między tymi klastrami - przy czym zakładana dyspersja średniej energii takich klastrów jest rzędu 42 meV [14]. Uzyskane wyniki wykazały istnienie oczekiwanej korelacji pomiędzy tymi wielkościami. Szczegóły tych badań zostały opisane w publikacji [H1], a kolejne prace potwierdziły przydatność spektroskopii wysokociśnieniowej do szacowania stopnia lokalizacji nośników w strukturach kwantowych InGaN/GaN [15 - 17]. Wyniki dotyczące tej tematyki zostały w sumie opublikowane w czterech publikacjach [H1, 15 - 17], a ponadto były prezentowane na sześciu konferencjach międzynarodowych, w tym w dwóch wygłoszonych przeze mnie referatach zaproszonych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 18 i 23).

Kontynuując badania problemu segregacji indu i wynikającej z segregacji lokalizacji nośników przeprowadziłam w kolejnych latach w ramach współpracy z Instytutem Wysokich Ciśnień PAN „Unipress” pomiary na serii warstw  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  oraz  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ . Obliczenia struktury elektronowej stopów  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  i  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ , przeprowadzone przez Gorczycę i wsp. dla wurcytowej superkomórki 32-atomowej wskazywały na dużą zależność wartości przerwy

energetycznej  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  i  $\text{Al}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$  (dla ustalonej zawartości indu  $x$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ) oraz zależności współczynnika ciśnieniowego tej przerwy od stopnia segregacji indu w materiale [18, H5]. Uwzględnienie efektów segregacji prowadzi do obniżenia wartości przerwy w takiej superkomórce oraz znacznie bardziej znaczącego zmniejszenia współczynnika ciśnieniowego tej przerwy w porównaniu z materiałem o jednorodnym rozkładzie indu. Uzyskane przeze mnie wyniki doświadczalne opublikowane w dwóch artykułach [H4, H5] potwierdziły te przewidywania, wskazując na możliwość oceny jednorodności rozkładu indu w badanym stopie w skali nanometrowej przez pomiar współczynnika ciśnieniowego jego przerwy energetycznej, a co za tym idzie – skorelowania efektów segregacji indu z warunkami wzrostu warstw  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  i  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ . Badania związane z tą tematyką zostały przedstawione w postaci 3 prezentacji na konferencjach międzynarodowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 67, 68 i 73). Część tych badań stanowiła ponadto przedmiot pracy magisterskiej pt.: „Spektroskopia optyczna warstw półprzewodników azotkowych otrzymanych metodami MBE i MOVPE” (2011), której byłam promotorem. Wyniki tej pracy, po niewielkim uzupełnieniu eksperymentalnym, zostaną spisane i opublikowane w najbliższej przyszłości. Autor wymienionej pracy, mgr P. Nowakowski, jest obecnie słuchaczem pierwszego roku studium doktoranckiego w naszym Instytucie.

Ad. 2).

Kolejnym badanym przeze mnie problemem związanym z tematyką półprzewodników azotkowych były efekty związane z wypełnianiem i nieparabolicznością pasma przewodnictwa w azotku indu. Postęp, jaki dokonał się w ostatnich latach w metodach otrzymywania warstw InN wysokiej jakości, umożliwił uzyskanie próbek o dobrych własnościach strukturalnych i małej koncentracji elektronów. Wysokie wartości koncentracji elektronów wiązały się z wysokim zdefektowaniem hodowanych dawniej warstw. Badania wysokiej jakości warstw InN o niskiej koncentracji elektronów umożliwiły m.in. zweryfikowanie wartości przerwy energetycznej tego materiału, którą do niedawna uważano za równą około 2 eV. Obecnie naukowcy są zgodni, że wartość przerwy energetycznej w InN w temperaturze pokojowej nie przekracza 0,65 eV, a jej wcześniejsze zawyżenie było głównie wynikiem przesunięcia Bursteina-Mossa spowodowanego przez bardzo wysoką samoistną koncentrację elektronów w silnie zdefektowanych próbkach [7].

Niewielka wartość przerwy energetycznej odzwierciedla się również w podstawowych własnościach InN. Umożliwia ona silniejsze oddziaływanie pomiędzy stanami pasma

walencyjnego i pasma przewodnictwa, przez co efektywna masa elektronów  $m^*$  jest stosunkowo mała. I tak np. w InN jest ona równa około  $0,05m_0$  (gdzie  $m_0$  oznacza masę swobodnego elektronu), podczas gdy w GaN, którego przerwa energetyczna  $E_G$  w temperaturze pokojowej jest równa 3.43 eV, masa efektywna elektronów wynosi około  $0,23m_0$ , a w AlN ( $E_G$  (295 K) = 6.04 eV) -  $0,3m_0$  [19]. Niska wartość masy efektywnej powoduje efektywne wypełnianie pasma przewodnictwa, tzn. znaczący wzrost poziomu Fermiego ze wzrostem koncentracji elektronów, co w pomiarach luminescencji uwidacznia się w postaci przesunięcia maksimum linii luminescencji w kierunku wyższych energii oraz zwiększenia jej szerokości połówkowej [H2].

Skutkiem wzrostu ciśnienia hydrostatycznego jest zwiększenie przerwy energetycznej InN, a co za tym idzie – zwiększenie masy efektywnej elektronów. W rezultacie obserwowany współczynnik ciśnieniowy luminescencji  $dE_{PL}/dp$  może różnić się od współczynnika ciśnieniowego przerwy energetycznej  $dE_G/dp$ , a różnica ta zależy od koncentracji elektronów w próbce. Przeprowadzone przeze mnie ciśnieniowe badania fotoluminescencji serii próbek InN o różnych koncentracjach elektronów wykazały przewidziany wpływ efektów związanych z wypełnianiem pasma przewodnictwa azotku indu na wartość ciśnieniowego współczynnika luminescencji. Ponadto dopasowanie modelu teoretycznego do danych doświadczalnych wykazało, że znaczącą rolę w procesie luminescencji tego materiału odgrywa również nieparaboliczność pasma przewodnictwa azotku indu. Uwzględnienie tego efektu w przeprowadzonych rachunkach *ab-initio* (LDA – *local density approximation*) okazało się niezbędne do uzyskania zgodności z wynikami eksperymentalnymi [H2, 20]. Wnioski z uzyskanych wyników zostały opublikowane w pracy [H2] oraz zaprezentowane na dwóch konferencjach międzynarodowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 43 i 47).

Ad. 3).

Problem pól elektrycznych w strukturach kwantowych półprzewodników azotkowych wiąże się z tym, że półprzewodniki azotkowe krystalizują w heksagonalnej strukturze wurcytu. Charakterystyczną cechą heterostruktur kwantowych budowanych na bazie półprzewodników azotkowych hodowanych wzdłuż osi (0001) jest obecność silnych wewnętrznych pól elektrycznych spowodowanych polaryzacją spontaniczną wynikającą z braku symetrii inwersyjnej w strukturze wurcytu oraz polaryzacją piezoelektryczną będącą skutkiem niedopasowania stałych sieci studni i barier.

Silne wbudowane pola elektryczne w studniach kwantowych powodują tzw. kwantowy efekt Starka, w wyniku którego następuje separacja przestrzenna funkcji falowych elektronów i dziur w studniach kwantowych oraz zmniejszenie prawdopodobieństwa przejść radiacyjnych, bardzo niekorzystne z punktu widzenia potencjalnych aplikacji optoelektronicznych. Dodatkowym efektem związanym z nachyleniem pasm spowodowanym obecnością wewnętrznych pól elektrycznych jest zmniejszenie energii luminescencji (tzw. *red-shift*) tym większe, im większa jest szerokość studni kwantowej oraz zależność energii luminescencji od mocy pobudzenia.

Jednym ze sposobów walki z polami elektrycznymi w heterostrukturach azotkowych jest zastosowanie dopasowanych sieciowo studni i barier, umożliwiające minimalizację polaryzacji piezoelektrycznej. Taką możliwość daje rozwinięta w ostatnich latach technologia wzrostu struktur kwantowych GaN/AlInN. Ważną cechą stopu  $Al_{1-x}In_xN$  jest m. in.: możliwość dopasowania jego stałej sieci do stałej sieci GaN przy zawartości indu  $x$  równej około 0,17 [21]. Dopasowanie sieciowe studni i barier pozwala na uniknięcie naprężeń (powodujących pękanie i/lub powstawanie dyslokacji w materiale) oraz zminimalizowanie polaryzacji piezoelektrycznej. Ponadto umożliwia ono zwykle trudne do wydzielenia, badanie wyłącznie polaryzacji spontanicznej.

W celu zbadania problemu pól elektrycznych w prawie dopasowanych sieciowo strukturach kwantowych GaN/AlInN przeprowadziłam we współpracy z grupą prof. T. Suskiego z Unipressu badania serii unikalnych studni GaN z barierami  $Al_{0.88}In_{0.12}N$  o różnych grubościach, wyhodowanych przez współpracowników z École Polytechnique Fédérale w Lozannie [22, **H3**]. Głównym celem tych prac było określenie wielkości wbudowanego pola elektrycznego w takich heterostrukturach i zależności tego pola od ciśnienia hydrostatycznego, a także wpływu ciśnienia zarówno na polaryzację spontaniczną, jak i piezoelektryczną. Przeprowadzone pomiary umożliwiły wyznaczenie wartości wewnętrznego pola elektrycznego w badanych strukturach w ciśnieniu atmosferycznym oraz jego zależność od ciśnienia. Zaobserwowaliśmy przy tym silną zależność współczynnika ciśnieniowego energii fotoluminescencji ( $dE_{PL}/dp$ ) od szerokości studni kwantowej. Wykazaliśmy, że wiąże się to ze wzrostem wewnętrznego pola elektrycznego wraz z rosnącym ciśnieniem. Stosując znaną metodę wyznaczania pól elektrycznych w studniach kwantowych przez porównanie ich energii emisji z teoretycznie wyznaczoną zależnością energii emisji od szerokości studni dla różnych wartości tych pól wykazaliśmy, że pole to rośnie z ciśnieniem z prędkością 0.29 MV/(cm·GPa), co jakościowo zgodne jest z przewidywaną wartością teoretyczną. Rezultaty tych badań zostały opublikowane [**H3**] oraz

przedstawione w postaci 3 prezentacji na konferencjach międzynarodowych i 1 prezentacji na konferencji krajowej, w tym w dwóch wygłoszonych przeze mnie referatach zaproszonych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 49 i 53).

Podsumowując, wynikiem przedstawionych powyżej badań struktur półprzewodników azotkowych jest, jak dotąd, współautorstwo w 10 artykułach o dobrej cytowości, opublikowanych w latach 2004 - 2010 w czasopiśmie naukowym o zasięgu światowym (w tym m.in. 1 w Applied Physics Letters, 2 w Physical Review B, 1 w Journal of Applied Physics), z których w 5 odegrałam wiodącą rolę w zebraniu i analizie danych eksperymentalnych, a także w przygotowywaniu publikacji. Wnioski z kolejnych etapów badań oraz obejmujące całościowo badaną problematykę półprzewodników azotkowych i ich struktur zostały przedstawione w postaci 20 prezentacji na konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym m.in. 8 wykładów zaproszonych (6 wygłoszonych przeze mnie: patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 18, 23, 49, 53, 59 i 94) oraz 6 prezentacji ustnych, a także na dwóch seminariach wygłoszonych w IF PAN w Warszawie oraz w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Gdańskiego (patrz – załącznik nr 5, część 4, ref. 7, 8). Byłam też promotorem 1 związanej z tą tematyką pracy magisterskiej.

### **8.2.1.B. Dielektryki i półprzewodniki domieszkowane jonami ziem rzadkich**

Od roku 2004 oprócz zagadnień związanych ze strukturami azotkowymi zajmowałam się równolegle badaniami własności domieszek ziem rzadkich w materiałach dielektrycznych i półprzewodnikach. Materiały domieszkowane jonami ziem rzadkich należą obecnie do bardzo intensywnie badanych materiałów w fizyce ciała stałego, zarówno w celach poznawczych, jak i pod kątem ich zastosowania jako materiały laserowe i/lub wydajne źródła światła. Jony ziem rzadkich są ważnymi aktywnymi optycznie domieszkami zarówno w matrycach półprzewodnikowych, jak i w dielektrykach ze względu na szerokie potencjalne zastosowania w wydajnie świecących materiałach laserowych, lampach fluorescencyjnych, kolorowych panelach elektroluminescencyjnych, ekranach wzmacniających dla promieniowania X oraz w fotonice, np. do generacji par splątanych fotonów [23]. W szczególności rosnące ostatnio zainteresowanie kryształami domieszkowanymi jonami  $\text{Yb}^{3+}$  spowodowane jest ich efektywną luminescencją o długościach fal w okolicy 1  $\mu\text{m}$ ,

związaną z wewnątrzkonfiguracyjnymi przejściami w powłoce  $4f$  trójwartościowego jonu iterbu ( $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ ). Od czasu rozpowszechnienia silnie świecących diod laserowych na bazie InGaAs, które emitują światło w okolicy 980 nm, gdzie  $\text{Yb}^{3+}$  ma silny pik absorpcyjny, jon ten może konkurować z  $\text{Nd}^{3+}$  jako aktywna optycznie domieszka świecąca w okolicy 1  $\mu\text{m}$ , gdyż jony iterbu mają wiele zalet, których nie posiadają jony neodymu [24].

W ramach współpracy z prof. L. Arizmendim i grupą prof. L. Bausy z Uniwersytetu Autonomicznego w Madrycie zajęliśmy się początkowo badaniami domieszki iterbu w dielektrykach o własnościach ferroelektrycznych, tj. w niobianie litu i niobianie strontowo-barowym. Uzyskane wyniki szybko zaowocowały dwoma artykułami opublikowanymi w Physical Review B [25, 26] i okazały się na tyle ciekawe, że zachęciły mnie do mocniejszego zaangażowania się w problemy związane z własnościami optycznymi domieszek ziem rzadkich. Wskazywały one na znaczący wpływ symetrii i siły pola krystalicznego działającego na domieszkę, odległości energetycznej stanów  $4f$  i  $5d$ , jak również przejść z przeniesieniem ładunku (typu „charge transfer”) na prawdopodobieństwa przejść wewnątrz-konfiguracyjnych elektronów powłoki  $4f$ . Wewnątrz czystej konfiguracji  $4f$  przejścia elektryczne dipolowe (ED) są zabronione ze względu na reguły parzystości, natomiast dozwolone są dużo słabsze przejścia magnetyczne dipolowe. W praktyce okazuje się jednak, że w obserwowanej emisji intrakonfiguracyjnej przejścia ED często są dominujące, gdyż nawet niewielka domieszka nieparzysto-symetryczna w funkcji falowej elektronu powłoki  $4f$  może powodować znaczne zmiany prawdopodobieństwa przejść. Domieszkę tę można zmieniać za pomocą przyłożonego ciśnienia, gdyż powoduje ono zmianę odległości energetycznej stanów  $4f$  i  $5d$ , a ponadto może powodować zmianę symetrii kryształu macierzystego (jak np. często obserwowana zmiana stosunku długości parametrów sieci  $c/a$  w kryształach romboedrycznych), powodując zmiany w udziale nieparzysto-symetrycznych składowych potencjału pola krystalicznego. Jeżeli ponadto kryształem macierzystym jest półprzewodnik, którego pasmo walencyjne lub pasmo przewodnictwa może znajdować się w stosunkowo niewielkiej odległości energetycznej od poziomów domieszki jonu ziemi rzadkiej, na prawdopodobieństwa przejść mogą również wpływać procesy transferu energii pomiędzy stanami pasmowymi i domieszkowymi.

Głębsze zbadanie tej problematyki umożliwiło uzyskanie przeze mnie w 2008 r. grantu MNiSW nr N N202 203734 pt. „Badania wpływu otoczenia krystalicznego na prawdopodobieństwa przejść wewnątrzkonfiguracyjnych wybranych domieszek ziem rzadkich w kryształach objętościowych i materiałach nanokrystalicznych”.

Zastosowanie wysokich ciśnień umożliwia ciągłą zmianę odległości pomiędzy jonami tworzącymi kryształ, a w konsekwencji – zmianę pola krystalicznego oddziałującego na jony domieszki wprowadzone do materiału. Przyłożenie ciśnienia powoduje ponadto ciągłą zmianę oddziaływania poziomów energetycznych domieszki z pasmem przewodnictwa lub walencyjnym, które pod wpływem ciśnienia zmieniają swą energię dużo mocniej nie tylko od elektronów silnie ekranowanej powłoki  $4f$ , ale również dużo bardziej czulej na otoczenie powłoki  $5d$  [27, 28]. W celu zbadania wpływu konfiguracji  $4f^{n-1}5d$  oraz symetrii otoczenia wybranych domieszek jonów ziem rzadkich, a także ewentualnego wpływu oddziaływań stanów domieszkowych ze stanami pasmowymi na intensywności i czasy zaniku wewnątrzkonfiguracyjnych przejść  $4f - 4f$  przebadalam materiały, w których jony te znajdują się w polu różnych ligandów o różnych symetriach i wartościach przerw energetycznych. Najogólniej można podzielić je na dwie grupy:

- 1) dielektryki domieszkowane jonami ziem rzadkich,
- 2) półprzewodniki domieszkowane jonami ziem rzadkich.

Ad.1).

Temperaturowe i/lub ciśnieniowe pomiary absorpcji, luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji przeprowadziłam w sumie na kilku typach kryształów zawierających domieszkę  $\text{Yb}^{3+}$  o konfiguracji stanu podstawowego  $4f^{13}$  oraz na kryształach granatu gadolinowo galowego  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (GGG) zawierającego domieszkę  $\text{Nd}^{3+}$  o konfiguracji stanu podstawowego  $4f^4$ . Do materiałów domieszkowanych iterbem należały: kryształ granatu gadolinowo galowego  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ , kryształy fosforanów ziem rzadkich:  $\text{YPO}_4$ ,  $\text{GdPO}_4$  i  $\text{LaPO}_4$  oraz trójskładnikowy chlorek lantanu  $\text{K}_2\text{LaCl}_5$  w postaci proszku. W GGG jon domieszki znajduje się w polu krystalicznym o symetrii dodekaedrycznej, bliskiej symetrii kubicznej: otoczony jest on przez 8 ligandów  $\text{O}^{2-}$  tworzących lekko skrzyżony sześciąt o lokalnej symetrii  $D_2$  bliskiej symetrii kubicznej. Spośród fosforanów  $\text{YPO}_4$  krystalizuje w strukturze cyrkonu, natomiast  $\text{LaPO}_4$  i  $\text{GdPO}_4$  w strukturze monacytu. W kryształach  $\text{YPO}_4$  jon domieszki otoczony jest przez 8 ligandów  $\text{O}^{2-}$  tworzących dodekaedr o lokalnej symetrii  $D_{2d}$ , natomiast w kryształach  $\text{LaPO}_4$  i  $\text{GdPO}_4$  jon domieszki otoczony jest przez 9 ligandów  $\text{O}^{2-}$  o lokalnej symetrii  $C_1$ . Ze względu na taką samą strukturę krystaliczną kryształów  $\text{LaPO}_4$  i  $\text{GdPO}_4$ , ciśnieniowe pomiary luminescencji i czasów zaniku luminescencji przeprowadziłam tylko dla kryształów  $\text{GdPO}_4:\text{Yb}$  oraz  $\text{YPO}_4:\text{Yb}$ .

Trójskładnikowy chlorek lantanu  $\text{K}_2\text{LaCl}_5$  stanowił proszek krystaliczny, w którym jon domieszki otoczony jest przez 7 ligandów  $\text{Cl}^-$  tworzących bipiramidę pentagonalną o



lokalnej symetrii  $C_5$ . Pomimo ciekawych wyników zależności wydajności luminescencji i jej stabilności temperaturowej od stężenia jonów iterbu w proszku  $K_2LaCl_5$ , nie udało się zaobserwować luminescencji tego materiału po umieszczeniu go w kowadłach diamentowych, co samo w sobie jest ciekawym i wartym głębszego zbadania efektem.

Badając luminescencję związaną z przejściami  ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$  w  $Yb^{3+}$  oraz czasy zaniku tej luminescencji w dielektrykach zaobserwowałam spodziewaną bardzo słabą zależność energii tych przejść od ciśnienia oraz znacznie silniejszą zależność prawdopodobieństw przejść, która w różnych kryształach w różny sposób zależała od ciśnienia. Analiza teoretyczna uzyskanych wyników przeprowadzona przez S. Biernackiego dla GGG:Yb [H6], a wcześniej również dla  $LiNbO_3:Yb$  [25] wykazała, że obserwowane zmiany prawdopodobieństw przejść radiacyjnych spowodowane są indukowanymi przez ciśnienie zmianami nieparzysto-symetrycznej domieszki do funkcji falowej, która może pochodzić z dwóch źródeł: zbliżania się energii stanów  $5d$  do stanów  $4f$  oraz zmian symetrii sieci (modyfikacja dystorsji sieci krystalicznej i pojawienie się niecentrosymetrycznej składowej potencjału pola krystalicznego). Wzrost nieparzysto-symetrycznej domieszki do funkcji falowej zwiększa prawdopodobieństwo przejść elektrycznych dipolowych.

Wyniki zebrane dla domieszki  $Yb^{3+}$  w dielektrykach w latach 2007 – 2011 zostały opublikowane w 4 artykułach, w których jestem pierwszą autorką [H6, H7, 29, 30]. Za najciekawsze i wnoszące najwięcej nowych, ważnych informacji uważam wyniki opublikowane w pracach [H6] i [H7].

W pracy [H6] analizowaliśmy wpływ ciśnienia na energie i prawdopodobieństwa przejść radiacyjnych domieszki  $Yb^{3+}$  w GGG. Zaobserwowaną w tym materiale niemonotoniczną zależność czasów zaniku luminescencji zinterpretowaliśmy jako skutek ciśnieniowych zmian lokalnej symetrii otoczenia jonu domieszki, w wyniku czego ze wzrostem ciśnienia symetria ta staje się coraz bliższa kubicznej, około 70 kbar jest jej najbliższa, a następnie znów ulega obniżeniu. Zmianom tym oczywiście towarzyszy ciągle ciśnieniowe obniżanie energii konfiguracji  $5d$ . Przyjęcie takiego modelu umożliwiło opis teoretyczny obserwowanych zjawisk. W celu dokładniejszego zbadania tego problemu przeprowadziłam ciśnieniowe pomiary domieszki  $Nd^{3+}$  w tej samej matrycy, gdyż jon ten jest znany jest jako próbnik symetrii w granatach ze względu na fakt, że liczba linii luminescencji zależy w nim od lokalnej symetrii [31].

Rozszczepienie poziomów wzbudzonych konfiguracji  ${}^4F_{3/2}$  domieszki  $Nd^{3+}$  zależy od dystorsji sieci granatu i znika w sieci idealnie kubicznej. W rezultacie w granatach o idealnie kubicznej lokalnej symetrii jonu  $Nd^{3+}$  powinno się obserwować 3 linie luminescencji - po 1

linii związanej z przejściem ze zdegenerowanego poziomu wzbudzonego  ${}^4F_{3/2}$  do każdego z trzech częściowo zdegenerowanych poziomów konfiguracji podstawowej  ${}^4I_{9/2}$  [32]. Natomiast w granatach o niższej symetrii obserwuje się aż 10 linii luminescencji - po 2 linie związane z przejściami z rozszczepionego poziomu wzbudzonego  ${}^4F_{3/2}$  do każdego z pięciu poziomów konfiguracji podstawowej  ${}^4I_{9/2}$ . Ciśnieniowe pomiary luminescencji jonów  $\text{Nd}^{3+}$  w GGG rzeczywiście wykazały zanik rozszczepienia linii luminescencji w ciśnieniach odpowiadających obserwowanemu maksimum czasów zaniku luminescencji jonów  $\text{Yb}^{3+}$  w tym granacie, wskazując na zmiany w symetrii kryształu. Jednakże dalsze szczegółowe wysokociśnieniowe badania krystalograficzne przeprowadzone dzięki współpracy z grupą dr S. Saxeny z Florida International University w Miami oraz obliczenia *ab initio* wykazały, że pomimo zrównania odległości pomiędzy ośmioma jonami  $\text{O}^{2-}$  a jonem centralnym  $\text{Gd}^{3+}$  w dodekaedrze przy ciśnieniach około 10 – 12 GPa, otoczenie tego jonu wciąż nie jest kubiczne. W związku z tym symetria lokalna jonu  $\text{Gd}^{3+}$ , a zatem i symetrie lokalne wszystkich domieszek, które wchodzi w miejsce tego jonu, nie zmienia się i nadal pozostaje symetrią typu  $D_2$ . Wyniki te zostały opublikowane w Physical Review B [H9].

W pracy [H7] opisaliśmy pomiary zależności temperaturowych i ciśnieniowych luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji w ortofosforanach ziem rzadkich, w których jak już wspomniano, jon domieszki może być otoczony przez 8 ligandów  $\text{O}^{2-}$  tworzących dodekaedr o lokalnej symetrii  $D_{2d}$  ( $\text{YPO}_4$ ), albo przez 9 ligandów  $\text{O}^{2-}$  o lokalnej symetrii  $C_1$  ( $\text{LaPO}_4$  i  $\text{GdPO}_4$ ). Ortofosforany ziem rzadkich, ze względu na ich korzystne własności optyczne oraz stosunkowo łatwe i niedrogi techniki wytwarzania, należą do kryształów badanych zarówno pod kątem ich zastosowania jako materiały o wydajnej luminescencji, jak i w celach poznawczych. Wyniki moich badań wskazały na istotne znaczenie lokalnej symetrii domieszki na prawdopodobieństwa przejść radiacyjnych. Wykazały one, że bardziej efektywną luminescencję uzyskuje się w matrycach o wysokiej lokalnej symetrii jonu domieszki ziemi rzadkiej oraz o słabej sile pola krystalicznego. Obydwa czynniki skutkują wydłużeniem czasów zaniku przejść wewnątrz konfiguracji  $4f$ , co umożliwia obniżenie progu pompowania optycznego.

Temperaturowe badania fosforanów ziem rzadkich w ciśnieniu atmosferycznym stanowiły część pracy magisterskiej pt.: „Badania własności optycznych domieszki  $\text{Yb}^{3+}$  w wybranych fosforanach ziem rzadkich” (2009), której byłam promotorem. Wyniki tej pracy, uzyskane przez mgr A. Dużyńską, zostały włączone do publikacji [H7].

Wyniki badań dotyczących domieszek ziem rzadkich w dielektrykach zostały opublikowane w sumie w 8 artykułach, a także były przedstawione w formie 16 prezentacji na

konferencjach międzynarodowych, w tym 4 referatów zaproszonych (2 wygłoszone przeze mnie: patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 31 i 89). Były one również głównym tematem seminarium wygłoszonego przeze mnie w Instytucie Fizyki Uniwersytetu w Tartu w Estonii, a także stanowiły część seminarium wygłoszonego przeze mnie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (patrz – załącznik nr 5, część 4, ref. 10 i 11).

Ad.2).

Półprzewodniki domieszkowane jonami ziem rzadkich badane są ze względu na ich unikalne połączenie własności optycznych i elektrycznych umożliwiające ich potencjalne zastosowania w nowych materiałach optoelektronicznych. Są one również interesujące z czysto poznawczego punktu widzenia. Dobór półprzewodników o odpowiedniej wartości przerwy energetycznej i zastosowanie wysokich ciśnień hydrostatycznych pozwala w sposób kontrolowany niejako „programować” oddziaływanie jonu ziemi rzadkiej ze stanami pasmowymi gospodarza, a przez to badać zarówno wpływ tych pasm, jak i symetrii otoczenia krystalicznego na jon domieszki. Pomimo szybkiego rozwoju tej dziedziny badań, do tej pory ukazało się bardzo niewiele znaczących publikacji na ten temat [33, 34].

Moje badania dotyczące tej problematyki obejmują dwa półprzewodniki typu  $A^{III}B^V$  domieszkowane jonami  $Yb^{3+}$ :

- kubiczny fosforek indu (InP) o wąskiej, prostej przerwie energetycznej ( $E_G(1\text{atm}, 300\text{K}) = 1.34\text{ eV}$ ), w którym jon domieszki otoczony jest przez 4 aniony  $P^{3-}$  tworzące tetraedr o lokalnej symetrii  $T_d$ ; bliskość pasma przewodnictwa powoduje tu widoczne zmiany w prawdopodobieństwie przejść radiacyjnych, a także szybkie gaszenie termiczne wskutek przejść typu „back transfer” i efektu Augera [35, 36, **H8**];
- heksagonalny, szerokoprzerwowy azotek galu (GaN) o szerokiej, prostej przerwie energetycznej ( $E_G(1\text{atm}, 300\text{K}) = 3.45\text{ eV}$ ), w którym jon domieszki otoczony jest przez 4 aniony  $N^{3-}$  tworzące odkształcony tetraedr o lokalnej symetrii  $C_{3v}$ ; większa wartość przerwy energetycznej powoduje zmniejszenie gaszenia termicznego i uzyskanie wydajnej luminescencji nawet w temperaturze pokojowej [37, **H10**].

Badając wpływ ciśnienia hydrostatycznego na widma luminescencji i prawdopodobieństwa przejść wewnątrzkonfiguracyjnych jonów  $Yb^{3+}$  w InP stwierdziłam istnienie nadspodziewanie silnej zależności energii linii luminescencji od ciśnienia przy zwiększaniu ciśnienia od atmosferycznego do około 6 GPa. Jednoczesne pomiary czasów zaniku luminescencji wykazały ich wzrost od 10  $\mu\text{s}$  do 16  $\mu\text{s}$ . Czasy te są dużo krótsze od

typowych czasów zaniku luminescencji mierzonych w materiałach jonowych, które mieszczą się w zakresie 500 - 2500  $\mu\text{s}$  [24, 38]. Opisany w pracy [H8] model teoretyczny dopasowany do uzyskanych wyników eksperymentalnych wykazał, że za ciśnieniowe zachowanie luminescencji w zakresie do 6 GPa odpowiedzialny jest wzrost oddziaływania spin-orbita, spowodowany przez wzmacniane ciśnieniem efekty kowalencyjne, tzn. mieszanie funkcji falowych jonów  $\text{Yb}^{3+}$  i otaczających je jonów  $\text{P}^{3-}$ .

Przy dalszym zwiększaniu ciśnienia powyżej 6 GPa zaobserwowałam wyraźne zmniejszenie współczynnika ciśnieniowego oraz zwiększanie prawdopodobieństwa przejść radiacyjnych. W celu wytłumaczenia tego efektu przeprowadziłam dodatkowo pomiary zależności krawędzi absorpcji InP od ciśnienia, co umożliwiło wyznaczenie współczynników ciśnieniowych dla minimum pasma przewodnictwa i maksimum pasma walencyjnego. Uzyskane wyniki wykazały, że zmniejszenie zależności energii linii luminescencji od ciśnienia obserwowane powyżej 6 GPa wiąże się z oddziaływaniem pomiędzy poziomem akceptorowym  $\text{Yb}^{3+}$  a wierzchołkiem pasma walencyjnego InP, które przecinają się przy tym ciśnieniu. Wnioski te zostały potwierdzone obliczeniami *ab initio* z wykorzystaniem teorii funkcjonału gęstości (DFT - *density functional theory*), które zostały przeprowadzone dzięki nawiązanej współpracy z teoretykiem dr M. Brikiem z Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Tartu w Estonii. Są one opublikowane w pracy [39].

W porównaniu do wąskoprzerwowego InP, szerokoprzerwowy GaN domieszkowany jonami  $\text{Yb}^{3+}$  wykazuje stosunkowo stabilną i efektywną luminescencję aż do temperatury pokojowej. Objętościowy kryształ GaN wyhodowany przez dr M. Boćkowskiego z Unipressu metodą *High Nitrogen Pressure Solution* (HNPS) został zaimplantowany jonami iterbu w Instituto Tecnológico e Nuclear w Sacavém w Portugalii przez dr E. Alvesa, a następnie wygrzany w wysokim ciśnieniu azotu przez dr M. Boćkowskiego. W wyniku zastosowanej procedury otrzymaliśmy próbkę bardzo dobrej jakości i o wysokiej wydajności świecenia. Wykonane przeze mnie pomiary zależności energii linii luminescencji od ciśnienia wykazały, że zarówno znaki, jak i wartości ich współczynników ciśnieniowych różnią się od tych obserwowanych w InP:Yb i są zgodne z oczekiwaną słabą zależnością ze względu na silne ekranowanie podpowłoki  $4f^{d3}$  jonu  $\text{Yb}^{3+}$  przez zewnętrzne zapełnione podpowłoki  $5s^25p^6$ . Przeprowadzona przez współpracowników z Uniwersytetu w Tartu analiza wyników w ramach teorii pola krystalicznego i dopasowanie parametrów hamiltonianu opisującego jon domieszki w polu krystalicznym o symetrii w trygonalnej do zebranych danych doświadczalnych pozwoliła na wyznaczenie schematu poziomów energetycznych  $\text{Yb}^{3+}$  w

azotku galu w ciśnieniu atmosferycznym, wartości parametru oddziaływania spin-orbita, parametrów pola krystalicznego, a także zależności ciśnieniowych wszystkich tych wielkości.

Wyniki badań dotyczących problematyki półprzewodników domieszkowanych jonami iterbu zostały jak dotąd opublikowane w 3 publikacjach [H8, H10, 39] oraz przedstawione w formie 10 prezentacji konferencyjnych, w tym 2 referatów zaproszonych (1 z nich wygłoszony przeze mnie: patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 91). Były one również głównym tematem seminarium wygłoszonego przeze mnie w macierzystym Instytucie Fizyki PAN, a także stanowiły część seminarium wygłoszonego przeze mnie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (patrz – załącznik nr 5, część 4, ref. 9 i 11).

Zajmując się tematyką związaną z własnościami materiałów domieszkowanych jonami ziem rzadkich nawiązałam bardzo ciekawe współprace naukowe z kilkoma ośrodkami naukowymi w Polsce i za granicą, m.in. współpracę z zespołem prof. E. Zycha z Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego oraz z zespołem prof. M. Bettinello z Università Degli Studi di Verona we Włoszech, od których otrzymałam wiele interesujących próbek krystalicznych i proszkowych, współpracę z dr E. Alvesem z Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavem w Portugalii, gdzie prowadzi się implantację kryształów jonami ziem rzadkich, a także współpracę z teoretykiem dr M. Brikiem z Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Tartu w Estonii, który pomógł przeprowadzić spójną analizę teoretyczną uzyskanych wyników. Na badanych materiałach wykonałam serie różnorodnych pomiarów, takich jak: pomiary absorpcji, luminescencji, wysokociśnieniowe pomiary luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji, pomiary widm Ramana. Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. W celu zmierzenia absorpcji próbek proszkowych w temperaturze pokojowej i w ciśnieniu atmosferycznym uruchomiliśmy nową technikę pomiarową, sprasowując je do postaci płaskich pastylek i uzyskując widma absorpcyjne z rozproszonej transmitancji mierzonej za pomocą specjalnej sfery całkującej zintegrowanej ze spektrofotometrem. Drugą nowo zastosowaną metodą pomiarową są wysokociśnieniowe pomiary absorpcji, które przeprowadziłam stosując tzw. technikę podwójnego gasketu (stalowej uszczelki z wywierconym otworem umieszczonej pomiędzy ściskanymi diamentami w celu wytworzenia komory dla próbki i czujnika ciśnienia). W tym przypadku gasket składa się z dwóch płatków stali z współosiowymi otworami o różnych średnicach. Próbką odpowiedniej wielkości mieści się w większym otworze, zakrywając mniejszy, dzięki czemu

oświetlając ją światłowodem sprzężonym z szerokopasmowym oświetlaczem od strony mniejszego otworu mierzy się jej transmisję.

Wynikiem mojej pracy nad problematyką materiałów domieszkowanych lantanowcami jest w sumie 11 artykułów opublikowanych w latach 2005 - 2011 (w tym m.in. 5 w *Physical Review B*, 3 w *Journal of Physics – Condensed Matter* i 1 w *Journal of Applied Physics*), z których w 8 jestem pierwszą autorką, a także 26 prezentacji konferencyjnych, w tym 7 wykładów zaproszonych (3 wygłoszone przeze mnie: patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 31, 89 i 91) oraz 10 prezentacji ustnych i 9 plakatowych. Ponadto wygłosiłam na ten temat 3 seminaria, w tym 1 seminarium zagraniczne (patrz – załącznik nr 5, część 4, ref. 9 - 11). Byłam też promotorem 1 związanej z tą tematyką pracy magisterskiej.

### 8.2.2 Działalność w innych tematykach badawczych

Oprócz prowadzenia badań polarnych struktur półprzewodników azotkowych uczestniczyłam również w badaniach własności optycznych struktur niepolarnych. We współpracy z dr H. Teisseyre z Instytutu Wysokich Ciśnień PAN „Unipress” w Warszawie, przeprowadziłam szereg pomiarów porównawczych studni kwantowych GaN/AlGaIn hodowanych wzdłuż polarnych i niepolarnych kierunków krystalograficznych. Wyniki tych interesujących badań zostały opublikowane w Journal of Applied Physics [40], były również prezentowane w formie plakatów na 2 konferencjach międzynarodowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 52 i 55).

Ponadto poza głównymi nurtami moich badań, dotyczących struktur półprzewodników azotkowych i materiałów domieszkowanych jonami ziem rzadkich, od kilku lat biorę udział również w pracach dotyczących innej rodziny półprzewodników szerokoprzerwowych, a mianowicie tlenków cynku, magnezu i ich stopów.

Tlenek cynku, podobnie jak azotek galu, jest obiecującym półprzewodnikiem o potencjalnych zastosowaniach w urządzeniach optoelektronicznych, pracujących w zakresach widmowych niebieskim i ultrafioletowym. Obecnie wiele grup badawczych pracuje nad optymalizacją technik wzrostu tego materiału, zarówno w postaci kryształów objętościowych, jak i warstw lub proszków, w tym nanoproszków. Ponadto bardzo ważną kwestią w projektowaniu nowoczesnych urządzeń optoelektronicznych jest możliwość otrzymywania struktur o z góry zaplanowanych własnościach, a co za tym idzie – kontrolowanych parametrach studni i barier kwantowych w tych strukturach. Z tego względu bardzo ważne okazuje się poznanie i kontrolowanie własności stopów ZnMgO, które stanowią naturalny materiał do uzyskiwania barier dla studni kwantowych na bazie ZnO.

Z powyższych powodów badania ZnO i jego stopów z magnezem, w których biorę czynny udział, można podzielić na 2 główne nurty:

- 1) badania optyczne (zależności ciśnieniowe i temperaturowe) i krystalograficzne (ciśnieniowe badania strukturalnych przejść fazowych) kryształów objętościowych, warstw i proszków czystego ZnO w celu poznania zależności ich własności od postaci krystalicznej i związanych z nią naprężeń; celem tych prac jest porównanie stabilności, modułów ścisłości i własności optycznych różnych postaci krystalicznych tlenku cynku;

2) badania optyczne (zależności ciśnieniowe i temperaturowe) warstw i struktur kwantowych ZnO/ZnMgO, prowadzone we współpracy z prof. M. Eickhoffem z Justus-Liebig-Universität Giessen i mgr. B. Laumerem z Walter Schottky Institut, Technische Universität München, Niemcy, którzy hodują struktury ZnO/ZnMgO wysokiej jakości oraz warstwy ZnMgO o różnych zawartościach magnezu, aż do zawartości około 35% Mg (i wyższej), przy której następuje przejście pomiędzy wurcytową strukturą ZnO a kubiczną strukturą soli kuchennej, właściwą dla kryształów MgO, a także we współpracy z dr hab. inż. R. Kudrawcem z Politechniki Wrocławskiej, który wykonuje na tych próbkach pomiary fotoodbicia i bezkontaktowego elektroodbicia, umożliwiające oszacowanie ich krawędzi absorpcji. Celem tych prac jest, oprócz określenia zależności przerwy energetycznej od składu ZnMgO, również badanie efektów związanych z wbudowanymi polami elektrycznymi w strukturach kwantowych ZnO/ZnMgO, wynikającymi z polaryzacji spontanicznej oraz polaryzacji piezoelektrycznej będącej skutkiem niedopasowania stałych sieci studni i barier – zjawisk analogicznych do obserwowanych w również wurcytowych strukturach azotkowych. Analiza wyników pomiarów struktur kwantowych ZnO/ZnMgO umożliwi oszacowanie wpływu wewnętrznych pól elektrycznych na własności optyczne struktur opartych na tlenku cynku i jego stopach z magnezem. W połączeniu z wynikami prowadzonych wcześniej badań struktur azotkowych pozwoli ona na porównanie własności tych niezwykle interesujących i ważnych materiałów.

Badania te są wciąż w toku – dotychczas ich rezultaty były opublikowane w 1 artykule [41] oraz zaprezentowane na 6 konferencjach w formie 3 prezentacji ustnych oraz 4 prezentacji plakatowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 74 - 77, 82, 84 i 90). Ostatnio kolejny artykuł pt. „*The high-pressure structural properties of ZnO bulk crystals and nanopowder*”, autorzy R. Hrubia, V. Drozd, A. Duzynska, H. Teisseyre, W. Paszkowicz, A. Reszka, A. Kamińska, A. Durygin, S. Saxena, J.D. Fidelus, J. Grabis, C Monty, A Suchocki, został wysłany do publikacji.

Innymi problemami badawczymi, w które również byłam zaangażowana w ostatnich latach, były:

1) wysokociśnieniowe badania domieszki  $Mn^{4+}$  w perowskicie  $YAlO_3$ , badanym pod kątem zastosowań w dozymetrii termoluminescencyjnej w zakresie temperatur od 90 do 420 K (wyniki opublikowane w *Journal of Physics – Condensed Matter* w 2006 roku [42]) oraz w granacie GGG – przedstawione w formie prezentacji ustnej (patrz – załącznik nr 5 pt.



- „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 19);
- 2) własności optyczne kryształów typu  $A^{II}B^{VI}$  (ZnS, ZnSe, ZnTe) domieszkowanych jonami  $Cr^{2+}$ , efekt Jahna-Tellera obserwowany w tych kryształach, a także zależności parametru oddziaływania spin-orbita od ciśnienia i od typu ligandów otaczających domieszkę; wyniki tych badań zostały opublikowane w New Journal of Physics [43], a także zaprezentowane na 5 konferencjach międzynarodowych w formie 1 prezentacji ustnej i 4 prezentacji plakatowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 30, 37, 38, 54 i 63);
  - 3) badania związane z poszukiwaniem nowych czujników ciśnieniowych dla zakresu podczerwieni: dobrymi kandydatami na takie czujniki okazały się struktury kwantowe InAsP/InP oraz kryształ granatu itrowo glinowego domieszkowany jonami neodymu ( $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ ). Obydwa te materiały wykazały bardzo wydajną luminescencję charakteryzującą się wąskimi liniami, co jest cechą bardzo korzystną ze względu na mniejsze prawdopodobieństwo zakłócania widm luminescencji badanych materiałów przez luminescencję zastosowanego czujnika ciśnieniowego. Wyniki tych badań były opublikowane w jednym artykule [44], a ponadto były prezentowane na dwóch konferencjach międzynarodowych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 41 i 56);
  - 4) własności optyczne kropek kwantowych CdTe i CdMnTe w matrycy ZnTe oraz ich zależności ciśnieniowe: struktury te są niezwykle interesujące zarówno ze względów poznawczych (ciekawa i nowa fizyka zjawisk w nich występujących), jak i z punktu widzenia ich istniejących i potencjalnych zastosowań (w filtrach optycznych, laserach o wysokich wydajnościach, nieorganicznych znacznikach fluorescencyjnych dla zastosowań w biologii i medycynie). Uzyskane wyniki zostały opublikowane jak dotąd w jednym artykule [45] i prezentowane były w formie 3 plakatów konferencyjnych (patrz – załącznik nr 5 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych i twórczych prac zawodowych”, część 3, ref. 64, 86 i 87).

### 8.2.3 Pozostałe osiągnięcia

Oprócz działalności naukowo-badawczej brałam udział w latach 2005 i 2006 w organizacji dwóch kolejnych konferencji "XXXIV International School on the Physics of Semiconducting Compounds – Jaszowiec 2005" oraz "XXXV International School on the

Physics of Semiconducting Compounds – Jaszowiec 2006", których byłam sekretarzem. Instytucjami współorganizującymi te konferencje były: Instytut Fizyki PAN, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Komitet Fizyki PAN, Instytut Wysokich Ciśnień PAN „Unipress” oraz Fundacja “Pro Physica”. Rokrocznie organizowane w Ustroniu-Jaszowcu (w ostatnich latach – w Krynicy-Zdroju), konferencje te są od wielu lat najważniejszym krajowym spotkaniem fizyków i inżynierów zajmujących się fizyką ciała stałego, a od co najmniej kilkunastu lat stanowią również jedną z najważniejszych w roku imprez naukowych grupujących fizyków z krajów Europy Środkowej i Wschodniej oraz z wielu innych krajów zajmujących się powyższą tematyką. We współorganizowanych przeze mnie konferencjach uczestniczyło za każdym razem ponad 230 uczestników z kilkunastu krajów świata. Materiały konferencyjne zawierające teksty referatów zaproszonych oraz prac oryginalnych opublikowane zostały w czterech numerach *Acta Physica Polonica A*, których byłam współredaktorem.

Ponadto w 2007 roku wzięłam udział w XI Warszawskim Festiwalu Nauki, corocznej imprezie odbywającej się we wrześniu, mającej na celu popularyzację nauki w społeczeństwie. Na Festiwalu tym wygłosiłam wykład popularno-naukowy pt. *Podróż do wnętrza Ziemi czyli wysokie ciśnienia w naturze i badaniach naukowych*”.

Od roku 2007 prowadzę ćwiczenia dla studentów IV-go roku Fizyki w ramach II pracowni fizycznej na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego. Dwoje spośród tych studentów pod moim kierunkiem przygotowało później i obroniło swoje prace magisterskie.

### **8.3. Podsumowanie**

Moje kilkunastoletnie zaangażowanie w badania prowadzone w Zespole Spektroskopii Wysokociśnieniowej (do stycznia 2012 r.: Zespole Spektroskopii i Optyki Nieliniowej) w Oddziale Fizyki i Technologii Nanostruktur Półprzewodników Szerokoprzerwowych (do stycznia 2012 r.: Oddziale Spektroskopii Ciała Stałego) Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, zaowocowało wieloma ciekawymi wynikami naukowymi, które zostały opublikowane w 52 publikacjach, w tym 45 w recenzowanych czasopismach znajdujących się na liście JCR. Były one również przedstawiane w formie 94 prezentacji na licznych konferencjach naukowych w Polsce i za granicą. Uzyskanie tych niejednokrotnie unikalnych wyników było możliwe dzięki:

- a) dostępowi do wysokiej jakości próbek hodowanych bezpośrednio w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie (prof. M. Berkowski, prof. A. Mycielski, prof. G. Karczewski) lub otrzymywanych w ramach nawiązanych współprac krajowych (Instytut Wysokich Ciśnień PAN „Unipress” i liczne współpracujące z tą placówką grupy zagraniczne, Wydział Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego) i zagranicznych (Universidad Autonoma de Madrid, Hiszpania, Universita Degli Studi di Verona, Włochy, Walter Schottky Institut, Technische Universität München, Niemcy),
- b) opanowaniu i rozwinięciu różnorodnych technik pomiarów optycznych (temperaturowe pomiary absorpcji, luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji – IF PAN w Warszawie) i magnetoptycznych (Grenoble High Magnetic Field Laboratory, Francja), ze szczególnym uwzględnieniem techniki pomiarów w kowadłach diamentowych, umożliwiającej wysokociśnieniowe pomiary absorpcji, luminescencji i kinetyk zaniku luminescencji w temperaturach od 10 K do 300 K. Na początku moich studiów doktoranckich w ówczesnym laboratorium Zespołu Spektroskopii i Optyki Nieliniowej znajdowała się jedna komora diamentowa umożliwiająca osiągnięcie ciśnień do ok. 18 GPa i oprócz dr. J. Dmochowskiego, który odszedł z pracy około 2000 roku, byłam jedyną osobą zajmującą się tego typu pomiarami. Aktualnie w tym samym laboratorium znajdują się 3 komory diamentowe do pomiarów w ciśnieniach do około 35 GPa. Przy użyciu tej techniki oprócz mojej pracy doktorskiej wykonano jeszcze dwie inne, a kolejne dwie są aktualnie w trakcie realizacji. Wszystkie te doktoraty zostały lub są wykonywane pod opieką prof. dr hab. A. Suchockiego, jednakże technikę pomiarów wysokociśnieniowych doktoranci opanowali z moją pomocą. Ostatnio pracujemy również nad uruchomieniem wysokociśnieniowych pomiarów transportowych - prace te są aktualnie w końcowej fazie realizacji,
- c) modelowaniu i analizie teoretycznej uzyskanych danych doświadczalnych, w znacznym stopniu możliwej do przeprowadzenia dzięki współpracy z teoretykami z IF PAN w Warszawie (dr hab. S. W. Biernacki, prof. R. Buczko), a także teoretykami z innych ośrodków w Polsce (prof. I. Gorczyca, prof. M. Grinberg) i za granicą (prof. N. E. Christensen, dr A. Svane, dr. M. G. Brik).

Wszystkie te współprace są w dalszym ciągu realizowane i pozwalają mieć nadzieję na ciągły rozwój prowadzonej tematyki badawczej oraz uzyskiwanie kolejnych ciekawych i wartościowych wyników naukowych.

## 8.4 Spis cytowanej literatury

- [1] T. P. J. Han, F. Jaque, L. Arizmendi, V. Bermúdez, A. Suchocki, **A. Kamińska**, S. Kobayakov, *Selective optical bleaching of  $Cr^{3+}$  luminescence at low temperature in MgO codoped near stoichiometric  $LiNbO_3:Cr$  crystals*, Phys. Rev. B **68**, 132 103 (2003).
- [2] **A. Kamińska**, L. Arizmendi, A. Barcz, E. Łusakowska, A. Suchocki,  *$Cr^{3+}$  ions in hydrogenated and proton exchanged lithium niobate crystals*, Phys. Status Solidi A **201**, 298 (2004).
- [3] **A. Kamińska**, A. Suchocki, S. Kobayakov, L. Arizmendi, M. Potemski, F. J. Teran, *High-pressure and magneto-optical studies of Cr related defect in the lithium-rich  $LiNbO_3:Cr,Mg$  crystal*, Phys. Rev. B **76**, 144117 (2007).
- [4] K. Świątek, S. Kobayakov, **A. Kamińska**, A. Suchocki, L. Arizmendi, F. Jaque, *EPR and optical studies of optical bleaching of  $Cr^{3+}$  in near-stoichiometric  $LiNbO_3:Cr, MgO$* , J. Lumin. **122-123**, 329 (2007).
- [5] S. Anceau, P. Lefebvre, T. Suski, S. P. Lepkowski, H. Teisseyre, L.H. Dmowski, L. Konczewicz, **A. Kamińska**, A. Suchocki, H. Hirayama, Y. Aoyagi, *Surprisingly low built-in electric fields in quaternary InAlGaN heterostructures*, Phys. Status Solidi A **201**, 190 (2004).
- [6] **A. Kamińska**, A. Mycielski, S. Trushkin, A. Suchocki, *ZnO crystals obtained with the chemical vapour transport method – properties and applications*, Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research, **29**, 89 (2007).
- [7] J. Wu, W. Walukiewicz, K. M. Yu, J. W. Ager III, E. E. Haller, H. Lu, W. J. Schaff, Y. Saito, Y. Nanishi, Appl. Phys. Lett. **80**, 3967 (2002).
- [8] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, Appl. Phys Lett. **64**, 1687 (1994); S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, Appl. Phys. Lett. **68**, 2105 (1996).
- [9] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. **69**, 4188, (1996); S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. **70**, 2822 (1997).
- [10] S. F. Chichibu, A. Uedono, T. Onuma, B. A. Haskell, A. Chakraborty, T. Koyama, P. T. Fini, S. Keller, S. P. Denbaars, J. S. Speck, U. K. Mishra, S. Nakamura, S. Yamaguchi, S. Kamiyama, H. Amano, I. Akasaki, J. Han, T. Sota, Nature Mater. **5**, 810 (2006).
- [11] R. A. Oliver, S. E. Bennett, T. Zhu, D. J. Beesley, M. J. Kappers, D. W. Saxey, A. Cerezo, C. J. Humphreys, J. Phys. D: Appl. Phys. **43**, 354003 (2010).
- [12] S. X. Li, J. Wu, E. E. Haller, W. Walukiewicz, W. Shan, H. Lu, W. J. Schaff, Appl. Phys. Lett. **83**, 4963 (2003).
- [13] W. Shan, T. J. Schmidt, R. J. Hauenstein, J. J. Song, and B. Goldenberg, Appl. Phys. Lett. **66**, 3492 (1995).
- [14] K. Kazlauskas, G. Tamulaitis, A. Žukauskas, M. A. Khan, J. W. Yang, J. Zhang, G. Simin, M. S. Shur, R. Gaska, Appl. Phys. Lett. **83**, 3722 (2003).
- [15] T. Suski, G. Franssen, P. Perlin, H. Teisseyre, **A. Kamińska**, *Hydrostatic pressure: a unique tool in studies of quantum structures and light emitting devices based on group-III nitrides*, Proc. SPIE **6121**, 612100, (2006).
- [16] **A. Kamińska**, G. Franssen, T. Suski, A. Suchocki, K. Kazlauskas, G. Tamulaitis, A. Žukauskas, H. Teisseyre, P. Perlin, N. Grandjean, *Growth and spectroscopic studies of*

- localization effects in InGaN/GaN quantum structures*, Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research, **29**, 33 (2007).
- [17] T. Suski, G. Franssen, **A. Kamińska**, A. Khachapuridze, H. Teisseyre, J. A. Plesiewicz, L. H. Dmowski, H. Lu, W. J. Schaff, M. Kurouchi, Y. Nanishi, *The influence of alloy disorder and hydrostatic pressure on electrical and optical properties of In-rich InGaN compounds*, Proc. SPIE **6473**, 647311, (2007).
- [18] I. Gorczyca, S.P. Łepkowski, T. Suski, N. E. Christensen, A. Svane, Phys. Rev. B **80**, 075 202 (2009).
- [19] I. Vurgaftman and J. R. Meyer, J. Appl. Phys. **94**, 3675 (2003).
- [20] G. Franssen, **A. Kamińska**, T. Suski, I. Gorczyca, N. E. Christensen, A. Svane, H. Lu, W. J. Schaff, E. Dimakis, A. Georgakilas, S. B. Che, Y. Ishitani, A. Yoshikawa, *Conduction band filling in In-rich InGaN and InN under hydrostatic pressure*, Phys. Status Solidi C **5**, 1488 (2008).
- [21] R. Butté, J.-F. Carlin, E. Feltin, M. Gonschorek, S. Nicolay, G. Christmann, D. Simeonov, A. Castiglia, J. Dorsaz, H. J. Buehlmann, S. Christopoulos, G. Baldassarri Höger von Högersthal, A. J. D. Grundy, M. Mosca, C. Pinquier, M. A. Py, F. Demangeot, J. Frandon, P. G. Lagoudakis, J. J. Baumberg, N. Grandjean, J. Phys. D: Appl. Phys. **40**, 6328 (2007).
- [22] G. Franssen, T. Suski, M. Kryško, A. Khachapuridze, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, **A. Kamińska**, E. Feltin, N. Grandjean, *Built-in electric field and large Stokes shift in near-lattice-matched GaN/AlInN quantum wells*, Appl. Phys. Lett. **92**, 201901 (2008).
- [23] F. S. Kao, T.-M. Chen, J. Lumin. **96**, 261 (2002).
- [24] A. Brenier, G. Boulon, J. Alloys Comp. **323-324**, 210 (2001).
- [25] M. Ramirez, L. Bausa, S.W. Biernacki, **A. Kamińska**, A. Suchocki, M. Grinberg, *Influence of hydrostatic pressure on radiative transition probability of the intrashell 4f transitions Yb<sup>3+</sup> ions in lithium niobate crystals*, Phys. Rev. B **72**, 224104 (2005).
- [26] M. O Ramirez, L. E. Bausá, J. García Solé, **A. Kaminska**, A. Suchocki, *High pressure induced ferroelectric phase transition in the Yb<sup>3+</sup>:Sr<sub>0.6</sub>Ba<sub>0.4</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> crystal at liquid helium temperature*, Phys. Rev. B **74**, 174113 (2006).
- [27] M. Grinberg, J. Lumin. **131**, 433 (2011).
- [28] S.-H. Wei, A. Zunger, Phys. Rev. B **60**, 5404 (1999).
- [29] **A. Kamińska**, M. G. Brik, G. Boulon, M. Karbowski, A. Suchocki, *Spectroscopy of gadolinium gallium garnet crystals doped with Yb<sup>3+</sup> revisited*, J. Phys. - Condens. Mat. **22**, 255501 (2010).
- [30] **A. Kamińska**, J. Cybińska, Ya. Zhydachevskii, P. Sybilski, G. Meyer, A. Suchocki, *Luminescent properties of ytterbium-doped ternary lanthanum chloride*, J. Alloy. Compd. **509**, 7993 (2011).
- [31] H. Hua, j. Liu, Y. K. Vohra, J. Phys. - Condens. Mat. **8**, L139 (1996).
- [32] P. E. Blöchl, Phys. Rev. B **50**, 17953 (1994).
- [33] A. Stapor, A. Kozanecki, K. Reimann, K. Syassen, J. Weber, M. Moser, F. Scholz, Acta Phys. Pol. A, **79**, 315 (1991).

- [34] K. Wisniewski, W. Jadwisienczak, T. Thomas, M. Spencer, J. Rare Earth. **27**, 667 (2009).
- [35] A. Taguchi, M. Taniguchi, K. Takahei, Appl. Phys. Lett **60**, 965 (1992).
- [36] G. Bohnert, J. Weber, F. Scholz, A. Hangleiter, Appl. Phys. Lett **63**, 382 (1993).
- [37] W. M. Jadwisienczak, H.J. Lozykowski, Opt. Mater. **23**, 175 (2003).
- [38] A. Brenier, G. Boulon, Europhys. Lett. **55**, 647 (2001).
- [39] M.G. Brik, **A. Kamińska**, A. Suchocki, *Ab initio calculations of structural, electronic, optical and elastic properties of pure and Yb-doped InP at varying pressure*, J. Appl. Phys. **108**, 103520 (2010).
- [40] H. Teisseyre, **A. Kamińska**, G. Franssen, A. Dussaigne, N. Grandjean, I. Grzegory, B. Łucznik, T. Suski, *Different pressure behaviors of GaN/AlGaN quantum structures grown along polar and nonpolar crystallographic directions*, J. Appl. Phys. **105**, 063104 (2009).
- [41] **A. Kamińska**, A. Mycielski, S. Trushkin, A. Suchocki, *ZnO crystals obtained with the chemical vapour transport method – properties and applications*, Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research, **29**, 89 (2007).
- [42] Ya. Zhydachevskii, D. Galanciak, S. Kobayakov, M. Berkowski, **A. Kamińska**, A. Suchocki, Ya. Zakharko, A. Durygin, *Photoluminescence studies of Mn<sup>4+</sup> ions in YAlO<sub>3</sub> crystals at ambient and high pressure*, J. Phys. - Condens. Mat. **18**, 11385 (2006).
- [43] S. Trushkin, S. W. Biernacki, Le Van Khoi, **A. Kamińska**, A. Suchocki, *High pressure luminescence of ZnTe : Cr<sup>2+</sup> crystals*, New J. Phys. **10**, 013023 (2008).
- [44] S. Kobayakov, **A. Kamińska**, A. Suchocki, D. Galanciak, M. Malinowski, *Nd<sup>3+</sup> doped yttrium aluminum garnet crystal as a near-infrared pressure sensor for diamond anvil cells*, Appl. Phys. Lett. **88**, 234102 (2006).
- [45] P. Łach, G. Karczewski, P. Wojnar, T. Wojtowicz, M. G. Brik, **A. Kamińska**, A. Reszka, B. Kowalski, A. Suchocki, *Pressure coefficients of the photoluminescence of the II-VI semiconducting quantum dots grown by molecular beam epitaxy*, J. Lumin, **132**, 1501 (2012).

Warszawa, dn. 06.III.2012 r

.....  
data

.....  
podpis habilitanta