

Katedra Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wroclawska

Krzysztof Ryczko

## **AUTOREFERAT**

PRZYGOTOWANY DO CELÓW POSTĘPOWANIA O NADANIE STOPNIA NAUKOWEGO  
DOKTORA HABILITOWANEGO

WROCLAW 2017

## SPIS TREŚCI

1. DANE PERSONALNE .....	3
2. DANE BIBLIOMETRYCZNE .....	4
3. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE .....	5
3.1 Tytuł osiągnięcia naukowego .....	5
3.2 Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe .....	5
3.3 Szczegółowy opis osiągnięcia naukowego .....	6
3.4 Podsumowanie .....	26
3.5 Bibliografia .....	27
4. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE .....	30
4.1 Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora .....	30
4.2 Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora .....	31
5. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA .....	34
5.1 Wykaz publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR .....	34
5.1.1 PUBLIKACJE NAUKOWE PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA NIEWCHODZĄCE W ZAKRES HABILITACJI .....	34
5.1.2 PUBLIKACJE NAUKOWE PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA .....	40
5.2 Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR .....	41
5.2.1 PUBLIKACJE NAUKOWE PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA .....	41
5.2.2 PUBLIKACJE NAUKOWE PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA .....	42
5.3 Udział w projektach badawczych .....	43
5.4 Zaproszone wykłady, referaty i seminaria .....	43
5.5 Udział w konferencjach .....	44
6. WSPÓŁPRACA MIĘDZYNARODOWA I KRAJOWA .....	46
7. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA .....	47
7.1 Zajęcia dla studentów .....	47
7.2 Opieka naukowa nad studentami .....	47
7.3 Udział w pracach nad programami studiów .....	47
7.4 Popularyzacja nauki .....	47
7.5 Autorstwo podręczników dla studentów .....	47
8. DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA .....	48
8.1 Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych .....	48
8.2 Członkostwo w organach kolegialnych uczelni oraz sprawowane funkcje .....	48
8.3 Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych .....	48
8.4 Recenzowanie artykułów w czasopismach międzynarodowych i krajowych .....	48
8.5 Pozostała działalność .....	49
9. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA .....	50

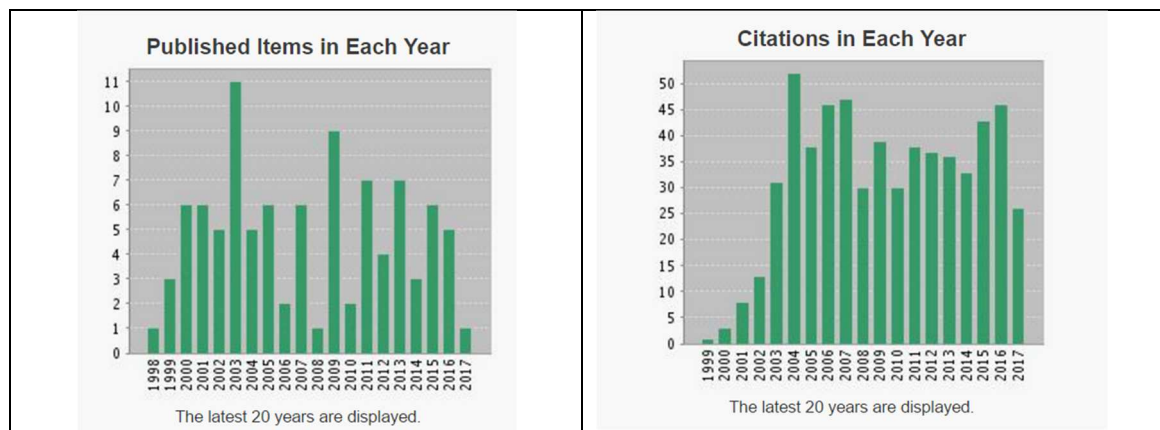
## 1. DANE PERSONALNE

<b>IMIĘ I NAZWISKO</b>	Krzysztof Ryczko
<b>PRZEBIEG KARIERY ZAWODOWEJ</b>	
<b>1991 – 1996</b>	studia w Politechnice Wrocławskiej
<b>1996</b>	uzyskanie tytułu magistra inżyniera w zakresie specjalności: <i>Fizyka Ciała Stałego</i> w wyniku obrony pracy na temat: <i>Wpływ ekscytonów na podstawowe przejście optyczne półprzewodników w obecności zewnętrznego pola elektrycznego</i> promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz
<b>1996 – 2000</b>	studia doktoranckie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Misiewicza w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej
<b>2000</b>	uzyskanie stopnia naukowego: doktora nauk fizycznych na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pod tytułem: <i>Właściwości ekscytonów w modulacyjnie domieszkowanych heterozłączach <math>Al_xGa_{1-x}As/GaAs</math> typu p</i> promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz
<b>2000 – 2001</b>	zatrudnienie na stanowisko asystenta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej
<b>2001</b>	zatrudnienie na czas nieokreślony na stanowisko adiunkta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej
<b>2009 – 2012</b>	zatrudnienie w projekcie europejskim SensHy - <i>Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers</i>
<b>2012 – 2015</b>	zatrudnienie w projekcie europejskim WideLase - <i>Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security</i>
<b>2015 – 2018</b>	zatrudnienie w projekcie europejskim iCspec - <i>In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control</i>
<b>DANE KONTAKTOWE</b>	
<b>E-MAIL</b>	krzysztof.ryczko@pwr.edu.pl
<b>TEL.</b>	+48 71 320 23 29
<b>ADRES</b>	Laboratorium Optycznej Spektroskopii Nanostruktur, Katedra Fizyki Doświadczalnej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

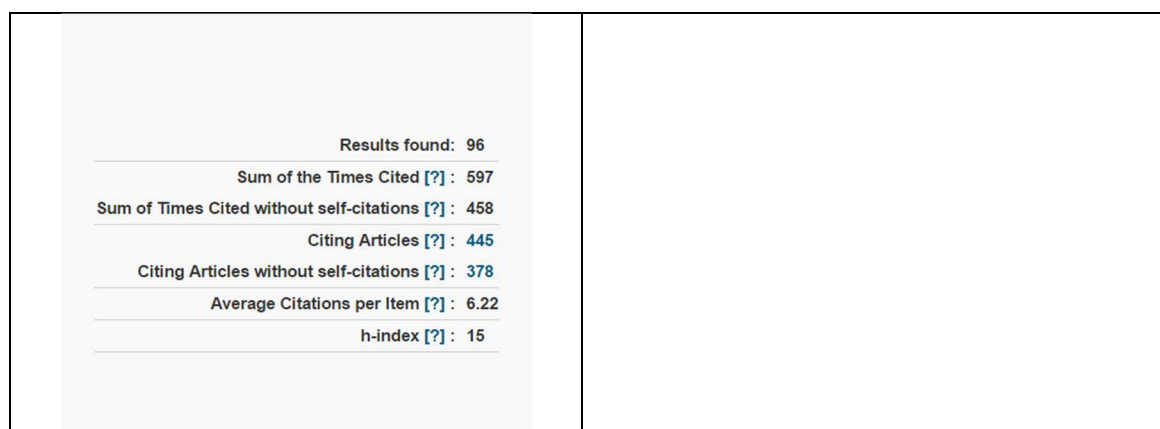
## 2. DANE BIBLIOMETRYCZNE

Dane bibliometryczne na dzień 16.06.2017 (*ISI Web of Knowledge*)

Liczba publikacji w czasopismach z listy filadelfijskiej	96
Sumaryczny Impact Factor publikacji	148,313
Indeks Hirscha ( <i>ISI Web of Knowledge</i> )	<b>15</b>
Liczba cytowań artykułów	597
Liczba cytowań bez autocytowań	458



Źródło: *ISI Web of Knowledge*



Źródło: *ISI Web of Knowledge*

### Najczęściej wybierane czasopisma:

Physical Review B – 6 artykułów

Applied Physics Letters – 11 artykułów

Journal of Applied Physics – 11 artykułów

### 3. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.).

#### 3.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Przedkładanym osiągnięciem naukowym, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy, jest cykl 9 publikacji pod wspólnym tytułem

BADANIE WYBRANYCH STRUKTUR KWANTOWYCH ZWIĄZKÓW III-V  
POD KĄTEM POPRAWY PARAMETRÓW PRACY PÓŁPRZEWODNIKOWYCH  
EMITERÓW PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

#### 3.2 Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

(Dane dotyczące wskaźników pobrane zostały ze stron: (1) Impact Factor - <http://www.scijournal.org>; (2) Lista MNiSW - <http://impactfactor.pl/czasopisma> i dotyczą aktualnego roku ukazania się publikacji.)

[H1] **K. Ryczko**, G. Sęk, and J. Misiewicz, *The effect of structural parameters on the in-plane coupling between quantum dashes of a dense ensemble in the InAs-InP material system*, **Journal of Applied Physics** 115, 213502 (2014), [Impact Factor = 2,183, Lista MNiSW=30]

[H2] **K. Ryczko**, G. Sęk, J. Misiewicz, F. Langer, S. Höfling, M. Kamp, *On the oscillator strength in dilute nitride quantum wells on GaAs*, **Journal of Applied Physics** 111, 123503 (2012), [Impact Factor = 2,21, Lista MNiSW=35]

[H3] **K. Ryczko**, G. Sęk, P. Sitarek, A. Mika, J. Misiewicz, F. Langer, S. Höfling, A. Forchel, M. Kamp, *Verification of band offsets and electron effective masses in GaAsN/GaAs quantum wells: Spectroscopic experiment versus 10-band k-p modeling*, **Journal of Applied Physics** 113, 233508 (2013), [Impact Factor = 2,185, Lista MNiSW=35]

[H4]. M. Motyka, **K. Ryczko**, G. Sęk, F. Janiak, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, A. Forchel, *Type II quantum wells on GaSb substrate designed for laser-based gas sensing applications in a broad range of mid infrared*, **Optical Materials** 34, 1107 (2012), [Impact Factor = 1,918, Lista MNiSW=30]

[H5] **K. Ryczko**, G. Sęk, J. Misiewicz, *Eight-band k-p modeling of InAs/InGaAsSb type-II W-design quantum well structures for interband cascade lasers emitting in a broad range of mid infrared*, **Journal of Applied Physics** 114, 223519 (2013), [Impact Factor = 2,185, Lista MNiSW=35]

[H6] M. Motyka, **K. Ryczko**, M. Dyksik, G. Sęk, J. Misiewicz, R. Weih, M. Dallner, S. Höfling and M. Kamp, *On the modified active region design of interband cascade lasers*, **Journal of Applied Physics** 117, 084312 (2015), [Impact Factor = 2,101, Lista MNiSW=30]

[H7] **K. Ryczko**, G. Sęk, J. Misiewicz, *Novel design of type-II quantum wells for mid-infrared emission with tensile-strained GaAsSb layer for confinement of holes*, **Applied Physics Express** 8, 121201 (2015), [Impact Factor = 2,265, Lista MNiSW=35]

[H8] **K. Ryczko**, G. Sęk, *Polarization-independent gain in mid-infrared interband cascade lasers*, **AIP Advances** 6, 115020 (2016), [Impact Factor = 1,444, Lista MNiSW=25]

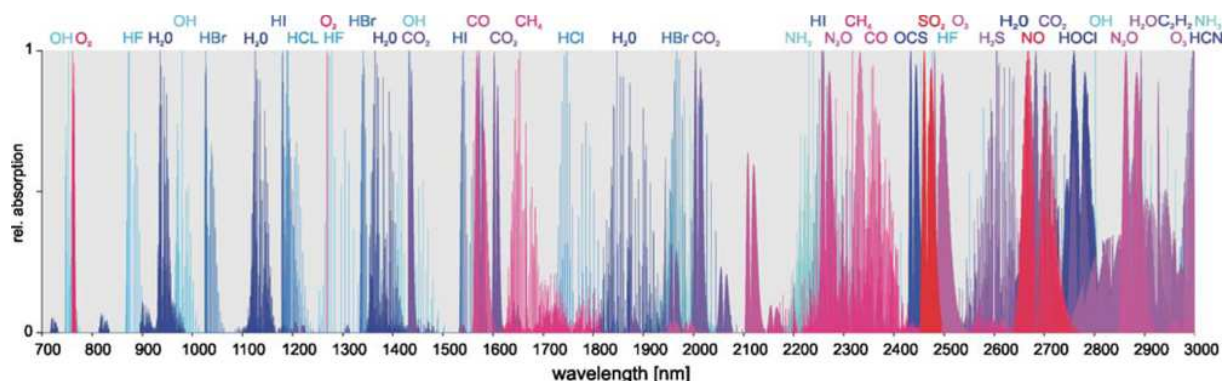
[H9] **K. Ryczko**, J. Misiewicz, S. Höfling, M. Kamp, G. Sęk, *Optimizing the active region of interband cascade lasers for passive mode-locking*, **AIP Advances** 7, 015015 (2017), [Impact Factor = 1,444, Lista MNiSW=25]

Oświadczenia współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie wyżej wymienionych publikacji znajdują się są w załączniku „Oświadczenia współautorów”.

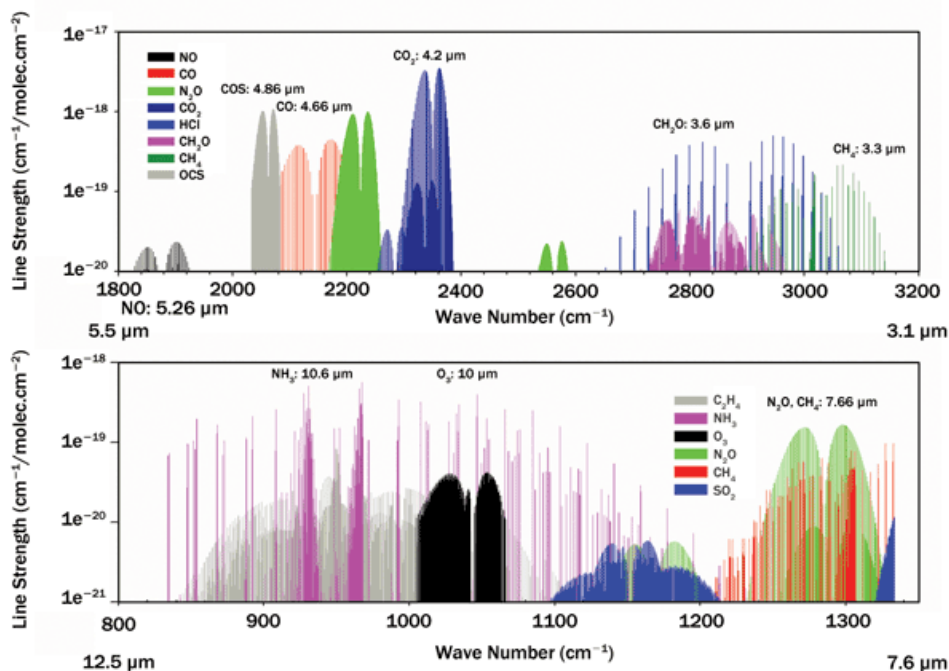
### 3.3 Szczegółowy opis osiągnięcia naukowego

W ostatnich kilkunastu latach nastąpił bardzo gwałtowny rozwój półprzewodnikowych struktur laserujących w zakresie widmowym bliskiej podczerwieni (NIR ang. *near infrared*) oraz średniej podczerwieni (MIR ang. *mid infrared*). Należy zaznaczyć, że podział na poszczególne zakresy podczerwieni nie jest jednoznaczny, i różnie definiowanych w literaturze [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. W tym opracowaniu będę się posługiwał następującymi granicami: 0,78 – 2  $\mu\text{m}$  dla bliskiej podczerwieni oraz 2 – 15  $\mu\text{m}$  dla średniej podczerwieni.

Siłą napędową tego rozwoju jest szeroki wachlarz możliwych zastosowań. Od zastosowań w komunikacji kwantowej i wydajnych źródeł pojedynczych fotonów w zakresie długości fali od około 1,3  $\mu\text{m}$  do powyżej 1,55  $\mu\text{m}$ , które obejmują najważniejsze kanały transmisji wykorzystywane w telekomunikacji światłowodowej [9, 10, 11, 12, 13], poprzez diody laserowe emitujące promieniowanie w obszarze bliskiej podczerwieni, głównie dla zastosowań optoelektronicznych [14], po lasery do konstrukcji czujnikowych w np. ochronie środowiska - przy wykrywaniu skażeń i substancji biologicznie czynnych [15], medycynie - w badaniach substancji śladowych np. wydychanym powietrzu [16], czy systemach bezpieczeństwa [17] i kontroli procesów przemysłowych [18].



Rys. 1a: Przykład linii absorpcyjnych niektórych gazów w zakresie od 0,7  $\mu\text{m}$  do 3,00  $\mu\text{m}$  [19].



Rys. 1b: Przykład linii absorpcyjnych niektórych gazów w zakresie podczerwieni [20].

Szerokie zastosowania w obszarze średniej podczerwieni wiążą się z tym, że w wymienionym przedziale widmowym znajdują się linie/pasma absorpcyjne (związane z przejściami oscylacyjno–rotacyjnymi) bardzo wielu molekuł ważnych środowiskowo czy przemysłowo gazów takich jak: węglowodory, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO, NH<sub>3</sub>, etc. [21]. Przykład takich widm absorpcyjnych został przedstawiony na rysunku 1a i 1b.

Inne zastosowania laserów działających w średniej podczerwieni obejmują np. komunikację w wolnej przestrzeni (okna transmisyjne: I: 0,85  $\mu\text{m}$ ; II: 1,3  $\mu\text{m}$ ; III: 1,55  $\mu\text{m}$ ; IV: 1,65  $\mu\text{m}$  [22]) [23].

Rosnące wymagania ze strony zastosowań sprawiają, iż istnieje potrzeba ciągłej poprawy parametrów urządzeń pracujących w podczerwieni. W szczególności bardzo istotne są nowe rozwiązania i propozycje optymalizacji struktur dla obszarów aktywnych przyrządów laserowych. Dlatego też, swoją uwagę w pracy naukowej skoncentrowałem na analizie obszarów aktywnych laserów działających w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni wykorzystujących przejścia międzypasmowe.

#### • Kreski kwantowe w emiterach promieniowanie w zakresie telekomunikacyjnym

Obecny poziom nanotechnologii pozwala na kontrolowane wytwarzanie półprzewodnikowych struktur kwantowych o dowolnej wielkości i geometrii. Jedną z grupy struktur stosowanych jako obszary aktywne w tym zakresie emisji są kreski kwantowe (ang.

*quantum dashes*) InAs/InGaAlAs otrzymane na podłożu InP. Kreski kwantowe, które charakteryzują się znacznym wydłużeniem w jednym z kierunków krystalograficznych w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku wzrostu (najczęściej [1-10] oraz wysokim tzw. współczynnikiem deformacji kształtu w płaszczyźnie (ang. *lateral aspect ratio*) tj. stosunku długości do szerokości obiektu, który bardzo często przekracza wartość 5 [24, 25, 26, 27]. W technologii epitaksji z wiązek molekularnych w sposób naturalny powstają kreski kwantowe [27, 28], które układają się w bardzo gęstą matrycę nanostruktur (o gęstościach powierzchniowych znacznie powyżej  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ) oraz odległościach pomiędzy strukturami rzędu pojedynczych nanometrów [27]. Potencjał aplikacyjny tego rodzaju struktur kwantowych został zaprezentowany, między innymi, poprzez skonstruowanie lasera półprzewodnikowego, emitującego w zakresie drugiego oraz trzeciego okna telekomunikacyjnego oraz posiadającego szerokie pasmo wzmocnienia i wysoką częstotliwość modulacji do 40 Gb/s [29]. Obecnie wytwarzane kreski kwantowe posiadają szerokie możliwości zastosowań ze względu, między innymi, na łatwą do osiągnięcia technologicznie przestrajalność widmową emisji w bardzo szerokim zakresie bliskiej podczerwieni, z włączeniem okien telekomunikacyjnych [27, 30, 31], w tym w szczególności pasma C przy  $1,55 \mu\text{m}$ , szczególnie w laserach i wzmacniaczach optycznych dla optoelektroniki [32, 33, 34]. Wysoka i naturalna gęstość powierzchniowa kresek kwantowych powoduje, że średnia odległość w płaszczyźnie jest znacznie mniejsza niż wymiary charakterystyczne dla kresek, co sugeruje mogło wydajne tunelowanie nośników ładunku pomiędzy kreskami. To znacząco wpływa na właściwości laserów i wzmacniaczy optycznych, w których wykorzystuje się cały zbiór nanostruktur jako obszar aktywny: znacząco zmienia się wartość wzmocnienia optycznego, dynamika nośników oraz mechanizmy i kinetyka ich relaksacji. Ponadto, ze względu na modyfikację funkcji falowej nośnika ładunku w sytuacji sprzężonych poprzecznie kresek kwantowych dochodzi dodatkowo do zmiany siły oscylatora przejść optycznych oraz energii oddziaływania kulombowskiego nośników ładunku. Z drugiej zaś strony wykazano niedawno przydatność takich nanostruktur do zastosowań związanych z emisją pojedynczych czy splątanych par fotonów [35, 36, 37]. W tym przypadku, również bardzo istotne znaczenie ma czy, lub w jakim stopniu, obiekty można traktować jako niezależne emitery kwantowe – stąd, bardzo istotne było zbadanie poprzecznego sprzężenia pomiędzy kreskami kwantowymi.

W pracy [H1] zostały przedstawione rezultaty teoretycznych badań struktury energetycznej sprzężonych kresek kwantowych. Badania wykonano dla struktur kwantowych, wzrastających na podłożu z InP, w których kreska kwantowa była wykonana z materiału InAs, natomiast barierę stanowiły materiały czteroskładnikowe:  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,23}\text{Al}_{0,24}\text{As}$ ,  $\text{In}_{0,80}\text{Ga}_{0,20}\text{As}_{0,40}\text{P}_{0,60}$  oraz materiał trójskładnikowy  $\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}$ . Taki dobru modelowanych układów, kształtu i rozmiaru nanostruktur oraz materiałów bariery, dokonano celem odwzorowania warunków w realistycznie istniejących strukturach [27, 38, 39]. Obliczenia, energii stanów związanych nośników i gęstości prawdopodobieństwa, zostały wykonane w jednopasmowym modelu  $k\text{-}p$  dla sprzężonych kresek kwantowych, które posiadały przekrój poprzeczny w kształcie trójkąta [27]. Obliczenia przeprowadzono w funkcji rozmiarów poprzecznych oraz w funkcji odległości poprzecznej pomiędzy kreskami kwantowymi. W celu częściowego zweryfikowania modelu przeprowadzono obliczenia energii przejść optycznych dla pojedynczej kreski kwantowej, a następnie porównano wyniki z dostępnymi rezultatami teoretycznymi istniejącymi w literaturze dla licznego zbioru kresek, dla dwóch przypadków, temperatury kriogenicznej oraz pokojowej. Następnie wykonano obliczenia dla par sprzężonych w płaszczyźnie kresek kwantowych. Badania te wykazały, że wartość energii rozszczepienia pomiędzy stanem podstawowym a pierwszym stanem wzbudzonym, która to



jest miarą sprzężenia, wynosi zaledwie kilka meV zarówno dla stanów elektronowych jak i dziurowych, i jest słabo zależna od materiału, z którego została wykonana bariera. Ponadto, wyniki obliczeń pozwoliły stwierdzić, że czasy tunelowania pomiędzy dwoma sąsiednimi i identycznymi kreskami kwantowymi są rzędu pikosekund. Oznaczałoby to bardzo wydajny proces tunelowania (czasy te są znacznie krótsze niż znane promieniste czasy życia w tego typu strukturach). Czas tunelowania wzrasta jednak znacząco (nawet o ponad trzy rzędy wielkości) w przypadku, kiedy dwie sąsiadujące ze sobą kreski kwantowe (jak to ma miejsce w realistycznie istniejących strukturach), różnią się znacząco rozmiarami, pomimo niewielkiej odległości między nimi. Rezultat ten pokazuje, że w realnych strukturach z kreskami kwantowymi wzrastanych na podłożu z InP metodą MBE, strukturę energetyczną licznego i silnie niejednorodnego zbioru takich nanostruktur można rozpatrywać w pierwszym przybliżeniu w języku struktury pojedynczej kreski kwantowej, a efekty bezpośredniego tunelowania nośników pomiędzy nimi mogą być w istocie zaniedbywalne, w kontekście ich wpływu na parametry przyrządów laserowych. Dlatego również emiterzy kwantowe na bazie takich struktur można traktować jako izolowane w sensie ich własności elektronicznych i optycznych. Jeśli jednak wytworzona zostanie podobnie gęsta matryca bardziej jednorodnych nanostruktur tego typu, to efekty związane ze sprzężeniem pomiędzy kreskami nie będą już mogły być zaniedbane, albo wręcz zdominują własności pasmowe, ekscytonowe i optyczne.

*Mój wkład do pracy [H1] polegał na zbudowaniu modelu fizycznego dla dwóch sprzężonych w płaszczyźnie kresek kwantowych, opracowaniu metodologii numerycznej oraz stosownego oprogramowania. Numerycznie obliczyłem zależność ilości przejść optycznych oraz ich energii od rozmiaru kreski kwantowej dla różnych temperatur. Ponadto, wykonałem obliczenia energii rozszczepienia w układzie dwóch sprzężonych kresek kwantowych w funkcji ich rozmiaru, odległości pomiędzy kreskami kwantowymi oraz materiału, z którego wykonana była bariera. Obliczyłem czas tunelowania nośników ładunku pomiędzy kreskami kwantowymi w funkcji tych parametrów układu. Dokonałem analizy i interpretacji uzyskanych danych. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków pracy i napisaniu manuskryptu publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 75 %.*

- **Studnie kwantowe z rozcieńczonych azotków**

Studnie kwantowe wytwarzane z półprzewodników grupy AIII-BV rozcieńczonych azotem (ang. *dilute nitrides*), otrzymywane na podłożu wykonanym z GaAs, mogą stanowić obszary aktywne laserów emitujących w zakresie bliskiej podczerwieni [40, 41]. Dodawanie niewielkich ilości azotu (rzędu kilku procent) do dwuskładnikowego materiału GaAs lub trójskładnikowego - InGaAs powoduje redukcję przerwy energetycznej (bazowego materiału) o kilkadziesiąt meV na każdy 1% zawartości azotu, i jednocześnie następuje redukcja stałej sieciowej nowopowstałego stopu półprzewodnikowego [42, 43]. Czynniki te stanowią o atrakcyjności aplikacyjnej tej grupy materiałów, również w konstrukcji obszarów aktywnych laserów w zakresie bliskiej podczerwieni.

Artykuł [H2] przedstawia wyniki badań struktury energetycznej oraz własności optycznych studni kwantowych I rodzaju wykonanych z materiałów półprzewodnikowych III-V rozrzedzonych azotem wzrastanych na podłożu z GaAs. Podjęcie tego zagadnienia zainspirowane zostało nowatorskim wtedy pomysłem zastosowania tego rodzaju studni w

strukturach ze studniami kwantowymi w mikrownękach optycznych wykorzystujących silne sprzężenie światła z materią (ekscytonów i fotonów) co pozwoliłoby konstruować źródła promieniowania koherentnego zwane laserami polarytonowymi [44, 45, 46], ale w zakresie telekomunikacyjnych okien światłowodowych (np. 1,3  $\mu\text{m}$ ). Artykuł przedstawia oryginalną propozycję materiałową a celami pracy było: (a) zbadanie energii podstawowego przejścia optycznego oraz odpowiadającej mu siły oscylatora dla studni kwantowych; (b) określenie ułamka molowego azotu w poszczególnych warstwach struktury, dla którego otrzymujemy maksymalną wartość siły oscylatora (istotny parametr wpływający na sprzężenie z modami optycznymi wnęki rezonansowej); (c) zależności siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego od nieciągłości krawędzi pasma przewodnictwa i walencyjnego w studniach kwantowych, gdyż takowe były słabo znane. Badania przeprowadzono dla studni kwantowych InGaAsN/GaAs oraz InGaAsN/GaAsN/GaAs. Szerokość tych studni oraz wartość ułamka molowego In i N były tak dobierane, aby zapewnić odpowiednią długość fali emisji – w tym przypadku 1,3  $\mu\text{m}$ . Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch przypadków tzn. bez i z uwzględnieniem oddziaływania kulombowskiego (ekscytonu). W pracy zostały przedstawione rezultaty pokazujące wpływ zawartości azotu oraz nieciągłości krawędzi pasma przewodnictwa pomiędzy GaAsN i GaAs ( $Q_C^*$ ) na wartość energii oraz intensywności podstawowego przejścia optycznego. Wykazane zostało, dla przypadku, gdy pomija się oddziaływanie kulombowskie pomiędzy elektronami i dziurami w studni kwantowej, to intensywność przejścia zmienia się znacznie ze zmianą zawartości azotu oraz ze zmianą nieciągłości pasma przewodnictwa ( $Q_C^*$ ). Przy uwzględnieniu formowania się ekscytonu, siła oscylatora podstawowego przejścia optycznego wzrasta wraz z zawartością azotu osiągając maksimum dla określonej wartości ułamka molowego azotu, zależnie od nieciągłości pasma przewodnictwa ( $Q_C^*$ ). Oznacza to, że aby poprawnie przewidywać siłę oscylatora dla ekscytonów w takich studniach kwantowych istotne jest eksperymentalne zweryfikowanie wartości nieciągłości pasma przewodnictwa ( $Q_C^*$ ) w takich strukturach. Pokazano również, że siła oscylatora w studniach kwantowych InGaAsN/GaAs może zwiększyć się nawet więcej niż trzykrotnie w porównaniu do analogicznych studni kwantowych z InGaAs/GaAs. To jest szczególnie ważny rezultat wskazujący na możliwości zastosowania materiałów półprzewodnikowych III-V rozrzedzonych azotem w eksperymentach elektrodynamiki kwantowej, a następnie ich ewentualnie zastosowania w futurystycznych źródłach w zakresie telekomunikacyjnym.

*Mój wkład w powstanie publikacji [H2] polegał na opracowaniu koncepcji pracy oraz na przygotowaniu odpowiedniego modelu i napisaniu stosownego oprogramowania. Numerycznie obliczyłem zależność energii podstawowego przejścia optycznego w funkcji zawartości azotu. Wykonałem obliczenia modułu kwadratu całki przekrycia dla przejścia podstawowego oraz jego siły oscylatora z uwzględnieniem formowania się ekscytonu, w funkcji ułamka molowego azotu oraz nieciągłości pasma przewodnictwa. Dokonałem analizy i interpretacji uzyskanych danych. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków pracy oraz redakcji manuskryptu pracy. Mój udział procentowy szacuję na 55 %.*

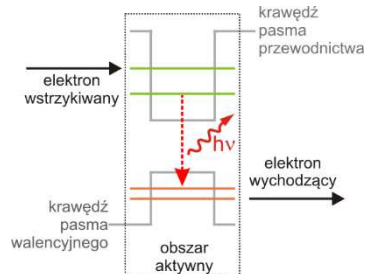
W pracy [H3] przedstawiono wyniki badań dotyczących struktury energetycznej studni kwantowych I rodzaju wykonanych z materiałów półprzewodnikowych III-V rozrzedzonych azotem wzrastających na podłożu z GaAs. Inspiracją do tej pracy były wnioski z pracy [H2], w której przeanalizowano zależność siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego w

funkcji nieciągłości krawędzi pasm w studni kwantowej InGaAsN/GaAsN/GaAs i która pokazała, że parametr ten zależy od wyboru wartości nieciągłości pasm, które to jednak dla tego układu materiałów nie były dokładnie znane, szczególnie na granicy materiałów GaAsN/GaAs. Celem pracy [H3] było wyznaczenie nieciągłości krawędzi pasm oraz masy efektywnej elektronów w studniach kwantowych GaAsN/GaAs. Istotnym wyzwaniem było prawidłowe obliczenie poziomów energetycznych nośników w tego typu studniach kwantowych. Użyty został 10-pasmowy model  $k\cdot p$ , który stanowi rozszerzenie modelu 8-pasmowego [47] i uwzględnia pasmo przewodnictwa, pasmo ciężko- i lekkodziurowe oraz pasmo spin-orbita, oraz sprzężenie się stanów pasma przewodnictwa z poziomem azotowym [48]. W pracy tej został przeanalizowany wpływ nieciągłości krawędzi pasm w studniach kwantowych GaAsN/GaAs, dla dwóch różnych ułamków molowych azotu w GaAsN, na wartości energii międzypasmowych przejść optycznych w funkcji szerokości studni kwantowej. Przeprowadzono analizę ilości stanów elektronowych w paśmie przewodnictwa oraz dziurowych w paśmie walencyjnym w zależności od nieciągłości pasm. Jej wyniki użyto następnie jako podstawowe kryterium analizy i interpretacji stowarzyszonych danych eksperymentalnych dla takich studni. Ponadto, wykonane zostały obliczenia energii przejść optycznych w tych strukturach w zależności od masy efektywnej elektronu. Porównanie wyników obliczeń z danymi ze spektroskopii optycznej dla wybranych dwóch serii studni kwantowych pokazało, że w przypadku, kiedy ułamek molowy azotu w studni kwantowej GaAsN/GaAs wynosi 1,2% wówczas nieciągłość w paśmie przewodnictwa wynosi  $86\pm 4\%$ , natomiast w przypadku, gdy ten ułamek molowy azotu wynosi 2,2% to wówczas nieciągłość w paśmie przewodnictwa wynosi  $83\pm 3\%$ . Ważnym rezultatem było także określenie wartości masy efektywnej elektronu, która w przypadku ułamka molowego w GaAsN równego 1,2%, wynosi  $0,09m_0$ , podczas gdy ułamek molowy w GaAsN równego 2,2% to masa efektywna elektronu wynosi  $0,15m_0$ . Otrzymane rezultaty są szczególnie istotne, z punktu widzenia prawidłowej analizy struktury pasmowej struktur kwantowych zawierających GaAsN takich jak badane w pracy [H2]. Wyniki te potwierdziły przewidywania dotyczące zwiększenia siły oscylatora przejścia optycznego w studniach kwantowych InGaAsN/GaAsN/GaAs, które są dedykowane dla optoelektroniki opartej na urządzeniach polarytonowych pracujących w zakresie długości fal około  $1,3\ \mu\text{m}$ .

*Mój wkład do pracy [H3] polegał na opracowaniu modelu 10-pasmowego do obliczenia struktury energetycznej studni kwantowych GaAsN/GaAs oraz przygotowaniu stosownego oprogramowania. Numerycznie obliczyłem energie jednocząstkowych stanów elektronowych i dziurowych w zależności od ułamka molowego zawartości azotu w GaAsN i w funkcji szerokości studni kwantowej. Wyzaczyłem zależność energii przejść optycznych w funkcji zawartości azotu oraz wartość masy efektywnej elektronu w studniach kwantowych tego typu GaAsN/GaAs. Brałem udział w analizie i interpretacji uzyskanych danych. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków pracy oraz w przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 35%.*

- **Studnie kwantowe II rodzaju i międzypasmowe lasery kaskadowe**

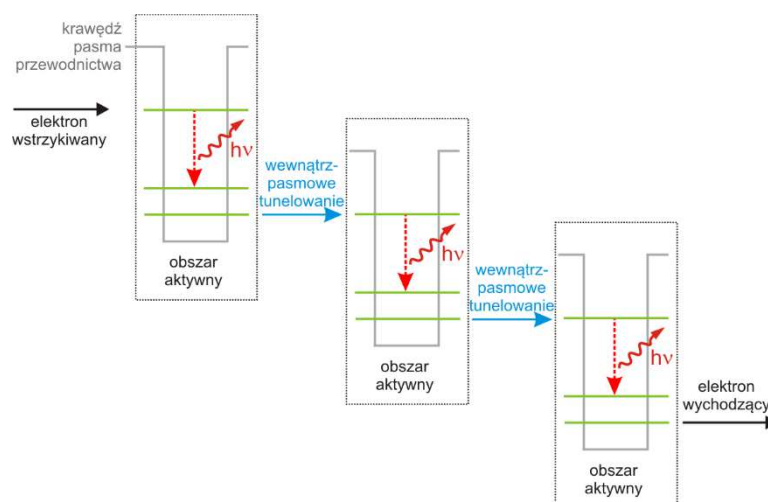
Jednym z istotnych nurtów w tematyce emiterów w średniej podczerwieni jest rozwój diod laserowych (DL – ang. *diode laser*). Te urządzenia wykorzystują w obszarze aktywnym przejścia międzypasmowe w studniach kwantowych I rodzaju [49, 50, 51], co zostało przedstawione schematycznie na rys. 2a, z tym że przeważnie stosuje się układ wielu takich studni.



Rys. 2a: Schemat krawędzi pasm oraz procesów optycznych w obszarach aktywnych w diodzie laserowej.

W takich układach, ze względu na ograniczenia, związane z właściwościami stosowanych materiałów oraz rosnące straty niepromieniste, jak np. proces Auger, trudno jest uzyskać emisję dla fal powyżej  $3\ \mu\text{m}$ . Najbardziej aktualne dane wskazują, że rekordowa długości fali z tego rodzaju przyrządu wynosi  $3,73\ \mu\text{m}$  [51].

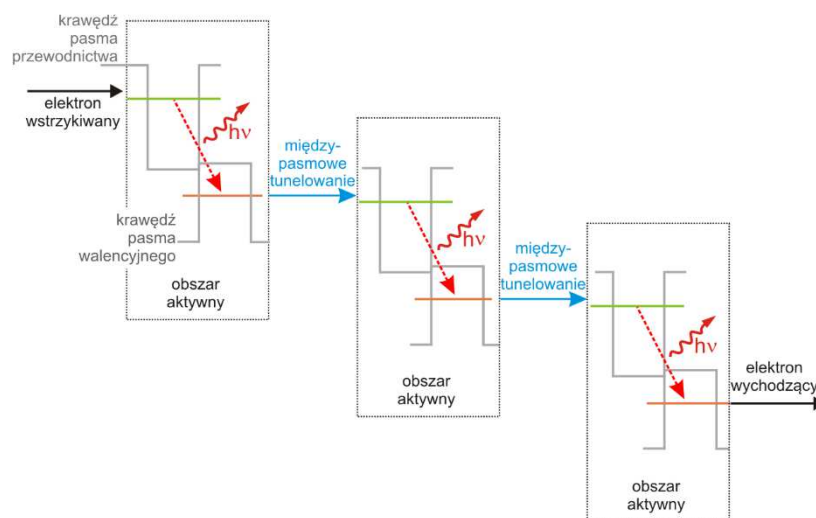
Innym typem źródeł, których emisja może zachodzić w zakresie średniej podczerwieni, są kwantowe lasery kaskadowe (QCL – ang. *quantum cascade laser*) [52]. Kwantowe lasery kaskadowe to emitery promieniowania koherentnego, do działania którego wykorzystuje się wewnątrzpasmowe przejścia promieniste (zwykle dla elektronów w paśmie przewodnictwa) oraz proces ich tunelowania przez układ wielu barier w paśmie przewodnictwa do następnych identycznych segmentów układu, to zostało przedstawione schematycznie na rys. 2b.



Rys. 2b: Schemat krawędzi pasma przewodnictwa oraz procesów optycznych w obszarach aktywnych w kwantowym laserze kaskadowym.

Zatem ten typ lasera składa się z dwóch części: obszaru aktywnego, w której zachodzi właściwa akcja laserowa, oraz obszaru wstrzykiwania (ang. *injector region*), który odpowiada za transport nośników pomiędzy sąsiednimi obszarami aktywnymi. W ten sposób tworzy się kaskada, która umożliwia zwielokrotnioną generację fotonów na skutek wstrzyknięcia jednego nośnika ładunku, co zwiększa wydajność kwantową takiego urządzenia. Ze względu na fakt, że mamy do czynienia tylko z nośnikiem w paśmie przewodnictwa został wyeliminowany problem szerokości przerwy energetycznej struktury. To pozwala przesunąć długość emitowanej fali elektromagnetycznej jeszcze bardziej w podczerwień, przekraczając  $10\ \mu\text{m}$  w przypadku pracy ciągłej w temperaturze pokojowej [53] oraz zapewniając dużą moc wyjściową. Należy wspomnieć, że kwantowe lasery kaskadowe składają się z bardzo dużej liczby warstw (nawet kilka tysięcy), które muszą być wykonane z bardzo dużą precyzją, bo to jest warunek poprawnego działania tego rodzaju przyrządu. To powoduje, że wykonanie takiej heterostruktury epitaksjalnej jest trudne i kosztowne. Ponadto, ich działanie wymaga przyłożenia odpowiedniego zewnętrznego pola elektrycznego i dużych prądów progowych, co powoduje duże zużycie energii, a to z kolei znacznie ogranicza ich zastosowanie w przenośnych urządzeniach zasilanych bateryjnie.

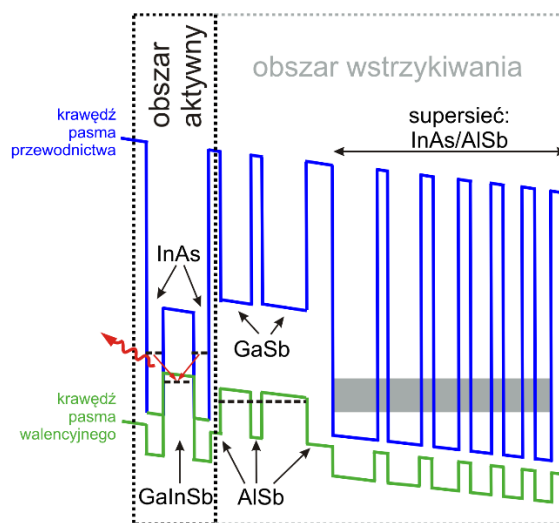
Kolejnym źródłem, które emituje promieniowanie o długościach fali z zakresu średniej podczerwieni, jest międzypasmowy laser kaskadowy (ICL – ang. *interband cascade laser*) [54, 55, 56, 57, 58]. Idea pracy tego typu lasera półprzewodnikowego łączy niejako w sobie schemat funkcjonowania diody laserowej, wykorzystujące przejścia międzypasmowe, z pracą kwantowego lasera kaskadowego, w którym nośnik ma możliwość tunelowego przejścia pomiędzy kolejnymi kaskadami układu. Zostało to przedstawione schematycznie na rys. 2c.



Rys. 2c: Schemat krawędzi pasm przewodnictwa i walencyjnego oraz procesów optycznych w obszarach aktywnych w międzypasmowym laserze kaskadowym.

W działaniu takiego lasera półprzewodnikowego wykorzystuje się międzypasmowe przejście optyczne w studni kwantowej II rodzaju tzn. gdy elektrony i dziury biorące udział w rekombinacji promienistej zlokalizowane są w innych materiałach sąsiadujących warstw. Podobnie jak w przypadku kwantowego lasera kaskadowego, w międzypasmowym laserze kaskadowym mamy do czynienia z obszarami: aktywnym i wstrzykiwania. Obszar aktywny

jest zazwyczaj wykonywany z następującej sekwencji materiałów: AlSb/InAs/GaInSb/AlSb, przy czym studnia kwantowa dla elektronów w pasmie przewodnictwa, która jest jednocześnie barierą dla dziur w pasmie walencyjnym, została wykonana z materiału InAs, natomiast z materiału GaInSb wykonana została studnia kwantowa dla dziur w pasmie walencyjnym i pełni ona rolę bariery dla elektronów. Warstwy AlSb są barierami zewnętrznymi zarówno dla elektronów jak i dziur. W pojedynczym obszarze aktywnym wskutek rekombinacji promienistej, elektronu (ze studni InAs) i dziury (ze studni GaInSb), dochodzi do generacji fotonu. Elektron po rekombinacji jest transferowany do obszaru wstrzykiwania i dalej do następnego obszaru aktywnego, co jest możliwe dzięki przyłożeniu zewnętrznego pola elektrycznego. Schemat obszarów aktywnego i wstrzykiwania został przedstawiony na rysunku 3.



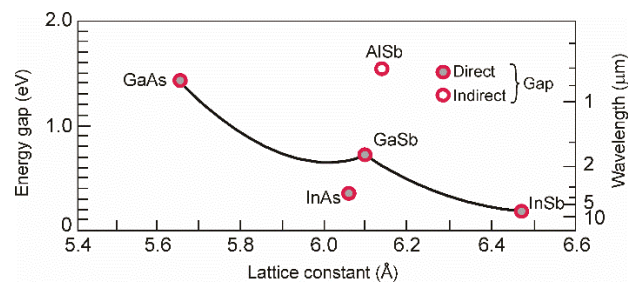
Rys. 3: Schemat krawędzi pasm przewodnictwa i walencyjnego w obszarach: aktywnym oraz wstrzykiwania w międzypasmowym laserze kaskadowym.

Skutkiem przestrzennego separowania elektronów i dziur w obszarze aktywnym międzypasmowego lasera kaskadowego jest redukcja niekorzystnych procesów takich jak rekombinacja Augera [59, 60], co jest jedną z zalet takich laserów w porównaniu z diodami laserowymi emitującymi powyżej  $3\ \mu\text{m}$  [61]. Do innych zalet należą: możliwość precyzyjnego pokrycia zakresu spektralnego powyżej  $3\ \mu\text{m}$  [62, 63], niskie gęstości prądów progowych i małe zużycie energii elektrycznej [55], łatwość uzyskania inwersji obsadzeń [54], praca ciągła w temperaturze pokojowej [60]. Równie ważna jest możliwość pracy jednomodowej. Ze względu na wyżej wymienione cechy i możliwości emisji w aplikacyjnie bardzo ważnym zakresie widmowym, międzypasmowe lasery kaskadowe znajdują coraz szersze zastosowania.

Rosnące wymagania ze strony zastosowań sprawiały, że nowe rozwiązania i propozycje optymalizacji struktur dla obszarów aktywnych stosowanych w międzypasmowych laserach kaskadowych były również celem kilku realizowanych przez nas projektów: 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej: SensHy – Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers (realizowany w latach 2008-2011) i WideLase – Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security (realizowany w latach 2012-2015), oraz kolejnego projektu iCspec – In-line cascade laser spectrometer for process control (realizowany

w latach 2015-2018) w ramach programu UE Horyzont 2020, w których byłem głównym wykonawcą. W trakcie realizacji projektów odpowiadałem za projektowanie i modelowanie nowych rodzajów obszarów aktywnych. Ich tematyka dotyczyła nowoczesnych czujników gazów wykorzystujących lasery półprzewodnikowe. W projektach współpracowałem z zespołami z Uniwersytetu w Würzburgu (gdzie odpowiednie struktury były wytwarzane metodą MBE), oraz firmami nanoplus GmbH oraz Siemens AG w Niemczech, i Airoptic z Poznania, które to wykonywały urządzenia oparte o te struktury, zgodne z wytycznymi i krokami optymalizacyjnymi będącymi wynikiem prowadzonego przeze mnie modelowania teoretycznego. Weryfikacją doświadczalną obszarów aktywnych zajmowali się inni członkowie zespołu Laboratorium Optycznej Spektroskopii Nanostruktur.

W pracy [H4] zbadano własności struktury pasmowej oraz własności optyczne studni kwantowych drugiego rodzaju stosowanych w obszarze aktywnym międzypasmowych laserów kaskadowych i wykonanych z warstw AlSb, GaInSb oraz InAs na podłożu z GaSb. W publikacji przedstawiono wyniki badań, których celem było znalezienie warunków (w sensie układu warstw oraz struktury pasmowej) pozwalających na zwiększeniu siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego w takich studniach, przy jednoczesnym zapewnieniu jak najszerszego zakresu widmowego, w jakim takie studnie mogą emitować. Rysunek 4 przedstawia zależność przerwy energetycznej od stałej sieciowej dla wybranych półprzewodników grupy III-V, które to zostały wykorzystane w tych strukturach.

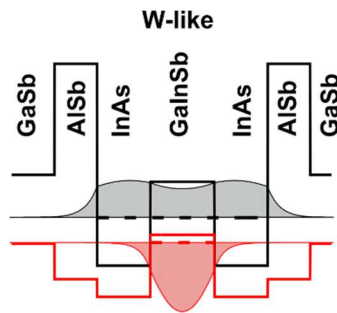


Rys. 4: Zależność przerwy energetycznej od stałe sieciowej dla różnych półprzewodników.

Materiały takie jak InAs oraz InSb charakteryzują się wąską przerwą wzbronioną, co spowodowało konieczność uwzględnienia oddziaływania pomiędzy pasmem przewodnictwa a pasmem walencyjnym [64]. Dlatego też zastosowałem 8-pasmowy model  $k \cdot p$  (uwzględniający pasmo przewodnictwa, pasmo ciężko- i lekkodziurowe oraz pasmo odszczepione spin-orbita) [65]. Ponieważ zastosowane materiały są niedopasowane sieciowo do podłoża z GaSb, to w obliczeniach uwzględniłem hamiltonian związany z naprężeniem [66]. Ponadto, ze względu na to, że struktury laserujące działają w warunkach, kiedy przykładane jest zewnętrzne napięcie i studnie aktywne obszaru aktywnego znajdują się w pole elektrycznym to fakt ten również został w obliczeniach uwzględniony, poprzez dodanie do hamiltonianu odpowiedniego składnika związanego z polem elektrycznym.

Aby zwiększyć wartość siły oscylatora dla podstawowego przejścia optycznego w układzie materiałów GaSb-AlSb-InAs-GaInSb-AlSb-GaSb, który bardzo często jest stosowany przy konstrukcji obszaru aktywnego międzypasmowego lasera kaskadowego, wprowadza się drugą warstwę wykonaną z materiału InAs. Na rysunku 5 został schematycznie pokazany układ warstw oraz krawędzi pasm przewodnictwa i walencyjnego w takiej strukturze. Strukturę taką

nazywamy studnią kwantową typu „W”, ze względu na charakterystyczny kształt krawędzi pasm przypominający tę literę. W tej strukturze elektron znajduje się w podwójnej studni kwantowej z InAs. Natomiast dziura ciężka posiada maksimum gęstości prawdopodobieństwa w obszarze studni kwantowej w odrębnej warstwie z GaInSb. Warstwa GaInSb jest jednocześnie barierą separującą dla stanu elektronowego. Wyniki obliczeń energii przejścia optycznego pomiędzy podstawowym stanem elektronu a podstawowym stanem ciężkodziurowym w funkcji szerokości warstw InAs pokazały możliwość osiągnięcia długości fali emisji z zakresu średniej podczerwieni tj. 3-5  $\mu\text{m}$ .



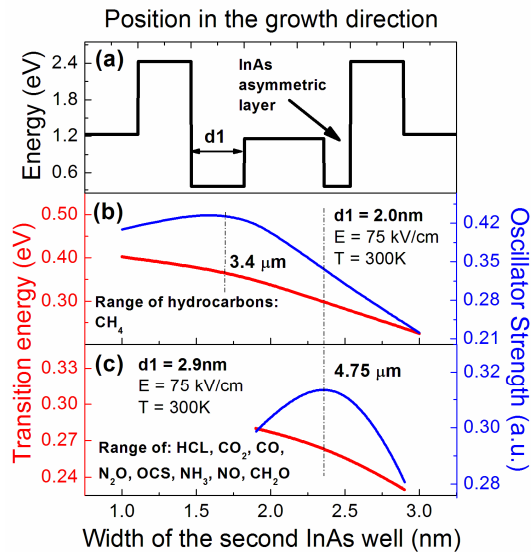
Rys. 5: Układ warstw obszaru aktywnego stosowanego przy konstrukcji międzypasmowego lasera kaskadowego oraz kształt modułów kwadratu funkcji falowej dla elektronu i ciężkiej dziury w takiej strukturze.

Ponadto, w tej pracy porównano wartość siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego realizowanego w studni typu „W” ze zwykłą studnią II rodzaju. Wyniki wykazały zwiększenie wartości intensywności przejść w przypadku studni kwantowej typu „W”.

Pole elektryczne, obecne w działającym laserze, wpływa zarówno na energię przejścia optycznego oraz jego siłę oscylatora. Przyłożenie zewnętrznego napięcia do obszaru aktywnego powoduje, za sprawą efektu Starka dla stanów ograniczonych przestrzennie (*ang. quantum confined Stark effect*) zmniejszenie długości fali emisji oraz zmniejszanie się siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego.

W pracy [H4] pokazano jak to zmniejszanie się siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego można skompensować poprzez wprowadzenie różnicy w grubościach warstw InAs tworzących studnie kwantowe dla elektronów w paśmie przewodnictwa, i że takiej kompensacji można dokonać dla dowolnej studni w różnych zakresach widmowych. Wpływ zmian grubości jednej z tych dwóch warstw InAs na energię przejścia podstawowego oraz na wartość kwadratu modułu całki przekrycia zilustrowano na rysunku 6.



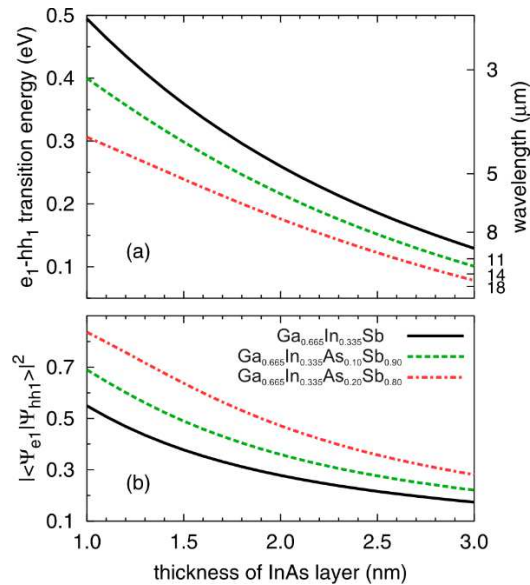


Rys. 6: Kształt krawędzi pasma przewodnictwa i walencyjnego dla asymetrycznej studni kwantowej typu „W” II rodzaju (panel (a)). Energia podstawowego przejścia optycznego oraz odpowiadająca jej siła oscylatora przejścia w dwóch przypadkach tzn. kiedy pierwsza studnia ma szerokość 2 nm (panel (b)) oraz 2,9 nm (panel (c)) [H4].

W pracy [H4] pokazano jak to zmniejszanie się siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego można skompensować poprzez wprowadzenie różnicy w grubościach warstw InAs, tworzących studnie kwantowe dla elektronów w paśmie przewodnictwa, i że takiej kompensacji można dokonać dla dowolnej studni w różnych zakresach widmowych. Wpływ zmian grubości jednej z tych dwóch warstw InAs na energię przejścia podstawowego oraz na wartość kwadratu modułu całki przekrycia zilustrowano na rysunku 6. Jest to szczególnie ważny rezultat pokazujący możliwości aplikacyjne dla tego rodzaju studni kwantowych w obszarze aktywnym laserów działających w zakresie średniej podczerwieni, gdzie występują charakterystyczne linie absorpcyjne wielu ważnych dla środowiska gazów takich jak:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ . Przejrzalność widmowa takich studni została również zweryfikowana eksperymentalnie w tej pracy.

*Mój wkład w powstanie pracy [H4] polegał na przygotowaniu odpowiedniego modelu i napisaniu stosownego oprogramowania. Wykonałem obliczenia zależności energii elektronów i dziur, energii podstawowego przejścia optycznego i jego siły oscylatora w funkcji szerokości studni InAs w dwóch przypadkach: (a) dla studni kwantowej II rodzaju i (b) dla studni kwantowej typu „W”. Obliczyłem numerycznie powyżej wymienione zależności w sytuacji, kiedy do obszaru aktywnego przyłożone zostanie zewnętrzne pola elektryczne. Brałem udział w interpretacji wyników całej pracy oraz uczestniczyłem w redakcji tekstu manuskryptu i opracowaniu wniosków końcowych pracy. Mój udział procentowy szacuję na 35 %.*

Praca [H5] jest kolejnym etapem badań nad studniami kwantowymi typu „W”. Celem było poszukiwanie nowych rozwiązań materiałowych celem poprawy parametrów pracy międzypasmowych laserów kaskadowych.



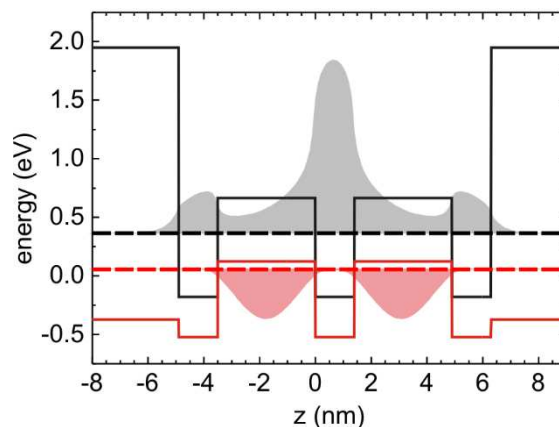
Rys. 7: Zależność energii podstawowego przejścia optycznego oraz odpowiadający kwadrat modułu całki przekrycia w funkcji szerokości studni InAs dla studni kwantowych typu „W” [H5].

W artykule zaproponowałem zamianę warstwy trójskładnikowego materiału GaInSb na czteroskładnikowy materiał GaInAsSb. Przeanalizowano położenie energetyczne krawędzi pasma przewodnictwa i walencyjnego w funkcji zawartości arsenu w materiale  $\text{Ga}_{0.665}\text{In}_{0.335}\text{AsSb}$  na podłożu z GaSb oraz z InAs. Następnie zbadano wpływ zawartości Ga/In w GaIn(As)Sb, który to jest jedną z warstw obszaru aktywnego AlSb/InAs/GaIn(As)Sb/InAs/AlSb, na wartość energii podstawowego przejścia optycznego oraz kwadratu modułu całki przekrycia funkcji falowych nośników biorących udział w tym przejściu dla różnych szerokości studni InAs. Rezultaty obliczeń pokazały, że wprowadzenie arsenu jako czwartego pierwiastka do GaIn(As)Sb może skutecznie zwiększyć kwadrat modułu całki przekrycia i dodatkowo istnieje możliwość istotnego rozszerzenia zakresu długości fali emisji dla takich struktur. W połączeniu z regulacją grubości warstw InAs pozwala to osiągnąć emisję nawet powyżej 10  $\mu\text{m}$ , przy zachowaniu odpowiednio dużej intensywności przejścia optycznego, patrz rys. 7. To sprawia, że użycie takiego obszaru aktywnego staje się potencjalnym rozwiązaniem w konstrukcji długofalowych laserów ICL. Dlatego też, dla wybranych parametrów badanego układu obliczono również wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na wartość energii przejścia podstawowego i odpowiadającej temu przejściu optycznemu - kwadrat modułu całki przekrycia, aby zasymulować warunki występujące w rzeczywistym przyrządzie. W pracy tej po raz pierwszy pokazano, że za pomocą takiej inżynierii struktury pasmowej (składów i grubości materiałów w strukturze typu II), można stroić ich emisję w bardzo szerokim zakresie, nawet dalece poza 10  $\mu\text{m}$ , czy w skrajnym przypadku nawet poza 15  $\mu\text{m}$ .

*Mój wkład do pracy [H5] to zaproponowanie wykorzystania materiału czteroskładnikowego w studniach kwantowych typu „W” dla międzypasmowych laserów kaskadowych oraz opracowanie koncepcji takiego obszaru aktywnego. Przygotowałem stosowny model oraz zmodyfikowałem oprogramowanie. Wykonałem obliczenia zależności energii stanów elektronów i dziur, energii*

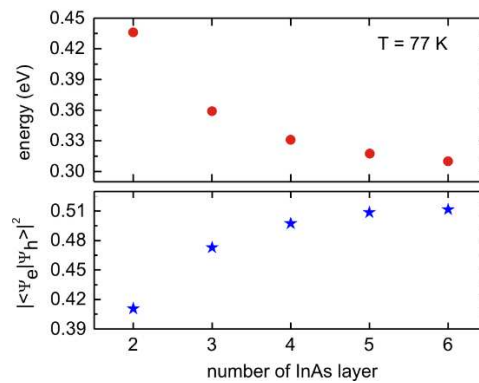
*podstawowego przejścia optycznego i odpowiadającego temu przejściu kwadratu modułu całki przekrycia w funkcji grubości warstw InAs oraz składu i grubości GaIn(As)Sb zastosowanych przy konstrukcji obszaru aktywnego zbudowanego w oparciu o studnię kwantową typu „W” na podłożu: GaSb lub InAs. Obliczyłem numerycznie powyższe wymienione zależności również w polu elektrycznym, aby zasymulować warunki bliższe tych występujących w realnym przyrządzie laserowym. Ponadto brałem udział w interpretacji wyników. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków końcowych pracy oraz przygotowaniu manuskryptu pracy. Mój udział procentowy szacuję na 75 %.*

Publikacja [H6] dotyczy badań nad nowym (istotnie zmodyfikowanym) obszarem aktywnym w porównaniu do studni kwantowej typu „W” stosowanych standardowo w międzypasmowych laserach kaskadowych. Celem pracy [H6] było zaprojektowanie takiego obszaru aktywnego, który pozwalałby na przestrojenie spektralne emisji z takich struktur do zakresu dalszej podczerwieni przy jednoczesnym zwiększeniu wartości kwadratu modułu całki przekrycia (siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego).



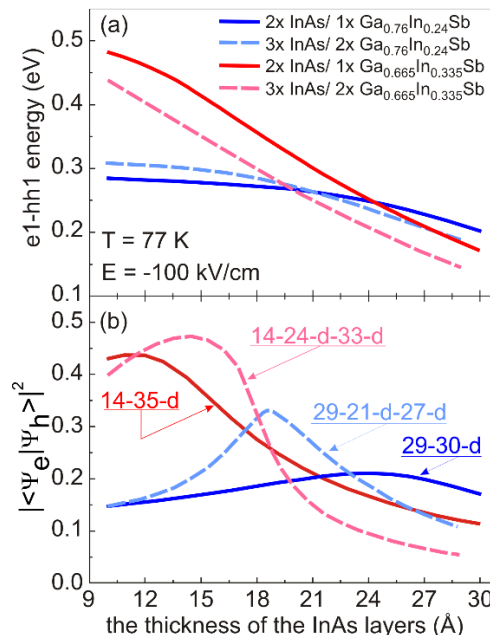
Rys. 8: Krawędź pasma przewodnictwa i walencyjnego oraz kształt modułów kwadratu funkcji falowych dla elektronu i ciężkiej dziury w strukturze AlSb/InAs/GaInSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb.

Wykazano, że jest to możliwe do osiągnięcia w układzie wielokrotnych studni kwantowych InAs/GaInSb. Przykład krawędzi pasma przewodnictwa i walencyjnego oraz kształt modułów kwadratu funkcji falowych dla elektronu i dziury ciężkiej w tego typu strukturze przedstawiono na rys. 8. Rezultaty obliczeń pokazały, że wprowadzenie dodatkowej warstwy InAs powoduje obniżenie energii przejścia optycznego, czyli przesunięcie emisji w stronę dłuższych fal, z jednoczesnym zwiększeniem wartości kwadratu modułu całki przekrycia. Zbadano wpływ liczby rozpatrywanych studni InAs na te parametry układu – wynik ten prezentuje rysunek 9. Zwiększanie liczby warstw prowadzi do nasycenia się obu zależności, co jest efektem spodziewanym, gdyż oznacza efektywne poszerzenie studni kwantowej i osłabianie ograniczenia przestrzennego. Wynik pokazuje, że zwiększanie powtórzeń struktury powyżej 4 nie wnosi już istotnej poprawy optymalizowanych parametrów, a największą korzyść uzyskuje się przy zmianie struktury z podwójnej na potrójną.



Rys. 9: Zależność energii podstawowego przejścia optycznego oraz związanej z tym przejściem optycznym wartości kwadratu modułu całki przekroczenia w funkcji ilości warstw InAs z których skonstruowany jest obszar aktywny  $\text{AlSb}/\text{InAs}(1,4\text{nm})/\text{Ga}_{0,665}\text{In}_{0,335}\text{Sb}(3,5\text{nm})/\text{InAs}(1,4\text{nm})/\text{Ga}_{0,665}\text{In}_{0,335}\text{Sb}(3,5\text{nm})/\text{InAs}(1,4\text{nm})/\text{AlSb}$ .

Istotne jest również to, że zwiększanie liczby warstw w układzie oznacza konieczność precyzyjnej kontroli grubości kilku ultracienkich warstw, dlatego też nadmierne zwiększanie liczby warstw w części aktywnej jest coraz trudniejsze technologicznie. Dlatego też w dalszej części pracy właśnie dla studni potrójnej przeanalizowano wpływ pola elektrycznego, aby zoptymalizować ten złożony układ w warunkach występujących w przyrządzie i skompensować niekorzystny wpływ pola. W tym celu zmieniano szerokości dwóch warstw InAs, z których skonstruowany został obszar aktywny. Wynik ilustruje rysunek 10.



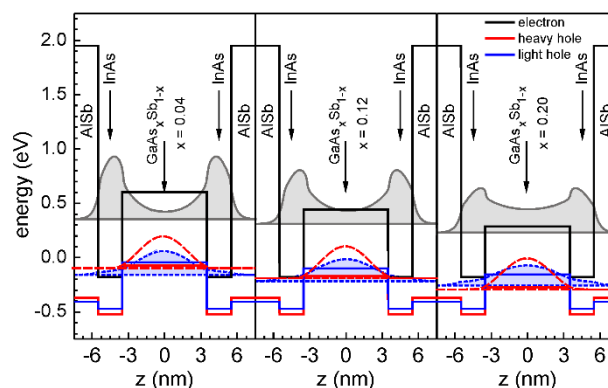
Rys. 10: Porównanie zależności energii podstawowego przejścia optycznego oraz związanej z tym przejściem optycznym wartości kwadratu modułu całki przekroczenia w funkcji grubości dwóch warstw InAs dla dwóch obszarów

aktywnych (i) AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb; (ii) AlSb/InAs/GaInSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb [H6].

Otrzymane rezultaty pokazały, że stosowanie tego rozwiązania przy konstruowaniu obszarów aktywnych międzypasmowych laserów kaskadowych może mieć duże znaczenie szczególnie w przypadku laserów o emisji długofalowej.

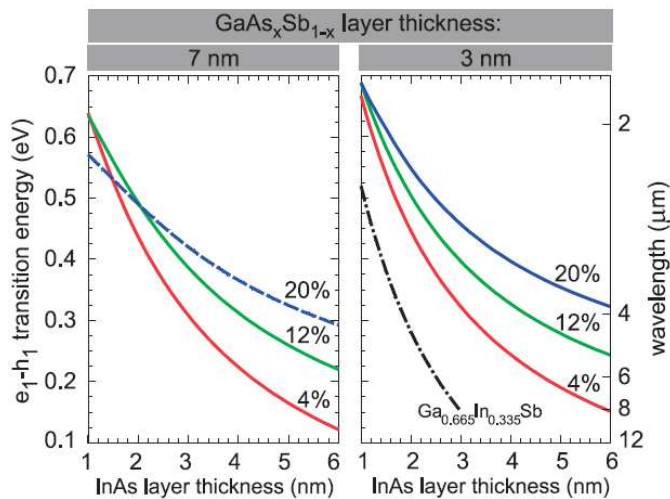
*Mój wkład w powstanie pracy [H6] polegał na zaproponowaniu zmodyfikowania konstrukcji obszaru aktywnego stosowanego do międzypasmowego lasera kaskadowego, celem pokrycia jak najszerszego zakresu spektralnego. Wykonałem obliczenie zależności energii elektronów i dziur, energii podstawowego przejścia optycznego i oraz kwadrat modułu całki przekrycia w funkcji ilości warstw InAs. Ponadto, zaplanowałem odpowiednią konstrukcję obszarów aktywnych, do których przyłożone jest zewnętrzne pole elektryczne. Brałem udział w analizie i interpretacji wyników oraz redakcji manuskryptu pracy. Mój udział procentowy szacuję na 35 %.*

Artykuł [H7] przedstawia wyniki badań struktury energetycznej oraz własności optycznych studni kwantowej typu „W” z AlSb/InAs/GaAsSb/InAs/AlSb wykonanej na podłożu z GaSb. W pracy przedstawiono rezultat analizy położenia energetycznego krawędzi pasm przewodnictwa i walencyjnego w materiale GaAsSb wzrastanym na podłożu z GaSb, w przypadku: (a) bez uwzględnienia naprężenia, (b) z naprężeniem. Zaproponowano po raz pierwszy wprowadzenie warstwy GaAsSb naprężonej rozciągająco do obszaru aktywnego międzypasmowego lasera kaskadowego, w kontraście do wcześniej stosowanego materiału GaInSb, który jest naprężony ściskająco. Konsekwencją tej zmiany są nowe możliwości w ograniczeniu przestrzennym dla dziur oraz inżynierii struktury pasmowej takiej studni (rysunek 11), w tym energii podstawowego przejścia optycznego (długość fali emisji) czy siły oscylatora takiego przejścia.



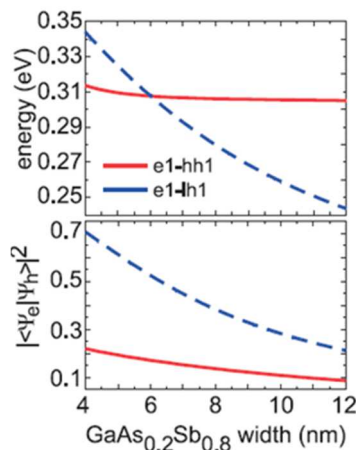
Rys. 11: Krawędź pasma przewodnictwa i walencyjnego oraz kształt modułów kwadratu funkcji falowych dla elektronu i ciężkiej dziury w strukturze AlSb/InAs/GaAs<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>/InAs/AlSb dla trzech różnych ułamków molowych As [H7].

Zbadano wpływ szerokości warstwy InAs na energię podstawowego przejścia optycznego w studni kwantowej II rodzaju typu „W”  $\text{AlSb/InAs/GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}/\text{InAs/AlSb}$  w przypadku kilku różnych wartości ułamka molowego As w materiale  $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ . Obliczenia zostały wykonane dla warstwy  $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$  o grubościach 3 nm i 7 nm. Wyniki tych obliczeń przedstawia rysunek 12. Na tym rysunku, dla porównania, przedstawiono energie przejścia optycznego dla studni kwantowej typu „W” w sytuacji, kiedy materiał GaAsSb wymienimy na standardowo stosowany GaInSb. Dokonana analiza porównawcza doprowadziła do kolejnego ważnego wniosku, że zastosowanie warstw GaAsSb o większej grubości przekłada się na mniejszą wrażliwość długości fali emisji związanej z podstawowym przejściem optycznym na niedokładności grubości poszczególnych warstw takiej struktury. Ponadto, zmiana warunków naprężenia oraz możliwość jego kontroli poprzez zmianę składu warstwy GaAsSb, pozwala na regulowanie stopniem mieszania podpasm w paśmie walencyjnym, a w skrajnym przypadku, na uczynienie podstawowego przejścia optycznego przejściem lekkodziurowym (najwyższe podpasmo w paśmie walencyjnym w takiej studni jest podpasmem dziur lekkich).



Rys. 12: Zależność energii podstawowego przejścia optycznego w strukturze  $\text{AlSb/InAs/GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}/\text{InAs/AlSb}$  w funkcji grubości warstwy InAs (linie ciągłe). Dodatkowo, przedstawiono wyniki obliczeń dla struktury w której warstwę  $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$  zastąpiono przez warstwę  $\text{Ga}_{0.665}\text{In}_{0.335}\text{Sb}$  (linia przerywano-kropkowana) [H7].

W wyniku przeprowadzonych obliczeń okazało się, że przypadku lekkodziurowego charakteru podstawowego przejścia optycznego, możemy wciąż uzyskać pokrycie istotnego aplikacyjnie zakresu widmowego 4-5 μm, i mamy dodatkową korzyść w postaci powiększonej wartości kwadratu modułu całki przekrycia (rysunek 13).

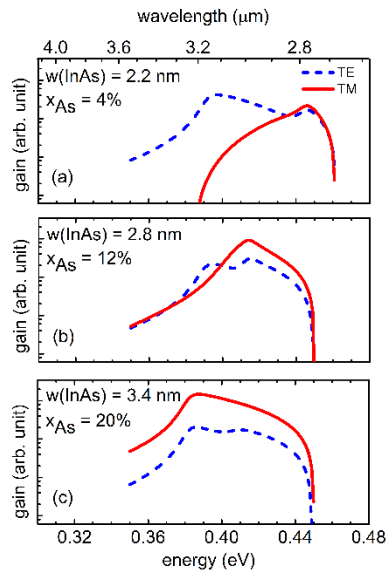


Rys. 13: Zależność energii przejść optycznych oraz odpowiadając im kwadrat modułu całki przekrycia w funkcji szerokości studni  $\text{GaAs}_{0.2}\text{Sb}_{0.8}$  dla studni kwantowych typu „W”  $\text{AlSb/InAs/GaAs}_{0.2}\text{Sb}_{0.8}/\text{InAs/AlSb}$  [H7].

Dodatkowo, podyktowane naprężeniem rozciągającym zmiany w strukturze pasmowej wpływają też na polaryzacyjne reguły wyboru. W pracy [H7] zasugerowano po raz pierwszy możliwość wykorzystania takiej struktury, jako materiału aktywnego niezależnego polaryzacyjnie w zakresie średniej podczerwieni, co jest aspektem oryginalnym, gdyż takie przyrządy właściwie jeszcze nie istnieją, a są bardzo pożądane w niektórych zastosowaniach (np. wzmacniaczach optycznych).

*Mój wkład w powstanie pracy [H7] polegał na zaproponowaniu doboru odpowiednich materiałów do konstrukcji nowego obszaru aktywnego stosowanego do międzypasmowego lasera kaskadowego. W celu wykonania stosownych obliczeń dokonałem modyfikacji w oprogramowaniu. Przeanalizowałem strukturę pasmową oraz wpływ naprężeń dla materiałów użytych do konstrukcji nowego obszaru aktywnego. Wykonałem obliczenia zależności energii elektronów i dziur, energię podstawowego przejścia optycznego i kwadrat modułu całki przekrycia w funkcji wielu parametrów układu m.in. ułamek molowego arsenu w GaAsSb, szerokości studni z InAs, grubości warstwy GaAsSb. Brałem udział w analizie i interpretacji wyników oraz redakcji manuskryptu Mój udział procentowy szacuję na 75 %.*

Publikacja [H8] stanowi kolejny krok w badaniach, czyli nad studniami typu drugiego z warstwą naprężoną rozciągająco z GaAsSb. Celem pracy było zaprojektowanie obszaru aktywnego posiadającego własność niezależności polaryzacyjnej w zakresie średniej podczerwieni. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń wzmocnienia optycznego dla takich studni kwantowych dla dwóch polaryzacji światła TE i TM (dla modów optycznych z wektorem elektrycznym i magnetycznym leżącym w płaszczyźnie studni i prostopadle do tej płaszczyzny, odpowiednio, w geometrii przyrządów krawędziowych). Dyspersję energetyczną poziomów energetycznych nośników ładunku w studni kwantowych typu „W” wyznaczono przy użyciu 8-pasmowego modelu  $k\cdot p$ . Uzyskane wartości energii oraz funkcji falowych stanu elektronowego oraz dziurowego w tej strukturze pozwoliły na wyznaczenie wzmocnienia optycznego. W obliczeniach sterowano grubością warstw InAs oraz ułamkiem molowym As w GaAsSb. Wyniki tych obliczeń pokazały, w jakim zakresie można wpływać na strukturę energetyczną oraz na szerokość widmową i wartość wzmocnienia optycznego. Obliczenia zostały wykonane w funkcji koncentracji nośników w takim obszarze aktywnym. Dla dużych koncentracji nośników, wzmocnienie optyczne w przypadku polaryzacji TE oraz TM jest jednakowe oraz obejmuje znacznie szerszy przedział długości fal. W ten sposób zostało również pokazane, jak sterując koncentracją nośników możemy wpływać na własności polaryzacyjne takiej struktury.



Rys. 14: Widmo wzmocnienia optycznego dla polaryzacji TE oraz TM dla studni kwantowej typu „W” AlSb/InAs/GaAs<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>/InAs/AlSb w przypadku kiedy zewnętrzne pole elektryczne wynosi 70 kV/cm [H8].

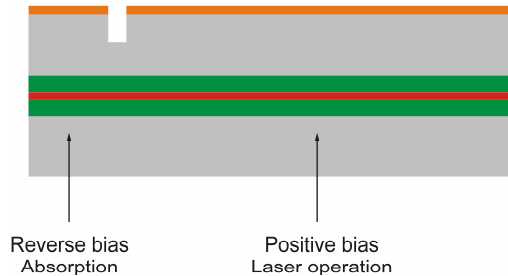
Dodatkowo uwzględniono wpływ zewnętrznego pola elektrycznego. Dokonano obliczeń wzmocnienia optycznego dla typowej wartości natężenia pola elektrycznego 70 kV/cm w studniach kwantowych typu „W” AlSb/InAs/GaAsSb/InAs/AlSb międzypasmowych laserów kaskadowych. Przykładowe rezultaty pokazane są na rysunku 14. Głównym wynikiem tej pracy jest pokazanie możliwości uzyskania niezależności polaryzacyjnej w funkcji wzmocnienia dla obszarów aktywnych drugiego rodzaju i w zakresie średniej podczerwieni, poprzez zastosowanie odpowiedniego układu materiałów i inżynierii struktury pasmowej oraz naprężeń.

*Mój wkład do pracy [H8] polegał na zaproponowaniu jak w tego rodzaju strukturach kwantowych zrealizować niezależność polaryzacyjną, zaplanowaniu odpowiednich struktur i rozbudowaniu oprogramowania. Wykonałem obliczenie zależności wzmocnienia optycznego w funkcji szerokości studni InAs, zawartości ułamka molowego As w warstwie GaAsSb, koncentracji nośników i pola elektrycznego. Dokonałem analizy uzyskanych wyników. Brałem udział w ich interpretacji i w przygotowaniu manuskryptu publikacji. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków końcowych pracy. Mój udział procentowy szacuję na 80 %.*

W pracy [H9] przedstawiono wyniki badań nad możliwymi konstrukcjami obszarów aktywnych stosowanych do pasywnej synchronizacji modów (ang. *passive mode locking*) w międzypasmowym laserze kaskadowym emitującym w zakresie średniej podczerwieni. Taka konstrukcja służy do generacji ultrakrótkich impulsów – w tym przypadku w średniej podczerwieni. Pasywną synchronizację modów zwykle osiąga się poprzez połączenie w jednym przyrządzie ośrodka czynnego, w którym powstaje wzmocnienie, z obszarem absorbującym (ang. *saturable absorber*). Charakterystyczne czasy życia w części absorbera  $\tau_a$  oraz części wzmocnienia w ośrodku czynnym  $\tau_g$  powinny spełniać następującą relację  $\tau_a \ll \tau_g$  [67].

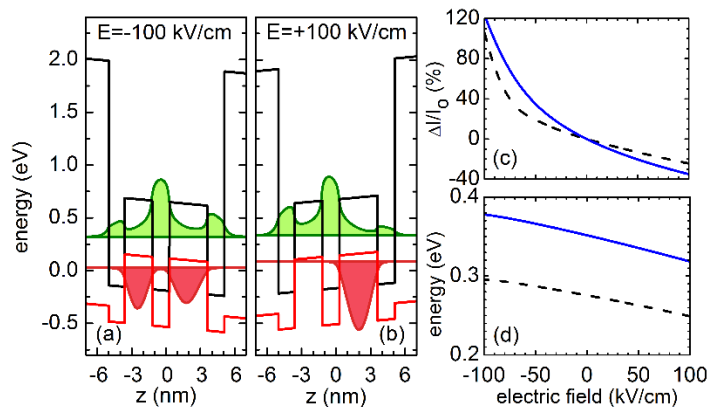


Zaproponowano, aby w przyrządzie takim jak międzypasmowy laser kaskadowy zastosować zewnętrzne napięcie oraz sterowanie polem elektrycznym, celem zmiany charakterystycznych stałych czasowych (a co za tym idzie sił oscylatora przejść optycznych), co schematycznie pokazano na rysunku 15.



Rys. 15: Schemat dwóch części międzypasmowego lasera kaskadowego [H9].

Pokazano, że zmiana pola elektrycznego w zakresie od  $-100$  kV/cm do  $+100$  kV/cm powoduje największe względne zmiany kwadratu całki przekrycia dla asymetrycznej, potrójnej struktury II rodzaju: AlSb/InAs/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb/InAs/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb/InAs/AlSb – patrz rys. 16.



Rys. 16: Krawędzie pasma przewodnictwa i walencyjnego oraz kształt modułów kwadratu funkcji falowych dla elektronu i ciężkiej dziury w strukturze AlSb/InAs(1.4nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(2.4nm)/InAs(1.5nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(3.3nm)/InAs(1.5nm)/AlSb w przypadku dwóch różnych pól elektrycznych:  $-100$  kV/cm (panel (a)) i  $+100$  kV/cm (panel (b)). Również przedstawiono zależność względnej zmiany kwadratu modułu całki przekrycia (panel (c)) oraz energii podstawowego przejścia optycznego (panel (d)) od zewnętrznego pola elektrycznego. Linia czarną przerywaną zaznaczono wyniki dla struktury AlSb/InAs(1.4nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(2.4nm)/InAs(1.5nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(3.3nm)/InAs(1.5nm)/AlSb, natomiast linią ciągłą niebieską - AlSb/InAs(1.4nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(2.4nm)/InAs(1.0nm)/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb(3.3nm)/InAs(1.0nm)/AlSb [H9].

Podobnie optymistyczny rezultat uzyskano dla studni kwantowych typu „W” AlSb/InAs/GaAs<sub>0.2</sub>Sb<sub>0.8</sub>/InAs/AlSb. W obu przypadkach zmiana siły oscylatora jest

kilkukrotnie większa niż dla tradycyjnego obszaru aktywnego z AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb. Wyniki te mogą otworzyć drogę do rozwoju nowej klasy urządzeń opartych o koncepcję międzypasmowych laserów kaskadowych i wykorzystujących pasywną synchronizację modów.

*Mój wkład w powstanie pracy [H9] polegał na pomysśle zastosowania dla asymetrycznej, potrójnej struktury II rodzaju: AlSb/InAs/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb/InAs/Ga<sub>0.65</sub>In<sub>0.35</sub>Sb/InAs/AlSb oraz studni kwantowych typu „W” AlSb/InAs/GaAs<sub>0.2</sub>Sb<sub>0.8</sub>/InAs/AlSb do pasywnej synchronizacji modów, zaplanowaniu odpowiednich obliczeń. Wykonałem obliczenia zależności względnej zmiany kwadratu modułu całki przekrycia oraz energii podstawowego przejścia optycznego w funkcji zewnętrznego pola elektrycznego dla trzech różnych konstrukcji obszaru aktywnego dla międzypasmowego lasera kaskadowego. Dokonałem analizy uzyskanych rezultatów. Brałem udział w interpretacji wyników oraz redakcji manuskryptu pracy. Uczestniczyłem w opracowaniu wniosków końcowych pracy. Mój udział procentowy szacuję na 50 %.*

### 3.4 Podsumowanie

*Badanie wybranych struktur kwantowych związków III-V pod kątem poprawy parametrów pracy półprzewodnikowych emiterów promieniowania podczerwonego opiera się na cyklu 9 artykułów. Poniżej przedstawiam podsumowanie najważniejszych wyników.*

- Wyjaśniono, w jakim stopniu, takie obiekty jak kreski kwantowe można traktować jako niezależne emitery kwantowe, co ma istotne znaczenie praktyczne w przyrządach takich jak lasery czy źródła pojedynczych fotonów w bliskiej podczerwieni – [H1].
- Pokazano, że studnie kwantowe z rozcieńczonych azotków mogą być korzystniejsze do zastosowania, po umieszczeniu ich we wnęce optycznej, w laserach polarytonowych – [H2].
- Wyznaczono nieciągłości krawędzi pasma przewodnictwa oraz masy efektywne elektronów w studniach kwantowych GaAsN/GaAs w zakresie niewielkich zawartości azotu – [H3].
- Zaproponowano oraz przeprowadzono odpowiednie modelowanie struktury pasmowej obszaru aktywnego, oraz dokonano analizy obszarów aktywnych w międzypasmowych laserach kaskadowych pod kątem uzyskania odpowiedniej długości fali emisji i zwiększenia siły oscylatora – [H4-H5].
- Opracowano alternatywny sposób konstrukcji obszarów aktywnych w międzypasmowych laserach kaskadowych poprzez zaproponowanie zwiększenia ilości studni kwantowych – [H6].
- Zaproponowany całkowicie nowy obszar aktywny międzypasmowych laserach kaskadowych z zastosowaniem rozciągająco naprężonej warstwy GaAsSb, co może prowadzić do mniejszej wrażliwości na niedokładność wykonania takiego przyrządu, oraz zwiększenia wartości kwadratu modułu całki przekrycia podstawowego przejścia optycznego w docelowym zakresie średniej podczerwieni – [H7].

- Zaprojektowano po raz pierwszy obszary aktywne stosowane do konstrukcji międzypasmowych laserów kaskadowych wykazujących niezależność polaryzacyjną w funkcji wzmocnienia w zakresie średniej podczerwieni – [H8].
- Zaproponowano nowe rozwiązanie obszarów aktywnych mogące prowadzić do stworzenia nowej klasy urządzeń impulsowych w średniej podczerwieni opartych o koncepcję międzypasmowych laserów kaskadowych i wykorzystujących pasywną synchronizację modów – [H9].

### 3.5 Bibliografia

- [1] Encyklopedia Britannica, *Infrared radiation*, <https://www.britannica.com/science/infrared-radiation>.
- [2] [https://www.rp-photonics.com/infrared\\_light.html](https://www.rp-photonics.com/infrared_light.html); [https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#CIE\\_division\\_scheme](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#CIE_division_scheme).
- [3] J. Byrnes (ed.), *Unexploded Ordnance Detection and Mitigation*, p. 21-22, Springer Science + Business Media B.V. 2009.
- [4] H.L. Hackforth, *Promieniowanie podczerwone*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1963.
- [5] ISO/DIS 21348 Space environment (natural and artificial) - Process for determining solar irradiances ([http://www.spacewx.com/pdf/SET\\_21348\\_2004.pdf](http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf)).
- [6] A. Rogalski, *Infrared Detectors, Second Edition*, CRC PressTaylor & Francis Group, 2011
- [7] G. Tao, H. Ebendorff-Heidepriem, A. M. Stolyarov, S. Danto, J. V. Badding, Y. Fink, J. Ballato, A. F. Abouraddy, *Advances in Optics and Photonics* **7**, 379 (2015).
- [8] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Podczerwień>.
- [9] Ł. Dusanowski, M. Syperek, W. Rudno-Rudziński, P. Mrowiński, G. Sęk, J. Misiewicz, A. Somers, J. P. Reithmaier, S. Höfling, and A. Forchel, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 253113 (2013).
- [10] T. Miyazawa, K. Takemoto, Y. Nambu, S. Miki, T. Yamashita, H. Terai, M. Fujiwara, M. Sasaki, Y. Sakuma, M. Takatsu, T. Yamamoto, and Y. Arakawa, *Appl. Phys. Lett.* **109**, 132106 (2016).
- [11] M. Benyoucef, M. Yacob, J.P. Reithmaier, J. Kettler, and P. Michler, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 162101 (2013).
- [12] A. Fiore, C. Zinoni, B. Alloing, C. Monat, L. Balet, L.H. Li, N. Le Thomas, R. Houdré, L. Lunghi, M. Francardi, A. Gerardino, and G. Patriarche, *J. Phys. Condens. Matter* **19**, 225005 (2007).
- [13] M.B. Ward, M.C. Dean, R.M. Stevenson, A.J. Bennett, D.J.P. Ellis, K. Cooper, I. Farrer, C.A. Nicoll, D.A. Ritchie, and A.J. Shields, *Nat. Commun.* **5**, 3316 (2014).
- [14] D. Gollub, S. Moses, M. Fischer, M. Kamp, and A. Forchel, *Electron. Lett.* **40**, 427 (2004).
- [15] L. Dong, , Ch. Li, N. P. Sanchez, A. K. Gluszek, R. J. Griffin, F. K. Tittel, *Appl. Phys. Lett.* **108**, 011106 (2016).
- [16] T. H. Risby and F. K. Tittel, *Opt. Eng.* **49**, 111123 (2010)
- [17] C. Corsi, *Infrared: A Key Technology for Security Systems, Advances in Optical Technologies*, Article ID 838752 (2012).
- [18] S. Lundqvist, P. Kluczynski, R. Weih, M. von Edlinger, L. Nähle, M. Fischer, A. Bauer, S. Höfling, J. Koeth, *Applied Optics* **51**, 6009 (2012).
- [19] W. Zeller, L. Naehle, P. Fuchs, F. Gerschuetz, L. Hildebrandt, J. Koeth, *Sensors* **10**, 2492 (2010).
- [20] F. K. Tittel, *Photonics Spectra*, 56289 (2014).

- [21] L. S. Rothman, R. R. Gamache, R. H. Tipping, C. P. Rinsland, M. A. H. Smith, D.C. Benner, V.M. Devi, J.M. Flaud, C. Camy-Peyret, A. Perrin, A. Goldman, S.T. Massie, L. R. Brown, R. A. Toth: The HITRAN molecular data base: editions of 1991 and 1992, *J. Quantum Spectrosc. Radiat. Transfer* **48**, 469 (1992).
- [22] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tłumiennosc>.
- [23] M. Taslakov, V. Simeonov, H. van den Bergh, *Proc. SPIE* 6877, 68770F (2008).
- [24] P. Miska, J. Even, C. Platz, B. Salem, T. Benyattou, C. Bru-Chevalier, G. Guillot, G. Bremond, Kh. Moumanis, F. H. Julien, O. Marty, C. Monat, and M. Gendry, *J. Appl. Phys.* **95**, 1074 (2004).
- [25] V. Liverini, L. Nevou, F. Castellano, A. Bismuto, M. Beck, F. Gramm, J. Faist, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 261113 (2012).
- [26] A. Musiał, P. Kaczmarkiewicz, G. Sęk, P. Podemski, P. Machnikowski, J. Misiewicz, S. Hein, S. Höfling, and A. Forchel, *Phys. Rev. B* **85**, 035314 (2012).
- [27] A. Sauerwald, T. Kümmell, G. Bacher, A. Somers, R. Schwertberger, J. P. Reithmaier, and A. Forchel, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 253112 (2005).
- [28] C. Gilfert, E. M. Pavelescu, and J. P. Reithmaier, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 15 (2010).
- [29] J. P. Reithmaier, G. Eisenstein, and A. Forchel, *Proc. IEEE* **95**, 1779 (2007).
- [30] T. Mensing, L. Worschech, Y. Ling, S. Kaiser, R. Schwertberger, J. P. Reithmaier, and A. Forchel, *Phys. Status Solidi C Conf.* **82**, 1161 (2003).
- [31] G. Sęk, P. Podemski, A. Musiał, J. Misiewicz, S. Hein, S. Höfling, and A. Forchel, *J. Appl. Phys.* **105**, 86104 (2009).
- [32] M. Z. M. Khan, T. K. Ng, C.-S. Lee, P. Bhattacharya, and B. S. Ooi, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 091102 (2013).
- [33] K. Klaime, R. Piron, F. Grillot, M. Dontabactouny, S. Loualiche, A. Le Corre, and K. Yvind, *Proc. SPIE* 8634, 863407 (2013).
- [34] F. Lelarge, B. Dagens, J. Renaudier, R. Brenot, A. Accard, F. van Dijk, D. Make, O. Le Gouezigou, J. Provost, and F. Poingt, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **13**, 111 (2007).
- [35] Ł. Dusanowski, M. Syperek, W. Rudno-Rudziński, P. Mrowiński, G. Sęk, J. Misiewicz, A. Somers, J. P. Reithmaier, S. Höfling, A. Forchel, *Applied Physics Letters* **103**, 253113 (2013).
- [36] Ł. Dusanowski, M. Syperek, P. Mrowiński, W. Rudno-Rudziński, J. Misiewicz and G. Sęk, A. Somers, J. P. Reithmaier, S. Höfling and M. Kamp, *Applied Physics Letters* **105**, 021909 (2014).
- [37] P. Mrowiński, A. Musiał, A. Maryński, M. Syperek, J. Misiewicz, A. Somers, J. P. Reithmaier, S. Höfling, G. Sęk, *Applied Physics Letters* **106**, 053114 (2015).
- [38] K. Merghem, R. Rosales, S. Azouigui, A. Akrou, A. Martinez, F. Lelarge, G.-H. Duan, G. Aubin, and A. Ramdane, *Appl. Phys. Lett.* **95**, 131111 (2009).
- [39] V. Liverini, A. Bismuto, L. Nevou, M. Beck, F. Gramm, E. Müller, and J. Faist, *J. Cryst. Growth* **323**, 491 (2011).
- [40] A. Erol, Ed., *Dilute III-V Nitride Semiconductors and Material Systems: Physics and Technology*, 1st ed. Springer 2008.
- [41] M. Henini, *Dilute Nitride Semiconductors*, Elsevier Science 2005.
- [42] M. Kondow, K. Uomi, A. Niwa, T. Kitatani, S. Watahiki, Y. Yazawa, *Japanese Journal of Applied Physics* **35**, 1273 (1996).
- [43] W. Shan, W. Walukiewicz, J. W. Ager, E. E. Haller, J. F. Geisz, D. J. Friedman, J. M. Olson, S. R. Kurtz, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 1221 (1999).
- [44] A. Askitopoulos, L. Mouchliadis, I. Iorsh, G. Christmann, J. J. Baumberg, M. A. Kaliteevski, Z. Hatzopoulos, and P. G. Savvidis, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 076401 (2011).

- [45] R. M. Stevenson, V. N. Astratov, M. S. Skolnick, D. M. Whittaker, M. Emam-Ismael, A. I. Tartakovskii, P. G. Savvidis, J. J. Baumberg, and J. S. Roberts, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3680 (2000).
- [46] G. Malpuech, A. D. Carlo, A. Kavokin, J. J. Baumberg, M. Zamfirescu, and P. Lugli, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 412 (2002).
- [47] A. T. Meney, B. Gonul, E. P. O'Reilly, *Phys. Rev. B* **50**, 10 893 (1994).
- [48] S. Tomić, E. P. O'Reilly, R. Fehse, S. J. Sweeney, A. R. Adams, A. D. Andreev, S. A. Choulis, T. J. C. Hosea, and H. Riechert, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **9**, 1228 (2003).
- [49] M. Grau, C. Lin, O. Dier, C. Lauer, and M. C. Amann, *Appl. Phys. Lett.* **87**, 241104 (2005).
- [50] L. Shterengas, G. Belenky, T. Hosoda, G. Kipshidze and S. Suchalkin, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 011103 (2008).
- [51] K. Vizbaras, M. C. Amann, *Semicond. Sci. Technol.* **27**, 032001 (2012).
- [52] J. Faist, F. Capasso, D. L. Sivco, C. Sirtori, A. L. Hutchinson, A. Y. Cho, *Science* **264**, 553 (1994).
- [53] F. Xie, C. Caneau, H. P. Leblanc, D. P. Caffey, L. C. Hughes, T. Day, Ch-en. Zah, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **19**, 1200407 (2013).
- [54] R. Q. Yang, *Superlattices Microstruct.*, **17**, 77 (1995).
- [55] I. Vurgaftman, W. Bewley, C. Canedy, C. Kim, M. Kim, C. Merritt, J. Abell, J. Lindle, J. Meyer, *Nature Communications* **2**, 585 (2011).
- [56] I. Vurgaftman, W. W. Bewley, Ch. L. Canedy, Ch. S. Kim, M. Kim, J. R. Lindle, Ch. D. Merritt, J. Abell, J. R. Meyer, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **17**, 1435 (2011).
- [57] A. Bauer, K. Rößner, T. Lehnhardt, M. Kamp, S. Höfling, L. Worschech, A. Forchel, *Semicond. Sci. Technol.* **26**, 014032 (2011).
- [58] I. Vurgaftman, R. Weih, M. Kamp, J. R. Meyer, C. L. Canedy, C. S. Kim, M. Kim, W. W. Bewley, C. D. Merritt, J. Abell, S. Höfling, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **48**, 123001 (2015).
- [59] J. Meyer, C. Felix, W. Bewley, I. Vurgaftman, E. Aifer, L. Olafsen, J. Lindle, C. Hoffman, M.-J. Yang, B. Bennett, B. Shanabrook, H. Lee, C.-H. Lin, S. Pei, R. Miles, *Applied Physics Letters* **73**, 2857 (1998).
- [60] W. Bewley, J. Lindle, C. Kim, M. Kim, C. Canedy, I. Vurgaftman, J. Meyer, *Applied Physics Letters* **93**, 041118 (2008).
- [61] I. Vurgaftman, W. W. Bewley, C. L. Canedy, C. S. Kim, M. Kim, C. D. Merritt, J. Abell, J. R. Meyer, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **19**, 1200210 (2013).
- [62] M. Motyka, K. Ryczko, G. Sęk, F. Janiak, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Hofling, A. Forchel, *Optical Materials* **34**, 1107 (2012).
- [63] C. S. Kim, M. Kim, J. Abell, W. W. Bewley, C. D. Merritt, C. L. Canedy, I. Vurgaftman, J. R. Meyer, *Applied Physics Letters* **101**, 061104 (2012).
- [64] E. O. Kane, *J. Phys. Chem. Solids* **1**, 249 (1957).
- [65] S. Ridene, K. Boujdaria, H. Bouchriha, G. Fishman, *Phys. Rev. B* **64**, 085329 (2001).
- [66] G. L. Bir and G. E. Pikus, *Symmetry and Strain-Induced Effects in Semiconductors*, Wiley, New York, (1974).
- [67] J. B. Khurgin, I. Vurgaftman, J. R. Meyer, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 2631 (2002).

## 4. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE

### 4.1 Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Pracę naukową rozpocząłem na czwartym roku studiów na kierunku Fizyka Stosowana w zakresie specjalności Fizyka Ciała Stałego na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w Laboratorium Optycznej Spektroskopii Nanostruktur (LOSN). Zagadnieniem, którym się wówczas zajmowałem był wpływ ekscytonów na przejścia optyczne w półprzewodnikach. Inspiracją do szczegółowego przeanalizowania tego zagadnienia były rezultaty eksperymentalne otrzymane w LOSN. Studia magisterskie ukończyłem w 1996 roku. Tematem mojej pracy magisterskiej był *Wpływ ekscytonów na podstawowe przejście optyczne półprzewodników w obecności zewnętrznego pola elektrycznego*. W październiku 1996 roku podjąłem studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Tematyka mojej pracy naukowej obejmowała obliczanie energii i funkcji falowych stanów związanych w niskowymiarowych strukturach półprzewodnikowych. W tym czasie opracowałem programy komputerowe (wykorzystujące metodę macierzy zszycia) do obliczania energii i funkcji falowych stanów elektronowych oraz dziurowych w prostokątnych studniach kwantowych (wykorzystując jednopasmowy model kp). Następnie zastosowałem swoje programy w celu interpretacji danych eksperymentalnych z spektroskopii fotoodbiciowej użytej do: badania efektu sprzężenia stanów w podwójnej studni kwantowej oraz badania właściwości optycznych sprzężonych studni kwantowych. Kolejnym zadaniem, było teoretyczne opisanie struktury pasmowej i właściwości optycznych heterozłączy  $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$  selektywnie domieszkowanych akceptorami. W obliczeniach uwzględniłem realistyczne parametry struktury (akumulacyjny charakter warstwy ładunku tworzącej się przy złączu) oraz wielociałowe efekty wymiany i korelacji. Struktura pasmowa dziur opisana jest dość skomplikowanym matematycznie modelem (model Luttingera), co wyklucza rozwiązania analityczne i skłania wielu badaczy do nadmiernego upraszczania obliczeń. Wykorzystując czteropasmowy model Luttingera jako podstawowe przybliżenie do opisu stanów dziurowych z pobliża wierzchołka energetycznego pasma walencyjnego półprzewodników III-V z prostą przerwą energetyczną napisałem program komputerowy, który służy do obliczania struktury energetycznej podpasem dziurowych. Przeprowadzone obliczenia miały charakter samouzgodniony. W pracy zaproponowałem model kwazistacjonarnego ekscytonu powierzchniowego. Następnie policzyłem energie i czasy życia takich niestacjonarnych kwazicząstek w heterozłączach typu *p*. Pracę doktorską pt. *Właściwości ekscytonów w modulacyjnie domieszkowanych heterozłączach  $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$  typu *p** obroniłem w 2000 roku z wyróżnieniem. Na mój dorobek naukowy przed uzyskaniem stopnia doktora składa się z 8 artykułów w czasopismach naukowych oraz 3 prac konferencyjnych. Zostały one zestawione w wykazie publikacji. Wyniki moich badań zostały przedstawione w postaci prezentacji plakatowych podczas 3 konferencji naukowych.

#### 4.2 Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Po obronie pracy doktorskiej w 2000 roku zostałem zatrudniony w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, początkowo na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego. Następnie od 2001 roku otrzymałem zatrudnienie na czas nieokreślony na stanowisko adiunkta naukowo-dydaktycznego. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora rozwijałem swój warsztat pracy, który mogłem bezpośrednio weryfikować ze względu na dostęp do danych eksperymentalnych uzyskiwanych w LOSN. Opracowałem metody i programy komputerowe służące do:

- (1) obliczania energii i funkcji falowych dziur w heterostrukturach AlGaAs-GaAs w polu magnetycznym ustawionym równoległym do kierunku wzrostu struktury;
- (2) obliczania g-czynnika w studniach kwantowych o różnej orientacji kierunku wzrostu umieszczonych w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku wzrostu struktury;
- (3) obliczania energii wiązania ekscytonu w pojedynczych oraz podwójnych studniach kwantowych wykonanych z półprzewodników III-V z prostą przerwą;
- (4) obliczania energii i funkcji falowych elektronów i dziur w strukturach wykonanych z półprzewodników III-V z prostą przerwą z azotem;
- (5) obliczania struktury energetycznej nośników ładunku w warstwie zwilżającej (ang. *wetting layer*).

Dzięki temu stała się możliwa analiza właściwości niskowymiarowych struktur półprzewodnikowych:

- *heterostrukture i studnie kwantowe AlGaAs/GaAs – dwuwymiarowy gaz dziurowy*

W strukturach AlGaAs/GaAs otrzymuje się najwyższe ruchliwości gazu zarówno elektronów jak i dziur co świadczy o ich bardzo wysokiej jakości. Dziury związane w układach niskowymiarowych przejawiają bardzo ciekawe właściwości co wynika z faktu, że efektywny spin dziury wynosi  $3/2$  (dziury ciężkie i lekkie) oraz - znacznie silniejszego niż w przypadku pasma przewodnictwa - oddziaływania spin-orbita. W dodatku struktura pasmowa dziur w paśmie walencyjnym jest zdecydowanie bardziej skomplikowana niż elektronów w paśmie przewodnictwa. Strukturę pasma walencyjnego opisuje się dość skomplikowanym matematycznie modelem Luttingera, niemożliwym do rozwiązania analitycznie co skłania wielu badaczy do nadmiernego upraszczania obliczeń. Jednym z ważniejszych rezultatów moich badań było zidentyfikowanie w widmach fotoluminescencji (PL) linii H jako rezultatu rekombinacji wzbudzonego światłem elektronu z dwuwymiarowymi dziurami istniejącymi blisko złącza<sup>1</sup>. Analiza przejść optycznych pasma H, rozszczepionego w polu magnetycznym równoległym do wektora propagacji fali elektromagnetycznej (konfiguracja Faradaya), pozwoliła ujawnić strukturę energetyczną stanów w paśmie walencyjnym. Wyjaśniono również względną intensywność przejść optycznych w sposób zgodny z regułami wyboru, które zostały wyprowadzone dla międzypasmowych przejść optycznych w polu magnetycznym dla obu polaryzacji kołowych. Ważnym rezultatem<sup>2</sup> badań tego typu struktur było wykazanie, że na

<sup>1</sup> M. Kubisa, L. Bryja, K. Ryczko, J. Misiewicz, C. Bardot, M. Potemski, G. Ortner, M. Bayer, A. Forchel, C. Sorensen, *Physical Review B* 67, 035305 (2003).

<sup>2</sup> K. Ryczko, M. Kubisa, L. Bryja, J. Misiewicz, R. Stępniewski, M. Byszewski, M. Potemski, *Physica B: Condensed Matter* 346, 451 (2004).

ogół ignorowana w obliczeniach anizotropia podpasem, dająca w obliczeniach wkład do hamiltonianu Luttingera w polu magnetycznym, ma duży wpływ na właściwości optyczne dziur zarówno w sposób jakościowy oraz ilościowy. Wykazano<sup>3</sup>, że rozszczepienie spinowe najwyższego podpasma dziurowego we wszystkich badanych kierunkach wzrostu tj. [001], [110] oraz [113] zależy od wartości i kierunku wektora falowego oraz jest silnie anizotropowe w odniesieniu do względnej orientacji kierunków wektora falowego i indukcji pola magnetycznego oraz przedstawiono proste narzędzia badawcze do zmiany orientacji spinowej nośników. Kolejnym rezultatem moich badań teoretycznych było przedstawione uzasadnienie nieliniowego rozszczepienia spinowego dziur w funkcji pola magnetycznego<sup>4</sup> dla jednostronnie domieszkowanych na typ  $p$  studni kwantowych, co wynika z mieszania się stanów w paśmie walencyjnym. Ponadto zostało pokazane, że w silnych polach magnetycznych własności ekscytonów ciężkodziurowych są opisywane przez wzbudzone stany landauowskie, które mają charakter lekkodziurowy. Efektem tej pracy było 20 artykułów. W trakcie tych badań współpracowałem z wieloma znanymi ośrodkami naukowymi, m.in. z: Experimentelle Physik 2 Technische Universität Dortmund w Niemczech, Ioffe Physical-Technical Institute, Russian Academy of Sciences w Rosji, Cavendish Laboratory, University of Cambridge w Wielkiej Brytanii, Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, Grenoble we Francji, Instytutem Fizyki PAN w Warszawie w Polsce, Technische Physik, Universität Würzburg w Niemczech, The Niels Bohr Institute, University of Copenhagen w Danii.

- *inne heterostruktury i studnie kwantowe*

Główne rezultaty w tym zakresie badań to: (1) wykazanie, że dodanie niewielkiej ilości azotu (do 5%) znacząco zmienia energię wiązania stanu podstawowego ciężkodziurowego ekscytonu w studni kwantowej typu GaAs-InGaAsN-GaAs<sup>5</sup>; (2) określenie wartości nieciągłości w paśmie przewodnictwa w tej strukturze w układzie materiałów GaNAsSb-GaAs<sup>6</sup> (3) określenie wartości nieciągłości w paśmie przewodnictwa w tej strukturze w układzie materiałów GaInAsSb-AlGaAsSb<sup>7</sup>. Badania nad tego typu strukturami prowadzone były w oparciu o współpracę m.in. z Solid State and Photonics Laboratory, Stanford University z USA, Université Montpellier 2-CNRS z Francji. Efektem tej pracy było 38 publikacji.

- *kropki kwantowe*

Badania dotyczące kropek kwantowych miały na celu: (1) badanie tunelowania nośników pomiędzy studnią a kropką kwantową<sup>8</sup>; (2) analizowanie wpływu realistycznego potencjału ograniczającego nośniki w warstwie zwilżającej na wartość energii podstawowego przejścia

<sup>3</sup> M. Kubisa, K. Ryczko, J. Misiewicz, Physical Review B 83, 195324 (2011).

<sup>4</sup> J. Jadczyk, M. Kubisa, K. Ryczko, L. Bryja, M. Potemski, Physical Review B 86, 245401 (2012).

<sup>5</sup> K. Ryczko, G. Sęk, J. Misiewicz, Solid State Communications 122, 323 (2002).

<sup>6</sup> R. Kudrawiec, K. Ryczko, J. Misiewicz, H. Yuen, S. Bank, M. Wistey, H. Bae, J. Harris, Applied Physics Letters 86, 141908 (2005).

<sup>7</sup> M. Motyka, G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, Journal of Applied Physics 106, 066104 (2009).

<sup>8</sup> W. Rudno-Rudziński, K. Ryczko, G. Sęk, J. Misiewicz, E. Semenova, A. Lemaitre, A. Ramdane, Semiconductor Science and Technology 26, 085004 (2011).



optycznego<sup>9</sup>; (3) analizowanie struktury energetycznej układu sprzężonych kropek kwantowych<sup>10</sup>. Warto podkreślić że powyższe badania były prowadzone razem z takimi ośrodkami jak: CNR-Institute of Photonics and Nanotechnology, Roma we Włoszech, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institute of Quantum Electronics and Photonics, Lausanne w Szwajcarii. W tym temacie zostało wydanych 13 publikacji.

---

<sup>9</sup> G. Sęk, K. Ryczko, M. Motyka, J. Andrzejewski, K. Wysocka, J. Misiewicz, L. Li, A. Fiore, G. Patriarcho, *Journal of Applied Physics* 101, 063539 (2007).

<sup>10</sup> G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, M. Bayer, F. Klopf, J. Reithmaier, A. Forchel, *Solid State Communications* 117, 401 (2001).

## 5. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA

## 5.1 Wykaz publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR

## 5.1.1 Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora niewchodzące w zakres habilitacji

Punkty MNiSW (na rok 2016)	Impact Factor	Autorzy publikacji, tytuł publikacji, nazwa czasopisma, vol., numer (strona), rok, określenie na czym polegał udział w pracy	Procentowy udział w pracy
2016			
20	1,29	M. Dyksik, M. Motyka, M. Kurka, <b>K. Ryczko</b> , M. Dallner, S. Höfling, M. Kamp, G. Sęk, J. Misiewicz, <i>Photoluminescence quenching mechanisms in type II InAs/GaInSb QWs on InAs substrates</i> , <b>Optical and Quantum Electronics</b> 48, 401 (2016). <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne i obliczenia numeryczne.</i>	25%
35	3,736	L. Bryja, J. Jadczyk, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, J. Misiewicz, A. Wójs, F. Liu, D. R. Yakovlev, M. Bayer, C. A. Nicoll, I. Farrer, D. A. Ritchie, <i>Thermal dissociation of free and acceptor-bound positive trions from magnetophotoluminescence studies of high quality GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As quantum wells</i> , <b>Physical Review B</b> 93, 165303 (2016). <i>Udział w pracy: przygotowanie modelu teoretycznego oraz wykonanie obliczeń.</i>	15%
40	3,142	M. Motyka, M. Dyksik, <b>K. Ryczko</b> , R. Weih, M. Dallner, S. Höfling, M. Kamp, G. Sęk, J. Misiewicz, <i>Type-II quantum wells with tensile-strained GaAsSb layers for interband cascade lasers with tailored valence band mixing</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 108, 101905 (2016). <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne i obliczenia numeryczne, dyskusja i interpretacja wyników.</i>	25%
15	0,525	M. Syperek, <b>K. Ryczko</b> , M. Dallner, M. Dyksik, M. Motyka, M. Kamp, S. Höfling, J. Misiewicz, G. Sęk, <i>Room Temperature Carrier Kinetics in the W-type GaInAsSb/InAs/AlSb Quantum Well Structure Emitting in Mid-Infrared Spectral Range</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 130, 1224 (2016). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	15%
2015			
35	3,736	M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , I. Bisotto, C. Chaubet, A. Raymond, W. Zawadzki, <i>Conduction electrons localized by charged magnetoacceptors A<sup>2-</sup> in GaAs/GaAlAs quantum wells</i> , <b>Physical Review B</b> 92, 035409 (2015). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	20%
20	1,29	F. Janiak, M. Dyksik, M. Motyka, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, K. Kosiel, and M. Bugajski, <i>Advanced optical characterization of AlGaAs/GaAs superlattices for active regions in quantum cascade lasers</i> , <b>Optical and Quantum Electronics</b> 47, 945 (2015). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	15%
30	2,584	M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Dyksik, R. Weih, G. Patriarche, J. Misiewicz, M. Kamp, S. Höfling, <i>Interface Intermixing in Type II InAs/GaInAsSb Quantum Wells Designed for Active Regions of Mid-Infrared-Emitting Interband Cascade Lasers</i> , <b>Nanoscale Research Letters</b> 10:471 (2015). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i interpretacja wyników.</i>	15%
25	2,117	<b>K. Ryczko</b> , T. Liszka, <i>Tailoring the effect of electric field in type II W-design InAs/GaInSb quantum well structures for emission up to 12 μm</i> , <b>Superlattices and Microstructures</b> 78, 144 (2015).	85%

		<i>Udział w pracy: zaproponowanie konstrukcji obszaru aktywnego dla międzypasmowych laserów kaskadowych, następnie napisanie stosownego oprogramowania, wykonanie obliczeń, analiza i dyskusja wyników i napisanie manuskryptu.</i>	
2014			
40	3,302	J. JadczaK, L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, A. Wójs, M. Potemski, F. Liu, D. Yakovlev, M. Bayer, C. Nicoll, I. Farrer, D. Ritchie, <i>High magnetic field studies of charged exciton localization in GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As quantum wells</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 105, 112104 (2014). <i>Udział w pracy: zaplanowanie a następnie wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	18%
15	0,53	<b>K. Ryczko</b> , <i>Crystal orientation dependence of the fundamental optical transition in type-II W-design quantum well structures</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 126, 1149 (2014). <i>Udział w pracy: zaproponowaniu nowego podejścia do konstruowania obszaru aktywnego stosowanego do międzypasmowego lasera kaskadowego, zaplanowanie odpowiednich obliczeń, wykonanie obliczeń, analiza i interpretacja wyników oraz napisaniu manuskryptu.</i>	100%
2013			
30	2,185	F. Janiak, M. Motyka, G. Sęk, M. Dyksik, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, R. Weih, S. Höfling, M. Kamp, G. Patriarche, <i>Effect of arsenic on the optical properties of GaSb-based type II quantum wells with quaternary GaInAsSb layers</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 114, 223510 (2013). <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, analiza wyników i dyskusja rezultatów.</i>	12%
15	0,604	<b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, <i>Lateral Coupling within the Ensemble of InAs/InGaAlAs/InP Quantum Dashes</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 124, 805 (2013). <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników i częściowa redakcja manuskryptu.</i>	75%
15	0,604	M. Pieczarka, P. Podemski, A. Musiał, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, F. Langer, S. Höfling, M. Kamp, A. Forchel, <i>GaAs-Based Quantum Well Exciton-Polaritons beyond 1 μm</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 124, 817 (2013). <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne i analiza wyników.</i>	8%
15	0,643	A. Mika, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Kozub, A. Musiał, A. Maryński, J. Misiewicz, F. Langer, S. Höfling, T. Appel, M. Kamp, A. Forchel, <i>Oscillator strength of optical transitions in InGaAsN/GaAsN/GaAs quantum wells</i> , <b>Optica Applicata</b> 43, 53 (2013). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	22%
2012			
35	3,767	J. JadczaK, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , L. Bryja, M. Potemski, <i>High magnetic field spin splitting of excitons in asymmetric GaAs quantum wells</i> , <b>Physical Review B</b> 86, 245401 (2012). <i>Udział w pracy: opracowanie podstaw teoretycznych analizowanego modelu, wykonanie obliczeń, analiza rezultatów, opracowaniu wniosków końcowych pracy.</i>	24%
40	3,794	F. Janiak, G. Sęk, M. Motyka, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, M. Kamp, A. Forchel, <i>Increasing the optical transition oscillator strength in GaSb-based type II quantum wells</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 100, 231908 (2012). <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, dyskusja rezultatów.</i>	18%
2011			
35	3,691	M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, <i>Nonlinear Zeeman Splitting of Holes in Doped GaAs Heterostructures</i> , <b>Physical Review B</b> 83, 195324 (2011) <i>Udział w pracy: opracowanie podstaw teoretycznych analizowanego modelu, wykonanie obliczeń, analiza rezultatów.</i>	40%

15	0,444	P. Sitarek, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, D. Reuter, A. Wieck, <i>Optical Transitions between Confined and Unconfined States in p-Type Asymmetric GaAs/InGaAs/AlGaAs QW Structures</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 120, 849 (2011) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	20%
30	2,023	G. Sęk, F. Janiak, M. Motyka, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, A. Forchel, <i>Carrier loss mechanisms in type II quantum wells for the active region of GaSb-based mid-infrared interband cascade lasers</i> , <b>Optical Materials</b> 33, 1817 (2011) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
20	0,966	M. Motyka, F. Janiak, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, A. Bauer, R. Weih, S. Höfling, M. Kamp, A. Forchel, <i>Above GaSb barrier in type II quantum well structures for mid-infrared emission detected by Fourier-transformed modulated reflectivity</i> , <b>Opto-electronics Review</b> 19, 137 (2011) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
15	0,444	M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , J. Jadczyk, L. Bryja, J. Misiewicz, M. Potemski, <i>Nonlinear Zeeman Splitting of Holes in Doped GaAs Heterostructures</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 119, 609 (2011) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i interpretacja rezultatów.</i>	20%
20	1,058	<b>K. Ryczko</b> , G. Sek, M. Motyka, F. Janiak, M. Kubisa, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, <i>Effect of Annealing-Induced Interdiffusion on the Electronic Structure of Mid Infrared Emitting GaInAsSb/AlGaInAsSb Quantum Wells</i> , <b>Japanese Journal of Applied Physics</b> 50, 031202 (2011) <i>Udział w pracy: propozycja modelu teoretycznego, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników i udział w redakcji manuskryptu.</i>	30%
30	1,723	W. Rudno-Rudziński, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, E. Semenova, A. Lemaitre, A. Ramdane, <i>Carrier wavefunction control in a dilute nitride-based quantum well-a quantum dot tunnel injection system for 1.3 μm emission</i> , <b>Semiconductor Science and Technology</b> 26, 085004 (2011) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%
2010			
20	1,018	G. Sęk, M. Motyka, <b>K. Ryczko</b> , F. Janiak, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, <i>Band offsets and photoluminescence thermal quenching in mid-infrared emitting GaInAsSb quantum wells with quinary AlGaInAsSb barriers</i> , <b>Japanese Journal of Applied Physics</b> 49, 031202 (2010). <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń oraz dyskusja rezultatów.</i>	
2009			
30	2,072	M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, <i>Optical transitions and band gap discontinuities of GaInAsSb/AlGaAsSb quantum wells emitting in the 3 μm range determined by modulation spectroscopy</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 106, 066104 (2009). <i>Udział w pracy: wybór odpowiedniego modelu obliczeń, napisanie stosownego oprogramowanie, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowanie wniosków końcowych pracy, udział w redakcji manuskryptu.</i>	35%
30	1,253	G. Sęk, J. Andrzejewski, <b>K. Ryczko</b> , P. Poloczek, J. Misiewicz, E. Semenova, A. Lemaitre, G. Patriarche, A. Ramdane, <i>Electronic structure properties of the In(Ga)As/GaAs quantum dot-quantum well tunnel-injection system</i> , <b>Semiconductor Science and Technology</b> 24, 085011 (2009) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń oraz analiza rezultatów.</i>	15%
40	3,554	M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, T. Lehnhardt, S. Höfling, A. Forchel, <i>Optical properties of GaSb-based type II quantum wells as the active region of</i>	20%

		<i>midinfrared interband cascade lasers for gas sensing applications</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 95, 251901 (2009) <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	
15	0,358	W. Rudno-Rudziński, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, M. Syperek, J. Misiewicz, E.-M. Pavelescu, C. Gilfert, J. Reithmaier, <i>Optical methods used to optimise semiconductor laser structures with tunnel injection from quantum well to InGaAs/GaAs quantum dots</i> , <b>Optica Applicata</b> 39, 923 (2009) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	20%
40	3,554	A. Bauer, F. Langer, M. Dallner, M. Kamp, M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, S. Höfling, A. Forchel, <i>Emission wavelength tuning of interband cascade lasers in the 3-4 <math>\mu\text{m}</math> spectral range</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 95, 251103 (2009) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
15	0,358	M. Motyka, G. Sęk, F. Janiak, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, <i>Photoreflectance study of <math>\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}/\text{GaAs}</math> superlattice: optical transitions at the miniband <math>\Gamma</math> and <math>\Pi</math> points</i> , <b>Optica Applicata</b> 39, 897 (2009) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
40	3,554	W. Rudno-Rudziński, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Syperek, J. Misiewicz, E. Semenova, A. Lemaitre, A. Ramdane, <i>Room temperature free carrier tunneling in dilute nitride based quantum well - quantum dot tunnel injection system for 1.3 <math>\mu\text{m}</math></i> , <b>Applied Physics Letters</b> 94, 171906 (2009) <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	15%
25	1,228	W. Rudno-Rudziński, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Syperek, J. Misiewicz, E. Semenova, A. Lemaitre, A. Ramdane, <i>Optical properties and energy transfer in InGaAsN quantum well - InAs quantum dots tunnel injection structures for 1.3 <math>\mu\text{m}</math> emission</i> , <b>Physica Status Solidi (A)</b> 206, 826 (2009) <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	15%
2008			
40	3,726	P. Podemski, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, S. Hein, S. Höfling, A. Forchel, G. Patriarche, <i>Columnar quantum dashes for an active region in polarization independent semiconductor optical amplifiers at 1.55 <math>\mu\text{m}</math></i> , <b>Applied Physics Letters</b> 93, 171910 (2008) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń oraz analiza rezultatów.</i>	12%
2007			
35	3,172	W. Zawadzki, S. Bonifacie, S. Juillaguet, C. Chaubet, A. Raymond, Y. Meziani, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , <i>Nonlinear dependence of the magnetophotoluminescence energies of asymmetric GaAs/Ga<sub>0.67</sub>Al<sub>0.33</sub>As quantum wells on an external magnetic field</i> , <b>Physical Review B</b> 75, 245319 (2007) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
40	3,596	M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Andrzejewski, J. Misiewicz, L. Li, A. Fiore, G. Patriarche, <i>Optical and electronic properties of GaAs-based structures with columnar quantum dots</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 90, 181933 (2007) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
15	0,647	L. Bryja, A. Wójs, <b>K. Ryczko</b> , K. Wójcik, J. Misiewicz, M. Potemski, D. Reuter, A. Wieck, <i>Anderson-Fano transitions in photoluminescence of a two dimensional electron gas</i> , <b>International Journal of Modern Physics B</b> 21, 1429 (2007) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	15%
30	2,171	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Motyka, J. Andrzejewski, K. Wysocka, J. Misiewicz, L. Li, A. Fiore, G. Patriarche, <i>Wetting layer states of InAs/GaAs self-assembled quantum dot structures: Effect of intermixing and capping layer</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 101, 063539 (2007) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%

2006			
30	2,316	G. Sęk, P. Poloczek, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Löfner, J. Reithmaier, A. Forchel, <i>Photoreflectance determination of the wetting layer thickness in the <math>In_xGa_{1-x}As/GaAs</math> quantum dot system for a broad indium content range of 0.3-1</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 100, 103529 (2006) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	15%
15	0,371	L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , A. Wójs, J. Misiewicz, M. Potemski, <i>Skymions in a hole gas with large spin gap and strong disorder</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 110, 163 (2006) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%
2005			
25	1,489	W. Rudno-Rudziński, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, M. Da Silva, and A. Quivy, <i>Photoreflectance study of energy level structure of self-assembled <math>InAs/GaAs</math> quantum dots emitting at 1.3 <math>\mu m</math></i> , <b>Solid State Communications</b> 135, 232 (2005) <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	25%
30	2,498	R. Kudrawiec, H. Yuen, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, S. Bank, M. Wistey, H. Bae, J. Harris, <i>Photoreflectance and photoluminescence investigations of a step-like <math>GaInNAsSb/GaAsN/GaAs</math> quantum well tailored at 1.5 <math>\mu m</math>: The energy level structure and the Stokes shift</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 97, 053515 (2005) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	15%
40	4,127	R. Kudrawiec, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, H. Yuen, S. Bank, M. Wistey, H. Bae, J. Harris, <i>Band-gap discontinuity in <math>GaN_{0.02}As_{0.87}Sb_{0.11}/GaAs</math> single-quantum wells investigated by photoreflectance spectroscopy</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 86, 141908 (2005) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%
25	0,702	<b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, <i>The influence of interdiffusion on the binding energy of excitons in <math>In_xGa_{1-x}N_yAs_{1-y}/GaAs</math> quantum wells</i> , <b>Superlattices and Microstructures</b> 37, 273 (2005) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowanie wniosków końcowych pracy, częściowe napisanie manuskryptu.</i>	60%
2004			
30	2,049	J. Misiewicz, R. Kudrawiec, <b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, A. Forchel, J. Harmand, M. Hammar, <i>Photoreflectance investigations of the energy level structure in <math>GaInNAs</math>-based quantum wells</i> , <b>Journal of Physics Condensed Matter</b> 16, 31 (2004) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%
40	4,308	R. Kudrawiec, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, J. Harmand, <i>Photoreflectance investigations of oscillator strength and broadening of optical transitions for <math>GaAsSb-GaInAs/GaAs</math> bilayer quantum wells</i> , <b>Applied Physics Letters</b> 84, 3453 (2004) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowanie wniosków końcowych pracy.</i>	20%
20	0,679	<b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, L. Bryja, J. Misiewicz, R. Stępniewski, M. Byszewski, M. Potemski, <i>Hole subbands and Landau levels in p-type single <math>Al_xGa_{1-x}As/GaAs</math> heterostructures</i> , <b>Physica B: Condensed Matter</b> 346, 451 (2004) <i>Udział w pracy: wybór odpowiedniego modelu teoretycznego, napisanie stosownego oprogramowania, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowanie wniosków końcowych pracy oraz udział w redakcji manuskryptu.</i>	60%
20	0,679	L. Bryja, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, R. Stępniewski, M. Byszewski, M. Potemski, D. Reuter, A. Wieck, <i>Magnetic-field-induced excitons in photoluminescence from heavily doped p-type <math>Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs</math> single heterojunction</i> , <b>Physica B: Condensed Matter</b> 346, 442 (2004) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	15%

30	1,647	R. Kudrawiec, G. Sęk, P. Sitarek, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, T. Wang, A. Forchel, <i>Three beam photoreflectance as a powerful method to investigate semiconductor heterostructures</i> , <b>Thin Solid Films</b> 450, 71 (2004) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
2003			
30	1,117	J. Misiewicz, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , <i>Photoreflectance spectroscopy of quantum dots</i> , <b>Current Applied Physics</b> 3, 417 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
30	1,715	R. Kudrawiec, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Forchel, <i>Infrared photoreflectance spectroscopy of AlGaAsSb-, InGaSb-based quantum wells</i> , <b>Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology</b> 102, 331 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
25	1,602	R. Kudrawiec, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, P. Sundgren, C. Asplund, M. Hammar, <i>The nature of optical transitions in Ga<sub>0.64</sub>In<sub>0.36</sub>As<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>/GaAs single quantum wells with low nitrogen content (<math>x \leq 0.008</math>)</i> , <b>Solid State Communications</b> 127, 613 (2003) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	10%
30	2,171	J. Derluyn, I. Moerman, M. Leys, G. Patriarche, G. Sęk, R. Kudrawiec, W. Rudno-Rudziński, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, <i>Control of nitrogen incorporation in Ga(In)NAs grown by metalorganic vapor phase epitaxy</i> , <b>Journal of Applied Physics</b> 94, 2752 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja rezultatów.</i>	10%
20	0,652	R. Kudrawiec, L. Bryja, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Forchel, <i>Optical properties of an In<sub>0.22</sub>Ga<sub>0.78</sub>Sb/GaSb single quantum well</i> , <b>Crystal Research and Technology</b> 38, 399 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
20	0,565	J. Misiewicz, G. Sęk, R. Kudrawiec, <b>K. Ryczko</b> , D. Gollub, J. Reithmaier, A. Forchel, <i>Photomodulation spectroscopy applied to low-dimensional semiconductor structures</i> , <b>Microelectronics Journal</b> 34, 351 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	15%
20	0,565	J. Misiewicz, P. Sitarek, <b>K. Ryczko</b> , R. Kudrawiec, M. Fischer, M. Reinhardt, A. Forchel, <i>Influence of nitrogen on carrier localization in InGaAsN/GaAs single quantum wells</i> , <b>Microelectronics Journal</b> 34, 737 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	20%
25	0,930	R. Kudrawiec, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , W. Rudno-Rudziński, J. Misiewicz, J. Wójcik, B. Robinson, D. Thompson, P. Mascher, <i>Photoreflectance study of the interdiffusion effects in the InGaAsP-based quantum well laser structures</i> , <b>Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures</b> 17, 602 (2003) <i>Udział w pracy: propozycja modelu, wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	20%
25	0,930	L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, J. Misiewicz, G. Ortner, A. Kress, M. Bayer, A. Forchel, C. Sorensen, <i>Magneto-optical studies of 2D hole Landau levels and screening of donor states in p-type modulation doped Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>As/GaAs interfaces</i> , <b>Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures</b> 17, 260 (2003) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	30%
25	1,008	P. Sitarek, K. Ryczko, G. Sęk, J. Misiewicz, M. Fischer, M. Reinhardt, A. Forchel, <i>Optical investigations of InGaAsN/GaAs single quantum well structures</i> , <b>Solid-State Electronics</b> 47, 489 (2003) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	25%
35	2,962	M. Kubisa, L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, C. Bardot, M. Potemski, G. Ortner, M. Bayer, A. Forchel, C. Sorensen, <i>Photoluminescence investigations of two-dimensional hole Landau levels in p-type single Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/GaAs heterostructures</i> , <b>Physical Review B</b> 67, 035305 (2003) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	25%

2002			
25	0,876	<b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, <i>Exciton binding energy in a double quantum well: effect of the barrier shift</i> , <b>Superlattices and Microstructures</b> 32, 73 (2002) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowanie wniosków końcowych pracy, częściowe napisanie manuskryptu.</i>	70%
25	0,876	R. Kudrawiec, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Forchel, <i>Infrared photomodulation spectroscopy of an <math>In_{0.22}Ga_{0.78}Sb/GaSb</math> single quantum well</i> , <b>Superlattices and Microstructures</b> 32, 19 (2002) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	20%
25	1,671	<b>K. Ryczko</b> , G. Sęk, J. Misiewicz, <i>Effect of nitrogen on the exciton binding energy in <math>Ga_xIn_{1-x}N_yAs_{1-y}/GaAs</math> quantum well</i> , <b>Solid State Communications</b> 122, 323 (2002) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów, opracowaniu wniosków końcowych pracy oraz udział w redakcji manuskryptu.</i>	70%
25	2,180	M. Utko, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , L. Bryja, J. Misiewicz, M. Bayer, J. Koeth, and A. Forchel, <i>Optical investigations of the above barrier state transitions in <math>GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As</math> double quantum wells</i> , <b>Materials Science and Engineering C</b> 19, 167 (2002) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
25	1,671	L. Bryja, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Larionov, M. Bayer, A. Forchel, C. Sorensen, <i>Impurity-related emission in the photoluminescence from p-type modulation doped <math>Al_{1-x}Ga_xAs/GaAs</math> heterostructures</i> , <b>Solid State Communications</b> 122, 379 (2002) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja wyników.</i>	15%
2001			
15	0,475	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Bayer, T. Wang, A. Forchel, <i>Influence of built-in electric field on forbidden transitions in <math>In_xGa_{1-x}As/GaAs</math> double quantum well by three-beam photoreflectance</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 100, 417 (2001) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	20%
30	1,266	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Fischer, M. Reinhardt, A. Forchel, <i>Photoreflectance spectroscopy of <math>InGaAsN/GaAs</math> quantum wells grown by MBE</i> , <b>Thin Solid Films</b> 392, 150 (2001) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, analiza i dyskusja wyników, częściowa redakcja manuskryptu.</i>	30%
25	1,381	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Bayer, F. Klopff, J. Reithmaier, A. Forchel, <i>Photoreflectance spectroscopy of vertically coupled <math>InGaAs/GaAs</math> double quantum dots</i> , <b>Solid State Communications</b> 117, 401 (2001) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	30%

## 5.1.2 Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

Punkty MNiSW (na rok 2016)	Impact Factor	Autorzy publikacji, tytuł publikacji, nazwa czasopisma, vol., numer (strona), rok, określenie na czym polegał udział w pracy	Procentowy udział w pracy
2000			
30	1,160	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Fischer, M. Reinhardt, A. Forchel, <i>Photoreflectance spectroscopy of <math>InGaAsN/GaAs</math> quantum wells grown by MBE</i> , <b>Thin Solid Films</b> 380, 240 (2000) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	30%
30	1,160	L. Bryja, O. Stern, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , M. Bayer, J. Misiewicz, A. Forchel, O. Hansen, <i>Excited states of two-dimensional hole gas at the <math>Al_{0.5}Ga_{0.5}As/GaAs</math> interface</i> , <b>Thin Solid Films</b> 380, 142 (2000)	12%



		<i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	
25	0,544	M. Ciorga, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , L. Bryja, J. Misiewicz, O. Hansen, <i>Observation of excitons formed by the holes confined at the Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As/GaAs interface</i> , <b>Microelectronic Engineering</b> 51, 235 (2000) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, analiza rezultatów.</i>	15%
1999			
20	1,611	G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, J. Misiewicz, J. Koeth, A. Forchel, <i>Photoreflectance study of coupling effects in double quantum wells</i> , <b>Opto-electronics Review</b> 7, 117 (1999) <i>Udział w pracy: modelowanie teoretyczne, wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	35%
15	0,351	W. Salejda, M. Tyc, J. Andrzejewski, M. Kubisa, J. Misiewicz, M. Just, <b>K. Ryczko</b> , <i>New numerical matrix methods of solving the quasi-one-dimensional effective-mass equation</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 95, 881 (1999) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	10%
25	1,428	G. Sęk, J. Misiewicz, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, F. Heinrichsdorff, O. Stier, D. Bimberg, <i>Room temperature photoreflectance of MOCVD-grown InAs GaAs quantum dots</i> , <b>Solid State Communications</b> 110, 657 (1999) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
1998			
15	0,344	W. Salejda, M. Kubisa, J. Misiewicz, <b>K. Ryczko</b> , M. Tyc, <i>Landauer conductance of generalized Fibonacci-type semiconductor superlattices</i> , <b>Acta Physica Polonica A</b> 94, 514 (1998) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	20%

## 5.2 Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR

### 5.2.1 Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora

Autorzy publikacji, tytuł publikacji, nazwa czasopisma, vol., numer (strona), rok, określenie na czym polegał udział w pracy	Procentowy udział w pracy
F. Janiak, M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Dyksik, J. Misiewicz, R. Weih, S. Höfling, M. Kamp, <i>Optical characterization of type II quantum wells for long-wavelength mid-infrared interband cascade lasers</i> , <b>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</b> 9134, 91340V (2014) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	10%
G. Sęk, M. Motyka, F. Janiak, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, A. Bauer, M. Dallner, R. Weih, S. Höfling, A. Forchel, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, <i>Recent advances in GaSb-based structures for mid-infrared emitting lasers: spectroscopic study</i> , <b>Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering</b> 8631, 86312O (2013) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, dyskusja rezultatów.</i>	10%
F. Janiak, M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, <i>Optyczne właściwości supersieci GaAs/AlGaAs badane za pomocą spektroskopii modulacyjnej</i> , <b>Elektronika</b> 10, 46 (2011) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	8%
A. Bauer, M. Dallner, M. Kamp, S. Höfling, L. Worschech, A. Forchel, L. Nähle, P. Fuchs, M. Fischer, J. Koeth, M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, <i>Interband Cascade Lasers for Wavelength Specific Applications in the 3-4 μm Spectral Range</i> , <b>Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference: 2010 Laser Science to Photonic Applications, CLEO/QELS 2010</b> , 5500589 (2010) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń, analiza rezultatów.</i>	5%
A. Bauer, F. Langer, S. Höfling, A. Forchel, M. Motyka, G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, <i>Emission Wavelength Tuning in Interband Cascade Laser Devices in the 3-4 μm Wavelength Range</i> , <b>Conference Proceedings - Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting-LEOS</b> 666 (2009)	5%

<i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	
L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , A. Wójs, J. Misiewicz, M. Potemski, <i>Quantum Hall skyrmions in a hole gas with large spin gap and strong disorder</i> , <b>AIP Conference Proceedings</b> 893, 671 (2007) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	25%
G. Sęk, M. Motyka, <b>K. Ryczko</b> , J. Andrzejewski, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, F. Lelarge, B. Rousseau, G. Patriarche, <i>Modulation spectroscopy characterization of InAs/GaInAsP/InP quantum dash laser structures</i> , <b>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</b> 6481, 64810D (2007) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	20%
H. Yuen, R. Kudrawiec, <b>K. Ryczko</b> , S. Bank, M. Wistey, H. Bae, J. Misiewicz, J. Harris Jr., <i>Investigation of GaNAsSb/GaAs and GaInNAsSb/GaNAs/GaAs band offsets</i> , <b>Materials Research Society Symposium Proceedings</b> 864, 105 (2005) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
L. Bryja, M. Kubisa, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Kneip, M. Bayer, R. Stępniewski, M. Byszewski, M. Potemski, D. Reuter, A. Wieck, <i>Investigations of interface excitons at p-type GaAlAs/GaAs single heterojunctions in continuous wave and time resolved magneto photoluminescence experiments</i> , <b>AIP Conference Proceedings</b> 772, 1158 (2005) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja wyników.</i>	20%
G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Bayer, F. Klopff, J. Reithmaier, A. Forchel, <i>Coupled In<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As/GaAs quantum dots: a photoreflectance study</i> , <b>Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering</b> 4413, 139 (2001) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń.</i>	15%
L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, J. Misiewicz, O. Stern, M. Bayer, A. Forchel, C. Sorensen, <i>Excitons at the p-type modulation doped Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As/GaAs interface</i> , <b>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</b> 4413, 16 (2001) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i analiza rezultatów.</i>	15%
G. Sęk, M. Nowaczyk, L. Bryja, <b>K. Ryczko</b> , J. Misiewicz, M. Bayer, F. Koeth, A. Forchel, <i>Magneto-photo reflectance of the above barrier state transitions in GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As double quantum wells</i> , <b>Proceedings of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors PTS I and II</b> 87, 569 (2001) <i>Udział w pracy: wykonanie obliczeń i dyskusja rezultatów.</i>	10%

## 5.2.2 Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

Autorzy publikacji, tytuł publikacji, nazwa czasopisma, vol., numer (strona), rok, określenie na czym polegał udział w pracy	Procentowy udział w pracy
G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Ciorga, L. Bryja, M. Kubisa, J. Misiewicz, M. Bayer, J. Koeth, A. Forchel, <i>Optical investigation of coupled GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As double quantum wells separated by AlAs barriers</i> , <b>Optical Properties of Semiconductor Nanostructures Book Series: Nato Science Series, Partnership Sub-Series 3: High Technology</b> 81, 91 (2000) <i>Udział w pracy: modelowanie numeryczne i dyskusja wyników.</i>	20%
M. Ciorga, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, L. Bryja, J. Misiewicz, O. Hansen, <i>Excitons in the two-dimensional hole gas at the Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As/GaAs interface</i> , <b>Optical Properties of Semiconductor Nanostructures Book Series: Nato Science Series, Partnership Sub-Series 3: High Technology</b> 81, 173 (2000) <i>Udział w pracy: modelowanie numeryczne.</i>	35%
G. Sęk, <b>K. Ryczko</b> , M. Kubisa, J. Misiewicz, J. Koeth, A. Forchel, <i>Photoreflectance study of coupling effects in double quantum wells</i> , <b>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</b> 3725, 201 (1999) <i>Udział w pracy: modelowanie numeryczne i analiza rezultatów.</i>	35%

## 5.3 Udział w projektach badawczych

Tytuł projektu, okres zatrudnienia, numer projektu	Charakter prac
Projekt w ramach programu ramowego Unii Europejskiej Horyzont 2020 „ <i>iCspec – In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control</i> ”, 01.04.2015 - 31.03.2018, H2020-SPIRE-2014	Główny wykonawca
Projekt Narodowego Centrum Nauki (Opus8) „ <i>Zbadanie struktury energetycznej oraz dynamiki nośników ładunków półprzewodnikowych typu drugiego promieniowania z zakresu 3-10 mikrometrów</i> ”, 01.11.2015-30.09.2017, Nr NO0364: UMO-2014/15/B/ST7/04663	Wykonawca
Projekt w ramach 7 programu ramowego Unii Europejskiej „ <i>WideLase – Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security</i> ”, 01.09.2012-31.08.2015, Nr 318798	Główny wykonawca
Projekt w ramach programu DFG „ <i>Emitery promieniowania podczerwonego wykorzystujące efekt polarytonowy przeznaczone do zastosowań w telekomunikacji światłowodowej</i> ”, 01.11.2013-27.08.2014, 15.07.2014-27.08.2014, Nr 390154	Wykonawca
Projekt w ramach 7 programu ramowego Unii Europejskiej „ <i>SensHy – Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers</i> ”, 01.03.2008-31.08.2011, Nr 223998	Główny wykonawca
Grant własny Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „ <i>Badania własności optycznych struktur tunelowych typu studnia – kropka kwantowa pod kątem zastosowań w laserach telekomunikacyjnych</i> ”, 2010-2012, Nr N N515 518338	Wykonawca
Projekt w ramach 6 programu ramowego Unii Europejskiej „ <i>ZODIAC – Zero order dimension based industrial components applied to telecommunications</i> ”, 2005-2008, Nr FP6/017140	Wykonawca
Grant Komitetu Badań Naukowych „ <i>Badania optyczne półprzewodnikowych kropek kwantowych przy użyciu metod modulacyjnych i technik wysokiej rozdzielczości przestrzennej</i> ”, 2005-2007, Nr PB Nr 1 P03 B04829	Wykonawca
Projekt w ramach 5 programu ramowego Unii Europejskiej „ <i>GIFT – GaAs-based emitters for fibre-optical data and telecommunications</i> ”, 01.01.2000 - 30.04.2003, Nr IST-1999-12700	Wykonawca

## 5.4 Zaproszone wykłady, referaty i seminaria

- *Optymalizacja obszaru aktywnego międzypasmowego lasera kaskadowego – XVI Krajowa Konferencja Elektroniki, Darłówko Wschodnie, 2017.*
- *Zwiększenie wydajności międzypasmowych laserów kaskadowych – Seminarium Fizyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2017.*
- *On the way to improved performance interband cascade lasers: theoretical considerations – XIII Seminarium Powierzchnia i Struktury Cienkwarstwowe SemPiSC, Szklarska Poręba, 2015.*
- *On modified type II quantum well systems for improved performance interband cascade lasers, 7 Krajowa Konferencja Nanotechnologii, Poznań, 2015.*
- *Novel design of type-II „W” quantum wells for mid-IR emission with tensile – strained GaAsSb layer for confinement of hole, The 3rd International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing (MIRSENS3), Würzburg, 2015.*

## 5.5 Udział w konferencjach

- 46<sup>th</sup> International School and Conference on the Physics of Semiconductors “Jaszowiec 2017”, Szczyrk, Poland, June 17<sup>th</sup>-23<sup>th</sup>, 2017,  
*Towards polarization-independent interband cascade lasers in the mid-infrared.*
- 45<sup>th</sup> “Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Szczyrk, Poland, June 18<sup>th</sup>-24<sup>th</sup>, 2016,  
*Designing the active region of mode-locked interband cascade lasers.*
- 44<sup>th</sup> “Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Wisła, Poland, June 20<sup>th</sup>-25<sup>th</sup>, 2015,  
*Type-II “W” quantum wells for mid-IR emission with tensile – strained GaAsSb layer for confinement of hole.*
- 43<sup>th</sup> “Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Wisła, Poland, June 7<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2014,  
*Crystal orientation dependence of the  $e1-hh1$  fundamental transition in type II W-design quantum well structures.*
- 42<sup>th</sup> “Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Wisła, Poland, June 22<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2013,  
*GaSb-based W-shaped type II quantum wells for a broad range of mid infrared emission in interband cascade lasers,  
Lateral coupling within the ensemble of InAs/InGaAlAs/InP quantum dashes.*
- 20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20) and 16th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-16), Wrocław, 1.07-5.07.2013,  
*Engineering of type II quantum wells for a broad range of mid infrared emission in interband cascade lasers,  
On the importance of in plane coupling within the ensemble of InAs/InGaAlAs/InP quantum dashes.*
- 39<sup>th</sup> “Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, Krynica Zdrój, Poland, June 19<sup>th</sup>-July 24<sup>th</sup>, 2010,  
*Strong enhancement of hole g-factor in doped two dimensional GaAs structures.*
- EMRS – Fall Meeting, Warszawa, Poland, September 17-21, 2007,  
*The nature of carrier confinement in quantum dashes of different shapes cross-section.*
- International Conference EP2DS-MSS, Genova, 15-20 July 2007,  
*The nature of carrier confinement in InAs quantum dashes grown on InP of shapes like triangular cross-section.*
- 28th International Conference on the Physics of Semiconductors - ICPS 2006 (Vienna, Austria, 24-28 July 2006),  
*Quantum Hall skyrmions in a hole gas with large spin gap and strong disorder.*
- Research in High Magnetic Fields, Tuluza (Francja, 2003),  
*Hole subbands and Landau levels in p-type single  $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$  heterostructures.*
- XXXII International School on the Physics of Semiconducting Compounds "Jaszowiec 2003" May 30 - June 6, 2003,  
*Magnetic field induced excitons and positively charged excitons in photoluminescence from heavily modulation doped p-type  $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$  single heterojunction,  
Photoluminescence and photoreflectance of GaInAsN/GaAs quantum wells with step-like barriers.*

- XXXI International School on the Physics of Semiconducting Compounds "Jaszowiec 2002" June 7-14, 2002,  
*Observation of 2D Hole Landau Level Dispersion and Screened Magnetodonor States in the Photoluminescence from p-Type Modulation Doped GaAlAs/GaAs Interfaces.*
- XXX International School on the Physics of Semiconducting Compounds "Jaszowiec 2001" June 1-8, 2000,  
*Investigations of the Above Barrier State Transitions in GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As Double Quantum Wells by Photoluminescence Excitation and Photoreflectance Spectroscopies in Magnetic Field.*
- XXIX International School on the Physics of Semiconducting Compounds "Jaszowiec 2000", June 2-9, 2000, Ustron-Jaszowiec, Poland,  
*The Study of Quasistationary Surface Excitons at the Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As/GaAs Interface,  
Spectroscopic Studies of Above Barrier State Transitions in GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As Double Quantum Wells.*

## 6. WSPÓŁPRACA MIĘDZYNARODOWA I KRAJOWA

- Technische Physik, University of Würzburg & Wilhelm-Conrad-Röntgen-Research Center for Complex Material Systems, Am Hubland, D-97074 Würzburg, Niemcy
- Firma Nanoplus, Würzburg, Niemcy
- Institut d'Electronique du Sud, Université Montpellier 2-CNRS, UMR 5214, Place Eugene Bataillon, F- 34095 Montpellier Cedex 5, France
- Experimentelle Physik 2, Technische Universität Dortmund, Niemcy
- Ioffe Physical-Technical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Rosja
- Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, CNRS-UJF-UPS-INSA, Grenoble we Francji
- Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge, CB3 0HE w Wielkiej Brytanii
- The Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Universitetsparken 5, DK-2100 Copenhagen, Dania
- Department of Microelectronics and Information Technology, Royal Institute of Technology (KTH) Electrum 229, S-16440 Kista, Szwecja
- Firma Airoptic, Poznań, Polska
- Instytut Fizyki, PAN w Warszawie, Polska

## 7. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

### 7.1 Zajęcia dla studentów

Zajęcia dydaktyczne z przedmiotów:

- przygotowanie i przeprowadzenie trzysemestralnego kursu fizyki *Fizyka F1, F2, F3* dla studentów kierunku *Fizyka Techniczna* i *Optyka* na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki – wykład i ćwiczenia w roku akademicki 2015/16 i 2016/17
- *Fizyka ogólna* dla studentów Wydziałów Budownictwa i Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej – wykład, ćwiczenia, laboratorium od roku akademickiego 2006/07
- *Fizyka ogólna* dla studentów Wydziałów (Mechaniczno-Energetycznego, Informatyki, Elektroniki, Elektroniki Fotoniki i Mikrosystemów, Elektrycznego) Politechniki Wrocławskiej – ćwiczenia, laboratorium
- *Mechanika kwantowa* – ćwiczenia
- *Fizyka Ciała Stałego* – ćwiczenia
- *Podstawy analizy danych – Origin* – laboratorium komputerowe od roku akademickiego 2014/15
- *Zajęcia z fizyki dla obcokrajowców* – od roku akademickiego 2012/13

### 7.2 Opieka naukowa nad studentami

- Promotor 3 prac magisterskich i 1 pracy inżynierskiej

### 7.3 Udział w pracach nad programami studiów

- Członek Komisji Programowej dla kierunku studiów: *Fizyka Techniczna* prowadzonych na studiach I i II stopnia – KADENCJA 2012-2016
- Członek Komisji Programowej dla kierunku studiów: *Fizyka Techniczna* prowadzonych na studiach I i II stopnia – KADENCJA 2016-2020

### 7.4 Popularyzacja nauki

- Wykłady z fizyki dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych z rejonu Dolnego Śląska, Wielkopolski oraz Opolszczyzny, w ramach szerokiego programu kształcenia młodzieży przez Politechnikę Wrocławską – STUDIUM TALENT w roku akademicki 2014/15 i 2016/17.
- Wielokrotnie prowadzone zajęcia w laboratorium z uczniami z gimnazjów oraz liceów.
- Wykład w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki 2013.

### 7.5 Autorstwo podręczników dla studentów

Współautor skryptu: *MATTER – RADIATION INTERACTION Theory of Condensed Matter II* dla studentów z Wydziałów WPPT oraz WEMiF.

## 8. DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA

### 8.1 Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych

- *GaAs based lasers for the 1.3-1.5 $\mu$ m wavelength range*, 24.04-26.04.2003 – sekretarz
- *Canadian-Polish Symposium on Nanospintronics*, 13.10.2005 – sekretarz
- *The International Workshop on Quantum Dots and Laser Applications (IWQDLA 2007)*, 12.10-14.07.2007, sekretarz
- *International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing*, 06.05-08.05.2010 – sekretarz
- *International workshop on high speed semiconductor lasers*, 07.10-08.10.2010, sekretarz
- *International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing*, 07.10-08.10.2010, sekretarz
- *20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20) and 16th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-16)*, 01.07-05.07.2013 – sekretarz
- *The 3rd International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing (mirsens3)*, 05.03-07.03.2015 – sekretarz
- *The 4rd International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing (mirsens4)*, 15.05-17.05.2017 – sekretarz

### 8.2 Członkostwo w organach kolegialnych uczelni oraz sprawowane funkcje

- Członek Rady Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej – KADENCJA 2008-2012
- Członek Wydziałowego Kolegium Elektorów Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej – 2016.
- Członek Rady Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej – KADENCJE 2012-2016 i 2016-2020
- Pełnomocnik Dziekana ds. dydaktyki fizyki Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej od 2016 roku
- Opiekun I roku studiów studentów Fizyki Technicznej Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej od 2016 roku

### 8.3 Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych

- Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego

### 8.4 Recenzowanie artykułów w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Do obecnej chwili byłem recenzentem ponad 20 prac w czasopismach naukowych takich jak:

- (a) Applied Physics Letters
- (b) Journal of Applied Physics
- (c) Physica Status Solidi B



- (d) Superlattices and Microstructures
- (e) Solid State Communications
- (f) Optica Applicata
- (g) Materials Chemistry and Physics

#### 8.5 Pozostała działalność

- Sekretarz Seminarium Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej – KADENCJA 2000-2002 oraz 2008-2014
- Sekretarz Seminarium Fizyki Politechniki Wrocławskiej – KADENCJA 2014-2016
- Sekretarz Seminarium Zaawansowane Metody Badania Półprzewodników – KADENCJA 2008-2016
- Opieka nad stroną internetową [www.osn.if.pwr.edu.pl](http://www.osn.if.pwr.edu.pl)

## 9. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni – 2016
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni – 2015
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni – 2013
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni – 2003
- Medal Brązowy za długoletnią służbę 2013

Krzysztof Ryduch