

Katedra Fizyki Doświadczalnej
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechniki Wrocławskiej

Marcin Motyka

Autoreferat

Przygotowany do celów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Wrocław 2017

Marcin Motyka

Dokumentacja zawiera:

1. Dane personalne	str.3
2. Podsumowanie dorobku naukowego	
2.1. Charakterystyka dorobku naukowego.....	str.4
3. Przebieg dotychczasowej pracy badawczej	
3.1. Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora.....	str.4
3.2. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora.....	str.6
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego 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.).	
4.1. Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	str.10
4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.....	str.10
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników.....	str.11
4.4. Podsumowanie.....	str.23
5. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt 4) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych.	
5.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)	
5.1.1 Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora.....	str.24
5.1.2 Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora.....	str.27
5.2. Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujących się w bazie JCR	
5.2.1 Publikacje pokonferencyjne po uzyskaniu stopnia doktora.....	str.30
5.2.2. Publikacje pokonferencyjne przed uzyskaniem stopnia doktora.....	str.31
5.3. Kierowanie i udział w projektach badawczych.....	str.32
5.4. Nagrody za działalność naukową.....	str.33
5.5. Zaproszone referaty i seminaria.....	str.33
5.6. Wygłoszone referaty na konferencjach naukowych.....	str.34
6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta.	
6.1. Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych.....	str.36
6.2. Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych.....	str.36
6.3. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki.....	str.36
6.4. Opieka naukowa nad studentami.....	str.36
6.5. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego.....	str.37
6.6. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich..	str.37
6.7. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie.....	str.37
6.8. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych...	str.37
6.9. Współpraca międzynarodowa i krajowa.....	str.38

I. Dane personalne

Imię i nazwisko Marcin Motyka
Data i miejsce urodzenia 26.01.1980, Ząbkowice Śląskie, Polska

Przebieg kariery zawodowej:

1999 - 2004 Studia na Politechnice Wrocławskiej,
Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Fizyka.
2003 Mgr inż. fizyki (Fizyka Ciała Stałego). Tytuł pracy magisterskiej: „*Optyczne właściwości studni kwantowych InGaAs/GaAs z niejednorodnościami w płaszczyźnie studni*”.
Promotor: Prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz
2004 - 2008 Studia doktoranckie na Politechnice Wrocławskiej, Instytut Fizyki
2006 - 2008 Zatrudnienie na stanowisku Samodzielny fizyk, w ramach Europejskiego projektu 'ZODIAC' (*Zero order dimension based industrial components applied to telecommunicationss*).
2008 Doktor nauk fizycznych. Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Zastosowanie spektroskopii elektromodulacyjnej do badania struktur półprzewodnikowych na bazie azotku galu*”. Promotor: Inż. dr inż. inż. Jan Misiewicz
2008 - 2009 Asystent naukowo-dydaktyczny na Politechnice Wrocławskiej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Instytut Fizyki.
2009 - 2012 Zatrudnienie w ramach Europejskiego projektu 'SensHy' (*Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers*).
2009 - 2014 Adiunkt na Politechnice Wrocławskiej,
Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Instytut Fizyki
Od 2014 Adiunkt na Politechnice Wrocławskiej,
Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Katedra Fizyki Doświadczalnej
2012 - 2015 Zatrudnienie w ramach Europejskiego projektu 'Widelase' (*Monolithic widely tunable interband cascade lasers for safety and security*)
Od 2015 Zatrudnienie w ramach Europejskiego projektu 'iCspec' (*In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control*)

Prowadzone badania:

Optyczna spektroskopia półprzewodników oraz niskowymiarowych struktur półprzewodnikowych jak kropki i studnie kwantowe.
Modernizacja obszarów aktywnych laserów półprzewodnikowych emitujących w zakresie średniej podczerwieni.

Dane kontaktowe:

e-mail Marcin.Motyka@pwr.edu.pl
tel. +48 71 3202596
Adres: Politechnika Wroclawska,
Ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

II. Podsumowanie dorobku naukowego

Dane bibliometryczne na dzień 14.01.2017 (wg. Web of Science)

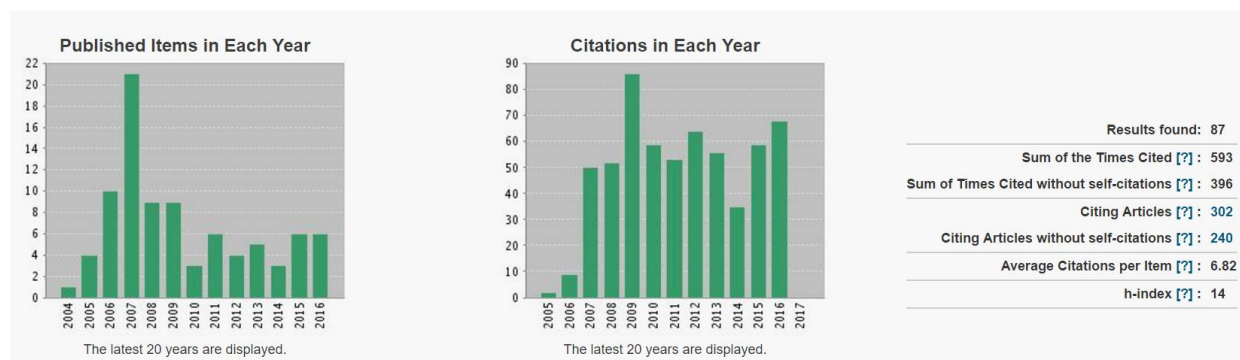
Liczba publikacji w czasopismach z listy filadelfijskiej **87**

Sumaryczny Impact Factor publikacji **~150**

Indeks Hirsha **14**

Liczba cytowań artykułów **593**

Liczba cytowań bez autocytaowań **396**



2.1 Charakterystyka dorobku naukowego

Najczęściej wybierane czasopisma:

Applied Physics Letters (IF=3.15, punkty MNiSW=40) - 17 artykułów

Journal of Applied Physics (IF=2.1, punkty MNiSW=30) - 17 artykułów

Physica status solidi A (IF=1.45, punkty MNiSW=25) - 5 artykułów

Journal of Physics D: Applied physics (IF=2.7, punkty MNiSW=35) - 3 artykuły

3. Przebieg dotychczasowej pracy badawczej.

3.1 Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora.

Pracę badawczą w zespole Optycznej Spektroskopii Nanostruktur pod kierunkiem prof. Jana Misiewicza rozpocząłem pod koniec trzeciego roku studiów na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej, na kierunku Fizyka, specjalności Fizyka Ciała Stałego. Przedmiotem moich badań było zastosowanie spektroskopowych technik optycznych, takich jak foteodobicie, elektroodobicie i fotoluminescencja, do pomiarów właściwości struktur wykorzystywanych do konstrukcji laserów telekomunikacyjnych opartych na półprzewodnikowych strukturach niskowymiarowych.

Pierwsze przeprowadzone badania zakończyły się obroną pracy magisterskiej pt. „*Optyczne właściwości studni kwantowych InGaAs/GaAs z niejednorodnościami w płaszczyźnie studni*”. Badania te były wykonywane we współpracy z McMaster University (Kanada) a ich wyniki zawarte zostały w pracy opublikowanej w Journal of Applied Physics pt. *'Probing the indium clustering in InGaAs/GaAs quantum wells by room temperature contactless electroreflectance and photoluminescence spectroscopy'*¹.

Studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, rozpocząłem także pod opieką prof. Jana Misiewicza w 2004 roku. Pierwszy etap studiów doktoranckich poświęcony był kontynuacji badań dotyczących struktur laserowych oraz rozwojowi technik spektroskopowych. Rozwój spektroskopii modulacyjnej był prowadzony dwutorowo, po pierwsze przez wprowadzone usprawnienia w eksperymencie bezkontaktowego elektroodbicia, a po drugie poprzez zrealizowane liczne pomiary mające na celu zrozumienie mechanizmów modulacji wewnętrznego- wbudowanego pola elektrycznego w badanych strukturach półprzewodnikowych. Przeprowadzone doświadczenia zrealizowane w funkcji długości fali i mocy pobudzania wiązki laserowej pozwoliły zrozumieć mechanizmy modulacji w eksperymencie fotoodbicia², które powiązano z generacją nośników na między powierzchniach. W przypadku bezkontaktowego elektro odbicia wykazano znacznie mniejszą głębokość próbkowania (modulacji) w stosunku do eksperymentów fotoodbiciowych wywołane między innymi efektami ekranowania zewnętrznego pola elektrycznego przez nadmiarowe nośniki w badanych strukturach półprzewodnikowych³. Z drugiej strony pokazano, iż mniejsza głębokość próbkowania pozwala wyeliminować efekt tzw. "oscylacji podprzerwowych" często obserwowanych w widmach fotoodbiciowych uniemożliwiających poprawną analizę danych. Wyciągnięte wnioski pozwoliły w dalszych badaniach stosować oba eksperymenty w zależności od stopnia skomplikowania i rodzaju badanych struktur półprzewodnikowych.

W latach 2006-2008 brałem udział w projektach, które dotyczyły badania struktur obszarów aktywnych laserów przeznaczonych na zakres tzw. drugiego i trzeciego okna telekomunikacyjnego (1.3- 1.55 μm). Celem było zbadanie- określenie właściwości emisyjnych, i absorpcyjnych odpowiednio zaprojektowanych układów zespołów kropek kwantowych materiałów grupy III-V. Zbadano, między innymi, naturę przejść optycznych tzw. kolumnowych kropek kwantowych InGaAs/GaAs⁴ oraz strukturę energetyczną skwantowanych poziomów i procesy ucieczki nośników z kropek kwantowych InAsN umieszczonych w studni kwantowej GaInAsN/GaAs⁵.

Równocześnie prowadziłem badania struktur wykorzystujących azotek galu (GaN). Prace te doprowadziły do złożenia w 2008 rozprawy doktorskiej pt. „*Zastosowanie spektroskopii elektromodulacyjnej do badania struktur półprzewodnikowych na bazie azotku galu*” i jej obrony z wyróżnieniem. Zawarte w pracy badania dotyczyły studni kwantowych AlInN/GaInN,

¹ M. Motyka, G. Sęk, R. Kudrawiec, P. Sitarek, and J. Misiewicz, J. Wójcik, B.J. Robinson, D.A. Thompson and P. Mascher, Journal of Applied Physics 101, 116107 (2007)

² M. Motyka, G. Sęk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, B. Alloing, L. H. Li, A. Fiore, Journal of Applied Physics 100, 073502 (2006)

³ M. Motyka, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, Physica Status Solidi A 204, 354-363 (2007)

⁴ M. Motyka, G. Sęk, K. Ryczko, J. Andrzejewski, J. Misiewicz, L. H. Li, A. Fiore, G. Patriarcho, Applied Physics Letters 90, 181933 (2007)

⁵ M. Motyka, R. Kudrawiec, G. Sęk, J. Misiewicz, D. Bisping, B. Marquardt, A. Forchel, M. Fischer, Applied Physics Letters 90, 221112 (2007)

ważnych z punktu widzenia wytwarzania laserów telekomunikacyjnych, wykorzystujących przejścia wewnątrzpodpasmostwo⁶, oraz heterostruktur AlGaIn/GaN, istotnych z punktu widzenia konstrukcji tranzystorów polowych o dużej mocy. Do najważniejszych rezultatów zaliczyć można określenie wpływu przykrycia dielektrycznego na kształt potencjału powierzchniowego⁷; wykazanie efektu ekranowania pola przez tzw. dwuwymiarowy gaz elektronowy⁸; oraz możliwości powstawania powierzchniowej studni kwantowej w heterostrukturach AlGaIn/GaN⁹. Wspomniane badania wykonywane były we współpracy z ośrodkami międzynarodowymi IMEC (Belgia); Würzburg University (Niemcy), oraz ośrodkami krajowymi takimi jak Instytut Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie oraz Wydziałem Elektroniki i Mikrosystemów (WEMiF) Politechniki Wrocławskiej.

Na podstawie wyników prezentowanych w mojej pracy doktorskiej oraz badań prowadzonych równolegle, zostałem autorem lub współautorem 40 prac w czasopiśmie takich jak: *Applied Physics Letters*, *Journal of physics D*, *Semiconductor Science and Technology*. Dwa z nich zostały wybrane do prestiżowego czasopisma elektronicznego *Virtual Science and Technology*. Ponadto w trakcie trwania studiów doktoranckich wygłosiłem 10 prezentacji dotyczących prowadzonych przeze mnie badań.

W czasie trwania studiów doktoranckich brałem udział europejskim projekcie badawczym pt. „Zero wymiarowe, przemysłowe komponenty do zastosowań telekomunikacyjnych” (ang. *Zero Order Dimension based Industrial components Applied to teleCommunication*), realizowanym w ramach szóstego ramowego programu Unii Europejskiej. Byłem także wykonawcą w dwóch krajowych projektach Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego tj. Projekt badawczy nr. **N202 410933**, „Wpływ wbudowanych pól elektrycznych na reguły wyboru przejść międzypasmowych oraz wewnątrzpodpasmostwo w polarnych studniach kwantowych Ga(In)N/Al(In)N” oraz **N515 07431/3896**, „Zastosowanie bezkontaktowego elektroodbicia oraz fotoodbicia do badania struktur półprzewodnikowych na zakres bliskiej i średniej podczerwieni”. W ostatnim roku studiów doktoranckich (2008) otrzymałem wrocławskie stypendium im. Maxa Borna oraz zostałem stypendystą Fundacji Na Rzecz Nauki Polskiej otrzymując stypendium START dla młodych naukowców.

3.2. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora

Po obronie doktoratu, 1 października 2008 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego a rok później na stanowisku Adiunkta w Instytucie Fizyki, Politechniki Wrocławskiej. Wówczas zacząłem realizację nowej tematyki badawczej związanej z „optyczną detekcją w średniej podczerwieni”, którą zajmuję się do dnia dzisiejszego. Prowadzone badania realizowane w ramach licznych krajowych i europejskich projektów

⁶ M. Motyka, R. Kudrawiec, G. Cywiński, M. Siekacz, and C. Skierbiszewski, *Applied Physics Letters* 89, 251908 (2006)

⁷ Kudrawiec, B. Paszkiewicz, M. Motyka, J. Misiewicz, J. Derluyn, A. Lorenz, K. Cheng, J. Das, and M. Germain, *Journal of Applied Physics* 104, 096108 (2008)

⁸ M. Motyka, R. Kudrawiec, M. Syperek J. Misiewicz, M. Rudziński, P.R. Hageman, P.K. Larsen, *Thin Solid Films*, 515, 4662-4665 (2007)

⁹ M. Motyka, M. Syperek, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, M. Rudziński, P. R. Hageman, and P. K. Larsen, *Applied Physics Letters* 89, 231912 (2006)

badawczych mających na celu wytworzenie urządzeń takich jak lasery i detektory półprzewodnikowe wykorzystywane do konstrukcji optycznych czujników gazów. Ten obszar nauki wpisuje się w wiodące nurty we współczesnej fizyce ciała stałego, będąc niezwykle istotnym z punktu widzenia wielu dziedzin życia, takich jak medycyna czy ochrona środowiska. W tych konkretnych przykładach, optyczne czujniki wykorzystuje się np. do monitoringu substancji szkodliwych oraz diagnostyki chorób poprzez optyczną analizę wydychanego powietrza. Niemniej jednak, wytwarzanie takich czujników wymaga zaawansowanych narzędzi analitycznych, pozwalających z jednej strony szukać nowych rozwiązań materiałowych, z drugiej strony, poprzez zgłębienie wiedzy o właściwościach optycznych materiałów składowych, poprawiać parametry pracy finalnych urządzeń.

Pierwszym krokiem po doktoracie było stworzenie stanowiska pomiarowego pozwalającego na realizację efektywnych badań we wspomnianym obszarze spektralnym. Prowadzenie klasycznych badań spektroskopowych realizowanych z wykorzystaniem soczewek i siatek dyfrakcyjnych w obszarze fal dłuższych niż 3 μ m jest bardzo trudne ze względu na takie czynniki jak: i) absorpcja światła przez cząsteczki gazów zawartych w powietrzu, ii) absorpcja światła elementów optycznych (np. soczewek), iii) wymóg "odcięcia" wyższych rzędów dyfrakcji (konieczność stosowania filtrów), iv) niższa czułość detektorów w porównaniu do detektorów używanych w zakresie bliskiej podczerwieni. Wszystkie te czynniki powodują, iż realizacja eksperymentów takich jak fotoluminescencja oraz fotoodbicie w obszarze średniej i długofalowej podczerwieni jest trudna a nawet niemożliwa. Nowatorskim rozwiązaniem eliminującym większość wspomnianych utrudnień było uruchomienie stanowiska pomiarowego wykorzystującego próżniowy spektrometr fourierowski¹⁰. Takie rozwiązanie stworzyło możliwość prowadzenia badań wymagających wysokiej czułości spektralnej a także przestrzeń do uruchomienia nowych eksperymentów takich jak np. szybka spektroskopia różnicowa¹¹. Eksperyment ten, realizowany przy użyciu opcji szybkiego skanu (ang. rapid scan), pozwala na znaczną redukcję czasu akwizycji widm optycznych, przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiego stosunku sygnału do szumu. Wykazano między innymi, iż w porównaniu do pomiarów wykonywanych w konwencjonalnym układzie z monochromatorem, czas pomiaru został zredukowany z zakresu kilku godzin do zakresu pojedynczych minut¹².

Dzięki uruchomionemu stanowisku pomiarowemu możliwe stały się badania wielu typów materiałów półprzewodnikowych dostarczanych przez różne ośrodki krajowe i zagraniczne takich jak np.:

-Supersieci AlGaAs/GaAs

[Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa]

Wzrost MBE: Aplikacje: optoelektronika, Kwantowe Lasery Kaskadowe

Za pomocą pomiarów fotoodbiciowych popartych obliczeniami struktury energetycznej skwantowanych poziomów, przeprowadzono optyczną weryfikację parametrów wzrostu testowych supersieci AlGaAs/GaAs o różnych grubościach zarówno warstw GaAs jak i AlGaAs.

¹⁰ M. Motyka, G. Sęk, J. Misiewicz, A. Bauer, M. Dallner, S. Höfling, and A. Forchel, Applied Physics Express 2, 126505 (2009)

¹¹ M. Motyka, G. Sęk, F. Janiak, J. Misiewicz, K. Kłos, J. Piotrowski, Measurement Science and Technology 22, 125601 (2011)

¹² M. Motyka and J. Misiewicz, Applied Physics Express 3, 112401 (2010)

Bazując na analizie przejść optycznych zmierzonych zarówno dla punktów Γ jak i Π w sieci Brillouina wykazano kilkuprocentową rozbieżność grubości warstw w stosunku do założonego planu¹³. Drugie podejście to optyczna weryfikacja przejść wewnątrzpodpasmych dla supersieci imitujących schemat finalnych obszarów aktywnych dla kwantowych laserów kaskadowych. W takim ujęciu odległości między poziomami, pomiędzy którymi ma wystąpić laserowanie jest weryfikowana bezpośrednio przez pomiar fotoluminescencji w obszarze przejść wewnątrzpodpasmych.¹⁴ Warto podkreślić, iż wspomniane badania były realizowane na próbkach wytworzonych w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie, a obecnie są dalej kontynuowane dla supersieci przeznaczonych do misji w zakresie terahercowym¹⁵.

-Supersieci InAs/GaSb

[Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa]

Wzrost MBE: Aplikacje: optoelektronika, Detektory podczerwieni

Badania supersieci InAs/GaSb prowadzono w ramach kierowanego przeze mnie projektu (Narodowego Centrum Nauki) pt. „*Optyczne właściwości półprzewodnikowych struktur nisko wymiarowych badane przy pomocy Fourierowskiej spektroskopii w podczerwieni*”. Prowadzone eksperymenty skupiły się głównie na pomiarach fotoluminescencyjnych serii próbek o różnych grubościach warstw. Do najważniejszych rezultatów trzeba zaliczyć wykrycie sygnału fotoluminescencyjnego o energii (140meV) mniejszej niż wartość podstawowego przejścia optycznego dla supersieci 10 monowarstw/10 monowarstw¹⁶. Przeprowadzone dalsze badania pozwoliły określić naturę tego sygnału i powiązać go z obecnością stanów pułapkowych w badanych supersieciach¹⁷. To bardzo cenna informacja, gdyż obecność takich stanów może wpływać na procesy tunelowania nośników przez te stany a w konsekwencji negatywnie zwiększać prądy ciemne w detektorach z obszarem aktywnym opartym na takich supersieciach.

-Studnie kwantowe InGaAsSb/Al(In)GaAsSb

[Uniwersytet Montpellier 2-CNRS, Montpellier, Francja]

Wzrost MBE: Aplikacje: optoelektronika, Lasery półprzewodnikowe

Celem prowadzonych wspólnie z Uniwersytetem w Montpellier badań była optyczna charakteryzacja obszarów aktywnych laserów wykorzystujących studnie kwantowe typu I. Badania te w konsekwencji miały doprowadzić do wytworzenie źródła laserowego emitującego falę 3.4 um, które to można by było wykorzystać do optycznej detekcji metanu. Jednym z

¹³ M. Motyka, F. Janiak, J. Misiewicz, M. Wasiak, K. Kosiel, M. Bugajski, Opto-Electronic Review 19, 151–154 (2011)

¹⁴ F. Janiak, M. Dyksik, M. Motyka, J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, Optical and Quantum Electronics 47, 945–952 (2015)

¹⁵ M. Dyksik, M. Motyka, W. Rudno-Rudziński, G. Sęk, J. Misiewicz, D. Pucicki, K. Kosiel, I. Sankowska, J. Kubacka-Traczyk and M. Bugajski, Journal of Infrared, Terahertz and Millimeters Waves, DOI 10.1007/s10762-016-0259-8

¹⁶ J. Wróbel, E. Plis, W. Gawron, M. Motyka, P. Martyniuk, P. Madejczyk, A. Kowalewski, M. Dyksik, J. Misiewicz, S. Krishna and A. Rogalski, Sensors and Materials 26, 235-244 (2014)

¹⁷ J. Wróbel, Ł. Ciura, M. Motyka, F. Szmulowicz, A. Kolek, A. Kowalewski, P. Moszczyński, M. Dyksik, P. Madejczyk, S. Krishna and A. Rogalski, Semiconductor Science and Technology 30, 115004 (2015)

rozważanych obszarów aktywnych były studnie kwantowe InGaAsSb/AlGaAsSb. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły na wyznaczenie tzw. nieciągłości pasm dla tego typu studni kwantowych a w konsekwencji na wykazanie ograniczeń przestrajalności długości fali emisji tego układu materiałowego¹⁸. Prowadzone w kolejnych latach badania wykazały, iż dopiero wprowadzenie piątego pierwiastka do bariery w układzie materiałowym InGaAsSb/Al(In)GaAsSb pozwala na otrzymanie emisji w pożądanym zakresie 3-4 μm przy jednoczesnym utrzymaniu nieciągłości pasm pozwalającej na dobre związanie dziur w potencjale wiążącym. Ponadto przy pomocy pomiarów temperaturowo zależnej fotoluminescencji wyznaczono główne mechanizmy gaszenia sygnału fotoluminescencyjnego polegające na delokalizacji ekscytronów w temperaturach niższych niż 100K oraz ucieczkę nośników poprzez stany wzbudzone dla temperatur wyższych niż 100K¹⁹.

-Studnie kwantowe typu II AlSb/InAs/InGa(As)Sb/InAs/AlSb.

[Wurzburg University, Niemcy]

Wzrost: MBE **Aplikacje:** optoelektronika, Międzypasmowe lasery kaskadowe

Badanie nad tego typu obiektami niskowymiarowymi realizowane są w ramach wieloletniej współpracy z Uniwersytetem w Wurzburgu, gdzie omawiane studnie kwantowe drugiego rodzaju są wytwarzane metodą MBE (ang. Molecular Beam Epitaxy). Badania w tym zakresie są prowadzone zarówno w aspekcie optymalizacji parametrów wzrostu (wliczając w to poprawę jednorodności fali emisji²⁰) jak i modernizacji obszarów aktywnych w urządzeniach laserowych wykorzystujących ten typ studni kwantowych²¹. Warto podkreślić, iż badania prowadzone były i nadal są w ramach trzech projektów Unii Europejskiej. Prowadzone eksperymenty miały na celu optymalizację parametrów pracy międzypasmowych laserów kaskadowych przeznaczonych do optycznej detekcji takich gazów jak, metan, formaldehyd czy metanol.

-Heterozłącza InAs/GaInAsSb .

[IOFFE Institute, Sankt Petersburg, Rosja]

Wzrost: LPE: **Aplikacje:** Lasery złączone

Tego rodzaju heterozłącza wykorzystują także układ materiałowy drugiego typu jak wspomniane wcześniej studnie kwantowe InAs/InGa(As)Sb. Badania tych struktur wynikają ze stosunkowo niedawno nawiązanej współpracy z Instytutem w IOFFE, skoncentrowanych na wyznaczeniu energii oddziaływania spin orbita dla warstw InGaSAsSb osadzanych metodą LPE (ang. Liquid Phase Epitaxy) na podłożu z arsenku indu. Pozyskane informacje na temat relacji energii przerwy wzbronionej i energii oddziaływania spin orbita mają na celu dostarczenie informacji o możliwości minimalizacji wpływu procesów Augera i w konsekwencji podniesienie temperatury

¹⁸ M. Motyka , G. Sęk, K. Ryczko , J. Misiewicz , S. Belahsene , G. Boissier, Y. Rouillard, Journal of Applied Physics 106, 066104 (2009)

¹⁹ G. Sęk, M. Motyka, K. Ryczko, F. Janiak, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, and Y. Rouillard, Japanese Journal of Applied Physics 49, 031202 (2010)

²⁰ M. Dyksik, M. Motyka, G. Sęk, J. Misiewicz, M. Dallner, R. Weih, M. Kamp, S. Höfling, Nanoscale Research Letters 10:402 (2015)

²¹ M. Motyka, K. Ryczko, G. Sek, F. Janiak, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, A. Forchel, Optical Materials 34, 1107–1111 (2012)

pracy laserów złączowych wykorzystujących ten układ materiałowy²². Więcej informacji zostanie przedstawione w następnym rozdziale, gdyż badania nad układami wykorzystującymi nieciągłość pasm typu drugiego stanowią zasadniczą część przewodu habilitacyjnego.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego 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.).

4.1. Jako osiągnięcie naukowe zgodnie z powyższą ustawą, wskazuję **jednotematyczny cykl publikacji** pt. *"Optyczne właściwości obszarów aktywnych laserów półprzewodnikowych na zakres średniej podczerwieni, wykorzystujących struktury z nieciągłością pasm typu drugiego"*.

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

Przedstawiony cykl 10 jednotematycznych publikacji z zakresu współczesnej fizyki doświadczalnej w szczególności dotyczących optycznych badań półprzewodnikowych struktur niskowymiarowych, wykorzystywanych, jako obszary aktywne laserów na zakres średniej podczerwieni.

Cykl **10** publikacji stanowiący rozprawę habilitacyjną w raz z informacją o współczynniku wpływu (z roku publikacji) i najnowszą punktacją ministerialną.

- A1. **M. Motyka**, G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, T. Lehnhardt, S. Höfling, and A. Forchel, '*Optical properties of GaSb-based type II quantum wells as the active region of mid infrared interband cascade lasers for gas sensing applications*', **Applied Physics Letters** 94, 251901 (2009) [Impact Factor = 3.6, Lista MNiSW=35]
- A2. **M. Motyka**, G. Sęk, J. Misiewicz, A. Bauer, M. Dallner, S. Höfling, and A. Forchel, '*Fourier transformed photoreflectance and photoluminescence of mid infrared GaSb-based type II quantum wells*', **Applied Physics Express** 2, 126505 (2009) [Impact Factor = 2.2, Lista MNiSW=30]
- A3. **M. Motyka** and J. Misiewicz, '*Fast Differential Reflectance Spectroscopy of Semiconductor Structures for Infrared Applications by Using Fourier Transform Spectrometer*', **Applied Physics Express** 3, 112401 (2010) [Impact Factor = 2.8, Lista MNiSW=30]
- A4. **M. Motyka**, K. Ryczko, M. Dyksik, G. Sek, 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 = 2.0, Lista MNiSW=30]
- A5. F. Janiak, G. Sek, **M. Motyka**, K. Ryczko, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, M. Kamp, and A. Forchel, '*Increasing the optical transition oscillator strength in GaSb-based type II quantum wells*', **Applied Physics Letters** 100, 231908 (2012) [Impact Factor = 3.8, Lista MNiSW=35]

²² M. Motyka, F. Janiak, G. Sęk, J. Misiewicz, K.D. Moiseev, Applied Physics Letters 100, 211906 (2012)

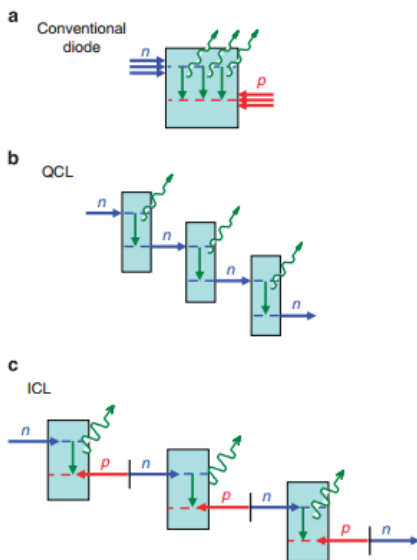
- A.6. F. Janiak, **M. Motyka**, G. Sek, M. Dyksik, K. Ryczko, J. Misiewicz, R. Weih, S. Höfling, M. Kamp, and G. Patriarche, '*Effect of arsenic on the optical properties of GaSb-based type II quantum wells with quaternary GaInAsSb layers*', **Journal of Applied Physics**, 114, 223510 (2013) [Impact Factor = 2.2, Lista MNiSW=30]
- A7. **M. Motyka**, G. Sęk, K. Ryczko, M. Dyksik, R. Weih, G. Patriarche, J. Misiewicz, S. Höfling and M. Kamp, '*Interface intermixing in type II InAs/GaInAsSb quantum wells designed for active regions of mid-infrared emitting interband cascade lasers*', **Nanoscale Research Letters** 10:471 (2015) [Impact Factor = 2.6, Lista MNiSW=30]
- A8. **M. Motyka**, M. Dyksik, K. Ryczko, G. Sęk, J. Misiewicz, R. Weih, M. Dallner, M. Kamp and S. Höfling, '*Type II QWs with tensile strained GaAsSb layers for interband cascade lasers*', **Applied Physics Letters**, 108, 101905 (2016) [Impact Factor = 3.15, Lista MNiSW=35]
- A9. **M. Motyka**, F. Janiak, G. Sęk, J. Misiewicz, K.D. Moiseev, '*Temperature dependence of the energy gap and spin-orbit splitting in a narrow-gap InGaAsSb solid solution*', **Applied Physics Letters** 100, 211906 (2012) [Impact Factor = 3.8, Lista MNiSW=35]
- A10. **M. Motyka**, M. Dyksik, F. Janiak, K. D. Moiseev, J. Misiewicz, '*The spin-orbit splitting band in InGaAsSb alloys lattice-matched to InAs*', **Journal of Physics D: Applied Physics** 47, 285102 (2014) [Impact Factor = 2.7, Lista MNiSW=35]

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników oraz przedstawieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wprowadzenie

Precyzyjna optyczna detekcja różnych substancji, w szczególności gazów jest oparta na molekularnej absorpcji światła w zakresie podczerwieni. Związane jest to z możliwością pomiaru absorpcji odpowiedniej długości fali uzależnionej od charakterystycznych drgań molekuł poszczególnych gazów. Do takich pomiarów wymagane jest posiadanie bardzo precyzyjnych źródeł światła o określonych właściwościach optycznych. Istotna w detekcji śladowych ilości substancji jest na przykład moc źródła laserowego. Z punktu widzenia z kolei użyteczności czujnika wymagane jest także, aby takie źródło nie wymagało chłodzenia za pomocą cieczy kriogenicznych i dysponowało małym poborem mocy elektrycznej. Wszystkie wspomniane aspekty sprawiają, iż istnieje potrzeba ciągłej poprawy parametrów pracy źródeł laserowych. Przedstawione w poniższych pracach badania dotyczą poznania właściwości optycznych różnorodnych obszarów aktywnych dwóch typów półprzewodnikowych źródeł laserowych wykorzystujących nieciągłość pasm drugiego typu czyli międzypasmowe lasery kaskadowe i lasery złączowe. Międzypasmowe lasery kaskadowe (ICL ang. Interband Cascade Lasers), których teoretyczne podstawy pracy i pierwsze egzemplarze, ukazały się już w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia^{23,24}.

²³ R. Q. Yang, '*Infrared lasers based on intersubband transitions in quantum wells*', Superlattices Microstruct. 17, 77-83 (1995).



Rys. 1. Schemat laserowania dla konwencjonalnej diody (a), dla lasera kaskadowego (b) oraz międzypasmowego lasera kaskadowego(c)[27].

Obecnie pokazano, iż tego typu lasery z powrotem można wykorzystywać do monitoringu gazów szkodliwych (np.: kontrola wycieku metanu²⁵), ale także w diagnostyce medycznej (analizy składu wydychanego powietrza²⁶).

Działanie międzypasmowego lasera kaskadowego można porównać zarówno do kwantowego lasera kaskadowego jak również do konwencjonalnej diody laserowej²⁷. W laserze ICL wykorzystuje się oba typy nośników elektrony jak i dziury (jak w typowej diodzie) natomiast są one wstrzykiwane na poziomy laserujące dzięki systemowi kaskad- jak to ma miejsce w kwantowym laserze kaskadowym. Opis działania został przedstawiony graficznie na rysunku 1, gdzie zamieszczono schematy laserowania dla typowej diody (Rys. 1a), dla kwantowego lasera kaskadowego (Rys.1b) oraz dla lasera ICL (Rys.1c). Typowy obszar aktywny w takich laserach przedstawiono na rysunku 2, razem z gęstością prawdopodobieństwa dla związanych w warstwach nośników. Cechą charakterystyczną tego układu jest fakt związania elektronów i dziur w sąsiadujących warstwach, czyli elektronów w warstwach InAs i dziur w warstwie GaInSb. Takie rozwiązanie pozwala niezależnie zmieniać energie poziomów w

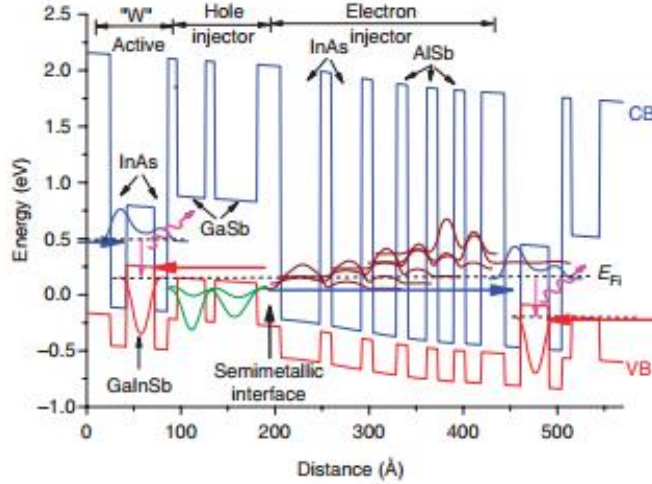
²⁴ J. R. Meyer, C. A. Hoffman, F. J. Bartoli, and L. R. Ram-Mohan, 'Type II quantum well lasers for mid wavelength infrared', Appl.Phys. Lett. 67, 757 (1995).

²⁵ L. Dong, C. Li, N. P. Sanchez, A. K. Gluszek, R. J. Griffin, and F. K. Tittel, 'Compact CH₄ sensor system based on a continuous-wave, low power consumption, room temperature interband cascade laser', Appl. Phys. Lett. 108, 011106 (2016)

²⁶ T. H. Risby & F. K. Tittel, 'Current status of midinfrared quantum and interband cascade lasers for clinical breath analysis', Optical Engineering 49, 111123 (2010)

²⁷ I. Vurgaftman, W.W. Bewley, C.L. Canedy, C.S. Kim, M. Kim, C.D. Merritt, J. Abell, J.R. Lindle, J.R. Meyer, 'Rebalancing of internally generated carriers for mid-infrared interband cascade lasers with very low power consumption', Nature Communications DOI: 10.1038/ncomms1595

warstwach za pomocą zmiany ich grubości i składów wpływając w ten sposób na energię podstawowego przejścia optycznego. Ponadto, wstrzykiwanie nośników do obszaru aktywnego odbywa się na drodze tunelowania nośników poprzez odpowiednio zaprojektowane obszary supersieci zarówno dla elektronów, jaki dla dziur.



Rys. 2. Schemat układu warstw w typowym laserze ICL z zaznaczonymi obszarami wstrzykiwania elektronów i dziur oraz częścią aktywną, w której następuje emisja[27].

Otrzymywanie dłuższych fal emisji oznacza na przykład poszerzanie warstw studni celem obniżenia energii skwantowanych poziomów. Zmiana grubości warstw wpływa jednak na separację funkcji falowych a w konsekwencji spadek tak zwanej całki przekrycia funkcji falowych. To istotny fakt, mający wpływ na siłę oscylatora przejścia optycznego a w konsekwencji na wartość wzmocnienia laserowego finalnego urządzenia²⁸. Dla przejść optycznych w studniach kwantowych funkcja falowa nośników może być wyrażona, jako iloczyn funkcji Blocha $U(\mathbf{r})$ i funkcji obwiedni w kierunku wzrostu struktury $F(z)$. W takim ujęciu siła oscylatora dla przejścia międzypasmowego jest proporcjonalna do:

$$f \sim \frac{P_{if}^2}{E^f - E^i} \left| \langle F_f(z) | F_i(z) \rangle \right|^2, \text{ gdzie } P_{if}^2 \text{ -to element macierzowy a } \left| \langle F_f(z) | F_i(z) \rangle \right| \text{ - tzw. przekrycie}$$

funkcji falowych. Przy założeniu, że w proponowanych zmianach potencjału człon $\frac{P_{if}^2}{E^f - E^i}$ nie zmienia się znacząco (mniej niż 10%), wtedy siła oscylatora jest proporcjonalna do kwadratu całki przekrycia funkcji falowych:

$$f \sim \left| \langle F_e(z) | F_h(z) \rangle \right|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} F_e^*(z) \cdot F_h(z) dz \right|^2$$

²⁸ Guobin Liu and Shun-Lien Chuang, 'Modeling of Sb-based type-II quantum cascade lasers', Physical Review B 65, 165220 (2002)

Wielkość ta staje się użyteczna do teoretycznej weryfikacji proponowanych zmian w potencjale wiążącym, przewidując ich wpływ na intensywności przejść optycznych. Ponadto, siła oscylatora przejścia optycznego może być zweryfikowana eksperymentalnie za pomocą eksperymentu fotoodbicia. Mierzone w widmach cechy absorpcyjne są modelowane za pomocą wyrażenia:

$$\frac{\Delta R}{R}(E) = \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^n C_j \cdot e^{i\vartheta_j} (E - E_j + i\Gamma_j)^{-m_j} \right],$$

gdzie n definiuje ilość przejść optycznych, C_j -amplitudę, ϑ_j -fazę, E_j - energię a Γ_j -poszerzenie przejścia. Parametr m oddaje charakter punktu krytycznego w strefie Brillouina. Otrzymane w analizie parametry są przedstawiane w postaci modułu funkcji, który pozwala powiązać siłę oscylatora przejścia optycznego z polem powierzchni pod krzywą:

$$\Delta\rho(E) = \frac{|C|}{\left[(E - E_0)^2 + \Gamma^2 \right]^{\frac{m}{2}}}.$$

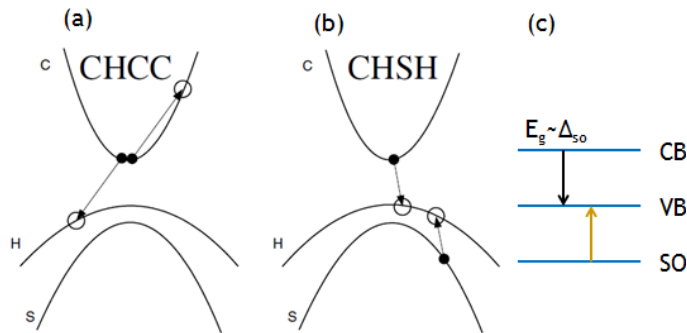
Prowadzone badania obszarów aktywnych w międzypasmowych laserach kaskadowych skoncentrowane były na weryfikacji wpływu proponowanych zmian w potencjale wiążącym, takich jak dodatkowa liczba warstw InAs, zmiana składu czy nawet zmiana materiału wiążącego dziury, na siłę oscylatora podstawowego przejścia optycznego. Oceny jakości zmian dokonano przez pomiary optyczne prowadzone na odpowiednich studniach kwantowych.

Drugim ważnym typem struktur wykorzystujących nieciągłość pasm typu II są heterostruktury InGaAsSb/GaInAsSb/InAs stanowiące obszar aktywny w laserach złączowych na zakres 3-4 μm . Tego typu lasery zostały po raz pierwszy wytworzone na początku XXI wieku²⁹. Jak dotąd, wykazano możliwość otrzymanie laserowania w zakresie jedynie 3-4 μm przy zastosowaniu różnych schematów heterozłączy, niemniej jednak trzeba podkreślić dwa istotne fakty: Po pierwsze nawet w takim wąskim zakresie spektralnym znajdujemy linie absorpcyjne dla kilku istotnych gazów, w szczególności węglowodorów. Po drugie lasery te wytwarzane są techniką epitaksji z fazy ciekłej znacznie tańszej niż epitaksja wiązką molekularną, która jest wymagana do precyzyjnego wzrostu studni kwantowych w międzypasmowych oraz kwantowych laserach kaskadowych.

Ponieważ tego typu lasery oparte są o typowe złącza p-n formowane przez dwa półprzewodniki objętościowe to istotnymi parametrami z punktu widzenia długości fali emisji, ale także wydajności tej emisji, stają się takie parametry jak wartość przerwy wzbronionej obu półprzewodników, wartość energii stanów donorowych i akceptorowych jak również energia poziomu spin orbita. Rozważamy dwa rodzaje procesów Augera (Rysunek 3.). W pierwszym elektron i dziura oddziałują generując kolejny elektron do pasma przewodnictwa (a) oraz drugi proces, w którym oddziałujące nośniki generują dziurę poprzez poziom spin orbitalny do pasma walencyjnego (b). W materiałach wąsko-przerwowych, w szczególności ważnym procesem jest proces zachodzący w paśmie walencyjnym. Zostało wykazane, iż w przypadku, gdy energia przerwy wzbronionej jest porównywalna z energią poziomu oddziaływania spin orbita (c)

²⁹ K.D. Moiseev, M.P. Mikhailova, Yu.P. Yakovlev, 'Mid-infrared lasing from self-consistent quantum wells at a type II single broken-gap heterointerface', Physica E 20, 491–495 (2004)

znacznie wzrasta dostępność tego poziomu dla procesów Augera, powodując wzrost ich intensywności³⁰.



Rys. 3. Schemat procesów Augera z generacją elektronu (a), z generacją dziury (b). Ilustracja sytuacji zrównania energii przerwy wzbronionej i poziomu spin-orbita (c)

Taka sytuacja jest niekorzystna z punktu widzenia emisji, gdyż część energii nie zostaje zużyta na generację promieniowania, co negatywnie wpływa na intensywność emisji oraz temperaturę laserowania. Dodatkowo, co trzeba zaznaczyć porównywalność energii poziomów w paśmie walencyjnym wpływa także na wzrost absorpcji wewnątrz pasmowej w tym paśmie, co w konsekwencji zwiększa optyczne straty w emiterze. W prowadzonych badaniach realizowanych w obrębie opisywanych heterozłączy skupiono się na wyznaczeniu korelacji między energią przerwy wzbronionej a energią oddziaływania spin-orbita dla warstw InGaAsSb o szerokim zakresie składów. Pozyskanie takiej informacji może pozytywnie wpłynąć na odpowiedni dobór składów warstw tworzących heterozłącze celem redukcji procesów Augera i absorpcji wewnątrz podpasemowej, zwiększając temperaturę pracy tego typu laserów. Badania w tym zakresie zrealizowano na wytworzonych w instytucie IOFFE odpowiednich strukturach półprzewodnikowych.

Omówienie wyników zawartych w pracach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

A1. Praca ta przedstawia wyniki badań realizowanych w ramach europejskiego projektu pt. „*Optyczna detekcja węglowodorów oparta na innowacyjnych laserach średniej podczerwieni*” (ang. *Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers*), polegających na optymalizacji parametrów wzrostu obszarów aktywnych do międzypasmowych laserów kaskadowych. Rezultaty badań dotyczą serii próbek studni kwantowych AlSb/GaInSb/InAs osadzanych na podłożu GaSb. Przeprowadzone badania dla studni kwantowych o różnej szerokości warstw InAs zmieniającej się w przedziale 1 - 3 nm wykazały możliwość przestrojenia długości fali emisji w szerokim zakresie spektralnym 2 - 6 μm . To bardzo ważny rezultat pokazujący szerokie spektrum możliwości aplikacyjnych dla tego rodzaju studni kwantowych. Jak wiadomo obszar podczerwieni z zakresu 2-6 μm to obszar, w którym swoje linie absorpcyjne posiada wiele gazów jak na przykład metan 3.4 μm czy dwutlenek węgla 4.1

³⁰ M. P. Mikhailova, I. A. Andreev, 'Mid-Infrared Semiconductor Optoelectronics', ed. A Krier (Berlin:Springer) p 547(2006)

μm . Ponadto przeprowadzono także pomiary temperaturowo zależnej fotoluminescencji (PL), które wykazały małą zmianę (rzędu 25meV) energii przejścia podstawowego od temperatury (w zakresie $10\text{--}300\text{K}$), w porównaniu do na przykład studni kwantowych pierwszego typu InGaSb/GaSb , gdzie przesunięcie to jest przynajmniej dwukrotnie większe³¹. Dodatkowym potwierdzeniem możliwości zastosowania takich studni kwantowych, jako obszaru aktywnego w międzypasmowych laserach kaskadowych, było otrzymanie sygnału fotoluminescencyjnego w temperaturze pokojowej. Konsekwencją tego faktu stało się wytworzenie struktury laserowej a dalej konstrukcja pierwszego lasera kaskadowego wytworzonego na Uniwersytecie w Wurzburgu emitującego w temperaturze pokojowej falę długości $3.4\ \mu\text{m}$ ³².

Mój wkład w powstanie pracy A1 polegał na przeprowadzeniu pomiarów z zakresu optycznej spektroskopii, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

A2. W pracy przeprowadzone zostały badania dla studni $\text{AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb}$ tzw. studni typu "W" (nazwany tak ze względu na kształt tworzonego potencjału dla elektronów). W stosunku do obszarów aktywnych badanych w pracy A1 modyfikacji dokonano poprzez zastosowanie dodatkowej warstwy InAs . Badania te w pierwszej kolejności potwierdziły dużą przestrajalność fali emisji w takim układzie materiałowym a ponadto wykazały znaczną poprawę doboru parametrów wzrostu w stosunku do studni kwantowych badanych wcześniej (np.: dobór ciśnienia w arsenowych komórkach efuzyjnych). Otrzymane w temperaturze pokojowej widma cechowały się dużą intensywnością oraz wysokim stosunkiem sygnał/szum, co oznacza znaczną poprawę wydajności kwantowej w badanym układzie warstw typu "W". Przeprowadzone badania fotoodbiciowe pozwoliły dodatkowo na detekcję przejścia z udziałem wyższego stanu elektronowego. Duża energia tego przejścia pozwoliła stwierdzić, iż ten stan nie bierze udziału w procesie ucieczki nośników z obszaru studni kwantowej. Konkluzja ta została potwierdzona³³ późniejszymi badaniami, które powiązały mechanizmy ucieczki nośników z obszaru aktywnego, głównie z ucieczką dziur do warstwy GaSb .

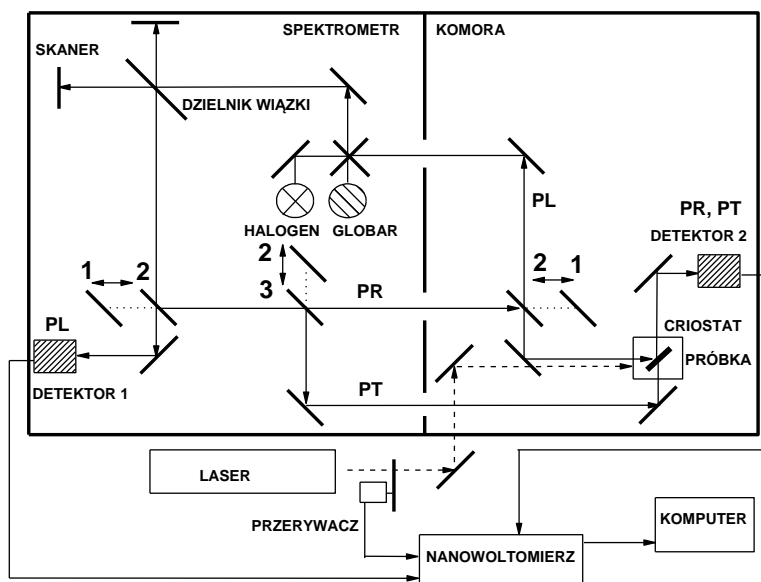
Dodatkowo, w pracy przedstawiono nowy układ pomiarowy, opracowany przez autora, do realizacji pomiarów fotoluminescencyjnych i fotoodbiciowych (fototransmisyjnych), wykorzystujący spektrometr Fouriera. W takim podejściu wykorzystuje się krokowy cykl poruszania się lustra w interferometrze tzw. tryb "Step scan". Utworzony układ pomiarowy (przedstawiony na rysunku 4) został zaprojektowany w ten sposób, aby całkowicie eliminować wpływ absorpcji gazów atmosferycznych. Dzięki zastosowaniu spektrometru próżniowego, przed pomiarem z całości układu odpompowywane jest powietrze a pomiary realizowane są w próżni rzędu $1.5\ \text{hPa}$. Kombinacja posiadanych źródeł światła i detektorów pozwala na realizację

³¹ M. Motyka, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, M. Hümmel, K. Röbner, T. Lehnhardt, M. Müller, and A. Forchel, 'Photoreflectance and photoluminescence study of $\text{Ga}_{0.76}\text{In}_{0.24}\text{Sb/GaSb}$ single quantum wells: Band structure and thermal quenching of photoluminescence' *Journal of Applied Physics* 103, 113514 (2008)

³² A. Bauer, F. Langer, M. Dallner, M. Kamp, M. Motyka, G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, S. Höfling, and A. Forchel, 'Emission wavelength tuning of interband cascade lasers in the $3\text{--}4\ \mu\text{m}$ spectral range', *Applied Physics Letters* 95, 251103 (2009)

³³ G. Sek, F. Janiak, M. Motyka, K. Ryczko, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, A. Forchel, 'Carrier loss mechanisms in type II quantum wells for the active region of GaSb -based mid-infrared interband cascade lasers', *Optical Materials* 33, 1817–1819 (2011)

eksperymentów spektroskopii modulacyjnej w zakresie 0.5-17 μm wliczając w to wcześniej niedostępne obszary spektralne, czyli średniej i długofalowej podczerwieni.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego wykorzystujący spektrometr Fouriera

Mój wkład w powstanie pracy A2 polegał na uruchomieniu układu pomiarowego, przeprowadzeniu doświadczeń z zakresu optycznej spektroskopii modulacyjnej, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

A3. W pracy przedstawiono szczegóły realizacji eksperymentu szybkiej spektroskopii różnicowej (FDR ang. Fast Differential Reflectance). Eksperyment ma charakter spektroskopii absorpcyjnej i jest właściwie odmianą eksperymentu fotoodbicia. Akwizycja danych polega na zmierzeniu dwóch widm odbiciowych, z których jedno mierzone jest z dodatkowym podświetleniem wiązką laserową. Ponieważ widma mierzone są przy użyciu naturalnego trybu pracy lustera w spektrometrze, czyli tak zwanego trybu "rapid scan" akwizycja nawet szerokich spektralnie widm zajmuje pojedyncze minuty. W pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów FDR między innymi na studniach kwantowych II typu AlSb/InAs/GaInSb. Badania dowiodły, iż możliwe jest w tym eksperymencie utrzymanie wysokiej detekcyjności pozwalającej na pomiar przejść optycznych związanych także ze stanami wzbudzonymi (nawet w 300 K) przy jednoczesnej znaczącej redukcji czasu pomiaru (wliczając w to pomiary w zakresie długofalowej podczerwieni³⁴). Realizacja takich eksperymentów pozwala na szybkie otrzymanie niezbędnych informacji związanych z kalibracją parametrów wzrostu takich jak na przykład grubość warstw, ważnej z punktu widzenia projektowania kształtu potencjału wiążącego i energii skwantowanych poziomów. Ponadto, przy wykorzystaniu efektu Berremana, eksperyment FDR realizowany w

³⁴ M. Motyka, G. Sęk, F. Janiak, J. Misiewicz, K. Kłos, J. Piotrowski, 'Fourier-transformed photoreflectance and fast differential reflectance of HgCdTe layers. The issues of spectral resolution and Fabry-Perot oscillations', Measurement Science and Technology 22, 125601(2011)

funkcji polaryzacji światła próbkującego może być stosowany do optycznej weryfikacji stopnia domieszkowania warstw falowodowych w międzypasmowych laserach kaskadowych³⁵. Takie podejście może być także bardzo użyteczne z punktu widzenia innych typów źródeł laserowych, w których domieszkowane warstwy wykorzystuje się na przykład do odpowiedniego wstrzykiwania nośników do obszaru aktywnego w laserze.

Mój wkład w powstanie pracy A3 polegał na wymyśleniu i zrealizowaniu eksperymentu szybkiej spektroskopii różnicowej, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 85 %.

A4. Praca ta to kontynuacja badań nad obszarem aktywnym międzypasmowych laserów kaskadowych przedstawionych w pracach A1 i A2. Celem proponowanej modernizacji było otrzymanie większej siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego, a w konsekwencji także szerszego pasma wzmocnienia w laserze. Warto dodać, że badania realizowano w ramach europejskiego projektu pt. „*Monolityczne, szeroko przestrzajalne międzypasmowe lasery kaskadowe do zastosowań w zagadnieniach bezpieczeństwa i ochrony*” (ang. *Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security*), zakończonego wytworzeniem optycznego czujnika etanolu, wykorzystującego międzypasmowy laser kaskadowy. W stosunku do typowo używanej kombinacji warstw tworzącej kształt potencjału dla elektronów w kształcie litery "W" (zwana podwójną od ilości warstw InAs), w nowym podejściu wytworzone zostały studnie kwantowe z dodatkowymi warstwami InAs i GaInSb (zwanymi potrójnymi). Badania przeprowadzono dla struktur osadzonych na dwóch różnych typach podłoży oraz dwóch różnych zakresów emitowanego promieniowania ($\sim 3.5 \mu\text{m}$ i $\sim 6.5 \mu\text{m}$). Badania wykazały redukcję energii przejścia podstawowego, czyli przesunięcie długości fali emisji w stronę fal dłuższych dla zmodyfikowanych studni. Ponadto, szczegółowa analiza widmach fotoodbiciowych, pozwoliła na eksperymentalne potwierdzenie założonego wzrostu siły oscylatora dla podstawowego przejścia optycznego w zmodyfikowanym potencjale. Otrzymane rezultaty wykazały, iż zastosowanie tego rozwiązania może mieć duże znaczenie w szczególności dla projektowania obszarów aktywnych laserów emitujących w zakresie długofalowej podczerwieni. Aby otrzymać emisję w zakresie fal dłuższych niż $8 \mu\text{m}$ trzeba stosować stosunkowo grube warstwy, co oznacza zmniejszenie przekrycia funkcji falowych i w konsekwencji brak laserów ICL emitujących w temperaturze pokojowej (w zakresie długofalowym). Znaczącym ułatwieniem w tej kwestii mogłoby być zastosowanie potrójnych warstw, dzięki którym uniknięto by dodatkowego pogrubiania warstw przy jednoczesnym zwiększaniu siły oscylatora dla podstawowego przejścia optycznego, co mogłoby znacznie zwiększyć temperaturę laserowania.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu odpowiednich eksperymentów, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40 %.

A5. W tej publikacji przedstawiono wyniki badań skoncentrowanych na zwiększeniu siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego w studniach kwantowych AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb. Badania przeprowadzono dla struktur o różnej koncentracji atomów indu w warstwie GaInSb oraz różnych grubościach warstw, zarówno tych wiążących

³⁵ M. Dyksik, M. Motyka, G. Sęk, J. Misiewicz, M. Dallner, S Höfling, M. Kamp, 'Influence of carrier concentration on properties of InAs waveguide layers in interband cascade laser structures', Journal of Applied Physics, 120, 043104 (2016)

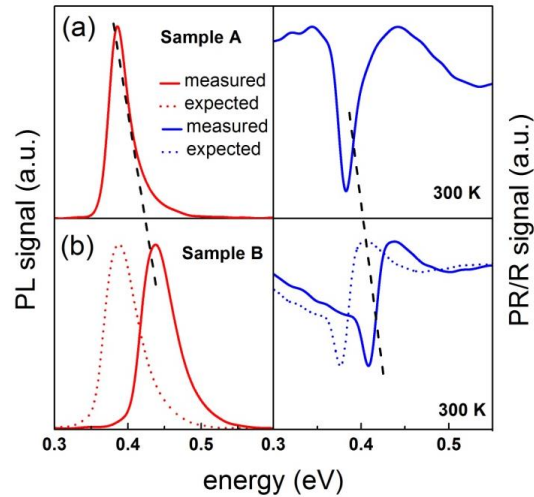
elektrony jak i tych wiążących dziury. Uzyskane wyniki wykazały możliwość zwiększenia siły oscylatora poprzez redukcję składu indu w warstwach GaInSb, kosztem redukcji energii przejścia podstawowego. Ponadto, zaproponowano modyfikację obszaru aktywnego w paśmie walencyjnym, polegającą na zastosowaniu czteroskładnikowej warstwy GaInAsSb. Wprowadzenie arsenu do warstw GaInSb powinno, dzięki redukcji naprężenia, obniżyć energię podstawowego przejścia optycznego przy jednoczesnej poprawie przekrycia funkcji falowych elektronów i dziur. Dzięki przeprowadzonej analizie widm optycznych otrzymanych dla referencyjnej studni kwantowych z warstwą GaInSb oraz studni ze zmodyfikowaną warstwą GaInAsSb stwierdzono, iż zastosowanie arsenu korzystnie wpływa na poprawę siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu odpowiednich eksperymentów, interpretacji wyników badań oraz zrobienie poprawek redakcyjnych manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30 %.

A6. Kontynuacją prac nad studniami kwantowymi z warstwą GaInAsSb było zbadanie roli "stanów zlokalizowanych". Badania fotoluminescencyjne wykazały obecność "niskoenergetycznego" sygnału o energii mniejszej niż wartość podstawowego przejścia optycznego. Analiza temperaturowych przebiegów obu sygnałów wykazała, iż wraz ze wzrostem temperatury intensywność sygnału z obszaru studni rośnie, podczas gdy intensywność niskoenergetycznego sygnału maleje. Takie zachowanie wskazało na możliwość transferu nośników do obszaru studni ze stanów zlokalizowanych na międzypowierzchni InAs/GaInAsSb. By poprzez powyższą tezę obecności stanów zlokalizowanych w studniach kwantowych wykorzystujących arsen przeprowadzono szereg badań, które wykazały, iż niskoenergetyczny sygnał obserwowany w widmach PL nie jest związany ze strukturą pasmową. Pomiar fotoluminescencji w funkcji mocy wiązki pobudzającej, pokazały, iż w przypadku niskoenergetycznego sygnału następuje szybsze wysycenie intensywności w funkcji mocy pobudzania (w stosunku do sygnału ze studni kwantowej), co wskazuje na zlokalizowany charakter tej emisji. Ponieważ dodatkowo stwierdzono, iż energia tego sygnału nieznacznie zmienia się ze zmianą temperatury, lokalizacja tych stanów została powiązana z międzypowierzchnią InAs/GaInAsSb. Obecność takich stanów może stanowić źródło rozproszeń w strukturze laserowej wpływając na intensywność emisji, co wskazało na konieczność dalszej optymalizacji wzrostu tego typu studni pod kątem minimalizacji efektu generacji stanów zlokalizowanych na między-powierzchniach.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu odpowiednich eksperymentów i częściowe ich wykonanie oraz interpretacji wyników badań i zrobienie poprawek redakcyjnych manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40 %.

A7. Publikacja w całości poświęcona jest badaniom właściwości międzypowierzchni InAs/GaIn(As)Sb w studniach kwantowych II typu. Przeprowadzone badania fotoluminescencyjne i fotoodbiciowe wykazały nieoczekiwany wzrost energii przejścia podstawowego dla studni kwantowej z warstwą GaInAsSb (Rys. 5b), w stosunku do referencyjnej studni kwantowej z warstwą GaInSb (Rys. 5a). Energetyczne położenie widm dla oczekiwanej energii przejścia po wprowadzeniu atomów arsenu, zakładającej prostokątny kształt potencjału studni, został przedstawiony liniami kropkowanymi.



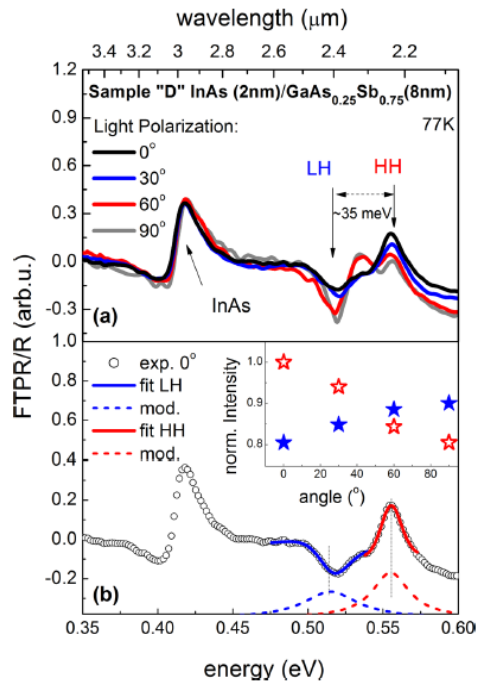
Rys. 5. Widma fotoluminescencji (lewy panel) i fotoodbicia (prawy panel) dla studni kwantowej z warstwą GaInSb (a) oraz warstwą GaInAsSb (b) [A7]

Stwierdzono, iż zamiast spodziewanego przesunięcia w stronę niższych energii (dłuższych fal) po wprowadzeniu arsenu otrzymano znaczący wzrost energii przejścia. Przeprowadzone dalsze badania spektroskopią rentgenowską oraz transmisyjną mikroskopią elektronową wykazały, iż dodanie atomów arsenu do warstwy GaInSb zmienia nie tylko wartość jej przerwy energetycznej czy naprężenia, ale także ma znaczący wpływ na kształt potencjału wiążącego intensyfikując procesy mieszania atomów na między-powierzchniach. Taka sytuacja implikuje konieczność modelowania kształtu potencjału wiążącego z uwzględnieniem dyfuzji pierwiastków tworzących sąsiadujące warstwy InAs i GaInAsSb. Zaproponowano np.: wykorzystanie tzw. funkcji błędu w symulacji kształtu między-powierzchni z efektami lokalizacyjnymi. Odpowiednio zmodyfikowany kształt potencjału studni kwantowej pozwolił na zmianę położenia poziomów energetycznych a w konsekwencji na wzrost energii przejścia podstawowego i otrzymanie zgodności z danymi eksperymentalnymi.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu eksperymentów fotoluminescencji i fotoodbicia, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

A8. W pracy przedstawiono wyniki badań realizowanych w ramach Europejskiego projektu pt. „Zintegrowany kaskadowy spektrometr laserowy do monitoringu procesu przemysłowego” (ang. In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control), prowadzonych nad nowym typem obszaru aktywnego dla miedzypasmowych laserów kaskadowych, wykorzystującym warstwę półprzewodnikową z GaAsSb. W tego rodzaju studniach kwantowych wprowadzenie warstwy GaAsSb zamiast typowo używanych warstw GaInSb zmienia rodzaj naprężenia w studni kwantowej ze ściskających na rozciągające, co przy odpowiednim doborze składów i grubości warstw pozwala na zmianę energii między poziomami ciężkich i lekkich dziur. W granicznym przypadku, przy odpowiednio dużych zawartościach arsenu (rzędu 20-25%) oraz odpowiednio szerokich warstw GaAsSb (szerszych niż 5nm) istnieje możliwość realizacji podstawowego przejścia optycznego z wykorzystaniem jedynie stanu lekkodziurowego. Badania prowadzono na serii zaprojektowanych próbek o różnej grubości warstw i różnej zawartości arsenu,

wytworzonych na dwóch rodzajach podłoży GaSb oraz InAs. Najważniejsze wyniki, zilustrowane na rysunku 6, otrzymano dla studni kwantowej o zawartości arsenu 25%.



Rys. 6. Widma fotoodbicia w funkcji stopnia polaryzacji światła próbkującego dla studni kwantowej AlSb/InAs/GaAs₂₅Sb₇₅/InAs/AlSb (panel a) wraz z przykładową analizą (panel b) [A8]

Interpretacja zachowania intensywności zmierzonych przejść optycznych (dla różnych polaryzacji światła próbkującego), pod kątem polaryzacyjnych reguł wyboru dla przejść optycznych w studniach kwantowych, wykazała odmienny charakter mierzonych sygnałów i pozwoliła powiązać je odpowiednio z lekko- i ciężko dziurowymi poziomami w studni kwantowej (przypisując podstawowemu przejściu optycznemu charakter lekkodziurowy). Otrzymane rezultaty pozwalają stwierdzić, iż zastosowanie warstw GaAsSb zwiększa stopień swobody w projektowaniu obszarów aktywnych międzypasmowych laserów kaskadowych, wliczając w to również możliwość wytworzenia emitera średniej podczerwieni o polaryzacyjnie niezależnej wiązce laserowej. Taka sytuacja może mieć miejsce przy właściwym zaprojektowaniu wartości naprężenia i szerokości warstw w celu zapewnienia odpowiedniego udziału funkcji falowych poziomów lekko i ciężko dziurowych w formowaniu fundamentalnej emisji laserowej.

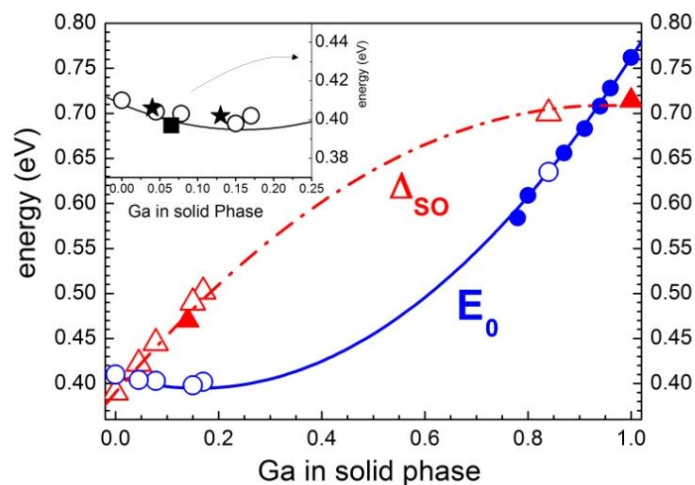
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na częściowym wykonaniu eksperymentów, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

A9. Praca dotyczy optycznych badań hetero-złączy drugiego typu, wykorzystywanych, jako obszary aktywne laserów złączowych p-GaInAsSb/n-InGaAsSb na zakres średniej podczerwieni. Przeprowadzone badania fotoluminescencyjne pozwoliły wyznaczyć temperaturowy współczynnik zmian energii przerwy wzbronionej dla warstwy In_{0.86}Ga_{0.14}As_{0.83}Sb_{0.17} osadzonej na podłożu InAs (-0.41meV/K). Dodatkowo, dzięki detekcji niskotemperaturowego sygnału związanego z przejściem donor-akceptor określono nieznaną do tej pory energię poziomu

akceptorowego ($E_A=27\text{meV}$). W dalszych badaniach uwagę skupiono na aspekcie wyznaczenia energii oddziaływania spin orbita dla badanej warstwy. Było to możliwe dzięki pozyskaniu widm optycznych, w których oprócz przejścia związanego z absorpcją z przerwy wzbronionej zaobserwowano także przejście między pasmem przewodnictwa a tzw. pasmem spin orbitalnym. Dzięki analizie tych widm wyznaczono energię oddziaływania spin- orbita, która wyniosła $\Delta_{so}= 460\text{meV}$. Dodatkowo wykazano, iż w przeciwieństwie do energii przerwy wzbronionej, energia oddziaływania spin orbitalnego nie zależy od temperatury. Taka właściwość wydaje się istotna z punktu widzenia tłumienia procesów Augera, realizowanego przy pomocy zmiany relacji między energią przerwy wzbronionej a energią rozszczepienia spin - orbita za pomocą odpowiedniego doboru temperatury.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu eksperymentów fotoluminescencji i fotoodcicia, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 70 %.

A10. Praca jest kontynuacją badań rozpoczętych w pracy A9 skoncentrowanych na heterozłączach drugiego typu, wykorzystywanych, jako obszary aktywne laserów złączowych na zakres średniej podczerwieni. Przeprowadzone zostały obszerne badania w obszarze przejścia podstawowego E_0 oraz przejścia $E_0+\Delta_{so}$ dla kilku próbek warstw InGaAsSb o różnym składzie. Zaobserwowano, iż w zakresie składów galu od 5% do 17% energia przerwy wzbronionej zmienia się jedynie o 10 meV, podczas gdy energia przejścia związanego z pasmem spin orbitalnym w zakresie kilkudziesięciu meV. Rezultaty tych badań przedstawiono na rysunku 7. Modelowanie przebiegu zmian energii oddziaływania spin- orbita wielomianem drugiego stopnia dało postać funkcijną $E_{SO} = 0.39 + 0.67x - 0.35x^2$ z wartością $C=-350\text{meV}$ tak zwanego parametru wygięcia (ang. Bowing parameter). Parametr ten wyznaczony został po raz pierwszy dla warstw InGaAsSb osadzanych na podłożu z InAs.



Rys. 7. Zależność energii przerwy wzbronionej i oddziaływania spin-orbita w zależności od składu warstw InGaAsSb [A10]

Ponadto wyznaczono dwa składki warstw tj. $\text{In}_{0.97}\text{Ga}_{0.03}\text{As}_{0.96}\text{Sb}_{0.03}$ oraz $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}_{0.14}\text{Sb}_{0.86}$ w których energie przerw wzbronionych pokrywają się z energią rozszczepienia spin-orbita $E_0=\Delta_{so}$. Taka sytuacja jest korzystna z punktu widzenia wytwarzania fotodiod lądowych. W szczególności interesującym rozwiązaniem może być wytworzenie tzw. "dwukolorowych"

detektorów światła w podczerwieni opartych jednocześnie na obu warstwach o wspomnianych składach.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na częściowym wykonaniu eksperymentów fotoodbicia, interpretacji wyników badań oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 70 %.

4.4. Podsumowanie

Omówione powyżej osiągnięcie naukowe zatytułowane, "*Optyczne właściwości obszarów aktywnych półprzewodnikowych laserów na zakres średniej podczerwieni, wykorzystujących struktury z nieciągłością pasm typu drugiego*" opiera się na cyklu dziesięciu prac. Publikacje A2 i A3 mają charakter naukowo techniczny, gdyż opisują uruchomiony układ pomiarowy wykorzystujący spektrometr Fouriera, który pozwala na realizację badań natury emisyjnej jak i absorpcyjnej, wliczając w to także opis realizacji eksperymentu szybkiej spektroskopii różnicowej. Układ ten pozwolił na prowadzenie eksperymentów spektroskopowych w obszarze średniej i długofalowej podczerwieni otwierając możliwości realizacji badań, które nie były dostępne przy użyciu klasycznie realizowanych eksperymentów fotoluminescencji, fotoodbicia a nawet tzw. eksperymentu pobudzania fotoluminescencji.

Przedstawione w artykułach badania zostały zrealizowane dla układów materiałowych wykorzystujących nieciągłość pasm drugiego typu. Prace A1, A4-A8, dotyczą badań nad studniami kwantowymi typu II AlSb/InAs/InGa(As)Sb wykorzystywanymi, jako obszary aktywne międzypasmowych laserów kaskadowych na zakres 2-8 μm . W pracy A1 przedstawiono badania skoncentrowane na wyznaczeniu odpowiednich parametrów wzrostu, które doprowadziły do otrzymania sygnału fotoluminescencyjnego w temperaturze pokojowej a w konsekwencji wytworzenia pierwszego lasera emitującego fale długości 3.4 μm . Pozostałe prace to propozycja modyfikacji obszaru aktywnego, w odniesieniu do wzmocnienia siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego, a w konsekwencji poprawy parametrów pracy tych laserów. W tym zakresie dokonano eksperymentalnej weryfikacji kilku modyfikacji polegających na zastosowaniu potrójnych warstw InAs (A4), dodaniu atomów arsenu do warstw GaInSb (A5-A7) oraz zmiany typu naprężenia w obszarze aktywnym przez zastosowanie warstw GaAsSb (A8). Badania wykazały, iż zastosowanie dodatkowych warstw pozwala na zwiększenie siły oscylatora podstawowego przejścia optycznego przy jednoczesnym przesunięciu emisji w stronę dłuższych fal. Podobny efekt osiągnięto po zastosowaniu czteroskładnikowych warstw do związania dziur, niemniej jednak w tym podejściu wykazano potrzebę optymalizacji parametrów wzrostu celem redukcji stanów zlokalizowanych na między powierzchni InAs/GaInAsSb, które modyfikują kształt potencjału wiążącego. Zastosowanie z kolei warstw GaAsSb zwiększa stopień swobody w projektowaniu długości fali emisji oraz daje możliwość wytworzenia laserów średniej podczerwieni z polaryzacyjnie niezależną wiązką światła.

Prace A9, A10 zawierają wyniki badań heterozłączy drugiego typu GaInAsSb/InGaAsSb, wykorzystywanych w laserach złączowych na zakres 3-4 μm . Badania skoncentrowane na wyznaczeniu relacji między przerwą wzbronioną a energią pasma spin-orbita dostarczają niezbędnych informacji do odpowiedniego zaprojektowania składów warstw celem zmniejszenia wpływu procesów Augera i podniesienia temperatury laserowania. Lasery złączowe, wytwarzane metodą epitaksji z fazy ciekłej, emitujące w temperaturze niewymagającej użycia cieczy kriogenicznych, mogłyby stać się elementem składowym tanich czujników (w stosunku do czujników wykorzystujących lasery wytwarzane metodą MBE) wykorzystywanych do optycznej detekcji np.: węglowodorów.

5. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt I) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych

5.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)

5.1.1. Publikacje naukowe po uzyskaniu stopnia doktora

	Punkty MNISW 2016	Impact Factor 2015	
2016			
1.	30	2.05	M. Dyksik, M. Motyka , G. Sęk, J. Misiewicz, M. Dallner, S Höfling, M. Kamp, 'Influence of carrier concentration on properties of InAs waveguide layers in interband cascade laser structures ', Journal of Applied Physics , 120, 043104 (2016) Mój udział 25% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)
2.	25	1.3	M. Dyksik, M. Motyka , M. Kurka, K. Ryczko, M. Dallner, S. Hofling, M. Kamp, G. Sęk, J. Misiewicz, 'Photoluminescence quenching mechanisms in type II InAs/GaInSb QWs on InAs substrates', Optical and Quantum Electronics (2016) 48:401 DOI 10.1007/s11082-016-0667-y Mój udział 25% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)
3.	25	1.3	M. Kozub, M. Motyka , M. Dyksik, G. Sek, Jan Misiewicz, Kazuichi Nishisaka, Toshihiko Maemoto, and Shigehiko Sasa, 'Carrier concentration determination in InAs thin films for THz radiation generating devices using fast differential reflectance spectroscopy', Optical and Quantum Electronics (2016) 48:384 DOI 10.1007/s11082-016-0653-4 Mój udział 25% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)
4.	25	1.9	M. Dyksik, M. Motyka , W. Rudno-Rudziński, G. Sęk, J. Misiewicz, D. Pucicki, K. Kosiel, I. Sankowska, J. Kubacka-Traczyk and M. Bugajski, 'Optical properties of active regions in terahertz quantum cascade lasers', Journal of Infrared, Terahertz and Millimeters Waves , 37 (2016) 710-719 Mój udział 25% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)
2015			
5.	40	3.15	M. Gębski, M. Dems, A. Szerling, M. Motyka , L. Marona, R. Kruszka, D. Urbańczyk, M. Walczakowski, N. Pałka, A. Wójcik-Jedlińska, Q. J. Wang, D. H. Zhang, M. Bugajski, M. Wasiak, T. Czystanowski, 'Monolithic high-index contrast grating: a material independent high-reflectance VCSEL mirror', Optics Express 23, 11674 (2015) Mój udział 15% (wykonanie pomiarów odbicia)
6.	30	2.6	M. Dyksik, M. Motyka , G. Sęk, J. Misiewicz, M. Dallner, R. Weih, M. Kamp, S. Höfling, 'Submonolayer uniformity of type II InAs/GaInSb W-shaped quantum wells probed by full-wafer photoluminescence mapping in the mid-infrared spectral range', Nanoscale Research Letters 10:402 (2015) Mój udział 25% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)

7.	30	2.1	J. Wróbel, Ł. Ciura, M. Motyka , F.Szmulowicz, A. Kolek, A. Kowalewski, P. Moszczyński, M. Dyksik, P. Madejczyk, S. Krishna and A. Rogalski, 'Investigation of near mid-gap trap energy level in a mid-wavelength InAs/GaSb type-II superlattices', Semiconductor Science and Technology 30, 115004 (2015) Mój udział 20% (analiza widm fotoluminescencji, poprawki tekstu)
8.	25	1.3	F. Janiak, M. Dyksik, M. Motyka , J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, 'Optical properties of AlGaAs/GaAs superlattices for active regions in quantum cascade lasers', Optical and Quantum Electronics 47, 945–952 (2015) Mój udział 20% (częściowa analiza wyników pomiarów, poprawki tekstu)
.2014			
9.	15	0.45	J. Wróbel, E. Plis, W. Gawron, M. Motyka , P. Martyniuk, P. Madejczyk, A. Kowalewski, M. Dyksik, J. Misiewicz, S. Krishna and A. Rogalski, 'Analysis of temperature dependence of dark current mechanisms in mid-wavelength infrared pin type-II superlattice photodiodes', Sensors and Materials 26, 235-244(2014) Mój udział 15% (analiza widm fotoluminescencji)
2013			
10.	30	2.2	G. Zatoryb, A.Podhorodecki, J. Serafińczuk, M. Motyka , M. Banski, J. Misiewicz, N. V. Gaponenko, 'Optical properties of Tb and Eu doped cubic YAlO ₃ nanophosphors synthesized by sol-gel method', Optical Materials 35, 2090–2094 (2013) Mój udział 15% (wykonanie pomiarów odbiciowych i analiza widm)
11.	35	2.8	A.Podhorodecki, N. V. Gaponenko, G. Zatoryb, I. S. Molchan, M. Motyka , J. Serafińczuk, L. W. Golacki, L.S. Khoroshko, J. Misiewicz, G. E Thompson, 'Ion-ion interaction in two dimensional nanoporous alumina filled with cubic YAlO ₃ :Tb ³⁺ matrix', Journal of Physics D: Appl. Phys. 46, 355302 (2013) Mój udział 10% (wykonanie pomiarów odbiciowych i analiza widm)
12.	35	3.15	M. Latkowska, R. Kudrawiec, F. Janiak, M. Motyka , J. Misiewicz, Q.-D. Zhuang , A. Krier , W. Walukiewicz, 'Temperature dependence of photoluminescence from InNAsSb layers: The role of localized and free carrier emission in determination of temperature dependence of energy gap', Applied Physics Letters 102, 122109 (2013) Mój udział 15% (częściowa analiza wyników pomiarów)
2012			
13.	20	0.9	M. Welna, R. Kudrawiec, M. Motyka , R. Kucharski, M. Zając, M. Rudziński, J. Misiewicz, R. Doradziński, and R. Dwiliński, 'Transparency of GaN substrates in the mid-infrared spectral range', Crystal Research Technology 47,347 – 350 (2012) Mój udział 20% (częściowe pomiary i analiza wyników)
14.	30	2.2	M. Motyka , K. Ryczko, G. Sek, 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, 1107–1111 (2012) Mój udział 35% (analiza danych eksperymentalnych, przygotowanie manuskryptu)
2011			
15.	30	1.5	M. Motyka , G. Sęk, F. Janiak, J. Misiewicz, K. Kłós, J. Piotrowski, 'Fourier-transformed photoreflectance and fast differential reflectance of HgCdTe layers. The issues of spectral resolution and Fabry–Perot oscillations', Measurement Science and Technology 22, 125601(2011) Mój udział 50% (częściowe pomiary i analiza danych eksperymentalnych, przygotowanie manuskryptu)
16.	20	1.6	M. Motyka F. Janiak, J. Misiewicz, M. Wasiak, K. Kosiel, M. Bugajski, 'Determination of the energy difference and width of the minibands in GaAs/AlGaAs

			superlattices by using Fourier transform photoreflectance and photoluminescence', Opto-Electronic Review 19, 151–154(2011) Mój udział 50% (częściowe pomiary i analiza danych eksperymentalnych, przygotowanie manuskryptu)
17.	30	2.2	G. Sek, F. Janiak, M. Motyka , K. Ryczko, J. Misiewicz, A. Bauer, S. Höfling, A. Forchel, 'Carrier loss mechanisms in type II quantum wells for the active region of GaSb-based mid-infrared interband cascade lasers', Optical Materials 33, 1817–1819 (2011) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów fotoluminescencyjnych)
18.	20	1.1	K. Ryczko, G. Sek, M. Motyka , F. Janiak, M. Kubisa, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, and Y. Rouillard, 'Effect of Annealing-Induced Interdiffusion on the Electronic Structure of Mid Infrared Emitting GaInAsSb/AlGaInAsSb Quantum Wells', Japanese Journal of Applied Physics 50, 031202(2011) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów foto-odbiciowych)
19.	20	1.6	M. Wesołowski, W. Strupiński, M. Motyka , G. Sęk, E. Dumiszewska, P. Caban, A. Jasik, A. Wójcik, K. Pierściński and D. Pierścińska, 'Study of MOCVD growth of InGaAsSb/AlGaAsSb/GaSb heterostructures using two different aluminium precursors TMAI and DMEAl', Opto-Electronic Review 19, 137–139(2011) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów fotoluminescencyjnych)
2010			
20.	30	2.05	R. Kudrawiec, G. Sek, M. Motyka , J. Misiewicz, A. Somers, S. Höfling, L. Worschech, and A. Forchel, 'Contactless electroreflectance of optical transitions in tunnel-injection structures composed of an In _{0.53} Ga _{0.47} As/In _{0.53} Ga _{0.23} Al _{0.24} As quantum well and InAs quantum dashes', Journal of Applied Physics 108, 086106 (2010) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
21.	20	1.1	G. Sęk, M. Motyka , K. Ryczko, F. Janiak, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, and Y. Rouillard, 'Band Offsets and Photoluminescence Thermal Quenching in Mid-Infrared Emitting GaInAsSb Quantum Wells with Quinary AlGaInAsSb Barriers', Japanese Journal of Applied Physics 49, 031202(2010) Mój udział 25% (częściowe wykonanie pomiarów)
2009			
22.	35	3.15	A. Bauer, F. Langer, M. Dallner, M. Kamp, M. Motyka , G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, S. Höfling, and A. Forchel, 'Emission wavelength tuning of interband cascade lasers in the 3–4 μm spectral range', Applied Physics Letters 95, 251103 (2009) Mój udział 15% (wykonanie pomiarów fotoluminescencyjnych)
23.	30	2.05	M. Motyka , G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard 'Optical transitions and band gap discontinuities of GaInAsSb/AlGaAsSb quantum wells emitting in the 3 μm range determined by modulation spectroscopy', Journal of Applied Physics 106, 066104 (2009) Mój udział 50% (wykonanie pomiarów fotoluminescencyjnych i foto-odbiciowych)
24.	15	0.6	M. Motyka , G. Sęk, F. Janiak, K. Ryczko, J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, 'Photoreflectance study of Al _{0.45} Ga _{0.55} As/GaAs superlattice: optical transitions at the miniband Γ and Π points', Optica Applicata Vol. 39, No. 4,(2009) Mój udział 50% (częściowe wykonanie pomiarów, przygotowanie manuskryptu)
25.	15	0.6	M. Motyka , L. Gelczuk, M. Dabrowska-Szata, J. Serafińczuk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, 'Photoreflectance study of partially relaxed epitaxial InGaAs on GaAs', Optica Applicata , Vol. 39, No. 3 (2009) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów i analiza otrzymanych widm optycznych)

26.	25	2.1	R. Kudrawiec, P. Podemski, M. Motyka , J. Misiewicz, J. Serafinczuk, A. Somers, J.P. Reithmaier, A. Forchel, 'Electromodulation spectroscopy of $In_{0.53}Ga_{0.47}As/In_{0.53}Ga_{0.23}Al_{0.24}As$ quantum wells', Superlattices and Microstructures 46, 425-434(2009) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
27.	20	0.9	R. Kudrawiec, M. Gladysiewicz, M. Motyka , J. Misiewicz, G. Cywiński, M. Siekacz, C. Skierbiszewski 'Contactless electroreflectance of $GaN/AlInN$ multiquantumwells: The issue of broadening of optical transitions', Microelectronics Journal 40, 392–395(2009) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
28.	20	0.9	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Misiewicz, B. Paszkiewicz, R. Paszkiewicz, M. Tłaczała, „Contactless electroreflectance study of band bending for undoped, Si- and Mg-doped GaN layers and AlGaN/GaN transistor heterostructures”, Microelectronics Journal 40, 370–372(2009) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)

5. 1.2 Publikacje naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

2008			
1.	30	2.05	R. Kudrawiec, B. Paszkiewicz, M. Motyka , J. Misiewicz, J. Derluyn, A. Lorenz, K. Cheng, J. Das, and M. Germain, 'Contactless electroreflectance evidence for reduction in the surface potential barrier in AlGaIn/GaN heterostructures passivated by SiN layer', Journal of Applied Physics 104, 096108 (2008) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
2.	30	2.05	R. Kudrawiec, H. B. Yuen, S. R. Bank, H. P. Bae, M. A. Wistey, James S. Harris, M. Motyka , and J. Misiewicz, 'On the Fermi level pinning in as-grown GaInNAsSb/GaAs quantum wells with indium content of 8%–32%', Journal of Applied Physics 104, 033526 (2008) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
3.	35	2.8	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Misiewicz, B. Paszkiewicz, R. Paszkiewicz, M. Tłaczała, 'Contactless electroreflectance study of band gap renormalization for Mg-doped GaN', Journal of Physics D: Appl. Phys. 41, 165109 (2008) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
4.	30	2.05	M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz, M. Hümmer, K. Rößner, T. Lehnhardt, M. Müller, and A. Forchel, 'Photoreflectance and photoluminescence study of $Ga_{0.76}In_{0.24}Sb/GaSb$ single quantum wells: Band structure and thermal quenching of photoluminescence', Journal of Applied Physics 103, 113514 (2008) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów, redakcja tekstu)
5.	30	2.3	L. Gelczuk, M. Motyka , J. Misiewicz, M. Dabrowska-Szata, 'Deep traps and optical properties of partially strain-relaxed InGaAs/GaAs heterostructures', Materials Science & Engineering B , 147, 166-170 (2008) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów foto-odbiciowych)
6.	35	3.15	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Misiewicz, M. Hümmer, K. Rößner, T. Lehnhardt, M. Müller, and A. Forchel, 'Room temperature contactless electroreflectance of the ground and excited state transitions in $Ga_{0.76}In_{0.24}As_{0.08}Sb_{0.92}$ /GaSb single quantum wells of various widths', Applied Physics Letters 92, 041910 (2008) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
2007			
7.	30	2.05	R. Kudrawiec, H. B. Yuen, S. R. Bank, H. P. Bae, M. A. Wistey, James S. Harris, M. Motyka , J. Misiewicz, 'Contactless electroreflectance approach to study the Fermi

			level position in GaInNAs/GaAs quantum wells', Journal of Applied Physics 102, 113501 (2007) Mój udział 5% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
8.	30	2.05	M. Motyka , R. Kudrawiec, G. Sęk, J. Misiewicz, D. Bisping, B. Marquardt and A. Forchel, 'Photoluminescence from InAsN quantum dots embedded in GaInNAs/GaAs quantum wells', Journal of Applied Physics 101, 113539(2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, korekcja tekstu)
9.	30	2.05	M. Motyka , G. Sęk, R. Kudrawiec, P. Sitarek, J. Misiewicz, J. Wojcik, B. J. Robinson, D. A. Thompson, and P. Masher, 'Probing the indium clustering in InGaAs/GaAs quantum wells by room temperature contactless electroreflectance and photoluminescence spectroscopy', Journal of Applied Physics 101, 116107(2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, redakcja tekstu)
10.	35	3.15	M. Motyka , R. Kudrawiec, G. Sęk, J. Misiewicz, D. Bisping, B. Marquardt and A. Forchel, 'Contactless electroreflectance investigation of energy levels in an 1.3-um emitting laser structure with the gain medium composed of InAsN quantum dots embedded in GaInNAs/GaAs quantum wells', Applied Physics Letters 90, 221112 (2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, analiza widm)
11.	35	3.15	M. Motyka G. Sęk, K. Ryczko, J. Andrzejewski, J. Misiewicz, B. Alloing, L. H. Li, A. Fiore, G. Patriarche, 'Optical and electronic properties of GaAs-based structures with columnar quantum dots', Applied Physics Letters 90, 181933 (2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, analiza widm)
12.	30	2.05	G. Sęk, K. Ryczko, M. Motyka , J. Andrzejewski, K. Wysocka, J. Misiewicz, B. Alloing, L. H. Li, A. Fiore, G. Patriarche, 'Wetting layer states of InAs/GaAs self-assembled quantum dot structures: effect of intermixing and capping layer', Journal of Applied Physics 101, 063539(2007) Mój udział 20% (realizacja pomiarów optycznych)
13.	35	3.15	R. Kudrawiec, S.R. Bank ,H.B. Yuen, H.P. Bae, M.A. Wistey, L.L. Goddard, James S. Harris, M.Gladysiewicz, M. Motyka and J. Misiewicz, 'Conduction band offset for GaInNAsSb/GaNAs/GaAs systems emitted at 1.5-1.65 um', Applied Physics Letters 90, 131905, (2007) Mój udział 5% (realizacja pomiarów optycznych)
14.	30	1.8	M. Motyka , R. Kudrawiec, M. Syperek, J. Misiewicz, M.Rudziński , P.Hageman , P.K. Larsen,' Screening effect in contactless electroreflectance spectroscopy observed for AlGaIn/GaN heterostructures with 2DEG', Thin Solid Films 515, 4662-4665(2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, korekcja tekstu)
15.	35	3.15	R. Kudrawiec, H. B. Yuen, S. R. Bank, H. P. Bae, M. A. Wistey, James S. Harris, M. Motyka and J. Misiewicz, 'Fermi level shift in GaInNAsSb/GaAs quantum wells upon annealing studied by contactless electroreflectance', Applied Physics Letters 90, 061902, (2007) Mój udział 5% (realizacja pomiarów optycznych)
16.	20	1.45	M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz , 'On the deepness of contactless electroreflectance probing in semiconductor structures', Physica Status Solidi A 204, 354-363 (2007) Mój udział 40% (realizacja pomiarów optycznych, analiza widm)
17.	20	1.45	G. Sęk , M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz, F. Lelarge, B. Rousseau, G. Patriarche, 'Modulated reflectivity probing of quantum dot and wetting layer states in InAs/GaInAsP/InP laser structures', Physica Status Solidi A , 204, 496-499 (2007) Mój udział 25% (realizacja pomiarów optycznych)
18.	20	1.45	G. Sęk, R. Kudrawiec, M. Motyka , P. Poloczek, W. Rudno-Rudziński, P. Podemski, J.

			Misiewicz, 'Contactless modulated reflectivity of quasi 0D self-assembled semiconductor structures', Physica Status Solidi A , 204, 400-411 (2007) Mój udział 20% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
19.	20	1.45	R. Kudrawiec, H.B. Yuen, S.R. Bank, H.P. Bae, M.A. Wistey, James S. Harris, M. Motyka , M.Gladysiewicz, and J. Misiewicz, 'The influence of antimony on the optical quality of highly strained GaInNAs/GaAs QWs investigated by contactless electroreflectance', Physica Status Solidi A , 204, 543-546(2007) Mój udział 5% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
20.	20	1.45	R. Kudrawiec, H.B. Yuen, S.R. Bank, H.P. Bae, M.A. Wistey, James S. Harris, M. Motyka , M.Gladysiewicz, and J. Misiewicz, 'Electromodulation spectroscopy of interband transitions in GaInNAsSb/GaAs quantum wells with high indium content', Physica Status Solidi A 204, 364-372(2007) Mój udział 5% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
21.	30	2.05	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Misiewicz, A. Somers, R. Schwertberger, J. P. Reithmaier, and A. Forchel, 'Contactless electroreflectance of InAs/In _{0.53} Ga _{0.23} Al _{0.24} As quantum dashes grown on InP substrate: Analysis of the wetting layer-related transition', Journal of Applied Physics 101, 013507(2007) Mój udział 25% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
22.	30	2.05	R. Kudrawiec, H.B. Yuen, M. Motyka , M. Gladysiewicz, J. Misiewicz, S.R. Bank ,H.P. Bae , M. Wistey , J.S. Harris, 'Contactless electroreflectance of GaInNAsSb/GaAs single quantum wells with In content changing from 8% to 32%', Journal of Applied Physics 101, 013504 (2007) Mój udział 20% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
2006			
23.	35	3.15	M. Motyka , R. Kudrawiec, G. Cywinski, M. Siekacz, C. Skierbiszewski, J. Misiewicz, 'Energy difference between electron subbands in AlInN/GaInN quantum wells studied by contactless electroreflectance spectroscopy', Applied Physics Letters 89, 251908 (2006) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów optycznych, interpretacja widm)
24.	35	3.15	M. Motyka , M. Syperek, R. Kudrawiec , J. Misiewicz , M.Rudziński , P.Hageman , P.K. Larsen, 'Investigations of GaN surface quantum well by contactless electroreflectance spectroscopy', Applied Physics Letters 89, 231912 (2006) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów optycznych, korekcja tekstu)
25.	35	3.15	R. Kudrawiec, M. Motyka , M. Gładysiewicz, P. Sitarek, and J. Misiewicz, 'Photoreflectance and contactless electroreflectance spectroscopy of GaAs-based structures: The below band gap oscillation features', Applied Surface Science 253, 266-270(2006) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów elektro- odbiciowych)
26.	35	3.15	R. Kudrawiec, M. Gladysiewicz, M. Motyka , J. Misiewicz, H.B. Yuen, S.R. Bank, M.A.Wistey, H.P. Bae, and James S. Harris Jr, 'Contactless electroreflectance spectroscopy of Ga(In)NAs/GaAs quantum well structures containing Sb atoms', Applied Surface Science 253 (2006) 152-157 Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
27.	35	3.15	R. Kudrawiec, J.A. Gupta, M. Motyka , M. Gladysiewicz, J. Misiewicz, and X. Wu, 'Contactless electroreflectance of GaN _{0.025} As _{0.975-x} Sb _x /GaAs QWs with high Sb content: The determination of bandgap discontinuity', Applied Physics Letters 89, 171914 (2006) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
28.	30	2.05	M. Motyka , G. Sęk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, B. Alloing, L. H. Li, A. Fiore, 'On the modulation mechanism in photoreflectance of self-assembled InAs/GaAs quantum dots',

			Journal of Applied Physics 100, 073502 (2006) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów i analiza widm optycznych)
29.	30	2.1	M.Motyka , R. Kudrawiec, G. Sek, J. Misiewicz, I.L. Krestnikov and A. Kovsh, 'Room temperature Contactless electroreflectance characterization of InGaAs/InAs/GaAs quantum dot wafers', Semiconductor Science and Technology 21, 1402-1407(2006) Mój udział 40% (wykonanie pomiarów i analiza widm optycznych)
30.	35	3.15	R. Kudrawiec, M. Motyka , M. Gladysiewicz, J. Misiewicz, H.B. Yuen, S.R. Bank, H.P. Bae, M.A. Wistey, and James S.Harris Jr, 'Band gap discontinuity in Ga0.9In0.1N0.027As0.973-xSbx/GaAs single quantum wells with $0 \leq x < 0.06$ studied by contactless electroreflectance spectroscopy', Applied Physics Letters 88, 221113 (2006) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów spektroskopowych)
31.	30	2.05	R. Kudrawiec, M. Syperek, M. Motyka , J. Misiewicz, B. Paszkiewicz, R. Paszkiewicz, M. Tlaczala, 'Contactless electromodulation spectroscopy of AlGaIn/GaN heterostructures with a two-dimensional electron gas: A comparison of photorefectance and contactless electroreflectance', Journal of Applied Physics 100, 013501 (2006) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
32.	20	1.5	Kudrawiec, M. Motyka , M. Gladysiewicz, J. Misiewicz, J.A. Gupta, 'Contactless electroreflectance of GaNxAs1-x/GaAs multi quantum wells: The band offset and electron effective mass issues', Solid state communications 138, 365-370 (2006) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
2005			
33.	30	2.05	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Misiewicz, H.B. Yuen, S.R. Bank, M.A. Wistey, H.P. Bae, and James S. Harris Jr, 'Photoluminescence from as-grown and annealed GaN0.02As0.87Sb0.11/GaAs single quantum wells', Journal of Applied Physics 98, 063527 (2005) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów spektroskopowych)
34.	20	0.9	J. Misiewicz, R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Andrzejewski, D. Gollub, A. Forchel, 'Photo and contactless electroreflectance spectroscopies of step like GaInNAs/Ga(In)NAs/GaAs quantum wells', Microelectronic Journal 36, 446-449 (2005) Mój udział 20% (wykonanie pomiarów elektro-odbiciowych)
2004			
35.	N/A	N/A	R. Kudrawiec, M. Motyka , J. Andrzejewski, J. Misiewicz, D. Gollub, and A. Forchel, 'Photorefectance and photoluminescence study of step-like GaInNAs/GaInNAs/GaAs quantum wells', IEE Proceedings Optoelectronics 151, 313-316 (2004) Mój udział 25% (wykonanie pomiarów spektroskopowych)

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

5.2.1 Publikacje pokonferencyjne po uzyskaniu stopnia doktora

1.	F. Janiak, M. Motyka , G. Sek, K. Ryczko, M. Dyksik, J. Misiewicz, R. Weih, S. Hofling, M. Kamp, 'Optical characterization of type II quantum wells for long-wavelength mid-infrared interband cascade lasers', Proceedings of SPIE 9134, 91340V (2014) Mój udział 25% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
2.	M. Motyka , 'Lasery pracujące w schemacie kaskadowym w kontekście zastosowania w szeroko przestrajalnych opto-elektronicznych czujnikach gazów', Elektronika nr 11/2014, s. 54-56 Mój udział 100% (wykonanie pomiarów, analiza danych, przygotowanie manuskryptu)

3.	G. Sęk, M. Motyka , F. Janiak, K. Ryczko, J. Misiewicz, A. Bauer, M. Dallner, R. Weih, S. Höfling, A. Forchel, S. Belahsene, G. Boissier, Y. Rouillard, 'Recent advances in GaSb-based structures for mid-infrared emitting lasers: spectroscopic study', Proc. of SPIE Vol. 8631, 86312O-1(2013) Mój udział 25% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
4.	M. Motyka , G. Sęk, J. Misiewicz, 'Fourierowska spektroskopia fotoluminescencyjna i fotoodbiciowa struktur półprzewodnikowych przeznaczonych na zakres średniej i długofalowej podczerwieni', Elektronika 10, 35-39(2011) Mój udział 50% (realizacja badań spektroskopowych, przygotowanie manuskryptu)
5.	M. Wesołowski, W. Strupiński, E. Pruszyńska-Karbownik, M. Motyka , G. Sęk, A. Wójcik-Jedlińska, K. Pierściński, D. Pierścińska, A. Mirowska, R. Jakiela, I. Józwik, A. Piątkowska, K. Kościewicz, P. Ceban, M. Bugajski, 'Zastosowanie technologii MOCVD w dziedzinie laserów antymonowych z hetero złączem I-go rodzaju', Elektronika 10, 25-28(2011) Mój udział 10% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
6.	F. Janiak, M. Motyka , G. Sęk, K. Ryczko, J. Misiewicz, K. Kosiel, M. Bugajski, 'Optyczne właściwości supersieci GaAs/AlGaAs badane za pomocą spektroskopii modulacyjnej', Elektronika 10, 46-48(2011) Mój udział 25% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
7.	J. Misiewicz, M. Motyka , G. Sęk, R. Kudrawiec, 'Spektroskopia modulacyjna nanostruktur półprzewodnikowych w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni', Elektronika 5 (2009) Mój udział 25% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)

5.2.2 Publikacje pokonferencyjne przed uzyskaniem stopnia doktora

1.	R. Kudrawiec, M. Motyka , G. Cywinski, M. Siekacz, C. Skierbiszewski, L. Nevou, L. Doyennette, M. Tcherynecheva, F. H. Julien, J. Misiewicz, 'Contactless electroreflectance spectroscopy of inter- and intersub-band transitions in AlInN/GaN quantum wells', Physica Status Solidi C 5, No. 2, 503-507 (2008) Mój udział 25% (realizacja pomiarów elektro- odbiciowych)
2.	G. Sęk, M. Motyka , K. Ryczko, J. Andrzejewski, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, F. Lelarge, B. Rousseau, G. Patriarche, 'Modulation spectroscopy characterization of InAs/GaInAsP/InP quantum dash laser structures', Proc. SPIE 6481, 64810D (2007) Mój udział 25% (realizacja badań spektroskopowych)
3.	M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz, D. Pucicki, M. Tlaczala, M. Fisher, B. Marquardt, A. Forchel, 'Contactless electroreflectance and photoluminescence of InAs quantum dots with GaInNAs barriers grown on GaAs substrate', Physica Status Solidi C 4, 625-627(2007) Mój udział 40% (realizacja badań spektroskopowych, współredakcja tekstu)
4.	M. Motyka , W. Rudno-Rudziński, G. Sęk, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, A. Somers, R. Schwertberger, J.P. Reithmaier, A. Forchel, 'Photorefectance and contactless electroreflectance of an InAs quantum dash laser structure', Physica Status Solidi C 4, 350-352 (2007) Mój udział 40% (częściowa realizacja badań spektroskopowych, współredakcja tekstu)
5.	M. Syperek, M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz, M. Rudziński, P. Hageman, P.K. Larsen, 'Investigation of built-in electric field in AlGaIn/GaN heterostructures grown on misoriented 4H-SiC substrate by contactless electroreflectance', Physica Status Solidi C 4, 366-368(2007) Mój udział 25% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
6.	A. Podhorodecki, J. Andrzejewski, M. Motyka , R. Kudrawiec, J. Misiewicz, J. Wójcik, B.J. Robinson, 'Optical properties of InGaAsP quantum well for infrared emission investigated by modulation spectroscopy', Optica Applicata Vol. XXXV, No. 3, (2005) Mój udział 20% (częściowa realizacja badań spektroskopowych)
7.	M. Motyka , G. Sęk, J. Andrzejewski, R. Kudrawiec, J. Misiewicz, B. Ściana, D. Radziejewicz, M. Tlaczala, 'Optical properties of InGaAs/GaAs quantum wells with different distance from Si-delta doping layer', Optica Applicata Vol. XXXV, No. 3, (2005) Mój udział 50% (realizacja badań spektroskopowych, analiza danych, przygotowanie manuskryptu)

5.3. Kierowanie i udział w projektach badawczych

Indeks	Numer i tytuł projektu	Charakter prac
1.	Projekt Narodowego Centrum Nauki (Opus) nr UMO-2014/15/B/ST7/04663 (2015) pt. „ <i>Optical properties and carrier dynamics in the type II semiconductor structures devoted for active region of lasers and detectors operating in the mid-infrared spectral range</i> ”.	Kierownik
2.	Projekt Narodowego Centrum Nauki (SONATA) nr UMO-2011/03/D/ST3/02640 (2012) pt. „ <i>Optyczne właściwości półprzewodnikowych struktur nisko wymiarowych badane przy pomocy Fourierowskiej spektroskopii w podczerwieni</i> ”.	Kierownik
3.	Projekt MNISW Iuventus Plus nr 0370/IP3/2011/71 (2012) „ <i>Fourierowska spektroskopia modulacyjna struktur półprzewodnikowych w zakresie średniej podczerwieni</i> ”.	Kierownik
4.	Projekt ICSPEC (2015) „ <i>In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control</i> ”, realizowany w ramach programu Unii Europejskiej Horyzont 2020.	Główny wykonawca
5.	Projekt COST (European Cooperation In Science and Technology) Action MP1204 „ <i>TERA-MIR Radiation: Materials, Generation, Detection and Applications</i> ”.	Wykonawca
6.	Projekt WIDELASE (2012-2014) „ <i>Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security</i> ” realizowany w ramach 7 ramowego programu Unii Europejskiej.	Główny Wykonawca
7.	Projekt zamawiany PBZ-MNiSW-02/I/2007 Nr. N515 074 31/3896 (2008-2011) „ <i>Zaawansowane technologie dla półprzewodnikowej optoelektroniki podczerwieni</i> ”.	Wykonawca
8.	Projekt SensHy Nr. 223998 (2008-2011) „ <i>Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers</i> ”, realizowany w ramach 7 ramowego programu Unii Europejskiej.	Główny Wykonawca
9.	Projekt Zodiak FP6/017140 (2005-2008) „ <i>Zero Order Dimension based Industrial components Applied to teleCommunication</i> ”, realizowany w ramach 6 ramowego programu Unii Europejskiej.	Wykonawca
10.	Projekt badawczy MNiSW N515 07431/3896 , „ <i>Zastosowanie bezkontaktowego elektroodbicia oraz fotoodbicia do badania struktur półprzewodnikowych na zakres bliskiej i średniej podczerwieni</i> ”.	Wykonawca
11.	Projekt badawczy MNiSW N202 410933 , „ <i>Wpływ wbudowanych pól elektrycznych na reguły wyboru przejść międzypasmowych oraz wewnątrzpodpasmowych w polarnych studniach kwantowych Ga(In)N/Al(In)N</i> ”.	Wykonawca

5.4. Nagrody za działalność naukową

- (a) Nagroda Iuvenes Wratislaviae (2016), przyznawana przez wrocławski oddział Polskiej Akademii Nauk
- (b) Stypendium dla wybitnych młodych naukowców fundowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dziedzina Fizyka (2015-2017)
- (c) Stypendium finansowane przez Europejski fundusz społeczny „Młoda Kadra 2015” (2012-2013)
- (d) Stypendium finansowane przez Europejski fundusz społeczny „Młoda Kadra 2015”, (2011-2012)
- (e) Stypendium finansowane przez Europejski fundusz społeczny „Młoda Kadra” (2010-2011), Druga edycja
- (f) Stypendium finansowane przez Europejski fundusz społeczny „Młoda Kadra” (2009-2010), Pierwsza edycja
- (g) Stypendium START (dla młodych naukowców) Fundacji Na Rzecz Nauki Polskiej w dziedzinie fizyki w 2009
- (h) Stypendium START (dla młodych naukowców) Fundacji Na Rzecz Nauki Polskiej w dziedzinie fizyki w 2008
- (i) Wrocławskie stypendium imienia Max Borna w dziedzinie Fizyki w 2008

5.5. Zaproszone referaty i seminaria

Wykłady zaproszone:

1. *On the way to improved active part of interband cascade lasers*, Photonics West, San Francisco, USA (2017)
2. *Optical properties of various types of active regions for mid-infrared lasers based on type II low dimensional semiconductor structures*, Semiconductor Nanostructures for Optoelectronics and Biosensors, Rzeszów, Polska (2016)
3. *On the way to improved performance interband cascade lasers*, Photonics Europe, Bruksela, Belgia (2016)
4. *Recent developments in interband cascade lasers*, VI Workshop on Physics and Technology of Semiconductor Lasers, Kraków, Polska (2015)
5. *GaInAsSb semiconducting alloy predicted for active region of mid-infrared lasers*, Seminarium Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe, Szklarska Poręba, Polska (2015)
6. *Optical properties of type II quantum wells predicted to active region in interband cascade lasers*, EMN- Energy Materials Nanotechnology Conference, Cancun, Meksyk (2015)
7. *On the active region improvement in interband cascade lasers*, SMMO conference and COST Action MP1204 meeting, Praga, Czechy (2015).

8. *Type II quantum well structures for tuneable interband cascade lasers for mid-infrared optical gas sensing applications*, 10th Integrated Optics - Sensors, Sensing Structures and Methods, Szczyrk, Polska (2015)
9. *Lasery pracujące w schemacie kaskadowym w kontekście zastosowania w szeroko przestrajalnych optycznych czujnikach gazów*, Krajowa Konferencja Elektroniki, Darłówko Wschodnie, Polska (2014)
10. *Type II quantum wells for mid-infrared interband cascade lasers: advanced spectroscopic studies*, PhoBiA Annual Nanophotonics International Conference & Symposium on Photoactive Synthetic Materials, Wrocław, Polska (2014)
11. *Fourier transformed infrared spectroscopy in the mid and long wavelength spectral range*, VI Krajowa Konferencja Nanotechnologii, Szczecin, Polska (2013).

Zaproszone seminaria

1. *Optyczne właściwości obszarów aktywnych laserów półprzewodnikowych na zakres średniej podczerwieni*, Uniwersytet Rzeszowski, Polska (2017)
2. *Optimizing the active region of interband cascade lasers- the band gap, strain and wave functions engineering*, Department of Physics, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Wielka Brytania (2015)
3. *Optymalizacja właściwości optycznych półprzewodnikowych heterozłączy i studni kwantowych z nieciągłością pasm typu drugiego*, Instytut Fizyki Politechniki Łódzkiej, Polska (2015)
4. *Optymalizacja obszarów aktywnych niskowymiarowych układów półprzewodnikowych na zakres średniej podczerwieni*, Vigo S.A., Warszawa (2015)

5.6. Wygłoszone referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych

1. *Type II quantum wells with tensile-strained GaAsSb layers for interband cascade laser: energy structure determination and carriers diffusion*, 4 th Annual Conference of COST Action MP1204 & SMMO2016 Conference, Lizbona, Portugalia (2016)
2. *On the improvements in the active region of interband cascade lasers*, MIRSENS III-International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing, Wurzburg, Niemcy (2015)
3. *Fourier transformed infrared spectroscopy*, International Conference on Semiconductor Mid infrared Materials and Optics, Warszawa, Polska (2013)

4. *Developments in Fourier-transform-based optical characterization of mid to far infrared semiconductor materials*, MIRSENS II- International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing, Wrocław, Polska (2012)
5. *GaSb-based type II “W-shaped” quantum wells for the active region of interband cascade lasers in mid infrared*, IV Workshop on Physics and Technology of Semiconductor Lasers, Kazimierz dolny, Polska (2011)
6. *Fourierowska spektroskopia fotoluminescencyjna i fotoodbiciowa struktur półprzewodnikowych przeznaczonych na zakres średniej i długofalowej podczerwieni*, Polska Konferencja Optyczna, Międzyzdroje, Polska (2011)
7. *Type I and II quantum wells based on GaSb for the application in mid-infrared hydrocarbons detection*, 4th Integrated Optics - Sensors, Sensing Structures and Methods, Szczyrk, Polska (2010)
8. *Fourier mode modulation spectroscopy characterization of mid-infrared semiconductor structures*, MIRSENS - International workshop on opportunities and challenges in mid-infrared laser-based gas sensing, Wrocław, Polska (2010)
9. *Fourier transformed modulation spectroscopy in the long wavelength spectral range*, International Conference on Semiconductor Mid infrared Materials and Optics, Warszawa, Polska (2010)
10. *Broken gap InAs/GaInSb heterostructures for the application in mid-infrared lasers: Type II optical transition oscillator strength and temperature sensitivity*, Narrow Gap Semiconductors Conference, Sendai, Japonia (2009)
11. *Fourier Transformed Infrared (FTIR) modulation spectroscopy of low dimensional semiconductor structures designer for laser applications in mid and far infrared region*, III Workshop on Physics and Technology of Semiconductor Lasers, Kruklanki, Polska (2009)
12. *Optyczne właściwości studni kwantowych na podłożu z GaSb do zastosowań laserowych w zakresie 3-3.5 μ m*, Seminarium Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe, Szklarska Poręba, Polska (2009)
13. *Optical properties of type II QWs for 3 μ m emitters*, II Workshop on Physics and Technology of Semiconductor Lasers, Kazimierz dolny, Polska (2008)
14. *Contactless electroreflectance spectroscopy in UV region*, EMRS, Warszawa (2007).
15. *On the deepness of contacless electroreflectance probing in semiconductor structures*, Modulated Semiconductor Structures, Wroclaw Polska (2006)

6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

6.1. Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych

- Członek komitetu organizacyjnego konferencji MIRSENS 4, Wrocław (2017)
- Członek komitetu organizacyjnego konferencji PhoBiA Annual Nanophotonics International Conference "PANIC", Wrocław (2015)
- Członek komitetu organizacyjnego konferencji 3rd International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures, Wrocław (2008)
- Współorganizator konferencji 2nd International Workshop on Modulation Spectroscopy of Semiconductor Structures, Wrocław (2006)

6.2. Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych

- Członek Wydziałowego Kolegium Elektorów Wydziału Podstawowych Problemów Techniki
- Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego
- Członek Rady Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej

6.3. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

- Zajęcia dydaktyczne z takich przedmiotów jak: Nanoscale Physics, Fizyka Ciała Stałego, Fizyka Półprzewodników, Fizyka Ogólna, Laboratory of Solid State Physics, Optical Spectroscopy of Nanostructures, Optyczna Spektroskopia Nanostruktur
- Wykład pt. "*Kwantowy Laser Kaskadowy*" inaugurujący rok szkolny 2014 w Liceum Ogólnokształcącym w Gilowicach.
- Wykład popularyzujący Fizykę pt. "*Podczerwień- obszar szerokich możliwości aplikacyjnych*", Politechnika Wrocławska (2013).
- Wielokrotne organizowanie zwiedzania laboratoriów Instytutu Fizyki dla studentów oraz uczniów gimnazjów i liceów.
- Udział w Dolnośląskim Festiwalu Nauki (2006, 2007).
- Udział w targach edukacji TARED (2005, 2006).
- Współorganizowanie imprezy „Cyrk Fizyczny” (2006).

6.4. Opieka naukowa nad studentami

- Promotor **pięciu prac magisterskich:**

mgr Marcin Kurka
mgr Mateusz Dyksik
mgr Aleksandra Barylak
mgr Alicja Leśniewska
mgr Jarosław Barylak

➤ Promotor **siedmiu prac inżynierskich**

inż. Wojciech Bełza
inż. Mateusz Kłys
inż. Piotr Kobus
inż. Alicja Leśniewska
inż. Jarosław Barylak
inż. Aleksandra Drażkiewicz
inż. Łukasz Dusanowski

➤ **Opiekun staży studenckich:**

Aleksandra Grzegorek (2014), Studentka Politechniki Poznańskiej
Justyna Szydełko (2015), Studentka Politechniki Wrocławskiej
Adam Klimont (2012), Student Politechniki Wrocławskiej
Mateusz Dyksik (2012), Student Politechniki Wrocławskiej

6.5. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego

dr inż. Filip Janiak, Promotor: Prof. Grzegorz Sęk
mgr inż. Mateusz Dyksik, Promotor: Prof. Grzegorz Sęk

6.6. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

L.P.	Data	Liczba dni	Miejsce	Kraj
1.	2009	5	Karlsruhe, Szkolenie w firmie Bruker	Niemcy
2.	2003	10	Letnie, europejskie warsztaty: European Summer University 2003, Fundamentals of Nanoscience, Strasbourg	Francja
3.	2002	14	Letnie Warsztaty organizowane przez Instytut Niskich Temperatur Polskiej Akademii Nauk, Wrocław	Polska

6.7. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

Wykonana została ekspertyza dla Wojskowej Akademii Technicznej z Warszawy. Ekspertyza polegała między innymi na zrealizowaniu badań fotoluminescencyjnych supersieci InAs/GaSb i analizie otrzymanych widm optycznych.

6.8. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Do chwili obecnej byłem recenzentem ~30 publikacji w czasopismach naukowych takich jak:

- a) Nanoscale
- b) Journal of Applied Physics
- c) Optica Applicata

- d) Semiconductor Science and Technology
- e) Physica Status Solidi B
- f) Opto-electronic Review
- g) Materials Science-Poland
- h) Optical and Quantum electronics
- i) Vacuum
- j) Materials Science in Semiconductor Processing

6.9. Współpraca międzynarodowa i krajowa

- Technische Physik and Wilhelm-Conrad-Röntgen-Research Center for Complex Material Systems, University of Würzburg, Niemcy
 - Prof. Martin Kamp, dr Sven Hoffling
- IOFFE Institute, Sankt Petersburg, Rosja
 - Prof. Konstantin Moiseev
- Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Université Paris-Saclay, Francja
 - dr Gilles Patriarche
- Institut d'Electronique du Sud, Université Montpellier 2-CNRS, Francja
 - Prof. Yves Rouillard
- Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa
 - Prof. Maciej Bugajski, dr hab. Kamil Kosiel, dr Anna Szerling, dr Kamil Pierściński
- Instytut Fizyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie
 - Prof. Antoni Rogalski, dr hab. Piotr Martyniuk, dr Waldemar Gawron
- Instytut Fizyki Politechniki Łódzkiej
 - dr hab. Tomasz Czyszanowski, dr Michał Wasiak
- Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej
 - Prof. Marek Tłaczała, dr Damian Pucicki
- Firma VIGO S.A. Ożarów Mazowiecki
 - Profesor Józef Piotrowski, dr Adam Piotrowski
- Firma Nanoplus, Niemcy
 - dr Mark Fisher, dr Robert Weih
- Firma Airoptc, Poznań
 - dr Paweł Kluczyński

Marcin Motyka