

Prof. dr. hab. Piotr Perlin
Instytut Wysokich Ciśnień PAN
Sokołowska 29/37, 0-142 Warszawa

27 sierpnia 2017

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr inż. Marcina Motyki.

"Optyczne właściwości obszarów aktywnych laserów półprzewodnikowych, na zakres średniej podczerwieni, wykorzystujących struktury z nieciągłością pasm typu drugiego."

Uwagi ogólne.

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Marcina Motyki zatytułowana "Optyczne właściwości obszarów aktywnych laserów półprzewodnikowych, na zakres średniej podczerwieni, wykorzystujących struktury z nieciągłością pasm typu drugiego." wykonana została w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Rozprawa oparta jest na 10 artykułach opublikowanych w międzynarodowych czasopiśmie naukowych i obejmuje następujące części:

1. Autoreferat dr. Motyki przedstawiający jego dorobek naukowy oraz osiągnięcia merytoryczne.
2. Oświadczenie współautorów publikacji o ich wkładzie do przedstawionych prac.
3. Dziesięć publikacji stanowiących rozprawę.

Dr inż. Marcin Motyka ukończył studia magisterskie na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w 2003 roku. W 2008 r. uzyskał tytuł doktora nauk fizycznych na tej samej uczelni za rozprawę: "Zastosowanie spektroskopii elektromodulacyjnej do badania struktur półprzewodnikowych na bazie azotku galu."

Pan Marcin Motyka był zatrudniony w latach 2008-2009 na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki PWR jako asystent i od roku 2009 jako adiunkt.

Ocena osiągnięcia naukowego.

Przedstawiony przez dr inż. Marcina Motykę zestaw prac składa się z dziesięciu pozycji, w tym:

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].

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].

Powyższe prace zostały opublikowane w następujących czasopismach:

4 prace w Applied Physics Letters (IF=3.57),
2 prace w Applied Physics Express(IF=2.2-2.8),
2 prace w Journal of Applied Physics (IF=2.0),
1 praca w Nanoscale research Letters (IF=2.6),
1 praca w Journal of Physics D (IF=2.7).

Pan Motyka jest pierwszym autorem ośmiu z dziesięciu prac, przedstawionych w dyskutowanej rozprawie, a w dwóch pozostałych jest drugim autorem.

Wszystkie, bez wyjątku, prace opublikowane są w dobrych, opiniotwórczych czasopismach o współczynniku wpływu 2 i więcej. Aż cztery z dziesięciu prac, zamieszczonych w rozprawie

będącej przedmiotem tej dyskusji, zostały opublikowane w Applied Physics Letters, czasopiśmie znaczącym w dziedzinie heterostruktur półprzewodnikowych.

Publikacje w rozprawie oznaczone są symbolami A1-A10 i wszystkie koncentrują się wokół zagadnienia projektowania i własności struktur kwantowych GaInAsSb dla kaskadowych laserów międzypasmowych. Kaskadowe lasery bazujące na przejściach międzypasmowych w strukturach ze studniami kwantowymi drugiego rodzaju, są rozwiązaniem korzystającym z zalet i sprawdzonej technologii diod laserowych ale również, z dużej możliwości regulacji długości fali emisji charakterystycznej dla monopolarnych laserów kaskadowych. Obszarem zainteresowania autora jest zakres średniej podczerwieni (3-4 μm) ważny przede wszystkim dla laserowych sensorów substancji organicznych.

Poniżej omówię pokrótce poszczególne artykuły.

A1.

Autor raportuje wykonanie pomiarów optycznych struktur AlSb/GaInSb/InAs osadzanych na podłożu GaSb. Struktury różniły się grubością warstwy InAs, tworzącą studnię potencjału dla elektronów, co dało możliwość przestrojenia długości fali emisji w zakresie spektralnym 2 - 6 μm . Dodatkowo zademonstrowano trwałość emisji z takich struktur do temperatury pokojowej. Rezultaty eksperymentalne porównano z rachunkami kp. Możliwość uzyskania efektywnej emisji w zakresie np. 4 mikronów otwiera możliwość użycia tych struktur do systemów detekcji gazów takich jak metan czy dwutlenek węgla. Od strony eksperymentalnej badano w tej pracy widma fotoluminescencji i fotoodbicia. Ta ostatnia metoda jest specjalnością grupy wrocławskiej i autora rozprawy.

A2.

Ta praca koncentruje się wokół demonstracji nowej techniki pomiarowej, to znaczy spektroskopii fotomodulacyjnej wykorzystującej spektrometr Fourierowski. W spektroskopii średniej podczerwieni, metoda Fourierowska ma oczywiste zalety, natomiast jest zastosowanie dla badań fotomodulacyjnych nie było oczywiste. Autorzy pracy pokazują, że spektroskopia Fouriera może być z powodzeniem zastosowana do pomiaru fotomodulacyjnego w postaci szybkiej spektroskopii różnicowej. Opis metody ilustrowany jest przykładami pomiarów struktury typu „W” AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb.

A3.

W tej pracy autorzy zastosowali zademonstrowaną w publikacji A2 metodę szybkiej spektroskopii różnicowej (FDR ang. Fast Differential Reflectance) do badania studni kwantowych drugiego rodzaju (struktura „W”) AlSb/InAs/GaInSb. Zbadano próbki różniące się szerokością studni elektronowej InAs i ciśnieniem As podczas wzrostu. Wykazano możliwość uzyskania emisji z takiej struktury w zakresie 4-5 μm , z myślą o zastosowaniu takiej warstwy aktywnej w międzypasmowych laserach kaskadowych.

A4.

To praca poświęcona badaniu ogólniejszej konstrukcji studni kwantowych drugiego rodzaju, typu „W”, w której dopuszczamy większą ilość warstw studni i barier. Celem tej pracy było znalezienie struktury o najwyższym prawdopodobieństwie przejść optycznych. Warstwy były wyhodowane z różnymi ilościami studni i ich różnymi grubościami. Badania fotoodbicia zostały użyte do skorelowania parametrów struktury z mierzoną siłą oscylatora przejścia. Eksperyment został skonfrontowany z modelami (kp) struktury pasmowej.

A5.

Ta praca analizuje heterostrukturę ze studniami kwantowymi drugiego rodzaju (struktura „W”) zbudowanej ze związków AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb. Autorzy szukają warunków, dla których prawdopodobieństwo przejścia optycznego jest największe, uzmienniając składy i grubości studni elektronowych i dziurowych.

Oprócz znalezienia optymalnych parametrów praca proponuje dodanie arsenu do warstwy GaInSb. Zaproponowana konstrukcja została zweryfikowana przez obliczenia kp w modelu 8 pasmowym.

A6.

W pracy tej kontynuuje się wątek studni kwantowych typu „W” z użyciem warstwy z poczwórnego materiału GaInAsSb. Wprowadzenie arsenu do stopu potrójnego GaInSb jest zabiegiem nieobojętym z punktu widzenia wzrostu tych warstw i ich morfologii. Autorzy pokazują pojawianie się w takiej sytuacji stanów zlokalizowanych, które przypisują fluktuacjom składu na interfejsie InAs/GaInAsSb. Praca wskazuje na potrzebę znalezienia kompromisu między inżynierią struktury pasmowej a zachowaniem optymalnych parametrów materiałów i struktury.

A7.

Publikacja ta stanowi kontynuację zagadnień opisanych w pracach A5 i A6. Jej zasadniczym wynikiem jest pokazanie, że niemożliwe jest odtworzenie właściwych energii przejść optycznych w tej strukturze bez wprowadzenie odpowiedniego rozmycia interfejsu pomiędzy warstwami InAs/GaIn(As)Sb. Implikacje tej pracy są zarówno praktyczne (jakość interfejsów) jak i modelowe – wprowadzenie do modeli odpowiedniego rozmycia.

A8.

Praca ta opisuje kolejną modyfikację, badanej wcześniej struktury studni kwantowych drugiego rodzaju typu „W”. Tym razem zbadano możliwość zastąpienia warstwy GaInSb poprzez warstwę GaAsSb. Zamiana ta prowadzi do zmian stanu naprężeń w strukturze umożliwiając przesunięcie poziomów lekko i ciężko dziurowych. Potencjalne staje się możliwe osiągnięcie emisji światła wyłącznie ze stanów lekkodziurowych co pozwala myśleć o laserach o znacznie obniżonym prądzie progowym.

A9.

Praca ta dotyczy podobnego, do wcześniej rozpatrywanych, układu materiałowego, ale tym razem koncentruje się na ogólnych własnościach heterostruktury:

$\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{As}_{0.22}\text{Sb}_{0.78}/\text{In}_{0.83}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.82}\text{Sb}_{0.20}$. Tego typu heterostruktury były zaproponowane jako warstwa aktywna międzypasmowych laserów kaskadowych średniej poczerwieni, ze względu na ich dobrą lokalizację dziur i elektronów.

Badania skupiały się na znalezieniu zależności temperaturowej przerwy, pomiarze energii poziomu akceptorowego, oraz położeniu i zależności temperaturowej przejścia do pasma odszczepionego spin-orbitalnie.

A10.

Ta praca jest rozwinięciem tematyki zaprezentowanej w publikacji A9 i dotyczy zbadania zależności położenia przerwy energetycznej i pasma odszczepionego spin-orbitalnie od składu poczwórnego związku InGaAsSb. Stwierdzono, że zależność przerwy tego związku od zawartości molowej galu jest silnie nieliniowa (duży „*bowing coefficient*”). Wyznaczono dwa punkty charakterystyczne (składy), dla których energia podstawowego przejścia jest

równa energii rozszczepienia spin-orbitalnego. Dla tych składów, jak rozumiem, można się spodziewać bardzo szybkiej rekombinacji niepromienistej (rekombinacja Auger).

Wnioski z oceny rozprawy habilitacyjnej.

Wszystkie prace wchodzące w zakres tej rozprawy, podejmują problem heterostruktur, opartych o półprzewodniki AlInGaAsSb, z których zbudować można studnie kwantowe o nieciągłości pasm drugiego rodzaju, mogące tworzyć warstwę aktywną międzypasmowych laserów kaskadowych. Prace można podzielić tematycznie i metodologicznie na dwie grupy:

W pierwszej grupie, obejmującej prace od A1. do A8., autor bada różne konfiguracje studni kwantowych zbudowanych z tych materiałów, wyznaczając energię przejść optycznych i ich zależności temperaturowe, oraz siłę oscylatora tych przejść. Celem powyższych badań jest zaprojektowanie struktury (studni kwantowych) posiadającej wydajne przejścia optyczne (przejścia są przestrzennie skośne!) jak i dobranie odpowiedniego zakresu emisji (długości fali) pod odpowiednie zastosowania sensoryczne. Konstrukcja tych pracy jest podobna. Struktury, wytworzone przez współpracujące instytuty niemieckie, są charakteryzowane poprzez pomiary fotoluminescencji (w różnych temperaturach) i fotoodbicia. Poziomy w strukturach obliczone są metodą kp. Inicjatorem tych prac, ich wykonawcą i koordynatorem badań optycznych struktur był dr Motyka, co potwierdzają zarówno oświadczenia współautorów omawianych artykułów jak też szeroko znane w środowisku osiągnięcia i umiejętności autora tej rozprawy.

Druga grupa, A9. i A10. to prace bardziej skoncentrowane na własnościach samych materiałów. Badania prowadzone w ramach tych dwóch prac mają na celu wyznaczenie przerwy energetycznej i wielkości rozszczepienia spin-orbitalnego w funkcji temperatury i/lub składu. Zakres aktywności dr Motyki jest tu identyczny jak w pierwszej grupie prac.

Siłą tej rozprawy jest bardzo kompletne podejście do problemu warstw aktywnych ze studniami kwantowymi drugiego rodzaju dla międzypasmowych laserów kaskadowych średniej podczerwieni. Zaproponowanych jest szereg struktur, ze szczególnym naciskiem na układ "W" studni kwantowych. Pokazane są dobre własności emisyjne w interesującym zakresie spektralnym (np. 4 μ m). Zwrócono też uwagę na praktyczne problemy wytwarzania struktur, na przykład ostrość interfejsów. Rozprawę kończy poszukiwanie materiałów o wydajnym efekcie Auger, z przeznaczeniem dla niskoszumnych diod lądowych.

Każda z prezentowanych prac zawiera trzy podstawowe komponenty: wysokiej jakości struktury epitaksjalne, ekspercką charakteryzację (techniki modulacyjne wymagają wiedzy i doświadczenia) oraz obliczenia numeryczne struktury pasmowej metodą kp.

Traktując zbiór tych prac jako spójne dzieło, można je określić jako bardzo dobry i całościowy opis heterostruktur typu AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb pod kątem ich zastosowań w laserach kaskadowych. Praca ta ma walor zarówno poznawczy jak i praktyczny, stanowiąc ważny przewodnik dla badaczy i inżynierów projektujących międzypasmowe lasery kaskadowe.

Warto też zwrócić uwagę, że dr Motyka przyczynił się do wdrożenia metody spektroskopii różnicowej (alternatywa dla typowych pomiarów modulacyjnych), możliwej do wykonania przy użyciu

Niedociągnięcia rozprawy.

Wszystkie przedstawione prace są solidnie wykonane, poziom naukowy dobry, a tematyka bardzo spójna. Ich wady czyli podobna konstrukcja i użycie tego samego zestawu technik eksperymentalnych, są w jakimś sensie pochodną ich zalet. Można zauważyć, że całość przedstawionych badań jest częścią większego programu rozwoju międzypasmowych laserów kaskadowych prowadzonego w Niemczech. W tym sensie motywacja przedstawionych działań jest w jakiejś części zewnętrzna. Nie uważam jednak tego za wadę, a raczej pozytyw, że badania tu przedstawione wplatają się dobrze w ważną tematykę prowadzoną w Europie.

Podsumowując można stwierdzić, że prace dr Motyki reprezentują dobry poziom naukowy i wpisują się w, gorący dla optoelektroniki, nowy obszar struktur dla międzypasmowych laserów kaskadowych. Wyniki tych prac stanowią ważny materiał dla fizyków i inżynierów zajmujących się rozwojem emiterów światła (laserów) pracujących w zakresie średniej podczerwieni.

Ocena aktywności naukowej.

Dorobek naukowy

Dr inż. Marcin Motyka

Dr inż. Marcin Motyka jest autorem 87 artykułów opublikowanych w czasopiśmie międzynarodowych i materiałach konferencyjnych. Ich indeks cytowań jest na poziomie 396 (bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 14. Są to bardzo dobre wyniki dla naukowca będącego na tym etapie kariery zawodowej. Pan doktor Motyka publikuje w dobrych czasopiśmie takich jak Journal of Applied Physics, Applied Physics Letters, Applied Physics Express itd... Większość czasopiśmie, w których publikuje ma IF powyżej 3. W całości dorobek naukowy można uznać za doskonały.

Aktywność w życiu naukowym i osiągnięcia dydaktyczne.

Dr Motyka był kierownikiem trzech projektów badawczych (między innymi OPUS i Sonata NCN) i wykonawcą w wielu innych. Jedenaście razy wygłaszał zaproszone referaty na konferencjach. Jest to bardzo znacząca liczba zaproszeń, choć nie wszystkie konferencje miały równie wysoką rangę.

Dr Motyka miał duży udział w rozbudowie infrastruktury badawczej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Między innymi miał udział w uruchomieniu układu do pomiarów foteodrobicia przy użyciu spektrometru Fourierowskiego.

Dr Motyka był współorganizatorem czterech konferencji z dziedziny spektroskopii półprzewodników.

Prowadził 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.

Dawał też wykłady popularyzacyjne w szkołach średnich.

Dr Motyka był promotorem pięciu prac magisterskich: mgr Marcina Kurka, mgr Mateusza Dyksika, mgr Aleksandra Barylaka, mgr Alicji Leśniewskiej i mgr Jarosława Barylaka.

Był opiekun siedmiu prac inżynierskich.

Występował też jako promotor pomocniczy dwóch prac doktorskich:

dr inż. Filipa Janiaka, Promotor: Prof. Grzegorz Sęk,

mgr inż. Mateusza Dyksika, Promotor: Prof. Grzegorz Sęk.

Wszystkie badania, w których uczestniczył, wiązały się ze ścisłą współpracą z instytutami zagranicznymi w, między innymi, Niemczech, Francji i Rosji.

Jedynym brakiem, w doskonałym przebiegu, kariery naukowej dr Motyki jest brak dłuższych staży naukowych za granicą. Poza tym całokształt działalności naukowej można uznać za wzorcowy.

Podsumowanie.

Pan dr Motyka, jest uznanym autorytetem w Polsce w dziedzinie heterostruktur półprzewodników III-V i metod ich charakteryzacji optycznej.

Jego prace wskazują na dojrzałość badawczą, umiejętność syntezy wyników pochodzących z wielu metod badawczych z wynikami modelowania teoretycznego, są zawsze technologicznie istotne, a tematyka, którą podejmuje „gorąca”.

Przedstawione w rozprawie publikacje stanowią zauważalny międzynarodowo dorobek naukowy w dziedzinie fizyki heterostruktur półprzewodników III-V, szczególnie w obszarze struktur kwantowych z nieciągłościami pasm drugiego rodzaju.

Podsumowując, uważam, że dorobek habilitacyjny dr inż. Marcina Motyki spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczeniu Dr inż. Motyki do dalszych etapów habilitacji.

prof. dr hab. Piotr Perlin

