

Warszawa, 18.01.2018 r.

Dr hab. Janusz Kaniewski, Prof. ITE
Instytut Technologii Elektronowej
Al. Lotników 32/46
02-668 Warszawa
Tel.: +48605278607
e-mail: jkaniew@ite.waw.pl

OPINIA

**o dorobku naukowym dr inż. Krzysztofa Ryczko
oraz Jego rozprawie habilitacyjnej
pt.: „Badanie wybranych struktur kwantowych związków III-V pod kątem
poprawy parametrów pracy półprzewodnikowych emiterów
promieniowania podczerwonego”**

1. Podstawowe informacje o kandydacie i ocena Jego dorobku naukowego

Krzysztof Ryczko urodził się w 1972 r. w Dusznikach Zdroju. W latach 1991-1996 studiował na Politechnice Wrocławskiej specjalizując się w fizyce ciała stałego. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w wyniku obrony pracy pt. *Wpływ ekscytonów na podstawowe przejścia optyczne półprzewodników w obecności zewnętrznego pola elektrycznego*.

Po ukończeniu studiów magisterskich rozpoczął Studia Doktoranckie w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, które zakończył w roku 2000 obroną rozprawy doktorskiej pt. *Właściwości ekscytonów w modulacyjnie domieszkowanych heterozłączach $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ typu p*. Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz.

Od 2000 roku do chwili obecnej jest pracownikiem naukowym zatrudnionym na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej. Początkowo na stanowisku asystenta, a następnie od 2001 r. adiunkta naukowo dydaktycznego.

W kolejnych latach brał udział w trzech projektach europejskich; kolejno w:
SensHy - Photonic sensing of hydrocarbons based on innovative mid infrared lasers,
WideLase - Monolithic Widely Tunable Interband Cascade Lasers for Safety and Security
oraz *iCspec - In-line Cascade Laser Spectrometer for Process Control*.

Tematyka prac naukowych w okresie przygotowywania rozprawy doktorskiej, przed 2000 r., dotyczyła modelowania oraz opracowania szeregu programów komputerowych, które zostały wykorzystane m. in. do obliczenia energii i funkcji falowych stanów elektronowych i dziurowych w prostokątnych studniach kwantowych. Obliczenia te zostały wykorzystane do interpretacji danych eksperymentalnych uzyskanych metodą spektroskopii odbiciowej. W wykonanych symulacjach numerycznych struktury pasmowej oraz własności optycznych heterozłączy $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ selektywnie domieszkowanych akceptorami uwzględniono szereg ważnych efektów takich jak akumulacyjny charakter warstwy przyłączonej oraz wielociałowe efekty wymiany i korelacji. Przy opisie stanów dziurowych wykorzystano skomplikowany matematycznie i trudny model Luttingera. Zaproponowano model kwazistacjonarnego ekscytonu powierzchniowego. Ponadto obliczono energie i czasy życia takich niestacjonarnych kwaszczynek w heterozłączach typu p. Wyniki prac przed uzyskaniem stopnia doktora zostały opublikowane w 8 artykułach oraz przedstawione podczas 3 konferencji naukowych.

Po obronie pracy doktorskiej w 2000 r. dr inż. K. Ryczko rozwijał swój warsztat naukowy opracowując metody symulacyjne oraz programy komputerowe służące do:

- obliczania energii i funkcji falowych dziur w heterostrukturach AlGaAs-GaAs w polu magnetycznym ustawionym równolegle do kierunku wzrostu struktury;
- obliczania g-czynnika w studniach kwantowych o różnej orientacji kierunku wzrostu umieszczonych w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku wzrostu struktury;
- obliczania energii i wiązania ekscytonu w pojedynczych oraz podwójnych studniach kwantowych wykonanych z półprzewodników III-V z prostą przerwą;
- obliczania energii i funkcji falowych elektronów i dziur w strukturach wykonanych z półprzewodników III-V z prostą przerwą z azotem;
- obliczania struktury energetycznej nośników ładunku w warstwie zwilżającej.

Programy te umożliwiły analizę właściwości nowoczesnych struktur niskowymiarowych takich jak:

- heterostrukture i studnie kwantowe $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$
- heterostrukture i studnie kwantowe zawierające azot lub Sb
- kropki kwantowe

Nie bez znaczenia jest fakt, że dr inż. K. Ryczko rozwijał się w znakomitym zespole kierowanym przez prof. dr hab. inż. J. Misiewicza. Z biegiem lat szybko stał się doświadczonym i biegłym teoretykiem, specjalizującym się w badaniach współczesnych struktur i przyrządów kwantowych. Dysponując bogatym warsztatem naukowym był atrakcyjnym partnerem do współpracy dla różnorodnych zespołów badawczych. Z tego powodu prowadził badania wspólnie z imponującą liczbą znakomitych grup naukowych z takich ośrodków jak:

Experimentelle Physik 2 Technische Universität Dortmund w Niemczech, Ioffe Physical - Technical Institute, Russian Academy of Sciences w Rosji, Cavendish Laboratory, University of Cambridge w Wielkiej Brytanii, Laboratoire National des Champs Magnétiques Intense Grenoble we Francji, Instytut Fizyki PAN w Polsce, Technische Physik, Universität Würzburg w Niemczech, The Niels Bohr Institute, University of Copenhagen w Danii, Solid State and Photonics Laboratory, Stanford University w USA, Université Montpellier 2-CNRS z Francji, CNR-Institute of Photonics and Nanotechnology we Włoszech, Ecole Polytechnique, Institute of Quantum Electronics and Photonics, Lausanne w Szwajcarii.

Efektom tej współpracy było ok. 60 publikacji.

W tym okresie dr inż. Krzysztof Ryczko brał czynny udział w ok. 20 konferencjach krajowych i zagranicznych, na których prezentował wyniki podczas wykładów zaproszonych i referatów z prac własnych.

Publikacje dr inż. K. Ryczko zostały wykonane w większych grupach badawczych. Procentowy udział autora w poszczególnych pracach jest szczegółowo przedstawiony w opisie działalności naukowej w pkt 5.1.1. autoreferatu.

Dr inż. K. Ryczko w okresie zatrudnienia w Politechnice Wrocławskiej był głównym wykonawcą w projektach Unii Europejskiej: Horyzont 2020 oraz dwóch w ramach 7 programu ramowego. Ponadto był wykonawcą w sześciu projektach NCN, Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, KBN, niemieckiego DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) oraz 5 i 6 programu ramowego Unii Europejskiej. Projekty te dotyczyły laserów kaskadowych, struktur emiterów promieniowania podczerwonego, laserów telekomunikacyjnych, kropek kwantowych pod kątem zastosowań w telekomunikacji, emiterów promieniowania podczerwonego wykorzystujących efekt polarytonowy przeznaczonych do zastosowań w laserach telekomunikacyjnych.

Jako pracownik naukowy dr inż. K. Ryczko prowadził wykłady z fizyki dla studentów różnych wydziałów Politechniki Wrocławskiej, ćwiczenia z fizyki ciała stałego i mechaniki

kwantowej. Jest współautorem podręcznika dla studentów pt. *Matter - Radiation Interaction, Theory of Condensed Matter II*. Jest czterokrotnym laureatem nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej oraz posiada *Brązowy medal za długoletnią służbę*.

Na podkreślenia zasługuje także fakt działalności na rzecz popularyzacji nauki wśród uczniów gimnazjów i liceów.

Obok pracy naukowo - dydaktycznej prowadził także szeroką działalność organizacyjną polegającą na współorganizacji wielu konferencji międzynarodowych. Ponadto był recenzentem szeregu prac w wielu uznanych czasopismach międzynarodowych.

Dorobek naukowy dr inż. Krzysztofa Ryczko jest imponujący, wszechstronny i bogaty zarówno pod względem merytorycznym jak i ilościowym. Obejmuje on 96 publikacji w czasopismach z listy filadelfijskiej, takich jak *Physical Review B* - 6 artykułów, *Applied Physics Letters* - 11 artykułów, *Journal of Applied Physics* - 11 artykułów, *AIP Advances*, *Applied Physics Express*, *Optical Express*, *Optical and Quantum Electronics*, *Superlattices and Microstructures*, *Semiconductor Science and Technology*, *Japanese Journal of Applied Physics*, *Phys. Stat. Sol.*, *Opto-electronics Review*, *Physica E*, *Solid State Electronics*. Prace te są licznie cytowane w literaturze światowej.

Wyznacznikiem poziomu dorobku naukowego i jego znaczenia w nauce są dane pozyskane z bazy *ISI Web of Knowledge*:

sumaryczny *Impact Factor* publikacji 148,313, ilość 597 cytowań (458 bez autocytowań), współczynnik Hirscha $h=15$.

Reasumując tę część opinii stwierdzam, że dorobek naukowy dr inż. K. Ryczko, a także jego aktywność na polu organizacji badań naukowych z wyraźnym nadmiarem spełniają wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego.

2. Ocena rozprawy habilitacyjnej

W ostatnich latach nastąpił gwałtowny rozwój nowoczesnych półprzewodnikowych emiterów i detektorów pracujących w obszarach bliskiej i średniej podczerwieni. Wynika to z bardzo dużej ilości różnorodnych zastosowań tych elementów, zarówno cywilnych jak i wojskowych.

Wzrost wymagań ze strony producentów urządzeń powoduje, że istnieje ciągła potrzeba poprawy parametrów emiterów pracujących w podczerwieni. W szczególności istotne są nowatorskie rozwiązania, w tym także propozycje optymalizacji różnych obszarów struktur. W recenzowanej rozprawie analiza ta ograniczona jest do obszarów aktywnych laserów

działających w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni wykorzystujących przejścia międzypasmowe.

Autor przedstawia jako rozprawę habilitacyjną 9 publikacji, w których jest pierwszym lub drugim autorem wraz z 25 stronicowym komentarzem. Wybrane prace mają charakter zespołowy. Jest to w pełni uzasadnione ich technologicznym i doświadczalnym charakterem, gdzie na końcowy rezultat składa się praca wielu osób reprezentujących różne dziedziny wiedzy i umiejętności, a także różne ośrodki badawcze. Nie da się w inny sposób osiągnąć znaczących wyników służących praktycznemu wykorzystaniu technologii dla celów realizacji, a w dalszym etapie komercjalizacji przyrządów elektroniki i fotoniki. Nie ma wątpliwości, że udział dr inż. Krzysztofa Ryczko w przedstawionych publikacjach jest wiodący. Podkreślają to w swoich oświadczeniach współautorzy prac. Podstawą i silną stroną omawianych publikacji są rozważania teoretyczne, propozycje różnych modeli i rozbudowana analiza numeryczna oraz interpretacje wyników wykonane przez Autora.

Zagadnienia analizowane w pracach dotyczą współczesnych struktur kwantowych. Stopień złożoności zjawisk fizycznych wymaga głębokiego ich zrozumienia.

Ten starannie dobrany zestaw publikacji został uzupełniony znakomicie napisanym i przekonującym komentarzem. Autor, odwołując się do załączonych publikacji omawia wybrane problemy w strukturach kwantowych. Istotne wnioski przedstawione w kolejnych pracach oznaczanych w autoreferacie H1, H2....są następujące:

praca H1 – Potencjał aplikacyjny kresek kwantowych został zademonstrowany po raz pierwszy w grupie prof. Forchela w 2007 r., w której skonstruowano laser pracujący przy długości fali 1.55 μm . Obecnie wytwarzane kreski kwantowe posiadają szersze możliwości zastosowań m.in. ze względu na łatwą do osiągnięcia technologicznie przestrajalność widmową emisji w szerokim zakresie bliskiej podczerwieni. Z tego powodu analiza teoretyczna zmian własności optycznych zbioru kresek kwantowych w zależności od gęstości i wymiarów przeprowadzona w „H1” ma istotne znaczenie praktyczne w przyrządach takich jak lasery czy źródła pojedynczych fotonów w bliskiej podczerwieni. Na jej podstawie wyjaśniono, w jakim stopniu kreski kwantowe można traktować jako niezależne emitery kwantowe.

praca H2 – Studnie kwantowe wytwarzane z półprzewodników III-V rozcieńczonych azotem mogą stanowić obszary aktywne laserów emitujących promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni. W „H2” pokazano, że zastosowanie studni kwantowych z rozcieńczonych azotków, po umieszczeniu ich we wnęce optycznej, poprawia parametry laserów polarytonowych.

praca H3 – W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących struktury energetycznej studni kwantowych I rodzaju wykonanych z materiałów III-V rozrzedzonych azotem na podłożach GaAs. Wyznaczono nieciągłości krawędzi pasma przewodnictwa oraz masy efektywne elektronów w studniach kwantowych GaAsN/GaAs w zakresie niewielkich ilości azotu.

praca H4 – W pracy zbadano własności struktury pasmowej oraz własności optyczne studni kwantowych II rodzaju stosowanych w obszarze aktywnym międzypasmowych laserów kaskadowych wykonanych z warstw AlSb, GaInSb oraz InAs na GaSb. Lasery tego typu pracują w zakresie średniej podczerwieni (3-5) μm . Rozważano studnie kwantowe typu „W”, o charakterystycznym kształcie krawędzi pasm przypominającym literę W.

praca H5 – Zaproponowano wykorzystanie materiału czteroskładnikowego GaInAsSb zamiast materiału trójskładnikowego GaInSb w studniach kwantowych typu „W” w międzypasmowych laserach kaskadowych oraz opracowanie charakterystyki takiego obszaru aktywnego. Wykazano, że zmieniając składy i grubości warstw obszaru aktywnego można zaprojektować struktury typu II pracujące w szerokim w zakresie widmowym (10-15) μm .

praca H6 – Badania dotyczyły zmodyfikowanego obszaru aktywnego w międzypasmowych laserach kaskadowych w porównaniu do studni kwantowej typu „W”. Opracowano alternatywny sposób konstrukcji obszarów aktywnych poprzez zaproponowanie zwiększenia ilości studni kwantowych.

praca H7 – Zaproponowano nowy obszar aktywny w międzypasmowych laserach kaskadowych z zastosowaniem rozciągająco naprężonej warstwy GaAsSb. W poprzednich konstrukcjach stosowana była naprężona ściskająco warstwa GaInSb.

praca H8 – Zaprojektowano po raz pierwszy obszary aktywne stosowane w międzypasmowych laserach kaskadowych wykazujących niezależność polaryzacyjną w funkcji wzmocnienia w zakresie średniej podczerwieni.

praca H9 – Zaproponowano nowe rozwiązanie obszarów aktywnych mogące prowadzić do stworzenia nowej klasy urządzeń impulsowych pracujących w obszarze w średniej podczerwieni opartych o koncepcję międzypasmowych laserów kaskadowych i wykorzystujących pasywną synchronizację modów.

Reasumując stwierdzam, że

- publikacje przedstawione w rozprawie są twórczym wkładem Autora w reprezentowaną przez niego dziedzinę i zawierają wiele nowych, oryginalnych w skali światowej rezultatów
- rozprawa stanowi konsekwentny i spójny zbiór artykułów dotyczących struktur ze związków III-V.

- praca dotyczy bardzo ważnej dla współczesnej fotoniki, tematyki kwantowych emiterów promieniowania podczerwonego, aktualnej i dynamicznie rozwijanej w czołowych laboratoriach światowych.

-

Rozprawa jest przejrzysta i logicznie zredagowana oraz bardzo dobrze napisana co świadczy o erudycji Autora.

Recenzowanie tej pracy było przyjemnością dla recenzenta.

3. Wniosek końcowy

Oceniając bardzo wysoko całokształt dorobku naukowego i organizacyjnego oraz przedstawioną rozprawę habilitacyjną dr inż. Krzysztofa Ryczko, uważam, że jest On w pełni ukształtowanym badaczem. Dr inż. K. Ryczko wniósł znaczący wkład w rozwój dziedziny, jaką reprezentuje, uzyskał ważną pozycję w nauce polskiej i światowej, a jego udokumentowane talenty badawcze, także w zakresie organizacji badań predysponują Go do samodzielnego prowadzenia badań i kształcenia kadry naukowej.

Stwierdzam, że osiągnięcia naukowe oraz całokształt dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego całkowicie spełnia wymagania wynikające z Ustawy z 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami oraz Rozporządzenia MNiSZW dnia 1 września 2011 r. stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Popieram więc wniosek o nadanie dr inż. Krzysztofowi Ryczko stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych i wnioskuję o dalsze postępowanie zgodnie z przytoczoną ustawą.

