Prof. dr hab. Tomasz Czyszanowski
Instytut Fizyki Politechniki Łódzkiej
Ul. Wólczańska 219
90-924 Łódź

Recenzja osiągnięć naukowych oraz ocena dorobku naukowego dra Wojciecha Rudno-Rudzińskiego

Osiągnięcia będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego przez pana dra Wojciecha Rudno-Rudzińskiego dotyczą zbioru prac poświęconych badaniu zjawisk zachodzących w obszarach aktywnych struktur telekomunikacyjnych laserów półprzewodnikowych wykorzystujących tunelowanie między studnią kwantową i kropkami kwantowymi. Zbiór składa się z 10 oryginalnych prac naukowych (P1 – P10) opublikowanych w międzynarodowych czasopismach w latach 2009-2018. Dr Wojciech Rudno-Rudziński jest pierwszym autorem wszystkich prac z jednym wyjątkiem, którym jest praca P5. Prace te ukazały się w czasopismach o znaczącym wpływie na dziedzinę fizyki i optoelektroniki kwantowej: po dwie prace w Semiconductor Science and Technology, Physica Status Solidi A, Applied Physics Letters, oraz po jednej pracy w Physical Review B, AIP Advances, Scientific Reports oraz w Optica Applicata. Liczba cytowań prac stanowiących monotematycznych cykl dziesięciu publikacji wynosi 87 wg WoS przy czym prace P2, P5 posiadają ponad 20 cytowań, P9 posiada 10 cytowań, pozostałe prace natomiast poniżej 10 cytowań co uważam za dobry wynik. Ponadto dr Rudno-Rudziński po uzyskaniu stopnia doktora był współautorem 13 publikacji w czasopismach o równie wysokim standardzie i dotyczących zbliżonej tematyki do prac wchodzących w skład przedstawianego cyklu. Można zatem odnieść wrażenie, że przedstawiony cykl prac jest wyborem autora stanowiącym mniej niż 50% dorobku zbudowanego przez niego w czasie po uzyskaniu stopnia doktora. Jego współczynnik H wynosi 9 a roczna ilość cytowań utrzymuje się na zbliżonym poziomie około 20 na rok. Należy spodziewać się zatem systematycznego wzrostu tego parametru w najbliższych latach, spodziewany wzrost dotyczy także wartości indeksu Hirscha, który obecnie wynosi 10.

Prace stanowiące trzon prezentowanego osiągnięcia stanowią zwartą grupę tematyczną. Ich tematyka koncentruje się wokół realizacji efektywnego obszaru czynnego, w którym rekombinacja promienista następuje w efektywny sposób z obszaru kropek kwantowych.

Badany układ, w kierunku wzrostu epitaksjalnego, posiada dwa lokalne sprzężone minima potencjału, jedno związane ze studnią kwantową oraz drugie związane z obszarem kropek kwantowych. Podjęta tematyka jest interesująca ze względu na fundamentalne badania nad sprzężeniem dwóch potencjałów posiadających kwantowy układ stanów energetycznych oraz na aspekt praktyczny związany z poszukiwaniem efektywnych źródeł promieniowania w zakresie podczerwieni wykorzystywanej w telekomunikacji. Z praktycznego punktu widzenia wydaje się, że realizacja tego typu struktur z materiałów arsenkowych, które pozwalają na efektywną emisję promieniowania o długości fali w okolicy 1300 nm jest obecnie szczególnie cenna dla rozwoju telekomunikacji i detekcji. Obserwujemy w ostatnich latach znaczący przyrost ilości urządzeń wykorzystujących emitery promieniowania wykonane w technologii arsenkowej. Emisja ze studni kwantowych InGaAs w urządzeniach wykonanych w technologii arsenkowej pozwala uzyskać generacjępromieniowania o długości fali nie większej niż 1100 nm. Promieniowanie elektromagnetyczne o większej długości fali sięgającej 1300 nm pozwala na obniżenie strat optycznych sygnałów przesyłanych w światłowodach szklanych oraz jest mniej szkodliwa dla ludzkiego oka w przypadku zastosowań w wolnej przestrzeni.

Prace przedstawione przez dr Rudno-Rudzińskiego mają charakter eksperymentalny i dotyczą charakteryzacji spektralnej widm odbiciowych i luminescencyjnych badanego układu oraz ich interpretacji.

Cel badawczy prac przedstawionych do oceny jest jasno określony, jest nim poszukiwanie układu sprzężonych potencjałów studni kwantowej i obszaru kropek bądź drutów kwantowych umożliwiających efektywną emisję promieniowania między podstawowymi poziomami elektronowymi i dziurowymi w potencjale związanym z kropkami kwantowymi bądź drutami kwantowymi.

Publikacje zostały przyporządkowane do trzech grup. W skład pierwszej wchodzą prace P3 i P5 dotyczące struktur na bazie arsenków emitujących promieniowanie o długości fali około 1000 nm, do drugiej grupy zostały zaliczone prace P1, P2, P4 dotyczące zbliżonych struktur pod względem składu chemicznego, lecz emitujących promieniowanie o długości fali około 1300 nm oraz grupę prac od P6 do P10, w których badane są konfiguracje z obszarami na bazie kropek kwantowych i drutów kwantowych emitujących promieniowanie o długości fali 1550 nm i wykonanych z materiałów fosforkowych.

W pierwszej grupie prac dr Rudno-Rudziński przeprowadza weryfikację koncepcji sprzężonych studni kwantowych z obszarem kropek kwantowych, obie wykonane z InGaAs o

odpowiednio dobranym składzie indu. W ramach tych prac na drodze interpretacji własnych pomiarów spektroskopowych oraz symulacji realizowanych w jego grupie badawczej, dowodzi iż obecność studni pomaga w pułapkowaniu wzbudzonych nośników, jednak jeśli układ poziomów i związanych z nimi gęstości funkcji falowych nie jest starannie zaprojektowany, to studnia może stać się istotnym kanałem niechcianej ucieczki nośników.

W drugiej grupie prac w celu uzyskania emisji o większej długości fal w okolicy 1300 nm zastosowano kropki kwantowe wykonane z AlAs i studnie kwantową InGaAs z kilkuprocentowym dodatkiem azotu. Przeprowadzona charakteryzacja spektralna w połączeniu z charakteryzacją numeryczną przeprowadzoną w grupie badawczej pozwoliła określić złożoną strukturę energetyczną stanów związanych w strukturze. Zostało pokazane, iż w temperaturze ciekłego helu transfer nośników z obszaru studni do obszaru kropek jest bardzo efektywny. Wzrost temperatury silnie wpływa na zjawisko tunelowania i w temperaturach pokojowych zaobserwowano intensywną rekombinację niepromienistą nośników w obszarze studni oraz ucieczkę nośników z obszaru kropek kwantowych do studni. W pracy dokonano optymalizacji koncentracji azotu w studni kwantowej umożliwiający minimalizację prawdopodobieństwa rekombinacji ze stanów nie zlokalizowanych w obszarze kropek kwantowych. Tego typu struktura została wykorzystana przez grupę z LPN CNRS jako obszar czynny lasera, jednak jego efektywność odbiegała od typowych struktur laserowych wykorzystujących obszary czynne na bazie kropek kwantowych emitujących promieniowanie o tej długości fali.

W trzeciej grupie znalazły się prace dotyczące struktur emitujących promieniowanie o długości fali 1550 nm wykonanych w technologii fosforkowej przy wykorzystaniu czteroskładnikowych materiałów dopasowanych sieciowo do InP. Ta część obejmuje najobszerniejszy zbiór prac, które dodatkowo można podzielić na trzy podgrupy związane z konkretnymi konfiguracjami materiałowymi prowadzącymi do emisji fali świetlnej o długości fali 1550 nm. W tej grupie prac habilitant skupił się na analizie wpływu szerokości bariery na siłę sprzężenia między studnią a obszarem z kreskami kwantowymi w przypadku głębokich i płytkich jam potencjału, wpływu wydajności tunelowania na drogę dyfuzji nośników oraz szerokości studni na siłę sprzężenia. Prace prowadzone przez habilitanta doprowadziły do scharakteryzowania optymalnego układu, który został wykorzystany w strukturze lasera wykonanego na Uniwersytecie w Kassel.

Habilitant zadeklarował w przypadku wszystkich omawianych prac wykonanie pomiarów fotoodbicia oraz fotoluminescencji, które były głównymi wynikami prezentowanymi

w pracach. Ponadto w przypadku niemal wszystkich publikacji był osobą odpowiedzialną za stworzenie koncepcji badań oraz przygotowanie manuskryptu.

Konkludując, uważam, że przedstawiony dorobek zawiera znaczące wyniki naukowe. Wyniki te zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach o wysokiej renomie, a decydujący udział dra Rudno-Rudzińskiego w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy habilitacyjnej jest niepodważalny. Zatem przedstawiony cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych spełnia wymogi stawiane osiągnięciom naukowym wymaganym do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

Należy dodać, że badania prowadzone przez dra Rudno-Rudzińskiego wymagają zaawansowanej wiedzy z zakresu fizyki ciała stałego i mechaniki kwantowej oraz doświadczenia w dziedzinie spektroskopii. Niepodważalny jest jego wkład w charakteryzację i doskonalenie układów sprzężonych potencjałów studni kwantowej i obszaru z kropkami kwantowymi, które dzięki ścisłej współpracy z wieloma ośrodkami technologicznymi pozwoliły na rozwijanie tego typu struktur i ich wykorzystanie w urządzeniach. Mój subiektywny niedosyt budzi rozproszony charakter prowadzonych badań związany z analizą układów, których modyfikacje i analiza nie stanowiły systematycznego ciągu koncepcyjnego. Taki charakter badań jest zrozumiały w świetle współpracy habilitanta z różnymi ośrodkami technologicznymi, które nie działają w sposób skoordynowany. Dodatkowo niedokładności technologiczne wytwarzania tego typu struktur mogły zauważalnie zaburzyć subtelne efekty kwantowe, co mogło być przyczyną prowadzącą do powstania rozproszonych wniosków i ograniczających się do konkretnych układów. Faktu tego świadom jest także habilitant pisząc, że „układ tunelowy jest bardzo czuły na wszelkie szczegóły rozkładu potencjału, związane z zastosowanymi materiałami".

Informacje o aktywności naukowej

Wykaz publikacji habilitanta, które nie zostały uwzględnione w głównym zbiorze stanowi pokaźną listę wieloautorskich pozycji opublikowanych w czasopismach o dużym znaczeniu dla fizyki. Do tego należy dodać znaczącą liczbę referatów wygłoszonych przez habilitanta i komunikatów konferencyjnych. Na podkreślenie zasługują wystąpienia na konferencji E-MRS Spring Meeting and Exhibit 2017 w Strasbourgu. Habilitant brał czynny

udział w komitetach organizacyjnych trzech krajowych konferencji. Brał udział także w realizacji 7 projektów badawczych (5 NCN, FNP, Projekt Agencji Wymiany Akademickiej), w żadnym z nich nie był kierownikiem. Brał udział także w 5 projektach międzynarodowych. Uczestniczył w 3 stażach zagranicznych w tym najdłuższy, trwający 9 miesięcy w Institut National des Sciences Appliquées w Lionie. Wielokrotnie służył swoją wiedzą i doświadczeniem jako recenzent publikacji dla szeregu czasopism z dziedziny fizyki i chemii.

W związku z powyższym oceniam wysoko aktywność naukową dra Rudno-Rudzińskiego i jego dorobek na tym polu także nie budzi zastrzeżeń.

Informacje o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym

Tematyka prac prowadzonych przez dra Rudno-Rudzińskiego ma bezpośrednie przełożenie na bardzo istotne zastosowania praktyczne, głównie w telekomunikacji. Jego udział w szeregu projektów międzynarodowych, w których partnerami były przedsiębiorstwa głównie z branży telekomunikacyjnej a także związane z technologiami półprzewodnikowymi nie budzi najmniejszych wątpliwości co do siły oddziaływania na otoczenie gospodarcze, głównie w skali europejskiej. Jego prace mają bezpośredni wpływ na projektowanie i doskonalenie technologii laserów półprzewodnikowych.

Reasumując, przedstawiony zbiór publikacji przez dra Wojciecha Rudno-Rudzińskiego oceniam pozytywnie, jego aktywność naukowa jest znaczna, współpraca z otoczeniem gospodarczym nie budzi wątpliwości oraz tak zwane dane naukometryczne osiągają wysokie stany. Uważam zatem, iż jego dotychczasowy dorobek spełnia wymogi o których mowa w artykule 219 ustawy 1 z dnia 20 lipca 2018 dotyczącej warunków nadania stopnia doktora habilitowanego. Uwzględniając pozytywną ocenę dorobku wyrażoną powyżej wnioskuję o dopuszczenie dra Wojciecha Rudno-Rudzińskiego do dalszych etapów procedury zmierzającej do nadania mu stopnia doktora habilitowanego w zakresie nauk fizycznych.