



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

Prof. dr hab. Adam Babiński

Warszawa 8 listopada 2018 r.

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym doktora inżyniera Marcina Syperka

Doktor inżynier Marcin Syperek uzyskał stopień naukowy doktora nauk fizycznych w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej w 2008 r. na podstawie dysertacji *Electron and hole spin coherence in confined semiconductor structures*. W dniu 17 czerwca 2018 r. złożył on wniosek do Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka. Osiągnięciem naukowym przedłożonym przez dr. inż. Syperka w tym postępowaniu, zgodnie z art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016. poz 882.), jest cykl dziewięciu powiązanych tematycznie publikacji pod wspólnym tytułem ***Dynamika relaksacji międzypasmowej i wewnętrznej wzbudzenia ładunkowego oraz spinowego w quasi-zero-wymiarowych strukturach półprzewodnikowych związków III-V***. Osiągnięcie tworzą prace opublikowane w latach 2010-2018, a więc w okresie po uzyskaniu przez Autora stopnia doktora nauk fizycznych. Omawiane prace zostały opublikowane w cieszących się renomą środowiska, czasopismach międzynarodowych o znacznym stopniu oddziaływania: *Physical Review B* (4) i *Applied Physics Letters* (5). Z wyjątkiem pracy [H3], dr inż. Syperek jest pierwszym autorem przedstawionych prac. Deklarowany wkład habilitanta w ich powstanie wynosi od 35% do 65%. Deklaracje pozostałych współautorów potwierdzają zasadniczą rolę jaką odegrał on w ich tworzeniu.

Badania, które obejmują przedstawione osiągnięcie dotyczy tematyki półprzewodnikowych kropek kwantowych. Tematyka ta, choć obecna w literaturze od ponad 30 lat, w dalszym ciągu wydaje się być niewyczerpana. W szczególności, cały czas aktywnie badana jest kwestia obiektów quasi-zero-wymiarowych emitujących światło w zakresach transmisji optycznej światłowodów krzemionkowych, a więc w okolicach $1.3 \mu\text{m}$, $1.55 \mu\text{m}$ i $1.6 \mu\text{m}$. Silne naprężenia występujące w najczęściej badanych kropkach kwantowych opartych na układzie In(Ga)As/GaAs przesuwają ich emisję wysoko ponad te interesujące zakresy co uzasadnia zainteresowanie badaczy innymi układami materiałowymi, a w tym np. silnie wydłużonymi kropkami kwantowymi na bazie InAs/InP. W osiągnięciu zaprezentowano wyniki badań optycznych obu tych układów. Podstawową techniką doświadczalną stosowaną przez Autora jest badanie rozdzielonej w czasie luminescencji. W pracy [H8] Autor analizuje także efekt Kerra.

Omawiając pokrótce poszczególne prace wchodzące w skład osiągnięcia wypada zwrócić uwagę na ich następujące elementy.

Praca [H1] dotyczy kresek kwantowych InAs wyhodowanych na buforze z GaInAsP i podłożu InP, emitujących w okolicy $1.55 \mu\text{m}$. W pracy tej Autor używa techniki pomiaru luminescencji rozdzielonej w czasie, wyznaczając czasy życia ekscytonów w stanie podstawowym. Ponadto pomiary rozdzielonego w czasie odbicia w układzie pompa-sonda (TRDR) pozwoliły zaobserwować istotną zależność czasu relaksacji do stanu podstawowego ekscytonu od energii pobudzenia. Efekt ten wyjaśniono proponując mechanizm angażujący fonony LA.

W odróżnieniu od pracy [H1], kreski kwantowe z InAs badane w pracy [H2] wyhodowano na buforze z GaInAlAs. Emisja także tych obiektów ma miejsce w okolicach $1.55 \mu\text{m}$. W pracy tej zostały podsumowane wyniki badań inicjalizacji, przechowywania i odczytu stanu kwantowego silnie asymetrycznych struktur kwantowych. Autor zauważył, że proces nierezonansowej konwersji polaryzacji fotonu do stanu ekscytonu jest nieefektywny, zaś inicjalizacja stanu spinowego w barierze GaInAlAs prowadzi do zwiększenia jego efektywności. Autor zauważa jednak, że nawet przy użyciu schematu inicjalizacji spinu na stanie podstawowym z wykorzystaniem koherentnego rozpraszania z fononami optycznymi czas obserwacji polaryzacji spinowej jest ograniczony do kilkunastu nanosekund w zakresie temperatur kriogenicznych.

Taki sam system badany był w pracy [H3]. Eksperymentalne wyniki stopnia polaryzacji oraz czasów emisji porównano w niej z wynikami modelowania teoretycznego. Pokazano istnienie dwóch procesów, a mianowicie procesu ze stałą zaniku rzędu 1 ns, która słabo zależy od energii emisji z kreski oraz składową o prawie 2.5 razy większej stałej zaniku, zwiększającej się wraz ze zmniejszaniem tej energii. Analiza teoretyczna powiązała te dwa procesy odpowiednio z silnym mieszaniem stanów dziur ciężkich i lekkich wywołanym asymetrią układu oraz z anizotropowym oddziaływaniem wymiany elektron-dziura. Praca [H3] wydaje się być jednym z silniejszych elementów przedstawionego osiągnięcia, a jej znaczenie zostało także docenione przez wydawców Physical Review przyznaniem jej tytułu „Editor’s Suggestion”.

Praca [H4] dotyczy bardziej złożonej struktury sprzężonych, niemal symetrycznych i małych kropek kwantowych InAs/InGaAlAs i studni kwantowej InGaAs/InGaAlAs, w której analizowano relaksację nośników. Autor stwierdził, że relaksacja wewnątrzprasmowa w kropkach kwantowych może zachodzić w czasie rzędu 8 ps, czyli co najmniej cztery razy szybciej niż w kropkach wydłużonych o podobnym składzie. Jednocześnie, w układzie sprzężonym relaksacja ta może być kilka razy wolniejsza. Ponadto stwierdzono, że kinetyka emisji stanu podstawowego w układzie sprzężonym determinowana jest przez relaksację wewnątrzprasmową oraz charakter podstawowego przejścia optycznego w przestrzeni rzeczywistej. Podobne wyniki uzyskano w pracy [H6] dla układu InAs/InGaAs.

Praca [H5] wykracza nieco poza omawiane wcześniej układy, a mianowicie dotyczy kropek kwantowych In(N)As w studni kwantowej InGa(N)As/GaAs. Dodanie niewielkiej ilości azotu powoduje przesunięcie energii emisji w okolice 1.3 μm , co jak to wskazano wcześniej otwiera pewne możliwości aplikacyjne.

W pracy [H7] Autor zajmuje się kwestią wpływu warstwy zwilżającej, której istnienie jest nieodłączną cechą samorosnących kropek kwantowych powstałych w modzie wzrostu Straskiego-Krastanowa. Autor bada kinetyki relaksacji w układzie kropek InGaAs/GaAs o niskiej zawartości indu. Model zaproponowany przez Autora obejmuje stany zero-wymiarowe związane z warstwą zwilżającą. Autor pokazuje ważną rolę jaką stany dwuwymiarowe w warstwie zwilżającej pełnią w redystrybucji nośników pomiędzy stanami zero-wymiarowymi obecnymi w układzie. Praca [H7] potwierdza tym samym, że pomijanie w analizie własności kropek kwantowych istnienia warstwy zwilżającej jest nieuzasadnione.

Praca [H8] dotyczy badania własności spinowych innego niż analizowany w pracy [H2] układu z osłabionym uwięzieniem przestrzennym, a mianowicie kropek kwantowych InP/GaN. Wykorzystano w niej badania rozdzielonej w czasie rotacji Kerra, w której dynamika zmiany *namagnesowania* ośrodka powodowana spolaryzowanym kołowo impulsem lasera pompującego badana jest poprzez analizę kąta skręcenia polaryzacji liniowej impulsu sondującego. Autor podkreśla specyficzne, inne niż dla elektronów, zachowanie spinu dziur w takim układzie, które wskazuje na ich słabą lokalizację.

W pracy [H9] Autor bada procesy radiacyjne w układzie sprzężonych kropek i studni kwantowej InGaAs/GaAs, rozdzielonych cienką warstwą GaAs. Pokazuje on wpływ szerokości studni i jej składu na dynamikę rekombinacji w kropkach kwantowych. Zaprezentowane wyniki są zgodne z wynikami teoretycznymi uzyskanymi w ramach modelu kp struktury energetycznej tych obiektów. Ciekawe byłoby zapewne przeanalizowanie także roli warstwy zwilżającej w tym układzie.

Omawiając osiągnięcie naukowe dr. inż. Syperka należy zwrócić uwagę na inne czynniki, istotne w opinii recenzenta. Przede wszystkim, jak słusznie wskazano w autoreferacie, jest nim kluczowa rola Autora w stworzeniu warsztatu badawczego, wykorzystywanego w celu dokonania przedłożonego osiągnięcia. Na warsztat ten składają się m.in. cztery układy doświadczalne do badania procesów rozdzielonej w czasie emisji i absorpcji światła. Jak się wydaje, przykład ten można uznać za modelowy wręcz wzór wykorzystania możliwości jakie w poprzedniej perspektywie finansowej dało polskim badaczom wsparcie Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. O wsparciu w ramach projektu Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych słusznie wspomina Autor w podziękowaniach zamieszczonych w szeregu prac wchodzących w skład osiągnięcia. Osiągnięcie Autora bez wątplenia pokazuje, że stworzona w ten sposób unikatowa infrastruktura znalazła się we właściwych rękach i nadal dostarcza szeregu interesujących wyników.

Innym ważnym elementem osiągnięcia jest wsparcie wyników doświadczalnych zaawansowaną analizą teoretyczną obejmującą m.in. opis teoretyczny stanów ekscytonowych i rekombinacji ekscytonu [H2] czy też modelowanie struktury energetycznej wydłużonych kropek kwantowych [H3]. Lista autorów odpowiednich prac wskazuje, że wsparcie to pochodzi z grupy teoretycznej na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej, co świadczy z jednej strony o umiejętnym wykorzystaniu istniejących synergii, a z drugiej wskazuje na znakomite możliwości dostępne na Politechnice Wrocławskiej.

Ostatnią kwestią, na którą należy zwrócić uwagę jest silne powiązanie zaawansowanych badań charakterystycznych służących zrozumieniu procesów zachodzących we wzbudzonych obiektach quasi-zero-wymiarowych z technologią tych struktur, realizowaną w ważnych ośrodkach międzynarodowych. Zgodnie z listami współautorów publikacji oraz ich deklaracjami, badane struktury zostały wytworzone w III-V Lab w Marcoussis we Francji [H1], w Uniwersytecie w Würzburgu [H2, H3, H7], w Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen, Stuttgart [H8] oraz w Uniwersytecie Kassel [H4, H6, H9] w Niemczech. Współpraca z tymi grupami i powierzenie Autorowi badań wytwarzanych tam struktur jest dowodem na uznanie jego umiejętności przez środowisko międzynarodowe, zaś uzyskane przez niego wyniki mogą zostać wykorzystane w prowadzonych w tych ośrodkach badaniach.

Podsumowując tę część recenzji i biorąc pod uwagę wymienione powyżej fakty stwierdzam, że **osiągnięcie naukowe dr. inż. Marcina Syperka dokonane po otrzymaniu stopnia doktora stanowi znaczny wkład w rozwój fizyki materii skondensowanej**, czym wypełnia z nadmiarem wymagania stawiane w postępowaniu habilitacyjnym.

Oprócz tematyki osiągnięcia, dr inż. Marcin Syperek angażuje się także w inną działalność naukową, której przejawem są liczne publikacje naukowe jakie powstały w szczególności po uzyskaniu przez niego stopnia naukowego doktora. Badania te dotyczą m.in. kinetyki cieczy polarytonowych i oddziaływań propagujących polarytonów, analizy emisji z kresek lub kropek kwantowych pod kątem źródeł pojedynczych fotonów, czy też efektów uwięzienia i lokalizacji nośników w różnych układach materiałowych. Także te prace często publikowane są w cenionych czasopismach o dużym stopniu oddziaływania. Ich lista potwierdza, że Autor nie waha się uczestniczyć w badaniu różnych układów, w tym materiałów szeroko-przerwowych czy układów II-VI. Można na tej liście znaleźć także dość nieoczekiwanie granat itrowo-glinowy $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) domieszkowany cerem, którego przemiany pod wpływem ciśnienia Autor badał metodami optycznymi [A31]. Analizując działalność naukową Autora należy wspomnieć wysoką liczbę cytowań (649 wg. Web of Science w dniu 5 listopada 2018) oraz indeks Hirscha równy 14. Wynik ten wyraźnie przekracza oczekiwania zgodne ze zwykle przyjętymi standardom biorącym pod uwagę okres 10 lat od uzyskania doktoratu. Potwierdza to zainteresowanie środowiska naukowego jego działalnością.

Jak to zostało już powiedziane, Autor prowadzi szeroką współpracę międzynarodową. W szczególności powiązany z doktoratem długotrwały staż w Dortmundzie w latach 2005-2008, przyczynił się do ukształtowania jego umiejętności w zakresie badania dynamiki nośników w półprzewodnikowych strukturach niskowymiarowych. Lista ośrodków, z którymi współpracuje Autor obejmuje szereg liczących się instytucji z Europy, Ameryki i Azji. Zainteresowanie społeczności międzynarodowej badaniami Autora potwierdza także 7 referatów wygłoszonych na zaproszenie na konferencjach naukowych w kraju i za granicą. Dr inż. Syperek prezentował swoje wyniki także wielokrotnie w formie komunikatów ustnych i plakatów na wielu konferencjach naukowych.

Wysoko należy ocenić także działalność dydaktyczną Autora. W autoreferacie wymienia się szereg wykładów prowadzonych na Politechnice Wrocławskiej. Na uwagę, w opinii recenzenta, zasługuje obecność wśród nich zarówno kursowych wykładów z fizyki ogólnej dla studentów studiów I stopnia jak i wykładów monograficznych. Autor prowadzi wykłady po polsku i po angielsku, co potwierdza jego umiejętności dydaktyczne. Biorąc pod uwagę fakt, iż od niesamodzielnych pracowników naukowych nie wymaga się zwykle prowadzenia wykładów, powierzenie ich Autorowi wydaje się potwierdzać wysoką ocenę jego umiejętności. W ramach działalności dydaktycznej był on także promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim dr. Łukasza Dusanowskiego, uwieńczonym nadaniem stopnia doktora na Wydziale Podstawowych Problemów Fizyki Politechniki Wrocławskiej w 2016 r. Pełen szacunek budzi także opieka nad dwunastoma pracami magisterskimi, jakie powstały w latach 2009-2017 oraz dziewięcioma pracami inżynierskimi.

Oceniając pozostały dorobek dr. inż. Syperka nie sposób nie zwrócić uwagi na brak jasnych odniesień do jego działalności popularyzującej naukę. Choć nie przesłania to ogólnej bardzo wysokiej oceny działalności Autora, to należy podkreślić, iż popularyzacja nauki stanowi element działalności badacza, który z pewnością wypadałoby rozwinąć w przyszłości. Należy oczekiwać, że formalne uzyskanie samodzielności naukowej przez dr. inż. Syperka pociągnie także za sobą większe zaangażowanie w tego typu działalność. Obowiązkiem badacza jest nie tylko prezentacja wyników swej działalności gronu fachowców, ale także szerokiej publiczności, która ma prawo do informacji o celach i kierunkach prowadzonych badań.

W podsumowaniu, biorąc po uwagę przedstawione dokumenty stwierdzam, że wskazują one bez wątplenia, że obok znacznego wkładu w rozwój fizyki materii skondensowanej wniesionego przez dr. inż. Marcina Syperka, **wykazuje się on także istotną aktywnością naukową**. W zgodzie z *Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dn. 14 marca 2003 r z późn. zm, (tekst jednolity Dz. U. z 2016 r. poz. 882) wnoszę o nadanie mu stopnia naukowego doktora habilitowanego.

