

Prof. dr hab. inż. Jan Misiewicz

Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wrocław, 18.05.2017

Opinia w sprawie nadania dr. Łukaszowi Kłopotowskiemu stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych

Dr Łukasz Kłopotowski uzyskał stopień magistra fizyki na Uniwersytecie Warszawskim w 1997r.

Rozprawę doktorską pod tytułem „Magneto-optical Study of Excitonic Tunneling in Asymmetric Double Quantum Well Structures”, wykonaną pod opieką Prof. Michała Nawrockiego, obronił na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 2003r.

W latach 2003-2004 odbył staż podoktorski w Universidad Autonoma de Madrid. Od 2004r jest zatrudniony w Środowiskowym Laboratorium Fizyki i Wzrostu Kryształów Niskowymiarowych Instytutu Fizyki PAN w Warszawie.

Główne osiągnięcie autora, będące podstawą wniosku to „Sterowanie stanem ekscytonowym w pojedynczej kropce kwantowej z tellurku kadmu”, przedstawione jest w postaci cyklu 9 publikacji w znakomitych czasopismach naukowych: 4 prace w Phys RevB; 2 w Appl Phys Lett; 2 w Journal of Applied Physics oraz samodzielny artykuł w Acta Phys Polon. Dr Łukasz Kłopotowski jest pierwszym autorem w 8 z nich.

We wstępnej części autoreferatu dr Łukasz Kłopotowski przedstawia podstawowe informacje na temat półprzewodnikowych kropek kwantowych; ich otrzymywania; właściwości fizycznych oraz potencjalnych zastosowań. Jest to dobre wprowadzenie w tematykę rozprawy i stanowi wartościowe opracowanie.

Dla realizacji swoich celów badawczych autor zaproponował umieszczenie kropek z CdTe w strukturze diody typu p-i-Schottky wykonanej z ZnTe i ZnMgTe z bramką Schottky'ego wykonaną z niklu i złota. Przyłożenie napięcia przesuwa poziom Fermiego w strukturze zmieniając stan kropki. Dodatkowe możliwości sterowania stanami kropki pojawiają się gdy w strukturze diody umieszcza się parę kropek kwantowych tworząc analogon molekuly tzw. molekułę kropkową.

Autor przeprowadza swoje badania stosując analizę widm ekscytonowych w pomiarach fotoluminescencji. Na tej podstawie stwierdza, że sprzężenie tunelowe w tych

strukturach jest stosunkowo słabe. Prawdopodobnie wynika to z tego, że dziury i elektrony są wychwytywane oddzielnie. Przeprowadzone obliczenia pozwalają wyznaczyć czasy tunelowania elektronów i dziur dla kropek o różnych parametrach. Stwierdzono, że wygaszanie fotoluminescencji przy wzroście pola elektrycznego w kierunku zaporowym związane jest z tunelowaniem dziur.

Autor pokazuje, że obserwowana sekwencja przejść optycznych wynika z morfologii kropek i oddziaływań kulombowskich z niej wynikających. Przyłożenie pola elektrycznego równoległe do kierunku wzrostu pozwala na zbadanie funkcji falowych elektronów i dziur w kropce. Wykorzystano tu przesunięcie energii przejść związane z kwantowym efektem Starka.

Autor bardzo wnikliwie analizuje związek budowy kropki z zachowaniem funkcji falowych elektronów i dziur w kropce. Zmiana stanu ładunkowego wywołana napięciem przyłożonym do diody Schottky'ego lub n-i-p pozwala na jednoznaczny identyfikację przejść optycznych z pojedynczej kropki CdTe.

Kolejne przedsięwzięcie badawcze wymagało analizy czasów życia fotoluminescencji z pojedynczych kropek. W szczególności badane były efekty wywołane wprowadzaniem do kropki elektronu bądź dziury.

Wartościowym elementem rozprawy są porównania zjawisk występujących w badanych kropkach z CdTe z tymi w kropkach wykonanych ze związków III-V. Autor poświęca temu jeden z artykułów wchodzących w zestaw publikacji habilitacyjnych.

Bardzo ważnym osiągnięciem autora jest analiza możliwości wykorzystania badanych przez siebie struktur do przechowywania elektronów w kropkach. Prowadzi to do stworzenia warunków kwantowego przetwarzania informacji. Synchronizacja impulsów lasera i napięcia umożliwia zamianę padających fotonów na ładunek przechowywany w warstwach kropek. „Odczytywanie” tego ładunku odbywa się poprzez przyłożenie napięcia generującego wstrzykiwanie dziur i wystąpienie sygnału elektroluminescencji. Amplituda tego sygnału jest proporcjonalna do Liczby elektronów znajdujących się w kropkach przed wstrzyknięciem dziur. Określono, że przechowywanie elektronów trwa ponad 10 ms.

Szczególnie interesujące są badania kropek kwantowych z CdTe zawierających jony magnetyczne. Autor bada kropki z CdTe domieszkowane manganem i umieszczone w złączu n-i-p z buforem z CdTe domieszkowanym na typ n oraz ZnTe typu p.

Poprzez badania fotoluminescencji z pojedynczych kropek wyjaśniono oddziaływanie ekscytonu z jonami manganu w kropkach z CdMnTe. Zbadano mechanizmy powstawania ekscytonowych polaronów magnetycznych. W szczególności zaobserwowano, że czas tworzenia polaronu silnie zależy od ilości jonów manganu. Badania te są ważne dla potencjalnych zastosowań takich struktur w urządzeniach, w których namagnesowanie byłoby nośnikiem informacji.

Przeprowadzono odpowiednie obliczenia teoretyczne i porównano ich wyniki z rezultatami pomiarów kształtu linii fotoluminescencyjnej i jego zmiany w czasie. Analiza przesunięcia Zeemana linii ekscytonowych oraz ich szerokości pozwoliła wyznaczyć szereg ważnych parametrów kropek oraz wartość pola wymiennego. Ponadto zauważono, że w badanych kropkach występuje relaksacja spinu ekscytonu, a nie spinów poszczególnych nośników.

Bardzo interesujące są wyniki badań nad tunelowo sprzężonymi układami kropek znajdujących się w podwójnych warstwach kropek. Uzyskano strojenie sprzężenia par kropek poprzez przyłożone pole elektryczne. Dzięki odpowiedniej inżynierii procesu wzrostu warstw kropek uzyskano stan molekularny. Pokazano, że można dostroić do rezonansu stany elektronów w kropkach CdMnTe i CdTe za pomocą pola magnetycznego. Zaobserwowano dwa rodzaje sprzężenia i opisano odpowiadające im właściwości spektroskopowe.

Bez wątpliwości autor przeprowadził z sukcesem badania nowego rodzaju nanostruktur o bardzo interesujących właściwościach oraz atrakcyjnych perspektywach zastosowań.

Poza wynikami przedstawionymi w publikacjach habilitacyjnych dr Łukasz Kłopotowski ma bogaty dorobek naukowy wynikający ze współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań:

- dynamiki polarytonów ekscytonowych w mikrownękach planarnych, realizowanych podczas stażu podoktorskiego w Madrycie (4 artykuły)
- optycznych właściwości warstw i nanostruktur z tlenku cynku wytwarzanych różnymi metodami w Instytucie Fizyki PAN (8 artykułów)
- luminescencji nanodrutów z tellurku cynku oraz kropek kwantowych z tellurku kadmu umieszczanych w nanodrutach z ZnTe wytwarzanych w Instytucie Fizyki PAN (5 artykułów)
- ekscytonów, w polach magnetycznych do 70 Tesli, w dwuwymiarowych półprzewodnikach – dichalkogenkach metali przejściowych otrzymywanych metodą eksfoliacji; współpraca z Laboratoire National de Champs Magnetique Intense w Tuluzie (3 artykuły)
- struktury subtelnej przejść ekscytonowych w pojedynczych kropkach kwantowych z CdTe; współpraca z Wydziałem Fizyki UW (3 artykuły)

Dorobek naukowy dr. Łukasza Kłopotowskiego uzyskany po doktoracie obejmuje 55 artykułów w tym:

11 –Phys Rev B

2 – Nanotechnology

4 - Appl Phys Lett

2 - Journal od Appl Phys

2 – RSC Advances

Ponadto jest on współautorem rozdziału w książce “Molecular Beam Epitaxy: From Research to Mass Production” (Elsevier 2012).

Publikacje dr. Łukasza Kłopotowskiego były cytowane 346 razy (bez autocytowań), a indeks H=12. Swoje wyniki dr Kłopotowski prezentował ustnie na 40 konferencjach, w tym 6 razy jako referaty zaproszone. Wygłosił także 12 zaproszonych wykładów na polskich uczelniach.

Należy dodać, że dr Łukasz Kłopotowski ma zasługi dla rozwoju bazy pomiarowej. Stworzył Laboratorium Mikrospektroskopii Nanostruktur, w którym wykonał znaczną część swoich badań. Jest także autorem układu do pomiarów korelacji fotonowych i dynamiki fotoluminescencji. Oba zlokalizowane są w Instytucie Fizyki PAN.

Podsumowując uważam osiągnięcia naukowe dr. Kłopotowskiego jako znaczące i wartościowe.

Dr Łukasz Kłopotowski kierował 5 grantami oraz był wykonawcą w 5 innych projektach badawczych. Oprócz stażu podoktorskiego odbył 9 krótkoterminowych wizyt badawczych w renomowanych zagranicznych ośrodkach naukowych (Montpellier, Lozanna, Marcoussies, Sheffield, Paryż, Grenoble, Tuluza).

W zakresie działalności dydaktycznej dr Łukasz Kłopotowski był opiekunem prac magisterskich, prowadził wykłady dla studentów Politechniki i Uniwersytetu Warszawskiego. Był promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim. Prowadził także 9 razy warsztaty naukowe dla młodzieży popularyzując w szczególności fizykę nanostruktur.

Biorąc pod uwagę całokształt osiągnięć dr. Łukasza Kłopotowskiego uważam, że nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w zakresie nauk fizycznych jest w pełni uzasadnione.

J Misiewicz