

## **Recenzja rozprawy doktorskiej pana magistra Piotra Wojnara**

Przedstawiona rozprawa "Wytwarzanie i spektroskopia optyczna półmagnetycznych kropek kwantowych CdMnTe" dotyczy bardzo aktualnej tematyki, stanowiącej syntezę równolegle rozwijających się w ostatnich kilkunastu latach badań nad niskowymiarowymi strukturami półprzewodnikowymi oraz badań nad niskowymiarowymi i mezoskopowymi układami magnetycznymi. Badania te są ważne zarówno dla zrozumienia fundamentalnych zjawisk fizycznych jak i ze względu na szerokie pole potencjalnych zastosowań od spintroniki, zapisu informacji i kryptografii kwantowej aż po biologię i medycynę. Przedstawiona dysertacja stanowi rezultat badań, które autor prowadził w Środowiskowym Laboratorium Fizyki i Wzrostu Kryształów Niskowymiarowych Instytutu Fizyki PAN, jednym z niewielu laboratoriów na świecie, w których opanowano technikę otrzymywania kropek kwantowych związków II-VI zawierających jony manganu. W znacznej części zostały one już opublikowane w poważnych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu i prezentowane były na liczących się konferencjach międzynarodowych. Stanowi to istotny dowód aktualności prac i ich wysokiego poziomu.

Przedmiotem prezentowanej dysertacji jest otrzymanie półmagnetycznych kropek kwantowych CdMnTe zawierających odpowiednio niską liczbę jonów manganu, zbadanie ich podstawowych właściwości metodami magnetoptycznymi oraz ich opis w ramach zaproponowanego modelu fizycznego.

Za najważniejsze osiągnięcia autora przedstawione w pracy uważam:

1. Udoskonalenie technologii otrzymywania półmagnetycznych kropek kwantowych CdMnTe z barierą ZnCdTe metodą bezpośredniego wprowadzania jonów Mn do kropek w procesie wzrostu oraz opracowanie koncepcji i wdrożenie metody otrzymywania kropek kwantowych CdMnTe z barierą MnTe, stanowiącą równocześnie źródło jonów Mn dyfundujących do wnętrza kropek. W obu przypadkach kluczowe dla powodzenia prowadzonych badań było opanowanie metody kontrolowania zawartości manganu w kropkach oraz określenie optymalnej wysokości bariery, gwarantującej dostateczną stabilność

wiązania ekscytonów przy równoczesnym wyłączeniu maskującej badane przejścia optyczne luminescencji wewnątrzmannanowej. Temu ostatniemu celowi służyły pomiary makroluminescencji otrzymanych kropek kwantowych CdMnTe/ZnCdTe w zależności od zawartości kadmu w barierze oraz w funkcji temperatury. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że większość badanych struktur autor wykonał osobiście.

2. Stwierdzenie na podstawie pomiarów mikroluminescencji, w tym polaryzacyjnie rozdzielczych, w zależności od zewnętrznego pola magnetycznego, że w badanych kropkach występuje charakterystyczny dla półprzewodników półmagnetycznych gigantyczny efekt Zeemana wraz z jego zależnością od temperatury i liczby manganów w kropce.
3. Potwierdzenie w niezależnym pomiarze korelacji fotonów emitowanych z badanych struktur, że pochodzą one z pojedynczych kropek, będących nieklasycznymi źródłami światła.
4. Udana zastosowanie koncepcji molekuly spinowej do opisu połowych i temperaturowych zależności luminescencji z badanych kropek kwantowych. Wyznaczenie w ramach tego modelu podstawowych parametrów badanych kropek – ich wielkości i liczby jonów manganu w kropce, a także analiza zależności oddziaływania wymiennego od wielkości kropki.

Są to wyniki nowe, ważne zarówno ze względów poznawczych jak i z punktu widzenia możliwości ewentualnych zastosowań.

W trakcie czytania pracy nasunęło się recenzentowi kilka wymagających komentarza pytań. I tak:

1. Podane na str. 65 wyjaśnienie, dlaczego kropka kwantowa jest źródłem pojedynczych fotonów odwołujące się do bliżej nieokreślonej relaksacji nie jest prawidłowe. Dodatkowe wątpliwości budzi stwierdzenie, że „kropki kwantowe zawierające paramagnetyczne jony  $Mn^{++}$  stanowią również doskonałe źródła pojedynczych fotonów”. Co oznacza tu „doskonałe”? Jakie wyniki pomiarów o tym świadczą?
2. Otrzymana z dopasowań zmodyfikowanej funkcji Brillouina temperatura efektywna jest duża jak na zawartości jonów manganu, z którymi mamy do czynienia i temperaturę w której znajduje się próbka. Fakt ten autor kwituje stwierdzeniem, że „Wzrost ten można wytłumaczyć względnie dużą mocą pobudzenia...” nie podając jednak, jaka to była moc i w jakich


- warunkach chłodzenia wykonywano pomiar. Wydaje się, że informacje takie są niezbędne dla oceny przyjętej interpretacji.
3. Na str. 86-88 przedstawiono rysunki ilustrujące dopasowania zmiany energii luminescencji i szerokości linii w zależności od wielkości pola magnetycznego. Dlaczego nie ma rysunku dla kropki „małej”? W zamian autor proponuje co najmniej problematyczną możliwość skorzystania z rysunku 6.3.
  4. Wątpliwości budzi rysunek 4.10. Można na jego podstawie wnioskować, że dla próbki A dla zerowego pola magnetycznego nie jest znane położenie linii luminescencyjnej, a dopasowana funkcja Brillouina daje dla braku pola ujemne przesunięcie linii.
  5. Wydaje się, że w dyskusji dotyczącej rozmiarów kropek należałoby odwołać się do relacji między obliczaną energią polaronu, promieniem obszaru, w którym funkcja falowa jest różna od zera w przybliżeniu „pudełkowym” oraz charakterystycznym rozmiarem rzeczywistej funkcji falowej np. w przybliżeniu parabolicznym.

Jeśli chodzi o stronę formalną, to praca napisana jest zrozumiale, jej układ jest logiczny, bibliografia dobrana umiejętnie. Zabrakło natomiast starannej korekty. Praca zawiera zdecydowanie zbyt dużo literówek i potknięć stylistycznych.

Wymienione, drobne usterki i wątpliwości nie zmieniają faktu, że oceniam pracę wysoko, pragnąc równocześnie podkreślić jej walory dydaktyczne, wynikające z obszerności wstępu i kompletności spisu literatury.

Reasumując pragnę stwierdzić raz jeszcze, że recenzowana praca zawiera nowe, ważne wyniki fizyczne. Stanowi ona oczywisty dowód umiejętności technologicznych, eksperymentalnych i wiedzy fizycznej autora oraz nacechowanej znaczną dozą krytycyzmu dociekliwości w interpretacji uzyskanych danych doświadczalnych.

Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane dysertacjom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pana Piotra Wojnara do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



/Michał Nawrocki/

Warszawa, 3 czerwca 2008r.