

Prof. dr hab. Michał Matuszewski
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Al. Lotników 32/46, Warszawa
mmatu@ifpan.edu.pl

Warszawa, 23.06.2021

DZIEKANAT
SEKCJA ds. DOKTORANCKICH

Wpłynęło dnia 2021-06-28 *AP*

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Sawickiego "Laserowanie z pojedynczych i sprzężonych podwójnych mikrownęk polarytonowych wykonanych z tellurków i selenków"

W recenzowanej rozprawie autor przedstawia wyniki badań nad mikrownękami zawierającymi polarytony ekscytonowe, czyli kwazicząstki powstające w wyniku silnego kwantowego sprzężenia fotonów i ekscytonów. Reżim silnego sprzężenia uzyskano poprzez uwięzienie fotonów w mikrownęce o wysokim współczynniku dobroci, a także umieszczenie odpowiednio zaprojektowanych studni kwantowych w obszarze mikrownęki. Wyniki dotyczą doświadczalnych pomiarów spektroskopowych i modelowania numerycznego dynamiki układu.

Rozprawa podzielona jest na sześć rozdziałów. Pierwsze trzy rozdziały zawierają wprowadzenie do tematyki rozprawy, opis metod produkcji próbek, oraz zastosowanych układów doświadczalnych. Rozdział czwarty zawiera wyniki dotyczące laserowania z próbki opartej na półprzewodniku Cd/Mg/Se, zawierającej pojedynczą studnię kwantową. Rozdział piąty zawiera wyniki uzyskane w układzie dwóch sprzężonych ze sobą mikrownęk, zawierających studnie kwantowe oparte o materiały Cd/Zn/Mg/Te. Szósty rozdział to podsumowanie rozprawy.

Według bazy danych Scopus mgr Krzysztof Sawicki jest współautorem ośmiu prac naukowych, w większości w bardzo dobrych czasopismach. Trzy prace (opublikowane w Nanophotonics, Journal of Electronic Materials i Communications in Physics) pokrywają się tematycznie z rozprawą. Mgr Sawicki jest we wszystkich z nich pierwszym autorem.

Tematyka rozprawy wpisuje się w nurt najnowszych osiągnięć w dziedzinie fizyki materii skondensowanej. W mojej ocenie uzyskane wyniki są bardzo interesujące i oryginalne, i stanowią istotny wkład w rozwój dziedziny. Najciekawszym osiągnięciem zaprezentowanym w rozdziale czwartym jest zademonstrowanie trzech następujących po sobie przejść fazowych, uzyskanych poprzez zwiększenie mocy lasera pompującego. Przejście od stanu nie laserującego, poprzez laserowanie polarytonowe, laserowanie niesprzężonych z fotonami ekscytonów aż do laserowania na plazmie elektronowo-dziurowej. Eksperyment ten w klarowny sposób pokazuje istnienie kilku reżimów laserowania, każde z nich charakteryzujące się inną fizyką powstającego stanu koherentnego. Eksperyment uzupełniono o zbadanie wpływu nieporządku strukturalnego, laserowanie z pojedynczego mikrofilara wytrawionego metodą FIB, a także analizę dynamiki układu pobudzanego impulsowo przy użyciu kamery smugowej.

Not

W rozdziale piątym przeanalizowano układ sprzężonych ze sobą mikrownęk optycznych zawierających studnie kwantowe. Silne sprzężenie ekscytonów i fotonów powoduje powstanie kilku gałęzi polarytonowych, wynikających ze sprzężenia zarówno modów światła jak i ekscytonów w poszczególnych wnękach. W szczególności, interesujące jest rozpraszanie polarytonów między dwoma najniższymi gałęziami, gdzie możliwe jest dwucząstkowe rozpraszanie parametryczne w którym zachowane są zarówno całkowity pęd jak i energia. Przeanalizowano procesy rozpraszania z górnej do dolnej gałęzi polarytonów zarówno w przypadku zerowego pędu cząstek jak i rozpraszania do bocznych skrzydeł dolnej gałęzi przy zachowaniu energii cząstek. W pierwszym przypadku uzyskano także bardzo dobrą zgodność z modelem teoretycznym opisującym dynamikę układu za pomocą uogólnionego modelu Grossa-Pitajewskiego.

Po omówieniu głównych wyników przejdę do bardziej szczegółowych uwag. W mojej ocenie rozprawa wyróżnia się klarownym opisem zagadnień a treść poszczególnych rozdziałów dobrana jest odpowiednio do zawartości naukowej. Wyniki oryginalne są niewątpliwie interesujące, choć w niektórych aspektach – np. rozpraszania parametrycznego do bocznych gałęzi, uzyskany sygnał jest dość słaby. Nie umniejsza to jednak wykonanej przez doktoranta pracy a wynika z właściwości zbadanych próbek. Na uznanie zasługuje modelowanie teoretyczne w rozdziale piątym które pozwoliło uzyskać bardzo dobrą zgodność i zrozumienie fizyki obserwowanych zjawisk.

W rozdziale pierwszym zacytowano warunek na uzyskanie silnego sprzężenia (1.36) który wynika z mechanicznego zastosowania wzoru (1.35), lecz nie jest poprawny. Sugeruje on że silne sprzężenie można uzyskać gdy wartości współczynników strat fotonów i ekscytonów są wysokie ale zbliżone do siebie, co nie jest poprawne ponieważ efekty dekoherencji są w tej konfiguracji również silne. Jak zauważono w rozprawie warunek ten nie znajduje potwierdzenia w wynikach doświadczalnych.

W rozdziale 4.4 doktorant pisze że „Zmiana energii emisji w warunkach słabego sprzężenia jest przede wszystkim przejawem wpływu zwiększonej gęstości nośników na funkcję dielektryczną w warstwach tworzących mikrownękę”. Moim zdaniem znaczącym efektem będzie tutaj utrata silnego sprzężenia i wynikające stąd przesunięcie linii dolnych polarytonów do wyższych energii.

W kilku miejscach zasugerowano, że zwiększona siła oscylatora wynikająca np. z zastosowania większej liczby studni kwantowych powoduje obniżenie progu laserowania, ale nie zostało to wyjaśnione. Z teoretycznego punktu widzenia nie widzę takiego bezpośredniego związku. Zwiększenie liczby studni powoduje zmniejszenie stałej oddziaływania polarytonów o pierwiastek z liczby studni, co utrudnia relaksację do stanu podstawowego. Brakuje zatem uzasadnienia tej kwestii.

W rozdziale 5 zastosowano niepoprawny wzór (5.5) co wynika z niezrozumienia czym są „oddziaływania” (po części z powodu powszechnego użycia tego terminu w różnych kontekstach w literaturze). Operatory

MA

kwantowe w (5.5) opisują „przeskok” ekscytynu z jednego modu do drugiego, natomiast stała oddziaływania V^{eff} opisuje rozpraszanie dwóch ekscytonów, czyli ich wzajemne oddziaływanie. W moim rozumieniu błąd wynika stąd że termin „oddziaływanie” używany jest do opisu procesu zamiany ekscytynu na foton jak we wzorze (5.3), ale użycie tego terminu do opisu przeskoku cząstki z jednego modu do drugiego nie jest uzasadnione (a już z pewnością nie jest uzasadnione użycie stałej oddziaływania V^{eff}).

W podsumowaniu doktorant sugeruje zastosowanie uzyskanych wyników do stworzenia „dwukubitowej bramki”. Kondensat zawiera ze swojej natury bardzo wiele cząstek, a więc nie jest idealnym systemem do obserwacji kwantowych efektów wielociałowych, niezbędnych do wykonywania obliczeń kwantowych.

Powyższe szczegółowe uwagi nie obniżają w sposób znaczący wartości naukowej pracy. Pod względem edytorskim i płynności wywodu praca prezentuje się bardzo dobrze. Podsumowując, rozprawa doktorska mgr. Sawickiego stanowi, moim zdaniem, istotny wkład w rozwój dziedziny i świadczy o jego wysokich umiejętnościach badawczych. W mojej ocenie spełnia ona formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim, wnoszę więc o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Ze względu na wysoki poziom naukowy, stawiam również wniosek o wyróżnienie tej pracy.

Michał Matuszewski

