



dr hab. inż. Maciej Pieczarka, prof. PWr
Zespół badawczy *Quantum Fluids in Photonic Devices*
Katedra Fizyki Doświadczalnej
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
maciej.pieczarka@pwr.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Furman pod tytułem „Study of nonlinear effects in exciton-polariton condensates”

Przedstawiona praca doktorska mgr Magdaleny Furman została zrealizowana pod opieką profesor UW, dr. hab. Barbary Piętki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w Instytucie Fizyki Doświadczalnej. Praca dotyczy badań nieliniowych zjawisk w mikrownękach optycznych działających w zakresie silnego sprzężenia światła i materii. Struktury badane w ramach pracy zostały wyhodowane metodą epitaksji z wiązek molekularnych w grupie prof. Wojciecha Pacuskiego, również z Uniwersytetu Warszawskiego.

Sylwetka naukowa Autorki na podstawie załączników 8 i 9 rozprawy

Pani Furman posiada bogaty dorobek naukowy, na który składa się aż 12 publikacji w recenzowanych czasopismach o bardzo wysokiej rozpoznawalności i dodatkowo dwie prace w recenzji, dostępne w serwisie preprint arXiv. Podstawą pracy doktorskiej są 4 spośród wymienionych publikacji, przy czym jedna nie jest jeszcze opublikowana i jest w recenzji. Autorka rozprawy jest współautorką szeregu publikacji dotyczących różnych aspektów fizyki polarytonów ekscytonowych i ich kondensatów, zgodnie z profilem naukowym grupy badawczej, w której prowadziła badania. Liczba prac pozwala stwierdzić, iż Pani Furman była ważnym członkiem grupy i była zaangażowana w wiele projektów naukowych realizowanych w grupie badawczej. Świadczy to o ponadprzeciętnej aktywności kandydatki. Warto nadmienić wiele wystąpień konferencyjnych, w formie plakatu oraz kilka w formie ustnych wystąpień, które są dowodem na zainteresowanie badaniami Pani Furman, które dotyczyły realnych i aktualnych problemów naukowych.

Struktura i forma rozprawy

Praca doktorska mgr Furman jest napisana w języku angielskim i składa się z siedmiu rozdziałów oraz czterech dodatków, zamieszczonych na 142 stronach A4. Rozprawa dotyczy badań eksperymentalnych nad efektami nieliniowymi w kondensatach polarytonów ekscytonowych w mikrownękach optycznych, działających w zakresie silnego sprzężenia. Praca zaczyna się od rozdziału opisującego motywację do podjęcia tej tematyki badawczej. Potem, ogólne wprowadzenie teoretyczne zamieszczone jest w rozdziale 2. Rozdział 3 jest kolejnym rozdziałem wprowadzającym, jednakże bazuje on już w dużej mierze na wynikach własnych Autorki. Rozdziały 4-6 zawierają konkretne wyniki naukowe dotyczące rozprawy. Praca jest zakończona podsumowaniem w rozdziale 7. Następne są dodatki 7.1 i 7.2 przedstawiające szczegółowe informacje o próbkach oraz dodatkowe dane eksperymentalne. Na końcu znajdziemy dodatki 8 i 9, będące podsumowaniem osiągnięć naukowych mgr Furman. Praca napisana jest zrozumiałym i poprawnym językiem. Formatowanie i układ pracy są wykonane bardzo starannie. Jednym z dowodów na dobrze napisaną rozprawę jest fakt, iż nie znalazłem w pracy mniejszych błędów językowych, literówek czy omyłek. Z punktu widzenia czytelnika stwierdzam, iż bardzo dobrze się czyta tę rozprawę.





Wkład Pani Furman w badania jest jasno określony. Jest ona autorką wszystkich spektroskopowych badań eksperymentalnych oraz ich analizy i interpretacji. Zmodyfikowała ona również powierzchnię próbek, nadrukowując mikrosoczewki polimerowe. Nie jest jedynie jasne, czy samodzielnie odwarstwiła (eksfoliowała) i przygotowywała próbki do eksperymentów transmisyjnych, czy zostały one przygotowane przez wykonawców wzrostu epitaksjalnego. Fragmenty dotyczące modelowania teoretycznego przez współautorów badań są dobrze opisane oraz Autorka jasno określa, jeśli korzystała z oprogramowania, bądź skryptów sporządzonych przez innych naukowców, lub jeśli skorzystała z oprogramowania dedykowanego obsługi danego urządzenia badawczego.

Opis i ocena naukowej treści rozprawy

Praca mgr Furman dotyczy aktualnego tematu badawczego, czyli kondensacji polarytonów ekscytonowych oraz nieliniowości mikrownęk optycznych. Badania przedstawione przez mgr Furman mają również motywację w konkretnych zastosowaniach w kontekście poszukiwań nowych rozwiązań oraz nowej platformy materiałowej dla przyrządów optoelektronicznych przyszłości, w tym stosowania mikrownęk polarytonowych w obliczeniach na optycznych sieciach neuronowych.

Badania zawarte w pracy są wykonane na próbkach, będącymi mikrownękami optycznymi na bazie półprzewodników z grup II-VI, które historycznie są badane na Uniwersytecie Warszawskim od kilku dekad, czyniąc naukowców z UW absolutnymi ekspertami w wiedzy na temat tych materiałów. Warto jednak podkreślić, iż Pani mgr Furman nie miała najłatwiejszego zadania. Mikrownęki na bazie CdTe charakteryzują się bardzo silnym zdefektowaniem fotonicznym, czyli niejednorodnościami składu i grubości warstw, przez co ciężko jest pracować na tego typu strukturach (przykłady na to można znaleźć niemal w każdym rozdziale rozprawy). Trudno znaleźć jest powtarzalne miejsce na próbce, w której brak jest dużych obszarów bez znaczących defektów. Szczególnie trudnym musiało być znalezienie podobnych do siebie miejsc na próbce, umożliwiających przeprowadzenie powtarzalnych wyników w różnych odstępach czasu. Mimo to, wnęki CdTe mają wiele innych zalet wyróżniających je na tle innych materiałów, takich jak, m. in., możliwość domieszkania jonami magnetycznymi czy praktyczna eksfoliacja całych struktur od substratu bez potrzeby zaawansowanego i skomplikowanego wytrawiania w celu przygotowywania struktur do badań transmisji światła.

Pani Furman rozpoczyna swoją rozprawę od przedstawienia motywacji, która poza czynnikiem czysto naukowym, posiada również silny aspekt aplikacyjny. Grupa, w której realizowała swoją pracę jest światowym pionierem w kontekście realizacji obliczeń neuromorficznych na mikrownękach polarytonowych. Właśnie obliczenia neuromorficzne mogą czerpać z badań nad nowymi nieliniowymi efektami z rozdziału 4., kontrolą sprzęgania się poszczególnych węzłów sieci polarytonowych z rozdziału 5. oraz praktyczną i energooszczędną realizacją kondensacji polarytonowej w strukturach z polimerowymi mikrosoczewkami.

Następnie, Pani mgr Furman opisuje w rozdziale drugim podstawy teoretyczne dotyczące polarytonów ekscytonowych i mikrownęk optycznych. Po krótko opisane są ekscytyny, mikrownęki optyczne i ich właściwości, następnie silne sprzężenie między nimi, kończąc na podstawowych właściwościach polarytonów ekscytonowych. Autorka streszcza informacje na temat poszczególnych etapów zachodzących w relaksacji podczas eksperymentów nierezonansowych w celu uzyskania kondensatu polarytonowego. Rozdział ten przedstawia ogólną wiedzę pani Furman na temat rozprawy, jest jednak dość pobieżny i niewychodzący poza absolutnie podstawową wiedzę w temacie. Brakuje w nim na pewno kilku istotnych tematów, jak np. bardziej szczegółowe opisanie zakresu słabego sprzężenia pomiędzy ekscytonami a fotonami, czy też omówienia procesu przejścia z zakresu silnego sprzężenia do zakresu słabego sprzężenia w kontekście różnych eksperymentów, które są dostępne w literaturze. Jest to kluczowa wiedza pomocna w interpretacji zjawisk z następujących rozdziałów, gdzie właśnie przejście do zakresu słabego sprzężenia jest podstawą



unite! University Network for Innovation, Technology and Engineering



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



zrozumienia zaobserwowanych efektów. Brakuje również głębszego opisu źródeł nieliniowości zachodzących w układach polarytonowych.

Pani Furman bardzo pobieżnie opisuje istotny aspekt rozprawy, czyli kondensację polarytonową. Opisuje ona rezerwuar ekscytonowy, jednak nie wspomina w ogóle o odróżnieniu właściwości wysokoenergetycznych polarytonów (ekscytonów) od obszaru wąskiego gardła, w którym to zmienia się krzywizna dyspersji dolnych polarytonów. Nieściśle używana jest też nomenklatura kondensacji Bosego-Einsteina. Efekty opisywane przez panią mgr Furman są bliższe efektom znanym z fizyki laserowej. Kondensacja polarytonów jest w tym kontekście wynikiem balansu między pompowaniem układu oraz stratami energetycznymi układu. Nierównowagowa kondensacja (bądź laserowanie) polarytonów byłoby bardziej adekwatnym terminem, bez użycia nazwy „Bosego-Einsteina”. Użycie takiego terminu może sugerować osiągnięcie krytycznej wartości zagęszczenia w przestrzeni fazowej, wysycenia stanów wzbudzonych, czy innych charakterystycznych właściwości tego stanu materii kwantowej. Pani mgr Furman wspomina o nierównowagowości, więc nie jest to istotny błąd merytoryczny, jednak zwracam na niego uwagę, ponieważ literatura dotycząca kondensatów światła i materii (w tym polarytonów) jest bardzo nieściśła w tym aspekcie i warto by nowe pokolenia naukowców wprowadzały wysokie standardy w literaturze naukowej.

Rozdział trzeci rozprawy jest rozwinięciem części wprowadzającej, opartej już na bazie własnych wyników eksperymentalnych. Autorka opisuje tutaj właściwości użytych mikrownęk optycznych, zastosowanego podstawowego układu optycznego oraz przedstawia charakterystykę wyżej wspomnianych próbek, w szczególności próbki C3. Przedstawione są dowody na obserwację dwóch gałęzi polarytonowych oraz charakterystyczne cechy zachowania się luminescencji próbki w funkcji mocy lasera wzbudzającego, gdy osiągany jest próg kondensacji polarytonowej. Pani Furman przedstawia również kilka przykładów losowego potencjału pułapkującego w próbce, by pokazać charakterystyczne cechy mikrownęk w badanym układzie materiałowym. Jest to bardzo przydatne podsumowanie, obrazujące podstawowe właściwości polarytonów w praktyce.

Następnie przedstawione jest zachowanie gałęzi polarytonowych wraz ze zmieniającą się temperaturą struktury. Tutaj po raz pierwszy zwróciłem uwagę na pewien powtarzający się mankament całej dysertacji. Przedstawiona jest szczegółowa analiza ewolucji temperaturowej gałęzi polarytonowych, które jednak nie są dopasowane żadnym znanym algorytmem, bądź metodą. Wartości opisujące sprzężenie ekscyton-foton z rysunku 3.7 wynikają z ręcznego doboru parametrów modelu sprzężonych oscylatorów (co Autorka nazywa „modelowaniem dyspersji”). Podnoszę ten temat z uwagi na fakt, iż zależności temperaturowe niektórych parametrów są dość nietypowe. Dla przykładu, wartość rozszczepienia Rabi'ego na Rys. 3.7(b) jest stała do pewnej wartości temperatury, by potem nagle zacząć monotonicznie maleć. Autorka nie komentuje tego zachowania, pomimo faktu, iż jest to zależność dość charakterystyczna i nietypowa. Autorka nie prowadzi żadnej szczegółowej dyskusji zależności temperaturowych z 3.7 oraz nie stosuje żadnych prób dopasowania ich znanymi zależnościami, jak funkcja Varshni'ego dla zachowania się energii ekscytonu, aby zweryfikować wyznaczone liczby. Brak analizy danych pozostawia ogromny niedosyt i jest rzadko spotykany na poziomie rozprawy doktorskiej. Moje konkretne pytania na ten temat pojawią się w dalszej części recenzji.

Rozdział 4 przedstawia moim zdaniem najważniejsze wyniki całej pracy z punktu widzenia nowych efektów fizycznych. Autorka opisuje swoje pionierskie eksperymenty transmisji w warunkach quasi-rezonansowych na próbkach na bazie CdTe. Takich eksperymentów próżno szukać w literaturze i pani Furman uzupełnia tę lukę w wiedzy swoimi badaniami.

Po krótkim opisie zjawiska bistabilności w mikrownękach optycznych, Pani Furman przedstawia procedurę przygotowania eksfoliowanych próbek do badania transmisji (brak mi tutaj jednoznacznego podkreślenia, za które etapy procedury była odpowiedzialna). Następnie przedstawione są bardzo starannie zmierzone krzywe transmisji lasera przez badaną próbkę w warunkach różnych odstrojeń od dna dolnej gałęzi polarytonowej. Należy





podkreślić nowatorską obserwację dwóch różnych zależności pętli bistabilności, zgodnej i przeciwnej z ruchem wskazówek zegara, przy tym pierwsza z nich mająca nietypowy, trójkątny kształt. Należy podkreślić, iż jest to pierwsza obserwacja tego nietypowego efektu.

Następnie, w celu zrozumienia podstaw fizycznych dokonane zostają bardzo trudne pomiary dyspersji w tymże eksperymencie transmisyjnym dla różnych warunków odstrojenia lasera. Po raz kolejny stosowane jest przez Autorkę „modelowanie dyspersji” zamiast jej dopasowanie. Pokazane są przesłanki na zachodzenie przejścia do słabego sprzężenia ekscyton-foton przy wysokich intensywnościach lasera, co pozwala na wysnucie hipotezy pozwalającej na interpretację zachowania się układu. Dowody na różne stany transmisyjne są potwierdzone również w rozkładzie przestrzennym transmitowanego światła.

Wyniki eksperymentalne, choć nie są dogłębnie przeanalizowane pod względem wyznaczenia poprawnych parametrów dyspersji, są poparte bardzo rzetelnym modelowaniem teoretycznym, które bierze pod uwagę dwa efekty dyssypacyjne, wpływające na energię mod wnęki, energię ekscytonu i wartość sprzężenia ekscyton-foton. Wsparcie teoretyczne współpracowników bierze na swoje barki brzemień obronienia obserwowanych krzywych, dzięki czemu można stwierdzić poprawność interpretacji obserwowanych krzywych transmisyjnych.

Następnym aspektem jest próba zwizualizowania przewidywań wynikających z teorii, czyli faktu istnienia niehermitowskich punktów wyjątkowych w dyspersji układów polarytonowych w warunkach przejścia z silnego do słabego sprzężenia. Tutaj cały ciężar spoczywa na przewidywaniach teoretycznych, ponieważ niemożliwym jest określenie miejsca w przestrzeni parametrów eksperymentalnych, gdzie te punkty są zmierzone. Brakuje tutaj również jakiegokolwiek analizy części urojonej energii.

Na sam koniec rozdziału przedstawiony jest przykład kolejnej pętli bistabilności, wynikającej tym razem z przesunięcia samego modu wnęki. Pomimo lepszej jakości danych (węższych linii spektralnych) brakuje tutaj dowodów na brak bądź istnienie przesunięcia modu ekscytonowego. Brak jest również dopasowania dyspersji, choć cały podrozdział jest użyteczny w kontekście poprzednich obserwacji pętli bistabilności.

W rozdziale 5 mgr Furman przedstawia bardzo imponujący eksperyment, w którym połączyła wzbudzenie wybranego miejsca na próbce kilkoma plamkami lasera wraz z pomiarem w polu magnetycznym. Pomimo podobnego schematu eksperymentu do poprzednich, należy zwrócić uwagę, że jest to całkowicie inny układ eksperymentalny o dużo wyższym poziomie skomplikowania, z uwagi na użycie kriosztatu wyposażonego w nadprzewodzące elektromagnesy oraz na integrację z optycznym modulatorem przestrzennym. Z użyciem wzmocnionego rozszczepienia Zeemana półmagnetycznych polarytonów w polu magnetycznym pani Furman demonstruje zmianę parzystości supermodów powstałych w wyniku interferencji koherentnie propagujących kondensatów z dwóch plamek. Wyniki są poparte dokładnym modelem teoretycznym w przybliżeniu średniego pola.

Ostatni, bardzo wartościowy, rozdział zasadniczo przedstawia implementację przez Autorkę modyfikacji badanych struktur w celu efektywniejszego skupienia lasera wzbudzającego wewnątrz struktury, jak również zwiększenia maksymalnego kąta zbierania wyemitowanych fotonów. Jest to zrealizowane za pomocą nadrukowania polimerowych soczewek na powierzchni wybranych mikrownęk. W rozdziale przedstawiono poszczególne aspekty projektowania takich soczewek i wybór ostatecznych parametrów. Następnie pokazano etapy ich realizacji, przy czym zwrócono uwagę na kroki optymalizacyjne procesu druku 3D w procesie polimeryzacji dwufotonowej. Następnie Autorka pokazała charakterystykę próbek, zmianę apertury numerycznej, aspekty rozdzielczości w różnych konfiguracjach elementów optycznych. Uważam badania w tym rozdziale za bardzo starannie wykonane, mające w sobie duży aspekt innowacyjności z zastosowaniem tego rozwiązania w mikrownękach polarytonowych. Na końcu Pani mgr Furman przedstawia efekt obniżenia gęstości mocy potrzebnej do uzyskania laserowania polarytonowego, udowadniając hipotezę będącą motywacją użycia mikrosoczewek.



unite!
University Network for Innovation,
Technology and Engineering



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Konkretne uwagi i pytania do rozprawy

Głównym i najważniejszym zarzutem do jakości całej rozprawy jest brak ostatecznej i rzetelnej analizy zmierzonych dyspersji polarytonowych. Niemal w żadnym przypadku Autorka nie wyznacza funkcji energii od wektora falowego na podstawie zmierzonych map luminescencji oraz nie dokonuje na ich podstawie dopasowania parametrów funkcji analitycznej. Z tego powodu brakuje w pracy jakiegokolwiek analizy błędów i niepewności dopasowania. Ten brak jest szczególnie istotny w rozdziale 4, w którym kluczowe parametry określające silne i słabe sprzężenie są wyznaczone, kolokwialnie rzecz ujmując, „na oko”. Ciężko jest zatem ocenić, czy faktycznie zaobserwowano w eksperymencie punkty wyjątkowe w dyspersji polarytonowej, czy też nie. Dane eksperymentalne są obronione dzięki rzetelnie zmierzonym zależnościom transmisyjnym, które są jednoznaczne. Dane są poparte znacząco staranniejszym modelem teoretycznym. Ciężko jest określić, czy efekt przesunięcia ku niższym energiom, tzw. redshift, obecny jest w każdym zestawie danych zarówno dla dyspersji fotonowej oraz ekscytonowej (przy braku znajomości niepewności). Uzyskane dane wydają się być odpowiedniej jakości, więc ich szczegółowa analiza winna być oczywistą częścią tej pracy. Taka analiza i dopasowanie pojawiają się w jednym miejscu rozprawy, dopiero podczas testowania apertury numerycznej mikrosoczewek, rys 6.14. Autorka skrupulatnie wyznacza zależności dyspersyjne badanej mikrownęki i pokazuje, iż zastosowanie mikrosoczewki nie zniekształciło parabolicznej zależności energii od wektora falowego. Konsekwentnie, ten poruszony aspekt będzie się powtarzać w pytaniach szczegółowych.

1. Rozdz. 6, str. 26. Autorka „modeluje”, ale nie dopasowuje zmierzonych widm. W konsekwencji uzyskuje się nietypową zależność rozszczepienia Rabeigo od temperatury na Rys. 3.7(b). Jak ma się to zachowanie do spodziewanego monotonicznego zaniku tej wartości z temperaturą, np. V. Savona et al., Solid State Commun. 93(9), 733–739 (1995). Proszę o wyjaśnienie tego nietypowego zachowania poniżej $T = 80$ K. Czy zależności temperaturowe energii modu wnęki oraz energii ekscytynu odpowiadają zachowaniu wynikającym z parametrów materiałowych struktury?
2. Dlaczego „zamodelowany” mod wnęki kompletnie nie pasuje do eksperymentalnego modu wnęki, który jest obserwowany na Rys. 3.6 w $T = 180$ K? Jeżeli nie jest znana prawdziwa krzywizna modu wnęki, może to podważać wyniki z dalszych rozdziałów. Proszę porównać z wartościami przewidywanymi ze składu próbki oraz wartościami „zamodelowanymi” na bazie eksperymentów w kolejnych rozdziałach.
3. Czy w określaniu współczynnika Q wnęk (np, str. 35 lub 60) Autorka brała pod uwagę jedynie poszerzenie energetyczne dolnego polarytonu, czy też uwzględniła współczynniki Hopfielda, by oszacować prawdziwy współczynnik Q dla odsprężonego modu wnęki.
4. Rozdz. 4, str. 4.10. „Zamodelowane” krzywe wskazują na przesunięcie energetyczne ekscytynu w funkcji mocy wzbudzenia. Nie jest to jasne z danych, szczególnie biorąc pod uwagę fakt braku dopasowania do eksperymentu. Czy istnieją namacalne dowody na przesunięcie rezonansu ekscytonowego w funkcji mocy lasera na podstawie tych danych?
5. Rodz. 4, str. 48, rys. 4.13. Efekt interferencyjny wydaje się obecny nie tylko w tej serii pomiarów (np. również rys. 5.6). Czy nie jest to artefakt układu eksperymentalnego, występujący często w obrazowaniu emisji za pomocą monochromatora Czerny’ego-Turnera wraz z efektem etalonowania na kamerze? Czy zostało to wyeliminowane eksperymentalnie? Interpretacja tego efektu jako skomplikowanego procesu sprzęgania się emisji polarytonów wydaje się być zbyt daleko idąca.
6. Rozdz. 4.4 i 4.5. Dlaczego zastosowano inne modele w obu rozdziałach? Tyczy się to zależności wartości energii Rabeigo od mocy lasera. Jakie jest fizyczne uzasadnienie użycia przybliżeń w 4.5, a nie w 4.4?



unite! University Network for Innovation, Technology and Engineering



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



7. Rozdz. 4.5, str. 58, rys. 4.18. W opisie rysunku Autorka używa stwierdzenia, iż dyspersje zostały dopasowane („fits”). Dlaczego zatem nie przedstawiono niepewności na Rys. 4.18(b)? Na tymże rysunku widać, iż przeprowadzono gęstszą serię w funkcji mocy. Nie przedstawiono jednak dogłębnej analizy dyspersji wokół przejścia do słabego sprzężenia, które jest postulowane w rozdziale. Pomogłoby to w udowodnieniu, iż faktycznie zachodzi obserwacja punktu wyjątkowego pomiędzy dwoma punktami eksperymentalnymi (dwoma mocami lasera). Jak mają się przedstawione tutaj dyspersje do tych z rozdziału 4.4?
8. Rozdz. 5, str. 71. Czy przeprowadzono bardziej systematyczne dane w funkcji wydłużenia jednej z dróg optycznych, by określić zakres czasów (wydłużeń drogi optycznej) w których zachodzi sprzęganie między kondensatami? Nie jest to jasne z przedstawionych danych i analizy.
9. Rozdz. 5. Czy w modelowaniu teoretycznym użyto również wzbudzenia impulsem czy wzbudzenia laserem pracy ciągłej? Interpretacja danych impulsowych zintegrowanych na kamery CCD może prowadzić do mylnej interpretacji, gdy porównuje się je do modelu stacjonarnego. W szczególności miejsce „przeskoku” parzystości supermodu wyznaczony eksperymentalnie na rys. 5.5(g) jest odczytany z arbitralnie wybranej energii 1,606 eV. Czy ten przeskok będzie występować w innych wartościach B, jeżeli wykreślimy dane dla innej energii, np. 1,605 eV? Czy zachodzi on w tym samym czasie po impulsie? Jak wiadomo, że nie jest to artefakt analizy widma zintegrowanego w czasie?
10. Rozdz. 6. Mam wątpliwości co do nazewnictwa i interpretacji „dualnej” przestrzeni R oraz K w obrazowaniu emisji/transmisji sieci mikrosoczewek. Sama Autorka podkreśla, iż obraz poza mikrosoczewkami jest poza punktami skupienia i ostrości. Czy można więc określać go jako obraz przestrzeni R?
11. Rozdz. 6. Nawiązując do pytania 10., Autorka interpretuje, iż obserwowaną, przesuniętą spektralnie emisję poza skupieniem i poza soczewkami jako skutek naprężeń indukowanych przez soczewki. Aby uzyskać kilka meV w przesunięciu energetycznym polarytonów, należałoby wygenerować bardzo duże naprężenie, np. używając siły kilku newtonów (R. Balili et al., Appl. Phys. Lett. 88, 031110 (2006)). Nie sądzę, by aż takie naprężenia miały miejsce w tej konfiguracji. Czy Autorka brała pod uwagę modyfikację rezonansu modu wnęki z uwagi na dodatkowy element optyczny na mikrownęce? Nawet małe modyfikacje powierzchni powodują znaczące przesunięcia modu optycznego mikrownęki. Taki zabieg stosuje się w laserach VCSEL techniką „surface relief”. Proszę o komentarz.

Podsumowanie i ocena końcowa

Rozprawa doktorska Pani mgr Furman zawiera szereg nowych wyników naukowych w dziedzinie nieliniowych zjawisk w układach polarytonów ekscytonowych. Pani mgr Furman przedstawiła również praktyczne zastosowanie drukowanych mikrosoczewek polimerowych w eksperymentach polarytonowych, które może stać się inspiracją całkowicie nowego podejścia w badaniu fizyki mikrownęk optycznych. Praca zawiera mankamenty w analizie, które jednak nie są decydujące dla ostatecznej interpretacji danych, które są poparte rozwiniętymi modelami teoretycznymi. Pani mgr Furman zaprezentowała również ogólną wiedzę w temacie rozprawy, wykazała się zaawansowanym warsztatem eksperymentatora.

Podsumowując, rozprawa doktorska przedstawiona przez Panią Magdalenę Furman spełnia wszystkie wymagane kryteria stawiane pracom doktorskim określone na bazie obowiązującego prawa. Wnoszę o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

Monika Piawicka



unite! University Network for Innovation, Technology and Engineering



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

REGON: 00001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434