

Warszawa 19 V 2019 r.

Prof. dr hab. Witold Dobrowolski

Instytut Fizyki PAN

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Marcina Zybarta

pt. „Rezonans cyklotronowy i cyklotronowo-fononowy w strukturach zawierających wiele studni kwantowych”

Praca doktorska Pani mgr Marcina Zybarta pt. „Rezonans cyklotronowy i cyklotronowo-fononowy w strukturach zawierających wiele studni kwantowych” jest stosunkowo krótkim studium poświęconym badaniom i interpretacji wyników pomiarów podwójnych studni i wielostudni kwantowych InGaAs / InAlAs i GaAs / AlGaAs w ekstremalnie silnych polach magnetycznych. Należy zauważyć, że praca mieści się w nurcie badań materiałów mających liczne zastosowania w wielu dziedzinach nowoczesnych dziedzin techniki. Praca liczy około 110 luźno zapisanych stron (około 2400 znaków na stronę). Liczba odnośników do literatury wynosi 145. Liczba ilustracji, diagramów etc. wynosi 54. Rysunki są duże, często całostronicowe. Uważam to za zaletę pracy. Jednocześnie pokazuje to, że po odjęciu miejsca zajętego przez ilustrację na tekst pozostało niezbyt wiele miejsca – co często prowadziło do braku przedstawienia istotnych informacji i w konsekwencji do powstania niejasności. Zasadnicze pomiary Autor wykonał podczas pobytu w USA w Laboratorium Impulsowych Pól Magnetycznych w Los Alamos National Laboratory. Można tu dodać, że powstanie pracy poprzedziły wieloautorskie publikacje Autora związane z tematem doktoratu. Prace te były opublikowane w prestiżowym dla naszego środowiska czasopiśmie Physical Review B. Pan mgr Zybert jest pierwszym autorem obu prac. Praca doktorska, a w szczególności część

przedstawiająca wyniki doświadczeń oraz ich interpretację jest oparta o te publikacje. Być może Autor pisząc pracę doktorską był już nieco znużony tematem, stąd prezentacja jest miejscami niepełna i nieco chaotyczna, pominięte są niektóre istotne informacje, czy po prostu pojawiają się drobne błędy gramatyczne czy proste literówki.

Praca ma charakter doświadczalny, podzielona jest na pięć części, z czego pierwsza (Wstęp) liczy 50 stron, czyli praktycznie połowę pracy doktorskiej. W pierwszym podrozdziale Wstępu (zatytułowanym „Rola struktur z wieloma studniami we współczesnej optoelektronice”) Autor na podstawie literatury przedstawia zastosowania struktur zawierających studnie, czy wielostudnie w optoelektronice. Dość nieoczekiwanie (przynajmniej dla mnie) ostatni akapit zawiera treści, które powinny znaleźć się według mnie wcześniej – na początku doktoratu. A więc cel pracy, omówienie podziału pracy na część teoretyczną i doświadczalną etc. Kolejne podrozdziały wstępu zawierają opis teoretyczny elektronu w studni kwantowej w polu magnetycznym, omówienie rezonansu cyklotronowego oraz na zakończenie efekty rezonansowe wywołane oddziaływaniem elektron-fonon w silnym polu magnetycznym.

Począwszy od strony 51 Autor przedstawia własne wyniki. Rozpoczyna od opisu układu doświadczalnego na którym wykonał zasadnicze pomiary. Moim zdaniem opis ten jak na doktorat zbyt skrótowy. Poza ładnymi kolorowymi zdjęciami (z których znaczna część pochodzi z publikacji innych autorów) nie zostało podanych zbyt wiele szczegółów. Ponadto niektóre informacje budzą wątpliwości. Na przykład o użyciu Hallotronu do pomiarów natężenia pola magnetycznego. W dalszej części tego rozdziału autor prezentuje badane próbki. Były to wielostudnie wyhodowane metodą LP-MOVPE w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych. Tu mała dygresja, wydaje mi się, że skrót LP-MOVPE nie został w pracy rozwinięty czy wyjaśniony. Osobiście nie lubię stosowania zbyt wielu skrótów w pracach. Utrudnia to mi czytanie, choć dziś dzięki programom takim jak Google dość szybko je rozszyfrować. Podobnie jak w przypadku opisu układu doświadczalnego brakuje podania szeregu szczegółów. Chciałbym na przykład wiedzieć jak duże były próbki. Jak jednorodne. Autor wspomina, że niekiedy do pomiarów używano różnych fragmentów tej samej warstwy więc jednorodność jest istotna. Czy podane dane (grubość poszczególnych warstw i ich skład) to dane technologiczne, czy były też po procesie wzrostu jakoś weryfikowane? Jak były uzyskane dane: ruchliwość, koncentracja elektronów i poziom Fermiego. I jakiej temperatury dotyczą?

W dalszej części pracy Autor przedstawia wyniki przejść magnetoptycznych oraz ich interpretacje. Pozwoliło to poznać obraz stanów elektronowych w strukturach podwójnych studni i wielostudni InGaAs/InAlAs i GaAs/AlGaAs w ekstremalnie silnych polach magnetycznych. W przypadku podwójnych studni osiągnięto to dzięki obserwacji rezonansu cyklotronowego, rezonansu cyklotronowego z udziałem fononów oraz rezonansu cyklotronowego z udziałem fononów i odwróceniem spinu. Badania rezonansów przeprowadzone na wielostudniach dzięki zaobserwowanym zmianom z temperaturą pozwoliły na odseparowanie przejść między stanami elektronów swobodnych a stanami magnetodonorowymi. Można wspomnieć również obserwacje przejść magnetoptycznych w barierach w przypadku wielostudni, Wyniki eksperymentalne zostały zinterpretowane w oparciu o modele (trzy i pięciopasmowe) opisujące poziomy Landaua w strukturach niskowymiarowych. Ostatnią część pracy stanowi zakończenie, stanowiące syntetyczne omówienie osiągniętych w pracy rezultatów oraz płynących z nich wniosków.

Pisząc o zaletach pracy można wskazać, że jej mocną stroną pracy obok bogactwa zebranych faktów doświadczalnych, prób ich interpretacji, budowy modeli tworzenia uogólnień, jest szeroka dyskusja własnych wyników i interpretacji z danymi i tezami literaturowymi.

Oczywiście, jak każda praca nie jest wolna od drobnych błędów. Na przykład we wstępie czytamy, że pomiary wykonano w polach o natężeniu do 150 T, a w końcowym podsumowaniu pojawia się 140 T. Już w streszczeniu w trzecim wierszu pojawia się pierwsza literówka (domieszkowane krzemem barierach – brakuje „w” pomiędzy krzemem i barierach). Przykłady takie można by mnożyć.

Podsumowując swoją recenzję uważam, że przedstawiona mi praca doktorska pana magistra Marcina Zyberta wnosi ważny wkład do wiedzy o magnetoptyce wielostudni kwantowych w ekstremalnych polach magnetycznych i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pana magistra Marcina Zyberta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

W Dobrowski