

Stanisław Krukowski
Instytut Wysokich Ciśnień PAN
01-142 Warszawa
ul Sokołowska 29/37

Rada Naukowa
Instytutu Fizyki
Polskiej Akademii Nauk
Al. Lotników 32/46
02-662 Warszawa

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Michała Wasiaka pt
Modelowanie zjawisk fizycznych w laserach półprzewodnikowych

Rozprawa habilitacyjna dr Michała Wasiaka składa się z 10 prac naukowych, w tym 8 prac naukowych w regularnych czasopismach i dwu prac w materiałach konferencyjnych. Prace opublikowano w czasopismach naukowych o stosunkowo niewysokim „impact factor”. Najlepszy faktor to dla Journal of LightWave Technology (1 praca) 3.671, nie najgorsze to Journal of Physics D (2 prace) o faktorze 2.772 oraz Physica E (2 prace) o faktorze 2.221. W zasadzie można być zadowolonym z faktorów Optics Communications (1 praca) - 1.588, Opto-Electronics Review (1 praca) o faktorze 1.449, mniej z Optica Applicata (1 praca) – 0.641. Ponadto są dwie dodatkowe prace są to prace konferencyjne bez faktora. Częściowym wytłumaczeniem ostatniego może być fakt że te prace są poświęcone zagadnieniom technologicznym, co powoduje ich lokowanie w czasopismach o określonym profilu. Dr Wasiak jest wyłącznym autorem w dwu publikacjach i jednej pracy konferencyjnej, jest pierwszym autorem w dwu publikacjach i jednej pracy konferencyjnej. Poza tym jest współautorem czterech publikacji. Według Web of Knowledge Dr Wasiak jest współautorem 85 publikacji, które były cytowane 230 raz, w tym 161 bez autocytoowań. Indeks Hirscha wynosi 10. Średnia cytowania na jedną pracę wynosi 2.71, a więc jest stosunkowo niska. W sumie dane statystyczne lokuje ten dorobek w zakresie akceptowalnym przy staraniu o stopień doktora habilitowanego.

W analizie merytorycznej osiągnięć naukowych dr Wasiaka należy stwierdzić że prezentuje on bardzo spójny obraz zainteresowań, dotyczących fizycznych aspektów działania różnych typów laserów półprzewodnikowych. Jest to kontynuacja pracy doktorskiej, która również była poświęcona wzmocnieniu optycznemu w laserach opartych na kropkach kwantowych. W pracach dotyczących habilitacji aspekt laserów na kropkach kwantowych również występuje, ale tylko jako jeden z przykładów, nie można więc tych prac traktować jako przekładających się na prace doktorską, gdyż dominuje tutaj analiza laserów innych typów.

Pierwsza praca z tej serii poświęcona jest tunelowaniu w układzie studni kwantowych lasera. Autor redukuje problem do układu prostokątnych studni kwantowych, a więc do dobrze znanego potencjału Kronig-Penney. W wyniku tego autor otrzymał opis działania układu studni kwantowych. Obliczono wpływ niejednorodności emisji związanej ze wstrzykiwaniem do studni, który okazał się zanedbywalnie mały.

Druga praca z tego cyklu poświęcona jest dyfuzji nośników w układzie studni lasera VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) w przybliżeniu klasycznym. Równanie dyfuzji sprzęgnięte jest z modelem ABC opisującym różne mechanizmy rekombinacji elektron-dziura oraz dołączony jest wyraz stały opisujący wstrzykiwanie nośników do studni. Problem jest analizowany w przybliżeniu silnego wstrzykiwania, gdy równowagowe gęstości nośników można zaniedbać, i założyć że gęstości dwu typów nośników są równe. Upraszcza to zagadnienie do rozwiązania równania dla jednej gęstości nośników. Autor stwierdza że metoda elementu skończonego rozwiązuje tylko układy liniowe, jest to jednak tylko niefortunne sformułowanie, autor ma na myśli że rozwiązanie uzyskuje się po prostu przez odwrócenie macierzy. Po kolei wprowadza nieliniowe warianty rozwiązywania równań elementu skończonego, takie jak metoda podstawiania czy też metoda Newtona-Raphsona (w

matematyce znana jako metoda Gummela) oraz technikę poprawiania zbieżności znana jako „Broyden update”. Ale tych metod z jakiegoś powodu tak nie nazywa, co trochę dziwi. W wyniku przeprowadzenia procedury rozwiązywania równań nieliniowych otrzymuje rozwiązanie, co zresztą jest oczywiste, gdyż układ spełnia warunki twierdzenia Banacha. Otrzymuje charakterystykę L-I diody laserowej powyżej progu, w dobrej zgodności z eksperymentem.

Trzecia praca poświęcona jest analizie numerycznej lasera VCSEL. Metoda opisuje sprzęgnięcie tego lasera z kryształem fonicznym, zmieniającym właściwości wnęki optycznej. Analiza wyników dotyczy własności kryształu fonicznego otrzymanego przez trawienie. Wyniki dają możliwość optymalizacji diody laserowej pod względem optycznym.

Czwarta praca z cyklu dotyczy innego typu laserów, a mianowicie laserów kaskadowych. Są to lasery pracujące w oparciu o jeden typ nośników. Analiza jest oparta o rozwiązanie równania Schrodingera, dla potencjału Kronig-Penney w zewnętrznym polu elektrycznym. Otrzymano funkcje falowe i energie stanów w przybliżeniu funkcji obwiedni.

Praca piąta jest doświadczalna, oparta o wyniki pomiarów supersieci GaAs/AlGaAs metoda pomiaru transformaty Fouriera fotoodbicia i fotoluminescencji. Dokonanie tego pomiaru zademonstrowało możliwość charakteryzacji optycznych własności supersieci obydwoma tymi metodami.

Kolejna, szósta praca jest poświęcona optymalizacji laserów VCSEL opartych o układy kropek kwantowych InGaAs/GaAs. W tej pracy użyto modelu identycznego do stosowanego w pracy 1. Po przeprowadzeniu analizy numerycznej otrzymano wzmocnienie lasera w funkcji gęstości i jednorodności kropek kwantowych. Otrzymane wyniki potwierdzają oczekiwania oparte na intuicyjnej analizie problemu, ich wartość wynika z faktu, że dostarczają danych ilościowych.

Siódma praca poświęcona jest analizie technicznego problemu zastosowania siatki diamentowej do odbicia fali optycznej w laserze VCSEL. Z punktu widzenia termicznej optymalizacji przyrządu, zastosowanie okładek diamentowych daje najlepsze wyniki, gdyż diament jest materiałem o najwyższym przewodnictwie cieplnym, otrzymywanym technicznie. Zastosowanie siatki nieprzepuszczającej promieniowania pozwala otrzymywać 98% odbicia, co jest wynikiem dobrym. Modelowanie za pomocą metody elementu skończonego dotyczyło termicznych właściwości lasera oraz wzmocnienia optycznego w regionie aktywnym. Własności optyczne otrzymywano przez rozwiązanie równań Maxwella dla pól E i H, poprzez ich transformacje do równań macierzowych na amplitudy pól. Równania wektorowe zostały zredukowane do skalarnego równania Helmholtza. Dodatkowo dołączono absorbcję spowodowaną występowaniem efektu Auger'a. Analiza wyników pozwoliła zaproponować nowy projekt lasera o zmniejszonych stratach cieplnych co potencjalnie obniża próg laserowania o 30% i zwiększa maksymalną moc emisji nawet o 80%. Są to znaczące efekty pozwalające na konstrukcje udoskonalonych laserów VCSEL.

Praca ósma jest pracą konferencyjną, podlega więc ograniczeniom ze względu na objętość druku. Praca dotyczy termicznych własności nowego typu lasera VECSEL (vertical external cavity surface emitting laser), w którym na zwyczajny laser nakłada się dodatkową zewnętrzną wnękę rezonansową. Lasery te są zaprojektowane do otrzymywania wysokich mocy, są więc silnie pompowane. Analizowany laser był to laser oparty o studnie kwantowe GaInAs/GaAs posiadające lustra DBR (distributed Bragg reflectors). Wykonano wyłącznie analizę termiczną, gdyż to jest krytyczny parametr decydujący o sprawności silnie pompowanej struktury. Wyniki wskazują że w laserach tych konieczne jest zastosowanie spreadera cieplnego, najlepiej diamentowego. Przewodzenie ciepła przez podłoże odgrywa mniejszą rolę. Nawiasem mówiąc wyniki te są takie same jak niepublikowane wyniki modelowania laserów wysokiej mocy w IWC PAN, gdzie określono warunki do trzymania laserów pracy ciągłej. Wyniki te zostały potwierdzone doświadczalnie, gdyż zaprojektowana układ pozwolił na uzyskanie pracy ciągłej.

Praca dziewiąta i dziesiąta poświęcone są roli pojemności elektrycznej diod VCSEL. W pracach tych stosowano standardowe metody liniowej analizy obwodów elektrycznych prądu zmiennego. Wyniki otrzymane w pracy dziewiątej pozwalają na określenie zależności impedancji diod od częstości ich zasilania. Ponadto otrzymano zależność pojemności od prądu elektrycznego, wyznaczono więc nieliniową elektryczną charakterystykę diody. Praca dziesiąta jest bogatsza, zawiera dodatkowo analizę przestrzenną rozkładu pól elektrycznych w dwuwymiarowej strukturze diody, co pozwala na zmiany projektu i optymalizację elektryczną urządzenia. W perspektywie może to mieć

duże znaczenie zwłaszcza dla czasu działania urządzenia ograniczając możliwość jego zniszczenia lub zwarcia.

Ocena wartości naukowej cyklu prac doktora Wasiaka musi zawierać wiele aspektów. Prace te są ograniczone do stosunkowo wąskiej dziedziny laserów półprzewodnikowych, a nawet do specyficznych układów laserów emitujących światło z powierzchni. Metodologicznie są one dosyć jednorodne, używając analizy liniowej oraz metody elementu skończonego dla otrzymywania przestrzennego obrazu działania diod. Są czasem uzupełnione o proste modelowanie kwantowe. Stosowane w nich są metody właściwe rozwiązywania równań nieliniowych, które efektywnie prowadzą do uzyskiwania wyników obliczeń. W sumie tworzy to efektywny pakiet służący do otrzymywania wyników istotnych dla działania diod laserowych. Prowadzi to do otrzymywania wyników istotnych dla działania laserów, przy czym istnieją też aspekty o znaczeniu badawczym. Stanowi to istotną wartość tych prac, przesądzającą o ich znaczeniu dla postępowania habilitacyjnego.

Innym aspektem tego cyklu jest to, że siła tego podejścia do pewnego stopnia przesądza o jego słabości, w tym kształcie w jakim zaprezentowano w rozprawie. W tym cyklu prac stosunkowo niewielki jest aspekt innowacyjny, polegający na sformułowaniu nowych hipotez badawczych, czy też odejścia od standardowych hipotez badawczych. O ile jest to wystarczające dla pewnego etapu badań o dla samej rozprawy, to przewiduje że kontynuowanie tego w przyszłości nie będzie owocowało znaczącymi wynikami naukowymi. Wydaje się też, że powoduje to zamknięcie w zakresie publikacji o stosunkowo niskim faktorze. Aby wyjść z tego ograniczenia konieczne jest zastosowanie bardziej innowacyjnego, twórczego podejścia do badanych zjawisk w przyszłości.

Podsumowując ocenę dorobku naukowego stwierdzam że dr Wasiak spełnia wymogi związane z uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego. W związku z tym zgodnie z Art. 26 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dziennik Ustaw Nr 65 poz. 595 wraz ze zmianami w Dziennik Ustaw z 2005 roku Nr 164, poz. 1365, Dziennik Ustaw z 2016 poz. 882 i 1311 oraz Dziennik Ustaw z 2017r poz. 859) wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN o dopuszczenie dr Michała Wasiaka do dalszego postępowania kwalifikacyjnego w celu nadania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Warszawa 23.01.2018

St. Krukowski
Prof. dr hab. Stanisław Krukowski