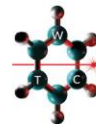




Wojskowa
Akademia
Techniczna

Wydział
Nowych Technologii i Chemii



płk dr hab. inż. Piotr Martyniuk, prof. uczelni
Wydział Nowych Technologii i Chemii
Wojskowa Akademia Techniczna
00-908 Warszawa
ul. Kaliskiego 2

Warszawa, 22.11.2021 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ NAUKI FIZYCZNE POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Tytuł rozprawy: “Spektroskopia optyczna struktur półprzewodnikowych związków III-V do zastosowań w emiterach promieniowania na zakres 3–10 μm ”

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin KURKA

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Marcin MOTYKA, prof. uczelni

Podstawę do przygotowania recenzji stanowiło pismo (30.09.2021 r.) Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej - Nauki Fizyczne Politechniki Wrocławskiej (uchwała nr 161/12/2020–2024 Senatu PWr z dnia 8 lipca 2021 r.), prof. dr. hab. inż. Grzegorza SĘKA. Podstawa prawna: art. 14 ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm.) zgodnie z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. - przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. poz. 1669 z późn. zm.).

Mgr inż. Marcin KURKA ukończył studia I (X 2011 – I 2015), II (III 2015 – VI 2016) stopnia na kierunku Fizyka Techniczna i studia doktoranckie (X 2016 – IX 2021) na kierunku Fizyka prowadzone przez Wydział Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej.

Doktorant stwierdza na początku swojej dysertacji, że w ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój przyrządów optoelektronicznych emitujących promieniowanie w zakresie spektralnym średniej (3–5 μm) i długofalowej (8–12 μm) podczerwieni. Motywuje ten proces szerokim obszarem zastosowań, gdzie wymienione emitery znajdują potencjalne zastosowania, np. w obszarze detekcji substancji niebezpiecznych/gazów czy systemach łączności optycznej. Autor stwierdza, że szczególnie ważnym, z punktu widzenia zastosowań przemysłowych jest zakres 3.5 μm , gdzie znajdują się linie absorpcyjne węglowodorów takich jak metan, etan czy etyn.

Biorąc powyższe pod uwagę Doktorant przeprowadził i przedstawił wyniki badań nad dwoma typami układów materiałowych do emisji w/w długości fal. Znaczącą część pracy Autor poświęcił badaniom nad elementami składowymi kwantowych laserów kaskadowych emitujących w zakresie 9 μm , który można wykorzystać w optycznej detekcji amoniaku.

Optymalizacja wymienionych systemów optoelektronicznych wymusza konieczność poszukiwania nowych źródeł promieniowania nie tylko z większym zakresem spektralnym i mocą wyjściową, ale również sprawnością, temperaturą pracy, modowością emisji laserowej, a także

czynnikami typowo ekonomicznymi, np. jednostkowym kosztem przyrządu oraz powtarzalnością procesu produkcji i parametrów wyjściowych.

Recenzentowi znane są trendy rozwoju źródeł promieniowania i należy podkreślić, że obecnie komercyjnie dostępne źródła promieniowania podczerwonego całkiem dobrze pokrywają cały ten obszar spektralny, jednak osobną kwestią jest optymalizacja parametrów pracy tych przyrządów i wprowadzanie nowych układów materiałowych do zastosowań w tym obszarze. Praca mgr. inż. Marcina KURKI skupia się na badaniach nowatorskich struktur półprzewodnikowych z grupy $A^{III}B^V$ do zastosowań w emiterach pracujących w zakresach średniej i długofalowej podczerwieni.

Biorąc powyższe pod uwagę, w mojej ocenie, rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina KURKI dobrze wpisuje się w obszar badań prowadzonych w wiodących laboratoriach technologicznych/charakteryzacyjnych w kraju i na świecie nad opracowaniem nowych źródeł promieniowania podczerwonego.

Autor rozprawy, postawił sobie za cel analizę wybranych parametrów optycznych niskowymiarowych struktur półprzewodnikowych na bazie materiałów z grupy $A^{III}B^V$ pod kątem wybranych zastosowań w przyrządach przeznaczonych do emisji promieniowania podczerwonego w zakresie 3–10 μm . Głównym przedmiotem badań zawartych w rozprawie była eksperymentalna weryfikacja właściwości optycznych nowych struktur półprzewodnikowych i analiza zjawisk fizycznych towarzyszących emisji promieniowania. Badawczo-doświadczalna część pracy podzielona jest na cztery główne części, w których Doktorant podejmuje próbę poprawy osiągnięć wybranych emiterów promieniowania. Zasadniczą część pracy stanowią badania metodami spektroskopii optycznej nowych struktur półprzewodnikowych do zastosowań w diodach laserowych, diodach superluminescencyjnych oraz wewnątrzpasmowych i międzypasmowych laserach kaskadowych emitujących w zakresach średniej i długofalowej podczerwieni.

Rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny. W mojej ocenie jej cele zostały sformułowane przez Autora w sposób prawidłowy. Praca zawiera szereg elementów nowości, a jej tematyka jest aktualna i ważna dla badań stosowanych, których celem jest opracowanie nowych emiterów promieniowania podczerwonego na bazie materiałów z grupy $A^{III}B^V$.

Na bazie własnych prac eksperymentalnych oraz szczegółowej analizie danych literaturowych Autor powinien był podjąć próbę sformułowania tezy rozprawy, “że możliwe jest...” - czego nie odnalazłem czytając przedmiotową dysertację.

W rozprawie mgr inż. KURKA powołuje się na 153 prace źródłowe, w tym 2 prace, których jest autorem (praca magisterska)/współautorem (pozycja [96], [147]):

- **M. Kurka**, “Optyczne właściwości studni kwantowych $\text{AlSb/InAs/GaInSb/InAs/AlSb}$ osadzonych na podłożu InAs ”, Praca magisterska, Wrocław (2016).
- M. Dyksik, M. Motyka, **M. Kurka**, K. Ryczko, A. Schade, M. Kamp, S. Höfling, G. Sęk, “Electrical tuning of the oscillator strength in type II InAs/GaInSb quantum wells for active regions of passively mode-locked interband cascade lasers”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 56 110301 (2017).

Dodatkowo, oprócz wymienionych prac Doktorant deklaruje 4 prace bezpośrednio dotyczące rozprawy. Naturalnym wydaje się pytanie dlaczego prace nie znalazły się w spisie wykorzystanej literatury? Należy zaznaczyć, że są to prace w których Doktorant jest pierwszym autorem, jak również opublikowane w czasopiśmie klasy światowej [Optical Materials współczynnik wpływu (IF^*) 3.08 ($PM^{**} = 100$), *Applied Physics Express* - $IF = 2.895$ ($PM = 70$)]. W przypadku trzech prac, jego nazwisko jest na trzeciej pozycji. Jest autorem/współautorem 8 wystąpień konferencyjnych. Na podkreślenie zasługuje aktywność badawcza mgr. inż. KURKI związana z prowadzeniem badań w ramach projektów OPUS i TECHMATSTRATEG:

- NCN - OPUS 2014/15/B/ST7/04663: “Zbadanie struktury energetycznej oraz dynamiki nośników ładunków w półprzewodnikowych strukturach niskowymiarowych typu drugiego przeznaczonych do emisji lub detekcji promieniowania z zakresu 3–10 mikrometrów”;
- NCBR - TECHMATSTRATEG1/347510/15/NCBR/2018: “Opracowanie technologii struktur dla jednomodowych laserów kaskadowych do zastosowań w układach optycznej detekcji gazów”.

Nie można również pominąć wyróżnienia jakim było stypendium MNiSW “Młodzi naukowcy”, Projekt nr 0402/0013/18:

- “Pomiary widm fotoluminescencji struktur niskowymiarowych przeznaczonych do zastosowań w średniej podczerwieni”.

Mimo, że dorobek publikacyjny Doktoranta nie został zacytowany w rozprawie, jest on znany Recenzentowi i stanowi potwierdzenie kompetencji Autora dysertacji w obszarze badań realizowanych w ramach części badawczo-doświadczałnej.

Zestawienie danych bibliometrycznych Doktoranta przedstawiłem w Tabeli 1. W bazie Web of Science (WoS) (dostęp 03.11.2021 r.) zarejestrowano 7 dokumentów, które były cytowane 11 razy (bez autocytowań Autora). Indeks Hirscha jego prac wynosi 2 (bez autocytowań Autora). W bazie Scopus (dostęp 03.11.2021 r.) zarejestrowano 6 dokumentów, które były cytowane 6 razy (bez autocytowań Autora). Indeks Hirscha jego prac wynosi 1 (bez autocytowań Autora).

Tabela 1. Zestawienie danych bibliometrycznych Doktoranta.

Baza	Data dostępu	Liczba publikacji	Sumaryczny IF*	Liczba PM**	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytowań Autora	Indeks Hirscha	Indeks Hirscha bez autocytowań Autora
Web of Science (WoS)	03.11.2021 r.	7	15.542	500	13	11	2	2
Scopus		6	14.062	430	7	5	1	1

*IF (w jęz. ang. impact factor) - współczynnik wpływu - zgodnie z informacją na stronie internetowej pisma.

**PM - liczba punktów ministerialnych za publikację zgodnie z: “KOMUNIKAT MINISTRA EDUKACJI I NAUKI¹⁾ z dnia 18 lutego 2021 r. o zmianie i sprostowaniu komunikatu w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych - Scalony_Wykaz_czasopism_20210209-20210218.pdf”.

Sumaryczny IF prac Autora wynosi 15.542 (WoS), a liczba PM 500 (WoS). Pierwszą punktowaną pracę Autor opublikował w 2016 r. w *Optical and Quantum Electronics* (IF = 2.048, PM = 40) (cytowana 6 wg WoS/Scopus). Najbardziej rozpoznawalną pracę Autor opublikował w 2017 r. w *Japanese Journal of Applied Physics* (7 cytowań wg WoS, IF = 1.48, PM = 70).

Praca doktorska składa się ze spisu rysunków i tabel, wykazu akronimów, wstępu (rozdział 1), 8 rozdziałów, w których opisano prace eksperymentalne oraz podsumowania (rozdział nr 10). Wnioski z przeprowadzonej analizy danych literaturowych i wcześniejszych prac badawczych sformułowano w sposób prawidłowy i przekonujący.

Rozprawa zaczyna się od wstępu (rozdział 1 pracy) zawierającego krótki opis właściwości i zastosowań promieniowania podczerwonego. Autor w sposób szczegółowy przedstawia cele pracy, jak również właściwą, w mojej ocenie, motywację podjętych badań. Rozdział drugi obejmuje zwięzły opis podstaw fizyki półprzewodników i nanostruktur, w szczególności podstaw teorii struktury pasmowej, studni kwantowych i przejść optycznych. Rozdziały trzeci i czwarty zawierają opisy właściwości, aktualnego stanu technologii (materiałów i metod wykorzystywanych do osadzania struktur półprzewodnikowych) i osiągnięć źródeł promieniowania pracujących w średnim zakresie promieniowania, w szczególności: diod i laserów półprzewodnikowych,

wewnątrzpasemowych i międzypasemowych laserów kaskadowych i diod superluminescencyjnych. Część teoretyczna rozprawy obejmuje w sumie 49 stron.

Doświadczalna i zasadnicza część pracy wskazująca na indywidualny oryginalny udział autora w rozwoju emiterów promieniowania podczerwonego obejmuje rozdziały 5–10 (strony 50–100) i rozpoczyna się opisem metod pomiarowych wykorzystanych w trakcie badań charakterystycznych. Autor przedstawia wyniki badań fotoluminescencji w zależności od temperatury (10–300 K) i opis struktur na bazie studni kwantowych GaInAsSb/AlGaAsSb. Doktorant pokazuje możliwość przesunięcia długości fali emisji od $\sim 2.5 \mu\text{m}$ do poziomu $\sim 3.1\text{--}3.3 \mu\text{m}$ (dla $T = 300 \text{ K}$), pożądaną ze względu na węglowodorowe linie absorpcyjne, w zależności od składu chemicznego indu. Autor pokazuje charakterystyczny przebieg przesunięcia spektralnego w zależnościach temperaturowych, (tzw. “S-shape”), który wiąże z efektem klasteryzacji atomów indu. Dodatkowo proponuje zmiany w strukturze poprzez dodanie bariery blokującej dziury, ale jednocześnie pokazuje niepożądane efekty powiązane z implementacją warstwy barierowej związane z powstawaniem defektów na granicach pomiędzy warstwami składowymi. Doktorant, potwierdza słuszność podejścia polegającego na zwiększaniu zawartości indu w badanych studniach kwantowych, ale jednocześnie pokazuje ograniczenia powiązane z osłabieniem sygnału luminescencyjnego aktywnego przejścia optycznego.

W dalszej części dysertacji autor pokazuje wyniki badań studni kwantowych InAsSb/InAsSbP osadzanych metodą epitaksji z fazy gazowej związków metaloorganicznych (MOVPE) na podłożach InAs. W mojej ocenie są to badania wartościowe, ze względu na fakt, że na bazie heterostruktur InAsSb/InAsSbP zespoły badawcze uzyskiwały emisje laserową w zakresie niskich temperatur. Autor, wskazuje na możliwość uzyskania emisji w temperaturze pokojowej. Dodatkowo, Autor przeprowadził pomiary widm fotoluminescencji dla układu InAsSb/InAsSbP w zależności od temperatury. Wykonał pomiary i przeprowadził analizę widm fotoluminescencyjnych dla materiałów objętościowych InAsSb i InAsSbP osadzanych na podłożach InAs, co pozwoliło wyjaśnić efekty zachodzące w warstwach przejściowych pomiędzy poszczególnymi materiałami. Ustalił kanały rekombinacji promienistej oraz wpływ temperatury na transfer nośników między nimi. Uzyskał emisję dla długości fali $\sim 3.5 \mu\text{m}$ w temperaturze pokojowej.

Trzecia część rozprawy obejmuje badania obszarów aktywnych wewnątrzpasemowych laserów kaskadowych osadzanych techniką MOVPE na podłożach InP. Doktorant opisuje technologię laserów kaskadowych podkreślając fakt, że obszar falowodowy tych laserów jest osadzany techniką MOVPE, a obszar aktywny techniką MBE, co powoduje konieczność transferu osadzanych struktur pomiędzy reaktorami i wymusza różnice temperatur wzrostu. Doktorant podejmuje próbę zbadania i wyjaśnienia wpływu zastosowania wybranych temperatur wzrostu falowodów na właściwości optyczne obszaru aktywnego. Autor wyznacza optymalną temperaturę procesu osadzania falowodu w stosunku do temperatury wzrostu rdzenia, jak również wpływ różnicy tych temperatur na dyfuzję atomów pomiędzy poszczególnymi warstwami rdzenia. Doktorant wykorzystuje symulacje numeryczne struktury pasmowej i dozwolonych przejść optycznych w obszarze aktywnym, które pozwoliły wyjaśnić i potwierdzić eksperymentalnie uzyskane przesunięcia energii fotoluminescencji w badanych próbkach.

W kolejnym rozdziale mgr inż. KURKA przedstawił wyniki dotyczące wykorzystania metod optycznych do wyznaczania koncentracji nośników w materiale objętościowym InGaAs powszechnie wykorzystywanym jako obszary aktywne kwantowych laserów kaskadowych InGaAs/AlInAs osadzanych na podłożach InP. Przeprowadził pomiary widm odbicia z wykorzystaniem efektu Berremana celem wyznaczenia koncentracji nośników w badanych próbkach, co przyczyniło się do poprawienia krzywych kalibracyjnych domieszkowych komórek

efuzyjnych. Analiza widm odbicia może stanowić alternatywę do pomiarów efektu Hall'a i tym samym uprościć proces kalibracji komórek efuzyjnych w technologii MBE.

W podsumowaniu, Autor syntetycznie omówił najważniejsze rezultaty prac oraz zaproponował plan dalszych badań.

Ze względu na osiągnięte, często unikalne rezultaty, dobór przez Autora narzędzi pomiarowych i charakterystycznych badanych struktur uważam za właściwy i adekwatny do zaplanowanego zakresu prac badawczych. Praca jest oryginalna, a prezentowane wyniki badań stanowią, w mojej ocenie samodzielny i oryginalny dorobek mgr. inż. KURKI. W swoich badaniach mgr inż. KURKA przyjął prawidłowe i zasadne założenia badawcze, a do ich udowodnienia wybrał właściwy zestaw technik i narzędzi badawczych, których zastosowanie umożliwiło osiągnięcie głównego celu pracy. Autor prawidłowo zaplanował i zrealizował szereg eksperymentów. Do najważniejszych, oryginalnych, osiągnięć Autora zaliczam:

- 1) W ramach badań układu materiałowego GaInAsSb/AlGaAsSb:
 - demonstracja emisji dla długości fali $\sim 3.3 \mu\text{m}$ ze stanów zlokalizowanych oraz $\sim 3.1 \mu\text{m}$ ze studni kwantowych dla $T = 300 \text{ K}$;
 - pokazanie tzw. "S-shape" w temperaturowej zależności fotoluminescencji powiązanego z klasteryzacją indu w studni kwantowej;
 - pokazanie wpływu bariery ograniczającej dziury w paśmie walencyjnym na generację defektów sieci krystalicznej w pobliżu granic warstw;
 - wyznaczenie wartości energii aktywacji nośników ze studni kwantowych do głębokich stanów zlokalizowanych w warstwach przejściowych studnia-bariera.
- 2) W ramach badań układu materiałowego InAsSb/InAsSbP:
 - demonstracja emisji dla długości fali $\sim 3.5 \mu\text{m}$ ($T = 300 \text{ K}$);
 - pokazanie emisji ze stanów międzypowierzchniowych powiązanych z fluktuacjami składu na granicach pomiędzy warstwami.
- 3) W ramach badań układu InGaAs/AlInAs dla wewnątrzprismowych laserów kaskadowych:
 - pokazanie, że intensywność emisji jest największa dla tych samych temperatur osadzania falowodu i obszaru aktywnego;
 - pokazanie przesunięcia energii emisji dla struktur osadzonych w temperaturach różniących się od temperatury osadzania rdzenia;
 - wprowadzenie modelu dyfuzji atomów na granicach warstw celem potwierdzenia obserwowanych przesunięć;
 - określenie optymalnej temperatury wzrostu struktur i wpływu na parametry optyczne.
- 4) W ramach badań InGaAs dla międzypasmowych laserów kaskadowych - pomiary widm odbicia - efekt Berremana:
 - pomiary częstotliwości plazmonowych i wyznaczenie koncentracji nośników;
 - wprowadzenie poprawki do modelu obliczenia koncentracji nośników uwzględniającej zmianę masy efektywnej w funkcji koncentracji domieszki;
 - przedstawienie temperaturowych krzywych kalibracyjnych źródeł domieszkowych.

Zrealizowane badania stanowią potwierdzenie dojrzałości eksperymentalnej mgr. inż. KURKI oraz świadczą o prawidłowym opanowaniu warsztatu pomiarowo-badawczego. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie dla opracowania emiterów promieniowania podczerwonego w zakresie średnio- i długofalowym oraz są istotne dla dalszego rozwoju przyrządów na bazie materiałów $A^{III}B^V$.

Stwierdzam, że mgr inż. Marcin KURKA w sposób prawidłowy przeanalizował wyniki przeprowadzonych prac doświadczalnych, na bazie których sformułował wiarygodne i przekonujące wnioski. Praca ma poprawny układ, który nie budzi większych zastrzeżeń. Rysunki

są prawidłowej wielkości. Zostały one poprawnie opisane. Widać różnicę w jakości przygotowania części teoretycznej i części doświadczalnej. O ile część doświadczalna nie budzi większych zastrzeżeń edytorskich, co jest zrozumiałe, ponieważ Autor jest doskonałym eksperymentatorem, to części teoretycznej, w mojej ocenie, poświęcił mniej uwagi. Pozwolę sobie przytoczyć najważniejsze nieścisłości językowe/uchylenia (kolokwializmy), które napotkałem w czasie czytania dysertacji (Tabela 2).

Tabela 2. Wykaz nieścisłości językowych/kolokwializmów - podano rozdział i nr strony.

Nr	Rozdział	Strona	Uwaga
1	Dorobek naukowy, Prace dotyczące rozprawy	-----	Publikacje [3] i [4] mają takie same tytuły?
2	Wykaz użytych skrótów	-----	NIR, SWIR - tłumaczone jako średnia podczerwień? Niewłaściwa definicja VLWIR? QW - zdefiniowane podwójnie?
3	Rozdział 1	Str. 1	“W rezultacie okazało się, iż najwięcej ciepła dostarcza niewidzialna gołym okiem część widma znajdująca się za kolorem czerwonym.”?
4	Rozdział 1	Str. 3	“...wyparte przez urządzenia oparte o układ materiałowe pierwiastków...”?
5	Rozdział 1	Str. 5	“Celem tej części badań zmierzanie częstości plazmowych...”?
6	Rozdział 2	Str. 7	Równanie (2.3d)?
7	Rozdział 2	Str. 9	Operator Laplace’a ∇ ?
8	Rozdział 2	Str. 9	Równanie (2.11) - niewłaściwa potęga?
9	Rozdział 2	Str. 11	“Gdy temperatura rośnie, wychwytyją one elektrony z wzbudzone termicznie z pasma walencyjnego...”?
10	Rozdział 2	Str. 13	“Te wartości energii oraz funkcje falowe towarzyszących im stanom można...”?
11	Rozdział 2	Str. 14	“Kolejne wartości amplitud oblicza się korzystając zakładając warunki...”?
12	Rozdział 3	Str. 21	“...o niższej przerwie wzbronionej i tym samym zwiększenie szans na rekombinacje .”?
13	Rozdział 3	Str. 23	“Ponadto, jako że znaczna część strat optycznym w takim laserze jest powodowana...”?
14	Rozdział 3	Str. 24	“Emisja laserowa może zostać osiągnięta poprzez przejścia międzypasmowe pomiędzy pasmami przewodnictwa i walencyjnymi nanostruktur półprzewodnikowych takie jak studnie czy kropki kwantowe...”?
15	Rozdział 3	Str. 25	“Niemniej jednak, te związki cierpia na szereg przypadłości ...”?
16	Rozdział 3	Str. 25	“...używanego jako podłoże, tj. 6,1 A .”?
17	Rozdział 3	Str. 29	“...co przekłada się na wysokie wartości prądów progowym ...”?
18	Rozdział 3	Str. 37	“Zależność mocy wyjściowej różni się od diody laserowej poprzez brak istnienia prądu progowego, po przekroczeniu którego następuje zmiana charakteru pracy .”?
19	Rozdział 4	Str. 42	“Dyslokacje krawędziowe powstają zostanie wprowadzona półplaszczyna pomiędzy dwie już istniejące.”?
20	Rozdział 4	Str. 43	“...strukturalnej czy szeroki zakres możliwych materiałów domieszkowania [2].”?
21	Rozdział 4	Str. 45	“Komercyjne przykłady reaktorów, mogące przeprowadzać epitaksje kilku wafli jednocześnie...”?
22	Rozdział 4	Str. 45	“...koncentracje w gotowym materiale rzędu 10²⁰ cm⁻³ .”?
23	Rozdział 4	Str. 46	“Reaktor składa się z zamkniętej komory o ścianach z płaszczem chłodzącym chłodzonych ciekłym azotem.”?
24	Rozdział 4	Str. 47	“...którego długość fali jest w rzędu wielkości stałej sieciowej.”?
25	Rozdział 6	Str. 68	“...maksimów fotoluminestencji funkcji temperatury.”?
26	Rozdział 6	Str. 69	“...podstawienia do wzoru $E = k_B T$ wynoski około 400 kelwinów...”?
27	Rozdział 7	Str. 73	“...modulowany mechaniczne z częstotliwością 275 Hz.”?
28	Rozdział 7	Str. 73	“...może być przypisane do przejściu typu donor-akceptor...”?
29	Rozdział 7	Str. 76	“Wszystkie obliczenia przedstawione w tym rodziale wykonano wykorzystując oprogramowanie [2].”?
30	Rozdział 7	Str. 76	“Wykazały one, że zakładając szerokość studni 18 nm...”?
31	Rozdział 7	Str. 79	“...kwantowych z wąską przerwą w materiałach z roztworów...”?
32	Rozdział 7	Str. 79	“...przejścia promieniste z udziałem stanaów międzypowierzchniowych...”?
33	Rozdział 7	Str. 79	“...że w toku tych badań pokazano istotny w stronę urządzeń laserowych wykorzystujących ten...”?
34	Rozdział 8	Str. 80	“Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest przeprowadzenie kombinowanego wzrostu ...”?
35	Rozdział 8	Str. 85	“...natężenie fotoluminescencji wśród próbek zwieńczonych górna warstwą występuje...”?
36	Rozdział 8	Str. 88	“Można przypinając , że z powodu braku zamierzonego...”?
37	Rozdział 8	Str. 88	“Wykonano obliczenia niektórych energii przejść (w tym przejść lekkodziurowych) funkcji długości dyfuzji...”?
38	Rozdział 8	Str. 89	“...która wpływa na właściwości optyczne obszaru aktywnego konstrukcji .”?
39	Rozdział 9	Str. 93	“Minimum absorpcji można przypisać częstotliwom plazmowych...”?
40	Rozdział 9	Str. 96	“Pozwoliło to oszacować niepewność koncentracji nośnikóoe na $\pm 2\%$, co nie jest wystarczające do wyjaśnienia różnicy między w stosunku do koncentracji nominalnych.”?
41	Rozdział 9	Str. 96	“Koncentracja nośników w warstwie InGaAs jako funkcja temperatura źródła...”?

Doktorant musi pamiętać, że część teoretyczna pracy potwierdza wiedzę jaką Autor powinien był przyswoić w trakcie studiów doktoranckich i efektywnie wykorzystać w trakcie pisania pracy i powinna świadczyć o dojrzałości naukowej. Dodatkowo, Autor powinien przykładać większą uwagę do poprawności językowej, co jest istotne, ponieważ Doktorant jako pracownik nauki będzie w przyszłości wpływał na poziom staranności językowej swoich dyplomantów.

Recenzent ma świadomość, że w pracach doświadczalnych zawsze istnieje problem właściwego zaplanowania ilości i rodzaju eksperymentów niezbędnych do weryfikacji postawionych hipotez badawczych. Jest to spowodowane najczęściej kosztem pojedynczego procesu eksperymentalnego oraz długim czasem jego realizacji. Pewien niedosyt Recenzenta budzi brak szczegółowych informacji na temat powtarzalności procesów eksperymentalnych.

Nie stwierdzam, poza sformułowanymi wyżej uwagami, występowania innych, istotnych uchybień i słabych stron prezentowanej rozprawy. Niemniej jednak pozwolę sobie również poprosić Autora o ustosunkowanie się do następujących pytań:

1. Str. 1 - Autor twierdzi, że gazy można oznaczać “w całym zakresie stężeń” - czy Autorowi znane jest pojęcie - z jęz. ang. “*detection limit*”?
2. Str. 30 - Autor pisze: “*Kandydatem do takiego rozwiązania okazała się heterostruktura II typu InAs/GaSb, gdzie krawędź pasma przewodnictwa InAs leży **20 meV** poniżej krawędzi pasma walencyjnego GaSb...*”? Czy wielkość **20 meV** jest poprawna? Czy ta wielkość zmienia się z temperaturą?
3. Str. 66/67 - Autor wykorzystał algorytm Lavenberga-Marquardta do wyznaczenia parametrów α i β równania Varshni’ego (6.1). Dla próbki A parametry α i β wynoszą odpowiednio 0.5767 meV/K i 685.7 K. Czy Autor porównał wyznaczone wielkości do parametrów Varshni’ego materiałów objętościowych: GaInAsSb i AlGaAsSb (Tabela 6.1)? Czy na parametry w równaniu Varshni’ego ma wpływ grubość warstw składowych układu GaInAsSb/AlGaAsSb? Jak wyznaczone wielkości dla próbki A [równanie (6.1)] mają się do parametrów α i β w równaniu (6.2) próbek B i C?
4. Str. 78 - Autor podaje w Tabeli 7.2 parametry Varshni’ego dla InAs_{0.87}Sb_{0.13} $\alpha = 0.162$ meV/K i $\beta = 156$ K. Zgodnie z cytowaną przez autora pracą (pozycja [59]): I. Vurgaftman *et al.*, “Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys”, J. Appl. Phys., 89, 5815-75 (2001), $\alpha_{InAs} = 0.276$ meV/K, a dla $\alpha_{InSb} = 0.320$ meV/K, $\beta_{InAs} = 93$ K i $\beta_{InSb} = 170$ K. Biorąc pod uwagę skład chemiczny Sb ($x_{Sb} = 0.13$) nasuwa się pytanie dlaczego prezentowana w Tabeli 7.2 wielkość parametru α różni się znacząco od parametrów dla InAs i InSb? Dodatkowo, w przypadku parametru β spodziewałbym się raczej wielkości zbliżonej do β_{InAs} ?
5. Str. 97 - Tabela 9.2 Koncentracje nośników w próbkach. Czy Autor podjął próbę oszacowania niepewności pomiarów koncentracji nośników na bazie wykorzystanej metody optycznej i porównania jej z niepewnością pomiaru z wykorzystaniem efektu Hall’a? Która z wymienionych metod obarczona jest mniejszym błędem?

Wymienione uwagi nie mają wpływu na ogólnie pozytywną ocenę rozprawy i pozwalają stwierdzić, że na podstawie przeprowadzonych eksperymentów **cel pracy został osiągnięty**.

Prezentowana praca ma duże znaczenie praktyczne i może stanowić istotny wkład Autora w rozwój badań nad nowymi materiałami dla emiterów pracujących w zakresie średniej- i długofalowej podczerwieni. Należy podkreślić, że poczynione przez Autora rozprawy spostrzeżenia są ważne dla dalszego rozwoju technologii emiterów promieniowania podczerwonego.

Recenzent stwierdza, że rozprawa mgr. inż. Marcina KURKI stanowi oryginalny i samodzielny dorobek Autora oraz spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy.

Biorąc pod uwagę dorobek naukowy mgr. inż. Marcina KURKI i pozytywną ocenę Jego pracy doktorskiej uważam, że w myśl ustawy z dnia 14 marca 2003 r (tj. Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, mgr inż. Marcin KURKA spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora nauk fizycznych i wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony przedstawionej pracy.

.....