

Prof. dr. hab. Piotr Perlin
Instytut Wysokich Ciśnień PAN
Sokołowska 29/37, 0-142 Warszawa,

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr inż. Marty Gładysiewicz-Kudrawiec.

"Modelowanie wybranych właściwości optycznych struktur półprzewodnikowych związków III-V".

Uwagi ogólne

Rozprawa habilitacyjna dr Marty Gładysiewicz-Kudrawiec zatytułowana "Modelowanie wybranych właściwości optycznych struktur półprzewodnikowych związków III-V " wykonana została w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Rozprawa oparta jest na 15 artykułach opublikowanych w międzynarodowych czasopismach naukowych. Rozprawa obejmuje następujące części:

1. Autoreferat dr. Gładysiewicz-Kudrawiec przedstawiający jej dorobek naukowy oraz osiągnięcia merytoryczne.
2. Oświadczenie współautorów publikacji o ich wkładzie do przedstawionych prac.
3. Piętnaście publikacji stanowiących rozprawę.
4. Szczegółowy wykaz innych publikacji, nie wchodzących w ramy rozprawy.

Dr Marta Gładysiewicz-Kudrawiec ukończyła studia magisterskie na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w 1999 roku. W 2003r. uzyskała tytuł doktora nauk fizycznych (z wyróżnieniem) na tej samej uczelni za rozprawę: "Rola anizotropii i mechanizmów oddziaływania w układach nadprzewodzących". Pani Marta Gładysiewicz-Kudrawiec była zatrudniona na stanowisku asystenta a od 2007 r. jest zatrudniona na stanowisku adiunkta.

Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawiony przez dr Gładysiewicz-Kudrawiec zestaw prac składa się z piętnastu pozycji, w tym:

- 5 prac w Journal of Applied Physics (IF=2.28),
- 2 prace w IEEE Journal of Quantum Electronics (IF=1.89),
- 2 prace w Applied Physics Letters (IF=3.57),
- 2 prace w Journal of Physics D (IF=2,72),
- 1 praca w Journal of Physics, Condensed Matter (IF=2.35),
- 1 praca w Physica Status Solidi a (IF=1,61),
- 1 praca w Applied Physics A (IF=1.70),
- 1 praca w Japanese Journal of Applied Physics (IF=1.13).

Pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec jest pierwszym autorem wszystkich 15 prac, co można uważać za wzorcowy zestaw prac dla habilitacji. Wszystkie czasopisma w których dr Gładysiewicz-Kudrawiec publikowała swoje prace to uznane periodyki o dużej wadze w swojej dziedzinie, często czytane, opiniotwórcze i o przyzwoitym IF. Choć brak tu może

czasopism z najwyższej półki, to w całości dorobek publikacyjny można ocenić bardzo wysoko, szczególnie biorąc pod uwagę specyfikę tematyki (fizyka półprzewodników i przyrządów półprzewodnikowych).

Publikacje w rozprawie oznaczone są symbolami H1-H15 i podzielone na trzy grupy według kryteriów tematycznych:

1. Wzmocnienie materiałowe w studniach kwantowych.
2. Rozkład pól elektrycznych w heterostrukturach AlGaIn/GaN.
3. Wpływ niejednorodności struktury na właściwości optyczne.

Od strony fizycznej tematyka prac dotyczy własności studni kwantowych i heterostruktur a od strony materiałowej obszarem zainteresowania są tak zwane rozrzedzone azotki typu GaAsN i półprzewodniki azotkowe III-N.

Wszystkie prace Pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec dotyczą „gorących” tematów szeroko badanych i dyskutowanych na świecie. Pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec, choć jej prace są teoretyczno-modelowe, stara się aby jej obliczenia były przydatne dla eksperymentatorów i technologów.

Pierwszy z artykułów (**H1**) omawia teoretyczne badania wzmocnienia optycznego w strukturach InGaAsN. Arsenek galu z azotem, jest niezwykle ciekawym systemem, ze względu na niezwykle interesującą fizykę i ciekawe zastosowania przy wytwarzaniu laserów działających w zakresach telekomunikacyjnych. Od strony fizycznej jest to system z wbudowaną ogromną nieparabolicznością pasma przewodnictwa w oczywisty sposób rzutującą na wielkość wzmocnienia materiałowego w tych strukturach. Interesującym aspektem tej tematyki jest głośna kontrowersja wokół modelu Band Anticrossing (BAC), wprowadzonego przez W. Walukiewicza. Model BAC kontestowany przez część teoretyków okazał się niezmiernie skuteczny w modelowaniu i predyktywny w opisie rozrzedzonych stopów typu GaAsN. W publikacji H1 autorka korzysta z 10 pasmowej metody kp, (4 pasma + pasmo domieszkowe N) aby policzyć wzmocnienie optyczne. Autorka porównuje pełne 10 pasmowe rachunki kp z uproszczonym 8 pasmowym modelem, stwierdzając, że 8 pasmowy model, zaniebujący nieparabolicznością może być stosowany z sukcesem w szeregu przypadków.

Artykuł H2 dotyczy problemu wpływu ciśnienia hydrostatycznego na wzmocnienia optyczne w systemach rozrzedzonych azotków. Ciśnienie hydrostatyczne, pełni tam szczególną rolę, gdyż (w modelu BAC) przez zbliżenie do siebie pasm przewodnictwa i poziomu domieszkowego azotu, możemy regulować siłę oddziaływania poziomów a poprzez to nieparaboliczność pasm i masę efektywną.

W tym sensie wzmocnienie optyczne rozrzedzonych azotków badane w funkcji ciśnienia hydrostatycznego może być czułym testerem anomalii struktury pasmowej tych materiałów.

Artykuł H3, dyskutuje z kolei alternatywy dla klasycznego GaAsN, czyli materiały typu GaNAsSb, GaNPSb. Podobnie jak w klasycznie rozrzedzonych azotkach, ich pasmo przewodnictwa może być opisane w modelu odpychania pasm (BAC). Autorka pokazuje, że związki z antymonem mogą być interesującą alternatywą dla laserów średniej podczerwieni ze względu na łatwiejsze przesuwanie przerwy energetycznej w stronę dłuższych fal.

Artykuł H4 dyskutuje własności podobnych struktur co artykuł H3 lecz z większą różnorodnością materiałów barierowych.

Artykuł H5 omawia rachunki struktury pasmowej metodą kp, dla stopów GaInAs zawierających bizmut. Rachunki prowadzone są zarówno 8 pasmową konwencjonalną metodą kp jak i 15 pasmową metodą uwzględniającą oddziaływanie typu BAC dla pasm walencyjnych. Praca pokazuje możliwość osiągnięcia częstości telekomunikacyjnych dla laserów wykonanych z warstwą czynną z GaInAsBi.

Artykuł H6 jest analogiem artykułu H4 omawiając własności studni kwantowych GaSbBi, GaInSbBi, i GaInAsSbBi, z różnymi materiałami barierowymi (bez bizmutu). Autorka dyskutuje możliwość osiągnięcia emisji w średniej podczerwieni, podając konkretne zalecenia oparte o jej wyliczenia struktury pasmowej.

W kolejnych pracach autorka porzuca tematykę struktur opartych o niedopasowane stopy (związki III-V z azotem i bizmutem) i przechodzi do problemu heterostruktur AlGaIn/GaN, istotnego dla tranzystorów typu HEMT.

Artykuł H7 dotyczy porównania pomiarów pola elektrycznego w strukturze AlGaIn/GaN otrzymanego z pomiarów oscylacji Franza-Keldysza. Podstawowym parametrem w rachunkach symulacyjnych jest założony pinning poziomu Fermiego na powierzchni struktury. Jak wiadomo poziom Fermiego może być zaczepiony na stanach powierzchniowych półprzewodnika, co niesie duże konsekwencje dla np. złączy Schottkyego, czy koncentracji gazu 2D w strukturach HEMT. Autorka sugeruje, że wyniki eksperymentu najlepiej opisywane są przez przyjęcie położenia poziomu Fermiego na powierzchni 0,55 eV poniżej pasma przewodnictwa.

Artykuł H8 odnosi się do podobnej klasy struktur i dotyczy porównania wyników elektroodbicia z rachunkami teoretycznymi dla szeregu struktur o zmiennej grubości przykrywki GaN co daje możliwość wyznaczenia pola elektrycznego w strukturach i weryfikacji wpływu innych czynników takich jak ekranowanie pola przez swobodne nośniki.

Artykuł H9 analizuje zmiany pola w tranzystorowej strukturze AlGaIn/GaN poprzez wprowadzenie cienkiej warstwy AlN pomiędzy GaN i AlGaIn. Taka warstwa jest technologicznie potrzebna dla uzyskania wyższych ruchliwości gazu 2D w takich strukturach.

Artykuł H10 opisuje podobne badania do tych w pracy H7 ale otrzymanych na stronie azotowej GaN. Jest to ważny problem gdyż polarność struktury decyduje o kierunku indukowanych naprężeniem pól. Strona azotowa GaN posiada też wyraźnie różne właściwości chemiczne.

Artykuł H11 dyskutuje powstanie stanów związanych o charakterze studni kwantowej przy powierzchni struktury GaN/AlGaIn/GaN. Autorka zauważę fundamentalną rolę gładkości powierzchni przy tworzeniu się powierzchniowej studni.

W trzeciej grupie tematycznej Pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec prezentuje prace dotyczące modelowania wpływu fluktuacji In na własności optyczne stopów potrójnych InGaIn.

Artykuł H12 analizuje wpływ fluktuacji szerokości studni, składu studni i szerokości bariery kwantowej na przejścia optyczne w stopach InGaIn. Autorka konkluduje, że największy wpływ na poszerzenie widm emisji mają fluktuacje składu i szerokości studni. Rachunki wykonywane są w modelu „segmented quantum well”, czyli przez statystyczne złożenie wyników z dużego zbioru studni kwantowych o zmiennych parametrach.

Artykuł H13 Opisuje podobne obliczenia dla struktur z barierami AlInN, analizując zarówno przejścia wewnątrz-pasmowe jak i między-pasmowe.

Artykuł H14 analizuje czasy rekombinacji promienistej w modelu podobnym do opisanych wcześniej.

Artykuł H15 analizuje emisję spontaniczną, przesunięcie Stokes-a i laserowanie ze struktur z warstwą aktywną InGaN. Wnioskiem z tej pracy jest między innymi brak całkowitego ekranowania wewnętrznych pól elektrycznych w warunkach wysokiego wstrzykiwania nośników charakterystycznego dla akcji laserowej.

Wnioski z oceny rozprawy habilitacyjnej.

Rozprawa habilitacyjna składa się z trzech grup prac o podobny charakterze. Grupa pierwsza dotyczy struktury pasmowej i przejść optycznych w tak zwanych niedopasowanych stopach, obejmujących rozrzedzone azotki (prototypowy związek to GaAsN) i związki III-V-Bi. Półprzewodniki te mają ciekawą anomalię pasma przewodnictwa (związki z azotem) lub pasma walencyjnego (z bizmutem). W obu przypadkach materiały te umożliwiają osiągnięcie interesujących zakresów spektralnych emisji w bliskiej i średniej podczerwieni, w tym zakresów telekomunikacyjnych. Autorka posługuje się metodą kp do wyznaczenia pasm posiłkując się dodatkowo parametrami z modelu BAC (band anticrossing). Autorka określa, które kombinacje materiałów (studnie kwantowe i bariery) dają perspektywę uzyskania dobrych właściwości optycznych w pożądanym obszarach spektralnych.

W drugiej grupie (moim zdaniem najciekawszej) autorka analizuje wielkość pola elektrycznego w strukturach GaN/AlGaIn/GaN (typu stosowanego w tranzystorach HEMT) w oparciu o badania eksperymentalne i rachunki samouzgodnione. Poprzez dopasowanie modelu autorka sugeruje między innymi położenie poziomu Fermiego na powierzchni struktur. Prace są dobrze skorelowane z eksperymentem i istotne dla konstrukcji i modelowania struktur tranzystorowych.

Trzecia grupa prac dotyczy wpływu fluktuacji na przejścia optyczne w studniach kwantowych InGaIn. Autorka stosuje tu model statystyczny, włączając wkłady od 1000 studni o różnych parametrach. Jednak trzydziści lat prac nad tymi strukturami i fundamentalność problemu zasługuje na nieco szersze porównanie wyników modelowych z dotychczasową wiedzą eksperymentalną.

Niedociągnięcia rozprawy.

Wszystkie przedstawione prace są na dobrym poziomie i wszystkie dotyczą ważnych problemów badawczych i technologicznych. Pewną wadą tej rozprawy jest to, że prace w grupach tematycznych są do siebie metodologicznie bardzo podobne. Np. opisują tylko trochę różniące się struktury.

W przypadku rozrzedzonych azotków, rachunki muszą bazować na używanym acz kontrowersyjnym modelu BAC. Istnieje wiele rachunków z pierwszych zasad do których czasami dobrze byłoby się przyrównać.

W końcu model statystyczny fluktuacji w studniach kwantowych bazuje na założeniu, że strukturę można podzielić na szereg studni kwantowych o określonych parametrach. To czy fluktuacje InGaN można tak traktować jest kontrowersyjne, ale oczywiście jest to w tej chwili dopuszczalny model.

Podsumowując, pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec zajmuje się problemami ważnymi dla nowoczesnej fizyki półprzewodników widzianej oczami osoby zainteresowanej przyrządami optoelektronicznymi. Autorka rozprawy w sposób systematyczny bada związki półprzewodnikowe używane we współczesnych laserach, diodach elektroluminescencyjnych i tranzystorach wysokich ruchliwości. Jej wnioski z pewnością mogą być użyteczne dla lepszego zrozumienia fizyki istniejących przyrządów i ułatwić projektowanie nowych.

Ocena aktywności naukowej.

Dorobek naukowy

Pani dr Marta Gładysiewicz-Kudrawiec jest autorką 54 publikacji opublikowanych w czasopiśmie międzynarodowych i materiałach konferencyjnych. Jej indeks cytowań jest na poziomie 236 a indeks Hirscha 11. Są to dobre wyniki w momencie dochodzenia do habilitacji. Pani dr Gładysiewicz-Kudrawiec publikuje w dobrych czasopiśmie takich jak Journal of Applied Physics i Applied Physics Letters. Większość czasopiśmie w których publikuje ma IF rzędu 2.5-3.5.

Aktywność w życiu naukowym i osiągnięcia dydaktyczne

Pani dr Marta Gładysiewicz-Kudrawiec prowadzi na Wydziale Podstawowych Problemów techniki wykłady specjalistyczne: między innymi z programowania w języku C i mechaniki kwantowej. Była promotorem dwóch prac inżynierskich oraz dwóch prac magisterskich.

Uczestniczyła jako jeden z animatorów Dolnośląskiego Festiwalu Nauki, pomagała w prowadzeniu Międzyszkolnego Konkursu Fizycznego we Wrocławiu.


Podsumowanie

Pani dr Marta Gładysiewicz-Kudrawiec jest znaną postacią w polskim środowisku półprzewodnikowym. Jest uznanym autorytetem w modelowaniu własności optycznych różnych heterostruktur. Utrzymuje żywy kontakt z grupami eksperymentalnymi. Publikuje w dobrych czasopiśmie i aktywnie uczestniczy w konferencjach.

Przedstawione w Rozprawie publikacje stanowią zauważalny międzynarodowo dorobek naukowy w dziedzinie fizyki rozrzedzonych azotków i półprzewodników azotkowych.

Podsumowując uważam, że dorobek habilitacyjny Pani dr inż. Marty Gładysiewicz-Kudrawiec spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczeniu jej do dalszych etapów habilitacji.

.....
Warszawa, dni 10.03.2017


.....
prof. dr hab. Piotr Perlin