

Prof. dr hab. Grzegorz Karczewski  
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk  
Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

**Ocena dorobku naukowego oraz recenzja rozprawy habilitacyjnej  
Doktora Henryka Grzegorza Teisseyre'a**

**A. Ocena dorobku naukowego dr Henryka Grzegorza Teisseyre'a**

Dr Henryk Grzegorz Teisseyre (HGT) jest absolwentem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, który ukończył w 1990 roku pracę magisterską pt.: „Indukowany światłem powrót defektu EL2 w GaAs ze stanu metastabilnego” pod kierunkiem prof. dr hab. Jacka Baranowskiego. Bezpośrednio po studiach magisterskich podjął studia doktoranckie i pracę naukową, jako asystent w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN. Tytuł doktora nauk fizycznych uzyskał w 2001 roku w Instytucie Fizyki PAN. Tematem jego pracy doktorskiej była „Spektroskopia optyczna domieszek i defektów w azotku galu pod wysokim ciśnieniem”, promotorem pracy był prof. dr hab. Tadeusz Suski. Do 2008 roku dr Teisseyre kontynuował pracę naukową w Instytucie Wysokich Ciśnień, a od 2008 roku w Instytucie Fizyki PAN – w obu tych instytucjach na stanowisku adiunkta.

Poza krótkim okresem wykonywania pracy magisterskiej, praca naukowa dr Teisseyre'a skupiła się na jednej grupie materiałów półprzewodnikowych, mianowicie na azotkach grupy III, przede wszystkim na azotku galu (GaN). Jest to zrozumiałe zważywszy, że w ostatnich 20 latach azotek galu zrobił niezwykłą karierę, od materiału prawie nieznanego do szeroko stosowanego w elektronice i optoelektronice. Habilitant prowadził badania doświadczalne tego materiału półprzewodnikowego, głównie bardzo ważne z punktu widzenia zastosowań tego półprzewodnika badania jego własności optycznych. Jego specjalnością stała się bardzo

trudna technika eksperymentalna – pomiary pod ciśnieniem hydrostatycznym w kowadłach diamentowych. Przed zrobieniem doktoratu, w latach 90-tych habilitant stał się współautorem szeregu prac dotyczących podstawowych własności GaN, takich jak zależności ciśnieniowe i temperaturowe przerwy energetycznej w warstwach oraz kryształach objętościowych GaN. Metodami dyfrakcji rentgenowskiej badał również współczynniki rozszerzalności termicznej kryształów GaN. Prace z tego okresu są do dziś bardzo ważnym źródłem podstawowych informacji o azotku galu i dlatego należą do najbardziej cytowanych w dorobku autora („Lattice parameters of gallium nitride”, APL, 1996, 22% udział HGT – 190 cytowań i „Pressure studies of gallium nitride: crystal growth and fundamental electronic properties”, PRB, 1992, 17% udział HGT – 161 cytowań). Głównym tematem zainteresowań naukowych habilitanta w tym okresie pozostawał jednak temat jego rozprawy doktorskiej, który dotyczył domieszek oraz defektów w GaN. Stany domieszkowe w GaN badane były również metodami optycznymi w ciśnieniach hydrostatycznych. W wyniku tych prac powstała rozprawa doktorska oraz szereg publikacji, z których najważniejsza ma rekordową liczbę cytowań – 224 („Towards identification of the dominant donor in GaN”, PRL, 1995, 27% udział HGT). Drugim bardzo ważnym wynikiem uzyskanym w tym okresie była identyfikacja mechanizmu żółtej luminescencji w GaN jako przejścia elektronowego pomiędzy płytkim donorem (lub stanem w paśmie przewodnictwa) a głębokim stanem donorowym – prawdopodobnie azotem w podsieci Ga. Wyniki te opisuje cytowana 138 razy praca „Mechanism of yellow luminescence in GaN”, APL, 1995, 21% udział HGT. Habilitant badał również fotoluminescencję GaN domieszkowanego intencjonalnie akceptorami Zn lub Mg. Brał czynny udział w pracach o charakterze technologicznym, charakteryzując kryształy i cienkie warstwy GaN, InGaN, AlGaIn otrzymany różnymi metodami technologicznymi oraz bezpośrednio przyczyniając się do rozwoju metod technologicznych, takich jak np. homoepitaksja w amoniakalnym MBE, wielostopniowa wodorkowa epitaksja z fazy gazowej w reaktorze HVPE, etc.

Po obronie rozprawy doktorskiej w roku 2001, w pracach dr Henryka Grzegorza Teisseyre’a pojawiają się nowe obszary zainteresowań naukowych. Są to mianowicie: charakteryzacja struktur laserowych na bazie GaN hodowanych na różnych podłożach (polanych i iepolarnych), wpływ wbudowanych pól elektrycznych na własności elektronowe struktur kwantowych na bazie GaN oraz domieszki Be w GaN. Prace związane z budową niebieskiego lasera opartego na azotku galu rozpoczęły się już wcześniej, ale zostały znacznie zintensyfikowane po otrzymaniu akcji laserowej w CBW PAN w 2001 r. Dr Teisseyre

aktywnie uczestniczył w tych pracach, w szczególności odpowiedzialny był za budowę rezonatora optycznego w tych laserach.

Szereg interesujących wyników przyniosły prace na temat wpływu pól elektrycznych na własności optyczne struktur kwantowych hodowanych na bazie GaN. Prace te prowadzone były w ramach dwóch zadań badawczych KBN i MNiSW o zbliżonych tytułach: "Badania własności ekscytronów w studniach kwantowych GaN/AlGaN (i GaN/InGaN) krystalizowanych na podłożach zorientowanych w niepolarnym kierunku wzrostu" w latach 2005-2011. Ponieważ główne prace z tej tematyki włączone zostały do rozprawy habilitacyjnej omówię je bardziej szczegółowo poniżej. W tym miejscu trzeba jednak wspomnieć, że prace z tego okresu mają również znaczącą liczbę cytowań np. praca pt.: „Effect of growth polarity on vacancy defect and impurity incorporation in dislocation free GaN”, APL, 2005 cytowana była 49 razy a praca „Piezoelectric field and its influence on the pressure behavior of the light emission from GaN/AlGaN strained quantum wells”, APL, 2001, 45 razy.

Według bazy „Web of Sciences” dr Henryk Grzegorz Teisseyre jest autorem bądź współautorem 88 publikacji, z których 42 opublikowane zostały przed obroną doktoratu. Całkowita liczba cytowań tych prac wynosi 1653, 6 prac cytowanych było ponad 100 razy. Indeks Hirsh'a dla tych prac równy jest 19. Statystycznie jest to dorobek imponujący, przewyższający dorobek wielu pracowników naukowych o znacznie dłuższym stażu pracy.

Ocena dorobku naukowego dr Teisseyre'a powinna uwzględnić szerszy kontekst niż tylko spojrzenie przez pryzmat statystyki. Dr Teisseyre miał niewątpliwie sporo szczęścia, rozpoczynając w latach 90-tych pracę naukową w bardzo wówczas gorącym temacie, jakim były badania GaN, w dodatku w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN, który był już wówczas jedną z wiodących instytucji naukowych w tej dziedzinie na świecie. Trzeba zapisać mu na plus, że dzięki własnym talentom i pracowitości dr Teisseyre wykorzystał swoją szansę, co odzwierciedla jego bogaty dorobek naukowy.

Na podstawie starannie przygotowanych materiałów stwierdzam, że dorobek naukowy dr Henryka Grzegorz Teisseyre'a, zarówno przed doktoratem jak i po jego uzyskaniu, jest bardzo znaczący. Dr Teisseyre jest niewątpliwie ekspertem w dziedzinie własności optycznych, strukturalnych i elektronowych kryształów i struktur kwantowych na bazie GaN.

Dobitnie świadczą o tym liczne współprace międzynarodowe prowadzone przez habilitanta, mnogość prezentacji na międzynarodowych konferencjach specjalistycznych, wygłoszonych referatów i wykładów oraz omówiony powyżej dorobek publikacyjny. Dr Teisseyre dowiódł, że potrafi samodzielnie rozwiązywać złożone problemy badawcze, umie kierować pracą zespołów badawczych, świetnie sobie radzi ze złożoną aparaturą badawczą i technologiczną. Podsumowując, stwierdzam, że dorobek naukowy dr Henryka Grzegorza Teisseyre'a predysponuje go w pełni do samodzielnej pracy naukowej.

**B. Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Henryka Grzegorza Teisseyre'a pt.:  
„Badania wbudowanych pól elektrycznych w niskowymiarowych strukturach  
azotkowych dla różnych kierunków krystalograficznych”**

Na rozprawę habilitacyjną dr Teisseyre'a pt. „Badania wbudowanych pól elektrycznych w niskowymiarowych strukturach azotkowych dla różnych kierunków krystalograficznych” składa się 10 publikacji, z których 9 opublikowanych zostało w renomowanych pismach specjalistycznych o zasięgu światowym: cztery z nich w Applied Physics Letters, dwie w Journal of Applied Physics, jedna w Physical Review B, natomiast pracą ostatnią jest rozdział książki pt.: „Nitride with Nonpolar Surfaces” i zebrane w niej zostały wyniki pomiarów polaryzacyjnych dla studni kwantowych GaN/AlGaN z innych publikacji. W siedmiu spośród artykułów habilitacyjnych dr Teisseyre'a jest pierwszym autorem i jak oświadczają wszyscy współautorzy jego wkład w raportowane badania był dominujący.

Dr Teisseyre opatrzył artykuły składające się na jego rozprawę habilitacyjną obszernym przewodnikiem, który sam w sobie zasługuje na uwagę. Niewątpliwą zaletą tego przewodnika jest jego ogólny charakter, szeroko i przystępnie wprowadzający w istotę i fizykę zjawisk, które były przedmiotem badań habilitanta. W szczególności, część wstępna tego wprowadzenia poświęcona jest opisowi wpływu wbudowanych pól elektrycznych na własności optyczne niskowymiarowych struktur kwantowych z azotków grupy III. Autor opisuje szczegółowo sposoby, które pozwalają wyeliminować lub zmniejszyć te pola stosując, jako materiały podłożowe, krysztaly o symetrii kubicznej zamiast heksagonalnej lub, co jest głównym tematem badań habilitanta, hodować badane struktury na płaszczyznach krystalicznych o niższej symetrii, np. (11-20) lub (1-100), które w przeciwieństwie do płaszczyzn (0001) są niepolarne.

W pierwszych trzech pracach ze zbioru habilitacyjnego, stosując swą sztanदारową technikę pomiarową – spektroskopię optyczną w ciśnieniach hydrostatycznych, dr Teisseyre wyznaczył lub oszacował wartości wbudowanych pól elektrycznych w obiektach takich jak czteroskładnikowy stop AlInGaN, w kropkach kwantowych GaN w matrycy AlN, oraz w studniach kwantowych GaN. Szczególnie ciekawe wyniki przedstawia praca A3 (JAP, 2009), w której porównane zostały bezpośrednio współczynniki ciśnieniowe energii luminescencji ze studni GaN/AlGaN hodowanych na podłożach zorientowanych w kierunku polarnym (0001) i niepolarnym (11-20). Dla obu typów próbek zaobserwowano zasadniczo różne współczynniki ciśnieniowe, co świadczy o silnym bądź słabym natężeniu wbudowanego pola elektrycznego w takich strukturach. Istotnym wynikiem jest potwierdzenie przewidywań teoretycznych, że stosowane dotychczas stałe współczynniki piezoelektryczne niezbyt dobrze opisują uzyskane wyniki eksperymentalne i trzeba stosować współczynniki nieliniowe w funkcji ciśnienia hydrostatycznego. W przypadku kropek kwantowych GaN w AlN obserwowane były ujemne współczynniki ciśnieniowe emisji fotoluminescencji, co związane jest ze wzrostem pola piezoelektrycznego i, jak w przypadku studni, z nieliniowym zachowaniem współczynników piezoelektrycznych.

Drugą grupą zagadnień, którą zajmował się dr Teisseyre, było badanie własności fizycznych struktur niepolarnych, w tym badania:

1. ekscytonów w niepolarnych studniach kwantowych,
2. emisji spontanicznej i wymuszonej w niepolarnych strukturach laserowych
3. emisji z niepolarnych studni kwantowych otoczonych zwierciadłami Bragga zwiększającymi sprzężenie ekscytron-foton.

Trzeba podkreślić, że badania i wytwarzanie struktur niepolarnych stało się możliwe dzięki postępowi technologii wytwarzania grubych podłoży GaN o dużej powierzchni. Postęp ten wiąże się z opracowaniem i wykorzystaniem wielostopniowej wodorkowej epitaksji z fazy gazowej w reaktorze HVPE. Dr Teisseyre czynnie uczestniczył w rozwoju tej technologii.

Badania ekscytonów w studniach kwantowych hodowanych na niepolarnych podłożach przyczyniły się do pierwszej obserwacji linii ekscytonów związanych z poszczególnymi podpasмами pasma walencyjnego w strukturach kwantowych, tu w studniach GaN/GaAlN. Identyfikacja tych linii oparta została na obliczeniach struktury pasmowej w studniach metodą  $\mathbf{k}^*\mathbf{p}$ . Przy okazji policzone zostały reguły wyboru dla przejść optycznych w takich

strukturach.

Dr Teisseyre brał również aktywny udział w pracach zmierzających do optymalizacji pracy niebieskich laserów złączowych. Realizował jedną z idei mających prowadzić do większej wydajności kwantowej tych przyrządów, poprzez zwiększenie przekrywania się funkcji falowych elektronów i dziur w studniach kwantowych na bazie GaN. Idea ta polega na wykorzystaniu niepolarnych struktur laserowych, w których eliminowane byłyby wewnętrzne pola elektryczne, które separują przestrzennie nośniki. Habilitant przyczynił się do otrzymania pierwszej akcji laserowej na strukturach niepolarnych. Jego prace potwierdziły przewidywania teoretyczne, co do wyższego wzmocnienia optycznego dla struktur ze zredukowanym wbudowanym polem elektrycznym, czyli hodowanych na kierunkach niepolarnych.

Bardzo istotny wynik otrzymany został dzięki badaniom niepolarnych studni kwantowych otoczonych zwierciadłami Bragga, tzw. mikro-wnęć. Badając te obiekty po raz pierwszy pokazano możliwości otrzymania kondensatu polarytonów w niepolarnych układach azotowych. W wytworzonej i badanej mikro-wnęce zrealizowana została bardzo unikatowa sytuacja fizyczna jednoczesnego silnego i słabego sprzężenia fotonów z ekscytonami, przy czym przełączenie z jednego do drugiego stanu realizowane było poprzez zmianę polaryzacji światła pobudzającego.

Podsumowując, w swojej rozprawie habilitacyjnej dr Henryk Grzegorz Teisseyre przedstawił szereg ważnych wyników dotyczących własności optycznych struktur kwantowych na bazie GaN hodowanych na bipolarnych kierunkach krystalograficznych. Prace te są ważne zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i z punktu widzenia zastosowań badanych materiałów i struktur. Uważam, że przedstawiona rozprawa habilitacyjna stanowi istotny wkład autora w pogłębienie wiedzy o zjawiskach optycznych zachodzących w takich układach. Stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki określone w ustawie i rozporządzeniu o stopniach naukowych. Ponieważ zarówno dorobek naukowy jak i rozprawę habilitacyjną dr Teisseyre'a oceniam bardzo wysoko, wnoszę o dopuszczenie habilitanta do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego

  
Grzegorz Karczewski