

Prof. dr hab. Tadeusz Suski  
Instytut Wysokich Ciśnień  
Polskiej Akademii Nauk

Warszawa, 30 listopada 2017 r.

**Ocena działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej  
dr hab. Grzegorza Sęka (profesora nadzwyczajnego w Katedrze Fizyki Doświadczalnej,  
Wydziału Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej) w związku z  
postępowaniem w sprawie nadania mu tytułu naukowego profesora.**

### **1) Życiorys naukowy Kandydata**

Pan Grzegorz Sęk całe życie zawodowe związał z Instytutem Fizyki Politechniki Wrocławskiej. Studia ukończył w 1995 r., uzyskując stopień magistra inżyniera. Tematem pracy magisterskiej było: „Zastosowanie spektroskopii fotoodbiciowej do badania heterostruktur półprzewodnikowych”. Stopień doktora nauk fizycznych pan Grzegorz Sęk uzyskał w 2001 r. a rozprawa doktorska (promotor prof. Jan Misiewicz) była w pewnym stopniu kontynuacją tematyki podjętej w pracy magisterskiej. Tytuł rozprawy: „Spektroskopia fotoodbiciowa sprzężonych studni i kropek kwantowych”. Zagadnienia dotyczące mechanizmów sprzężenia między układami kwantowymi o różnej wymiarowości określają znaczną część tematyki badań prowadzonych przez Grzegorza Sęka do dzisiaj. Warto podkreślić fakt, że jego praca doktorska została wyróżniona Nagrodą Prezesa Rady Ministrów RP w 2002 r.

Stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych uzyskał w 2011 roku na macierzystym Wydziale. Rozprawa miała tytuł: „Właściwości optyczne epitaksjalnych kwazi-zerowymiarowych struktur półprzewodnikowych”.

Ważnym elementem na drodze do kształtowania się Grzegorza Sęka jako dojrzałego badacza, był roczny staż podoktorski (2003-2004) w Katedrze Fizyki Technicznej, Uniwersytetu w Wuerzburgu, kierowanej przez prof. Alfreda Forchela. Późniejsze, już krótsze pobyty w kilku ważnych w uprawianej przez niego tematyce ośrodkach, służyły zawsze rozwiązywaniu konkretnych problemów badawczych.. Dobre relacje naukowe z okresu odbywania tego stażu z zespołem prof. Forchela owocują bardzo efektywną współpracą do dzisiaj. Większość najwyższej jakości próbek epitaksjalnych wykorzystywanych w opisanych poniżej badaniach, została przygotowana przez zespoły kierowane w różnych ośrodkach przez współpracowników Grzegorza Sęka z tego okresu.

### **2) Osiągnięcia naukowe**

Wysoko oceniam osiągnięcia naukowe dr hab. G. Sęka. Należy podkreślić, że w trakcie realizacji swoich planów naukowych zajmował się ważnymi i aktualnymi zagadnieniami, badając własności optyczne nano- i mikro-struktur kwantowych półprzewodników III-V. Dane bibliometryczne

uzasadniają powyższą wysoką ocenę. Grzegorz Sęk opublikował 204 prace, w znakomitej większości w dobrych i bardzo dobrych czasopismach naukowych. Liczba cytowań (bez autocytowań) to ponad 2090. Po habilitacji ukazało się 76 prac, których Grzegorz Sęk jest współautorem. Zostały opublikowane głównie w *Applied Physics Letters* (16 prac), *Journal of Applied Physics* (11 prac), *Physical Review B* (6 prac), w *Physical Review Letters* (1praca) i w *2D Materials* (1praca).

Poniższą, bardziej szczegółową opinię przygotowałem w znacznym stopniu w oparciu o wyniki uzyskane przez dr hab. G. Sęka w ostatnim (pohabilitacyjnym) okresie jego działalności.

Analizując dorobek naukowy dr hab. G. Sęka „mierzony” publikacjami warto na nie spojrzeć w trzech następujących aspektach. Po pierwsze, praca, która wzbudziła największe zainteresowanie środowiska światowego w długim okresie czasu (ogólna ilość cytowań tej pracy i ich zmiany z upływem czasu). Po drugie, praca opublikowana po habilitacji o najwyższej ilości cytowań. Z kolei po trzecie, czy pojawiają się zapowiedzi rozszerzenia tematyki badawczej.

Do pierwszej kategorii należy bez wątpienia praca w *Nature* (**432**, 197 (2004)) wykorzystująca wyniki uzyskane podczas stażu podoktorskiego G. Sęka na Uniwersytecie w Wuerzburgu. Jest to praca opisująca ważne odkrycie naukowe, opublikowana ze znakomitymi współautorami. Zasadniczy wkład miała tutaj obserwacja G. Sęka rozszczepienia Rabięgo, będącego rezultatem silnego sprzężenia pojedynczego ekscytonu w kropce kwantowej z pojedynczym fotonem w trójwymiarowej wnęce optycznej. Obserwacja ta wymagała przygotowania przez technologów z Uniwersytetu w Wuerzburgu najwyższej jakości próbek zawierających pojedyncze kropki kwantowe ze zlokalizowanymi w nich ekscytonami i półprzewodnikowej wnęki optycznej typu kolumna Bragga. Praca była cytowana 1183 razy, W ostatnim okresie, corocznie ilość cytowań waha się pomiędzy 80 a 100, stanowiąc więcej niż 1/3 corocznych cytowań prac dr hab. G. Sęka. Powyższe informacje pokazują bardzo wysoką rangę tego odkrycia i trwającą do dzisiaj jego aktualność.

Pracę o najwyższej ilości cytowań opublikowaną po habilitacji, stanowi: publikacja: „Carrier trapping and luminescence polarization in quantum dashes”. A. Musiał, P. Kaczmarkiewicz, G. Sęk i inni, *Phys. Rev., B* **85**, 035314 (2012). Praca była cytowana 24 razy. Dotyczy ona zarówno pomiarów optycznych zależności polaryzacyjnej luminescencji wykazującej dużą anizotropię polaryzacji światła grup kresk kwantowych (w płaszczyźnie ich wzrostu) jak i wyjaśnienia tej obserwacji. Pokazano, że stopień polaryzacji liniowej zmienia się w charakterystyczny sposób wraz ze zmianami mocy pobudzenia jak i temperatury. Zastosowanie zaproponowanego modelu opartego na teorii  $k \cdot p$  pozwoliło autorom powiązać obserwowany stopień polaryzacji ze zmiennym udziałem funkcji falowych elektronu i dziury w tworzonym ekscytonie. Tematyka anizotropowych kropek kwantowych, a szczególnie lateralnie wydłużonych “linijek kwantowych” w różnych półprzewodnikach III-V stanowi jeden z głównych wątków badawczych przewijających się do dzisiaj w działalności naukowej dr hab. Grzegorza Sęka.



W autoreferacie przygotowanym przez dr hab. G. Sęka określonych zostało kilka obszarów jego aktywności po-habilitacyjnej. Sposób ich zdefiniowania sugeruje położenie większego nacisku na możliwości zastosowań przyrządowych prowadzonych badań o charakterze fundamentalnym. Takie podejście do realizowanych zagadnień badawczych jest nowym aspektem działalności dr hab. G. Sęka. Tematyka badań prowadzonych po uzyskaniu przez niego stopnia doktora habilitowanego to:

- 1) Źródła pojedynczych i splątanych fotonów-nanostruktury epitaksjalne dla zastosowań w nanofotonice i bezpiecznej komunikacji kwantowej poprzez sieci światłowodowe;
- 2) Badania sprzężonych układów o różnej wymiarowości (głównie 0D-2D, czyli kropki i studnie kwantowe), w celu wykorzystania ich w konstrukcjach laserowych o zwiększonych wydajnościach;
- 3) Źródła promieniowania z zakresu średniej podczerwieni dla wydajnych optycznych detektorów gazów;
- 4) Struktury kwantowe ze studniami i kropkami kwantowymi w mikro-rezonatorach: „inżynieria” sprzężenia ekscyton-foton lub elektron-foton w aspekcie tworzenia polarytonów ekscytonowych i ich kondensacji.

Do przynoszących nowe ciekawe wyniki w pierwszym obszarze tematycznym, zaliczam przede wszystkim zagadnienia dotyczące własności pojedynczych i splątanych fotonów badane w nanostrukturach emitujących w zakresie podczerwieni telekomunikacyjnej;

W realizacji tej tematyki moją uwagę zwróciły prace wieloautorskie Ł. Dusanowskiego i innych (współautor dr hab. G. Sęk) publikowane w latach 2013-2016 i dotyczące obserwacji emisji pojedynczych fotonów z naładowanych i neutralnych ekscytonów uwięzionych w pojedynczych kreskach kwantowych InAs/ InGaAlAs/InP. Emisja charakteryzuje się długością fali 1.55  $\mu\text{m}$ . W pracy opublikowanej w 2016 r. w Appl. Phys. Letters zademonstrowano własności jednofotonowe takiej emisji w temperaturze 80K, dostarczając argumentu za przydatnością nanostruktur InAs na InP jako nie-klasycznych źródeł światła w technologiach bezpiecznej komunikacji światłowodowej na dużych odległościach.

Należy podkreślić, że cykl prac obejmujących tę tematykę stanowił podstawy wyróżnionej rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Dusanowskiego (promotor G. Sęk), .

Tematyka nr 2 zawierała wiele zagadnień objętych badaniami w okresach poprzednich. Wątkiem przewodnim były tu kwestie dotyczące sprzężenia kwantowo-mechanicznego w układach zawierających kropki i studnie kwantowe emitujące światło w drugim i trzecim oknie telekomunikacyjnym. W ostatnim ocenianym okresie (po habilitacji) w dalszym ciągu badania koncentrowały się na określeniu parametrów struktury pasmowej takich struktur oraz kinetyki zachodzących procesów takich jak złożona relaksacja nośników wraz z procesami ich dyfuzji. Struktury kwantowe badane w tym kontekście bazują na przykład na spontanicznie tworzących się kropkach kwantowych (In,Ga)As sprzężonych ze studniami kwantowymi  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ .

W ramach trzeciej tematyki, chcę zwrócić uwagę na uzyskanie następujących ważnych wyników. Dr hab. G. Sęk i współpracownicy (zarówno krajowi jak i zagraniczni) badali przydatność studni kwantowych 2-go rodzaju, w kształcie litery "W", do konstrukcji bardziej wydajnych, międzypasmowych laserów kaskadowych emitujących światło w obszarze średniej podczerwieni. Szczególnie ciekawe są tu nowe rozwiązania wykorzystujące układ InGaAsN–GaAsSb. W takiej strukturze InGaAsN stanowi studnię elektronową a GaAsSb pełni rolę studni dla dziur. Taka konstrukcja emitera pozwala modyfikować w szerokim zakresie długość fali emisji. Badane próbki wytwarzane były głównie na Uniwersytecie w Wuerzburgu. W zespole G. Sęka prowadzone były pomiary optyczne a efektywna współpraca z zespołem teoretyków z macierzystej uczelni (Politechnika Wrocławska) doprowadziła do właściwego opisu (w ramach wielopasmowych obliczeń k-p) modyfikacji struktury pasmowej analizowanych wielowarstwowych próbek wykorzystujących studnie kwantowe 2-go rodzaju.

Tematyka nr 4 przynosi zapowiedź znacznego rozszerzenia „bazy materiałowej” badanych struktur półprzewodnikowych. Odnotowuję ten fakt z dużym zainteresowaniem. Chodzi tu głównie o dwuwymiarowy dwuselenek molibdenu z rodziny dichalkogenków metali przejściowych. Należy zwrócić uwagę na pracę „Monolayered MoSe<sub>2</sub>: A candidate for room temperature polaritonic” (autorzy N. Lundt, A. Maryński, E. Cherotchenko, A. Pant, X. Fan, G. Sęk, S. Tongay, A. V. Kavokin, S. Höfling, C. Schneider) opublikowanej w październiku 2016 roku, w czasopiśmie 2D Materials. Praca ma już 17 cytowań. Czasopismo to należy do grupy charakteryzujących się wysokim współczynnikiem oddziaływania  $IF=6.937$ . Chociaż nie wiadomo dokładnie jaki jest wkład do tej pracy polskich współautorów (zakładam, że jest to pomiar temperaturowej zależności odbicia), to przedstawione wyniki mają duży ciężar gatunkowy. Są to: znalezienie optymalnej konstrukcji wnęki optycznej dla badanego jednowymiarowego MoSe<sub>2</sub> i pierwsza obserwacja wirtualnych gałęzi wzbudzeń w dyspersji polarytonów. Kluczową rolę odegrała tu nowo-opracowana w Zespole Grzegorza Sęka metoda pomiaru rozkładu emisji w przestrzeni rzeczywistej i wektora falowego.

Podobną tematykę, w dużej mierze zogniskowaną na obserwacji i badaniu wirtualnych gałęzi wzbudzeń w dyspersji polarytonów. reprezentuje praca opublikowana w Phys. Rev. Lett., w 2015 roku. W tym przypadku badanym obiektem była mikrownęka na bazie GaAs/AlGaAs i studnia kwantowa In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As. Liczna grupa autorów z macierzystej instytucji dr hab. G. Sęka wskazuje na jej wiodącą rolę w przygotowaniu wspomnianej pracy.

W końcowej części oceny działalności naukowej dr hab. G. Sęka odnotowuję wygłoszenie po habilitacji 15 wykładów zaproszonych. Część tych prezentacji, szczególnie we wcześniejszym okresie miała miejsce na ważnych konferencjach międzynarodowych.

Imponująco wygląda lista grantów zrealizowanych i realizowanych obecnie. Należą do nich dwa projekty międzynarodowe, w których dr hab. G. Sęk był głównym wykonawcą. Jeden z nich UE



FP7 należy do bardzo prestiżowych projektów. W dwóch projektach krajowych pełnił rolę kierownika. Obecnie realizuje 6 projektów, w tym w 3 występuje jako kierownik. Należą do nich projekt UE Horyzont, i projekt NCN Harmonia.

Warto wspomnieć o umiejętnościach menedżerskich dr hab. G. Sęka. Wykazywał je wielokrotnie jako kierujący zespołami realizującymi różne zadania badawcze na terenie obecnej Katedry Fizyki Doświadczalnej Wydziału Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej.

### **3) Działalność edukacyjna, dydaktyczna i popularyzatorska**

Bardzo wysoko oceniam działalność dr hab. Grzegorza Sęka w tych obszarach.

Wymienię tutaj tylko kilka przykładów ilustrujących jego zaangażowanie na tych polach. Był on promotorem trzech zakończonych prac doktorskich, dwie z nich zostały wyróżnione. Obecnie jest promotorem również w 3 otwartych przewodach doktorskich. Był opiekunem 4 prac magisterskich przed habilitacją i 5 po habilitacji.

Bardzo bogaty jest również jego dorobek dydaktyczny. Prowadził szereg wykładów zarówno na macierzystym Wydziale oraz innych wydziałach Politechniki Wrocławskiej. Długa jest lista działań należących do imprez popularyzacyjnych naukę, włączając w to: opiekę nad studenckimi kołami naukowymi, wykłady i prezentacje dla uczniów liceów ogólnokształcących oraz dla kandydatów na studia. Wyobrażam sobie, że znajdował w tej działalności wiele satysfakcji. A z drugiej strony, słuchacze prowadzonych przez niego zajęć uczęszczali na nie z autentycznym zainteresowaniem. To wyobrażenie opieram na własnych wrażeniach odniesionych kilkakrotnie podczas jego wykładów w ramach Międzynarodowych Warsztatów Laserowych w Krakowie.

Wiele było akcji i wydarzeń o charakterze popularyzatorskim organizowanych przez dr hab. G. Sęka. Należały do nich między innymi: wykłady na temat zjawisk fizycznych zachodzących w skali „Nano”; aktywność na rzecz Koła Studenckiego NANOIN, organizacja wyjazdów studenckich do kilku czołowych ośrodków naukowych Niemiec.

Warto wspomnieć o docenieniu efektów działalności dr hab. Grzegorza Sęka w formie przyznanych mu nagród i odznaczeń. Zarówno przez władze macierzystej uczelni jak również przez całą społeczność fizyków polskich. Ważne wyróżnienie dr hab. G. Sęka miało miejsce w 2017 roku, kiedy otrzymał prestiżową **Nagrodę Naukową PTF im. Wojciecha Rubinowicza** za „*Pionierskie badania własności optycznych i ekscytonowych nowych nanostruktur epitaksjalnych emitujących w zakresie bliskiej podczerwieni*”.

### Podsumowanie recenzji

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcia dr hab. Grzegorza Sęka przekraczają wymagania stawiane kandydatom do tytułu naukowego profesora (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym z 14 marca 2003). Jestem przekonany, że jego oryginalna i twórcza działalność naukowa na polu fizyki ciała stałego, w tym szczególnie w obszarze niskowymiarowych struktur kwantowych półprzewodników, jak i dotychczasowa działalność organizacyjna i dydaktyczna powodują, że w moim przekonaniu spełnia on wszystkie warunki stawiane kandydatom do tytułu naukowego profesora.

Tadeusz Suski