



**UMCS**  
UNIWERSYTET MARIII CURIE-SKŁODOWSKIEJ  
W LUBLINIE

Zakład Fizyki Powierzchni i Nanostruktur  
Instytut Fizyki

Plac M. Curie-Skłodowskiej 1  
PL 20-031 Lublin, Tel: (+48) 81 5376285

Prof. dr hab. Mieczysław Jałochowski

Lublin, 29 stycznia 2013 r.

**Recenzja dorobku naukowego oraz rozprawy habilitacyjnej  
dra Sławomira Kreta**

**Ocena dorobku naukowo-badawczego.**

Dr Sławomir Kret studia na wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej ukończył w roku 1989. W tym samym roku rozpoczął pracę w CEMI, w dziale technologii i konstrukcji elementów dyskretnych. W roku 1993, po likwidacji zakładu CEMI, rozpoczął studia doktoranckie w Instytucie Fizyki PAN i w Université Pierre et Marie Curie PARIS 6. W IF PAN, w laboratorium MBE, zajmował się pomiarami metodą RHEED relaksacji sieci naprężonych struktur CdTe/ZnTe i GaAs/CdTe. We Francji zajmował się badaniami z wykorzystaniem wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej. Przedmiotem badań były - między innymi - samoorganizujące kropki kwantowe InGaAs, naprężone epitaksjalne warstwy InGaAs na podłożu GaAs i epitaksjalne nadprzewodzące warstwy YBaCuO/PrBaCuO. Badania prowadził pod naukową opieką dra Cloude Delamarre oraz prof. dra hab. Jacka Kossuta. W roku 1998 na Université Pierre et Marie Curie PARIS 6 uzyskał stopień doktora fizyki ciała stałego. Stopień ten został nostryfikowany i uznany za równorzędny ze stopniem naukowym doktora nauk fizycznych w Polsce.

Od roku 1998 Habilitant jest zatrudniony w Zespole Mikroskopii Elektronowej Instytutu Fizyki PAN, kolejno na stanowiskach: fizyk, asystent, adiunkt.

Na dorobek naukowy składają się 93 oryginalne, recenzowane prace, w tym 87 opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Tematyka niemal wszystkich publikacji, także tych przed doktoratem, mieści się w nurcie badań półprzewodnikowych warstw za pomocą mikroskopii elektronowej. Pierwsza publikacja dra Sławomira Kreta ukazała się w roku 1995 w *Acta Physica Polonica A* i nosiła tytuł: *Lattice parameter relaxation during MBE of ZnTe/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te/Cd<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>Te buffer layers by RHEED and HRTEM*. Kolejne recenzowane publikacje przed doktoratem — a było ich 6 — wiążą się z tematyką badań deformacji sieci półprzewodnikowych struktur metodą wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej. Wśród badanych materiałów znalazły się: InGaAs, GaN, supersieci CdTe/ZnTe, InGaN, nanostruktury Si-Ge, kropki kwantowe MnAs, nanodruły ZnTe, supersieci ZnSe/CdSe i szereg różnorodnych ich kombinacji w złożonych półprzewodnikowych strukturach.

W zdecydowanej większości prace były opublikowane w dobrych albo bardzo dobrych, reprezentatywnych dla tematyki czasopismach z międzynarodową cyrkulacją. Z reguły też prezentowane w nich wyniki badań są blisko związane z konkretnymi, technologicznymi zagadnieniami fizyki półprzewodnikowych układów warstwowych i nanostruktur, w szczególności jako elementów optoelektronicznych. Zauważalnym uzupełnieniem listy publikacji jest napisany z trzema innymi współautorami 50-cio stronicowy rozdział w książce *Nitride Semiconductors: Handbook of Materials and Devices, Part 2, Defects and Interfaces* wydanej w 2003 r.

Imponujący jest zestaw prezentacji konferencyjnych od 1995 r. do 2011 r. w liczbie 134 (po uzyskaniu stopnia doktora 120), na który składają się w dużej mierze wystąpienia na konferencjach zagranicznych. Poza studiami doktoranckimi we Francji, dr Sławomir Kret przebywał na stażu podoktorskim w Laboratoire de Crystallographie et Science des Matériaux ISMRA we Francji (2 lata w okresie 2000-2001) oraz 3 miesiące w Laboratoire de Structure et Propriétés de l'Etat Solide Université des Sciences et Technologies de Lille.

Od 1997 r. brał czynny udział w realizacji 16-tu projektów badawczych krajowych i międzynarodowych, w tym w czterech pełnił funkcję kierownika.

Dydaktyka w życiu naukowym Habilitanta nie odgrywała istotnej roli: wymienić można kilka wykładów szkoleniowych podczas zagranicznych szkół i warsztatów naukowych i udział w nadzorowaniu pracy badawczej trzech doktorantów.

Ponadto, jako elementy swej działalności naukowej Dr Sławomir Kret wymienia udział w organizacji trzech konferencji bądź warsztatów naukowych, z tego jednej w roli przewodniczącego komitetu organizacyjnego. Był także aktywny w popularyzacji nauki: prowadził lekcje na temat transmisyjnej mikroskopii elektronowej dla uczniów, opiekował się dwójką uzdolnionych stażystów i brał udział w realizacji filmów naukowo-popularnych.

Wszystkie wymienione w recenzji, wraz z innymi opisanymi w dostarczonych materiałach przewodu habilitacyjnego elementy działalności naukowej Habilitanta, tworzą spójny obraz naukowca o wysokich kwalifikacjach i dużym zaangażowaniu w naukową pracę zarówno od strony merytorycznej jak i w inną działalność z nią związaną.

#### **Ocena rozprawy habilitacyjnej.**

Dr Sławomir Kret za swoje główne osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego uznaje cykl jednotematycznych publikacji z okresu od roku 2000 do roku 2010, numerowanych od H1 do H13, pod wspólnym tytułem:

*Ilościowa transmisyjna elektronowa mikroskopia wysokorozdzielcza w fizyce i technologii heterostruktur półprzewodnikowych.*

Tytuł definiuje tematykę i zakres prac badawczych. Można spodziewać się, że polem naukowej działalności jest z jednej strony metoda badawcza, a z drugiej zastosowania

metody w technologii. Zanim omówię zasadnicze tezy i osiągnięcia, przedstawię krótką formalną charakterystykę prac tworzących rozprawę habilitacyjną.

Wszystkie publikacje są wieloautorskie i liczą od 3 współautorów (są takie 3 publikacje) aż do zawierających 8 współautorów. Współautorzy złożyli 49 oświadczeń o ich roli w realizacji badań i chociaż ta wielka liczba oświadczeń utrudnia wyważenie naukowego zaangażowania współautorów i sprawia wrażenie mechanicznego traktowania sfery nie podlegającej tego typu klasyfikacji to z drugiej strony, pod względem formalnym, nie pozostawia wątpliwości co do wiodącej roli naukowej dra Sławomira Kreta. Z oświadczeń wynika też, że zagadnienia interpretacji obrazów mikroskopowych i ich analiza były w znakomitej większości przypadków dziełem Habilitanta a zagadnienia technologiczne i inne, nie związane wprost z mikroskopią elektronową, były domeną współpracowników. Wskazuje na to także kolejność nazwisk współautorów - w ośmiu z 13 publikacji nazwisko dra S. Kreta zostało umieszczone na pierwszym miejscu.

Dla uzupełnienia tej formalnej analizy dorobku naukowego warto wspomnieć, że omawiane prace naukowe zostały opublikowane w dobrych, albo bardzo dobrych, reprezentatywnych dla badań mikroskopowych czasopismach o uznanej światowej renomie. W świetle tych rozważań stwierdzam, że publikacje H1-H13 mogą być rozpatrywane jako podstawa do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

**Tematyka.** Zasadniczymi zagadnieniami naukowymi pracy habilitacyjnej dra Sławomira Kreta były dwa obszary: pierwszy obejmował rozwój metod analizy i interpretacji obrazów wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej w zastosowaniu do półprzewodnikowych, epitaksjalnych wielowarstwowych struktur, drugi obszar działalności naukowej tworzyły badania i opis niedoskonałości lokalnej struktury sieci krystalicznej półprzewodnikowych nanostruktur. Rozwój metod miał na celu udoskonalenie sposobów interpretacji obrazów HRTEM na poziomie atomowym, ze szczególnym uwzględnieniem dyslokacji i zmian rozkładu atomów związków półprzewodnikowych. Pod pojęciem analizy i interpretacji należy rozumieć stworzenie modelu teoretycznego z aparatem matematycznym pozwalającym na ilościowy, ścisły opis zjawiska. Udoskonalenie sposobów interpretacji polegało na wykorzystaniu technik komputerowych zarówno do analizy uzyskanych obrazów mikroskopowych jak i do ich symulacji. Z treści publikacji można sądzić, że Habilitant zajmował się zarówno stroną doświadczalną jak i teoretyczną badań.

**Rozprawa habilitacyjna.** Zbiór publikacji tworzących rozprawę habilitacyjną podzielić można na dwie części. Pierwsza zawiera prace od H1 do H6, gdzie prezentowane są badania i rozwijana jest metoda obliczania rozkładu gęstości dyslokacji i określania ich charakteru w realnych próbkach. Na drugą składają się publikacje od H7 do H12, które wykorzystują

I rozwijają metodologię opracowaną w części pierwszej i służą wyznaczaniu rozkładu indu w studniach kwantowych InGaN.

Zbiór tych publikacji tworzy logiczny ciąg raportów z badań z jasno określonym głównym naukowym celem i towarzyszącym, ustawicznym rozwijaniem naukowego warsztatu. Taki sposób uprawiania nauki i realizacji zamierzeń uważam za trafny, dobrze służący zarówno osiąganiu nowych, ambitnych naukowych celów jak i rozwojowi kariery naukowej Habilitanta.

Dla poparcia takiej oceny warto w skrócie przytoczyć zasadnicze etapy naukowych osiągnięć dra Sławomira Kreta zawarte w wymienionych publikacjach. Prace H1 - z roku 2000 i H2 - z roku 2003, definiują podstawy teorii i metodologii badania rozkładu dyslokacji poprzez opracowanie metody wyliczenia składowych tensora gęstości dyslokacji. Publikacje te mają zasadnicze znaczenie, gdyż tworzą nowe narzędzie badawcze, które do realizacji nowych celów badawczych będzie z powodzeniem eksploatowane i rozwijane w późniejszym okresie. Metoda oparta jest na numerycznej analizie obrazów HRTEM i może być zastosowana *in situ*, w czasie pomiaru. Zalety metody zostały zademonstrowane na przykładzie heterostruktur GaAs/ZnTe/CdTe zawierających dyslokacje Lomera. W heterostrukturach określono składowe dwuwymiarowego tensora odkształceń oraz składowe wektora Burgersa. Metoda zaproponowana przez dra Sławomira Kreta ma znaczną przewagę nad tradycyjnym geometrycznym sposobem, takim jak chociażby stosowanym w przykładowej publikacji *J. N. Stirman i inni, Appl. Phys. Lett. 84, 2530 (2004)*, gdzie w celu wyznaczenia i identyfikacji dyslokacji Lomera mierzono przesunięcia obrazów atomowych szeregów. Nowy sposób analizy jest szybszy, dokładniejszy i pozwala określić parametry dyslokacji ilościowo, przez co wyniki badań mogą stanowić podstawę numerycznych symulacji lokalnych niedoskonałości sieci i nanostruktur.

W publikacji H3 dr Sławomir Kret badał związki pomiędzy obecnością pryzmatycznych błędów ułożenia a niepromienistą rekombinacją w GaN na podłożu SiC. Analiza obrazów przebiegała według schematu obliczeń tensora gęstości dyslokacji opisanego w pracach H1 i H2. Te numeryczne obliczenia wykazały wysoką przydatność metody i jej wyższość nad dotychczas stosowanymi nie tylko pod względem szybkości analizy, bezpośredniej lokalizacji i rozciągłości defektów, ale także z powodu dostarczania wielu dodatkowych, ilościowych danych. Ponadto, mogą one posłużyć do numerycznej symulacji obrazów HRTEM i opisanie szczegółów wewnętrznej budowy obszarów kryształu z dyslokacjami, tak jak to pokazano w publikacji H4. Także w publikacji H5 badane były warstwy GaN. Z obrazu mikroskopowego wyliczono rozkład składowych tensora gęstości dyslokacji a następnie rozkład naprężeń. Warto zaznaczyć, że wiedza o lokalnych odkształceniach sieci krystalicznej półprzewodnikowych heterostruktur ma fundamentalne znaczenia dla ich praktycznego wykorzystania.

Dalsza modyfikacja procedur obliczania składowych tensora gęstości dyslokacji, tym razem poprzez uwzględnienie związków pomiędzy odkształceniem a generacją ładunku w piezoelektrycznym GaN, pozwoliła oszacować rozkład potencjału w kierunku wiązki elektronów. Metoda ta została zaprezentowana w publikacji H6 i może być uznana za pierwszą znaną w literaturze próbę określenia pól elektrycznych w nanoskali, z wykorzystaniem HRTEM.

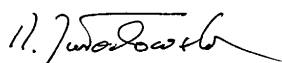
Kolejne publikacje, od H7 do H12, są poświęcone mikroskopowemu badaniu rozkładu indu w studniach kwantowych InGaN. Lokalną zawartość indu wyliczono po przyjęciu założenia, że odkształcenie sieci, wynikające ze zwiększonej zawartości indu, jest dane wyłącznie prawem Vagarda i żadne inne przyczyny nie wpływają na powstanie i rozkład odkształceń. Jak przyznaje dr Sławomir Kret, wyniki jego badań, które w przypadku publikacji H7 i H8 opublikowanych w roku 2002 świadczą o wyjątkowo dużej amplitudzie zmian koncentracji, wzbudziły kontrowersje i dyskusję o możliwości lokalnych zmian składu pod wpływem oddziaływania wysokoenergetycznej wiązki elektronów. Wątpliwość ta została rozwiana w publikacji H11 z roku 2007, gdzie pomiary HRTEM zostały skonfrontowane z wynikami pomiarów dyfrakcji rentgenowskiej  $\Theta$ - $2\Theta$  i odpowiednimi symulacjami widm dyfrakcyjnych. Badania przedstawione w tej publikacji wykluczyły także efekt tworzenia klasterów indu pod wpływem wiązki elektronów.

Cechą charakterystyczną wszystkich prac jest konfrontacja wyników doświadczalnych z obliczeniami. Poczynając od publikacji H1, która prezentuje metodę analizy i numerycznych obliczeń rozkładu tensora gęstości dyslokacji, dr Sławomir Kret konsekwentnie rozszerza zakres zastosowań swej metody na bardziej złożone objekty, rozpatruje wpływ niejednorodności składu i wreszcie wyznacza lokalne pola elektryczne w piezoelektrycznym, półprzewodnikowym materiale.

#### **Podsumowanie.**

Stwierdzam, że moim zdaniem, w świetle obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, rozprawa habilitacyjna spełnia wymogi określone ustawą a dr Sławomir Kret zasługuje na to by być doktorem habilitowanym. Niniejszym stawiam wniosek o nadanie Jemu stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Lublin, 29. 01. 2013 r.



prof. dr hab. Mieczysław Jałochowski