



INSTYTUT METALURGII
I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
im. ALEKSANDRA KRUPKOWSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

30-059 Kraków, ul. Reymonta 25, tel: (48)(12) 637-42-00, Fax: (48)(12) 637-21-92

Prof. Jerzy Morgiel,

OCENA

dorobku naukowego oraz serii prac

zestawionych p.t. „Struktura krystaliczna i związane z nią własności fizyczne
warstw grafenowych, zsyntetyzowanych na powierzchniach polarnych SiC”

dr Jolanty Borysiuk

opracowana na zlecenie

Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów

1. Ocena dorobku naukowego

1.1. Do obrony pracy doktorskiej

Dr Jolanta Borysiuk ukończyła studia w Politechnice Warszawskiej przedstawieniem pracy dyplomowej p.t. „Badania powierzchni płytek podłożowych z monokryształów GaAs i GaAs_{1-x}P_x z uwzględnieniem defektów tworzących się w trakcie wzrostu kryształów i w trakcie przygotowania powierzchni” (opiekun prof. R. Stępniewski). Dalszą naukę kontynuowała na studiach doktoranckich w Instytucie Inżynierii Materiałowej swojej macierzystej uczelni, gdzie w roku 2000 obroniła pracę doktorską p.t. „Badania defektów strukturalnych w wysokodomieszkowanym półprzewodniku GaAs:Te” przygotowanej pod kierunkiem prof. J. Kozubowskiego. Należy zaznaczyć, że prof. J. Kozubowski obok prof. St. Gorczycy i prof. J. Auleytnera należał do wąskiej grupy kształtujących rozwój badań materiałów z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Z częścią wyników tej pracy, tj. “HRTEM image simulation in the study of planar defects in GaAs:Te crystals” opiniujący miał możliwość zapoznać się w czasie XVII Conference on Applied Crystallography w Wiśle w 1997 roku. Zwykle, studia dają jedynie wstępne przygotowanie do zawodu, a specjalizacje w danej dziedzinie osiąga się dopiero poprzez badania prowadzone w ramach opracowywanej pracy doktorskiej. Jednakże, w przypadku Habilitantki, do jej ukształtowania przysłużyły się oba te etapy.

1.2. Po obronie pracy doktorskiej

Po zakończeniu studiów doktoranckich Dr Jolanta Borysiuk uzyskała staż po-doktorancki (tzw. „post-doc position”) w Uniwersytecie Erlangen-Norymberga, Department of Materials Science w zespole prof. Horsta Strunka. Wybranie takiej drogi, tj. kontynuacji swojego rozwoju naukowego w zupełnie nowym środowisku, a w dodatku w uniwersytecie o światowej renomie, w którym w stosunku do każdego członka zespołu stawiane są bardzo wysokie wymagania na pewno nie było łatwe, ale właśnie dlatego należy je uznać za godne pochwały. Pobyt na uniwersytecie w Erlangen - Norymberga umożliwił jej pracę również z innymi materiałami półprzewodnikowymi (tj. oprócz tych, które poznała przygotowując pracę dyplomową oraz doktorską) takimi jak epitaksjalne warstwy azotkowe GaN, AlGa_N, InGa i AlN. Co ważne, swój staż Habilitantka podsumowała zespołową pracą p.t. “Correlating compositional, structural and optical properties of InGa_N quantum wells by transmission electron microscopy” opublikowana w Institute of Physics Conference Series 2001.

Bezpośrednio po stażu Habilitanta podjęła pracę w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie (UNIPRES) na stanowisku asystenta, a następnie adiunkta. W tym okresie, jak wskazują to publikacje z lat 2004 – 2005 jej aktywność naukowa skierowana była na zagadnienia związane z charakterystyką monokryształów azotkowych takich jak AlN, GaN oraz InN, jak też warstw półprzewodnikowych nakładanych na podłoża z monokrystalicznego azotku galu. Do najważniejszych prac z pierwszej tematyki należy zaliczyć odpowiednio tą publikowaną w International Journal of Materials and Product Technology 2005; „Growth of AlN, GaN and InN from solution” oraz Applied Physics Letters 2005; „Blue-violet InGa_N laser diodes grown on bulk GaN substrates by plasma-assisted molecular-beam epitaxy”. Pomimo, że dr Jolanta Borysiuk w żadnej z tych prac nie była autorem wiodącym, to jednak praca w silnym zespole i współautorstwo w pracach, które zostały dostrzeżone w środowisku badań materiałów półprzewodnikowych powoduje, że ocena tego okresu jej pracy naukowej jest dobra.

Następnie, w latach 2006 – 2010 dr Jolanta Borysiuk przeszła do pracy w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie (ITME) na stanowisko starszego specjalisty, a później adiunkta. W roku 2008 Habilitantka została pracownikiem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego jako starszy specjalista naukowo-techniczny, a od 2010 jest zatrudniona w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Wiązało się to również ze zmianą pola badań i przejściem do charakterystyki nano-

cząstek oraz nano-warstw węglowych otrzymywanych na monokrystalicznych podłożach SiC, tj. do dziedziny w której cykl artykułów stanowi jej osiągnięcie naukowe podlegające ocenie zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). Na pierwszym ze wspomnianych pól znaczny oddźwięk w środowisku znalazły prace pt. „Structure and magnetic properties of carbon encapsulated Fe nano-particles obtained by arc-plasma and combustion synthesis” opublikowana w Carbon w 2008 roku oraz „Liquid-Crystalline phases made of gold nano-particles” opublikowana Angewandte Chemie – International Edition w 2009 roku (przy czym pierwszym autorem Habilitantka jest tylko w pierwszej z nich). Drugie z pól aktywności badawczej Habilitanta przedstawiła jako swoje główne osiągnięcie badawcze i dlatego omówione zostanie w dalszej części tej opinii.

W omawianym okresie, tj. po zakończeniu doktoratu Habilitanta była wykonawcą szeregu ważnych dla naszego kraju projektów z zakresu opracowania nowych materiałów, a w tym w Strategicznym Programie Rządowym Rozwój Niebieskiej Optoelektroniki realizowanym w Centrum Badań Wysokociśnieniowych - „Uruchomienie produkcji lasera półprzewodnikowego emitującego światło niebieskie o mocy 50 mW (GaInGaN) na podłożach z objętościowych kryształów GaN” oraz projekcie FlowGraf Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Grafenowe, generacyjne czujniki przepływu”. Osobiście kierowała dwoma projektami, tj. zamówionymi przez Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Wzrost i charakteryzacja warstw węglika krzemu SiC na podłożach krzemowych Si” oraz Narodowe Centrum Nauki „Wzrost metodą epitaksji z wiązek molekularnych oraz analiza zjawisk segregacji składników i ich wpływu na właściwości fizyczne warstw (Al,In,Ga)N”. Należy podkreślić, że swoje zaangażowanie w powyższe prace badawcze potrafiła udokumentować publikacjami w czasopiśmie o zasięgu światowym, czego wynikiem jest długa lista publikacji oraz ich bardzo dobra tzw. parametryzacja ($h = 15$).

Pozostały dorobek podlegający ocenie ma już mniejszą wagę, aczkolwiek i w tym wypadku dr Jolanta Borysiuk jest współautorką zgłoszenia patentowego (współudział) oraz uzyskała Nagrodę Dziekana Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego za „Zainicjowanie w Polsce optycznych i strukturalnych badań grafenu”. Bardzo pozytywnie należy też ocenić Jej trzymiesięczny staż w Berkeley National Laboratory, Materials Science Division (USA). Zgodnie z dostarczonymi danymi Habilitantka tylko raz przedstawiła ustnie wyniki swoich prac (pkt. „J” Autoreferatu należało zamieścić jedynie własne wystąpienia), a Jej aktywność dydaktyczną obejmuje jedy-

nie dwa wystąpienia o charakterze popularno-naukowym, tj. „Fizyka w kryminalistyce - mikroskopia elektronowa” oraz “Mikroskopia elektronowa - zasady i rodzaje, badanie śladów”. Dla osób prowadzących badania poza strukturami uczelnianymi tak jak to miało miejsce w przypadku Habilitantki rozwijanie dydaktyki oraz pozyskanie dyplomantów jest niestety bardzo trudne. Dodatkowo, kiedy pracuje się na urządzeniach takich wymagających jak mikroskopy transmisyjne, wymagało by to nie tylko przeszkolenia w obsłudze sprzętu, ale również w preparatyce oraz interpretacji uzyskanych obrazów, co wykracza poza zakres merytoryczny i czasowy takich projektów. Dlatego, opiniujący ze zrozumieniem przyjmuje małą aktywność dr J. Borysiuk na omawianym polu.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że dotychczasowa praca zawodowa ukształtowała Habilitantkę jako samodzielnego pracownika naukowego reprezentującego bardzo dobre:

- opanowanie zasad zastosowania transmisyjnej mikroskopii elektronicznej w badaniach materiałowych ze szczególnym wyróżnieniem mikroskopii wysokorozdzielczej,
- planowanie i prowadzenie badań z zakresu nauki o materiałach, a szczególnie z tematyki wzrostu warstw epitaksjalnych oraz grafenu,
- umiejętności pisemnej prezentacji wyników badań i publikowania ich w czasopiśmie w tym o zasięgu międzynarodowym,
- umiejętności współpracy w zespołach wyrażające się licznymi zaproszeniami do realizacji nawet najtrudniejszych dla fizyki ciała stałego projektów.

W świetle powyższego dorobku należy stwierdzić, że dr Jolanta Borysiuk spełnia wszystkie podstawowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego.

2. Ocena cyklu prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe Habilitantki.

Podjęcie wyzwań w pracy zawodowej, a szczególnie w działalności naukowej stanowi o jakości naukowca i w tym względzie należy przyznać, że dr Jolanta Borysiuk w przedstawionym cyklu prac weszła na jedno z najtrudniejszych pól badań materiałowych. Charakterystyka grafenu i materiałów grafeno-podobnych ułożonych na monokryształach SiC wymaga nie tylko dużej wiedzy z dziedziny transmisyjnej mikroskopii elektronicznej, ale również znajomości preparatyki materiałów o krawędziowo różnych własnościach (w tym twardości), bo o wynikach obserwacji w bardzo

dużej części decyduje jakość preparatu. Należy podkreślić, że podjęcie tych trudnych badań ma swoje pełne uzasadnienie w ograniczeniach jakie stoją na drodze dalszego rozwoju tak ważnego dla naszej cywilizacji przemysłu komputerowego.

Przedłożony zestaw prac spięty został tytułem „**Struktura krystaliczna i związane z nią własności fizyczne warstw grafenowych, zsyntetyzowanych na powierzchniach polarnych SiC**”. Jest to bardzo pasywne podejście do problemu przedstawienia swoich osiągnięć, przy postawieniu którego należało by raczej oczekiwać sformułowań typu „Wkład w badania relacji pomiędzy mikrostrukturą, a własnościami warstw grafenu na ścianach SiC”. Takie, lub jeszcze bardziej precyzyjne zakreślenie pola na którym dr Jolanta Borysiuk zamierza dowodzić swojego osiągnięcia otworzyło by drogę do lepszego ukierunkowania stanu wiedzy do którego odniosła się w swoich pracach. Ten obecnie zaprezentowany jest niestety bardzo ogólnikowy i o ile w pierwszej części można go uznać za poprawny, to w drugiej - mając w perspektywie wiedzę, że dokonania dr Joli Borysiuk lokują się na polu badań z wykorzystaniem metody transmisyjnej mikroskopii elektronowej (vide, informacja co było jej udziałem w przygotowaniu publikacji) – zamknięcie sprawy zdaniem cyt.: „Przed podjęciem badań będących przedmiotem tej habilitacji nie było zbyt wielu obserwacji elektronomikroskopowych TEM, które opisywałyby budowę krystaliczną cienkich warstw grafenowych” nie stanowi dobrego wprowadzenia do weryfikacji dokonań Habilitantki.

W omawianym wstępie brak mi też wskazania, jakie ośrodki w kraju podjęły już badania w tematyce grafenu i co jest ich głównym celem (zaznaczeniem pozycji jednostki macierzystej Habilitantki). W takim paragrafie można było się odnieść zarówno do zrealizowanych już projektów, jak też do tych które obecnie trwają, w tym do pakietu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Wyniki obserwacji mikrostruktury warstw grafenowych na wybranych płaszczyznach SiC zaprezentowane w omawianym zestawie prac, niezależnie od tego, że zostały opublikowane przez renomowane czasopisma z dziedziny nauki o materiałach (J. Applied Physics, Physics Rev. B) i niosą istotne dla tej dziedziny badań informacje, to świadczą również o wysokim poziomie sprawności w posługiwaniu się wachlarzem zaawansowanych technik mikroskopii, a w tym przede wszystkim mikroskopii wysokorozdzielczej. Bardzo dobre wrażenie robi zarówno kompleksowe podejście do zagadnienia (wykorzystanie transformat Fourie oraz filtrowania szumów), czytelna forma graficzna wyników jak również ich krótki, jasny i precyzyjny opis.

Właśnie z powyższych powodów najwyżej oceniam pracę autorstwa Borysiuk i inni zamieszczoną w J. Appl. Phys. w 2010 roku. Zgodzę się również z Habilitantką, tak jak zrobili to recenzenci wyznaczeni przez redaktorów czasopism, że uzyskane wyniki wskazują na konkretne relacje pomiędzy mikrostrukturą grafenu, a polarnością wybranych płaszczyzn SiC.

Natomiast byłbym znacznie bardziej ostrożny z uznaniem za ostateczne zmierzone odległości pomiędzy SiC oraz pierwszą warstwą węgla (np. praca nr 1), gdyż konieczne obserwacje uzyskano z wykorzystaniem mikroskopu pozbawionego pełnej korekty astygmatyzmu. Obserwacje takie są podatne na tzw. „delokalizację kontrastu” zależną od potencjału danej fazy (dla węgla i SiC są one znacząco różne) i nawet obrazy wyoskorozdzielcze uzyskane w tzw. „zakresie Scherzer defocus” nie gwarantują równego przesunięcia obu faz. Praktycznie jednoznacznym dowodem było by powtórzenie tych obserwacji z wykorzystaniem mikroskopu dysponującego omawianą pełną korektą astygmatyzmu, tak jak powtórzono to w przypadku granic międzyfazowych np. CoSi₂/Si (Philips Elektron Optics Bulletin) i co pozwoliło stwierdzić, że omawiana różnica jest artefaktem.

W podsumowaniu pragnę stwierdzić, że niezależnie od wspomnianych mankamentów, przedstawiony cykl prac jest spójny tematycznie oraz ma duże znaczenie dla tego trudnego, ale też ważnego obszaru badań. Właśnie tak wymagająca tematyka pozwoliła na zaprezentowanie pełnych możliwości mikroskopii transmisyjnej, a przede wszystkim wysokiej przestrzennej zdolności rozdzielczej tej metody.

Jednocześnie, należy podkreślić, że zestawiony cykl prac cechuje:

- duża aktualność tematyki,
- właściwe ukierunkowanie prowadzonych prac,
- wysoki poziom zaprezentowanych wyników oraz ich dyskusji.

Przedstawiony do oceny cykl prac robi bardzo dobre wrażenie i dokumentuje szeroką wiedzę Habilitantki zarówno w zakresie transmisyjnej mikroskopii elektronowej, jak też opracowania wyników badań i ich publikacji. Odnośnie tej części należy stwierdzić, że właśnie zaawansowany charakter metod badawczych zastosowanych do realizacji postawionych zadań składają się na oryginalny wkład dr Jolanty Borysiuk w postęp obserwowany obecnie w rozpoznawaniu możliwości zastosowań grafenu.

3. Wniosek końcowy

W posumowaniu pragnę stwierdzić, że moja ocena całokształtu dorobku naukowego, pomimo jego skoncentrowania głównie na pracach badawczych, jak też przedstawionego spójnego cyklu prac jest w obu przypadkach wysoka i spełnia wszystkie warunki określone właściwą Ustawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

Kraków, 2015-12-27

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Wasiłowski'.