



UNIwersytet  
Warszawski

Wydział Fizyki

Warszawa 02.05.2022

dr hab. Wojciech Pacuski, prof. UW  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Zakład Fizyki Ciała Stałego  
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

**Ocena osiągnięć naukowych i dorobku naukowego dr Marty Sobańskiej w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.**

Prace dyplomowe i kariera naukowa dr Marty Sobańskiej związane są z Instytutem Fizyki PAN, gdzie pracują trzej promotorzy jej prac dyplomowych: prof. dr hab. Magdalena Załuska-Kotur, promotor pracy licencjackiej (r. 2007), prof. dr hab. Andrzej Wawro, promotor pracy magisterskiej (r. 2009) i prof. dr hab. Zbigniew R. Żytkiewicz, promotor pracy doktorskiej (r. 2017). Także w IFPAN pracuje obecnie dr Sobańska i tu powstała większość badań zaproponowanych jako osiągnięcia habilitacyjne. Badania te odbywały się we współpracy z ośrodkami krajowymi oraz zagranicznymi i były okazją do kilku krótkich zagranicznych pobytów badawczych w Berlinie i Kijowie.

Jako osiągnięcia habilitacyjne dr Marta Sobańska przedstawiła cykl sześciu artykułów zatytułowany: „Mechanizmy spontanicznej krystalizacji nanodrutów GaN techniką epitaksji z wiązek molekularnych na amorficznych podłożach”. Artykuły te zostały opublikowane w czasopismach ujętych w odpowiednich wykazach – publikacja z r. 2017 była w czasopiśmie z części A wykazu czasopism i miała 30 punktów (w wykazie z r. 2021 ma już 140 pkt), publikacje z lat 2019 i 2020 są w czasopismach z nowego wykazu i mają tam wszystkie po 100 pkt. Przede wszystkim jednak są to czasopisma o międzynarodowym zasięgu, odpowiednie do prezentacji wyników dotyczących technologii i fizyki półprzewodników, zaś współczynnik wpływu (impact factor) tych pism mieści się w rozsądnym zakresie pomiędzy 2 a 7. Żadna z prezentowanych prac nie jest publikacją konferencyjną. W czterech pracach dr Sobańska jest pierwszym autorem, w dwóch jest w środku listy autorów, ale w żadnej pracy nie ma wątpliwości do charakteru merytorycznego udziału dr Sobańskiej w publikowanych badaniach, tzn. habilitantka zarówno wytwarzała opisywane struktury jak i brała aktywny udział w

charakteryzacji struktur, budowaniu modeli, wyciąganiu wniosków i pisaniu artykułów. W dwóch pracach dr Sobańska jest jedynym autorem korespondencyjnym, w dwóch pracach jest jednym z dwóch autorów korespondencyjnych i w dwóch pracach nie jest autorem korespondencyjnym. Artykuły tworzące cykl są powiązane tematycznie, tak jak to wskazano w osiągnięciu, wszystkie wiążą się ze wzrostem nanodrutów GaN w reaktorze MBE. Natomiast słabością cyklu z punktu widzenia dokumentowania samodzielności naukowej jest fakt, że temat cyklu w dużej mierze pokrywa się z tematem pracy doktorskiej „Wzrost i właściwości nanodrutów azotku galu otrzymywanych metodą MBE z plazmowym źródłem azotu” (obronionej w r. 2017), a wszystkie prace włączone do osiągnięcia habilitacyjnego zawierają jako współautora promotora pracy doktorskiej.

Pierwsza praca cyklu, to [H1] M. Sobanska, Z.R. Zytkeiwicz, G. Calabrese, L. Geelhaar, S. Fernández-Garrido „Comprehensive analysis of the self-assembled formation of GaN nanowires on amorphous  $Al_xO_y$ : in situ quadrupole mass spectrometry studies”, *Nanotechnology* 30, 154002 (2019). W pracy tej pomiar spektrometru masowego pozwolił na obserwację desorpcji Ga z podłoża Si pokrytych amorficznym tlenkiem glinu na których rozpoczyna się wzrost drutów GaN, co pozwala wnioskować o dynamice zarodkowania nanodrutów przy różnych warunkach wzrostu. Po raz pierwszy zostały uwzględnione ilościowo wszystkie 3 czynniki determinujące wzrost na danym podłożu: temperatura podłoża, strumień Ga i strumień N. W poprzednich pracach, w tym w doktoracie, temperatura podłoża i strumień Ga był już uwzględniany, natomiast wpływ strumienia N był widoczny, ale nie został poprzednio uwzględniony w analizie ilościowej. Powtórzenie poprzednich badań i dodatkowo pomiar wpływu strumienia azotu pozwoliły na wypisanie pełnego wzoru opisującego zjawisko zarodkowania.

Druga praca cyklu to [H2] K. Lawniczak-Jablonska, Z.R. Zytkeiwicz, S. Gieraltowska, M. Sobanska, P. Kuzmiuk, K. Klosek, „Chemical bonding of nitrogen formed by nitridation of crystalline and amorphous aluminum oxide studied by x-ray photoelectron spectroscopy”, *RSC Advances* 10, 27932 (2020). W pracy tej pokazano tempo w jakim azot wbudowuje się w warstwy różnego rodzaju tlenku glinu, przy ustalonej temperaturze. Praca ma pogłębioną dyskusję fizycznych przyczyn obserwowanych różnic pomiędzy różnymi podłożami. Praca nie dotyczy samego wzrostu nanodrutów, ale skupia się na procedurze poprzedzającej taki wzrost, przydatnej także w wielu innych technologiach.

Kolejna praca to [H3] M. Sobanska, Z.R. Zytkeiwicz, K. Klosek, R. Kruszka, K. Golaszewska, M. Ekielski, S. Gieraltowska, „Selective area formation of GaN nanowires on GaN substrates by the use of amorphous  $Al_xO_y$  nucleation layer”, *Nanotechnology* 31, 184001 (2020). Praca ta pokazuje jak podzielenie podłoża na strefy przygotowane w różny sposób może doprowadzić do wzrostu nanodrutów w jednych strefach, a w innych jedynie do wzrostu planarnego. Praca zawiera modelowanie ilościowe i głęboką dyskusję rozbieżności pomiędzy modelem a eksperymentem. W pracy tej obserwowany jest przepływ atomów Ga ze strefy z nanodrutami do strefy z warstwą planarną, co nie jest sprawą oczywistą, bo w kolejnej pracy, H4 z inaczej przygotowanymi powierzchniami, przepływ materiału następuje w drugą stronę.

Praca [H4] M. Sobanska, Z.R. Zytkeiwicz, M. Ekielski, K. Klosek, A.S. Sokolovskii, V.G. Dubrovskii, „Surface Diffusion of Gallium as the Origin of Inhomogeneity in Selective Area Growth of GaN Nanowires on  $Al_xO_y$  Nucleation Stripes”, *Crystal Growth & Design* 20, 4770 (2020) pokazuje wzrost nanodrutów jedynie w deterministycznie wyznaczonych miejscach. Praca jest bardziej spektakularna niż H3, bo poza tymi wyznaczonymi miejscami materiał (GaN) niemal nie rośnie, a prezentowane obrazy są bardzo przekonujące. Praca zawiera rozbudowany model tłumaczący rozkład długości nanodrutów w zależności od odległości od krawędzi strefy. Moim zdaniem jest to najważniejsza praca w przedstawionym cyklu, z bardzo dużym udziałem habilitantki, która jest pierwszym autorem, jedynym autorem korespondencyjnym i ewidentnie zorganizowała oraz przeprowadziła badania.

Praca [H5] M. Sobanska, N. Garro, K. Klosek, A. Cros, Z.R. Zytkeiwicz, „Influence of Si substrate preparation procedure on polarity of self-assembled GaN nanowires on Si(111): Kelvin Probe Force Microscopy studies”, *Electronics* 9, 1904 (2020) poświęcona jest polarności nanodrutów hodowanych na różnie przygotowanych powierzchniach. Praca pokazuje, że choć standardowe sposoby przygotowywania waferów Si do epitaksji faktycznie skutkują wzrostem nanodrutów o różnej polarności, czyli galowej i azotowej, to istnieje co najmniej kilka łatwo dostępnych powierzchni, które w całym sporej próbie dają 100% nanodrutów o polarności N. Praca słusznie też argumentuje potrzebę kontroli polarności, która decyduje o kierunku wbudowywanego pola elektrycznego i o wielu właściwościach elektronowych, optycznych, strukturalnych.

Podobny, ale jednak zaskakujący efekt pokazany jest w pracy [H6] A. Wierzbicka, G. Tchutchulashvili, M. Sobanska, K. Klosek, R. Minikayev, J.Z. Domagała, J. Borysiuk, Z.R. Zytkeiwicz, "Arrangement of GaN nanowires on Si(001) substrates studied by X-ray diffraction: Importance of silicon nitride interlayer", *Applied Surface Science* 425, 1014 (2017). Tutaj różne przygotowanie podłoża Si (100) prowadzi do nanodrutów o różnym kierunku osi wzrostu – prostopadłym do powierzchni gdy nanodrut startują od warstwy SiN, lub odchylonym w jednym z czterech kierunków, gdy nanodrut GaN są epitaksjalnie połączone z Si. Wyjaśnieniem tego drugiego modu wzrostu jest nukleacja na Si nanometrowych piramid GaN w strukturze blendy cynkowej, które dopiero w kolejnym kroku są początkiem nanodrutów wurcytowych. Praca jest niewątpliwie solidna i opublikowana w prestiżowym czasopiśmie, ale z punktu widzenia oceny dorobku habilitacyjnego należy zwrócić uwagę, że praca została wysłana do publikacji 20 marca 2017 r., na kilka miesięcy przed obroną doktoratu, a zasadnicze wyniki pokazane w pracy zostały zamieszczone w doktoracie, w podrozdziale 5.3. Dla porządku warto dodać, że zamieszczone w doktoracie i publikacji obrazki nie są identyczne. Warto w tym punkcie zacytować interpretację RDN obecnie obowiązującej ustawy „Co istotne, z przepisu tego nie wynika, by przedłożone do oceny w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego mogły być jedynie osiągnięcia uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora.” (RDN, Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego, str. 12, aktualizacja z 5 sierpnia 2021 r.). Zatem włączenie wyników z doktoratu do dorobku

habilitacyjnego jest legalne, ale recenzent ma prawo określić rangę tego osiągnięcia jako inną niż w przypadku dorobku wypracowanego po uzyskaniu doktoratu.

Nie ma wątpliwości, że 6 przedstawionych prac tworzy cykl powiązany tematycznie. O wszystkich pracach cyklu można powiedzieć, że są dobrze napisane, dane i argumenty są przekonujące, prezentacja tabel i wykresów w pełni profesjonalna. Aspekt nowości jest w każdej pracy dobrze wyjaśniony wraz z przytoczeniem literatury. Wszystkie prace prowadzą do istotnych wniosków wnoszących wkład w zrozumienie fizyki spontanicznej krystalizacji na różnie zakończonych powierzchniach i stanowią znaczny wkład w rozwój fizyki wzrostu kryształów. Pomimo stosunkowo krótkiego czasu od publikacji prace mają już po kilka cytowań, w tym cytowania od konkurencyjnych grup, a zatem weszły do obiegu fachowej literatury. Np. według bazy Scopus 6 prac tworzących cykl zostało zacytowane 32 razy w tym 21 bez autocytowań habilitantki, a 18 bez autocytowań współautorów.

Także autoreferat jest dobrze napisany i tłumaczy najważniejsze wyniki, wnioski i aspekt nowości prac. Wybrane i opisane są najciekawsze rysunki. Dobrze wyjaśniona jest zarówno generalna motywacja badań jaki i przyczyny podjęcia konkretnych badań zaprezentowanych w artykułach cyklu. Na koniec wypisane są w punktach osiągnięcia stanowiące wkład przedstawionych badań w dziedzinę, w tym: ilościowy opis kinetyki zarodkowania w zależności od wszystkich parametrów wzrostu (dla wybranego podłoża), opracowanie i zademonstrowanie technologii selektywnego zarodkowania nanodrutów, modele i eksperymenty opisujące azotowanie powierzchni, dyfuzję atomów galu i zarodkowanie w wielu istotnych technologicznie układach.

Dorobek nie wchodzący do cyklu publikacji habilitacyjnych można podzielić zasadniczo na dwie grupy. Pierwsza duża grupa to publikacje związane z nanodrutami GaN, czyli związane z tematem habilitacji, a wcześniej doktoratu (wielokrotnie nagradzanego). W tej grupie można znaleźć publikacje cytowane już po kilkadziesiąt razy, w tym w pracach przeglądowych konkurencyjnych grup. Są tam też przynajmniej 4 publikacje, w których habilitantka występuje na pierwszym miejscu listy autorów. Druga, mniej liczna grupa to publikacje dotyczące wzrostu i badania struktur planarnych GaN. W grupie tej jest całkiem dobrze cytowana praca (22 cytowania wg WoS) w Crystal Research and Technology, gdzie habilitantka jest pierwszym autorem, a która dotyczy wzrostu planarnego GaN na Si (111). Inne prace, w Applied Surface Science i Advanced Materials and Interfaces dotyczą badania pól elektrycznych i ładunków w pobliżu interfejsu GaN-powietrze, w strukturach wyhodowanych przez habilitantkę. Nieco poza tym dwiema grupami, ale dotycząca podobnej technologii, jest jeszcze publikacja związana z pracą magisterską o kroplach złota na powierzchni molibdenu. Jest to jedyna praca w dorobku bez udziału promotora doktoratu. Poza artykułami, habilitantka jest jeszcze pierwszą autorką dwóch przyznanych patentów związanych z nanodrutami.

Wszystkie 47 publikacji, łącznie z tymi z cyklu habilitacyjnego było cytowane wg. Scopus 449 razy, bez autocytowań 302 razy, ewentualnie bez autocytowań współautorów 254 razy. Podobne wyniki daje baza Web of Science 447 cytowań, 304 bez autocytowań. Wyniki

te, sprawdzone na początku maja 2022 r., są zgodne z podanymi w wykazie osiągnięć naukowych, większe jedynie o cytowania w ostatnich miesiącach. Jak na badaczkę niecałe 5 lat po doktoracie są to przyzwoite wyniki, świadczące o włączeniu badań w obieg literatury. Także współczynnik Hirscha równy na tym etapie 12 pokazuje systematyczne publikowanie znaczących artykułów.

Wszystkie prace w dorobku wskazują, że habilitantka jest specjalistką w dziedzinie epitaksji GaN, zarówno nanodrutów jak i struktur planarnych, umie uczestniczyć w różnorodnych projektach technologicznych i badawczych, natomiast niemal nie miała okazji wykazać się pracą niezwiązaną z epitaksją GaN i bez udziału promotora doktoratu. Aby przyjrzeć się samodzielności naukowej warto zatem jeszcze zwrócić uwagę na osobiście wygłaszane referaty, zdobyte granty naukowe i prace eksperckie.

Publikacjom o nanodrutach towarzyszą regularne, osobiście wygłaszane referaty na konferencjach związanych ze wzrostem kryształów i fizyką półprzewodników. W wykazie jest 15 takich referatów, w większości na znanych i prestiżowych konferencjach. Dodatkowo, na podstawie ogłoszonego już programu widać, że dr Sobańska jest zaproszonym prelegentem na Polish Conference on Crystal Growth 2022, gdzie przedstawi referat zaproszony obok znanych naukowców z całego świata. Wcześniej referaty zaproszone dr Sobańska przedstawiła na German Polish Conference on Crystal Growth 2019, na dwóch warsztatach naukowych i na seminariach w różnych instytucjach.

Habilitantka była już wykonawcą wielu i to bardzo różnorodnych grantów i kierownikiem jednego grantu, z tym że był to grant preludeum, z założenia otrzymywany wspólnie z promotorem, który też jest tam poddawany ocenie. Grant ten skończył się dopiero w r. 2019, więc nie było od tamtej pory dużo czasu na zdobycie samodzielnego grantu.

Natomiast pewnym dowodem samodzielności naukowej jest rola recenzenta doktoratu obronionego na *Norwegian University of Science and Technology* (NTNU) w Trondheim. Habilitantka była także proszona o recenzje w czasopismach ze swojej dziedziny: *Crystal Growth & Design*, *Nano Research*, *Japanese Journal of Applied Physics* i *Journal of Applied Physics*.

Innym dowodem samodzielności naukowej może być działalność dydaktyczna i opieka nad studentami. Habilitantka opiekowała się studentami odbywającymi praktyki i staże, dla dwóch magistrantów jest opiekunem i dla jednego doktoranta promotorem pomocniczym. Miała pojedyncze wykłady dla różnej publiczności, ale nie regularne, zatem nie była to klasyczna działalność dydaktyczna.

Także z oświadczeń współautorów artykułów włączonych do cyklu wynika, że udział habilitantki w prowadzonych badaniach był znaczący i wielopoziomowy.

Podsumowując powyższe akapity, w minimalnym oczekiwanym stopniu samodzielność naukowa i indywidualny udział w prowadzeniu badań zostały udokumentowane.

Innym ważnym z punktu widzenia ustawy aspektem do przeanalizowania jest wykazanie się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej instytucji, w szczególności zagranicznej. Najbardziej oczekiwanym sposobem wykazania się w tym aspekcie byłby wyjazd na długoterminowy zagraniczny staż podoktorski, co w wielu instytucjach jest już warunkiem zatrudnienia na niektórych stanowiskach. Habilitantka nie odbyła takiego stażu i nie ma pracy z zagraniczną afiliacją, ale ma wiele dowodów na istotną działalność naukową w zagranicznych instytucjach. W czasie studiów doktoranckich i tuż po nich odbyła cztery 2 tygodniowe staże w Berlinie, w Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik i powstały z tego dwie publikacje, w tym jedna włączona do dorobku habilitacyjnego. Także w czasie studiów doktoranckich odbyła tygodniową wizytę w Kijowie, w V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, co rozpoczęło wieloletnią współpracę i doprowadziło do dwóch publikacji. Inne przejawy współpracy naukowej, w ramach której badania dr Sobańskiej były prowadzone w różnych instytucjach to mikroskopia sił atomowych z sondą Kelvina przeprowadzona w Hiszpanii, w University of Valencia, modelowanie zarodkowania przeprowadzone w Rosji, w St. Petersburg University. W wielu wypadkach próbki wytworzone i wstępnie zbadane przez habilitantkę były przedmiotem dalszych badań i eksperymentów technologicznych w różnych instytucjach krajowych i zagranicznych, co doprowadziło do wielu znaczących publikacji.

Poza działalnością ściśle naukową, habilitantka wykazała się działalnością organizacyjną i popularyzatorską, w szczególności uczestniczyła w organizacji konferencji i warsztatów oraz napisała artykuł popularno-naukowy.

Podsumowując, dr Marta Sobańska z Instytutu Fizyki PAN udokumentowała swoim dorobkiem naukowym, że spełnia minimalne ustawowe wymagania warunkujące nadanie stopnia doktora habilitowanego, a przedstawiony cykl sześciu publikacji zatytułowany „Mechanizmy spontanicznej krystalizacji nanodrutów GaN techniką epitaksji z wiązek molekularnych na amorficznych podłożach” stanowi osiągnięcie naukowe o znacznym wkładzie w rozwój fizyki wzrostu kryształów. **W związku z tym wnioskuję o dopuszczanie dr Marty Sobańskiej do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.**



Wojciech Pacuski