

Kraków, 20.04. 2022

Prof. dr hab. Józef Korecki
Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni
im. Jerzego Habera PAN

Recenzja

**w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
dr Marcie Sobańskiej
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne**

Przebieg pracy naukowej i zawodowej

Dr Marta Sobańska ukończyła w roku 2009 studia magisterskie na kierunku fizyka Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, a pracę magisterską „Samoorganizujący się wzrost nanometrowych wysp Au na powierzchni Mo” zrealizowała w Instytucie Fizyki PAN pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Wawro. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektronika został nadany jej przez Radę Naukową Instytutu Technologii Elektronowej w Warszawie w lipcu 2017, a praca doktorska zrealizowana w Instytucie Fizyki PAN (promotor prof. dr hab. Zbigniew Żytkiewicz) była zatytułowana „Wzrost i właściwości nanodrutów azotku galu otrzymywanych metodą MBE z plazmowym źródłem azotu”.

Od ukończenia studiów Habilitantka jest zatrudniona w Instytucie Fizyki, najpierw do roku 2019 na stanowiskach technicznych, następnie jako asystent (do roku 2021), a obecnie jako adiunkt.

W latach 2013-2017 odbyła kilka krótkoterminowych (łącznie 2 miesiące) wizyt badawczych w Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik w Berlinie.

Ocena osiągnięć naukowych

Recenzowany wniosek habilitacyjny oceniony jest pod kątem spełnienia kryteriów określonych w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z uwzględnieniem art. 179 ust. 6 pkt 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Jako osiągnięcia naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr Marta Sobańska przedstawiła cykl sześciu wieloautorskich artykułów

naukowych zatytułowany „Mechanizmy spontanicznej krystalizacji nanodrutów GaN techniką epitaksji z wiązek molekularnych na amorficznych podłożach”. Do zbioru zaliczają się następujące publikacje, wymienione zgodnie z numeracją w autoreferacie:

[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 AlxOy: in situ quadrupole mass spectrometry studies”, *Nanotechnology* 30 (2019) 154002.

[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 (2020) 27932–27939.

[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 AlxOy nucleation layer”, *Nanotechnology* 31 (2020) 184001.

[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 AlxOy Nucleation Stripes*, *Crystal Growth & Design* 20 (2020) 4770.

[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 (2020) 1904.

[H6] A. Wierzbicka, G. Tchutchulashvili, M. Sobanska, K. Klosek, R. Minikayev, J.Z. Domagala, 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 (2017) 1014–1019.

Wszystkie czasopisma, w których zostały opublikowane wyżej wymienione artykuły spełniają wymogi ustawowe, co pozwala formalnie zaliczyć cykl jako osiągnięcie habilitacyjne.

Dr Marta Sobańska jest pierwszym autorem i jednocześnie autorem korespondencyjnym w czterech artykułach. Dla artykułów H3, H4, i H5 oświadczenia Habilitantki i współautorów jednoznacznie wskazują na wiodący i dominujący wkład dr Marty Sobańskiej w ich powstanie.

Przedstawiona przez Habilitantkę ocena wkładu własnego do publikacji [H1], którą określa ona w autoreferacie jako podstawową w cyklu, nie jest do końca spójna z oświadczeniami współautorów. Według Habilitantki:

„...zainicjowałam badania i przygotowałam koncepcję pracy, wykonałam prace technologiczne związane z krystalizacją techniką PAMBE układów nanodrutów GaN na podłożach α -AlxOy i SiNx, wykonałam pomiary kinetyki wzrostu techniką QMS, opracowałam wyniki doświadczalne i dokonałam ich interpretacji wraz z dopasowaniami wartości parametrów opisujących zależność czasu inkubacji od strumieni Ga i N oraz temperatury, przygotowałam rysunki, pierwszą wersję artykułu oraz odpowiedź na uwagi recenzentów wraz z edycją końcowej wersji manuskryptu”

Tak sformułowane oświadczenie oznacza w zasadzie, że wszystkie wymienione etapy prac są indywidualnym wkładem składającej oświadczenie. Tymczasem w oświadczeniach współautorów czytamy między innymi, że ich wkład to:

Dr. Lutz Geelhaar - the participation in the initiation and conceptualization

Dr. Sergio Fernández-Garrido - the conceptualization, of the study together with dr. Marta Sobanska, the supervision of the experimental tasks,

Dr. Gabriele Calabrese - contribution to sample preparation and to acquisition of quadrupole mass spectrometry data together with dr. Marta Sobanska.

Nie kwestionując istotnego, może nawet dominującego wkładu dr Marty Sobańskiej w powstanie tego artykułu uważam, że oświadczenie powinno stwierdzać współudział w pewnych etapach powstawania pracy. Warto też w tym miejscu zwrócić uwagę (czego Habilitantka nie czyni w autoreferacie), że główna metoda eksperymentalna, na której oparta jest praca [H1] oraz zastosowana metodyka pozyskania i analizy danych ze spektrometrii mas została opracowana w Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (metodyka została szczegółowo opisana w pracy S. Fernández-Garrido, J.K. Zettler, L. Geelhaar, O. Brandt, Monitoring the formation of nanowires by line-of-sight quadrupole mass spectrometry: A comprehensive description of the temporal evolution of GaN nanowire ensembles, Nano Lett. 15 (2015) 1930–1937), gdzie chyba (jak to wynika z podziękowań) badania zostały wykonane.

Artykuł [H2] to mono-metodyczna analiza procesu inkorporacji azotu w amorficzną warstwę buforową Al_xO_y badanego metodą spektroskopii fotoelektronów. Z oświadczenia pierwszego autora, prof. Krystyny Jabłońskiej, wynika, że jej wkład polegał na pomiarze i interpretacji widm XPS oraz napisaniu części pracy związanej z widmami XPS oraz udziale w redakcji pracy. Nie można uznać w tym przypadku, że wkład Habilitantki był dominujący, skoro praca dotyczy praktycznie tylko analizy XPS. Podobna sytuacja ma miejsce dla pracy [H6] – tutaj z oświadczenia pierwszego autora, dr Aleksandry Wierzbickiej, wynika, że jej wkład w powstanie tej pracy był dominujący. Na podstawie oświadczeń uznaję jednak, że

Habilitantka, przynajmniej częściowo, inspirowała powstanie obu tych prac i jej wkład merytoryczny był istotny, zwłaszcza na etapie wzrostu nanostruktur.

Podsumowując ten fragment recenzji, stwierdzam, że z analizy oświadczeń Habilitantki i współautorów wynika, że pani dr Marta Sobańska miała dominujący merytoryczny i dający się wyodrębnić wkład w osiągnięcie w postaci cyklu artykułów zatytułowanego „Mechanizmy spontanicznej krystalizacji nanodrutów GaN techniką epitaksji z wiązek molekularnych na amorficznych podłożach”.

Artykuły zostały opublikowane w latach 2017- 2020 w dobrych specjalistycznych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i charakterze interdyscyplinarnym, łączących nauki o materiałach z naukami podstawowymi, w szczególności z naukami fizycznymi (dwa czasopisma, Electronics i RSC Advances nie są przypisane do fizyki, ale do chemii). Najnowszy (za 2020 rok) impact factor według bazy Journal Citation Reports dla tych czasopism to 2.40 (Electronics), 3.36 (RSC), 4.08 (Crystal Growth & Design), 3.87 (Nanotechnology), 6.70 (Applied Surface Science), a na liście ministerialnej przypisano im 100 punktów, za wyjątkiem 140-punktowego ASS. Prace te do dnia sporządzenia recenzji były cytowane według bazy „Web of Science” 32 razy, a 19 razy z wyłączeniem samocytowań.

Przechodząc do merytorycznego omówienia osiągnięcia należy stwierdzić, że dotyczy ono ważnej i aktualnej tematyki, chociaż problematyka nanodrutów GaN zapoczątkowana na przełomie wieków wydaje się być znacznie bardziej perspektywiczna w odniesieniu do chemicznych metod ich otrzymywania. Nie mniej istnieje znaczące środowisko naukowe, które stosuje epitaksję z wiązek molekularnych wspomaganą plazmą (tzw. PAMBE), do którego należy zespół, w którym pracuje Habilitantka. Jej specjalnością są nanodruły GaN otrzymywane na kontrolowanych amorficznych podłożach, a osiągnięcie habilitacyjne jest bezpośrednim rozwinięciem i poszerzeniem badań tych układów z okresu doktoratu.

Praca [H1], określana w autoreferacie jako podstawowa, dotyczy kinetyki samoorganizującego się tworzenia nanodrutów GaN na podłożu Si z amorficznym buforem $a\text{-Al}_x\text{O}_y$, a główną techniką badawczą jest spektrometria mas. Ponieważ w warunkach bogatych w azot prędkość wzrostu GaN limitowana jest strumieniem galu, na podstawie szybkości wbudowania się galu w nanodruły można było określić fazy i kinetykę wzrostu nanodrutów. Analiza kinetyki wzrostu pozwoliła na dobór warunków krystalizacji oraz sterowanie procesem wzrostu i jego kolejnymi fazami w zależności od stosowanego podłoża: amorficznego tlenku aluminium lub azotowanego krzemu. W wyniku takiej analizy pokazano,

że warstwa $a\text{-Al}_x\text{O}_y$ stwarza dogodniejsze warunki krystalizacji nanodrutów GaN, niż powszechnie stosowane podłoże SiN_x/Si .

Artykuł [H2] dotyczy porównania stanu chemicznego azotowanych powierzchni szafiru (jako referencji) oraz warstw $a\text{-AlO}_x$ na krzemie i szafirze. We wstępie jako motywację do podjęcia badań podano między innymi wpływ faz zawierających azot na nukleację nanostruktur GaN. Staranna analiza XPS pozwoliła na określenie stanu chemicznego azotu i jego rozkładu po głębokości. Stwierdzono, że azot łatwiej wbudowuje się do warstwy $a\text{-AlO}_x$ niż do kryształu szafiru, a dodatkowo ilość wbudowanego azotu zależy od podłoża: znacząco więcej azotu znaleziono w $a\text{-AlO}_x/\text{Si}$ niż w $a\text{-AlO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$. Zidentyfikowano trzy fazy zawierające azot: AlN, tlenoazotek glinu oraz fazę $\text{Al}(\text{NO}_y)_x$. Natomiast wnioski dotyczące znaczenia obserwowanych faz dla nukleacji nanodrutów są nieco opóźnione, bo pojawiają się nie w konkluzjach artykułu, ale dopiero w autoreferacie.

W pracach [H3] i [H4] analizowano selektywny wzrost nanodrutów GaN na określonych obszarach podłoża wyróżnionych przez obecność litograficznie wytworzonych struktur (pasków) o mikrometrowych rozmiarach w buforowych warstwach $a\text{-Al}_x\text{O}_y$. Powiązano wymiary nanodrutów z warunkami depozycji (stosunkiem strumieni N i Ga), co pozwoliło na optymalizację proporcji wymiarów nanodrutów pod kątem ich największego wydłużenia. Poza tym, analizując rozkład wysokości nanodrutów w funkcji odległości od krawędzi paska, oszacowano średnią drogę dyfuzji galu na $a\text{-Al}_x\text{O}_y$ na około 500 nm. Dokładnej analizie wpływu procesu dyfuzji na wysokości nanodrutów w tym układzie poświęcona jest praca [H4]. Pokazano między innymi, że rozkład wysokości silnie zależy od szerokości pasków $a\text{-Al}_x\text{O}_y$, a wyniki eksperymentalne zinterpretowano w oparciu o model nukleacji wysp GaN potwierdzający wcześniejsze oszacowania drogi dyfuzji.

W pracy [H5] podjęto problematykę polarności nanodrutów wynikającej z różnej terminacji powierzchni. Z pomiarów metodą mikroskopii sił z sondą Kelvina, przeprowadzonych w zespole prof. Any Cros w Institute of Materials Science, University of Valencia pokazano różny stopień współlistnienia nanodrutów o różnej polarności w zależności od sposobu przygotowania podłoża.

Praca [H6], najwcześniejsza w cyklu, odbiega nieco tematycznie od pozostałych, dotyczy bowiem nanodrutów na czystej i amorfizowanej azotem powierzchni krzemu, podczas gdy centralnym zagadnieniem pozostałych prac są raczej nanodrutu na amorficznym tlenku aluminium. W pracy pokazano, że orientacja nanodrutów, prostopadła do powierzchni dla azotowanego krzemu Si_xN_y , zmienia się na nachyloną pod kątem 60° jeśli struktura GaN ma bezpośredni kontakt z podłożem Si. Ma to związek z różnicami strukturalnymi: na Si_xN_y

nanodruły wykazują czystą strukturę wurcytu, podczas gdy na krzemie GaN nukleuje w postaci piramid o strukturze blendy cynkowej i dopiero w późniejszej fazie następuje strukturalne przejście do struktury wurcytu z osią c prostopadłą do jednej ze ścian piramidy. Te ciekawe wyniki mogły zostać uzyskane dzięki badaniom rentgenowskim z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego.

Podsumowując, recenzowane osiągnięcie habilitacyjne jest wynikiem około dziesięcioletniej działalności naukowej pani dr Marty Sobańskiej, która tematyką nanodrutów GaN na amorficznych warstwach buforowych zajmuje się już od realizacji rozprawy doktorskiej. Warto wspomnieć, że trzy publikacje cyklu mają podziękowania dla NCN w związku z realizacją grantu Preludium datującego się z końcowej fazy realizacji doktoratu. Przedstawione osiągnięcie jest istotnym uzupełnieniem i podsumowaniem dotychczasowej aktywności naukowej i stanowi znaczny wkład w rozwój technologii nanostruktur półprzewodnikowych i rozumienie ich właściwości fizyko-chemicznych.

Ocena pozostałego dorobku i aktywności naukowej

Poza osiągnięciem habilitacyjnym pani dr Marta Sobańska jest współautorką 28 prac opublikowanych przed doktoratem i 12 prac opublikowanych po doktoracie. Z prac przed doktoratem w siedmiu jest pierwszym autorem i sadząc z tytułów są to prace bezpośrednio związane z rozprawą doktorską, a pośrednio, przez tematykę, z habilitacją. Czterdzieści współautorskich artykułów, poza cyklem habilitacyjnym, to osiągnięcie ponadprzeciętne. Dane naukometryczne też bardzo pozytywnie świadczą o aktywności naukowej Habilitantki. Sumaryczny IF wszystkich publikacji, podany we wniosku według bazy JCR, wynosi w zaokrągleniu 138 (61 przed doktoratem oraz 77 po doktoracie). Liczba cytowań wszystkich publikacji według bazy Web of Science to 418, z czego jedna 1/3 to samocytowania. Indeks Hirscha wg tej samej bazy wynosi 12. Pewnego rodzaju niedostatkim jest znikoma liczba publikacji w tych najwyżej punktowanych czasopismach (140- i 200-punktowych na liście ministerialnej).

Znacząca aktywność naukowa dr Marty Sobańskiej obejmuje ponadto:

- kierowanie w latach 2017 – 2019 projektem NCN Preludium, wynikiem realizacji którego było siedem publikacji (trzy z nich wchodzi w cykl habilitacyjny)
- uczestnictwo w charakterze wykonawcy w 6 projektach NCN, NCBiR i POIG.
- dwa udzielone patenty krajowe (jako współtwórca),

- prezentowanie wyników badań na konferencjach międzynarodowych (19 wystąpień ustnych, w tym 4 wystąpienia na zaproszenie), wygłoszenie 10 seminariów naukowych, współautorstwo kilkudziesięciu konferencyjnych prezentacji plakatowych,
- recenzowanie artykułów w czasopismach z listy JCR.

Dr Marta Sobańska odbyła cztery dwutygodniowe wizyty badawcze w Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik w Berlinie, których bezpośrednim wynikiem są dwie publikacje i kilka wystąpień konferencyjnych. Aktywnie współpracuje z kilkoma naukowymi grupami krajowymi i zagranicznymi.

Informacja o nagrodach, osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych.

Dr Marta Sobańska jest laureatką prestiżowych nagród i stypendiów naukowych wśród których warto wymienić trzy nagrody za najlepszy doktorat:

- Nagroda im. prof. Jana Czochralskiego (2019),
- Nagroda naukowa Polskiego Towarzystwa Wzrostu Kryształów (2018),
- Nagroda naukowa Polskiego Towarzystwa Próżniowego (2018).

Jest też laureatką 3-letniego stypendium dla Wybitnego Młodego Naukowca przyznanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Pełniła rolę recenzenta rozprawy doktorskiej w Norwegian University of Science and Technology (NTNU) w Trondheim.

Była członkiem Komitetu Organizacyjnego dużej międzynarodowej konferencji „17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy” zorganizowanej w roku 2013 w Warszawie.

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr Marty Sobańskiej stanowi znaczny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej właściwości nanostruktur półprzewodnikowych i ich technologii, pozycjonującej się w dyscyplinie nauki fizyczne, i spełnia wymagania art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z uwzględnieniem art. 179 ust. 6 pkt 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Ponadto uważam, że dr Marta Sobańska wykazała się istotną aktywnością naukową, owocującą publikacjami, realizowaną w zagranicznej instytucji naukowej.

