



Prof. dr hab. inż. Grzegorz Sęk

Wrocław, 01.09.2020 r.

Ocena osiągnięć naukowych i dorobku naukowego dr. Rafała Jakieli w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Pan dr Rafał Jakiela z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie jako swoje osiągnięcie habilitacyjne przedstawił cykl sześciu, powiązanych tematycznie publikacji, opatrzonych wspólnym tytułem „Rola pierwiastków atmosferycznych w półprzewodnikach”. Tematyka ta jest właściwie kontynuacją badań prowadzonych przez dr. Jakielę wcześniej, zarówno w ramach pracy doktorskiej, która dotyczyła mechanizmów dyfuzji w półprzewodnikach III-V, a nawet przedtem (tematem pracy magisterskiej była implantacja krzemu do arsenku galu). Pan dr Jakiela wyspecjalizował się w badaniach doświadczalnych metodą SIMS i taki też jest jego główny wkład do publikacji składających na osiągnięcie habilitacyjne. Swego rodzaju podsumowaniem tej działalności badawczej jest obszerny, jednoautorski artykuł przeglądowy w Acta Physica Polonica A opublikowany w roku 2019 (praca H6), dotyczący dyfuzji takich pierwiastków jak wodór, węgiel, azot oraz tlen w półprzewodnikach szerokoprzerwowych, głównie w kontekście domieszek wprowadzanych intencjonalnie lub nieintencjonalnie w procesach technologicznych. Już sama ta publikacja pokazuje, że wkład pana Jakieli do tego obszaru badań jest istotny.

Pozostałe publikacje cyklu koncentrują się wokół węższych tematycznie lub wręcz pojedynczych zagadnień. I tak, praca H1, która jest krótkim, niepuktowanym komunikatem pokonferencyjnym, dotyczy dyfuzji atomów tlenu w GaN podczas wzrostu kryształu metodą MOCVD. Celem było zweryfikowanie czy tlen w warstwach epitaksjalnych GaN pochodzi z podłoża szafirowego, czy też jest wynikiem zanieczyszczenia powierzchni podłoża. Wyniki pomiarów SIMS wskazały, że dyfuzja tlenu do warstwy epitaksjalnej GaN następuje tylko w przypadku implantacji tlenu do podłoża szafirowego, zaś nie jest istotna w przypadku wzrostu GaN na implantowanym tlenem podłożu GaN oraz z szafiru poddanego bombardowaniu powierzchni argonem. Należy dodać, że część z tych badań (przygotowanie próbek do pomiarów SIMS) pan dr Jakiela przeprowadził w ośrodku zagranicznym (Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf).

Praca H2 jest już systematycznym studium nad procesami dyfuzji wodoru w implantowanym wodorem i wygrzewanym węgliku krzemu. Pokazano, że wydajność implantacji SiC wodorem zależy w pierwszej kolejności od rodzaju domieszkowania, gdzie zwiększoną ruchliwość atomów wodoru w SiC domieszkowanym na typ p



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska

Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79
F: +48 71 328 36 96

wppt.kfd@pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Bank Zachodni WBK S.A.

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



powiązano z nadwyżką zjonizowanych wakansów. Zwiększone dawki jonów wodoru w procesie implantacji skutkowały degradacją materiału oraz pojawieniem się dużych koncentracji tlenu. Jest to, moim zdaniem, najlepsza praca całego cyklu, a znaczenie rezultatów badań metodą SIMS jest dla niej kluczowe.

Niejako kontynuacją tych badań jest publikacja H3, której celem było wyjaśnienie nadspodziewanie wysokiej zawartości tlenu w SiC zdefektowanym procesem bombardowania wodorem. Na podstawie wyników SIMS (również dla próbek wygrzewanych w różnej atmosferze oraz referencyjnych z krzemu), w połączeniu z niską rozpuszczalnością tlenu w heksagonalnym SiC, skonkludowano, że tlen pochodzi najprawdopodobniej z otoczenia – wnika z krawędzi próbki poprzez porowatą strukturę implantowanej powierzchni. Praca kończy się obietnicą kolejnej publikacji, która miała definitywnie rozstrzygnąć o prawdziwości tej hipotezy. Jednak nie znalazłem jej w dorobku pana dr. Jakiely.

Publikacja H4 przedstawia wyniki badań dyfuzji wodoru (pomiaru SIMS połączone z pomiarami fotoluminescencji) dla warstw azotku galu domieszkowanych magnezem lub krzemem otrzymywanych metodą MBE (co było wyróżnikiem tych badań w tym okresie). Osiągnięto wysoką wykrywalność wodoru w połączeniu z dużą rozdzielczością profili głębokościowych w grubych warstwach, co jest warte podkreślenia jako wkład pana dr. Jakiely do rozwoju metod doświadczalnych. W rezultacie pokazano, między innymi, że w warstwach GaN typu p współczynnik dyfuzji wodoru jest wysoki, i równocześnie nie odnotowano dyfuzji wodoru w materiale typu n, co znalazło przełożenie na zmiany własności emisyjnych obu typów warstw po ich wygrzewaniu w atmosferze H_2+NH_3 .

Artykuł H5, który jest *de facto* pracą pokonferencyjną, dotyczył badania koncentracji, dyfuzji i rozpuszczalności tlenu w krzemie. Praca jest w dużej mierze metodologiczna, i poprzez badanie krzemu różnego pochodzenia (warstwy epitaksjalne na różnych podłożach krzemowych i lite krysztale) koncentruje się ona na poprawie czułości metody SIMS, co jest ważnym osiągnięciem dr. Jakiely i istotnym wkładem do tego obszaru nauki. Uzyskano rekordowo wysoką wykrywalność tlenu w krzemie na poziomie 10^{15} at/cm³, co zaś pozwoliło badać procesy migracji atomów tlenu w ultra czystych warstwach otrzymywane metodą CVD (dyfuzję atomów tlenu po wygrzewaniu w atmosferze argonu lub w próżni).

Wyniki wielu lat pracy dr. Jakiely mają, moim zdaniem, istotne znaczenie zarówno z punktu widzenia poznawczego i badań podstawowych nad procesami dyfuzji atomów (w szczególności pierwiastków atmosferycznych) w krysztalach półprzewodnikowych, ale także, a może przede wszystkim, w kontekście aplikacyjnym i doskonalenia technologii wytwarzania i obróbki materiałów i struktur



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79
F: +48 71 328 36 96

wppt.kfd@pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



półprzewodnikowych, poprawy ich jakości strukturalnej w procesach wzrostu epitaksjalnego, domieszkowania, wygrzewania, etc. Na tym tle nie do końca zrozumiałym jest wybór jakiegoś pana dr. Jakiela dokonany definiując tytuł osiągnięcia, gdyż można w jego dorobku z ostatnich kilku lat znaleźć dobrze opublikowane prace dotyczące podobnych aspektów, ale dla pierwiastków nieatmosferycznych, w których jest jednym z pierwszych autorów, a do swego osiągnięcia habilitacyjnego ich jednak nie włączył.

Pomimo, że opisane przez dr. Jakielę artykuły naukowe składające się na osiągnięcie opublikowane zostały w czasopismach raczej średniej rangi (co przekłada się także częściowo na niedużą liczbę cytowań), to istotny wkład pana dr. Jakieli do tych prac jest niezaprzeczalny. Pewną słabością jest fakt, że jest on zdecydowanie dominujący jedynie w pracach H1, H5 i H6, co zresztą ma odzwierciedlenie w kolejności autorów w poszczególnych artykułach. W pracach H2, H3 i H4 nie jest zaś jasnym kto pełnił rolę wiodącą, był autorem koncepcji badań i artykułu, koordynował pracę i zadbał o spójność interpretacji wyników. Nie wynika to również z oświadczeń współautorów skonfrontowanych z zadeklarowanym wkładem merytorycznym Pana dr. Jakieli. Należy jednak podkreślić, że we wszystkich publikacjach składających się na osiągnięcie habilitacyjne zawarta jest dyskusja procesów fizycznych stojących za danym rezultatem eksperymentalnym (choć czasami spekulatywna), świadcząca jednak o głębokim zrozumieniu fizyki zachodzących zjawisk. I do tej części pan dr. Jakiela miał niewątpliwie swój wyraźny wkład. Niebagatelnym elementem osiągnięć dr. Jakieli był także rozwój metodologii badawczej i poprawa czułości w pomiarach SIMS, co ma szczególne znaczenie przy detekcji zawartości atomów pierwiastków atmosferycznych.

Na łączny dorobek dr. Rafała Jakieli składa się łącznie ponad 190 publikacji (ponad 160 po doktoracie), w tym wiele w prestiżowych czasopismach, jak na przykład Nature Communications, Physical Review B (10 prac), Nanoscale Research Letters (2 prace), Applied Physics Letters (12 prac). Pan Jakiela był wykonawcą w wielu projektach krajowych i międzynarodowych, a wyniki swoich badań prezentował na konferencjach naukowych (były one także częścią prezentacji współpracujących z nim naukowców, w tym dwóch wykładów zaproszonych). Wygłosił osobiście dwa krótkie referaty (jeden po doktoracie) i ponad dwudziestokrotnie prezentował wyniki w formie plakatu (15 razy po doktoracie), oraz kilkakrotnie na seminariach w innych jednostkach. Recenzował do tej pory tylko trzy artykuły w czasopismach. Warto dodać, że dr. Jakiela może się pochwalić intensywną współpracą z otoczeniem gospodarczym - prowadził badania wspólnie z polskimi i zagranicznymi firmami (Ammono, Vigo, Freiburger Compound Materials GmbH, ASM International), a w swoim dorobku ma również dwa krajowe patenty, których jest współautorem.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79
F: +48 71 328 36 96

wppt.kfd@pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wrocławska

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Z obowiązku muszę skomentować również aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej. Pan dr. Jakiela nie ma co prawda na swoim koncie żadnego stażu długoterminowego, ale ma za sobą krótkie zagraniczne pobyty naukowe, w tym co najmniej jeden po doktoracie (w Helmholtz-Zentrum Dresden). Prowadzi zaś szeroko zakrojoną i efektywną współpracę z wieloma zespołami z różnych ośrodków w kraju i za granicą, która jest udokumentowana wspólnymi publikacjami.

Trudno natomiast jest ocenić działalność dydaktyczną pana dr. Jakieli, gdyż jest ona bardzo skromna, co jest w dużej mierze usprawiedliwione jego zatrudnieniem, obecnie w jednostce Polskiej Akademii Nauk, a wcześniej także w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych. W niewielkim stopniu można tu zaliczyć wykłady wygłaszane na seminariach w ośrodkach uniwersyteckich oraz zajęcia z fizyki dla młodzieży w liceum, gdzie dr Jakiela pracuje od kilkunastu lat.

W autoreferacie trudno także znaleźć informacje o działalności organizacyjnej. Doktor Jakiela kierował po doktoracie tylko jednym niewielkim projektem związanym z pobytem w Dreźnie, na który samodzielnie uzyskał finansowanie (oraz jednym grantem KBN w trakcie doktoratu).

Za to, co warto zaznaczyć, dr Jakiela zajmuje się działalnością związaną z popularyzacją nauki. Prezentował laboratorium i robił pokazy w ramach Festiwalu Nauki i Dni Otwartych Instytutu Fizyki PAN. Jest także autorem tekstów w dziale nauka strony blogowej Salon24.pl.

W podsumowaniu stwierdzam, że pomimo pewnych słabości przedstawionego osiągnięcia w postaci cyklu powiązanych tematycznie publikacji, jest on wystarczający do spełnienia wymogów ustawowych. Wkład dr. Rafała Jakieli do tego obszaru badań oceniam jako istotny, co jest dodatkowo wsparte jego sumarycznym dorobkiem naukowym, który jest wręcz imponujący, oraz dużą aktywnością na innych polach pracy naukowca. Pan dr. Jakiela jest rozpoznawalnym specjalistą w badaniach procesów dyfuzji w półprzewodnikach oraz w pomiarach SIMS i w mojej ocenie jest dojrzałym naukowcem gotowym do samodzielności naukowej. Dlatego też uważam iż w pełni zasługuje na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Grzegorz SFS



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Podstawowych Problemów
Techniki

Katedra Fizyki Doświadczalnej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79
F: +48 71 328 36 96

wppt.kfd@pwr.edu.pl
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434