



Prof. dr hab. inż. Magdalena Parlińska-Wojtan

Zakład Materiałów Funkcjonalnych

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Benedykta Jany

„Oddziaływanie atomów złota z powierzchniami półprzewodników jedno (Ge) i wieloskładnikowych (AIII-BV) oraz przemiany fazowe im towarzyszące badane za pomocą technik mikroskopii elektronowej oraz narzędzi bazujących na Machine Learning”

Przedstawiona do recenzji rozprawa habilitacyjna dr Benedykta Jany pt. „Oddziaływanie atomów złota z powierzchniami półprzewodników jedno (Ge) i wieloskładnikowych (AIII-BV) oraz przemiany fazowe im towarzyszące badane za pomocą technik mikroskopii elektronowej oraz narzędzi bazujących na Machine Learning”, została przygotowana na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Kandydat podjął ciekawą i aktualną tematykę badawczą, dotyczącą oddziaływania atomów złota z powierzchniami półprzewodnikowymi. Złoto jest używane do wytwarzania kontaktów elektrycznych w większości stosowanych obecnie urządzeń elektronicznych opartych na półprzewodnikach. Kandydat do wytwarzania złotych nano-kontaktów wykorzystał metodę samoorganizacji atomów złota na powierzchniach półprzewodników indukowaną temperaturowo w warunkach utrawysokiej próżni UHV (ciśnienie rzędu 10⁻¹⁰ mbar). Za pomocą techniki epitaksji z wiązki molekularnej (MBE), Kandydat naniósł kilka warstw atomowych złota na atomowo czyste podkłady półprzewodników jednoskładnikowych (Ge) oraz wieloskładnikowych (AIII-BV). W ten sposób wytworzone nano-kontakty, w formie różnych nanostruktur są zazwyczaj charakteryzowane przy użyciu technik SPM, takich jak STM czy AFM, natomiast Kandydat dodatkowo zastosował komplementarne techniki mikroskopii elektronowej, gdyż dają bezpośrednio informacje o lokalnych zmianach chemicznych (obrazowanie SEM BSE czy też analiza EDX w nanoskali) oraz o strukturze wewnętrznej badanych obiekt w (SEM EBSD oraz obrazowanie HAADF STEM).

Rozprawa habilitacyjna dr Benedykta Jany składa się z cyklu 9 prac opublikowanych w bardzo dobrych czasopismach m.in. Beilstein Journal of Nanotechnology, Surface & Coatings Technology, Applied Surface Science, Micron, Nanoscale czy Scientific Reports z grupy Nature, Nano Letters poprzedzonych obszernym wstępem. Prace są cytowane, co świadczy o



rozpoznawalności Kandydata w środowisku naukowym. Niestety, autoreferat jest napisany tak ciężkim stylem, że czyta się go bardzo trudno i jest właściwie niezrozumiały. Nie umniejsza to jednak wartości naukowej prac H1-H9, ani dorobku Kandydata, jednak, aby go ocenić należy raczej opierać się na oryginalnych publikacjach, niż na autoreferacie.

W pierwszej pracy Habilitant zajął się zagadnieniami oddziaływania kilku mono-warstw atomowych złota z powierzchnią Ge(001). Efekt tego oddziaływania prowadzi do powstania na powierzchni Ge(001) rekonstrukcji powierzchniowej $c(8 \times 2)$ widocznej w mikroskopii STM, jako pasma wzbogaconych w złoto drutów atomowych wykazujących ciekawe cechy przewodnictwa 1D. W pracy H2, Kandydat opisał badania dynamiki wzrostu wysp/klastrów 3D które mogłyby posłużyć, jako dobrze zdefiniowane elektrody do podłączenia się z zewnątrz do tak ciekawego elektrycznie układu lub jako podłoże do wzrostu nano-prętów germanowych. Wykonał serię eksperymentów dla różnych temperatur samoorganizacji cienkiej warstwy 6-ciu warstw atomowych złota na powierzchni Ge(001) w warunkach UHV. Wynikiem badań było uzyskanie kontroli kształtów oraz rozmiarów nano-wysp w procesie samoorganizacji w zakresie 20-100 nm. Kandydat zbadał możliwość przeniesienia tego procesu z warunków UHV do warunków bardziej zbliżonych do normalnych. W tym celu zbadał in situ w mikroskopie SEM, jak przebiega proces samoorganizacji w warunkach niskiej próżni (ciśnienie 3mbar H_2O) wygrzewając próbkę na dedykowanym stoliku grzejącym. Na powierzchni próbki zaczęły pojawiać się zagłębienia, związane z procesem trawienia germanu indukowanego metalem (Au), a rozmiar zagłębień był proporcjonalny do metalowych klastrów w nich. Interesującym aspektem tej pracy jest fakt, że opisany w niej proces mógłby zostać wykorzystany technologicznie, jako nowa metoda tworzenia zdefiniowanych zagłębień w półprzewodnikach germanowych, która nie wymaga roztworu wodnego. Wyniki eksperymentalne pracy H4 pozwoliły zaproponować mechanizm formowania się nowej fazy złota Au hcp w procesie samoorganizacji na powierzchni składający się z kilku następujących po sobie etapów. Wynikiem tych badań było wyznaczenie diagramu fazowego pokazującego obszary występowania nowej fazy złota Au hcp w zależności od temperatury samoorganizacji, która miała wpływ na koncentrację germanu w cieczy Au/Ge po przetopieniu, oraz od tempa chłodzenia próbki. W pracy H7 Habilitant wyznaczył atomową strukturę wewnętrzną oraz skład chemicznego nano-wysp oraz interfejsu wyspa/podłoże wytworzonych w warunkach niskiej próżni.

Oddziaływanie atomów złota z powierzchniami półprzewodników wieloskładnikowych (AIII-BV) zostało zbadane pracach H5, H6 i H8. W pracy H6 Kandydat zbadał proces samoorganizacji złota na powierzchni arsenku galu GaAs(001). Natomiast, obszar dyfuzji złota do sieci InSb został ilościowo opisany w pracy H8. Uwidocznione zostały niejednorodności we wbudowywaniu się atomów złota w sieć atomową InSb, natomiast podsieć atomów antymonu była znacznie bardziej bogata w złoto niż podsieć indu. Wyniki te zostały potwierdzone teoretycznie za pomocą zaawansowanych obliczeń teorii funkcjonału gęstości (DFT) uwzględniających także efekty temperatury.



Podsumowując, dr Jany zbadał oddziaływanie atomów złota oraz przemiany fazowe na powierzchniach półprzewodników jedno- (Ge) i wieloskładnikowych (AIII-BV) technikami mikroskopii elektronowej oraz nowoczesną analizą zebranych danych za pomocą Machine Learning. Kandydat zaobserwował i rzetelnie scharakteryzował, po raz pierwszy, przemiany fazowe na powierzchniach półprzewodnikowych będących wynikiem oddziaływania atomów złota, stosując techniki takie jak spektroskopia EDX, dyfrakcja EBSD czy też obrazowanie HAADF STEM, czułe na zmianę składu chemicznego oraz fazy. Zaobserwował i opisał pojawienie się nowej heksagonalnej formy złota Au hcp w procesie samoorganizacji na powierzchni germanu. Dzięki temu, udało mu się scharakteryzować skomplikowaną ze względu na reaktywność chemiczną naturę oddziaływania złota z powierzchniami wieloskładnikowymi AIII-BV. Kandydat zidentyfikował również reakcje chemiczne na powierzchniach półprzewodników przyczyniające się do tworzenia się nanostruktur. Dokonał także dogłębnej analizy powstałego nano-złącza metal-półprzewodnik. Wiele z tych wyników Habilitant uzyskał dzięki nowym pomysłom analizy danych bazujących na technikach Machine Learning. Badania pokazały, iż można z sukcesem użyć tych technik do analizy wielu problemów związanych z badaniem nanoukładów. Z przeprowadzonych badań wyłonił się nowy, kompletny i całościowy obraz oddziaływania złota z powierzchniami półprzewodnikowymi w skali atomowej. Z prac widać, że kandydat ma wysokie umiejętności eksperymentatorskie, gdyż techniki FIB czy wysokorozdzielczej STEM HAADF są złożone i wymagające. Należy tutaj również nadmienić obserwacje in situ SEM, które jak w wszystkie techniki in situ, są trudne technicznie i czasochłonne.

Dorobek naukowy Kandydata obejmuje 54 publikacje z listy Filadelfijskiej, z czego 6 jest opublikowanych przed rozprawą doktorską, 9 jest związanych tematycznie z niniejszym wnioskiem habilitacyjnym, a pozostałe 39 publikacji stanowi dorobek naukowy Habilitanta. Kandydat w momencie złożenia wniosku miał ok. 1117 (Web of Science) cytowań i indeks Hirscha 17 – są to dobre parametry, świadczące o rozpoznawalności międzynarodowej. Doświadczenie międzynarodowe, dr Jany nabywał podczas trzyletniego stypendium w IKP Forschungszentrum-Juelich, Niemcy na wyjeździe związanym z prowadzeniem badań naukowych do pracy doktorskiej. Ponadto dr Jany odbył kilka staży w EMAT University of Antwerp, staż naukowy w ramach programu ERASMUS+ oraz kilka szkoleń z mikroanalizy techniki EBSD. Ponadto Kandydat współpracuje aktywnie z ośrodkami takimi jak: Forschungszentrum-Juelich, Niemcy, Friedrich Schiller University Jena, Niemcy, Montanuniversitat Leoben, Austria oraz z Institute of Applied Physics, Atomic and Plasma Physics Group, TU Wien w Austrii.

Kandydat brał udział w 30 konferencjach naukowych o międzynarodowym zasięgu, z czego 7 przed uzyskaniem stopnia doktora, na których zaprezentował wyniki swoich badań w formie 9 plakatów i 21 referatów, z czego tylko jeden był na zaproszenie. Dr Jany brał udział jako wykonawca w 6 (5 x Opus, 1 Europejski) projektach badawczych, był również kierownikiem projektu Miniatura. Ponadto wykonał 2 ekspertyzy dla przemysłu.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Dr Jany ma bardzo bogaty dorobek dydaktyczny, ma bardzo dobre wyniki ankiet oceniających jakość prowadzonych przez Niego zajęć. Ponadto stworzył kurs dla doktorantów i studentów pt. „Analiza Komputerowa Obrazów Mikroskopowych”. Jest również opiekunem ćwiczeń a także angażował się w kilka akcji popularyzujących naukę prowadzonych przez Uniwersytet Jagielloński. Natomiast na dorobek organizacyjny Habilitanta składa się współorganizacja dwóch sympozjów naukowych oraz pełnienie funkcji webmastera w drugim Kandydatka od 2016 roku regularnie recenzuje manuskrypty w takich czasopismach takich jak Scientific Reports czy Computational Materials.

Przeczytałam również oświadczenia załączone do prac H1-H9. Muszę przyznać, że dla mnie, jako recenzenta, jedyną miarodajną informacją był wkład naukowy Kandydata w każdą z publikacji, tym bardziej, że tylko w 3 pracach jest On pierwszym i wiodącym autorem. Konieczność przedstawiania takich oświadczeń, prowadzi do swoistych absurdów. I tak z oświadczeń do prac H6 i H9 dowiadujemy się, że panowie Cempura, Kruk i Kryshtał siedzieli przy transmisyjnym mikroskopie elektronowym we trójkę i wykonywali pomiary próbek, a w pracy H8, podczas pomiarów przy mikroskopie siedziała również, będąca już na emeryturze, pani Prof. Czyska-Filemonowicz obserwując rzeczne próbki. Natomiast w publikacji H9 dr Jany wykonał właściwie większość pracy, łącznie z opracowaniem koncepcji badawczej, pomiarami, redagowaniem manuskryptu i koordynowaniem prac, a jest na przedostatnim miejscu wśród autorów. W takim razie co robił pierwszy autor? I tu nasuwa się pytanie czy naprawdę takie absurdalne oświadczenia są konieczne i wnoszą istotną informację o dorobku Kandydata? Czy w ramach procedury habilitacyjnej nie wystarczą oświadczenia tylko od Habilitanta dotyczące jego udziału? W ten sposób habilitanci, zamiast produkować niezliczoną ilość mało użytecznych dokumentów, mogliby przeznaczyć czas, na dalsze, interesujące ich, badania naukowe.

Podsumowując, uważam, że zarówno rozprawa habilitacyjna, jak i dorobki: naukowy, tudzież organizacyjny i dydaktyczny, spełniają wszystkie ustawowe wymagania i wnioskuję do Rady Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego o nadanie Panu dr Benedyktowi Jany tytułu doktora habilitowanego.

Magdalena Parlińska-Wojtan