



**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA
RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTRONIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: „Opracowanie metodologii charakteryzacji struktury elektronowej, gęstości stanów i morfologii powierzchni warstw techniką spektromikroskopii DEEM”

Autor rozprawy: mgr inż. Gabriel Cebaloss

Promotor: prof. dr hab. Inż. Marek Tłaczała, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Krzysztof Grzelakowski, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej

Dyscyplina: Elektronika

Okres ostatnich kilkudziesięciu lat to czas bardzo dynamicznego rozwoju wielu obszarów naszego życia, w których wykorzystywane są różnego rodzaju układy, narzędzia i przyrządy o unikatowych właściwościach. Rozwój ten możliwy był i jest przede wszystkim poprzez umiejętności miniaturyzacji i poznawania nowych fizykochemicznych właściwości obiektów o zmniejszonych rozmiarach oraz wymiarowości. W takich układach właściwości objętościowe ulegają zmianom i przestają być dominujące, a rolę taką przejmują powierzchnia i warstwa przypowierzchniowa. W ten sposób powstał niezwykle rozległy obszar badań (umownie nazywany nanonauką) i wykorzystywania ich wyników (nanotechnologia). Oczywistym staje się zatem konieczność konstruowania i wykorzystywanie przyrządów, które pozwalają na badania właściwości fizykochemicznych obiektów o nanometrycznych rozmiarach, a w szczególności badania właściwości ich powierzchni. Badania takie przeprowadzane są z reguły w warunkach wysokiej lub ultrawysokiej próżni i dlatego układy pomiarowe wyposaża się w wiele przyrządów, tak aby różne rodzaje badań prowadzone były *in situ*, i aby nie było konieczności transferowania próbek do innych układów, podczas których nastąpiłby kontakt próbki z powietrzem, co

proszę prowadziłoby zapewne do zmiany morfologii i struktury jej powierzchni. Niezmiernie pożądane jest zatem, aby stosowane przyrządy mogły jednocześnie lub quasi-jednocześnie dostarczać jak największej liczby oczekiwanych informacji.

Z tego punktu widzenia efekty pracy mgr. inż. Gabriela Cebalossa przedstawione w jego rozprawie doktorskiej wpisują się znakomicie w istniejące potrzeby wszechstronnych przyrządów badawczych, dzięki którym są (i mogą być) prowadzone badania, przede wszystkim o charakterze podstawowym, nie tylko w kraju, a w wielu innych, rozproszonych po świecie, wiodących laboratoriach badawczych. Opracowany układ pomiarowy pozwala bowiem na jednoczesną obserwację zachodzących powierzchniowych procesów fizykochemicznych (np. wzrostu cienkich warstw, segregacji powierzchniowej, powierzchniowych reakcji chemicznych, dyfuzji, desorpcji, strukturalnych i magnetycznych przejść fazowych) i pozyskiwanie informacji o topografii i strukturze atomowej i elektronowej powierzchni z określeniem jej przestrzennego składu chemicznego.

Celem pracy mgr. inż. Gabriela Cebalossa – Autora rozprawy doktorskiej – było opracowanie i wdrożenie koncepcji rozbudowy istniejącego prototypu systemu emisyjnej spektromikroskopii elektronowej podwójnego obrazowania (DEEM) o dwa nowe źródła oświetlenia próbki oraz zweryfikowanie słuszności tezy, postawionej na podstawie przygotowanego przez Autora zaawansowanego modelu numerycznego mechanizmu obrazowania i przeprowadzonych obliczeń, mówiącej o możliwości jednoczesnego i skorelowanego obrazowania w takim systemie morfologii powierzchni i odpowiadającej jej lokalnej struktury elektronowej.

W swojej rozprawie mgr. inż. Gabriela Cebalossa powołuje się na 68 prace źródłowe (książki, publikacje oraz opracowania firmowe) i 5 odnośników internetowych. Dobór źródeł i wyciągane z nich wnioski wskazują na dobrą znajomość zagadnień. Rozprawa liczy 123 strony i składa się z: spisu treści, streszczenia (w języku polskim i angielskim), wykazu skrótów użytych w pracy, wprowadzenia, pięciu rozdziałów, bibliografii, wykazu rysunków i tabeli, oraz dorobku Autora. Motywację, cel podjęcia przeprowadzonych badań i ich metodologię, oraz zawartości rozprawy i jej strukturę, przedstawiono w sposób zwięzły w jej streszczeniu, wprowadzeniu i Rozdziale 1. W Rozdziale 2. przedstawiono podstawowe zagadnienia mikroskopii elektronowej oraz historię jej rozwoju, w tym w szczególności przedstawiono zasady działania i budowę spektromikroskopu DEEM, a także opis zagadnień teoretycznych poruszanych w pracy oraz opis metod numerycznych użytych do uzyskania prezentowanych dalej wyników.

W Rozdziale 3. przedstawiono szczegóły opracowanego i zoptymalizowanego modelu numerycznego analizatora α -SDA oraz wyniki wstępnej weryfikacji wybranych parametrów elektrooptycznych. Ustalono optymalną, ze względu na czas i dokładność symulacji

numerycznych, gęstość siatek odchylających/przyspieszających oraz przeprowadzono analizę wpływu parametrów pracy soczewki transferowej, rozkładu pól brzegowych w obszarze apertury dyspersyjnej i na wejściu do analizatora oraz ich wpływ na trajektorie elektronów. Przeanalizowano występującą aberrację chromatyczną i geometryczną i sposoby ich korekcji, oraz ich wpływ na możliwą do osiągnięcia rozdzielczość energetyczną i lateralną spektromikroskopu.

W Rozdziale 4. opisano wykonane prace konstrukcyjne i eksperymentalne, w szczególności adaptację źródeł oświetlenia fotonowego i elektronowego. Przedstawiono procedurę uruchamiania i kalibracji systemu pomiarowego oraz uzyskano pierwsze wyniki doświadczalne dla powierzchni tlenku molibdenu (ściana (110)). Ich porównanie z dostępnymi danymi literaturowymi dało tutaj bardzo dużą zgodność.

Rozdział 5. zawiera podsumowanie przeprowadzonych prac i wyników badań. Na ich podstawie Autor sformułował najważniejszy wniosek – zaproponowaną w rozprawie jej główną tezę należy uznać za potwierdzoną. W tym rozdziale Autor nakreślił także dalsze kierunki rozwoju opracowanej przez Niego metody badawczej.

Zdaniem Recenzenta wybrany układ pracy jest właściwy a poruszane zagadnienia i wyciągane wnioski są przedstawione w sposób przystępny, co pozwala czytelnikowi na szybkie zrozumienie opisywanych problemów i ocenę postępów przeprowadzonych prac. Strona językowa rozprawy również nie budzi zastrzeżeń.

Do najważniejszych osiągnięć Autora należą:

- opracowanie metodologii symulacji numerycznych dotyczących mechanizmu obrazowania z zastosowaniem obrazującego sferycznego analizatora odchylającego (α -SDA) pod kątem weryfikacji zastosowanych rozwiązań aparaturowych
- modyfikacja i optymalizacja istniejącej konstrukcji stanowiska UPS-DEEM oraz równoczesne wprowadzenie nowych rozwiązań inżynierskich mających na celu rozszerzenie funkcjonalności systemu, w tym adaptację wysokoenergetycznego oświetlenia fotonowego VUV, uruchomienie nowego źródła oświetlenia wiązką elektronową, a także modyfikację konstrukcji mechanicznej oraz układu próżniowego
- uruchomienie zmodyfikowanego systemu UPS-DEEM oraz przeprowadzenie weryfikacji parametrów użytkowych i zdefiniowanie podstawowych parametrów elektrooptycznych tego stanowiska, umożliwiające kompensację aberracji geometrycznej i chromatycznej oraz optymalizację rozdzielczości lateralnej i energetycznej (uzyskana rozdzielczość lateralna wynosi 25 nm a energetyczna 5 meV/1 μ m)
- eksperymentalne potwierdzenie, przy zastosowaniu fotonów linii He I/He II, możliwości jednoczesnego uzyskiwania obrazowania próbki w przestrzeni rzeczywistej oraz odwrotnej z

zastosowaniem analizy energetycznej (quasi-jednoczesna charakteryzacja struktury elektronowej (gęstości stanów) i morfologii powierzchni).

Wszystkie one wskazują na dobrą i rozległą wiedzę Autora, obejmującą nie tylko zagadnienia o charakterze inżynierskim – takie jak projektowanie i konstrukcja urządzeń przy zastosowaniu oprogramowania typu CAD i technologia wysokiej oraz ultrawysokiej próżni – ale również z zakresu fizyki, w tym w szczególności fizyki powierzchni oraz umiejętność posługiwania się zaawansowanymi narzędziami informatycznymi z obszaru optoelektroniki i elektrooptyki.

Przedłożoną do oceny pracę oceniam wysoko – prezentowane wyniki badań stanowią samodzielny i oryginalny dorobek mgr. inż. Gabriela Cebalossa, a postawioną w rozprawie tezę należy uznać za potwierdzoną. Na podkreślenie zasługi fakt, że opracowany system pomiarowy, w którym możliwa jest quasi-jednoczesna obserwacja fizykochemicznych właściwości powierzchni próbki (jej topografii i struktury krystalograficznej, składu, struktury elektronowej – gęstości stanów i związku dyspersyjnego pomiędzy energią a wektorem falowym elektronu) z nanometryczną dokładnością jest pierwszym tego typu systemem na świecie.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Gabriela Cebalossa spełnia wymagania stawiane autorom rozpraw doktorskich przez obowiązujące przepisy – Art. 186 i 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U.2022.574). Wnioskuje zatem o dopuszczenie do dalszych kroków postępowania o nadanie stopnia doktora.



Dr hab. Leszek Markowski, prof. uczelni