

dr hab. inż. Anna Szerling
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut
Mikroelektroniki i Fotoniki
Al. Lotników 32/46
02 - 668 Warszawa

Warszawa, 11/05/2025

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 16.05.2025
nr zał.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Florka
p.t. „Modułowy system do osadzania materiałów
półprzewodnikowych”

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza Florka została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Moniki Kwoki i opiekuna przemysłowego dr. Łukasza Walczaka z ramienia firmy PREVAC sp z o.o., gdzie zostało przeprowadzone wdrożenie, w postaci modułowego systemu do osadzania materiałów półprzewodnikowych. Rozprawa dotyczy opracowania modułowego systemu, który będzie umożliwiał precyzyjne sterowanie warunkami procesu, w tym kontrolę nad temperaturą podłoża, dynamiką osadzania oraz manipulację podłożem. Badania i prace nad tym innowacyjnym systemem zostały zrealizowane w firmie PREVAC i zostaną tam wdrożone.

Doktorant w recenzowanej rozprawie podejmuje aktualny i ważny temat związany z rozwojem technologii precyzyjnego osadzania warstw półprzewodnikowych, zwracając uwagę na znaczenie kontroli parametrów procesu. Opisany modułowy system zawiera szereg rozwiązań technologicznych, które dobrze wpisują się w potrzeby nowoczesnych badań materiałowych i aplikacji przemysłowych. Teza pracy została jasno sformułowana, praca stanowi wkład w rozwój narzędzi do inżynierii cienkich warstw i może znaleźć praktyczne zastosowanie w dziedzinach takich jak elektronika czy fotonika.

Rozprawa obejmuje rozważania związane z projektowaniem systemu, prace konstruktorskie oraz wstępne prace technologiczne. Autor w recenzowanej rozprawie:

- 1) zaprezentował osiągnięcia w zakresie zastosowań praktycznych wyników działalności naukowej w przedsiębiorstwie w postaci zaprojektowanego i zbudowanego nowego typu systemu do osadzania cienkich warstw;
- 2) przedstawił koncepcję systemu próżniowego do nanoszenia warstw półprzewodnikowych;
- 3) zaprezentował koncepcję i wykonanie prototypowej niskotemperaturowej komórki efuzyjnej EF 40LT oraz dwufilamentowej komórki efuzyjnej EF40DF;
- 4) przedstawił koncepcję manipulatora podłoża, umożliwiającego precyzyjne ustawienie próbki oraz regulację temperatury za pomocą szerokiej wiązki lasera lub grzałki oporowej.

Praca składa się z 7 rozdziałów. We wstępie Doktorant zaprezentował motywację do podjęcia doktoratu wdrożeniowego, w rozdziale 2 przedstawił aktualny stan wiedzy w tematyce projektu. Przedstawiony opis jest ogólny, m.in. tak jak np. w przypadku opisu dotyczącego struktury pasmowej materiałów, półprzewodników pierwiastków grupy IV, czy związków półprzewodnikowych grupy III – V. Brak danych ilościowych i jakościowych przy większości opisów. W zakresie opisu metod technologicznych występują duże uproszczenia w opisach zjawisk fizyko-chemicznych i ich wpływu na parametry procesów osadzania, brak wnikliwej analizy aktualnego stanu wiedzy. Doktorant w rozprawie doktorskiej nie uniknął pewnych błędów edycyjnych taki jak np. brak wskazania źródeł pochodzenia niektórych rysunków czy danych, które przedstawił w pracy.

W rozdziale 3 Autor przedstawił cel oraz zakres działań zrealizowanych w ramach doktoratu wdrożeniowego. Rozdział 4 stanowi główną część rozprawy doktorskiej i zawiera opis opracowanego modułowego systemu próżniowego do osadzania warstw. Zaprezentowano w nim rzetelne prace dotyczące projektowania i konstrukcji systemu. Jednakże w tej części widoczne są braki w danych dotyczących badań naukowych związanych z projektowaniem oraz opracowywaniem rozwiązań dla nowego typu systemu. Brak również precyzyjnych informacji opartych na przeprowadzonych badaniach, co wyróżnia zaprojektowany i wykonany system od dostępnych na rynku i jego znacznych przewag. W podrozdziale poświęconym manipulatorowi brakuje informacji na temat przewag proponowanego rozwiązania w porównaniu z istniejącymi systemami dostępnymi na rynku. W podrozdziale dotyczącym lasera do wygrzewania podłoża brak jasności, jaki był udział Doktoranta w projektowaniu i opracowaniu optyki do systemu. W przedstawionej rozprawie brak precyzyjnych informacji dotyczących do jakich materiałów dokładne jest zaprojektowany system, szczególnie że nowy typ komórek elementarnych ma specyficzne właściwości. W części dotyczącej optymalizacji sposobu pomiaru temperatury podłoża Si brak danych wpływu optymalizacji na właściwości opracowywanych warstw. W części dotyczącej weryfikacji warunków pracy dwustrefowej komórki efuzyjnej (4.4.3) brakuje precyzyjnych danych na temat tego, jak wprowadzona zmiana może wpływać na właściwości osadzanych warstw. Dodatkowo nie jest jasne, w jaki sposób przeprowadzono eksperyment, na podstawie którego uzyskano dane przedstawione na wykresach 4.52.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił metodykę wytwarzania struktur In_2O_3 , natomiast rozdział 6 zawiera dane dotyczące przeprowadzonej przez niego charakteryzacji. W tej części dokonano szczegółowej analizy warstw z zastosowaniem rentgenowskiej spektroskopii fotoelektronów (XPS). Fragment ten jest spójny, a przedstawiona analiza została przeprowadzona rzetelnie i z zachowaniem poprawnej metodologii. Pewien niedosyt budzi jednak brak charakteryzacji wykonanych warstw z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej (XRD, *X-ray Diffraction*) oraz mikroskopii sił atomowych (AFM, *Atomic Force Microscopy*). Ponadto, Doktorant nie przedstawił danych dotyczących charakteryzacji optycznej i elektrycznej wykonanych warstw.

W rozdziale dotyczącym osadzanych warstw brakuje analizy czynników oraz mechanizmów wzrostu, które mogą wpływać na zaobserwowane różnice pomiędzy warstwami cieńszymi i grubszyymi. Autor nie wyjaśnił mechanizmu wzrostu ani wpływu warunków osadzania na parametry otrzymanych warstw.

Rozdział 7 zawiera podsumowanie, w którym Doktorant przedstawił swoje osiągnięcia związane z prezentowaniem wyników badań na konferencjach oraz wspominał o publikacji naukowej. Nie podał jednak żadnych szczegółów dotyczących tej publikacji, takich jak tytuł, współautorzy, nazwa czasopisma, data publikacji, ani swojej roli w jej powstaniu.

Układ pracy jest przejrzysty, wyniki przedstawione są w postaci czytelnych wykresów, tabel i zdjęć. Rozprawa doktorska zawiera osiągnięcie polegające na zastosowaniu wyników działalności naukowej w praktyce gospodarczej, poprzez skonstruowanie modułowego systemu do osadzania materiałów półprzewodnikowych. Wyniki przedstawione w pracy doktorskiej mgr inż. Mariusza Florka świadczą o dużym potencjale wdrożeniowym i mogą stanowić podstawę do oferowania przez firmę PREVAC systemu do wytwarzania cienkich warstw. Rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Florka posiada istotną wartość praktyczną, przede wszystkim ze względu na samodzielną realizację zaawansowanego systemu technologicznego przeznaczonego do osadzania materiałów trudnych technologicznie. Autor własnoręcznie skonstruował w pełni funkcjonalne stanowisko badawcze, co świadczy nie tylko o jego wysokich kompetencjach inżynierskich, lecz również o dużym zaangażowaniu i determinacji w realizacji celów badawczych.

Recenzowana rozprawa świadczy o dużej wiedzy technicznej i konstruktorskiej Autora. Doktorant w swojej pracy wykazał się wdrożeniem, w postaci systemu do osadzania warstw, które w dłuższej perspektywie może mieć wpływ na praktykę gospodarczą. Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, zgodnie z obowiązującą ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Anna Szerling