

Prof. dr hab. inż. Artur Rydosz
Instytut Elektroniki AGH
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 22.04.2025 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 28.04.2025
nr zał.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana **mgra inż. Mariusza Florka** pt. „Modułowy system do osadzania materiałów półprzewodnikowych”, której promotorem jest Pani prof. dr hab. inż. Monika Kwoka (Politechnika Śląska) oraz promotorem pomocniczym dr inż. Łukasz Walczak (firma Prevac). Rozprawa powstała w ramach programu doktorat wdrożeniowy.

Podstawa prawna

Recenzję wykonałem w odpowiedzi na pismo (RDAEETK.512.13.2025) z dnia 28.02.2025 r. przesłane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej Pana dr hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ oraz w odpowiedzi na pismo (RDAEETK.512.19.2025) z dnia 16.04.2025 r. w odniesieniu do wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) oraz na podstawie rekomendacji Rady Doskonałości Naukowej zawartych w poradniku pt. „Recenzje w postępowaniach o awans naukowy” z 2022 r., gdzie zwrócono uwagę, że recenzja rozprawy doktorskiej powinna co do zasady zawierać odpowiedzi z uzasadnieniem na 3 pytania:

- (1) czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach;
- (2) czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- (3) czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Zgodnie z art. 186, pkt. 3 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - stopień doktora nadaje się osobie, która posiada w dorobku co najmniej:

- a) 1 artykuł naukowy opublikowany w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub
- b) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, albo rozdział w takiej monografii, lub
- c) dzieło artystyczne o istotnym znaczeniu.

Charakterystyka ogólna pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Modułowy system do osadzania materiałów półprzewodnikowych” dotyczy opracowania modułowego systemu próżniowego do osadzania półprzewodników. System ma zapewnić precyzyjne sterowanie warunkami procesu, m.in. umożliwiać kontrolę temperatury podłoża oraz zapewniać manipulację podłoża wg przyjętych w rozprawie kryteriów.

Praca składa się z 7 rozdziałów. W rozdziale pierwszym doktorant przedstawił motywację do podjęcia tematu oraz przedstawił tezy rozprawy. W rozdziale drugim omówiony został aktualny stan wiedzy w tematyce projektu wdrożeniowego. Cele i zakres prac własnych zdefiniowane zostały w rozdziale 3. Kolejne rozdziały, tj. 4-6 przedstawiają wyniki uzyskane przez doktoranta. Rozprawę kończy rozdział 7 przedstawiający podsumowanie i uwagi końcowe. Rozprawa została napisana w języku polskim, jednakże doktorant nie ustrzegł się licznych błędów stylistycznych i interpunkcyjnych

(nagminnie stawiając przecinki tam gdzie ich się nie stawia i vice versa). Rysunki wydają się być przewymiarowane i niepotrzebnie zwiększają liczbę stron rozprawy. Pod względem edycyjnym i redakcyjnym praca zawiera szereg niedociągnięć (np. zaadoptowany zamiast zaadaptowany, mieszanie jednostek – np. stosowanie cali i milimetrów do opisu urządzenia w jednym fragmencie tekstu) i braków, ale nie wpływają one na merytoryczną ocenę dorobku.

Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach?

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant pisze, że przeprowadził badania literaturowe w zakresie tematycznym rozprawy, tj. opracowania modułowego systemu próżniowego do osadzania półprzewodników oraz weryfikacji opracowanego systemu na przykładzie osadzania In_2O_3 . Jednakże w rozprawie analiza literaturowa jest lakoniczna i całkowicie nieadekwatna dla rozpraw doktorskich z dyscypliny AEEiTK, bowiem autor rozprawy przywołuje wyłącznie(!) 26 pozycji, częściowo związanych z tematyką badawczą. Już pobieżny przegląd baz publikacji zwraca ponad 3000 pozycji w zakresie osadzania In_2O_3 , o rozwiązaniach technologicznych i technicznych w zakresie fabrykacji stanowisk próżniowych nie wspominając. W rozdziale 2 przedstawione są podstawy dotyczące materiałów półprzewodnikowych, brak jest natomiast szczegółowego opisu aktualnego stanu wiedzy w tematyce projektu, tzn. brak jest analizy rozwiązań technicznych/technologicznych w zakresie opracowywanego w firmie systemu oraz w zakresie osadzania warstw In_2O_3 zaproponowaną techniką. Doktorant bardzo często przywołuje cechy materiałowe bez uzasadnienia, tj. uzyskanie „odpowiednich właściwości” (str. 15), „mniej efektywny w niektórych zastosowaniach w porównaniu do krzemu” (str. 15), „mają szerokie zastosowanie” (str. 16), brak jest uzasadnienia dla czytelnika o jakie właściwości chodzi i czy opracowana przez doktoranta technologia rozwiązuje te problemy. Brak przykładów literaturowych do zawartych opisów (np. fragment dotyczący potencjalnego zastosowania – str. 18, str. 21). W odniesieniu do czujników gazów (str. 22) doktorant pisze, że „na bazie ZnO wytwarzane są najnowsze generacje czujników gazów toksycznych ze względu na wysoką czułość i stabilność chemiczną” – brak jest choćby jednego odnośnika do literatury, który potwierdzałby, że ZnO jest pod tym względem lepszym materiałem niż SnO_2 czy WO_3 . Brak jest również potwierdzeń z not katalogowych czujników wprowadzonych na rynek do detekcji gazów toksycznych, choć jest co najmniej kilkanaście. Pierwszy odnośnik literaturowy pojawia się na str. 23 i odwołuje do pozycji [11] dotyczącej przeglądu rozwiązań bazujących na przezroczystych tlenkach przewodzących (TCO). W zakresie chronologii pozycji literaturowych panuje chaos i brak jest w ocenie recenzenta powodów dlaczego akurat te pozycje literaturowe zostały wybrane. Rysunek 2.7. (str. 26) nie ma jednoznacznego wskazania czy jest to opracowanie własne autora czy rysunek został zapożyczony (zaadaptowany) z innej pracy, podobnie rysunek 2.8 (str. 27), rysunek 2.9 (str. 28) – a już np. rysunek 2.16 posiada stosowne odniesienie do pozycji [20].

W odniesieniu do technologii osadzania materiałów półprzewodnikowych doktorant opisuje popularne technologie i metody stosowane w tym celu, m.in. metodę epitaksji z wiązek molekularnych (MBE), metodę osadzania warstw atomowych (ALD), metodę rozpylania jonowego (IS) brak jest natomiast tego, co być powinno czyli opisu aktualnego stanu wiedzy w zakresie głównej metody stosowanej przez doktoranta w opracowywanym przez siebie modułowym systemie.

Podsumowując, rozdział 2 stanowi chaotyczny opis wybranych wiadomości z tematyki doktoratu, dobrana literatura nie odzwierciedla aktualnie prowadzonych prac w obszarze fabrykacji materiałów półprzewodnikowych (z uwzględnieniem wybranego przez doktoranta materiału na bazie In_2O_3), opis i liczne niedociągnięcia edytorsko-redakcyjne wskazują na duży pośpiech przy redagowaniu pracy a zawarte w podrozdziale 2.3. stwierdzenia dotyczące aktualnych wyzwań w zakresie technologii otrzymywania warstw półprzewodnikowych wymagają przedstawienia potwierdzeń w odniesieniach literaturowych. Odpowiadając na pytanie czy doktorant prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie należy uznać, że na podstawie opisu przedstawionego w rozdziale 2 warunek ten spełniony jest w stopniu minimalnym. Nie oznacza to, że

doktorant nie posiada tej wiedzy, ale że jej prezentacja w rozprawie nie została potraktowana z należytą starannością.

Czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora?

Prowadzenie prac badawczo-rozwojowych, w tym badań podstawowych w zakresie poszukiwania nowoczesnych materiałów stoi u podstaw nauk inżynieryjno-technicznych, gdyż materiały takie mogą znaleźć zastosowanie w wielu aplikacjach, m.in. w dynamicznie rozwijającej się elektronice, optyce i dyscyplinach pokrewnych (np. bioinżynierii). Jednocześnie badania nad opracowaniem nowoczesnych materiałów i przyrządów nie mogą być prowadzone w oderwaniu od prac technologicznych umożliwiających ich fabrykację na dużą skalę. Celem rozprawy było więc opracowanie modułowego systemu próżniowego do osadzania półprzewodników, który można skalować produkcyjnie zapewniając precyzyjne i powtarzalne warunki i to dopiero otwiera możliwości translacji wyników z badań podstawowych do aplikacyjnych, co de facto jest zbieżne z celem doktoratów wdrożeniowych.

Cel i zakres prac własnych przedstawionej do recenzji rozprawy zostały przedstawione w rozdziale 3 i obejmują typowe procesy technologiczne stosowane przy fabrykacji stanowisk próżniowych. Ponieważ celem doktoratu wdrożeniowego jest rozwiązanie konkretnego problemu naukowo-technicznego a prace prowadzona jest w przedsiębiorstwie to naturalnym jest, że część informacji objęta jest ochroną własności intelektualnej i co do zasady informacje takie nie są ujawniane. Jednakże w opisie zadań w ocenie recenzenta brakuje jednoznacznego wskazania jakie składowe systemu były autorskimi rozwiązaniami doktoranta (czy powstała do tego własność intelektualna w postaci wzorów użytkowych i/lub patentów), część opisów wskazuje, że prace zostaną dopiero wykonane (co najpewniej stanowi błąd redakcyjny, biorąc pod uwagę wyniki przedstawione w kolejnych rozdziałach rozprawy). Brak jest np. informacji czy zastosowane sterowniki PLC w stanowisku zostały opracowane przez doktoranta (logika działania i sterownia a nie fizyczna fabrykacja), ale nade wszystko brak jest jednoznacznego przypisania osiągnięć doktoranta w powstanie systemu. Oczywistym jest, że produkcja i instalacja całego stanowiska wymaga interdyscyplinarnej pracy wielu specjalistów, ale jednak stopień doktora otrzymuje konkretna osoba a nie cały zespół(!). W rozdziale 4 szczegółowo (choć z błędami językowymi) przedstawiono opis stanowiska i jego elementów składowych. Autor nagminnie nadużywa określeń „co ważne”, „co istotne”, „co kluczowe”, powoduje to utrudnioną interpretację i analizę, co tak naprawdę jest ważne/istotne/kluczowe w odniesieniu do rozwiązań oferowanych przez innych dostawców sprzętu próżniowego i co powstało w ramach realizacji doktoratu wdrożeniowego i stanowi wkład autora w rozwój nauki i techniki, choć nie ulega wątpliwości, że zaprezentowane stanowisko próżniowe jest unikatowe i łączy w sobie cechy różnych rozwiązań umożliwiając osadzanie warstw przy różnych parametrach.

Reasumując, w związku z brakiem jednoznacznego opisanie prac autora w rozwój całego systemu, co stanowi główny cel rozprawy oraz w związku z brakiem przedstawienia autorskich (współautorskich) publikacji naukowych potwierdzających umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w ocenie recenzenta nie jest możliwa pozytywna ocena w zakresie **umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora**. Należy podkreślić, że to na osobie ubiegającej się o stopień doktora nauk technicznych ciąży obowiązek takiego przedstawienia faktów, aby ocena mogła być jednoznaczna.

Czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne?

Doktorant postawił następującą tezę – „tezą niniejszej rozprawy jest stwierdzenie, że innowacyjny modułowy system próżniowy, opracowany w firmie PREVAC, wyposażony w zaawansowany manipulator podłoża z możliwością precyzyjnego przemieszczania i podgrzewania za pomocą szerokiej wiązki lasera lub grzałki oporowej, pozwala na kontrolowane wytworzenie warstw półprzewodnikowych o wysokiej jednorodności strukturalnej oraz doskonałych właściwościach

optoelektronicznych”. Jak widać z przytoczonej tezy pełno w niej przymiotnikowych określeń, które mają wyróżniać opracowane przez Doktoranta rozwiązanie na tle innych. To czego w rozprawie zabrakło to niestety zdefiniowania a następnie potwierdzenia spełnienia tych założeń, tj. wysokiej jednorodności strukturalnej czy doskonałych właściwości optoelektronicznych. Ponieważ założenie jest ogólne, to w ocenie recenzenta wybranie jedynie jednego materiału półprzewodnikowego (In_2O_3) nie potwierdza spełnienia tych założeń dla wszystkich innych materiałów półprzewodnikowych. W rozprawie brak jest również wskazania dlaczego Doktorant zdecydował się właśnie na In_2O_3 a nie np. na SnO_2 , TiO_2 , WO_3 etc., co prawda na stronie 40 znajduje się zapis: „w celu weryfikacji powyższych zadań została podjęta próba osadzania warstwy półprzewodnika z grupy (...) TCO”, brak jest natomiast pogłębionej analizy dla tego materiału.

Bez wątplenia przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera interesujące informacje techniczne związane z osadzaniem materiałów, w tym nanomateriałów dla nowoczesnej elektroniki, jednakże wątpliwość budzi wkład autora rozprawy w przygotowane rozwiązanie oraz brak spełnienia przesłanek o których mowa w art. 186, pkt. 3 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W rozprawie bowiem przedstawiono w rozdziale 7, że doktorant posiada wystąpienie na konferencji krajowej, wystąpienie na konferencji międzynarodowej (ale brak jest szczegółów – literalnie jest w rozprawie „Autorzy (uzupełnić „ i brak informacji nt. publikacji naukowej. Reasumując nie można na podstawie obecnej wersji rozprawy pozytywnie ocenić czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera ciekawe i ważne dla rozwoju dyscypliny wyniki, jednakże w związku z licznymi błędami i uchybieniami (szczegółowo opisanymi powyżej) **w mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mariusza Florka „pt. Modułowy system do osadzania materiałów półprzewodnikowych” nie spełnia warunków ustawowych przewidzianych dla osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora i tym samym nie powinna być dopuszczona do publicznej obrony.**