

Prof. dr hab. inż. Piotr Jasiński
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji
i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Nowagiela

pt. „Badania mechanizmu stabilizacji fazy typu $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ uwięzionej w matrycy szklistej”

Uchwałą nr 4/12/2025 Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej z dnia 18.12.2025 r. zostałem powołany na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Nowagiela pt. „Badania mechanizmu stabilizacji fazy typu $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ uwięzionej w matrycy szklistej”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Marek Wasiucionek i dr hab. inż. Tomasz Pietrzak.

Rozprawa jest napisana po polsku i składa się z pięciu numerowanych rozdziałów - w sumie 195 stron, wydanych w formie skryptu w rozmiarze B5. Rozdział 1 (19 stron) jest wprowadzeniem do tematyki rozprawy zawierającym cele i tezy rozprawy doktorskiej. W rozdziale 2 (13 stron) przedstawiono podstawy teoretyczne związane z tematyką rozprawy, zaś w rozdziale 3 (18 stron) opisano pokrótce stosowane metody badawcze. W rozdziale 4 (89 stron) omówiono wyniki badań, które są podstawą wnioskowania o tezach pracy. W rozdziale 5 (9 stron) znajduje się podsumowanie rozprawy. Ponadto, rozprawa posiada bibliografię, spisy rysunków i tabel, spis treści, spis oznaczeń próbek, streszczenie po polsku i angielsku.

Przedmiot rozprawy, cel i tezy

W rozdziale 1.8 (strona 31) pracy doktorskiej Autor pisze, że celem rozprawy jest wypełnienie luki badawczej związanej z odpowiedzią na pytanie związane z mechanizmem stabilizacji struktury typu $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ uwięzionych w matrycy szklistej. Na tej samej stronie można znaleźć 3 oryginalne tezy związane z mechanizmem stabilizacji struktury typu $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ poprzez (w skrócie):

- uwięzienie struktury w matrycy szklistej
- stabilizację fazy struktury przez domieszki
- utworzenie niestechiometrycznej struktury

Konkludując, problem naukowy rozprawy jest jednoznacznie postawiony i związany z wyjaśnieniem mechanizmu stabilizacji struktury typu δ -Bi₂O₃.

Podjęcie Autora do osiągnięcia celów pracy

Autor podszedł do osiągnięcia celów eksperymentalnie: wytworzył próbki, które zostały poddane:

- badaniom strukturalnym (XRD, ND, NMR, XAS)
- badaniu morfologii i składu chemicznego (SEM, HRTEM/TEM, EDX, EELS)
- badaniu przemian fazowych (DSC, TMA, HT-XRD)
- badaniu procesów transportu metodami spektroskopii impedancyjnej
- badaniu właściwości optycznych (UV-VIS)

Podsumowując, uważam, że Doktorant powziął odpowiednie kroki dla realizacji celów rozprawy: wykorzystał narzędzia pozwalające na dogłębną i holistyczną analizę właściwości fizyko-chemicznych dedykowanych materiałów. Należy podkreślić, że część wyników z tych eksperymentów wykorzystał do wnioskowania indywidualnie o jednej z tez, a część pozwalała na wyciąganie szerszych wniosków.

Aktualność tematyki rozprawy

Rozprawa dotyczy badania kompozytów szklisto-ceramicznych zawierających fazy tlenku bizmutu i należy do ważnych kierunków badań w obszarze nowoczesnych materiałów funkcjonalnych o dominującym jonowym przewodnictwie. W szczególności duże zainteresowanie naukowe budzą materiały o strukturze typu δ -Bi₂O₃, które charakteryzują się bardzo wysokim przewodnictwem jonowym tlenu. Wysokotemperaturowa odmiana δ -Bi₂O₃ należy do najlepiej przewodzących jonowo tlenków znanych w literaturze, jednak jej stabilność ograniczona jest do wysokich temperatur. Poszukiwanie metod stabilizacji tej fazy w niższych temperaturach stanowi ważne wyzwanie współczesnej inżynierii materiałowej. W ostatnich latach materiały na bazie tlenku bizmutu przeżywają renesans z powodu doniesień o możliwości stabilizacji fazy delta nawet w temperaturze pokojowej. Prace przedstawiające przewodność tlenku bizmutu stabilizowanego np. tlenkami lantanu i cyrkonu w funkcji czasu mają wskazywać na stabilność tego związku. Podsumowując, rozprawa doktorska wpisuje się w aktualne trendy związane z rozwojem materiałów dla przyrządów elektrochemicznych, takich jak tlenkowe ogniwa paliwowe i elektrolizery, elektrochemiczne czujniki gazów czy membrany do separacji tlenu.

Rozprawa na tle współczesnych doniesień literatury

W rozprawie Autor cytuje 147 pozycji literaturowych. Zdecydowana większość pochodzi z okresu ostatnich 10 lat i została opublikowana w artykułach naukowych czasopism. Uważam, że cytowania są właściwie dobrane i świadczą o dobrej wiedzy Autora z zakresu literatury przedmiotu dyscypliny naukowej nauki fizyczne.

Wady, słabe strony rozprawy oraz inne uwagi

Rozprawa napisana jest bardzo starannie i bez skrótów myślowych, błędów językowych i interpunkcyjnych. W pracy nie znalazłem błędów merytorycznych. Zauważyłem jedynie drobne uchybienie związane z brakiem autorów cytowanej pracy [33]. Każdy podrozdział związanym z opisem uzyskanych wyników (rozdział 4) jest zakończony podsumowaniem, co ułatwia wnioskowanie. Wyniki podrozdziałów rozdziału 4 są pogrupowane w ten sposób, aby jak najbliżej były powiązane z kolejnymi tezami rozprawy. Parametry procesu przygotowania próbek na potrzeby pomiarów zostały przemyślane i pozwalają na próbę odpowiedzi na pytania badawcze. Wyniki zaprezentowane na rysunkach zostały odpowiednio dobrane ze zbioru, aby w przejrzysty sposób przedstawić wnioski. Mam następujące pytania związane z pracą:

- Prośba o przedstawienie sposobu określenia składu próbek BAS i hBAS. Jaka jest dokładność użytej metody?
- Czy dla próbki BAS-630 możliwe jest oszacowanie objętości fazy typu delta w odniesieniu do fazy szklistej?
- Wzbudza moją ciekawość porównanie przewodności wysokotemperaturowej fazy delta dla niedomieszkowanego tlenku bizmutu (ekstrapolacja wyników do niskiej temperatury) z przewodnością fazy typu delta uwięzionej w szkło (przewodność ziaren) – czy jest to możliwe?

Powyższe pytania i uwagi należy uznać za polemikę naukową i nie wpływają na moją bardzo dobrą ocenę pracy.

Oryginalny dorobek Autora

Do oryginalnego dorobku Autora zaliczam zebrane wyniki różnych badań charakteryzujących materiały kompozytowe na bazie tlenku bizmutu oraz próbę odpowiedzi na pytanie o powód stabilizacji fazy typu delta w tych materiałach.

Nieodzownym wymaganiem stawianym przed kandydatem do stopnia doktora jest publikacja wyników prac w literaturze naukowej (Art. 186.3 Ustawy 2.0). Zgodnie z bazą bibliograficzną Scopus, Doktorant jest współautorem 10 publikacji - wszystkie w czasopismach JCR, z czego w pięciu jest Autorem wiodącym. W pracy cytowane i bezpośrednio związane z rozprawą są następujące:

- M. Nowagiel, J. E. Garbarczyk, M. Wasiucioneck, P. Keblinski, T. K. Pietrzak, Structure stability of confined bismuth sesquioxide phases – low-temperature experimental and computational studies, *Applied Physics A* 130 (12) (2024) 890.
- S. Majewski, M. Nowagiel, K. Skelnik, M. Wasiucioneck, P. Keblinski, T. K. Pietrzak, Structural characterization of amorphous Bi_2O_3 obtained by molecular dynamics simulation of melt quenching, *Physica B: Condensed Matter* 701 (2025) 416932.
- M. Nowagiel, O. Lafon, T. Płociński, J. Trébosc, J. Turczyński, W. Zajkowska-Pietrzak, J. E. Garbarczyk, M. Wasiucioneck, T. K. Pietrzak, Towards a deeper insight into the stabilisation mechanism of $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ -like phase to low temperature by confinement of nanograins in glassy matrix, *Ceramics International* 52 (2026) 10077.
- V. Vlasenko, M. Nowagiel, M. Wasiucioneck, T. K. Pietrzak, Stabilization of δ -like Bi_2O_3 phase at room temperature in binary and ternary bismuthate glass systems with Al_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , and B_2O_3 , *Materials* 17 (2024) 4023.

Podsumowując, Doktorant z sukcesem spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora.

Podsumowanie

Uważam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto, biorąc pod uwagę opublikowanie 4 publikacji bezpośrednio związanych z rozprawą doktorską, renomę tych czasopism oraz fakt, że Doktorant jest autorem wiodącym w dwóch z nich, składam wniosek o wyróżnienie rozprawy.

Gdańsk, 21.03.2025 r.

Piotr Jasiński