



UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH

Prof. dr hab. inż. Artur Chrobak

Chorzów 17.02.2025

Uniwersytet Śląski

Wydział Nauk Ścisłych i technicznych

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN w Warszawie w związku z uchwałą z dnia 19.12 2024 (pismo RN.431.13.2024 z dnia 20.12 2024).

1. Ogólna charakterystyka rozprawy.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zatytułowana „Advancing Accurate Composition Analysis of Ternary Semiconductors: Matrix Effects in Secondary Ion Mass Spectrometry” dotyczy wykorzystania techniki spektroskopii masowej jonów wtórnych do określania składu chemicznego wybranych układów trójskładnikowych półprzewodników. Podjęta tematyka badań ma duże znaczenie w dziedzinie fizyki powierzchni zarówno w obszarze zastosowań jak i poznania zjawisk oddziaływania strumienia jonów pierwotnych z powierzchnią próbki. W szczególności, jako materiał do badań wybrano dwie serie związków półprzewodnikowych $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$ oraz $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$. W obu przypadkach wykonane pomiary pozwoliły na jakościowe wykazanie tzw. efektu matrycy oraz określenie krzywych kalibracyjnych, z których można wyznaczyć skład chemiczny badanego materiału. Ponadto, udowodniono, że wielkość przerwy energetycznej może być powiązana z przesunięciem dystrybucji energii jonów wtórnych.

Rozprawa jest przewodnikiem po publikacjach, jednak w znaczącym stopniu uzupełniona o dość wyczerpujący wstęp teoretyczny oraz dyskusję i wnioski będące próbą opisu przeprowadzonych badań jako pewnej całości. Wskazano trzy publikacje:

D1 Khosravizadeh, Z., Trzyna-Sowa, M., Lysak, A., Przeździecka, E., Jakiela, R., "Accurate determination of matrix composition in $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$ semiconductor material using MS-SIMS and ToF-SIMS methods" *Journal of Physics D: Applied Physics*, 58 (2024) 025303, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/ad80a0>.

D2 Khosravizadeh, Z., Dziawa, P., Dad, S., Jakiela, R., "Secondary Ion Mass Spectrometry Characterization of Matrix Composition in Topological Crystalline Insulator $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ " *Thin Solid Films*, 781 (2023) 139974, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2023.139974>.

D3 Khosravizadeh, Z., Dziawa, P., Dad, S., Dabrowski, A., Jakiela, R., "A novel approach for observing band gap crossings using the SIMS technique in $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ " *Journal of Semiconductors*, 45 (2024) 112102, <https://www.jos.ac.cn/en/article/doi/10.1088/1674-4926/24040023>.

Przedstawiono również oświadczenia współautorów dotyczące udziałów w powstaniu wykazanych wyżej publikacji. Z oświadczeń wynika wiodąca rola Doktorantki w opracowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu pomiarów, analizie wyników oraz redakcji tekstu.

2. Ocena merytoryczna rozprawy.

W pracy zatytułowanej "Accurate determination of matrix composition in $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$ semiconductor material using MS-SIMS and ToF-SIMS methods" zastosowano metody MS-SIMS oraz ToF-SIMS określania składu chemicznego (parametru x) trójskładnikowego półprzewodnika $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$ (x z zakresu 0 do 0,6). Próbki otrzymano metodą MBE, a końcowy skład chemiczny wyznaczono metodą EDX. Uwagę zwracają uzyskane wartości parametru x sięgające nawet 0.01 at.%. Niestety nie przedstawiono dokładności jego wyznaczenia ani ograniczeń aparaturowych. Główną ideą pracy jest skorelowanie stosunku intensywności jonów Cd^+/Zn^+ (również klastrow

CdCs⁺/ZnCs⁺) ze składem chemicznym badanych próbek. Wyznaczono krzywe kalibracji, przyjmując jako referencje wartości x otrzymane z analizy EDX. Wykazano, że taki sposób postępowania prowadzi do poprawy dokładności analizy w porównaniu z metodą RSF (Relative Sensitivity Factor) poprzez realne uwzględnienie tzw. efektu matrycy. Wynik ten należy uznać za osiągnięcie. Pewne wątpliwości może budzić nieuwzględnienie jedynego pewnego punktu krzywej kalibracyjnej, która z oczywistych względów powinna przechodzić przez środek układu współrzędnych. Ponadto, wartościowym mogłaby być próba określenia sensu fizycznego parametrów krzywej kalibracyjnej, oczywiście poza stwierdzeniem, że jest to efekt matrycy. Niemniej jednak, publikacja jest solidnym opracowaniem o charakterze doświadczalnym z wartościowymi walorami poznawczymi.

Publikacja zatytułowana "Secondary Ion Mass Spectrometry Characterization of Matrix Composition in Topological Crystalline Insulator $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ " jest w dużym stopniu powtórzeniem lub raczej rozszerzeniem metodyki prezentowanej we wcześniejszej pracy lecz w odniesieniu do innego związku o charakterze izolatora topologicznego. Doceniając zawartość merytoryczną muszę tu powtórzyć zarówno mocne strony jak i uwagi odnoszące się do publikacji D1.

Najciekawsza, moim zdaniem jest publikacja zatytułowana "A novel approach for observing band gap crossings using the SIMS technique in $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ". W ramach tej pracy wykonano serię pomiarów intensywności sygnału stosunki jonów Sn^-/Te^- oraz Sn^+/Te^+ w funkcji parametru x , podobnie jak w przypadku krzywych kalibracyjnych publikacji D1 i D2. Tutaj jednak pojawiła się wyraźna zmiana nachylenia prostej w pewnym charakterystycznym punkcie. Efekt ten powiązano z reakcjami chemicznymi na powierzchni oraz dysproporcjami powinowactwa elektronowego i energii jonizacji. Ciekawych informacji dostarczają analizy przesunięć dystrybucji energii jonów wtórnych. Wykazano, że korelują one z wielkością przerwy energetycznej badanego układu, włączając w to punkt przecięcia pasm dla określonej wartości parametru x . Przedstawione wyniki są ciekawym i nietypowym zastosowaniem metody SIMS w badaniu elektronowych właściwości półprzewodników.

Korzystając z okazji proszę o wyjaśnienie następujących kwestii:

- W wielu miejscach używane są stwierdzenia typu „new method”, „novelty”, „significant insights”. Proszę o dodatkowy komentarz, biorąc pod uwagę, że zalety i zastosowanie krzywej kalibracyjnej są znane a proponowane podejście nie wykracza poza tę krzywą ani poza badane układy.

- Rozprawa dotyczy metod pomiarowych, jednak nie przedstawiono analizy błędów. Proszę o dodatkowe wyjaśnienia.
- Czy można określić sens fizyczny parametrów krzywej kalibracyjnej?

3. Uwagi końcowe i wnioski.

Podsumowując stwierdzam, że założone cele pracy doktorskiej mgr Zeinab Khosravizadeh zostały zrealizowane. Zakres pracy dobrze wpisuje się w obecny stan wiedzy i prezentuje wysoki poziom naukowy. Recenzowana praca wykazała zdolność Doktorantki do prowadzenia samodzielnej działalności naukowej i jako całość stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autorka wykazała się szeroką wiedzą z zakresu technik SIMS oraz fizyki powierzchni. Otrzymane wyniki zostały poprawnie zinterpretowane i podsumowane. Sylwetkę naukową Doktorantki dopełniają, w pozytywnym sensie, inne publikacje wykazane w rozprawie powstałe w latach 2021-2024.

Wobec powyższego, stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr Zeinab Khosravizadeh pt. „Advancing Accurate Composition Analysis of Ternary Semiconductors: Matrix Effects in Secondary Ion Mass Spectrometry” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (t.i. Dz. U. z 2020 roku poz. 742. z p. zm.). W konsekwencji wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN w Warszawie o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Artur Chrobak

