



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

Warszawa, 7.09.2026

dr hab. Renata Rybakiewicz-Sekita, prof. UKSW

Instytut Nauk Chemicznych UKSW

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr Inny Shkyliuk zatytułowanej

*„Wytworzenie silnie zorientowanych cienkich warstw nanocelulozy i pochodnych
ditiofenowych metodą strefowego odparowania dla elektroniki organicznej
i sensorów optycznych”*

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Inny Shkyliuk została przygotowana w Szkole Doktorskiej BioMedChem Uniwersytetu Łódzkiego i Instytutów Polskiej Akademii Nauk w Łodzi pod kierunkiem Pana dr. hab. Tomasza Szczepana Makowskiego, prof. CBMiM.

Rozprawa dotyczy wytwarzania silnie zorientowanych cienkich warstw materiałów organicznych metodą strefowego odparowywania rozpuszczalnika (zone casting) oraz określenia zależności pomiędzy sposobem organizacji materiału w warstwie a jego właściwościami strukturalnymi, optycznymi i elektrycznymi. Badania obejmują dwie grupy materiałów: nanokryształy celulozy (CNC), również w układach kompozytowych z fluoresceiną oraz małocząsteczkowe półprzewodniki organiczne: TES-ADT i pochodne benzo[3,2-b]benzotiofenu. W przypadku wybranych pochodnych podjęto również próbę wykorzystania otrzymanych warstw jako warstwy aktywnej w organicznych tranzystorach polowych.

Tematyka rozprawy wpisuje się w aktualny obszar badań nad kontrolowanym uporządkowaniem strukturalnym materiałów funkcjonalnych, przetwarzaniem materiałów organicznych z roztworu oraz poszukiwaniem nowych materiałów do elektroniki organicznej i sensoryki. Za szczególnie interesujące uważam połączenie klasycznego zagadnienia kierunkowej organizacji małocząsteczkowych półprzewodników organicznych z badaniami nanokryształów celulozy jako materiału pochodzenia naturalnego. Te dwie, na pierwszy rzut oka dość odległe grupy materiałów łączy w rozprawie wspólne podejście metodologiczne - wykorzystanie techniki zone casting do uzyskania silnie zorientowanych warstw poprzez



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

odpowiednią kontrolę warunków formowania warstwy. Dzięki temu szeroki zakres materiałowy pracy zachowuje spójność naukową.

Na szczególne podkreślenie zasługuje otrzymanie metodą zone casting ciągłych warstw CNC z jednoosiową orientacją nanokryształów oraz wykorzystanie zorientowanej matrycy CNC do otrzymania kompozytowych warstw z fluoresceiną. Drugim interesującym elementem rozprawy jest charakterystyka silnie zorientowanych warstw pochodnych ditiofenowych, w tym próba przejścia od charakterystyki materiałowej do demonstracji działania urządzenia typu OFET. Wyniki dotyczące CNC i CNC/FL zostały opublikowane w dwóch pracach w czasopiśmie *Cellulose*, w obu przypadkach z Doktorantką jako pierwszą autorką. Wyniki dotyczące pochodnych ditiofenowych oraz organicznych tranzystorów polowych przedstawiono bezpośrednio w rozprawie. Zgodnie z deklaracją Autorki, na dzień jej złożenia znajdowały się one w procesie publikacyjnym.

Opinia o części wprowadzającej i teoretycznej rozprawy

Część wprowadzająca i teoretyczna rozprawy została przedstawiona w sposób zwięzły. Doktorantka rozpoczyna od omówienia zagadnień dotyczących nanocelulozy i jej potencjalnych zastosowań, a następnie przedstawia znaczenie materiałów organicznych w elektronice, ze szczególnym uwzględnieniem półprzewodników z rodziny BTBT. W dalszej części dokonuje przeglądu podstawowych technik roztworowego nanoszenia warstw, takich jak drop-casting, spin-coating, dip-coating oraz metoda Langmuira–Blodgetta, aby następnie skoncentrować się na metodzie strefowego odparowywania rozpuszczalnika, stanowiącej podstawowe narzędzie technologiczne wykorzystywane w pracy.

Za wartościowy element tej części uważam przedstawienie metody zone casting nie tylko od strony technicznej, ale również poprzez wskazanie parametrów determinujących stabilność menisku i kierunkową organizację materiału, takich jak szybkość dozowania roztworu, szybkość przesuwu podłoża, stężenie, temperatura oraz szybkość odparowywania rozpuszczalnika. Autorka przywołuje także przykłady zastosowania tej techniki do otrzymywania warstw stosowanych w tranzystorach OFET, materiałach fotowoltaicznych oraz układach wykazujących nieliniowe właściwości optyczne. Dobrze uzasadnia to wybór techniki eksperymentalnej zastosowanej w rozprawie.

Część teoretyczna dobrze wprowadza w tematykę rozprawy, choć miejscami mogłaby zostać rozszerzona o bardziej krytyczne zestawienie aktualnego stanu wiedzy. Wartościowe byłoby zwłaszcza szersze odniesienie zastosowanej w pracy metody do współczesnych podejść umożliwiających uzyskiwanie makroskopowo zorientowanych warstw CNC. Bardziej systematyczne porównanie tych rozwiązań pod względem osiąganego stopnia orientacji,



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

rozmiaru i jednorodności otrzymywanych warstw, efektywności wykorzystania materiału oraz możliwości skalowania procesu pozwoliłoby pełniej określić zalety i ograniczenia zastosowanej techniki, a jednocześnie jeszcze wyraźniej uwypuklić oryginalność rozwiązania zaproponowanego przez Doktorantkę.

Podobna uwaga dotyczy sposobu przedstawienia materiałów fluorescencyjnych. Autorka określa opracowany układ CNC/FL jako „*pierwszy wskaźnik pH pochodzenia naturalnego w ciele stałym, o szerokim zakresie czułości (pH 3-12)*”. Moim zdaniem sformułowanie to wymagałoby szerszego odniesienia do wcześniejszych doniesień dotyczących stałofazowych materiałów czułych na zmiany pH, w tym układów polimerowych oraz materiałów opartych na matrycach celulozowych i polisacharydowych zawierających fluorofory. Warto byłoby również doprecyzować określenie „*pochodzenia naturalnego*”. W badanym układzie naturalne pochodzenie ma przede wszystkim matryca CNC, natomiast funkcję aktywnego fluoroforu pełni fluoresceina. Bardziej precyzyjne byłoby zatem podkreślenie naturalnego pochodzenia matrycy oraz potencjału sensorycznego układu, przy jednoczesnym szerszym odniesieniu deklarowanej nowości rozwiązania do dostępnych doniesień literaturowych.

Część dotycząca półprzewodników organicznych prawidłowo wskazuje na znaczenie motywu BTBT oraz wpływ utlenienia atomów siarki na właściwości elektronowe i luminescencyjne badanych pochodnych. Przytoczone wartości ruchliwości dla wybranych pochodnych BTBT stanowią użyteczne ogólne tło dla oceny właściwości tej klasy materiałów. Uważam jednak, że korzystne byłoby bardziej systematyczne omówienie czynników wpływających na transport ładunku w badanych materiałach, zwłaszcza w kontekście wyników uzyskanych w końcowej części rozprawy. Autorka wskazuje na znaczenie obecności tlenu oraz położenia poziomu LUMO, jednak interpretacja bardzo niskiej ruchliwości lub braku efektu polowego mogłaby zostać szerzej osadzona w kontekście właściwości elektronowych półprzewodnika, warunków pomiaru oraz właściwości kontaktów i granic faz w strukturze tranzystora. Czynniki te mogą w istotny sposób wpływać na efektywność transportu ładunku i parametry pracy urządzenia, dlatego ich pełniejsze uwzględnienie ułatwiłoby interpretację uzyskanych wyników.

Podsumowując, część literaturowa właściwie wprowadza w tematykę rozprawy i uzasadnia podjęcie badań, odwołując się zarówno do klasycznych prac z tej dziedziny, jak i do aktualnych doniesień literaturowych. Pewien niedosyt pozostawia jednak ograniczony zakres krytycznej analizy stanu wiedzy, zwłaszcza w odniesieniu do porównania zastosowanych rozwiązań z doniesieniami literaturowymi oraz uzasadnienia niektórych tez dotyczących nowości i potencjału aplikacyjnego badanych materiałów.



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

Opinia o części eksperymentalnej pracy i dyskusji wyników

Część eksperymentalna rozprawy obejmuje dobrze dobrany zestaw metod badawczych, umożliwiających charakterystykę morfologiczną i strukturalną otrzymanych warstw oraz ich właściwości termicznych, optycznych i elektronowych. Zastosowano m.in. mikroskopię polaryzacyjną i AFM, metody dyfrakcji rentgenowskiej, spektroskopię UV-Vis, spektrofluorymetrię, DSC oraz analizę termooptyczną. W przypadku TES-ADT zakres badań rozszerzono o wysokotemperaturową dyfrakcję rentgenowską, a do charakterystyki tranzystorów OFET wykorzystano stanowisko pomiarowe zbudowane w ramach realizacji rozprawy.

Za szczególnie wartościowy element rozprawy uważam badania dotyczące nanokryształów celulozy. Doktorantka, stosując metodę zone casting, otrzymała ciągłe warstwy CNC o powierzchni około 8 cm^2 i grubości około $2 \mu\text{m}$, wykazujące jednoosiowe uporządkowanie nanokryształów w skali makroskopowej. Istotne jest, że stopień orientacji oceniono nie tylko jakościowo, ale również ilościowo. Współczynnik koherencji wyznaczony na podstawie obrazów AFM osiągnął wartość 0,82, natomiast współczynnik orientacji Hermansa uzyskany z pomiarów 2D-WAXS wynosił około 0,7. Otrzymane warstwy były przy tym przezroczyste i wykazywały wyraźną anizotropię optyczną. Na podkreślenie zasługuje sam sposób wykorzystania techniki zone casting. W jej klasycznym zastosowaniu orientacja rozwija się podczas kierunkowej krystalizacji substancji rozpuszczonej, natomiast w przypadku CNC uporządkowaniu podlegają istniejące już nanokryształy obecne w wodnej zawieszynie. Jest to istotna różnica mechanistyczna i zarazem ważny element oryginalności pracy. Autorka wiąże obserwowane uporządkowanie przede wszystkim z gradientem stężenia powstającym w strefie odparowania oraz z anizotropowym kształtem nanokryształów celulozy, wskazując jednocześnie, że dobrane parametry procesu ograniczały udział orientacji indukowanej ścinaniem.

Rozwinięciem tych badań było otrzymanie fluorescencyjnych warstw kompozytowych CNC/FL. Fluoresceinę wprowadzano do zawiesziny CNC przed formowaniem warstwy, a więc orientacja nanokryształów zachodziła już w obecności barwnika. Co istotne, nie prowadziło to do istotnego pogorszenia uporządkowania: współczynnik Hermansa wynosił 0,72 dla CNC/FL200 i 0,69 dla CNC/FL10, pozostając na poziomie zbliżonym do czystej warstwy CNC. Wynik ten pokazuje, że możliwe jest nadanie uporządkowanej matrycy CNC dodatkowej funkcji optycznej bez utraty jej zasadniczej cechy strukturalnej. Właściwości emisyjne kompozytów zależały zarówno od zawartości fluoresceiny, jak i od warunków polaryzacyjnych pomiaru. Największą intensywność emisji obserwowano dla warstw



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

CNC/FL125 i CNC/FL200. Intensywność rejestrowanego sygnału zależała również od wzajemnej orientacji kierunku polaryzacji wiązki wzbudzającej, osi analizatora i kierunku uporządkowania CNC. Największą emisję uzyskano, gdy kierunek polaryzacji światła wzbudzającego i oś analizatora były równoległe do kierunku orientacji nanokryształów. Wyniki te wskazują, że uporządkowanie strukturalne kompozytu znajduje odzwierciedlenie w anizotropii jego właściwości optycznych.

Interesującym elementem pracy jest również próba wykorzystania układu CNC/FL do detekcji zmian pH. Dla warstwy CNC/FL200 intensywność fluorescencji zwiększała się wraz ze wzrostem pH, a w zakresie pH 5-12 stwierdzono liniową zależność maksymalnej intensywności emisji od pH. Wyniki te potwierdzają, że fluoresceina zachowuje w matrycy CNC wrażliwość na zmiany odczynu i wskazują na potencjał sensoryczny badanego materiału. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że samo zwilżenie warstwy wodą o pH 7 powodowało spadek emisji o około jeden rząd wielkości, co wiązano z reorganizacją i agregacją fluoresceiny podczas zwilżania i ponownego suszenia. W rozprawie nie przedstawiono ponadto systematycznej charakterystyki odwracalności, powtarzalności i czasu odpowiedzi materiału ani ewentualnej histerezy. Z tego względu uzyskane wyniki stanowią przekonującą demonstrację możliwości wykorzystania warstw CNC/FL jako materiału czułego na pH, natomiast pełna ocena ich przydatności sensorycznej wymagałaby dalszej charakterystyki.

Dobrze oceniam również część poświęconą TES-ADT. Metodą zone casting otrzymano zorientowane warstwy o powierzchni około 8 cm² i grubości około 200 nm, a następnie przeprowadzono ich wieloaspektową charakterystykę strukturalną i termiczną. Szczególnie wartościowe jest zestawienie wyników DSC, TOA, AFM i HT-XRD. Badania wysokotemperaturowe wykazały obecność fazy β w temperaturze pokojowej oraz pojawienie się fazy α_2 w temperaturze 120°C, natomiast po schłodzeniu obserwowano współistnienie obu form. Jednocześnie pomiary AFM wykazały, że grubość monowarstwy pozostała praktycznie niezmienną i wynosiła około 1,75 nm, mimo przemiany fazowej i pojawienia się pęknięć termicznych. Jest to przykład właściwego wykorzystania metod komplementarnych, dostarczających wzajemnie uzupełniających się informacji o zachowaniu materiału.

Więcej uwagi wymaga natomiast część dotycząca niekomercyjnych pochodnych BTBT. Związki te zostały otrzymane w ramach współpracy z zespołem dr. hab. inż. Remigiusza Żurawińskiego. W rozprawie czystość próbek oceniano na podstawie DSC i na tej podstawie uznano ją za wysoką. Taki wniosek wymaga jednak ostrożności. DSC dostarcza informacji o zachowaniu termicznym próbki i może pośrednio wskazywać na jej czystość, nie zastępuje



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

jednak bezpośredniego potwierdzenia struktury i czystości chemicznej metodami takimi jak NMR, spektrometria mas czy analiza elementarna. Warto zatem wskazać, na podstawie jakich danych analitycznych potwierdzono strukturę i czystość tych związków. Celowe byłoby również określenie, czy i w jakim zakresie Doktorantka uczestniczyła w ich otrzymaniu lub pierwotnej charakterystyce. Kolejne etapy badań tych materiałów zostały zaplanowane w sposób logiczny i dobrze uzasadniony. W doświadczeniach wstępnych wyselekcjonowano trzy związki zdolne do tworzenia dużych zorientowanych domen, a następnie dla diC6-BTBTTO, diC12-BTBTTO i diC6-BTBTDO otrzymano metodą zone casting ciągłe warstwy o powierzchni około 12 cm^2 i grubości około 200 nm. Ich uporządkowanie znalazło odzwierciedlenie również we właściwościach optycznych. Dla diC12-BTBTTO i diC6-BTBTTO wyznaczono wartości anizotropii fluorescencji odpowiednio 0,58 i 0,69. W tej części pracy zauważam pewną niespójność w przyporządkowaniu wyników AFM i XRD dla diC6-BTBTTO i diC12-BTBTTO. Wartości 2,06 nm i 1,41 nm uzyskane metodą AFM odpowiadają niemal dokładnie wartościom 2,05 nm i 1,39 nm wyznaczonym metodą XRD, jednak w rozprawie przypisano je odwrotnie do obu związków. Ponieważ jednocześnie Doktorantka wskazuje na wysoką korelację obu metod, można przypuszczać, że jest to pomyłka w opisie, która wymaga wyjaśnienia.

Ostatnim etapem pracy była próba wykorzystania otrzymanych warstw w tranzystorach OFET. Dla diC6-BTBTTO i diC6-BTBTDO nie zaobserwowano efektu polowego pozwalającego na wyznaczenie ruchliwości, natomiast dla diC12-BTBTTO uzyskano działanie tranzystorowe przy ruchliwości $8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ i stosunku On/Off rzędu 10^4 . Za wartościowe uważam przedstawienie także wyników niekorzystnych z punktu widzenia aplikacyjnego, ponieważ pozwalają one ocenić rzeczywiste ograniczenia badanych materiałów. Autorka wskazuje m.in. na obecność atomów tlenu w strukturze badanych pochodnych i możliwość tworzenia pułapek dla elektronów, zwracając jednocześnie uwagę, że pomiary prowadzono w atmosferze powietrza. Na podstawie przedstawionych wyników trudno jednak jednoznacznie wskazać dominujący czynnik ograniczający transport ładunku. Znaczenie mogą mieć właściwości elektronowe badanych związków, warunki pomiaru oraz morfologia warstwy. W dalszych badaniach warto byłoby również rozważyć wpływ kontaktów elektrodowych i granicy faz półprzewodnik/SiO₂. Zaproponowane w rozprawie wyjaśnienia stanowią zatem uzasadnione kierunki interpretacji, których pełne rozstrzygnięcie wymagałoby dalszych badań.

Podsumowując, część eksperymentalną rozprawy oceniam wysoko. Jej mocną stroną jest konsekwentne zastosowanie metody zone casting do kilku klas materiałów o odmiennym charakterze fizykochemicznym oraz powiązanie warunków formowania



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

warstw z ich strukturą i właściwościami. Za szczególnie wartościowe uważam wyniki dotyczące jednoosiowego uporządkowania CNC w skali makroskopowej oraz zachowania wysokiego stopnia tego uporządkowania po wprowadzeniu fluoresceiny. Wysoko oceniam również badania polimorfizmu TES-ADT. Część poświęcona niekomercyjnym pochodnym BTBT dostarcza interesujących wyników strukturalnych i optycznych, wymaga jednak doprecyzowania kwestii charakterystyki tych związków oraz wyjaśnienia wskazanej niespójności pomiędzy danymi AFM i XRD. Wyniki dotyczące OFET mają bardziej charakter rozpoznawczy, ale stanowią wartościowe dopełnienie rozprawy, pokazując, że wysoki stopień uporządkowania warstwy nie przekłada się automatycznie na korzystne właściwości transportowe.

Pytania do Doktorantki

W związku z przedstawionymi powyżej uwagami podczas publicznej obrony proszę Doktorantkę o odniesienie się do następujących zagadnień:

1. Autorka wiąże jednoosiową orientację CNC przede wszystkim z gradientem stężenia i anizotropią kształtu nanokryształów, wskazując jednocześnie, że dobór parametrów procesu ograniczał udział orientacji indukowanej ścinaniem. Które z przeprowadzonych doświadczeń najbardziej przemawiają za taką interpretacją i w jaki sposób można byłoby dodatkowo rozdzielić wpływ gradientu stężenia od efektów przepływowych?
2. W jaki sposób można byłoby eksperymentalnie rozdzielić wpływ pH od wpływu samego zwilżania warstwy CNC/FL200 i związanej z nim reorganizacji fluoresceiny? Jakie dalsze badania byłyby, zdaniem Doktorantki, najważniejsze dla oceny właściwości sensorycznych tego materiału?
3. Na podstawie jakich danych analitycznych potwierdzono strukturę i czystość niekomercyjnych pochodnych BTBT otrzymanych w ramach współpracy? Czy poza wynikami DSC dostępne były również dane z innych metod, takich jak NMR, spektrometria mas lub analiza elementarna? Czy Doktorantka uczestniczyła w otrzymaniu lub pierwotnej charakterystyce tych związków, a jeśli tak, to w jakim zakresie?
4. W rozprawie wskazano, że dalsza optymalizacja warunków formowania warstw i architektury urządzeń może poprawić parametry OFET. Który z czynników



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

ograniczających transport ładunku Doktorantka uważa obecnie za najważniejszy i jakie doświadczenie należałoby, jej zdaniem, przeprowadzić w pierwszej kolejności?

Uwagi ogólne

Rozprawa doktorska Pani mgr Inny Shkyliuk jest logicznie skonstruowana, natomiast jej warstwa językowa i redakcyjna wymagałaby staranniejszej korekty. W tekście występuje stosunkowo dużo błędów gramatycznych, fleksyjnych, literowych i stylistycznych. Przykładowo można wskazać sformułowania: „*możliwości orientacją CNC*”, „*Związek ten charakteryzują się*”, „*Jak było przedstawiono w badaniu TOA*” czy zapis „*zostało zdecydowano*”. Tego rodzaju uchybienia nie utrudniają zasadniczo zrozumienia przedstawionych wyników, obniżają jednak jakość językową i edycyjną rozprawy.

Z obowiązku recenzenta zwracam również uwagę na kilka niespójności redakcyjnych. W tabeli 1 wartość anizotropii fluorescencji dla próbki CNC/FL10 podano jako $r = 0,13$, podczas gdy w dalszej części tekstu oraz w publikacji stanowiącej podstawę rozprawy wskazano wartość $r = 0,01$. Najprawdopodobniej jest to pomyłka w tabeli wymagająca korekty. Ponadto w opisie stosowanych rozpuszczalników 1,2-dichloroetanowi przypisano wzór C_2H_5Cl zamiast $C_2H_4Cl_2$. W tabeli 2 parametr wyrażony w $\mu m/s$ określono jako „*szybkość dozowania roztworu*”, podczas gdy z rodzaju jednostki i opisu procesu wynika, że parametr ten najprawdopodobniej odnosi się do szybkości przesuwu podłoża. Szybkość dozowania roztworu w innych częściach rozprawy podawana jest w ml/s . Korekty wymagają również jednostki kątów α , β i γ parametrów komórki elementarnej, które powinny być wyrażone w stopniach, a nie w angstromach.

Zaznaczam, że powyższe uwagi mają przede wszystkim charakter redakcyjny i nie wpływają na zasadniczą ocenę wartości naukowej rozprawy.

Na pozytywną ocenę zasługuje dorobek Doktorantki. Pani mgr Inna Shkyliuk jest pierwszą autorką dwóch publikacji w czasopiśmie *Cellulose*, stanowiących podstawę części rozprawy oraz współautorką dwóch innych artykułów naukowych. Wyniki badań prezentowała również na konferencjach w formie wystąpienia ustnego i prezentacji posterowych. Informacje o wkładzie autorskim wskazują, że prowadziła zasadniczą część badań eksperymentalnych i uczestniczyła w analizie danych, co potwierdza jej istotny wkład w realizację przedstawionych badań.



Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych

Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi spójne i wartościowe opracowanie naukowe dotyczące otrzymywania silnie zorientowanych cienkich warstw materiałów organicznych metodą zone casting oraz zależności pomiędzy ich strukturą a właściwościami optycznymi i elektrycznymi. Za szczególnie wartościowe uważam wyniki dotyczące jednoosiowej orientacji nanokryształów celulozy w skali makroskopowej, zachowania wysokiego stopnia uporządkowania po wprowadzeniu fluoresceiny oraz badania strukturalne i termiczne warstw TES-ADT. Istotnym elementem pracy jest również rozszerzenie badań na pochodne BTBT i podjęcie próby ich wykorzystania w tranzystorach OFET.

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne dotyczą przede wszystkim sposobu interpretacji niektórych wyników, zakresu ich udokumentowania oraz warstwy redakcyjnej rozprawy. Nie podważają one jednak wartości naukowej pracy ani znaczenia uzyskanych wyników.

Rozprawa potwierdza umiejętność prowadzenia pracy naukowej, właściwego doboru metod badawczych, analizy wyników oraz formułowania wniosków. Biorąc pod uwagę zakres przeprowadzonych badań, uzyskane wyniki, ich oryginalność oraz dorobek naukowy Doktorantki, oceniam rozprawę zdecydowanie pozytywnie. W świetle przedstawionych osiągnięć i spełnienia przez rozprawę wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.), wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Inny Shkyliuk do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.