



KATEDRA  
BIOFIZYKI



Lublin, 19 grudnia 2025 r.

Dr hab. Wojciech Grudziński, prof. UMCS  
Katedra Biofizyki, Instytut Fizyki  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

### Ocena rozprawy doktorskiej

**Pani mgr inż. Alicji Teodory Stachowiak**

**pt. "Właściwości agregacyjne wybranych pochodnych ftalocyjanin  
i diketopirolopiroli w układach objętościowych i cienkich warstwach"**

Barwniki organiczne, takie jak ftalocyjaniny (Pc) i diketopirolopirole (DPP), są w obszarze zainteresowania świata nauki i techniki m.in. ze względu na ich niski koszt wytworzenia, mniejszą toksyczność w porównaniu z materiałami nieorganicznymi oraz znaczne możliwości chemicznej modyfikacji struktury molekularnej. Te właściwości predysponują je do szerokiego wykorzystania w nowoczesnej elektronice organicznej i optoelektronice.

Kluczową rolę w odniesieniu do efektywnej stosowalności tych materiałów w urządzeniach takich jak organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED), ogniwa fotowoltaiczne (OPV), tranzystory polowe czy sensory, odgrywa struktura elektronowa materiału oraz agregacja molekularna barwników. Zrozumienie, jak struktura molekularna wpływa na tworzenie form agregacyjnych w cienkich warstwach i roztworach, jest niezwykle istotną kwestią z perspektywy możliwych zastosowań tych barwników.

Praca doktorska Pani mgr inż. Alicji Stachowiak stanowi istotny wkład w pogłębienie wiedzy na temat mechanizmów organizacji molekularnej i agregacji wybranych barwników organicznych, szczególnie w złożonych układach cienkowarstwowych. Uzyskane wyniki i pochodzące z nich wnioski mogą mieć bezpośrednie zastosowanie w procesie projektowania funkcjonalnych materiałów dla zaawansowanych technologii, z istotnym potencjałem aplikacyjnym. Wyniki tych badań dostarczają podstaw do świadomego projektowania cienkowarstwowych materiałów organicznych o kontrolowanych właściwościach optoelektronicznych oraz wskazują, że układy warstwowe można



uzyskiwać łatwość do skalowania, metodą powlekania kropłowego. Te cechy identyfikują te materiały jako perspektywiczne do zastosowań w organicznych urządzeniach elektronicznych.

Najciekawszymi wynikami zaprezentowanymi w niniejszej rozprawie są m.in. te, które wskazują na zwiększenie stabilności warstw. W pracy pokazano, że modyfikacja składu warstw DPP (np. poprzez dodatek ciekłego kryształu 8CB) poprawia ich stabilność na granicy faz woda-powietrze i zapobiega aglomeracji na podłożu stałym, co jest niezwykle istotne dla powtarzalności i trwałości urządzeń. Przedstawione badania, łącząc metody spektroskopowe, elektrochemiczne i obliczeniowe z precyzyjnymi technikami formowania ultracienkich warstw (Langmuir), dają kompleksowy wgląd w zależności między strukturą molekularną a właściwościami funkcjonalnymi, co jest niezbędne w dobie poszukiwania nowych, wydajnych materiałów półprzewodnikowych.

Badania Doktorantki istotnie przesuwają granice nauki, ponieważ stanowią systematyczne porównanie właściwości agregacyjnych dwóch różnych klas barwników organicznych – ftalocyjanin (Pc) i diketopirolopiroli (DPP) – w układach o różnym stopniu złożoności. W mojej opinii, praca przyczyniła się do pogłębienia wiedzy na temat mechanizmów agregacji molekularnej oraz identyfikacji kluczowych czynników wpływających na właściwości, stabilność i organizację form agregacyjnych w cienkich warstwach. Przedstawione w pracy dane zdecydowanie mogą wzbudzić zainteresowanie wśród naukowców m.in. z takich dziedzin jak inżynieria materiałowa, chemia fizyczna, fizyka molekularna, optoelektronika oraz elektronika organiczna, ale będą też przydatne dla biofizyków czy medyków. Z tej perspektywy rozprawa doktorska Pani mgr inż. Alicji Stachowiak jest opracowaniem interesującym i ważnym.

Praca doktorska powstała pod kierunkiem prof. dr hab. Aliny Dudkowiak (promotorka rozprawy) oraz dra inż. Kamila Kędzierskiego (promotora pomocniczego), w Zakładzie Fizyki Molekularnej kierowanym przez Panią prof. dr hab. Alinę Dudkowiak, w Instytucie Fizyki na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej. Jednostka badawcza, w której przygotowana została rozprawa, jest wiodącym ośrodkiem, w którym od wielu lat prowadzone są badania cienkich warstw na absolutnie światowym poziomie, w tym we współpracy z wieloma uznanymi ośrodkami (np. wieloletnia współpraca prof. Danuty Frąckowiak i prof. Danuty Wróbel z laboratorium prof. Rogera M. Leblanca). W przedstawionej pracy doktorskiej znakomicie widać jak Autorka potrafiła wykorzystać potencjał badawczy jednostki macierzystej i oferowanych przez nią zasobów związanych z zapleczem aparaturowym i doświadczeniem kadry.

Doktorantka zdobywała doświadczenie badawcze realizując jako kierownik (0512/SBAD/6213 w 2022r. i 06/62/DSMK/6207 w 2018r.) i wykonawca (06/65/DSMK/0010 w 2018r. i 0511/SBAD/0018 w 2021r.) projekty finansowane ze środków Wydziału i Szkoły Doktorskiej. W 2018 r. odbyła również





staż naukowy w Katedrze Chemii i Technologii Polimerów, Wydział Chemii Politechniki Warszawskiej. Wyniki swoich badań prezentowała na konferencjach międzynarodowych (dwa wystąpienia ustne i dwa postery) i krajowych (jedno wystąpienie ustne, cztery postery). Rezultaty, m.in. tych badań, ukazały się nie tylko w czterech publikacjach naukowych, stanowiących podstawowy wkład do recenzowanej rozprawy doktorskiej, ale też w sześciu innych, oryginalnych pracach badawczych. Artykuły te opublikowane zostały w czasopismach o wysokich wskaźnikach wpływu, jak np. *Journal of Molecular Liquids* (IF 6,6), *Ceramics International* (IF 5,6), a niektóre z nich zdobyły już uznanie w kręgach naukowych (AS1 - 16 cytowań, AS2 - 8 cytowań czy praca spoza cyklu opublikowana w 2020r. w *Applied Physics A: Materials Science & Processing* – 38 cytowań, wg WoS).

Rozprawa doktorska ma charakter spójnego tematycznie cyklu czterech wieloautorskich prac oryginalnych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych, poprzedzonego komentarzem autorskim. Czasopismo, w którym pojawiły się artykuły z cyklu znajduje się w aktualnym wykazie czasopism i jest to dobry, międzynarodowy periodyk o wysokim współczynniku wpływu (IF ponad 5). Do rozprawy dołączony jest kompletny zbiór oświadczeń współautorów, z których wynika, że udział Doktorantki w przedłożonych w ramach rozprawy pracach jest znaczący i jednoznacznie wyodrębniony. Udział ten przejawia się również pozycją Doktorantki wśród współautorów artykułów, gdyż w trzech pracach rozprawy Doktorantka jest pierwszym autorem, a dwukrotnie jest autorem korespondencyjnym. Autoreferat poprzedzający cykl stanowi bardzo dobrze napisane opracowanie, zredagowane w języku polskim na 67 stronach, obejmujące sześć głównych rozdziałów. Rozdział wstępny wprowadza w zagadnienia związane w badanymi związkami, tworzonymi przez nie strukturami zagregowanymi oraz w podstawy spektroskopii form zagregowanych. W rozdziale drugim Autorka definiuje publikacje wchodzące w skład cyklu i opisuje swój wkład w każdej z nich. Kolejny rozdział to wskazanie używanych odczynników i stosowanych technik przede wszystkim z uwzględnieniem tego gdzie i na jakim sprzęcie badania te prowadzono. Rozdział czwarty zawiera cztery podrozdziały (poświęcone kolejnym publikacjom cyklu), w których Autorka przedstawia wyniki badań i ich interpretację. W każdym z podrozdziałów opisano motywację do podjęcia badań, zarys artykułu i najważniejsze wyniki danej pracy. Pomimo tego, że praca ma charakter cyklu (tzw. zszywki) to omówienia poszczególnych prac są na tyle rozbudowane i kompletne, że przedłożoną pracę odbiera się niemal jak klasyczną rozprawę doktorską. Rozdział piąty to podsumowanie, gdzie Autorka syntetycznie, w punktach przedstawia dokonania zrealizowane ramach swojej pracy doktorskiej.

Autoreferat poprzedza spis treści oraz spis skrótów i akronimów, a na końcu rozprawy znajdują się szczegółowe, klarowne i jednoznaczne oświadczenia współautorów publikacji stanowiących cykl. Na końcu pracy zamieszczono także zestawienie dotychczasowej aktywności naukowej Autorki w tym udział w projektach badawczych, konferencjach itp. Również, zgodnie z wymogami formalnymi, praca zawiera streszczenia przygotowane w języku polskim i angielskim. W pracy znajdujemy obszerną,





złożoną z 94 pozycji literaturę. Jest tu jedynie kilka prac sprzed roku 2000, a wśród nich znaczna część to klasyczne prace historyczne (z 1907 Brauna i Tcherniaca czy prace Kashy z 1950, 1963, 1965, 1976). Większość cytowanej literatury to prace współczesne, prezentujące aktualny stan wiedzy naukowej (ponad jedna trzecia to prace nie starsze niż 5 lat!). Wszystkie cytacje są to odniesienia do literatury fachowej, w większości do artykułów naukowych w uznanych i liczących się czasopismach. Wykorzystanie cytowanego piśmiennictwa (zarówno w autoreferacie jak i w artykułach cyklu) bezdyskusyjnie świadczy o umiejętności korzystania z literatury naukowej i dobrej orientacji w tematyce prowadzonych badań.

Autorka wykazała się dobrą aktywnością naukową: (i) wraz z cyklem prac ujętych w doktoracie (cztery artykuły) jest współautorką łącznie 10 publikacji (h-index 4 wg WoS i Scopus); (ii) aktywnie uczestniczyła w konferencjach naukowych (pięciu krajowych, czterech międzynarodowych), prezentując tam wyniki swoich badań podczas wystąpień ustnych (trzy) oraz sesji posterowych (sześć plakatów); (iii) była głównym wykonawcą (dwa granty) i kierownikiem (dwa granty) w projektach finansowanych ze środków Wydziału i Szkoły Doktorskiej (iv) brała udział w trzytygodniowym stażu krajowym. Powyższa aktywność wypełnia zwyczajowe wymagania stawiane przed kandydatami na stopień doktora.

Rozdział wstępny stanowi wprowadzenie do tematu i jednocześnie jasno definiuje motywacje Autorki i cele jakie sobie postawiła. Autorka w sposób klarowny, dobrze zilustrowany graficznie omawia najważniejsze zagadnienia związane z tematem rozprawy doktorskiej. Zabrakło mi, choćby krótkiego, omówienia wykorzystywanych technik spektroskopowych, obliczeniowych czy preparatywnych, gdyż opisy w publikacjach są zwykle dość syntetyczne. Rozdział 3 nie zaspokoił moich oczekiwań w tym zakresie, a mógł on zostać wykorzystany do zaakcentowania ważnych aspektów stosowanych technik, które były szczególnie istotne w realizacji badań prezentowanych w publikacjach cyklu. Np. przygotowanie podłoży, czy inne aspekty wytwarzania cienkich warstw do różnych technik pomiarowych. Jest to ogromny zasób specjalistycznej wiedzy, którą to wiedzę, w mojej opinii, Pani mgr inż. Alicja Stachowiak mogłaby się pochwalić, podkreślając w szczególności te aspekty, które były jej udziałem. Przy tej okazji chciałbym zwrócić uwagę, że do swoich badań Doktorantka zastosowała zestaw zaawansowanych, komplementarnych i precyzyjnie dobranych technik badawczych (konfokalna mikroskopia fluorescencyjna, mikroskopia siła atomowych, mikroskopia kąta Brewstera czy pomiary absorpcji szczególnie trudne w przypadku monowarstw), a także zaprezentowała cenne i rzadkie połączenie warsztatu obliczeniowego i doświadczalnego.

Rozdział 4 ocenianej rozprawy doktorskiej zawiera (w kolejnych podrozdziałach) omówienia oryginalnych artykułów naukowych stanowiących elementy cyklu. Ważną zaletą tego rozdziału jest to, że pokazane są w nim elementy łączące wszystkie publikacje cyklu, w każdym z podrozdziałów





poświęconym głównie wynikom z poszczególnych prac są wyraźne, wielokrotne odwołania do pozostałych artykułów i zamieszczonych w nich tabel czy wykresów. Takie przedstawienie pokazuje kompleksowe podejście i akcentuje spójność cyklu.

Pierwsza publikacja koncentruje się na badaniach spektroskopowych i elektrochemicznych oraz obliczeniach opartych o teorię funkcjonału gęstości (DFT) w celu określenia przerw energetycznych czterech komercyjnie dostępnych ftalocyjanin. Autorka dokonała analizy tych barwników w różnych stanach (w roztworach, warstwach Langmuira oraz cienkich filmach) i zbadała wpływ struktury molekularnej na wielkość przerwy energetycznej. Stwierdziła przede wszystkim dużą zgodność między wynikami eksperymentalnymi a obliczeniami DFT, jednocześnie odrzucając metodę opartą o teorię perturbacji Møllera–Plesseta drugiego rzędu (MP2) ze względu na jej rozbieżność z wynikami doświadczalnymi. Badania przedstawione w tej publikacji pozwoliły scharakteryzować też najwyższy zajęty orbital molekularny (HOMO) i najniższy niezajęty orbital molekularny (LUMO), parametry kluczowe dla zastosowań tych barwników w urządzeniach optoelektronicznych.

W drugiej publikacji Autorka koncentruje się na stabilizacji warstw Langmuira tworzonych w pochodnych diketopirolopirolu (DPP) poprzez dodanie ciekłych kryształów, a konkretnie 4-oktylo-4'-cyjanobifenylu (8CB), w celu poprawy ich stabilności i zapobiegania agregacji. Zbadała dwa typy pochodnych DPP: jedną z symetrycznie przyłączonymi łańcuchami alkilowymi i drugą z łańcuchami przyłączonymi asymetrycznie. Wykazała, że warstwy tworzone z asymetrycznej pochodnej DPP nie są stabilne w czasie. Pani mgr inż. Alicja Stachowiak pokazała, że dodatek 8CB znacząco poprawił stabilność warstw DPP, a w symetrycznej pochodnej DPP z dodatek 8CB niemal całkowicie usunął struktury aglomeratów. Dodatkowo Autorka wykazała, że dodatek 8CB nie tylko stabilizował warstwy DPP, ale także indukował agregację typu J cząsteczek DPP w warstwie Langmuira, prowadząc do tworzenia stabilnych warstw o spójnych parametrach na granicy faz powietrze/woda i na podłożach stałych.

W kolejnej publikacji Pani mgr inż. Alicja Stachowiak Ewa Stanek analizuje wpływ struktury przestrzennej łańcuchów alkilowych na właściwości barwników diketopirolopirolu (DPP) w dwuwymiarowych systemach, porównując dwa barwniki DPP, różniące się jedynie prostymi (DPPO) lub rozgałęzionymi (DPPEH) bocznymi łańcuchami alkilowymi, koncentrując się na procesie tworzenia warstw Langmuira na granicy faz powietrze-woda. Wyniki uzyskane dzięki mikroskopii kąta Brewstera (BAM) i obliczeniom teorii funkcjonału gęstości (DFT), ujawniają znaczące różnice w organizacji molekularnej i stabilności warstw, sugerując, że nie są one monomolekularne, lecz zbudowane z agregatów (dimerów i/lub tetramerów). Kluczowym wnioskiem jest to, że nawet niewielka zmiana w budowie łańcucha bocznego dramatycznie wpływa na właściwości termodynamiczne i uporządkowanie cienkich filmów, przy czym łańcuchy proste (DPPO) tworzą stabilniejsze warstwy.





Ostatnią pracą cyklu doktorskiego jest publikacja, w której Autorka również analizuje, w jaki sposób geometria bocznych łańcuchów alkilowych w pochodnych diketopirolopirolu (DPP) podstawionych tiofenem wpływa na ich właściwości spektroskopowe i zachowanie agregacyjne w różnych środowiskach (roztworach, warstwach Langmuira i cienkich warstwach). W tej pracy również Autorka zastosowała kombinację metod teoretycznych (obliczenia teorii funkcjonału gęstości zależnej od czasu – TD-DFT) i eksperymentalnych (szczegółowe analizy spektroskopowe widm absorpcji i fluorescencji) w celu poznania zachowania molekularnego pochodnych DPP. Pokazała Ona, że boczne łańcuchy alkilowe znacząco wpływają na organizację molekularną DPP, szczególnie w strukturach cienkich warstw, i zidentyfikowała obecność form monomerycznych, dimerycznych i wyższych agregatów, w tym tetramerów, zarówno w roztworze, jak i w cienkich warstwach. Zaobserwowała też znaczące zmiany spektralne, w tym 20-nm przesunięcie w kierunku niebieskim (blue shift) podczas kompresji warstwy Langmuira, co wskazuje, że orientacja struktur dimerycznych jest modyfikowana przez rozgałęzione grupy boczne, prowadząc do tworzenia agregatów typu H, co komplikuje interpretację danych spektralnych związanych ze stanami agregacji. Badania te pokazują, jak bardzo złożona jest organizacja molekularna tych układów i że nie można polegać wyłącznie na stosunkach intensywności widmowej i przesunięciach w celu określenia kompozycji agregacyjnej układu.

Autoreferat zamyka rozdział piąty Podsumowanie, gdzie bardzo syntetycznie Pani mgr inż. Alicja Stachowiak wypunktowała swoje dokonania wyodrębniając spośród nich kilka najważniejszych, a także w sposób opisowy omówiła istotność jej badań i znaczenie badanych materiałów jako punktu wyjścia do projektowania konkretnych rozwiązań inżynierskich.

Zaprezentowany zbiór czterech publikacji tworzy zwartą całość układającą się w logiczną, oryginalną historię na temat badań, w których określono wpływ procesu agregacji na właściwości spektralne wybranych barwników z grupy ftalocyjanin i diketopirolopirolu w układach objętościowych i cienkich warstwach różnego rodzaju. W mojej opinii pozwoliło to Autorce na przesunięcie granic wiedzy o procesach organizacji molekularnej analizowanych barwników w układach o różnej złożoności, w tym określić jak tworzyć określone typy agregatów i jaki ma to wpływ na właściwości optoelektroniczne, co długofalowo może mieć znaczenie dla ich aplikacji w układach komercyjnych.

Jestem pod dużym wrażeniem zarówno jakości badań jak i uzyskanych wyników, które zostały opisane w pracach stanowiących zbiór cyklu. Są to bardzo rzetelnie prowadzone badania, w których wybór metodologii, zastosowane techniki eksperymentalne, procedury, sposób analizy i prezentacji danych oraz dyskusja wyników i wnioskowanie są na bardzo dobrym poziomie. Na większość pytań, które nasuwały mi się podczas czytania autoreferatu otrzymałem odpowiedzi w treści artykułów





oryginalnych. Spośród tych, które pozostały chciałbym poprosić o odpowiedź lub komentarz na poniższe:

1. Rysunek drugi (Fig.2) w publikacji AS1 prezentuje widma obliczone techniką TD-DFT (kolumna trzecia), na pierwszy rzut oka sporo brakuje im aby odwzorowały odpowiadające im widma doświadczalne (pierwsze dwie kolumny). Proszę o komentarz dotyczący tych różnic (z czego one wynikają, jak można poprawić wyniki symulacji, jakie są ograniczenia zastosowanej metody obliczeniowej).
2. Czy w pracy AS2 niektóre izotermy z DPP3 (Fig. 2 (panel dolny) i Fig. 3d) nie powinny być zbliżone do siebie? Ocenę utrudnia różne rozpięcie osi na obu wykresach. Proszę o komentarz lub porównanie.
3. Jestem pozytywnie zaskoczony jakością widm absorpcji uzyskanych z cienkich warstw. Czy w przypadku tych pomiarów był wydłużany czas akwizycji czy też może widma były uśredniane, wygładzane. Osobiście nie mam aż tak dobrych doświadczeń z systemem OceanOptics.
4. Jednym w parametrów charakteryzujących warstwy Langmuira wyznaczanych przez Autorkę były zmiany potencjału powierzchniowego, na podstawie której to wielkości obliczała Ona zmiany efektywnego momentu dipolowego. U czytelnika nie zajmującego się tematyką monowarstw pojęcia napięcie i potencjał powierzchniowy mogą brzmieć tożsamo. Proszę o szersze wprowadzenie czym jest potencjał powierzchniowy, jak można go mierzyć, jak mierzy go w Pani eksperymentach przystawka *Surface Potential Sensor* z KSV NIMA SPOT. A także z jaką dokładnością (niepewnością) można na podstawie potencjału powierzchniowego wyznaczać efektywny moment dipolowy (m.in. Fig.2 czy Fig.S3 w AS3 pozwalają oszacować tę niepewność).
5. We wstępie pojawiają się pewne charakterystyczne miary kątów ( $54.7^\circ$ ,  $53.1^\circ$ ,  $63.4^\circ$ ), których pochodzenie nie jest wyjaśnione. Proszę o wprowadzenie skąd biorą się tak nieoczywiste na pierwszy rzut oka wartości. Przy okazji, na rys. 1.4 oraz 4.1.2 Autorka wspomina się o kącie  $\alpha$ , którego jednak nie udało mi się odnaleźć ani na tym ani na innych rysunkach.
6. W analizach widm dokonywano rozkładu na składniki gaussowskie, proszę o bardziej szczegółowe informacje dotyczące tych analiz. Czy i jakie parametry były ograniczane, np. szerokość czy położenie, jakie były parametry początkowe procesu dopasowania? Czy dopasowanie prowadzono w skali długości fali [nm] czy liczb falowych [ $\text{cm}^{-1}$ ] i dlaczego może to być istotne. Dlaczego niektóre wartości Autorka podaje w nm (położenie pasm), a inne w  $\text{cm}^{-1}$  (szerokość połówkowa, intensywność integralna). W tabelach intensywność integralna podawana jest w  $\text{cm}^{-1}$ , ale odpowiadające im widma i/lub rozkłady na czynniki gaussowskie prezentowane są w skali długości fali. Dodatkowo, niektóre z prezentowanych rozkładów wydają się być nie całkiem optymalne (Rys. 4.2.3c; Rys. 4.4.1a; AS4: Fig.5b, Fig.S13b i d).
7. W pracy Autorka stwierdza, że uzyskane przez nią wyniki wskazują na konieczność dalszego rozwoju modeli i podejść teoretycznych w odniesieniu do analizy typów agregatów i dodatkowych oddziaływań molekularnych. Prosiłbym o próbę wskazania kierunku tych zmian, które z narzędzi obliczeniowych czy teorii są wg Autorki najbardziej obiecujące, jakie modyfikacje mogłyby zasugerować.
8. Autorka wskazuje na potencjał zastosowania badanych przez nią materiałów w ogniwach fotowoltaicznych. Prosiłbym o próbę odniesienia się do tego gdzie można byłoby umiejscowić potencjalne układy oparte o badanie przez Panią związki w odniesieniu do klasycznej fotowoltaiki





krzemowej z jednej strony, czy z drugiej strony technologii perowskitowej (o której skądinąd znowu jest głośno z powodów poza merytorycznych).

9. W bibliografii Autorka umieściła artykuł zatytułowany [...] *An old dog can still have new [...]tricks!* (*Niby stary pies a pokazuje nowe sztuczki!*). Ta zabawna parafraza dobrze oddaje moją refleksję po lekturze niniejszej rozprawy, a dotyczącą technik cienkowarstwowych w tym warstw L i LB. Pani badania pokazują, iż metoda o której mówiono iż najlepsze lata ma już za sobą, wciąż pozwala na istotne przesuwanie granic wiedzy.

Na podkreślenie zasługuje wysoki poziom edytorski rozprawy. Praca jest estetyczna, wszystkie grafiki, rysunki, ryciny i schematy są staranne, informatywne i opracowane dbałością o jakość odbioru. Praca napisana jest dobrym i precyzyjnym językiem. Do pracy mam jedynie kilka drobnych uwag edytorskich:

1. Z radością odnotowałem, że Autorka również wie, że Blodgett była kobietą (Katherine Blodgett), niestety stosunkowo często zdarzają się niewłaściwe odmiany w tekstach o warstwach Langmuira-Blodgett.
2. Na rysunku 4.1.1 czy 4.2.3 w opisie osi pozostały jednostki względne w zapisie angielskim (a.u. zamiast j.w.).
3. Brak konsekwencji w użyciu jednostek powierzchni, czasem  $\text{\AA}^2$  (rys. 4.2.2), a czasem  $\text{nm}^2$  (np. Fig. 2 i Fig. 3 w AS2).
4. Na str. 54 słowo „ilość” w odniesieniu do pierścieni tiofenowych zamieniłbym na słowo „liczba”.
5. Drobne korekty w opisach osi, np. w AS1 Fig. S3, S4, S5, S6, czy w opisie kolumn Fig. S4 w AS3 (market→marked).
6. W wielu miejscach pojawiły się spójniki i przyimki na końcu wersów (np. w streszczeniu polskim, str. 7; pierwszym wierszu wstępu str. 11 czy piątym od końca w podsumowaniu str. 60).

Podsumowując chciałbym zaznaczyć, iż Pani magister inżynier Alicja Stachowiak przedstawiła wartościową rozprawę doktorską, opartą na wynikach precyzyjnie zaplanowanych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych i obliczeniowych. Stanowią one kompleksowe podejście do zagadnienia: od pomysłu, poprzez projekt i przeprowadzenie zróżnicowanych doświadczeń i symulacji, krytyczną analizę wyników, aż po model wyjaśniający mechanizm molekularny tworzenia się obserwowanych form agregacyjnych w analizowanych układach. Prace te wymagały wszechstronnej znajomości różnych technik badawczych i podejść metodologicznych. Rozprawa doktorska opiera się na oryginalnych wynikach i analizach, które zostały opublikowane w renomowanych międzynarodowych czasopismach specjalistycznych co jednoznacznie świadczy o wyjątkowej dojrzałości naukowej Doktorantki. Dodatkowo liczba wykonanych eksperymentów, przeanalizowanych widm i obrazów mikroskopowych, uruchomionych symulacji i obliczeń teoretycznych, a także dosyć rozległy zakres poruszanych zagadnień świadczy o dużym zaangażowaniu i pracowitości Autorki.





**W mojej opinii oceniana rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane w postępowaniach doktorskich oraz warunki określone w artykule 187 Ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Niniejszym składam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria materiałowa Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr inż. Alicji Stachowiak do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, w tym do publicznej obrony.**

Gratuluję Doktorantce oraz Pani Promotor i Panu Promotorowi pomocniczemu uzyskania tak wartościowych wyników. Jest to szczególne osiągnięcie, które podkreśla wysoką jakość pracy badawczej ich laboratorium oraz wytrwałości w dążeniu do celu Doktorantki.



Elektrycznie podpisany przez:

Wojciech Henryk Grudziński

Data:

2025-12-19 21:19:10





