



UNIwersytet Gdański

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki

Instytut Fizyki Doświadczalnej

Zakład Biomateriałów i Fizyki Medycznej

Prof. dr hab. Piotr Bojarski

Gdańsk, 30.04.2026

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Tim

„Organizacja nanocząstek złota na granicy faz i ich oddziaływanie z wybranymi związkami organicznymi”

W literaturze naukowej dotyczącej nanomateriałów można zaobserwować w ostatnich latach silny nurt dotyczący projektowania, syntezy i optymalizacji własności fizykochemicznych nanocząstek metali szlachetnych oraz ich oddziaływań z ważnymi biologicznie molekułami w licznych cienkich i ultracienkich warstwach o różnej budowie i strukturze. Nanocząstki o różnych kształtach zbudowane z atomów metali szlachetnych jak złoto, srebro czy platyna pełnią istotne role w materiałach optoelektronicznych, platformach plazmonicznych wykorzystywanych pod kątem biosensingu czy choćby jako istotna część źródła wzmocnionego promieniowania luminescencyjnego co tłumaczy szerokie zainteresowanie tymi obiektami nie tylko z

czysto poznawczego punktu widzenia ale i jako istotnymi składnikami materiałów funkcjonalnych.

Praca doktorska Pani mgr inż. Beaty Tim przedstawia m.in. wyniki badań oddziaływań między nanocząstkami złota o różnych kształtach (kuliste albo nanodruły) z kwasem 4-merkaptobenzoesowym, rodaminą 6G czy lipidami w bardzo cienkich warstwach wytwarzanych na granicy faz powietrze – woda czy powietrze- ciało stałe. W szczególności badania te dotyczą wpływu kształtu nanocząstek i sposobu ich funkcjonalizacji na organizację oraz własności badanych warstw i membran biomimetycznych. Tematyka recenzowanej pracy jest aktualna oraz istotna naukowo i wpisuje się bez wątplenia we wspomniany wcześniej współczesny nurt badań.

Recenzowana praca doktorska ma formę zszywki złożonej z kopii czterech oryginalnych publikacji współautorskich opatrzonej komentarzem doktorantki. Publikacje te ukazały się w czterech różnych renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i o solidnych współczynnikach wpływu: J.Phys.Chem.C, Applied Surface Science, Langmuir oraz J. Mol. Liquids. W trzech spośród czterech prac doktorantka jest pierwszą autorką a także autorką korespondującą. Ponadto w przedstawionej rozprawie odnaleźć można wszystkie przewidziane prawem i dobrym obyczajem akademickim elementy jak oświadczenia współautorów publikacji i opis wkładu własnego w publikacje współautorskie doktorantki wchodzące w skład doktoratu, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury , bardzo przydatny spis skrótów i oznaczeń oraz spis całkowitego dorobku naukowego doktorantki i jej innych osiągnięć naukowych oraz zawodowych. Ponadto doktorantka zamieściła w pracy informacje o źródłach współfinansowania badań przez NCN w formie dwóch grantów: Preludium, którym kierowała oraz Sonaty, w której była wykonawczynią.

W szczególności należy podkreślić, że forma i szczegółowość oświadczeń oraz opis własnego wkładu doktorantki nie budzą zastrzeżeń. Z tych elementów rozprawy wyłania się zdecydowanie pozytywny obraz istotnego bądź nawet dominującego wkładu doktorantki do opublikowanych wyników badań opisanych w przewodniku

pracy doktorskiej. Wkład doktorantki we wszystkich pracach polegał między innymi na przeprowadzeniu badań eksperymentalnych oraz analiz i dyskusji uzyskanych wyników a w pracy 4 nawet na opracowaniu całościowej koncepcji badań.

Komentarz naukowy został skonstruowany przez Doktorantkę w sposób klasyczny: 1) wstęp zawierający jasno sprecyzowany cel pracy i motywację do przeprowadzenia badań na szerszym tle doniesień naukowych z wykorzystaniem nanocząstek złota, mono - i multiwarstw molekularnych oraz wzmianki o najważniejszych technikach eksperymentalnych mających znaczenie dla realizowanych badań; 2) Rozdział „Badane materiały oraz zastosowane techniki pomiarowe”, gdzie omówiono m.in. zagadnienia syntezy i funkcjonalizacji sferycznych i prętopodobnych nanocząstek złota wraz z odpowiednimi odnośnikami do prac własnych, preparatykę badanych układów z uwzględnieniem technik uzyskiwania cienkich warstw, metod ich charakteryzacji m.in. spektroskopowych, mikroskopowych i wykorzystujących plazmonikę czy też sprawdzania stabilności uzyskiwanych materiałów; 3) Opis badań, będący zasadniczą i szczegółową częścią autorskiego przewodnika zawierającą omówienie najważniejszych wyników opublikowanych wraz z rzeczową dyskusją; 4) Podsumowanie, które uwypukla najważniejsze wyniki i wnioski z przeprowadzonych badań; 5) spis wykorzystanej literatury liczący 60 pozycji.

Choć lektura przewodników jest dla czytelnika bardziej uciążliwa niż forma klasycznej rozprawy ze względu na często występujące odwołania do elementów prac oryginalnych to praca doktorska Pani mgr inż. Beaty Tim nie zatraciła jasności ani zwięzłości. Część 3 przewodnika omawiająca główne wyniki odpowiada w pełni zasobowi prac będących przedmiotem doktoratu. Ta zasadnicza część koncentruje się na najważniejszych opublikowanych wynikach pomijając z konieczności część szczegółów i niektóre wyniki z prac oryginalnych. W mojej ocenie autorka dokonywała w przewodniku właściwej i reprezentatywnej selekcji materiału. Szczególną uwagę Autorka poświęciła zbadaniu wpływu kształtu dwóch badanych typów nanocząstek złota (sferyczne i prętopodobne) oraz sposobu ich funkcjonalizacji na własności

fizykochemiczne oraz organizację uzyskanych cienkich warstw i modelowych błon biologicznych. Szeroko prowadzone badania za pomocą zróżnicowanych technik eksperymentalnych doprowadziły do szeregu szczegółowych wniosków, w tym m.in. takiego, że zarówno sposób funkcjonalizacji nanocząstek złota jak i ich postać (sferyczna bądź nanopręt) silnie wpływają na własności termodynamiczne, morfologię i stabilność warstw Langmuira na granicy faz powietrze - woda. Podjęcie szczegółowych badań w tym zakresie jest zrozumiałe i uzasadnione nie tylko z uwagi na walory i wnioski czysto badawcze i decydujące o poprawnym oraz bardzo szczegółowym zdefiniowaniu badanych układów ale i z powodu przewidywanych zastosowań tworzonych na tej bazie materiałów pod kątem diagnostyki biomedycznej czy być może fototerapii. Z pewnością wyniki badań doktorantki z udziałem cholesterolu zaprezentowane w rozprawie i publikacji z *J.Mol.Liq.* są tu dobrym prognostykiem na przyszłość.

W wyniku przeprowadzonych licznych eksperymentów i analiz Autorka określiła szczegółowe warunki, przy których dochodzi do tworzenia się warstw o konkretnej organizacji i zdolności agregacyjnej nanocząstek złota. Istotnym osiągnięciem doktorantki jest wykazanie silnej korelacji między kształtem nanocząstek złota (sferycznym bądź prętopodobnym) i kompozycją uzyskanych cienkich warstw z ich wzajemnym oddziaływaniem. Szczególnie interesujące wydały mi się wyniki, które dotyczą przenoszonych na stałe podłoża warstw zawierających nanocząstki sferyczne złota funkcjonalizowane dodekanotiolem ze względu na powstawanie ich lokalnych wysoko skoncentrowanych mikroobszarów dających świetne warunki do silnego, efektywnego sprzężenia plazmonowego i uzyskiwania wzmocnionego sygnału rozproszenia ramanowskiego (przenoszenie na podłoża powyżej oznaczonego przez Autorkę powierzchniowego ciśnienia granicznego). Również bardzo ciekawe wyniki uzyskano w przypadku prętopodobnych nanocząstek złota, dla których przy przenoszeniu warstw je zawierających na podłoża stałe uzyskano struktury dendrytyczne także wykazujące zdolności do wzmocniania lokalnych pól elektrycznych a zatem w sprzyjających warunkach także sygnału rozproszenia ramanowskiego. Także dla tego przypadku Autorka wyznaczyła optymalne powierzchniowe ciśnienie przy

przeniesieniu warstw na podłoże stałe. Wydaje mi się, dalsze rozwijanie badań w tym kierunku z udziałem indywidualów biologicznie i medycznie czynnych np. białek będących markerami poważnych chorób jest perspektywiczne i mogłoby przyczynić się do powstania nowych czułych biosensorów. Ciekaw jestem komentarza doktorantki na ten temat.

W tym miejscu chciałbym też zapytać jakie powody zdecydowały o wybraniu akurat nanocząstek sferycznych i prętopodobnych z całej gamy dostępnych kształtów? Chciałbym też poprosić o komentarz dotyczący ewentualnej możliwości wykorzystania efektów agregacyjnych także w technikach plazmonowo wzmocnionej od metalu emisji promieniowania. Wydaje się, że połączenie w przyszłości obu metod: SERS i MEF mogłoby okazać się istotne w projektowaniu bardzo czułych i dających wieloparametrową odpowiedź optyczną biosensorów.

Wydaje mi się też, że warto byłoby w przyszłości zbadać możliwości wzmocniania sygnałów optycznych SERS czy MEF dla podobnych układów ale przy innym kształcie nanocząstek złota: choćby dla nanosześcianów, nanopiramidek czy nanostruktur rozgałęzionych. Czy doktorantka widzi celowość prowadzenia dalszych badań na przykład w tym kierunku? Chętnie usłyszałbym nieco więcej na obronie o dalszych planach badawczych doktorantki.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Beaty Tim odznacza się ważnymi naukowymi elementami nowatorskimi w zakresie tworzenia istotnych dla plazmoniki i jej zastosowań w zakresie tworzenia funkcjonalnych materiałów optycznych zawierających nanocząstki złota. Na docenienie zasługuje porządna analiza wyników, zarówno tych podstawowych jak i tych dotyczących oddziaływań nanocząstek metalicznych z molekułami organicznymi prowadzących do wzmocnienia sygnału rozpraszania ramanowskiego SERS. Być może w przyszłości warto byłoby się zainteresować jeszcze modelowaniem matematycznym pod kątem optymalizacji działania i projektowania zaproponowanych platform plazmonicznych. Na podkreślenie zasługuje zastosowanie różnorodnych technik

eksperymentalnych do charakteryzacji licznych badanych próbek w ich różnych postaciach i wszechstronna analiza uzyskanych wyników. Szczególnie ciekawe i o wysokim potencjale aplikacyjnym są badania, w wyniku których uzyskano na podłożach stałych materiały o lokalnej strukturze domenowej nanocząstek złota, co w wyniku wzbudzenia światłem o odpowiedniej długości fali umożliwia ich silne sprzężenie elektromagnetyczne z cząsteczkami organicznymi i silne wzmocnienia sygnału SERS i być może także fluorescencji.

Jest zupełnie jasne, że wkład doktorantki do jej współautorskich prac jest bardzo poważny a w pracy 4 w sposób oczywisty dominujący. Wszystkie prace opublikowano przy tym w bardzo dobrych interdyscyplinarnych czasopismach naukowych a ich poziom merytoryczny jest wysoki albo bardzo wysoki. Praca doktorska została przygotowana na tym solidnym fundamencie starannie, przejrzyście i mimo przyjętej formy zszywki z dużym wyczuciem najistotniejszych wątków publikacji. Świadczy to o dojrzałości naukowej doktorantki i solidnym warsztacie naukowym. Dużym plusem a zarazem ścieżką do samodzielności była też z pewnością realizacja dwóch projektów badawczych z NCN. Dodatkowo bardzo dobre wrażenie sprawia całościowy dorobek publikacyjny doktorantki znacznie przekraczający materiał wykorzystany w doktoracie. Świadczy to i o pracowitości i dobrej organizacji doktorantki ale też o szerszych zainteresowaniach niż wynikających li tylko z realizacji projektu doktorskiego.

Zadane pytania i prośby o komentarze nie umniejszają w żaden sposób wysokiej jakości pracy, wprost przeciwnie są one wyrazem mojej ciekawości jako recenzenta i mają na celu ożywić dyskusję na obronie.

Zarówno wysoki poziom merytoryczny ocenianej rozprawy jak i wartość uzyskanych rezultatów nie pozostawiają wątpliwości, że recenzowana rozprawa spełnia z nadwyżką wszelkie ustawowe, szczegółowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Mimo niewątpliwego wkładu w rozwój fizyki stosowanej czy obecności elementów chemii fizycznej środek ciężkości tej interdyscyplinarnej pracy doktorskiej przynależy do inżynierii materiałowej i to w jej rozwój wnosi ona

największy wkład. Wnoszę zatem o dopuszczenie Pani mgr inż. Beaty Tim do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wysoka wartość merytoryczna wyników, w szczególności wytworzenie biokompatybilnych materiałów optycznych pozwalających na uzyskanie wzmocnionego sygnału rozpraszania ramanowskiego, wszechstronna i dogłębna fizykochemiczna charakteryzacja tych materiałów oraz zrozumienie procesów na poziomie molekularnym prowadzących do uzyskania wspomnianego wzmocnienia a także dalszy potencjał badawczy i aplikacyjny pracy stanowią dla mnie wystarczający powód do złożenia wniosku o wyróżnienie rozprawy.