

Wydział Fizyki

Uniwersytetu w Białymstoku

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Višnja Babačić, pt. „Evaluation of elastic properties of nanomaterials by Brillouin light scattering”

Istotny w ostatnich latach postęp w możliwościach pomiarowych spektrometru nieelastycznego rozpraszania światła Brillouina (BLS) na fononach i magnonach sprawił, że technika ta, wraz z rozpraszaniem Ramana, staje się podstawowym narzędziem w badaniu własności nowych ultracienkich materiałów i nanostruktur. Obiekty te o rozmiarach nanoskopowych charakteryzują się zupełnie nowymi, unikalnymi właściwościami optycznymi, elektrycznymi, magnetycznymi, termicznymi i mechanicznymi nieobecnymi w makroskopowych odpowiednikach.

W swojej rozprawie doktorskiej mgr Višnja Babačić, przedstawiła wyniki badań właściwości mechanicznych wybranych grup ciekawych nanomateriałów: cienkich warstw nano-kompozytowych, objętościowych i nanometrowej grubości membran van der Waalsa oraz polimerowych kryształów koloidalnych. Wyniki doświadczalne przedstawione w pracy bazują głównie na pomiarach spektrometrem BLS. Ta bezkontaktowa i nieniszcząca metoda jest szczególnie istotna w przypadku badania nanomateriałów. Układ BLS pracujący w geometrii rozpraszania wstecznego umożliwił wykonanie pomiarów częstotliwości f fal akustycznych od wektora falowego k , wybieranego poprzez zmianę kąta padania wiązki światła laserowego na badaną próbkę. Analiza eksperymentalnie wyznaczonej zależności $f(k)$ bądź wyliczonej prędkości fazowej od k pozwoliło na uzyskanie informacji o właściwościach mechanicznych analizowanych w pracy funkcjonalnych nanomateriałów.

Praca doktorska mgr Višnja Babačić została napisana w języku angielskim, wykorzystuje wyniki badań opublikowanych przez Doktorantkę w trzech renomowanych czasopismach z dziedzin fizyki materiałowej i inżynierii chemicznej:

- (i) Emerson Coy, Visnja Babacic, Luis Yate, Karol Załęski, Yeonho Kim, Juan Sebastián Reparaz, Bernhard Döring, Bartłomiej Graczykowski, Igor Iatsunskyi, Katarzyna Siuzdak, „**Study of nanostructured ultra-refractory Tantalum-Hafnium-Carbide electrodes with wide electrochemical stability window**”, Chemical Engineering Journal, 415, 128987, (2021),
- (ii) Visnja Babacic, David Saleta Reig, Sebin Varghese, Thomas Vasileiadis, Emerson Coy, Klaas-Jan Tielrooij, Bartłomiej Graczykowski, „**Thickness-Dependent Elastic Softening of Few-Layer Free-Standing MoSe₂**”, Adv. Mater., 33, 2008614, (2021),
- (iii) Visnja Babacic, Jeena Varghese, Emerson Coy, Eunsoo Kang, Mikolaj Pochylski, Jacek Gapinski, George Fytas, Bartłomiej Graczykowski, „**Mechanical reinforcement of polymer colloidal crystals by supercritical fluids**”, Journal of Colloid and Interface Science, 579, 786–793787, (2020).

Czasopisma te charakteryzują się bardzo wysokimi IF, a mgr Višnja Babačić w dwóch z powyższych prac jest na pierwszym miejscu listy autorów a w trzeciej, na drugim i jej wiodąca rola w publikowanych wynikach badań nie ulega wątpliwości.

Należy zaznaczyć, iż mgr Višnja Babačić recenzowaną pracę doktorską wykonała na WF UAM w latach 2018-2021. Do momentu złożenia niniejszej rozprawy, dorobek naukowy mgr Višnja Babačić stanowią jeszcze trzy publikacje, z jej współautorstwem w czasopismach: Journal of Applied Physics (2021), Adv. Mater. Interfaces (2018) oraz Nanomaterials (2018). Z deklaracji Autorki niniejszej pracy doktorskiej ze strony 16 wynika, iż jej udział w przygotowaniu serii 6 publikacji polegał na: pilotowaniu procesu wytwarzania próbek do badań, wykonaniu pomiarów na układach doświadczalnych, przeprowadzeniu modelowania celem wyliczenia parametrów mechanicznych z zależności dyspersyjnych oraz przygotowaniu manuskryptu.

Praca doktorska mgr Višnja Babačić liczy 133 strony, charakteryzuje się logicznym podziałem treści w postaci pięciu zasadniczych rozdziałów, które kończą się 278 odpowiednio, poprawnie wybranymi? pozycjami literatury. Treść zawarta w niniejszej dysertacji odpowiada tytułowi pracy. Pierwszy rozdział jest wprowadzeniem do teorii sprężystości oraz fal sprężystych w ciałach stałych. W rozdziale drugim autorka opisała podstawy nieelastycznego rozpraszania światła Brillouina (BLS) oraz spektrometr BLS na którym uzyskano większość wyników eksperymentalnych. W pozostałych rozdziałach, 3, 4 i 5 przedstawiono zasadnicze wyniki badań wybranych nanomateriałach.

Do najważniejszych osiągnięć niniejszej pracy doktorskiej można zaliczyć:

- (i) Wykazanie istotnego obniżenia twardości – zmiękczenia, właściwości elastycznych dichalkogenów metali przejściowych MoSe₂ przy zmniejszaniu grubości do kilku warstw molekularnych. Wykorzystując układ BLS z obiektywem o dużej aperturze numerycznej, jednocześnie określono takie parametry jak: stałe sprężystości, moduł Younga oraz grubości membran. Badania wykazały istnienie anizotropii właściwości sprężystych zarówno dla materiału objętościowego jak i cienkich membran. Uzyskane wyniki wydają się być bardzo istotne w potencjalnym ich zastosowaniu.
- (ii) Odkrycie procesu tzw. zimnego lutowania trójwymiarowych kryształów koloidalnych polistyrenu za pomocą azotu i argonu w stanie nadkrytycznym. Zbadanie, w oryginalnym układzie in-situ BLS, efektu wzmocnienia mechanicznego przy zachowaniu periodycznej struktury tych kryształów pozwoliło na określenie optymalnych warunków ciśnienia, temperatury oraz czasu trwania procesu. Zaletą tej nowatorskiej metody jest jej niski koszt oraz czystość bez konieczności użycia procesów chemicznych.

W pracy przedstawiono również wyniki badań wpływu zawartości procentowej tantalu na właściwości termiczne, elektryczne i chemiczne cienkich pokryw nanokompozytu 3D Ta-Hf-C nałożonego na krzemie. Zmierzone, z zastosowaniem spektroskopu układem BLS, zależności dyspersyjne akustycznych fal powierzchniowych modelowano z wykorzystaniem metody elementów skończonych w celu oszacowania właściwości elastycznych badanych materiałów. Otrzymane wyniki wykazały, że moduł Younga mieszaniny (TaC)_x(HfC)_y jest większy w porównaniu do pojedynczych TaC lub HfC. Wyniki BLS wykazały zgodność z rezultatami uzyskanymi konwencjonalną metodą nanoindentacji.

W rozprawie brak jest informacji o udziale Doktorantki w konferencjach naukowych, prezentacji wyników. Z deklaracji Promotora pracy wynika jednak, iż mgr Višnja Babačić aktywnie prezentowała uzyskane wyniki na międzynarodowych konferencjach naukowych a także na seminariach zakładowych. Doktorantka wygłosiła również ciekawe seminarium z tematyki swojej rozprawy na Wydziale Fizyki UwB.

Podsumowując, poziom naukowy przedstawionych w niniejszej pracy doktorskiej badań należy ocenić bardzo wysoko. W pracy podano kilka bardzo istotnych osiągnięć z dziedziny funkcjonalnych nanometriałów o różnym stopniu ograniczenia przestrzennego. A wyniki zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim IF.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Višnja Babačić spełnia wszystkie formalne kryteria określone w aktualnie obowiązujących aktach prawnych i zwyczajowych stawianych pracom doktorskim z fizyki. Biorąc pod uwagę jej dorobek naukowy stawiam wniosek formalny o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy recenzowanej pracy składam wniosek o jej wyróżnienie.

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

W badaniach właściwości sprężystych dichalkogenów metali przejściowych MoSe₂, o strukturze podobnej do grafenu, mgr Višnja Babačić eksperymentalnie wykazała efekt zmiękczenia właściwości mechanicznych przy zmniejszaniu grubości do kilku warstw molekularnych co nie było obserwowane w przypadku grafenu. Wyniki tych badań opublikowano w prestiżowym czasopiśmie (IF=30,81) Advanced Materials. Mgr Višnja Babačić dokonała odkrycia metody zimnego lutowania nanocząstek polistyrenowych za pomocą gazów w fazie superkrytycznej. Wyniki te zostały opublikowane w czasopiśmie Journal of Colloid and Interface Science o wysokim IF (=8,128). Doktorantka wykazała się wszechstronnymi umiejętnościami: wytwarzania ciekawych materiałów, ich eksperymentalnej charakteryzacji oraz modelowaniem właściwości. Wydaje się, że rezultaty powyższych badań mogą znaleźć zastosowanie w nanourządzeniach nowej generacji a metodę zimnego lutowania będzie można opatentować.

Ryszard Gieniusz

