

dr hab. inż. Gawel Żyła
Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej
Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
35-905 Rzeszów
tel.: 178651273
e-mail: gzyla@prz.edu.pl

Rzeszów, 10.11.2023

Recenzja

rozprawy doktorskiej pt.

***Development of high-performance composites based
on non-functionalized carbon nanostructures***

autorstwa mgr inż. Grzegorza Stando

przygotowanej pod kierunkiem dra hab. inż. Dawida Janasa, prof. PŚ

Szeroko pojęte nanomateriały są grupą nowoczesnych materiałów, które dzięki swej naturze wykazują interesujące i często unikalne właściwości fizyczne i chemiczne. Od końca ubiegłego wieku obserwujemy gwałtowny wzrost zainteresowania naukowców tego rodzaju strukturami, powstają liczne prace naukowe opisujące coraz to nowe materiały i ich potencjalne zastosowania. Niestety, droga z laboratorium do wdrożenia rozwiązań na rynek jest zawsze żmudna, a w przypadku nanomateriałów obfituje w wiele niespodzianek wynikających z niezrozumienia ich natury. Obecnie dysponujemy technikami wytwarzania niezliczonych rodzajów nanocząstek, jednak jednymi z najbardziej interesujących z punktu widzenia potencjalnych zastosowań wydają się struktury nanowęgla, które charakteryzują się znakomitymi właściwościami mechanicznymi, cieplnymi i elektrycznymi. W omawianej rozprawie doktorskiej pt. "*Development of high-performance composites based on non-functionalized carbon nanostructures*" (pol. „Opracowanie wysokiej klasy kompozytów na bazie nanostruktur węglowych bez konieczności destruktywnej modyfikacji chemicznej”), Autor, Pan mgr inż. Grzegorz Stando podjął się wytworzenia kompozytów na bazie niefunkcjonalizowanych struktur węglowych, zbadania właściwości fizyko-chemicznych ich powierzchni i wyjaśnienia mechanizmów stojących u podstaw obserwowanych zjawisk.

Strona redakcyjna/skład tekstu

Rozprawa doktorska, przygotowana w języku angielskim, składa się z pięciu rozdziałów obejmujących stronę merytoryczną (*Aims and scope, Introduction, Methodology, Results and Discussion,*

Conclusions and outlook) oraz trzech kolejnych (*Bibliography, Supplement, Academic achievements*) stanowiących uzupełnienie treści. Całkowita objętość pracy to 164 strony, z których 116 stanowi część merytoryczna. Stosunek wprowadzenia do części eksperymentalnej pracy jest właściwy. W bibliografii przedstawiono 297 aktualnych pozycji literaturowych, a dodatkowo w sekcji *Academic achievements* Autor przedstawił 14 prac, których jest współautorem. Rozprawa nie zawiera spisu rysunków i tabel.

Strona edytorska samego składu tekstu pozostawia wiele do życzenia. W tekście znajdują się liczne sieroty i wdowy, można również odnaleźć drobne błędy stylistyczne. Przedstawienie wzorów w tekście następuje bez znaków interpunkcyjnych; wzory są wybiórczo numerowane (pierwszy wzór pojawia się na str. 17. bez numeru, na str. 23. znajduje się wzór oznaczony numerem (1), na tej samej stronie kolejne równanie nie ma numeru). Symbole wykorzystywane we wzorach są przedstawiane w tekście wielokrotnie, nawet w przypadku równań prezentowanych bezpośrednio po sobie (zob. str. 51); występują również omyłki i definiowane symboli niewykorzystanych w równaniu (zob. str. 50) lub różnice w kroju czcionki (we wzorze symbole pochyle, w opisie przedstawione prostą czcionką, zob. str. 37). W tekście rozprawy znajdują się niepotrzebne przerwy (zob. str. 104) i braki w interpunkcji (zob. lista autorów ref. [6] w opisie Fig. 45 i dalej). Rysunki przedstawione w dysertacji są w większości wysokiej jakości i są właściwie dobrane do omawianych zagadnień. W Tabeli 10 przedstawiającej zestawienie otrzymywanych wyników brakuje jednostek przy omawianych wartościach. Często do opisu wielkości fizycznych Autor wykorzystuje jednostki spoza układu SI.

Ocena merytoryczna rozprawy

Stronę merytoryczną rozprawy oceniam dobrze. Już na początku rozprawy Autor formułuje dwie hipotezy („*pure nanocarbon surface is wettable with water and aromatic hydrocarbons are the reason for their apparent hydrophobicity*”, „*functionalization of carbon nanostructure is not always needed to manufacture high-performance composites with other materials...*”), które później z sukcesem udowadnia.

Przedstawione wprowadzenie, obejmujące historię badań nad nanostrukturami węglowymi, ich właściwości i potencjalne zastosowania, wydaje się być przemyślane i dowodzi dobrego zaznajomienia Autora rozprawy z omawianym tematem. Wykorzystana nomenklatura i słownictwo specjalistyczne są poprawne, a rysunki ułatwiają zrozumienie przedstawianych zagadnień. Przytoczona literatura jest aktualna i obejmuje zarówno artykuły naukowe publikowane w międzynarodowych periodykach jak i źródła internetowe.

Część rozprawy dotyczącą metodologii badań Autor otwiera zestawieniem wykorzystanych materiałów, przedstawia ich czystość i źródła pochodzenia, a następnie omawia procedury wytwarzania próbek wykorzystywanych w badaniach. W sekcji 3.9 Autor przedstawia i opisuje urządzenia wykorzystywane do charakteryzacji nanomateriałów, tj. mikroskopy (skaningowy mikroskop elektronowy, mikroskop sił atomowych), spektrometry (Raman, XPS, FTIR), przyrządy do pomiaru kąta zwilżania oraz konduktometr. Mnogość wykorzystywanych technik pomiarowych

świadczy o wszechstronnych umiejętnościach Doktoranta zarówno w zakresie doboru odpowiednich narzędzi jak i umiejętności korzystania z nich. Ze względu na "eksperymentalny" charakter omawianej rozprawy doktorskiej spodziewałbym się jednak, że Autor poświęci więcej miejsca omówieniu niepewności pomiarowych, którymi obarczone są otrzymywane wyniki. W tekście nie odnalazłem informacji o (a) sposobie wyznaczenia niepewności pomiarowych, (b) procedurze weryfikacji poprawności działania wykorzystywanych urządzeń pomiarowych. Dodatkowo sam opis przeprowadzonych badań bywa niejasny, jak na przykład opis metody „side-view”, gdzie Autor informuje, że kąt zwilżania obliczany był jako średnia z „4–10” pomiarów – dlaczego nie usystematyzowano tej procedury i nie wykonywano takiej samej ilości pomiarów w każdym wypadku? Co zaskakujące, pomimo braku informacji o niepewnościach pomiarowych (oraz ewentualnych błędach pomiarowych) wyniki badań przedstawiono wraz z wartościami niepewności, a na wykresach (w większości) odnaleźć można słupki niepewności (niekiedy w ramach jednej serii pomiarowej wielkość słupków niepewności różni się od siebie diametralnie).

Do przetestowania stawianych hipotez Autor wybrał cztery rodzaj nanostruktur węglowych – 0D, 1D, 2D i 3D, taki dobór materiałów bazowych świadczy o przemyślanym planie badawczym i pozwala na sprawdzenie właściwości fizykochemicznych w szerokim zakresie konfiguracji kompozytów. Rezultaty zebrane w ramach realizacji badań przedstawione zostały zarówno w postaci wykresów jak i tablic, co daje możliwość ich dalszego wykorzystania, choćby do przygotowania symulacji komputerowych (w tym z wykorzystaniem sieci neuronowych). Poza ilościowym i jakościowym opisem danych Autor przedstawił wysokiej jakości obrazy SEM i AFM, które stanowią znakomite uzupełnienie przedstawianych wyników. Opis otrzymywanych wyników jest spójny i składa się w logiczną całość, która potwierdza stawiane przez Doktoranta tezy badawcze.

W podsumowaniu Autor, z rozbijającą szczerością, przyznaje, że „*The results of these scientific works should significantly impact two fields of science: chemistry and materials science, but it is hard to define directly how*” i wydaje się to być dobrym podsumowaniem przedstawionych badań. W mojej ocenie przeprowadzone prace badawcze mogą być interesujące zarówno z punktu widzenia nauk podstawowych – próby zrozumienia mechanizmów rządzących materią w nanoskali, jak i potencjalnych zastosowań – praktycznego wykorzystania opracowanych kompozytów. Myślę, że Autor mógł pokusić się o bardziej szczegółowe i szersze przedstawienie wniosków płynących ze zrealizowanych badań.

Uważam, że Doktorantowi udało się potwierdzić stawiane tezy i wykazać, że możliwe jest modyfikowanie powierzchni różnych rodzajów kompozytów zawierających nanostruktury węglowe oraz opisać mechanizm odpowiadający za zmianę charakteru powierzchni struktur z hydrofilowego na hydrofobowy.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że rezultaty badań przeprowadzonych w ramach realizacji ocenianej rozprawy doktorskiej przedstawione zostały w cyklu czterech prac opublikowanych w recenzowanych periodykach o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku *impact factor*, a Doktorant jest współautorem kolejnych dziesięciu artykułów o sumarycznym współczynniku *if* przekraczającym wartość 60.

Podsumowanie

Podsumowując, uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy interesującego zagadnienia o dużym potencjale aplikacyjnym, postawione tezy są przemyślane i sprawnie udowodnione przez Autora w ramach dobrze zaplanowanego programu badawczego. Słaba strona redakcyjna nie umniejsza wysokiej wartości merytorycznej, w której poza brakiem dyskusji niepewności pomiarowych, nie dopatrzyłem się większych uchybień. Uzyskane wyniki, opublikowane w międzynarodowych czasopismach, stanowią wkład do światowej nauki.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia ustawowe wymagania w zakresie nadawania stopni naukowych i na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Stando i dopuszczenie go do publicznej obrony.

Rzeszów, 10.11.2023

