

Jacek Ulański  
Katedra Fizyki Molekularnej  
Politechnika Łódzka  
90-924 Łódź  
ul. Żeromskiego 116

Łódź, 14. 10. 2015

Recenzja pracy doktorskiej mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej pt.  
**„TRANSFER MIĘDZYFAZOWY NANOCZĄSTEK ZŁOTA POZWALAJĄCY  
NA ICH IMPLEMENTACJĘ W TUSZACH DO WYTWARZANIA HYBRYDOWYCH  
ORGANICZNO/NIEORGANICZNYCH UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH”**

wykonanej pod kierunkiem dr hab. Jarosława Grobelnego, prof. UŁ  
w Katedrze Technologii i Chemii Materiałów  
Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego.

Nanomateriały są od wielu lat przedmiotem zainteresowania naukowców i technologów ze względu na niezwykle właściwości, jakie wykazuje materia w formie nanocząstek i wynikające z tych właściwości możliwości zastosowań nanomateriałów w praktyce. Badania prowadzone w tej dziedzinie od szeregu lat przez prof. Jarosława Grobelnego i jego zespół wniosły istotny wkład w tą dziedzinę nauki i recenzowana praca doktorska Pani mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej wpisuje się w ten nurt badań. O wadze tej tematyki świadczy także to, że badania te przeprowadzono częściowo w ramach międzynarodowego projektu badawczego 7 PR UE: *Hybrydowe organiczno-nieorganiczne elementy pamięci wykorzystujące zintegrowane układy elektroniczne i fotoniczne* (HYMEC). Zadanie, jakie starała się w swoich badaniach rozwiązać Doktorantka dotyczy jednego z najważniejszych problemów, jakie ograniczają rozwój nanotechnologii – termodynamicznej niestabilności układów nanocząstek (dążenie do aglomeracji) oraz trudności w kontrolowanym wprowadzaniu nanocząstek do różnych matryc w celu wytwarzania funkcjonalnych nanomateriałów wykorzystujących specyficzne właściwości nanocząstek.

Zanim przedstawię bardziej szczegółowe omówienie pracy doktorskiej mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej, chcę na wstępie podkreślić, że wysoko oceniam zarówno przyjętą metodykę badań, tzn. zastosowanie metody transferu międzyfazowego nanocząstek do uzyskania stabilnych koloidów w rozpuszczalnikach organicznych,

jak i efekt końcowy, czyli wytworzenie hybrydowych organiczno/nieorganicznych nanokompozytów polimerowych, a następnie na ich bazie elementów komórek pamięci.

Rozprawa doktorska mgr Tkacz-Szczęsnej liczy w sumie 146 stron, łącznie ze stronami tytułowymi, spisem treści, spisem cytowanej literatury oraz wykazem dorobku naukowego Doktorantki. Tekst samej rozprawy mieści się na 119 stronach, podzielonych na Wstęp i 7 rozdziałów. Układ rozprawy jest klasyczny: po Wstępie w dwóch rozdziałach przedstawiony jest przegląd literatury, po czym Autorka formułuje cel i zakres swojej pracy i w kolejnych trzech rozdziałach omawia wyniki badań własnych. W rozprawie nie ma wyodrębnionego streszczenia, ale ostatni rozdział – Podsumowanie – jest w istocie rozbudowanym streszczeniem.

Rozprawa jest starannie zredagowana pod względem językowym i graficznym, napisana jest poprawnym językiem, w dobrym stylu i czyta się ją z zainteresowaniem. Zauważyłem tylko nieliczne niezręczności stylistyczne czy gramatyczne, których w recenzji nie będę wymieniał. Zwrócę jedynie uwagę na niezbyt właściwe użycie terminu tusze (a czasem zamiennie atramenty) dla określenia opracowanych roztworów polimerów zawierających nanocząstki złota. W powszechnym rozumieniu tusze (czy atramenty) są cieczami stosowanymi w technikach drukarskich, a stosowana przez Doktorantkę metoda nakładania warstw na wirujące podłoże do technik drukarskich nie należy. Opracowanie tuszu jest bardzo skomplikowaną procedurą, bo tusz musi wykazywać specyficzne właściwości fizykochemiczne, takie jak lepkość, napięcie powierzchniowe, szybkość odparowywania rozpuszczalnika i wiele innych, dostosowane do wybranej techniki drukarskiej, do rodzaju podłoża i do oczekiwanej rozdzielczości druku. Autorka zdaje sobie sprawę ze złożoności problematyki związanej z przygotowaniem tuszy, bo omawia to w dwóch podrozdziałach literaturowych: 2.5. *Kompozycja tuszy wykorzystywanych w hybrydowej elektronice*, oraz 2.6. *Wytwarzanie hybrydowych układów elektronicznych z wykorzystaniem technik drukowania i powlekania obrotowego*, więc tym bardziej dziwi, że przy omawianiu własnych wyników używa tego terminu nieco na wyrost.

Przeгляд literatury zaczyna się Wstępem, w którym Autorka przedstawia uzasadnienie podjętych badań odwołując się do stanu wiedzy i opisuje trudności,

jakie należy pokonać, aby można było syntezowane nanocząstki złota zastosować w praktyce. Ten rozdział pozwala zapoznać się czytelnikowi z koncepcją pracy doktorskiej. W kolejnym rozdziale literaturowym Autorka omawia metody wytwarzania roztworów koloidalnych nanocząstek w rozpuszczalnikach organicznych ze szczególnym uwzględnieniem transferu międzyfazowego oraz sposobów stabilizowania zawiesin nanocząstek. Ten rozdział zasługuje na wysoką ocenę, Doktorantka nie tylko wykazała się szeroką wiedzą, ale także zdolnością do krytycznego przeanalizowania zalet i wad omawianych metod. W następnym rozdziale omówione zostały sposoby wytwarzania hybrydowych kompozytów polimerowych z nanocząstkami oraz wybrane przykłady ich zastosowań w elektronice. Także ten rozdział dokumentuje dobre przygotowanie Doktorantki do prowadzonych badań, zarówno od strony znajomości podstaw fizycznych omawianych zagadnień, jak i wiedzy praktycznej. Zakres cytowanej literatury jest imponujący, spis liczy 281 pozycji, ale jego przydatność jest nieco obniżona przez stosowane dość często seryjne cytowanie wielu pozycji przy omawianiu jakiegoś problemu, co nie pozwala czytelnikowi zorientować się, czego dokładnie dotyczy konkretna publikacja. Ogólnie jednak przegląd stanu wiedzy opracowany przez mgr Tkacz-Szczęsną oceniam wysoko, napisany jest w jasny i logiczny sposób, a Autorka nie ogranicza się do przedstawienia tylko stanu wiedzy, ale formułuje także własne oceny i uogólniające wnioski.

Główna część rozprawy zawierająca wyniki badań własnych zaczyna się od zwięzłego przedstawienia w rozdziale trzecim celów szczegółowych, postawionej tezy oraz zakresu prowadzonych badań. W kolejnym rozdziale opisane są stosowane techniki badawcze oraz użyte materiały. Rozdział ten zawiera istotne informacje dotyczące przeprowadzonych eksperymentów, uważam natomiast, że Doktorantka niepotrzebnie przy opisywaniu znanych technik badawczych omawia ich podstawy fizyczne. Tego typu podręcznikowa wiedza mogłaby, co najwyżej, znaleźć się w aneksie.

Rozdział piąty, zatytułowany *Transfer międzyfazowy nanocząstek złota zsyntezowanych w wodzie do wybranych rozpuszczalników organicznych* jest w mojej ocenie najważniejszą częścią recenzowanej pracy doktorskiej. Autorka przeprowadziła systematyczne badania mające na celu określenie czynników

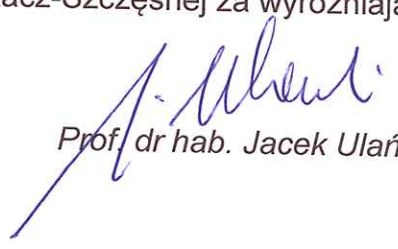
mających wpływ na proces transferu nanocząstek z koloidu wodnego do rozpuszczalnika organicznego. Eksperymenty obejmowały badania serii układów z różnymi rozpuszczalnikami i modyfikatorami w szerokim zakresie stężeń. Mgr Tkacz-Szczęśna szczegółowo opisała uzyskane wyniki i wnikliwie przeanalizowała zarówno procedury zakończone sukcesem, jak i te zakończone niepowodzeniem, co pozwoliło jej na określenie głównych parametrów decydujących o efektywności procesu przeniesienia międzyfazowego. Za szczególnie cenne uważam wyniki badań nad wytworzeniem stabilnych zawiesin nanocząstek złota w anizolu, ze względu na możliwość wytwarzania przy wykorzystaniu tego rozpuszczalnika różnego typu kompozytów polimerowych do zastosowań w elektronice i opto-elektronice.

W kolejnym, szóstym rozdziale Autorka opisuje opracowane metody wytwarzania tuszy zawierających polimer i nanocząstki złota. Jak już wcześniej wspomniałem, uważam używanie terminu 'tusze' do określenia roztworów polimerów i nanocząstek do wytwarzania warstw metodą wylewania na wirujące podłoże za niezbyt poprawne, ale będę używał tego terminu, aby recenzja była spójna terminologicznie z recenzowaną rozprawą. Jako matryce polimerowe Doktorantka wybrała polistyren i polimetakrylan metylu; szkoda, że nie ma podanych bardziej szczegółowych informacji o tych polimerach, bo np. taktyczność polistyrenu decyduje o jego zdolności do krystalizacji, a to może mieć duży wpływ na rozkład nanocząstek nieorganicznych, które są na ogół wypychane z obszarów krystalicznych. Zastanawia także, dlaczego jako matryca został wybrany polistyren o bardzo małej masie cząsteczkowej, 2500, jak to podano na str. 71. Mało precyzyjnie jest opisany skład wytwarzanych tuszy i kompozytów hybrydowych. Na str. 110 Autorka napisała: „Wytwarzane tusze zawierały PS o stężeniu od 10 do 100 mg/ml toluenu, a stężenie nanocząstek 200 lub 2000 ppm.” Nie jest zdefiniowane, do czego odnosi się bezwymiarowa jednostka ppm: czy chodzi o zawartość wagową nanocząstek i względem czego jest ta zawartość wyliczona, polimeru czy raczej roztworu, bo w zdaniu jest mowa o składzie tuszu, a nie kompozytu. Szkoda, że Autorka nie oszacowała, jakie są średnie odległości pomiędzy nanocząstkami złota w matrycy polimerowej, bo to jest bardzo istotny parametr z punktu widzenia analizy charakterystyk prądowo-napięciowych komórek pamięci i obserwowanego efektu przełączania rezystywnego. Zabrakło także informacji o odwracalności i powtarzalności tego efektu przełączania.

Powyższe krytyczne uwagi dotyczą głównie strony edytorskiej, natomiast od strony merytorycznej ten rozdział oceniam wysoko. Opracowana metodyka badania rozkładu nanocząstek w matrycy polimerowej pozwoliła m.in. na przeprowadzenie bardzo ważnej analizy wpływu modyfikatora nanocząstek złota na równomierność ich rozkładu. Zbudowane także zostały i przetestowane modelowe komórki pamięci z wykorzystaniem tuszu zawierającego nanocząstki złota w matrycy polistyrenowej. Chociaż ta część doświadczeń została zrealizowana w laboratorium partnera projektu HYMEC, to uzyskane wyniki Doktorantka może uznać za zwieńczenie swoich badań.

W podsumowaniu stwierdzam, że pani mgr Beata Tkacz-Szczęsna uzyskała w ramach pracy doktorskiej szereg bardzo wartościowych wyników, które właściwie i wnikliwie przeanalizowała w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Na uznanie zasługuje także jej dorobek publikacyjny, aktywność w prezentowaniu wyników na konferencjach oraz udział w realizacji wielu projektów badawczych.

Przedstawiona powyżej opinia upoważnia mnie do stwierdzenia, że recenzowana rozprawa pani mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Zwracam się zatem do Rady Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego z wnioskiem o dopuszczenie pani mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Składam także wniosek o uznanie pracy doktorskiej pani mgr Beaty Tkacz-Szczęsnej za wyróżniającą.



Prof. dr hab. Jacek Ulański

