

Prof. dr hab. Tadeusz PISARKIEWICZ
Katedra Elektroniki
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków 14.05.2019

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU MECHATRONIKI
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy:

***Opracowanie technologii wytwarzania biozgodnego, przewodzącego
atramentu grafenowego***

Autor rozprawy:

mgr inż. Łucja Dybowska- Sarapuk

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Rozprawa doktorska ma w istocie charakter multidyscyplinarny i z jednej strony dotyczy wytworzenia wielozadaniowej warstwy o właściwościach umożliwiających zastosowania biomedyczne, a więc warstwy charakteryzującej się biozgodnością, zdolnością do stymulacji proliferacji komórek, a także antyseptycznością lub toksycznością względem bakterii. Z drugiej strony ważnym celem z obszaru elektroniki drukowanej było opracowanie technologii biozgodnego, przewodzącego atramentu z użyciem nanopłatków grafenowych, umożliwiającego wytwarzanie warstw i wzorów o ww. właściwościach, w oparciu o wysoko rozdzielcze techniki druku strumieniowego lub powlekania natryskowego. Warstwy te ponadto powinny charakteryzować się wymaganą przewodnością prądową, wytrzymałością mechaniczną oraz adhezją do wybranych podłoży. Wytworzenie takich warstw ma w zamierzeniu przyczynić się do rozwoju biomedycyny i inżynierii tkankowej. Wykorzystany w technologii grafen płatkowy jest atrakcyjnym materiałem o unikalnych właściwościach badanym w wielu laboratoriach.

Przedstawione powyżej zmierzenia autorka jasno sformułowała w postaci tez pracy, a w wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych tezy te zostały zweryfikowane. Praca ma więc charakter głównie eksperymentalny z towarzyszącą niezbędną analizą teoretyczną. Szeroki zakres prac i ich interdyscyplinarność spowodowały, że część badań eksperymentalnych wykonywano w wyspecjalizowanych laboratoriach z obszaru inżynierii biomedycznej takich jak laboratoria Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN w Warszawie czy laboratoria na Wydziale Mikrobiologii Centralnego Szpitala Klinicznego w Warszawie. Współpracowano również z wyspecjalizowaną jednostką z obszaru technologii elektronicznych jaką jest ITME W-wa.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autorka w odwołaniach literaturowych przytacza bardzo dużo źródeł, w ilości 268 pozycji i cytuje bardzo często te pozycje w całej pracy. Własnych prac współautorskich wymieniono w spisie 7. Z ważniejszych cytowanych czasopism można wymienić: *J. Mater. Chem. A, B and C, J. Nanosci. Nanotechnol., Int. J. Nanomedicine, Carbon, ACS Nano, ACS Appl. Mater. Interfaces, Biomaterials, J. Biomed. Mat., Nature Mat., Nature Nanotechnol., Nano Letters, Science, J. Phys. Chem. Lett., Adv. Energy Mater., Nanoscale Res. Lett., Langmuir, J. Appl. Phys, Stem Cells Int., Adv. Mater., J. Phys. Chem. B and C, Small, Thin Solid Films, Sensors, J. Appl. Polym. Sci., Microelectron. Reliab., J. Mater. Sci., Ceram. Int., Lancet, Chem. Phys. Lett.* Ranga wielu z wymienionych czasopism jest bardzo wysoka a zakres tematyczny obejmowany przez cytowane czasopisma jest również bardzo rozległy.

Z informacji podanych przez doktorantkę wynika ponadto, że wyniki swoich badań prezentowała już na 18-stu konferencjach, w tym 13-stu międzynarodowych oraz wygłosiła trzy zaproszone referaty. Za wystąpienia konferencyjne otrzymała w 2015 roku dwukrotnie nagrody. Grafenowe atramenty do technologii elektroniki drukowanej opracowane w ramach niniejszej pracy stały się także przedmiotem ponad 21 recenzowanych artykułów, w tym 8 z listy JCR.

Reasumując należy stwierdzić, że autorka posiada bardzo dobre rozeznanie w tematyce związanej z doktoratem.

3. Czy autorka rozwiązała postawione zagadnienia, czy użyła właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Przyjęty przez autorkę program badań w świetle sformułowanych założeń jest uzasadniony. Opracowana została kompozycja oraz technologia wytwarzania biogodnego, przewodzącego atramentu grafenowego, z użyciem którego wytworzono warstwy technikami elektroniki drukowanej w oparciu o druk strumieniowy oraz powlekanie natryskowe. Otrzymane warstwy spełniają wiele zadań biologicznych, takich jak cytozgodność, antyseptyczność, biodegradowalność a także zdolność do stymulacji wzrostu komórek. Należy zatem uznać, że rezultaty badań eksperymentalnych potwierdziły przyjęte w pracy założenia.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Za oryginalne należy uznać przede wszystkim opracowanie z wykorzystaniem płatek grafenowych atramentów, które są cytozgodne względem szeregu komórek tłuszczowych, mezenchymalnych komórek macierzystych ADSC, ludzkich fibroblastów oraz komórek nerwowych. Badania warstw uzyskanych z użyciem tych atramentów wykazały, iż skutecznie blokują one powstawanie biofilmu bakteryjnego, przy czym objaśniony został sam mechanizm blokowania rozwoju biofilmu na warstwach grafenowych. Potwierdzona została ich antyseptyczność w stosunku do komórek ludzkich.

Wytworzone wg. opracowanej technologii warstwy wykazują przewodnictwo elektryczne w zakresie od setek omów do dziesiątków kiloomów, co pozwala na ich wykorzystanie m.in. do stymulacji prądowej komórek. Pokazano w szeregu eksperymentów, że zastosowana stymulacja prądowa przyczyniła się do wzrostu i proliferacji komórek. Stymulowanie wzrostu macierzystych

komórek neuralnych poskutkowało nie tylko wzrostem liczby komórek, ale także wytworzeniem przez te komórki znacznej liczby cylindrycznych wypustek cytoplazmatycznych – dendrytów i aksonów.

Szczegółowe badania związane z samym procesem technologicznym wytwarzania atramentów i warstw dostarczyły szeregu informacji praktycznych, które mogą być wykorzystane w procesie kontynuacji tych badań. Pokazano m.in., że stosowane nanopłatki grafenowe do wytwarzania atramentów cechuje brak tendencji do aglomerowania i jeżeli ich średnice nie przekraczają podanych wartości to nie obserwuje się zjawiska zatykania mikrodyszy drukarskiej. Optymalny w procesie wytwarzania atramentu nośnik to poliglikol etylenowy PEG 1500 umożliwiający uzyskanie wymaganej reologii atramentu z punktu widzenia wybranych technologii drukarskich a jako surfaktant zalecany jest komercyjny polimer polarny japońskiej firmy NOF, który zapewnia zarówno stabilność fazy funkcjonalnej w zawiesinie, jak również jej jednorodność. Jeżeli płatki grafenowe zostaną poddane dekorowaniu nanocząstkami srebra to wytworzone warstwy wykazują zwiększone właściwości antyseptyczne o wysokiej zdolności do blokowania biofilmu oraz namnażania się bakterii.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Poprawna redakcja rozprawy umożliwia łatwe zrozumienie prezentowanej treści. Aby umożliwić czytelnikowi zrozumienie nowo wprowadzanych terminów i zwrotów zwłaszcza z obszaru nauk biomedycznych, często w każdym nowym rozdziale czy podrozdziale następują powtarzane objaśnienia tych samych terminów. Wpływa to niekorzystnie na zwiększenie objętości rozprawy.

Język rozprawy jest bardzo poprawny, zasadniczo bez błędów gramatycznych i stylistycznych.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

W rozprawie nie zauważono błędów rzeczowych.

Poniżej wymieniam kilka drobnych uchybień zauważonych w trakcie czytania tekstu pracy.

Str. 95 - 254 nm to długość fali a nie częstotliwość

Str. 101 – wprowadzenie pojęcia lepkości zbyt ogólne, bez definicji współczynnika lepkości. Należało wprowadzić pojęcie cieczy nieniutonowskich, zdefiniować wielkość jaką jest prędkość ścinania.

Str. 108 – omawiając zagadnienie profilu trójkątnego prędkości należało podać odnośniki literaturowe jeżeli są znane źródła. Co to jest przepływ Couette? Wzór (2) występuje w wyrażeniu na przyrost powierzchni koła spowodowany zmianą r o dr , stąd jego oznaczenie δS . W ostatnim wierszu na tej stronie chyba pominięto wartość liczbową.

Str. 124 - może byłoby celowe w analizie własności rezystancyjnych przedstawić w Tab.20 i na wykresach również wyliczone wartości rezystywności ρ w funkcji grubości aby ocenić kwestię jednorodności warstw.

Str. 126.- dla dopasowań na rys.51 nie podano niepewności tych dopasowań. Czy próbowano analizować przebieg konduktancji w funkcji zawartości płatek grafenowych?

Str. 147 - jeżeli przy obliczeniach numerycznych korzystano z gotowego pakietu symulacyjnego to należało się na niego powołać.

Str. 148 – zapis równań, w szczególności (8) i (10) jest częściowo niepoprawny gdyż brak jest

oznaczeń wielkości wektorowych przy stosowaniu mnożenia wektorowego. Geometria elektrod na rys.63 jest niewidoczna.
Str. 154 – podpis pod rys.66 jest błędny, powinno być „elektrody pierścieniowe”.

Wymienione usterki nie wpływają na wysoką ocenę redakcji całej rozprawy.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca ma bardzo wyraźny charakter aplikacyjny o czym można sądzić nie tylko na podstawie analizy treści ale sama autorka przedstawia szereg aplikacji wykorzystujących właściwości opracowanego atramentu grafenowego. Między innymi zostały zaprezentowane powłoki zdolne do blokowania procedury tworzenia biofilmu bakteryjnego oraz zmniejszenia zagrożenia występowania infekcji urologicznych, pokazano skuteczność procesu powlekania tytanowych implantów zwierzęcych w celu zastosowania ich do stymulacji proliferacji komórek, udowodniono eksperymentalnie, że można wytwarzać przewodzące warstwy do elektrostymulacji wzrostu komórek ludzkich.

Szereg zastosowanych procedur eksperymentalnych omówiono na tyle szczegółowo, że można w przyszłych badaniach skorzystać z wniosków wyciągniętych przez autorkę. Uzasadnia to całkowicie przydatność rozprawy dla nauk technicznych.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) **nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy**
- b) **wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania**
- c) **spełniająca wymagania**
- d) **spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem**
- e) **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Praca zdaniem recenzenta jest wybitnie dobra i zasługuje na wyróżnienie. Reasumując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty i recenzowana rozprawa doktorska **spełnia wymagania** wynikające z Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki z 14 marca 2003 r wraz z późniejszymi zmianami oraz wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Łucji Dybowskiej- Sarapuk do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Tadeusz Pisarkiewicz