

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Ewy Moś
pt. „Hybrydowe połączenie przewężki światłowodowej z materiałem funkcjonalnym
do sterowania właściwościami propagacji wiązki światła”**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Joanny E. Moś pt. „Hybrydowe połączenie przewężki światłowodowej z materiałem funkcjonalnym do sterowania właściwościami propagacji wiązki światła”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz, a promotorem pomocniczym dr inż. Karol A. Stasiewicz. Przewód doktorski został wszczęty przez Radę Naukową Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w dniu 24.01.2019, w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Recenzję przygotowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej zgodnie z pismem z dnia 18 kwietnia 2021 r.

Na mocy art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z dnia 30 sierpnia 2018 r. poz. 1669) praca recenzowana jest zgodnie z zapisami art. 13 ust. 1 i 2 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595, z późn. zmianami), z zastosowaniem wymagań zawartych w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. *w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz.U. z dnia 30 stycznia 2018, poz. 261), zaś ocena dotyczy zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 roku *w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych* (Dz.U. z dnia 25 września 2018 r., poz. 1818) dyscypliny inżynieria materiałowa.

1. Cel (teza) rozprawy, jego trafności oraz jasność sformułowania

Cel rozprawy został sformułowany w Rozdziale 2 na stronie 47 i dotyczy doboru materiałów funkcjonalnych jako pokrycia przewęzek światłowodowych (TOF) umożliwiającego efektywne sterowanie parametrami wiązki świetlnej propagującej się w utworzonej strukturze światłowodowej. Prezentacja celu została poprzedzona obszerną analizą literatury światowej obejmującą kolejno tematykę modyfikacji warunków prowadzenia fali świetlnej w przewężeniu światłowodowym, wykorzystaniu przewężeń światłowodowych jako elementów bazowych czujników światłowodowych i przeglądowi materiałów funkcjonalnych jako pokryć przewężeń. Na podstawie zaprezentowanego przeglądu literatury Doktorantka wybrała do badań, z dużego katalogu materiałów omawianych w literaturze, dwa materiały funkcjonalne: alkany modyfikowane nanocząstkami (NP) siarczku cynku domieszkowanego manganem oraz ciekłe kryształy domieszkowane nanocząstkami złota. Rozdział 1 nie został jednak zakończony podsumowaniem, z którego wynikała by trafność wyboru i skoncentrowania badań na tych właśnie materiałach. Mimo, iż uważam, że wstępny wybór materiałów został dokonany właściwie to jednak brak jednoznacznego uzasadnienia stanowi mankament prezentacyjny celu pracy.

Ostatecznie zaprezentowany cel pracy obejmuje szereg zadań badawczych obejmujących dobór badanych materiałów funkcjonalnych z bardzo ograniczonej listy, opracowanie technologii łączenia TOF z wymienionymi wyżej materiałami czystymi i domieszkowanymi nanocząstkami o różnej koncentracji oraz badaniach parametrów właściwości transmisyjnych wytworzonych struktur w modyfikowanych warunkach termicznych i przy różnym wysterowaniu napięciowym komórek LC.

Tak postawiony cel ma jasny wydźwięk naukowy (w zakresie technologii i eksperymentu) oraz wysokie walory aplikacyjne.

2. Sposób rozwiązania postawionego problemu poprzez zastosowanie właściwych metod

Ze względu na bardzo różne podstawy fizyczne i cechy dwóch wybranych grup materiałów funkcjonalnych: (1) alkanów i (2) ciekłych kryształów prace analityczne, technologiczne oraz eksperymentalne dotyczące tych materiałów i utworzonych nowych struktur światłowodowych prowadzone były rozdzielnie (opis w Rozdziałach 3 i 4). Dla każdego z materiałów jako wyjściowe przyjęto rozwiązanie z wykorzystaniem materiału czystego, dla którego określano możliwości modyfikacji wartości współczynnika załamania, a następnie badano wpływ domieszkowania nanocząsteczkami na zmianę parametrów światła propagującego się w mikrostrukturze TOF/materiał funkcjonalny. W obydwu przypadkach rozwiązano szereg zaawansowanych problemów technologicznych związanych z wytworzeniem nowych mikrostruktur. Do pomiarów grupy 1 mikrostruktur wykorzystano typowe i sprawdzone w poprzednich badaniach stanowisko pomiarowe do analizy charakterystyki widmowej uzupełnione o komorę klimatyczną, przy czym badania rozszerzono o kolejne zakresy fal i pomiary mieszaniny alkanów i wosków domieszkowanych nanocząstkami. Dla mikrostruktur z ciekłym kryształem system był uzupełniony o układ sterujący napięciem zasilającym komórki LC. Opracowane scenariusze pomiarowe do badań eksperymentalnych obu mikrostruktur są poprawne i obejmują wymagane konfiguracje i parametry do badań właściwości propagacji wiązki światła w takich strukturach. Analiza zjawisk obserwowanych w czasie obszernych eksperymentów jest logiczna, jednak w większości przypadków nie jest poparta własnymi analizami teoretycznymi, a raczej odnosi się do analiz literaturowych zjawisk, które można skorelować (w większym lub mniejszym stopniu) z sytuacją badawczą występującą podczas eksperymentów. Postawiono pewne hipotezy dotyczące przyczyn zjawisk zwłaszcza tych jakie są obserwowane w przetwornikach TOF/LC domieszkowanych NP złota, jednak nie przeprowadzono pełnej weryfikacji tych hipotez.

Podsumowując uważam, iż metodyka badawcza zastosowana przez Doktorantkę i zaprezentowana w Rozdziałach 3 i 4 jest poprawna i jej implementacja doprowadziła do realizacji celu rozprawy w odniesieniu do dwóch wybranych materiałów funkcjonalnych (z ich modyfikacjami).

3. Aktualność i ważność tematyki rozprawy

Prace dotyczące sterowania i kontroli parametrów czasowo-przestrzeno-spektralnych wiązki światła niosącej informacje o otaczającym nas świecie są obecnie w centrum uwagi naukowców zajmujących się bardzo różnymi zagadnieniami naukowymi i aplikacyjnymi z takich dziedzin jak inżynieria biomedyczna i przemysłowa, ochrona środowiska, bezpieczeństwo, komunikacja, multimedia i wiele innych.

Praca doktorska dotyczy ważnego wycinka tej tematyki powiązanego z możliwościami sterowania parametrami wiązki świetlnej propagującej się światłowodach, a dokładniej w

hybrydowej strukturze światłowodowej powstałej w wyniku pokrycia przewęzek światłowodowych materiałami funkcjonalnymi. Rozwój technologii przewężania, wykorzystanie różnych typów światłowodów i oddziaływanie na propagującą się w TOF wiązkę poprzez zastosowanie materiałów funkcjonalnych stwarza nieograniczone możliwości w obszarze opracowania całej gamy nowych czujników światłowodowych (i innych akcesoriów toru światłowodowego) o coraz większej czułości i selektywności. Z drugiej strony wiele badań w dyscyplinie inżynieria materiałowa nakierowanych jest obecnie na polepszenie parametrów istniejących materiałów funkcjonalnych poprzez ich domieszkowanie nanocząsteczkami różnych materiałów i ich związków.

W recenzowanej pracy doktorskiej nastąpiło połączenie tych dwóch ważnych trendów badawczych w celu opracowania hybrydowych struktur światłowodowych o polepszonych parametrach co jest ważne z punktu widzenia naukowego i aplikacyjnego. Tym samym przedstawione w ramach rozprawy rozwiązanie jest istotne i recenzent jest przekonany, że znajdzie praktyczne zastosowanie.

4. Oryginalny dorobek Autora i jego znaczenie poznawcze (przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki)

Głównym oryginalnym dorobkiem Autorki są prace związane z opracowaniem i badaniami przetworników światłowodowych na bazie TOF z modyfikowanym płaszczem zewnętrznym poprzez zastosowanie LC oraz jego mieszaniny z nanocząsteczkami złota. Obszerne i innowacyjne prace technologiczne (budowa przetwornika), a przede wszystkim prace eksperymentalne obejmujące badania przetwornika (przy różnej orientacji LC i z różnym stężeniem domieszek w LC) w funkcji zmian temperatury, napięcia i częstotliwości zmiennego pola sterującego stanowią największą nowość zaprezentowaną w pracy. Potwierdzają to również publikacje Pani Moś w renomowanych czasopismach takich jak: *J. of Light Techn., Crystals, J. Sens., Phys. Scr.*, w których Doktorantka jest pierwszym autorem. Wyniki prac nad TOF z LC otwierają drogę do konstrukcji różnorodnych aktywnych czujników światłowodowych.

Jeśli chodzi o drugi nurt badań związanych z przetwornikami światłowodowymi na bazie TOF z zewnętrznym płaszczem utworzonym przez alkany wyższe oraz ich mieszanin z nanocząsteczkami ZnS:Mn, to prace skoncentrowane były na opracowaniu przełączników termo-optycznych (PTO). Udowodniono, że istnieje możliwość opracowania PTO lub progowego czujnika światłowodowego, a domieszkowanie NP pozwala na optymalizację właściwości termo-optycznych struktury np. zmniejszenie niepożądanego histerezy czy skrócenia czasów przełączania. Mimo wskazanej przez Doktorantkę konieczności dopracowania licznych szczegółów technologicznych zaprezentowane wyniki są bardzo dobrym punktem wyjściowym do wytworzenia prostego, całkowicie światłowodowego przełącznika typu TOS lub progowego czujnika temperatury na różne zakresy temperatur. Wyniki prac w tej tematyce zostały opublikowane w artykule w czasopiśmie *Materials* (140pkt.)

5. Udokumentowanej w rozprawie wiedza na zaawansowanym poziomie, o charakterze podstawowym dla dziedziny nauk technicznych oraz o charakterze szczegółowym, odpowiadającym obszarowi prowadzonych badań naukowych

Praca stanowi pogłębione i przemyślane studium wiedzy na temat podstaw teoretycznych, technologii i badań przewęzek światłowodowych i wybranych materiałów funkcjonalnych. Proponowane rozwiązania wraz z zastosowaną metodyką mieszczą się całkowicie w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych w zakresie dyscypliny inżynieria materiałowa.

Zastosowana metodyka badawcza, narzędzia stosowane w rozwiązaniach technologicznych i badaniach eksperymentalnych są na odpowiednim poziomie wymaganym od rozpraw doktorskich, zaś dyskusja uzyskanych wyników (mimo pewnych niedopowiedzeń) w pełni przekonująca. Jako kompletne zagadnienie naukowe, samodzielnie rozwiązane przez Doktoranta, praca ma charakter technologiczno-eksperymentalny. Doktorantka, bazując na obszernym przeglądzie literatury, zaproponowała wstępny dobór materiałów funkcjonalnych i parametrów TOF, a następnie opracowała technologie i metodykę badań wytworzonych struktur światłowodowych i dokonała ostatecznego doboru, zmodyfikowanych w trakcie pracy, materiałów funkcjonalnych poprzez kompleksowe pomiary i analizę parametrów wytworzonych elementów. We wszystkich tych zagadnieniach Doktorantka wykazała się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami pretendującymi Ją do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych.

6. Elementy najnowszych osiągnięć nauki świadczących jednocześnie o znajomości współczesnej literatury z reprezentowanej dyscypliny naukowej

Autorka przytacza szeroki zakres światowych badań w zakresie techniki i sensorów światłowodowych ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień teoretycznych i technologicznych związanych z przewężeniami światłowodowymi i zastosowaniami materiałów funkcjonalnych na pokrycia tych przewężeń. Przegląd jest bardzo obszerny: w swojej części podstawowej (Rozdział 1) zawiera 194 pozycje uzupełnione w następnych rozdziałach (Rozdz. 3 i 4) o następne 32 pozycje odnoszące się do kwestii szczegółowych związanych z analizą struktur badanych w pracy. Przytłaczająca większość pozycji opublikowana była w XXI wieku, a nawet w ostatnim dziesięcioleciu. Analiza literaturowa jest wielostronna i ukierunkowana na prawidłowe przedstawienie najlepszych rozwiązań z jednoczesnym omówieniem pojawiających się ograniczeń, ale związanych przede wszystkim z wybranymi typami światłowodów i materiałami funkcjonalnymi. Na tym tle zaprezentowane własne rozwiązania wybranych problemów mają cechę wiarygodności bazującej na udokumentowanych wynikach badań.

7. Wady i słabe strony rozprawy

Podstawowym, już wspomnianym przez recenzenta, mankamentem pracy jest brak odpowiedniego zaprezentowania podsumowania przeglądu materiałów funkcjonalnych i uzasadnienia swojego wyboru (w odniesieniu do zakładanych funkcjonalności) dwóch implementowanych w dalszej części pracy materiałów. Proszę Doktorantkę o przedstawienie swojego poglądu na tę sprawę w czasie obrony.

W pracy brak również uzasadnienia kolejnych wyborów:

- 2 stosowanych koncentracji (1%, 5%) nanocząsteczek (czy zostały one dobrana na podstawie informacji literaturowych, doświadczenia własnego zespołu naukowego?);

- wyboru stosowanej mieszaniny LC (w pracy ograniczono się do stwierdzenia, że stosowana „mieszanina LC 1550* posiada dobrze opisane właściwości i była stosowana do wypełniania otworów powietrznych we włóknach PCF”).

W Rozdz. 4.3.1 zaprezentowano charakterystyki widmowe dla komórki LC dla modulacji sygnału elektrycznego o profilu prostokątnym, trójkątnym i sinusoidalnym. Z Rys. 86 i 87 wyraźnie widać, że profil sygnału nie jest przenoszony na modulacje wiązki. Fakt ten nie jest skomentowany, proszę o interpretacje z czego to zjawisko może wynikać i o informacje na ile dokładność przenoszenia profilu modulacji sygnału sterującego może być ważna w przyszłych aplikacjach.

W Rozdziale 5 brakuje mi odniesienia się do oczekiwanych, w różnych aplikacjach, wartości parametrów elementów w stosunku do najlepszych parametrów uzyskanych w opracowanych strukturach (np. czasy przełączania, dopuszczalna histereza itd.). Takie porównanie dla konkretnych czujników lub przełączników pozwoliłoby na oszacowanie jak daleko jesteśmy od realnych aplikacji.

Recenzowana praca napisana została przejrzysto i przygotowana z dużą dbałością o stronę graficzną i edycyjną.

Mimo to recenzent wnosi uwagi dotyczące następujących kwestii:

- Na stronie 9 skrót TIR został przetłumaczony jako „całkowite wewnętrzne załamanie”;
- Doktorantka myli i źle stosuje w tekście takie pojęcia jak: „ilość” i „liczba” oraz „wielkość” i „wartość” (np. str.13, 14, 23,28,44,52,78...).

8. Kategorię do której zalicza recenzent rozprawę.

Podsumowując stwierdzam, że oceniana praca doktorska mgr inż. Joanny Ewy Moś **spełnia wymagania** jakie Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. 2003 Nr 65, poz. 595, z późn. zmianami) przewiduje dla rozpraw doktorskich. W recenzowanej pracy zostało sformułowane, a następnie rozwiązane z zastosowaniem metod naukowych oryginalne zagadnienie naukowe z dyscypliny inżynieria materiałowa, stąd **stawiam wniosek o jej przyjęcie jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony.**