

Lublin, 09.01.2023

dr hab. Paweł Mergo, prof. UMCS  
Pracownia Technologii Światłowodów  
Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii  
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej  
Pl. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin

## **RECENZJA rozprawy doktorskiej**

**Pani mgr inż. Joanny Korec**

**pt. „Kształtowanie właściwości propagacyjnych wiązki świetlnej w hybrydowych elementach światłowodowych na bazie cienkiego pokrycia metalicznego i warstwy ciekłego kryształu”**

Praca doktorska została wykonana na Wydziale Nowych Technologii i Chemii, Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Promotorem pracy był Prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz czł. koresp. PAN, zaś promotorem pomocniczym Pan dr inż. Karol Stasiewicz.

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

- pismo Dziekana Wydziału Nowych Technologii i Chemii WAT Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Czupryńskiego z dnia 30.09.2022r.
- rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Korec pt. „Kształtowanie właściwości propagacyjnych wiązki świetlnej w hybrydowych elementach światłowodowych na bazie cienkiego pokrycia metalicznego i warstwy ciekłego kryształu”
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018r., Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U. z 2020r, poz. 85)
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018r., Przepisy wprowadzające Ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U z 2018r., poz. 1669)

### **2. Charakterystyka pracy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w języku polskim. Liczy 138 stron druku wraz ze spisem literatury który liczy 173 pozycji, wykazem oznaczeń i

skrótów, spisem rysunków, spisem tabel, streszczeniem pracy w języku polskim oraz streszczeniem pracy w języku angielskim. Bibliografia odzwierciedla współczesny stan wiedzy z zakresu technologii wytwarzania przewęzek światłowodowych ich integracji z materiałami funkcjonalnymi oraz ich własności. Autorka przedstawiła również swój dorobek naukowy wymieniając: 5 publikacji związanych z rozprawą doktorską z bazy Web of Science Core Collection, 3 publikacje nie związane z rozprawą doktorską z bazy Web of Science Core Collection, 6 wystąpień konferencyjnych związanych z rozprawą doktorską i 3 wystąpienia konferencyjne niezwiązane z rozprawą doktorską. Dobór literatury jest celowy i poprawny.

Rozprawa podzielona jest na 5 rozdziałów merytorycznych, w tym wstęp oraz podsumowanie i wnioski. Materiał ilustracyjny przedstawiony w pracy jest czytelny i w zdecydowanej większości przedstawia dokonania mgr inż. Joanny Korec w zakresie badań eksperymentalnych. Układ pracy nie budzi zastrzeżeń, a użyta terminologia jest prawidłowa i zrozumiała.

### **3. Ocena podjętego tematu**

W chwili obecnej światłowody są szeroko wykorzystywane w różnych dziedzinach nauki i techniki. Szczególnie szybki rozwój występuje w obszarze ich wykorzystywania w zakresie konstrukcji czujników ze względu na zmienność pod wpływem parametrów zewnętrznych parametrów fali świetlnej transmitowanej w światłowodzie a obejmującej zmienność amplitudy, częstotliwości, fazy lub polaryzacji. Ważne miejsce przy wykorzystywaniu światłowodów w obszarze czujników zajmują i ciągle rozszerzają zakres zastosowania są przewężki światłowodowe wraz z rozwojem zintegrowanych z nimi materiałów funkcjonalnych. Badania nad zastosowaniem różnych przewęzek światłowodowych są intensywnie rozwijane w wiodących ośrodkach naukowych na Świecie. Należy również podkreślić, że od szeregu lat badania nad przewężkami światłowodowymi są prowadzone z dużym powodzeniem w Zakładzie Technicznych Zastosowań Fizyki, Instytut Fizyki Technicznej WAT.

Obszar badawczy którego dotyczy rozprawa doktorska to wpływ parametrów funkcjonalnych pokryć ochronnych przewęzek światłowodowych na modyfikację propagującej wiązki światła. Przeprowadzono badania eksperymentalne wpływu rodzaju ciekłego kryształu, rodzaju pokrycia metalicznego oraz hybrydowego połączenia warstwy metalicznej i ciekłego kryształu na właściwości transmisyjne wytworzonych struktur. Dla przewęzek bez i z pokryciami metalicznymi badania transmisyjne wykonano w zakresie spektralnym od 550nm do 1200nm, przy napięciach sterujących od 0 do 200V, bez i z modulacją amplitudy o częstotliwości od 1 do 10Hz oraz w zakresach temperaturowych od 20 do 65°C oraz od 20 do 45°C w zależności od użytego ciekłego kryształu.

Praca ma charakter rozwojowy, w wielu obszarach nie wyczerpuje tematyki badawczej, natomiast pokazuje kierunek możliwych przyszłych badań i analiz.

Należy uznać, że podjęta w rozprawie doktorskiej przez Panią mgr inż. Joannę Korec tematyka efektywnego sterowania parametrami wiązki świetlnej propagującej wewnątrz przewężki światłowodowej poprzez jej pokrycie różnymi materiałami funkcjonalnymi w tym cienkimi warstwami metalicznymi jest z naukowego i technologicznego punktu widzenia ważna i atrakcyjna. Badania, obok charakteru naukowego mają także bardzo istotny aspekt utylitarny.

#### **4. Teza rozprawy doktorskiej**

Pani Joanna Korec nie formułuje w swojej dysertacji tezy naukowej, którą będzie się starała wykazać (potwierdzić) w ramach realizacji rozprawy doktorskiej. W sposób jawny i bezpośredni formułuje jednak cel rozprawy – są nim *dobór parametrów materiałów funkcjonalnych stosowanych jako pokrycia przewęzek światłowodowych które pozwalają efektywne modyfikowanie parametrów wiązki świetlnej propagującej się w strukturze światłowodowej*. Doktorantka założyła, że osiągnięcie powyższego celu będzie możliwe poprzez: określenie wpływu różnych właściwości ciekłych kryształów oraz parametrów otoczenia na propagację światła w przewężeniu światłowodowym, wybraniu optymalnej struktury oraz mieszaniny ciekłego kryształu, opracowaniu technologii pokrywania przewężenia warstwami metalicznymi i połączenia z ciekłym kryształem, przeprowadzenie prac badawczych związanych z analizą zjawisk wynikających z pokrycia przewężeń warstwami metalicznymi oraz zastosowania jako płaszcz wybranego materiału funkcjonalnego. Doktorantka zaplanowała przeprowadzenie szeregu badań wytworzonych przewęzek które mają określić ich właściwości optyczne.

Można uznać, że cel naukowy rozprawy doktorskiej został przez Doktorantkę sformułowany jasno i poprawnie.

#### **5. Zakres rozprawy doktorskiej**

Recenzowana praca obejmuje pięć rozdziałów. Brak w niej wyraźnego podziału na część literaturową i część doświadczalną.

Pierwszy typowo teoretyczny rozdział zawiera opis: metod wytwarzania przewęzek światłowodowych, mechanizmu interakcji fali świetlnej z otoczeniem, rezonansu plazmonowego oraz opisano różne czujniki światłowodowe wykorzystujące powierzchniowy rezonans plazmonowy. Niestety w kilku przypadkach jest on zbyt pobieżny i zdecydowanie niewystarczający dla poziomu jaki powinna mieć rozprawa doktorska. Pomimo dużej staranności jaką niewątpliwie cechuje całość pracy Autorka nie ustrzegła się kilku błędów. Zdecydowanie błędne jest przedstawienie zależności lepkości od temperatury (rysunek 1a). Przedstawiona zależność sugeruje że największe zmiany lepkości następują w temperaturach

powyżej temperatury odprężania i zdecydowanie maleją powyżej temperatury mięknięcia. Przedstawiona zależność jest w oczywistej niezgodności z powszechnie obowiązującą wiedzą. Kolejny zbyt lakoniczny i częściowo niezrozumiały opis dotyczy modyfikacji propagujących w przewężeniu modów. Niezrozumiałe z punktu widzenia teorii jest stwierdzenie „*propagacji standardowego światłowodu telekomunikacyjnego na granicy rdzeń-płaszcz*”. Autorka zastosowała tu prawdopodobnie zbyt duży skrót myślowy. W tym miejscu zdecydowanie brakuje również choćby drobnej wzmianki teoretycznej o propagacji modów wyższego rzędu w przewężce światłowodowej w kontekście przedstawionych w dalszych częściach dysertacji badań transmisyjnych w standardowym telekomunikacyjnym światłowodzie SMF w zakresie pracy dwu i więcej modowej.

Rozdział drugi zawiera opis celu pracy.

Rozdział 3 zawiera opis badań własnych. Można w nim wyróżnić dwie części. Podrozdziały 3.1 – 3.4 zawierają opis wytwarzania przewężeń światłowodowych, budowy komórki pomiarowej, pomiarów spektralnych oraz wpływu temperatury na ciekły kryształ i propagację. Pod rozdziały 3.5.1 – 3.5.5 zawierają opis wpływu warstwy metalicznej na propagację w przewężce. Ta część rozprawy jest własnym i oryginalnym dorobkiem Autorki. Jest to niewątpliwie najważniejsza część dysertacji. Doktorantka wskazuje że rozdziały 3 i 4 zawierają część technologiczną, opis przeprowadzonych pomiarów optycznych oraz wnioski. Niestety w każdym przypadku część technologiczna jest bardzo lakoniczna. Zdecydowanie brakuje w nich danych technologicznych jednoznacznie definiujących warunki wytwarzania opisanych i scharakteryzowanych w dalszych częściach przewęzek. Lakoniczność pozostawia wyraźny niedosyt i sprawia że te części zdecydowanie nie mogą być nazwane częściami technologicznymi. Zdecydowanie pozytywnie oceniam części badawcze w których Autorka przedstawiła bardzo dużą ilość pomiarów co pozwoliło na jednoznaczną charakteryzację wytworzonych przewęzek. Niestety podobnie jak w rozdziale pierwszym pomimo dużej staranności Autorka pominęła kilka niezbędnych dla pełnego zrozumienia przedstawionych wyników doświadczalnych informacji. Zdecydowanie brakuje informacji dlaczego Autorka zajmuje się zakresem spektralnym 550 – 1200nm w którym wykorzystywany światłowod SMF jest dwu i więcej modowy. Poprawne pomiary w reżimie kilkumodowym to zawsze dość duże wyzwanie szczególnie w przypadku włókien o małej dwójłomności które z natury nie gwarantują powtarzalnego pobudzenia tych samych modów w przewężce przez co w kolejnych pomiarach w przewężce propagować mogą trochę inne mody. Brakuje również informacji o powtarzalności pomiarów.

Rozdziały 4 i 5 zawierają podsumowanie i wnioski oraz podsumowanie osiągnięć pracy.

Ostatni rozdział jest wykazem bibliografii, z której Doktorantka korzystała zarówno przy prowadzeniu analiz i aplikacji przewęzek światłowodowych oraz przy przygotowaniu badań eksperymentalnych. Wykaz ten stanowi 173 pozycji literaturowych obejmujących

pozycje już dzisiaj klasyczne dla tematyki przewęzek, jak również pozycje z ostatniego okresu.

## 6. Ocena rozprawy doktorskiej

W ostatnim rozdziale pt „Podsumowanie osiągnięć pracy” Autorka wskazuje swój oryginalny wkład: *„Jako oryginalny wkład doktorantki należy przyjąć następujące elementy pracy:*

- *opracowanie wytycznych konstrukcyjnych oraz określenie parametrów technologicznych TOF, przeznaczonych do połączenia z wybranymi materiałami funkcjonalnymi,*
- *dobranie parametrów nanoszonych pokryw: Au, Ag, Au-Ag i Ag-Au na obszar właściwy TOF i określenie wpływu grubości warstw metalicznych na właściwości optyczne przetworników na bazie hybrydowego połączenia TOF i CK,*
- *wykazanie, iż dobrane materiały funkcjonalne pozwalają na sterowanie w szerokim zakresie właściwościami propagacyjnymi wiązki świetlnej prowadzonej przez wytworzone TOF”*

Wobec uwag zawartych powyżej wkład Autorki opisany jako opracowanie wytycznych konstrukcyjnych oraz określenie parametrów technologicznych TOF, przeznaczonych do połączenia z wybranym materiałem funkcjonalnym, należy uznać za zdecydowanie niewystarczający wobec bardzo lakonicznych informacji dotyczących technologii. Jednocześnie należy bardzo wyraźnie podkreślić dużą ilość badań związanych z charakteryzacją wytworzonych i pokrytych materiałem funkcjonalnym przewęzek światłowodowych co niewątpliwie stanowi oryginalny wkład Autorki w najnowsze badania związane z przewęzkami światłowodowymi.

Zdecydowanie zgadzam się z opiniami Doktorantki że *„Przedstawiona rozprawa ukazuje możliwość wykorzystania TOF jako podstawowego komponentu budującego przenośne urządzenia optoelektroniczne.”* oraz *„Dodatkowo uzyskane wyniki mają potencjał do dalszego rozwoju urządzeń i czujników typu in-line o szerokim zakresie działania.”*

## 7. Uwagi krytyczne

Większość moich uwag do recenzowanej pracy zostało zawarte powyżej. Dla porządku wymienię je jeszcze raz:

- błędne jest przedstawienie zależności lepkości od temperatury (rysunek 1a)
- brak informacji dlaczego Autorka zajmuje się zakresem spektralnym 550 – 1200nm
- brak informacji o powtarzalności pomiarów

- niewielka ilość danych technologicznych związanych z wytwarzaniem przewęzek światłowodowych a co za tym idzie brak możliwości jednoznacznego potwierdzenia oryginalnego wkładu Autorki przy opracowaniu wytycznych konstrukcyjnych oraz określeniu parametrów technologicznych TOF, przeznaczonych do połączenia z wybranym materiałem funkcjonalnym.

Ponadto w pracy wyraźnie brakuje analizy różnic we właściwościach transmisyjnych przewęzek pokrytych ciekłym kryształem NCK 3092A o mniejszym współczynniku załamania światła od współczynnika załamania czystego szkła krzemionkowego (w tym przypadku możliwa jest propagacja wewnątrz przewężki wykorzystująca zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia) i przewęzek pokrytych ciekłymi kryształami 6CHBT i E7 o większym od czystego szkła krzemionkowego współczynnika załamania światła.

Kolejna uwaga krytyczna związana jest z tekstem recenzowanej rozprawy doktorskiej. Moim zdaniem Autorka zbyt często w części literaturowej używa zamiennie nazw światłowodów i falowód. Nomenklatura wyraźnie rozróżnia pojęcia światłowodów – cienkie dielektryczne włókno i falowód który ma zwykle postać elementu planarnego.

Przedstawione powyższe uwagi nie mają wpływu na pozytywną ocenę pracy.

## 8. Uwagi końcowe

Moja ogólna ocena pracy jest pozytywna. Praca zawiera wartościowy materiał badawczy. Jest to materiał dotyczący zarówno analiz literaturowych, jak również bogaty materiał badań eksperymentalnych. Badania realizowane w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej zasługują na szacunek.

Reasumując uważam że rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Korec pt. „Kształtowanie właściwości propagacyjnych wiązki świetlnej w hybrydowych elementach światłowodowych na bazie cienkiego pokrycia metalicznego i warstwy ciekłego kryształu” spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020r. poz 85) a Autorka może być dopuszczona do jej publicznej obrony.

