



dr hab. Paweł Mergo, prof. UMCS  
Pracownia Technologii Światłowodów  
Instytut Nauk Chemicznych  
Wydział Chemii  
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie

Lublin, 10 październik 2022r.

## RECENZJA

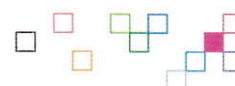
**rozprawy doktorskiej mgr Indiry Shedreyevoy pt. „Analiza wpływu temperatury na optyczne parametry skośnych siatek Bragga”**

### 1. Podstawa opracowania recenzji.

- pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. Piotra Kisały z dnia 29.06.2022r.
- rozprawa doktorska mgr Indiry Shedreyevoy pt. „Analiza wpływu temperatury na optyczne parametry skośnych siatek Bragga”
- 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 rosyjskim. Liczy 111 stron druku wraz ze spisem literatury który liczy 110 pozycji oraz dodatku zawierającego wyniki badań eksperymentalnych. Bibliografia odzwierciedla współczesny stan wiedzy z zakresu technologii wytwarzania siatek Bragga oraz ich własności. Dobór literatury jest celowy i poprawny.



Rozprawa podzielona jest na 6 rozdziałów merytorycznych, w tym wstęp i wnioski. Materiał ilustracyjny przedstawiony w pracy jest czytelny i ujmuje dokonania mgr Indiry Shedreyevej w zakresie badań symulacyjnych wykorzystujących model matematyczny skośnej siatki Bragga oraz badania eksperymentalne realizowane z wykorzystaniem laboratoryjnego stanowiska badawczego. 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 światłowodowe siatki Bragga zarówno równomierne jak i nierównomierne oraz skośne. Ich unikalne własności dotyczące min. odporności na zakłócenia elektromagnetyczne oraz niska waga powodują dynamiczne rozszerzanie się potencjalnego obszaru ich wykorzystywania.

Obszar badawczy którego dotyczy rozprawa doktorska to analiza wpływu temperatury na zmienność wybranych parametrów światłowodowych skośnych siatek Bragga zarówno w aspekcie teoretycznym jak również eksperymentalnym. Pociąga to za sobą konieczność opracowania modelu matematycznego umożliwiającego realizację badań symulacyjnych oraz przygotowania fizycznych skośnych siatek Bragga które zostaną poddane badaniom eksperymentalnym na laboratoryjnym stanowisku badawczym. Przedstawiony matematyczny model skośnej siatki Bragga opracowany został przy wykorzystaniu metody modów sprzężonych. Badania symulacyjne przeprowadzone zostały przy jego zastosowaniu w wyniku czego uzyskano charakterystyki transmisyjne które są zbieżne z eksperymentalnymi. Przeprowadzono badania eksperymentalne wpływu temperatury w zakresie  $-20^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$  dla siatek o



kącie nachylenia  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  i  $7^\circ$  na ich charakterystyki widmowe. W pracy przedstawiona została również analiza czułości temperaturowej badanych skośnych siatek Bragga. Na podstawie danych eksperymentalnych przeprowadzono analizę metodologiczną na podstawie której wyznaczone zostały współczynniki względnej czułości temperaturowej  $K_T$  siatki. Należy podkreślić że uzyskane rezultaty są zbieżne z wynikami spotykanymi w literaturze. Poddane eksperymentowi skośne siatki Bragga zostały wykonane w Zakładzie Optoelektroniki i Sieci Teleinformatycznych, Katedry Elektroniki i Technik Informatycznych z wykorzystaniem maski fazowej.

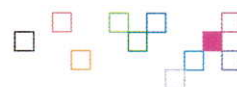
Dla określenia zależności zmian długości fali Bragga w funkcji temperatury do danych eksperymentalnych zastosowano metodę najmniejszych kwadratów potwierdzając liniową zmienność długości fali przy ogrzewaniu jak i chłodzeniu i to zarówno dla fali Bragga jak i „ducha” przy bardzo wysokim współczynniku korelacji znajdującego się w granicach  $0,935 \div 0,998$  dla ogrzewania i  $0,844 \div 0,989$  dla chłodzenia.

Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny przy czym w część praktyczną wpisują się pomiary zrealizowane na laboratoryjnym stanowisku badawczym. Praca w części zasadniczej charakteryzującej się rezultatami symulacyjnymi i pomiarami fizycznymi wraz z ogólnym uzasadnieniem konieczności ich porównania dla weryfikacji poprawności użytych metod, posiada znaczną liczbę ilustracji, które uzupełniają wywody matematyczne. Praca ma charakter rozwojowy, w wielu obszarach nie wyczerpuje tematyki badawczej, natomiast pokazuje kierunek możliwych przyszłych badań i analiz.

#### **4. Analiza i ocena merytoryczna pracy.**

W rozdziale pierwszym pracy, który stanowi wprowadzenie do tematyki podejmowanej w dysertacji przedstawiono systematycznie zakres możliwości analityczno-eksperymentalnych spotykanych w literaturze z omawianego obszaru oraz kierunek badań realizowanych w pracy.

Rozdział drugi zawiera tezę, cel i zakres pracy. Została sformułowana tutaj teza pracy o następującym brzmieniu: skośną siatkę Bragga, której charakterystyki spektralne i



parametry zmieniają się pod wpływem temperatury można wykorzystać jako czujnik temperatury.

Za cel rozprawy przyjęto określenie wpływu temperatury na parametry optyczne skośnej siatki Bragga i analiza możliwości wykorzystania jej jako czujnik temperatury.

Dla udowodnienia tezy i osiągnięcia postawionego celu sformułowane i rozwiązane zostały następujące zadania cząstkowe:

- przeprowadzenie badań teoretycznych i eksperymentalnych tych siatek
- zbadanie wpływu temperatury na charakterystyki spektralne i wybrane parametry optyczne siatek
- opracowanie modelu matematycznego wpływu temperatury na czułość skośnych siatek Bragga
- określenie metrologicznych parametrów badanych skośnych siatek Bragga.

Rozwiązanie powyższych zadań pozwoli na ocenę czy zaproponowane rozwiązanie może być wykorzystane w tym obszarze.

Rozdział trzeci stanowi przegląd i omówienie własności światłowodowych siatek Bragga. Rozdział ten jest ważnym pracą, wprowadzającym do zagadnień związanych z wyjaśnieniem zasad funkcjonowania siatek Bragga, ze szczególnym omówieniem własności widma transmisyjnego i odbitego. Dla podkreślenia różnic przedstawione zostały charakterystyki transmisyjne i odbiciowe prostych i skośnych siatek Bragga. Ze względu na tematykę rozprawy szczególnie dokładnie przedstawione zostały własności siatek skośnych w odniesieniu do siatek prostych. Omówione zostały tu również metody zapisu siatek na włóknach jednomodowych, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystanej metody maski fazowej wraz z pokazaniem stanowiska do ich zapisu. W przedstawionych metodach zapisu siatek Bragga omówiono ich zalety i wady.

Rozdział czwarty, poświęcony jest omówieniu możliwych obszarów zastosowań czujników światłowodowych oraz ich podstawowym własnościom na podstawie przeglądu literaturowego. Dla realizacji badań symulacyjnych dotyczących spektralnych charakterystyk skośnych siatek Bragga opracowany został model matematyczny takich siatek, z wykorzystaniem metody modów sprzężonych. Zaprezentowano tu wyniki symulacyjne dla siatki o nachyleniu płaszczyzny odbicia równej  $3^\circ$  i różnych długości



wektora  $\lambda_j$  (200, 400, 1000). Przedstawione tutaj modele pozwalają określić charakterystyki transmisyjne skośnych siatek Bragga i pokazać wpływ wektora  $\lambda_j$  na te charakterystyki. Dla pokazania zgodności wyników symulacyjnych i eksperymentalnych świadczących o przydatności wykorzystywania modeli matematycznych zestawiono charakterystyki obliczeniowe oraz zmierzone dla kątów nachylenia skośnych siatek  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  i  $7^\circ$ . Uzyskane wyniki świadczą o dużej zgodności tych charakterystyk obliczeniowych z eksperymentalnymi. Wniosek który można tu sformułować, że zgodność ta zależy silnie od ilości punktów w których rozwiązywane są równania modów sprzężonych i ilości modów włączonych do obliczeń. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiony został wpływ temperatury na parametry skośnych siatek Bragga, w tym współczynnik względnej czułości temperaturowej  $k_T$  oraz czułość temperaturowa  $K_T$ .

W rozdziale piątym zaprezentowano praktyczną realizację skośnych siatek Bragga oraz ich badania eksperymentalne. Omówione zostało, stosunkowo dokładnie, stanowisko do zapisu tych siatek z zaprezentowaniem jego elementów składowych (w postaci ich fotografii) oraz proces zapisu skośnych siatek Bragga wraz ze schematem procesu ich zapisu. Przedstawione zostało tu również stanowisko laboratoryjne pozwalające na realizację badań eksperymentalnych wpływu temperatury na charakterystyki spektralne skośnych siatek Bragga z wykorzystaniem komory klimatycznej pozwalającej na zmianę temperatury w zakresie  $-40^\circ\text{C} \div +180^\circ\text{C}$ . Zmierzone charakterystyki spektralne dla wybranych temperatur (podczas nagrzewania) zostały przedstawione (na rysunkach) dla siatek skośnych o nachyleniu  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  i  $7^\circ$  i temperatur  $-20^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  i  $120^\circ\text{C}$  jako przykładowe. Pełne badania dla nagrzewania oraz chłodzenia z krokiem zmian temperatury co  $10^\circ\text{C}$  przedstawiono w załączniku. Na podstawie tych pomiarów zestawiono tablice, w których pokazany został wpływ temperatury na zmiany długości fali Bragga oraz „ducha” zarówno dla podgrzewania jak i chłodzenia oraz amplitudy. Zmienność amplitudy okazała się niewielka, więc do dalszych badań wzięto zmienność długości fali. Należy tutaj zauważyć że pojawiła się histereza związana z kierunkiem zmian temperatury, Dla zbadania charakteru tych zmian zastosowano aproksymację metodą najmniejszych kwadratów. Można przyjąć że zmiany te mają charakter liniowy co jest ważne z punktu widzenia możliwości wykorzystania takich siatek jako czujników



temperatury. Zostały tu również określone i obliczone: współczynnik względnej czułości temperaturowej  $k_T$  oraz czułość temperaturowa  $K_T$  siatki. Uzyskane rezultaty są zbliżone z prezentowanymi w literaturze.

Rozdział szósty poświęcony jest wnioskowi które podsumowują osiągnięcia przedstawione w rozprawie oraz formułują dalsze kierunki badań.

### 5. Uwagi szczegółowe.

Teza, jak również cel pracy zostały sformułowane prawidłowo i jasno nie budząc wątpliwości i nieudomówień. Praca w sposób spójny realizowana jest według nakreślonego celu co prowadzi do udowodnienia postawionej tezy. Przyjęta metodyka postępowania jest logiczna gdyż prowadzona jest od zdefiniowania potrzeb i wymagań poprzez analizy, symulacje oraz eksperymentalną weryfikację.

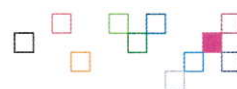
Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny. Wskazuje kierunki i obszary dalszych badań, Wykorzystane modele matematyczne i oparte o nie symulacje zostały efektywnie porównane z wynikami eksperymentalnymi pokazując ich dużą zbieżność. Przeprowadzone badania nie zamykają tematu na co zwróciła również sama Doktorantka proponując rozszerzenie badań. Uzyskane przy realizacji dysertacji wyniki stanowią ważny element pracy.

Za osiągnięcia własne Doktorantki uważam:

- umiejętność przeprowadzenia złożonego eksperymentu badawczego obejmującego badania symulacyjne oraz eksperymentalne a uzyskane wyniki dały dużą zbieżność co świadczy o wykorzystywanych prawidłowo modelach matematycznych
- uzyskane liniowe zmienności parametrów świadczą o łatwym wykorzystaniu skośnych siatek Bragga jako ewentualnych czujników
- wykorzystanie metody modów sprzężonych do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych
- przeprowadzenie analizy metrologicznej uzyskanych wyników.

Do słabych stron pracy zaliczam:

- niestaranność przygotowania bibliografii



- brak wyczerpującego uzasadnienia możliwości wykorzystania skośnych siatek Bragga
  - brak odpowiedzi dlaczego pojawiła się histereza
  - zbyt uboga dyskusja nad wskaźnikami metrologicznymi
  - zbyt uboga dyskusja nad wpływem kąta nachylenia na charakterystykę spektralną.
- Uwagi te nie wpływają na całościowy odbiór pracy który uważam za pozytywny.

## 6. Podsumowanie i konkluzja.

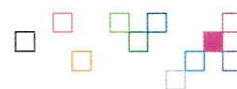
Zapoznając się szczegółowo z przedstawioną do recenzji rozprawą doktorską stwierdzam że:

- przedstawiona w rozdziale drugim teza rozprawy została udowodniona na drodze:
  - przeprowadzonych badań symulacyjnych których rezultaty wykazują dużą zbieżność z badaniami eksperymentalnymi
  - przeprowadzonej aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów świadczącej o liniowej zmienności długości fali w funkcji temperatury
  - przeprowadzonej analizy metrologicznej
- cel rozprawy został osiągnięty w zakresie sformułowanym przez Doktorantkę
- tematyka pracy jest aktualna i dobrze nawiązuje do wiedzy teoretycznej jak i praktycznej
- wskazana została potrzeba i kierunki dalszych badań.

Z powyższego wynika że Doktorantka posiada kompetencje do samodzielnego prowadzenia badań naukowych i cechuje się znaczącą wiedzą w dyscyplinie naukowej w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

W moim przekonaniu Doktorantka wykazała się umiejętnością sformułowania problemu jego samodzielnego rozwiązania i zbadania przydatności potwierdzając zasadność przyjętej teorii i narzędzi jej realizacji oraz umiejętność wyciągania wniosków. Zamierzony cel pracy został osiągnięty a teza udowodniona.

Reasumując uważam że rozprawa mgr Indiry Shedreyevej pt. „Analiza wpływu temperatury na optyczne parametry skośnych siatek Bragga” 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.

Kierownik Pracowni  
Technologii Światłowodów  
*Paweł Mergo*  
dr hab. Paweł Mergo, prof. UMCS

