

Prof. zw. dr hab. inż. Janusz Mroczka, czł. koresp. PAN, dr h.c. (mult.)

Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej
Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej
ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław
tel. (071)3211247
(071)3206232
fax: (071)3214277
e-mail: janusz.mroczka@pwr.edu.pl

adres prywatny:
ul. Wysoucha 65
52-433 Wrocław
tel.: (071) 3635384

Wrocław, 10.04.2021

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEE

RECENZJA

Wpłynęło dnia ... 13.04.2021
Zarejestrowano pod nr
Podpis *dm*

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jacka Klimka pt.: „Badanie wpływu parametrów procesu wytwarzania periodycznych struktur światłowodowych na ich charakterystyki widmowe”.

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie wyrażoną w piśmie z dnia 8.03.2021 roku.

Recenzja dotyczy poprawionej i uzupełnionej rozprawy doktorskiej. Przewód prowadzony jest w dyscyplinie elektronika, odpowiadającej dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika wg klasyfikacji określonej w rozporządzeniu MNiSW z dnia 20 września 2018 roku w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2018, poz. 1818).

1. Ocena poziomu merytorycznego pracy

Autor przedstawił do recenzji poprawioną i uzupełnioną rozprawę doktorską. Zmiany te są w większości uzasadnione, są to głównie literówki i błędy składu, ale znajdują się również uzupełnienia merytoryczne, których omówienie znajduje się w dalszej części

niniejszej recenzji. Praca doktorska mgr inż. Jacka Klimka poświęcona jest badaniom wpływu parametrów procesów prowadzonych w ramach wytwarzania światłowodowych struktur typu Bragga na ich charakterystyki widmowe. Tytuł przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej „*Badanie wpływu parametrów procesu wytwarzania periodycznych struktur światłowodowych na ich charakterystyki widmowe*” jest zgodny z jej zawartością i poruszaną w niej tematyką. Za cel pracy Autor postawił wykazanie możliwości zmiany parametrów fizycznych i optycznych światłowodowych struktur periodycznych Bragga i ich optymalizacji do wybranych zastosowań poprzez dobór parametrów fizycznych i chemicznych procesu wodorowania oraz parametrów fizycznych procesu naświetlania włókien światłowodowych. Autor stwierdza, że celem przedmiotowej pracy było również wykazanie zasadności modyfikacji metody i układu do wytwarzania struktur periodycznych na jednomodowych włóknach światłowodowych w celu kształtowania charakterystyk spektralnych tego typu struktur. W poprawionej i uzupełnionej rozprawie doktorskiej cele te nie były modyfikowane. Stwierdzam, że sformułowane przez Autora cele zostały osiągnięte poprzez wykonanie numerycznych obliczeń charakterystyk spektralnych na podstawie zbudowanego modelu matematycznego struktur typu Bragga. Cel został osiągnięty również poprzez określenie wpływu parametrów struktur, takich jak: apodyzacja, długość oraz chirp, na kształt ich charakterystyk spektralnych, zaprojektowanie i budowę układu do wodorowania włókien światłowodowych, określenie wpływu parametrów wodorowania włókien na ich właściwości optyczne, wytworzenie struktur jednorodnych, chirpowych oraz skośnych na zwodorowanych włóknach i analizę uzyskanych wyników.

Zawartość recenzowanej rozprawy obejmuje trzy rozdziały wprowadzające oraz trzy rozdziały merytoryczne. Główna część niniejszego punktu recenzji zawiera uwagi i komentarze dotyczące rozdziałów merytorycznych pracy. W rozdziale trzecim Autor w sposób przejrzysty i logiczny definiuje parametry optyczne światłowodowych struktur periodycznych, które wyznacza przede wszystkim na podstawie ich charakterystyk spektralnych. Wykreśla zależność długość fali projektowanych siatek dyfrakcyjnych od temperatury oraz wydłużenia, analizując możliwość wykorzystania takich struktur w charakterze przetworników pomiarowych. Autor nie ogranicza się do struktur jednorodnych prostych, ale określa również parametry optyczne na podstawie charakterystyk widmowych tzw. siatek skośnych TFBG (ang.: *tilted fiber Bragg gratings*).

Oprócz głównego rezonansu Bragga widocznego w widmie zmierzonym w trybie transmisji definiuje również mod typu „ghost” oraz definiuje obszar występowania tzw. grzebienia minimów związanych z istnieniem modów płaszczowych. W tej części rozdziału zamieszczono również wyniki pomiarów stężeń cukru trzcinowego w roztworach wodnych, wykonane przy wykorzystaniu struktur TFBG w charakterze przetworników, wykazując możliwość pomiaru zmian współczynnika załamania światła medium otaczającego włókna światłowodowe z TFBG. W uzupełnionej wersji rozprawy Autor poprawił numerację równań w rozdziale 3, podał prawidłową czułość temperaturową struktury dla długości fali Bragga równej 1550 nm i dodał wyjaśnienie dotyczące powstawania modu typu „ghost” na charakterystyce spektralnej. Zmiany te były uzasadnione.

Rozdział czwarty zawiera analizę wpływu zmiany parametrów fizycznych siatki na jej charakterystyki spektralne. Autor poddaje analizie parametry takie jak długość siatki, zmianę okresu na jej długości oraz tzw. apodyzację struktury. Cennym elementem tej części pracy jest omówienie zastosowania metody macierzy przejścia TMM (ang.: *transfer matrix method*) do analizy propagacji światła w strukturach periodycznych, zapisanych we włóknach światłowodowych. Pomimo tego, że do modelowania tego typu struktur Autor wykorzystuje środowisko OptiGrating Optiwave Systems Inc., wykorzystując metodę TMM do rozwiązywania równań modów sprzężonych CME (ang.: *coupled mode equations*) to umieszczenie w pracy opisu matematycznego stosowanego do opisu poszczególnych macierzy cząstkowych struktury niewątpliwie systematyzuje wiedzę dotyczącą sposobu modelowania struktur typu Bragga. Model matematyczny opisany w początkowej części tego rozdziału posłużył następnie do określenia teoretycznego wpływu apodyzacji na charakterystyki spektralne i porównanie go z wynikami pomiarów rzeczywistych struktur, wykonanych przez Doktoranta w laboratorium. Nowatorskim elementem tej części pracy było wykonanie – szkoda, że tylko teoretycznych – obliczeń numerycznych przedstawiających wpływ apodyzacji funkcjami złożonymi. Autor przedstawia charakterystyki spektralne struktur, których obwiednia współczynnika załamania światła opisana jest funkcją będącą połączeniem kształtu prostokątnego oraz funkcji sinus/cosinus. W ten sposób Autor udowadnia możliwość kształtowania szerokości połówkowej oraz efektywnego tłumienia niepożądanych tzw. wstęg bocznych (ang.: *side lobes*). Wartościową częścią pracy jest również przedstawienie technologii

kształtowania apodyzacji w procesie wytwarzania struktur typu FBG. Doktorant opracował sposób kształtowania profilu apodyzacji wytworzonych struktur periodycznych. Zaproponował metodę, w której zmianę profilu apodyzacji można w prosty sposób uzyskać poprzez umieszczenie szczeliny w wiązce lasera zapisującego struktury. Tą kwestię poruszam w dalszej części przedmiotowej recenzji w pytaniach skierowanych do Autora. W uzupełnionej wersji pracy Autor zamieścił opis dotyczący różnic pomiędzy kształtowaniem obwiedni współczynnika załamania światła poprzez zastosowanie tzw. true apodization oraz non true apodization. Autor opisuje obydwie metody i przedstawia wyniki obliczeń numerycznych zmian współczynnika załamania światła na długości siatki. Dodatkowo w poprawionej pracy Autor poprawił opisy siatek zapisanych za pomocą maski 0,1, 1 oraz 10 nm/cm, poprawił znak w równaniu (4.4), poprawił opis równań (4.7) oraz (4.8), uzupełnił informacje dotyczące parametrów struktur przyjętych w obliczeniach numerycznych oraz dodał opis doboru parametrów modelu do rzeczywistych siatek. Uzupełniona wersja rozprawy posiada nowe wyniki obliczeń numerycznych. Zostały one wykonane dla nowych wartości zmiany okresu na długości struktur. Autor uzyskał nowe wyniki, dostosowane do warunków rzeczywistych. Zamieścił poprawioną charakterystykę transmisyjną struktury (rys. 4.18b, 4.19b), nowe, poprawione charakterystyki widmowe struktur rzeczywistych oraz zamodelowanych w OptiGrating (rys. 4.20), poprawił rysunki 4.22-4.40, a także zamieścił nowe rysunki przedstawiające wartości nachylenia zbocza minimów na charakterystykach spektralnych (rys. 4.42-4.45).

Rozdział piąty obejmuje opis procesu wytwarzania struktur periodycznych na jednomodowych włóknach światłowodowych. Doktorant przedstawia autorski projekt układu opto-mechanicznego oraz stanowiska do wytwarzania siatek Bragga na włóknach fotouczulonych. Metoda maski fazowej jest znaną techniką wytwarzania siatek Bragga, w której ze względu na stosowanie jednego elementu dyfrakcyjnego zapewniona jest duża powtarzalność zapisywanych struktur. Bliskie umieszczenie maski i włókna zmniejszyło wpływ drgań mechanicznych. Aby umożliwić zapis siatek skośnych wykorzystano element obrotowy, na którym umieszczana jest maska fazowa. Obrotowy stolik daje możliwość precyzyjnego sterowania kątem skręcenia maski względem padającej wiązki. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że na właściwości wytwarzanych struktur wpływ ma nie tylko charakterystyka maski fazowej, ale również profil wiązki

lasera ekscymerowego. Doktorant wyznaczył kształt wiązki wyjściowej lasera profilometrem wykorzystującym 12-bitową kamerę CCD o rozdzielczości 1,4 megapiksela. Synchronizację z laserem oraz wykrycie pojedynczych impulsów umożliwiło zastosowanie wejścia TTL. Ta część pracy zawiera szereg ważnych aspektów aplikacyjnych. Autor analizuje przesunięcie długości fali głównego rezonansu Bragga oraz modu ghosta dla różnych kątów obrotu maski fazowej, a także zależność współczynnika odbicia rezonansu Bragga i modu gosta od kąta naświetlania dla siatek skośnych. W pracy zestawiono również charakterystyki spektralne wytworzonych siatek skośnych i chirpowych dla różnych wartości czasu naświetlania włókien światłowodowych. Ciężar naukowy tego rozdziału został położony na wytworzenie i zbadanie nowych struktur, tzw. mieszanych, np. poprzez połączenie cech siatek o zmiennym okresie oraz pochylonych płaszczyznach dyfrakcyjnych. Tego typu struktury mogą być wykorzystane np. w charakterze optycznych filtrów krawędziowych, chociażby do zamiany przesunięcia spektralnego czujników FBG na wartość mocy promieniowania transmitowanego przez czujnik, dla wybranego zakresu długości fal. Autor wykazał, że dla małych wartości chirpu siatki wraz ze wzrostem kąta siatki następuje wzrost amplitudy modów płaszczowych. Pojawia się również minimum związane z występowaniem modu ghosta. W uzupełnionej wersji pracy Autor podał zawartość germanu dla światłowodów telekomunikacyjnych, podając odpowiednią referencję, zamieścił parametry włókna o zwiększonej zawartości germanu przeznaczonego do zapisu siatek Bragga, podał parametry naświetlania struktur, a także poprawił numerację rysunków w rozdziale 5.4.

Rozdział szósty dotyczący projektu układu do wodorowania światłowodowych struktur periodycznych ma niewątpliwie charakter technologiczny i ważny aspekt aplikacyjny. Autor przedstawia wyniki wpływu wodorowania włókien światłowodowych na ich parametry optyczne po naświetleniu laserem ekscymerowym. Wykorzystuje autorskie stanowisko do fotouczulania standardowych włókien światłowodowych. W tej części pracy podjęto próbę przeanalizowania wpływu materiału, na którym zapisywane są struktury Bragga. Dzięki budowie autorskiego stanowiska do wodorowania włókien światłowodowych w warunkach wysokich ciśnień uzyskano możliwość wpływania na strukturę światłowodów oraz na reakcje zachodzące we włóknach wskutek ich naświetlania promieniowaniem o długości fali z zakresu UV. Ważnym elementem tej części pracy było zbadanie reakcji łuku elektrycznego podczas wykonywania spawów

z wodorem znajdującym się w fotouczulonych włóknach. Autor wyznacza po jakim czasie możliwe jest wykonywanie spawów bez defektów dla konkretnej temperatury, w której przechowywane jest wodorowane włókno. Wyznacza również wpływ temperatury przechowywania na koncentrację wodoru. W celu porównania parametrów charakterystyk spektralnych Autor wytworzył siatki na trzech rodzajach włókien: GF1, GF1 wodorowanym (GF1+H₂) oraz SMF-28 wodorowanym (SMF+H₂). Wszystkie siatki zapisywane były w tych samych warunkach i o takich samych parametrach lasera, przede wszystkim częstotliwości repetycji i energii promieniowania. Autor analizuje również charakterystyki spektralne siatek wytworzonych na włóknie wodorowanym GF1 przy stałym czasie naświetlania i zmiennej długości naświetlanej struktury, którą z kolei uzyskuje poprzez zastosowanie szczelin o regulowanej szerokości. Autor wykazał, że przesunięcie fali Bragga w stronę fal dłuższych jest coraz silniejsze wraz ze zwiększaniem czasu ekspozycji na światło lasera ekscymerowego oraz że wodór dostarczany podczas procesu wodorowania indukuje przesunięcie w przeciwną stronę, tj. w kierunku fal krótszych. Ważnym wnioskiem wynikającym z tych badań było stwierdzenie, że w celu zapewnienia stabilności długości fali wytwarzanych struktur periodycznych niezbędne jest umieszczenie wytworzonej siatki w komorze do wygrzewania bezpośrednio po zakończeniu wodorowania włókna i zapisie siatki aby przyspieszyć wydostawanie się molekuł wodoru ze szkła.

Uważam, że rozdziały 5 i 6 zawierają wyniki najciekawsze, nieoczywiste w wielu przypadkach i posiadające ważny aspekt użytkowy.

2. Ocena oryginalności rozprawy i aktualności poruszanej tematyki badawczej

Rozprawa dotyczy zagadnień związanych z projektowaniem, wytwarzaniem i badaniami światłowodowych struktur periodycznych Bragga. Struktury tego typu znajdują zastosowanie jako czujniki temperatury, odkształcenia, wydłużenia, poziomu płynów, współczynnika załamania światła, pola elektromagnetycznego i wielu innych wielkości fizycznych. Są stosowane tam, gdzie użycie czujników elektronicznych jest utrudnione lub niemożliwe. Opracowywanie nowych i doskonalenie już istniejących czujników optoelektronicznych wymaga znajomości kształtowania ich charakterystyk widmowych, zatem prowadzone przez Doktoranta i opisane w pracy doktorskiej badania są niewątpliwie aktualne. Dotyczy to przede wszystkim rozwiązywanego problemu

badawczego polegającego na opanowaniu procesu optymalnego zapisu siatek, jak również fotoczulania włókien optycznych, na których takie struktury są zapisywane. Oryginalność rozprawy polega na określeniu możliwości kształtowania charakterystyk widmowych struktur, a przez to wpływania na właściwości metrologiczne wykorzystujących je czujników. Jest to istotne, ponieważ oferowane komercyjnie siatki Bragga cechuje znaczne ograniczenie zakresu dostępnych parametrów. W pracy zamieszczono również projekt stanowiska do wodorowania włókien światłowodowych w celu zwiększenia ich fotoczułości przy zapisie z wykorzystaniem lasera ekscymerowego. Autor wykonał analizę wpływu ciśnienia wodorowania na parametry wytworzonych siatek Bragga i wykazał występowanie zmian długości defektu powstającego podczas spawania włókna wodorowanego od czasu upływającego pomiędzy wodorowaniem a procesem spawania. Z tego punktu widzenia badania, których wyniki przedstawiono w rozprawie doktorskiej są niezwykle ważne i mają znaczenie aplikacyjne.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Wyznaczenie odpowiedzi widmowych struktur w środowisku OptiGrating Optiwave i wykazanie możliwości przewidywania ich parametrów już na etapie modelowania, jeszcze przed ich wytworzeniem.
2. Wykazanie przesunięcia charakterystyk spektralnych struktur w kierunku dłuższych fal podczas ich zapisu, spowodowanego wzrostem efektywnego współczynnika załamania światła rdzenia.
3. Wyznaczenie wpływu ciśnienia wodorowania na parametry wytworzonych struktur periodycznych.
4. Wykazanie zależności długości defektu od czasu upływającego od chwili zakończenia procesu wodorowania do momentu zapisu struktur i udowodnienie, że zjawisko to jest zależne od stężenia wodoru w rdzeniu światłowodu.
5. Wykazanie występowania różnic czułości na ekspozycje na promieniowanie ultrafioletowe w przypadku włókien wodorowanych oraz włókien o podwyższonej zawartości germanu.
6. Zaproponowanie sposobu zmiany parametrów struktur poprzez zastosowanie szczelin przesłaniających wiązkę promieniowania UV.

7. Wyznaczenie wpływu długości struktury oraz rodzaju funkcji opisującej kształt obwiedni współczynnika załamania światła, na współczynnik odbicia, nachylenie zbocza charakterystyki spektralnej oraz połówkową szerokość spektralną.
8. Analiza jednoczesnego wpływu kąta obrotu maski fazowej oraz zmian okresu na długości struktury na przesunięcie rezonansu Bragga oraz na zakres spektralny występowania rezonansów związanych z istnieniem modów płaszczowych w strukturach Bragga.

Wykonane badania i przeprowadzone symulacje numeryczne stanowią niewątpliwie cenny wkład Autora oraz oryginalny element Jego pracy. W pracy poruszono zagadnienia nowe i istotne z punktu widzenia ich potencjalnych zastosowań w systemach pomiarowych szeregu wielkości fizycznych.

3. Uwagi krytyczne, pytania

Do opiniowanej pracy doktorskiej mgr inż. Jacka Klimka recenzent zgłasza następujące **krytyczne** uwagi szczegółowe:

- s. 19: nie wszystkie oznaczenia zmiennych wykonane zostały czcionką pochyloną, np. oznaczenie osi układu współrzędnych w postaci „z” w tekście pracy jest mylące,
- s. 24: wygodniej byłoby wektor wypadkowy fali w strukturze TFBG oznaczyć małą literą k , zważywszy na to, że małymi literami Autor oznaczył wektor fali padającej oraz rozproszonej,
- s. 26: Autor zauważa, że zmiany wysokości poszczególnych minimów występujących na charakterystykach TFBG są większe przy współczynniku załamania bliskim współczynnikowi załamania płaszcza światłowodu, konkludując, że dzieje się tak dlatego, że światło łatwiej opuszcza płaszcz do ośrodka o wyższym współczynniku załamania, skutkując zmianą współczynnika transmisji. Należałoby wyjaśnić dokładniej do zjawisko,
- s. 34: w oznaczeniu macierzy odpowiadających poszczególnym sekcjom podziału struktury Bragga w metodzie macierzy przejścia Autor parametr sprzężenia podaje przy indeksie i , oznaczającym i -tą sekcję struktury. Skoro wiemy, że elementy macierzy T_{11} są równe sprzężonym elementom T_{12} dla danej sekcji podziału siatki to parametr sprzężenia powinien dotyczyć całego elementu T_{12} . Jest to jedynie błąd oznaczenia, ale wpływa on na przejrzystość analizy

matematycznej. Ta sama sytuacja dotyczy oznaczeń elementów T_{21} (równania (4.2) oraz (4.3)),

- s. 76: Autor w opisie rysunku 5.1 używa sformułowania „foto uczulone”. Bardziej prawidłowa byłaby forma fotouczulone lub foto-uczulone lub po prostu czułe na promieniowanie laserowe,
- s. 77: Autor na rysunku 5.3 zamieścił charakterystykę spektralną szkła soczewki cylindrycznej wykorzystywanej w układzie przeniesienia wiązki lasera ekscymerowego, ale brakuje komentarza dotyczącego jej kształtu oraz wpływu tego kształtu na wytwarzane struktury,
- s. 87: Autor niefortunnie stwierdza, że cyt. „...przesunięcie głównego rezonansu Bragga oraz modu ghosta dla różnych kątów obrotu maski fazowej przedstawiono na rysunku 5.16...”. Chodzi zapewne o zmianę długości fali, ewentualnie przesunięcie długości fali, a nie przesunięcie rezonansu,
- s. 104: brak opisu wielkości a oraz α w równaniach (6.6)-(6.8),
- s. 110: Autor stwierdza, że cyt. „Szerokość spektralna $FWHM$ włókna GF1 wynosi 98 pm, natomiast wartość $FWHM$ włókna SMF-28 wodorowanego wynosi 0,96 nm, czyli jest 10-cio krotnie większa”. Jest to uproszczenie wprowadzające w błąd. Powinno być: szerokość spektralna $FWHM$ struktury Bragga wytworzonej na włóknie GF1 ... itd.,

Do opiniowanej pracy doktorskiej mgr inż. Jacka Klimka recenzent zgłasza następujące **pytania szczegółowe**:

1. Autor w rozdziale 5 stwierdza, że dla małych wartości chirpu siatki widoczne jest, że wraz ze wzrostem kąta siatki następuje wzrost amplitudy modów płaszczowych. Pojawia się również minimum związane z występowaniem modu ghosta. Charakterystyczne jest również poszerzenie zakresu spektralnego, w którym pojawiają się nowe minima, związane z występowaniem kolejnych modów wyższego rzędu? Jaka jest przyczyna tego zjawiska i czy Autor potrafi przedstawić jego wyjaśnienie?
2. Czy możliwe jest zastosowanie użytego źródła światła do rozbudowy układu polegającej na zastosowaniu innych metod zapisu siatek Bragga?

3. W rozdziale 5 Autor stwierdza, że w przypadku siatek ukośnych chirpowych o relatywnie dużych zmianach okresu na ich długości, rzędu 10 nm/cm, charakterystyczne jest płaskie widmo w szerokim zakresie długości fal, praktycznie niezależne od kąta nachylenia płaszczyzn dyfrakcyjnych. Czy Autor potrafi wyjaśnić przyczyny tego zjawiska?
4. Autor wykazał w pracy, że kształtowanie obwiedni modulacji współczynnika załamania światła poprzez połączenie dwóch funkcji matematycznych opisujących taką obwiednię daje obiecujące rezultaty, jeżeli chodzi o możliwość sterowania tzw. wstęgami bocznymi. Czy tego typu struktury są możliwe do wykonania w rzeczywistości?
5. W pracy zabrakło również informacji jakiego rodzaju i jak długie włókna światłowodowe można poddawać procesowi wodorowania oraz czy poza metodą pomiaru charakterystyk spektralnych z wykorzystaniem analizatora widma optycznego jest możliwość kontrolowania zmian parametrów siatki Bragga?
6. Czy istnieje możliwość poprawienia efektywności wodorowania włókien światłowodowych i czy po zapisie siatki Bragga wytrzymałość włókna jest taka sama jak przed zapisem?
7. Czy na każdym włóknie światłowodowym można zapisać siatkę Bragga?

Wymienione przeze mnie uwagi krytyczne oraz wątpliwości wyrażone w pytaniach nie wpływają na pozytywną ocenę przedstawionej pracy doktorskiej i nie umniejszają mojej pozytywnej oceny oryginalności rozprawy i aktualności poruszanej tematyki badawczej.

4. Ocena analizy źródeł

Analiza źródeł literaturowych obejmuje łącznie 112 pozycji. Większość z nich odnosi się do aktualnego stanu wiedzy w zakresie technologii otrzymywania i badania siatek Bragga. Dla przykładu 5 pozycji to publikacje z 2019 roku, 10 pozycji to publikacje z roku 2018 a 6 z roku 2017. W przypadku 5 pozycji mgr inż. Jacek Klimek występuje jako współautor. Cytowane artykuły dotyczą zagadnień związanych z charakteryzacją i aplikacjami światłowodowych struktur periodycznych. Literatura cytowana jest w sposób prawidłowy, jej zakres wiąże się ściśle z tematyką pracy, a dobór poszczególnych pozycji jest uzasadniony merytorycznie.

5. Podsumowanie

Recenzowana praca posiada ważne walory poznawcze i aplikacyjne. **Doktorant** jest współautorem **28** prac indeksowanych w bazie *Web of Science*. Według bazy *Web of Science* liczba cytowań prac doktoranta wynosi **249** a indeks Hirsha wynosi **5**. Na uwagę zasługuje duża, w stosunku do ogólnej liczba cytowań bez tzw. autocytowań, która według bazy *Web of Science* wynosi **244**. Bazy Scopus indeksuje **33** prace mgr inż. Jacka Klimka, **295** cytowań jego prac oraz indeks Hirsha **7**. Są to wskaźniki wyróżniające dorobek doktoranta.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Klimka pt. *„Badanie wpływu parametrów procesu wytwarzania periodycznych struktur światłowodowych na ich charakterystyki widmowe”* spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w art. 1 ustawy o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw z dnia 21 kwietnia 2017 r. (Dz. U. z 2018 r., poz. 859) w odniesieniu do oryginalności problemu naukowego, umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wiedzy teoretycznej. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Jacka Klimka do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



