



UNIWERSYTET
WARSZAWSKI

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

Prof. dr hab. inż. Ryszard Buczyński
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
e-mail: ryszard.buczynski@fuw.edu.pl
Tel. + 48 22 5532023

**Recenzja
pracy doktorskiej**

**" Światłowodowe czujniki do pomiaru współczynnika załamania
wykorzystujące efekt powierzchniowego rezonansu plazmonowego "**
mgr inż. Katarzyny Gąsior

Rozprawa doktorska jest poświęcona badaniom czujników światłowodowych wykorzystujących zjawisko powierzchniowego rezonansu plazmonowego (SPR). Praca obejmuje szeroko zakrojony zakres prac numerycznych i eksperymentalnych, obejmujący optymalizację budowy czujników światłowodowych jedno- i wielomodowych pod względem zwiększenia ich czułości oraz obniżenia pracochłonności ich wykonania. Praca powstała pod kierunkiem profesora dr. hab. inż. Wacława Urbańczyka (promotor) oraz dr. Tadeusza Martynkiena (promotor pomocniczy) na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej.

W rozprawie Autorka bada układy światłowodowego czujnika SPR z zastosowaniem zgięcia włókna do zwiększenia jego czułości oraz zastosowaniem fazowej detekcji rezonansu plazmonowego. W pracy przedstawione są interesujące wyniki dotyczące zastosowania w czujnikach światłowodów polimerowych i krzemionkowych o niesymetrycznym przekroju w kształcie litery D. Wyniki przedstawionych badań mogą mieć istotny wpływ na zastosowanie światłowodów czujników wykorzystujących zjawisko powierzchniowego rezonansu



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

plazmonowego do diagnostyki biochemicznej ze względu na możliwość znacznego obniżenia ich kosztów poprzez zastosowanie dedykowanych włókien polimerowych oraz źródeł LED.

Praca doktorska mgr inż. Katarzyny Gąsior zawiera wyniki opublikowane w latach 2014-18 w 4 artykułach w czasopismach z dziedziny optyki indeksowanych przez Web of Science i posiadających wysokie współczynniki IF. Pani Gąsior jest pierwszym autorem wszystkich powyższych publikacji co świadczy o jej kluczowej roli we wszystkich opublikowanych badaniach. Doktorantka jest również współautorką jednej publikacji nie związanej bezpośrednio z doktoratem opublikowanej w uznanym czasopiśmie międzynarodowym z IF – Journal of Optics w 2013 roku oraz jednej publikacji pokonferencyjnej również z 2013 roku indeksowanej przez Web of Science. Obie prace dotyczą charakteryzacji nowych konstrukcji światłowodów polimerowych przeznaczonych do zastosowań czujnikowych. Spośród prac w dorobku mgr Gąsior na szczególną uwagę zasługują 2 prace. Pierwsza praca, która została opublikowana w prestiżowym czasopiśmie Sensors and Actuators B (IF= 6.393) z 2018 roku, zawiera wyniki badań dotyczących budowy czujników SPR z zastosowaniem światłowodów typu D oraz zastosowania metody pomiaru przesunięcia fazowego do detekcji rezonansu plazmonowego. Druga praca została opublikowana w 2017 roku w czasopiśmie Journal of Optics i przedstawia po raz pierwszy eksperymentalne wyniki potwierdzające możliwość znaczącego wzmocnienia powierzchniowego rezonansu plazmonowego w czujnikach światłowodowych wielomodowych pokrytych warstwą złota poprzez zgięcie światłowodu. Praca ta zyskała już uznanie środowiska o czym świadczy 9 cytowań obcych w ciągu 2 lat od opublikowania w 2017 roku.

Praca doktorska mgr inż. Katarzyny Gąsior składa się z dwóch części. Pierwsza część składa się z trzech rozdziałów (1-3) i stanowi wprowadzenie merytoryczne do pracy obejmujące motywację podjęcia tematu, opis zjawiska powierzchniowego rezonansu plazmonowego oraz stan wiedzy w dziedzinie budowy czujników wykorzystujących powyższe zjawisko. Druga część pracy, obejmująca rozdziały 4-7 oraz wnioski końcowe, przedstawia oryginalne wyniki badawcze Doktorantki.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

Rozdział 1, który stanowi wstęp do pracy, zawiera opis motywacji podjęcia tematu badawczego, tezę pracy oraz opis jej struktury. Rozdział 2 zawiera wprowadzenie podstawowych pojęć dotyczących powierzchniowego rezonansu plazmonowego. Doktorantka przedstawiła opis matematyczny i analizę warunków wzbudzenia plazmonów powierzchniowych oraz zdefiniowała podstawowe pojęcia m.in. amplitudowy i natężeniowy współczynnik odbicia. Następnie przedstawiona została analiza wzbudzenia plazmonów przy zastosowaniu pobudzenia w wolnej przestrzeni w konfiguracji Kretschmanna dla różnych parametrów układu m.in. kąta pobudzenia, długość fali i współczynnik załamania badanego dielektryka. Autorka przedstawia także dokładną analizę możliwości wyznaczenia długości fali rezonansowej poprzez bezpośredni pomiar współczynnika odbicia oraz poprzez wyznaczenie pochodnej różnicy faz pomiędzy odbitymi falami o polaryzacji TE i TM. Pokazano, że zastosowanie metody fazowej pozwala na dokładniejsze wyznaczenie długości fali rezonansowej ze względu na znacznie węższy pik pochodnej różnicy faz. W dalszej części rozdziału Autorka przedstawiła zjawisko powierzchniowego rezonansu plazmonowego w układach światłowodowych i schematy światłowodowych czujników SPR. Następnie przedstawiła znany z literatury uproszczony dwuwymiarowy model teoretyczny światłowodowych czujników SPR i wykazała, że na charakterystyki krzywych rezonansowych mają istotny wpływ średnica światłowodu, długość czujnika oraz grubość warstwy metalizacji.

Rozdział 3 przedstawia stan wiedzy dotyczący światłowodowych czujników wykorzystujących zjawisko powierzchniowego rezonansu plazmonowego. Doktorantka przedstawiła bardzo dokładną analizę tematu uwzględniając światłowody jedno- i wielomodowe, różne metody odsłaniania rdzenia w światłowodzie poprzez szlifowanie lub trawienie oraz włókna o specjalnej konstrukcji. Przedstawiona analiza wskazuje, że zdecydowana większość konstrukcji jest oparta na wykorzystaniu włókien krzemionkowych i tylko w bardzo nielicznych pracach rozważano zastosowanie włókien polimerowych ze szlifowaniem bocznym. Doktorantka przedstawiła także pierwsze publikacje innych grup badawczych, które niezależnie i równocześnie z jej pracami pojęły badania nad wpływem wygięcia światłowodów na efektywność zjawiska SPR.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

Rozdział stanowi bardzo dobre wprowadzenie do tematyki doktoratu, zawiera liczne odnośniki do aktualnej literatury światowej i pozwala czytelnikowi na szybkie zapoznanie się aktualnym stanem wiedzy w dziedzinie. Sposób opisu jest przystępny, ale równocześnie precyzyjny i świadczy o dogłębnym zrozumieniu przez Autorkę tematyki i stanu wiedzy. W opisie brakuje jednak syntezy informacji dotyczących porównania pomiędzy konstrukcjami zaproponowanymi przez różne grupy badawcze oraz ilościowych informacji dotyczących czułości otrzymanych czujników. Zebranie przedstawionych informacji w formie zbiorczej tabeli zawierającej podstawowe dane dotyczące czułości podniosłoby dodatkowo wartość tego rozdziału. Niemniej rozdział wskazuje na szerokie zainteresowanie na świecie tematyką podjętą w doktoracie mgr inż. K. Gąsior i pozwala w pełni docenić oryginalność i osiągnięte wyniki przedstawione przez Autorkę w niniejszej rozprawie doktorskiej.

Rozdział 4 przedstawia opis metod oraz układów pomiarowych stosowanych przez Doktorantkę do badania zjawiska powierzchniowego rezonansu plazmonowego w czujnikach światłowodowych. Przedstawiono 2 układy pomiarowe przeznaczone do bezpośredniego pomiaru współczynnika odbicia w funkcji długości fali oraz do pomiaru różnicy faz pomiędzy odbitymi falami o polaryzacji TE i TM w układzie interferometrycznym Macha-Zhendera z zastosowaniem źródła szerokopasmowego. Jako badany ośrodek dielektryczny o zmiennym współczynniku załamania zastosowano wodne roztwory gliceryny o różnym stężeniu umożliwiające zmianę współczynnika załamania w zakresie 1,332 – 1,422 dla fali o długości 589 nm. Na uwagę zasługuje szeroki zakres analizowanych zmian współczynnika załamania w stosunku do większości publikowanych prac eksperymentalnych.

Rozdział 5 przedstawia wyniki prac badawczych dotyczących osadzania plazmowego cienkich warstw srebra i złota na podłoża polimerowe PMMA i szklane w formie płytek oraz światłowodów. Analizowana była jakość otrzymanych powierzchni przy zastosowaniu analizy map topograficznych powierzchni otrzymywanych mikroskopem sił atomowych (AFM). Jakość powierzchni warstwy metalu ma istotny wpływ na charakterystyki rezonansowe w czujnikach SPR. Przeprowadzone badania powierzchni wskazują na dobrą jakość nanoszonych warstw srebra lub złota. Osiągana gładkość powierzchni warstwy metali jest bardzo podobna do chropowatości podłoża. Zmierzona chropowatość powierzchni srebra i złota dla



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

polerowanych bocznie włókien polimerowych wynosi odpowiednio 6,3 nm oraz 5,9 nm. Doktorantka wykazała, że jakość polerowanych powierzchni światłowodów ma kluczowy wpływ na chropowatość powierzchni metali i będzie miała wpływ na charakterystyki czujników SPR. Pojawiające się lokalnie wysokie zmiany chropowatości oznaczają obecność zanieczyszczeń i wskazują na konieczność zachowania wysokiego reżimu czystości. Przeprowadzone badania chropowatości mają charakter przesiewowy, gdyż były analizowane tylko niewielkie powierzchnie $12\ \mu\text{m} \times 12\ \mu\text{m}$. Nie przeprowadzono pomiarów statystycznych dla dużych powierzchni co jest zapewne związane z czasochłonnością pomiarów AFM. W rozdziale brakuje także dodatkowych pomiarów grubości osadzanych warstw srebra i złota. Oszacowanie pomiaru grubości warstwy 40 nm jest przyjęte na podstawie wskazań czujnika piezokwarcowego podczas procesu napyłania warstwy.

Rozdział 6 przedstawia oryginalne kompleksowe wyniki badań doktorantki dotyczące badania powierzchniowego rezonansu plazmonowego w konwencjonalnych wielomodowych światłowodach PMMA. Doktorantka badała wpływ głębokości polerowania, długości czujnika i promienia zgięcia na charakterystyki rezonansowe. Badane były czujniki wykonane na 2 włóknach wielomodowych o średnicach rdzenia $980\ \mu\text{m}$ i $240\ \mu\text{m}$. Otrzymane eksperymentalne piki rezonansowe były aproksymowane funkcjami parabolicznymi w celu wyznaczenia zależności częstotliwości rezonansowych od współczynnika załamania otoczenia czujnika. Otrzymano czułości w zakresie 1000-3000 nm/RIU w zależności od głębokości polerowania. Są to wyniki zbliżone do wyników publikowanych przez inne grupy badawcze badające podobne czujniki SPR. Ponadto doktorantka w swoich badaniach wykazała, że głębokość rezonansu jest w niewielkim stopniu zależna od głębokości spolerowania rdzenia, natomiast zwiększa się wraz z długością czujnika. W kolejnych badaniach wykazała, że szerokość połówkowa piku rezonansowego oraz czułość zmniejsza się wraz z głębokością spolerowania włókna. Otrzymane wyniki nie potwierdziły przewidywanego w innych pracach badawczych najwyższej czułości przy głębokości spolerowania rdzenia włókna do 50% jego średnicy. W dalszej części badań Doktorantka analizowała wpływ zgięcia włókna na charakterystyki czujnikowe SPR. Badania wykazały, że zmieszanie promienia zgięcia nie wpływa znacząco na poszerzenie pików rezonansowych ani nie wywołuje znaczącego



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

przesunięcia rezonansowych długości fali. Wyniki eksperymentalne nie są zgodne z wcześniej przyjętymi modelami, natomiast są zgodne z opublikowanymi niezależnie przez inne grupy badawcze wynikami prac eksperymentalnych. Dotychczas przyjmowane proste modele dwuwymiarowe przyjmowały założenia, które nie były spełniane przez światłowody cylindryczne. W kolejnym etapie badań Doktorantka badała wpływ dodatkowego szlifowania czujników wykonanych ze zgiętych światłowodów. Systematyczne badania dla różnych głębokości szlifowania wykazały, że głębokość szlifowania nie poprawia charakterystyk rezonansowych i czasochłonny proces szlifowania i polerowania może być pominięty bez straty dla jakości czujnika SPR. W następnej części doktorantka badała wpływ rodzaju metalu (srebra i złota) na charakterystyki polimerowych czujników SPR wykonanych na zgiętych włóknach. Badania wykazały, że przy zastosowaniu złota otrzymano ponad trzykrotnie głębsze piki rezonansowe niż przy zastosowaniu srebra dla tych samych warunków propagacji. Największe głębokości pików rezonansowych otrzymano przy zmniejszaniu promienia zgięcia i wydłużaniu długości czujników, jednocześnie nie zaobserwowano poszerzenia pików mogących negatywnie wpłynąć na dokładność określenia położenia rezonansowych długości fali.

W dalszej części rozdziału Doktorantka przeprowadziła badania czujników SPR z wykorzystaniem specjalnie w tym celu zaprojektowanych włókien wielomodowych polimerowych w kształcie litery D, który zapewnia odsłonięty rdzeń i płaską powierzchnię umożliwiającą łatwe nanoszenie warstwy metalicznej na gładką powierzchnię rdzenia bez konieczności dodatkowej obróbki mechanicznej. 3 serie prototypowych włókien, jedno ze skokowym rdzeniem oraz dwa włókna z płaszczem mikrostrukturalnym, zostały wykonane w Pracowni Technologii Światłowodów na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Autorka przebadła charakterystyki czujników SPR wytworzonych na wygiętych włóknach. Dla wszystkich rozważanych włókien D-kształtnych otrzymano podobne charakterystyki, wąskie piki rezonansowe o do szerokości 67 nm dla krzywizny wygięcia $0,1 \text{ mm}^{-1}$ oraz wysoką czułość do 4000 nm/RIU dla wysokich mierzonych współczynników załamania 1,43.

W Rozdziale 7 mgr inż. K. Gąsior zastosowała do czujników SPR światłowody jednomodowe typu D polimerowe oraz krzemionkowe o skokowym rdzeniu. Włókno



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

polimerowe posiadało płaszcz z PMMA a rdzeń z kopolimeru PMMA/PS, natomiast we włóknie krzemionkowym rdzeń wykonano ze szkła krzemionkowego domieszkowanego ditlenkiem germanu. Dla przygotowanych włókien zostały przeprowadzone pomiary powierzchniowego rezonansu plazmonowego przy zastosowaniu dwóch metod: transmisyjnej oraz pomiaru przesunięcia fazowego. W przypadku zastosowania metody transmisyjnej otrzymano dla badanych czujników SPR czułości do 2765 nm/RIU. Są to wartości zbliżone lub nieznacznie wyższe, niż otrzymane przez inne grupy badawcze w ostatnich latach. Najciekawsze wyniki doktorantka osiągnęła przy zastosowaniu metody pomiaru przesunięcia fazowego. Metoda pomiaru przesunięcia fazowego w układach światłowodowych została w po raz pierwszy zastosowana w niniejszej pracy. Zastosowanie tych samych czujników pozwoliło na bezpośrednie porównanie charakterystyk czujników SPR do pomiarów obydwoma metodami. W przypadku światłowodów polimerowych metoda pomiaru fazowego pozwoliła na otrzymanie znacznie węższych pików rezonansowych, co bezpośrednio przekłada się na dokładność wyznaczenia długości fali rezonansowej. Otrzymane czułości czujników SPR są podobne, natomiast metoda fazowa ma mniejsze zmiany czułości (1039 – 1224 nm/RIU) w całym zakresie badanych zmian współczynnika załamania 1,332 – 1,386. Zastosowanie metody fazowej do światłowodów polimerowych było jednak niekorzystne ze względu na dużą czułość temperaturową oraz higroskopijność, które miały wpływ na charakterystyki czujników SPR. W przypadku światłowodu krzemionkowego także otrzymano mniejsze niepewności wyznaczenia długości fali rezonansowej, natomiast czułości czujników SPR przy zastosowaniu metody fazowej były nieznacznie większe od uzyskiwanych przy zastosowaniu metody transmisyjnej (1301 – 3011 nm/RIU). Optymalizacja długości części czujnikowej oraz odległości rdzenia od powierzchni włókna pozwoliła na dalsze ograniczenie szerokości połówkowej pików rezonansowych i związanej z tym zwiększeniem precyzji wyznaczenia długości fali rezonansowej oraz wzrost czułości czujników SPR do 5500 nm/RIU przy wysokich wartościach współczynnika załamania badanych roztworów.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie wyników przeprowadzonych badań. Doktorantka podkreśliła, że zastosowanie światłowodów typu D, które zostały wykonane specjalnie na potrzeby niniejszych prac badawczych, pozwala na wytworzenie światłowodowych czujników



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

SPR o wysokiej czułości i precyzji bez konieczności pracochłonnego szlifowania bocznego włókna.

Moja ogólna ocena rozprawy jest bardzo wysoka. Praca stanowi ważny element aktualnych badań światowych dotyczących budowy prostych w użyciu i bardzo czułych czujników biochemicznych wykorzystujących powierzchniowy rezonans plazmonowy. Praca jest napisana bardzo starannie. Nie zawiera ona istotnych błędów merytorycznych ani formalnych. Wszystkie analizy są poparte odniesieniami do właściwej literatury. Otrzymane wyniki są dogłębnie analizowane i ilustrowane wykresami, które pozwalają na łatwe zrozumienie przedstawionej analizy i wniosków. Świadczy to o bardzo głębokiej wiedzy i zrozumieniu badanych zagadnień przez Doktorantkę. Jedyne niezrozumiałe jest zastosowanie do wykresów skali szarości w Rozdziale 7. Czyni to część wykresów trudnymi do zrozumienia, w szczególności Rys. 7.15. Ponadto w rozdziale 7.1 Autorka podaje wyznaczone metodą kąta najmniejszego odchylenia wartości współczynników załamania dla wytworzonych polimerów PMMA i kopolimeru PMMA/PS z bardzo wysoką dokładnością, która wynosi 2×10^{-5} . Mam wątpliwości co do przyjętej dokładności pomiaru, gdyż wpływ parametrów zewnętrznych (temperatury, higroskopijności polimeru) może mieć istotny wpływ na otrzymywane wyniki pomiarów przewyższając ich deklarowaną niepewność.

Doktorantka włożyła bardzo dużo pracy w przebadanie charakterystyk rezonansowych wielu włókien zarówno jednomodowych jak i wielomodowych, polimerowych oraz krzemionkowych. Za zmienne parametry przyjmowała długość czujnika SPR, krzywiznę zgięcia włókna, głębokość zeszlifowania włókna. Dla włókien jednomodowych pomiary SPR prowadzono dwoma metodami: transmisyjną oraz interferencyjną. Wszystkie pomiary były prowadzone dla cieczy testowych (roztwór wody z gliceryną) o dużej rozpiętości współczynnika załamania od 1,332 do 1,422. Należy uznać, że przeprowadzone badania mają charakter kompleksowy i przekrojowy, nieraportowany dotychczas w tak szerokim zakresie przez inne grupy badawcze.

Otrzymane wyniki mają dużą wartość poznawczą i aplikacyjną. Mgr inż. K. Gąsior wykazała eksperymentalnie znaczącą poprawę czułości światłowodowych czujników SPR



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

zarówno w przypadku światłowodów jednomodowych, jak i wielomodowych, przy zastosowaniu prostej modyfikacji poprzez wygięcie włókna. Wykazała ponadto, że w przypadku światłowodów wielomodowych głębokość zeszlifowania rdzenia nie wpływa znacząco na poprawę charakterystyk oraz czułość światłowodowych czujników SPR. Niezwykle ważne są wyniki osiągnięte dla włókien typu D. Doktorantka wykazała, że na tak przygotowane włókna można nanosić bardzo dobrej jakości cienkie warstwy metalu uzyskując niską chropowatość i z powodzeniem stosować je w czujnikach SPR osiągając wyniki równie dobre, a w niektórych konfiguracjach lepsze, niż przy stosowaniu tradycyjnego szlifowania bocznego włókien. Te wyniki mają bardzo dużą wartość praktyczną, gdyż wskazują na odmienną metodę przygotowywania włókien czujnikowych niewymagającą stosowania czasochłonnego szlifowania, które ogranicza praktyczne możliwości stosowania światłowodowych czujników SPR oraz podnosi ich jednostkową cenę. Dzięki wynikom prac badawczych dr Gąsior możliwe jest w najbliższej przyszłości rozważanie komercjalizacji czujników SPR. Zaproponowane rozwiązania oparte na tanich źródłach LED, światłowodach polimerowych oraz zastosowanie tanich układów detekcyjnych opartych na filtrach interferencyjnych i diodach PIN lub tanich spektrometrach Fabry'ego-Perota typu MOEMS umożliwiają masowe zastosowanie czujników SPR. Dodatkowa funkcjonalizacja powierzchni czujnika umożliwi ich zastosowanie w dedykowanych czujnikach medycznych do wykrywania określonego rodzaju białek lub bakterii.

Pewien niedosyt w pracy pozostawia jedynie brak przedstawienia szerszego kontekstu badań. Nie wyjaśniono we wstępnych rozdziałach pełnej motywacji podjętych badań. Czytelnikowi pracy trudno się na podstawie jej lektury dowiedzieć, dlaczego wyznaczenie współczynnika załamania dielektryków z bardzo dużą dokładnością jest tak istotne dla współczesnych czujników chemicznych i biomedycznych. Brakuje również informacji o innych metodach pomiarów współczynnika załamania. Stosowanie siatek długookresowych w czujnikach światłowodowych do wyznaczania współczynnika załamania otoczenia jest szeroko badane od wielu lat i także stosowane w praktyce. Wskazane byłoby krótkie wspomnienie o tej metodzie, porównanie zalet i wad obydwu rodzajów czujników oraz porównanie ich czułości.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

Ponadto w ostatnim rozdziale doktoratu oczekiwałbym porównania wyników osiągniętych przez Autorkę pracy ze stanem wiedzy. Krótka, syntetyczna analiza otrzymanych wyników i zestawienie ich z wynikami dotychczas opublikowanymi przez inne grupy badawcze, nawet w postaci syntetycznej tabeli, ułatwiłoby docenienie wyników osiągniętych przez Doktorantkę, które są na poziomie światowym.

Powyższe uwagi dotyczą słabszych aspektów przedstawionej pracy, ale nie podważają w żaden sposób mojej bardzo wysokiej oceny rozprawy doktorskiej jako całości oraz ważnych i oryginalnych osiągnięć badawczych.

Uzyskane wyniki stanowią oryginalny i istotny krok w rozwoju czujników światłowodowych SPR i mogą się znacząco przyczynić do ich wdrożenia do diagnostyki biochemicznej. Ze względu na niewielkie rozmiary poprzeczne odpowiadające grubości włókna światłowodowego proponowane w dysertacji czujniki po ich funkcjonalizacji mogą być również zastosowane w diagnostyce medycznej in-vivo. Prace zostały docenione przez środowisko naukowe, o czym świadczą 4 publikacje w uznanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym z IF oraz ich stosunkowo duża liczba cytowań obcych pomimo krótkiego czasu jaki upłynął od ich publikacji.

Mając na uwadze bardzo aktualną tematykę pracy, jej olbrzymi potencjał praktyczny oraz wysoki poziom naukowy rozprawy wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej magister Katarzyny Gąsior. W szczególności na wyróżnienie zasługują prace nad budową światłowodowego czujnika SPR z zastosowaniem metody zmian przesunięcia fazowego. Przedstawione wyniki są pierwszą eksperymentalną realizacją światłowodowego czujnika SPR z zastosowaniem powyższej metody, która była znana wcześniej wyłącznie z prac teoretycznych. Zastosowana metoda pozwala na duży zakres pomiarowy rezonansowej długości fali co przekłada się bezpośrednio na duży zakres badania zmian współczynnika załamania badanej cieczy w pojedynczym czujniku oraz większą dokładność wyznaczania częstotliwości rezonansowej i związanego z nim współczynnika załamania w porównaniu do powszechnie stosowanej metody transmisyjnej. Wyniki powyższych prac badawczych



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Geofizyki

stanowią istotny wkład w rozwój czujników biochemicznych, które poprzez dokładne pomiary niewielkich zmian współczynnika załamania pozwalają na dokładne pomiary bardzo małych ilości substancji chemicznych i biologicznych. Badania zostały opublikowane w jednym z najlepszych czasopism naukowych w dziedzinie czujników chemicznych na świecie: *Sensors and Actuators B* (IF= IF= 6.393).

Uważam, że dotychczasowy dorobek mgr inż. Katarzyny Gąsior spełnia wymogi stawiane przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, jak również zgodnie z Ustawą z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, w części dotyczącej stopnia doktora i może być podstawą do ubiegania się o stopień doktora w dyscyplinie nauki fizyczne. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie rozprawy do obrony publicznej.

Warszawa, 30.01.2020


Prof. dr hab. inż. Ryszard Buczyński