

Prof. dr hab. inż. Adam Kawalec
Instytut Techniki Rakietowej i Mechatroniki
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dnia 12.05.2022 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: „Akustyczne fale powierzchniowe w badaniach własności
sensorowych cienkich warstw wybranych związków polimerowych
z wykorzystaniem dodatkowych metod aktywacji”**

Autor: mgr inż. Jarosław WROTNIAK

Promotor: dr hab. inż. Wiesław Jakubik prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Mirosław Magnuski

- 1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?**

Rozprawa doktorska dotyczy wykorzystania akustycznych fal powierzchniowych (AFP) (ang. Surface Acoustic Wave, SAW) w badaniach własności sensorowych cienkich warstw dla wybranych związków polimerowych. Genezą zainteresowania Doktoranta tą problematyką była możliwość zastosowania czujnika akustycznych fal powierzchniowych do wykrywania w mieszaninie powietrza śladowych ilości cząsteczek DMMP (Dimetylofosforan), który jest powszechnie wykorzystywany do symulacji obecności sarinu zaliczanego do bojowego gazu trującego. Wymagało to rozwiązania istotnych problemów w zakresie opracowania stosownego oscylatora z AFP jako podstawowego podzespołu czujnika wykorzystywanego do przeprowadzenia badań własności sensorowych cienkich warstw wybranych związków polimerowych. Zasadniczym problemem badawczym dla potrzeb realizacji rozprawy była możliwość wykorzystania dodatkowych metod aktywacji badanych

polimerów za pomocą różnych źródeł światła dla różnych długości fali i gęstości strumienia świetlnego.

Bazując na aktualnych doniesieniach literaturowych w zakresie tematycznym pracy oraz własnych doświadczeniach badawczych Doktorant podjął zatem badania związane z możliwością poprawienia wrażliwości badanego polimeru na cząstki DMMP w temperaturze pokojowej.

Rozwiązanie problemów badawczych podjętych przez Autora rozprawy jest szczególnie ważne dla nowoczesnych systemów związanych z wykrywaniem i oznaczaniem szkodliwych związków chemicznych, mieszanin gazowych dla organizmów żywych oraz zagrożeń dla środowiska naturalnego. Doktorant podał krytyczne stężenia wybranych gazów, szkodliwych dla organizmów żywych koncentrując się w szczególności na chemicznych bojowych środkach trujących mogących być wykorzystanych na polu walki.

Dlatego zasadniczym celem rozprawy było opracowanie niezbędnego do badań cienkich warstw struktur sensorowych - generatora z AFP oraz badania cienkich warstw polimerowych aktywowanych optycznie lub optyczno-termicznie z zastosowaniem technologii akustycznych fal powierzchniowych.

Cele rozprawy są określone właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna. Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Doktorant sformułował następującą tezę rozprawy:

„Układy sensorowe akustycznych fal powierzchniowych z cienkimi warstwami polimerów fotorzprzewodzących (typu (RR)-P3HT lub Polisiloxanu SilPEG 1.4) wraz z odpowiednio dopasowanymi dodatkowymi aktywacjami optycznymi (polegającymi na zastosowaniu odpowiednio dopasowanej długości fali lub światła białego), charakteryzują się istotnymi wielokrotnymi zwiększeniami czułości w temperaturach pokojowych, względem śladowych koncentracji w powietrzu badanego związku chemicznego takiego jak DMMP” oraz przedstawił zadania cząstkowe wynikające z celu rozprawy i weryfikacji powyższej tezy.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, biografii, załącznika, wykazu dorobku naukowego oraz dwóch dodatków (A – „Zbiór opracowanych wyników badań własnych nie ujętych bezpośrednio w tekście pracy”, B – „Inne przykładowe rozwiązania komórek pomiarowych opracowanych przez Autora w czasie prowadzenia badań”). Po wprowadzeniu w tematykę rozprawy (rozdział 1.), Autor w rozdziale 2. skoncentrował się na obszernym przeglądzie literatury dotyczącym stosowanych metod aktywacji

różnych materiałów sensorowych dla najczęściej wykorzystywanej metody rezystancyjnej oraz metody akustycznej z AFP. Przedstawił również motywację podjęcia badań dotyczących przedmiotu rozprawy nad zastosowaniem dodatkowych metod aktywacji, w szczególności optycznych, dla wybranych związków polimerowych do oznaczania śladowych ilości DMMP w powietrzu z wykorzystaniem metody z AFP. W rozdziale 3. Doktorant przedstawił cel i tezę rozprawy, które dotyczą możliwości istotnego zwiększenia czułości cienkiej warstwy polimeru na koncentrację badanego związku chemicznego DMMP, stosując w czasie jej ekspozycji odpowiednio dopasowaną, dodatkową aktywację optyczną.

Rozdział 4. zawiera opis czujnika bazujący na linii opóźniającej z akustyczną falą powierzchniową ze szczególnym uwzględnieniem czujników gazu z AFP wraz ze zjawiskami fizycznymi występującymi podczas adsorpcji cząsteczek wykrywanych substancji gazowych przez cienkie warstwy sensoryczne. Doktorant przedstawił również charakterystyki badanych polimerów (RR)-P3HT oraz SilPEG 1.4.

W rozdziale 5. Doktorant zaprezentował opracowany generator z AFP o częstotliwości 205 MHz z przełączanymi liniami opóźniającymi na podłożu kryształu kwarcu oraz jego zalety względem innych rozwiązań.

Rozdział 6. poświęcony jest opisowi technologii nanoszenia cienkich warstw polimerowych, budowie komory pomiarowej, opracowanych układów pomiarowych oraz analizie wyników badań eksperymentalnych otrzymanych dla cienkich warstw polimerowych typu (RR)-P3HT oraz Polisiloxan SilPEG 1.4 względem śladowych ilości DMMP w powietrzu przy zastosowaniu aktywacji optycznych oraz optyczno-termicznych.

Zasadnicze wnioski Doktorant przedstawił w podsumowaniu rozprawy, zaakcentował możliwość uzyskiwania zwiększenia czułości sensora dla cienkich warstw związków polimerowych typu (RR)-P3HT oraz SilPEG 1.4 względem śladowych ilości symulanta bojowego środka trującego (DMMP) po zastosowaniu dodatkowych aktywacji optycznych z wykorzystaniem autorskiego, opatentowanego (PL 230526 B1 *"Układ do wykrywania związków chemicznych w atmosferach gazowych z czujnikiem wykorzystującym akustyczne fale powierzchniowe (AFP)"*) generatora z AFP na częstotliwości 205MHz.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant uwzględnił 191 pozycji literaturowych, których w czterech jest współautorem. Literatura przedmiotu, zawiera pozycje książkowe, konferencyjne oraz publikacje istotnych, czołowych pism światowych.

Bazując na dostępnych pracach Autor przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy i szczegółowy. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy. Autor przedstawił w rozprawie znane rozwiązania w dziedzinie czujników gazowych, w szczególności dla oznaczania bojowych środków trujących. Przedstawił możliwość modyfikacji tych czujników, szczególnie istotnych w zastosowaniach przemysłowych, które są wykorzystywane do celów militarnych, gdzie zawsze wymagania stawiane takim systemom są wysokie.

Analiza źródeł literaturowych z odpowiednim wnioskowaniem pozwoliła na sformułowanie celu pracy oraz zadań badawczych.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Przyjęte cele rozprawy wymagały przede wszystkim rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych. W szczególności dla ich realizacji Autor opracował nowy nieznany w literaturze specjalizowany generator SAW 205 MHz z przełączanymi liniami opóźniającymi struktury, co pozwoliło na poprawę otrzymanych wyników pomiarowych względem rozwiązań obecnie stosowanych. Doktorant opracował ponadto automatyczne stanowisko pomiarowe, dzięki któremu przeprowadził serię obszernych eksperymentów dodatkowych aktywacji cienkich warstw sensorowych polimerów fotoprzewodzących typu (RR)-P3HT oraz Polisiloxan SiIPEG 1.4, w badaniach nad wykrywaniem śladowych ilości DMMP w powietrzu wraz z dodatkowymi aktywacjami optycznymi, co pozwoliło na znaczną poprawę wrażliwości cienkich warstw sensorowych. Doktorant opracował również technologię

wytwarzania cienkich warstw polimerowych takich jak (RR)-P3HT oraz SiIPEG 1.4, za pomocą rozpylania w powietrzu na odpowiednio przygotowane moduły z AFP.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Praca stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki projektowania czujników gazowych. Do zasadniczych, oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć: opracowanie oryginalnego badawczego stanowiska pomiarowego z odpowiednio zaprojektowanymi komorami pomiarowymi do badań własności sensorowych wykorzystujących moduły z AFP 205 MHz, opracowanie i wykonanie w oparciu o rozwiązania patentowe Autora rozprawy dedykowany generator dla modułów z AFP 205 MHz, który eliminuje niepożądane efekty występujące w rozwiązaniach klasycznych, opracowanie technologii wytwarzania cienkich warstw polimerowych takich jak (RR)-P3HT oraz SiIPEG 1.4, za pomocą rozpylania w powietrzu, przeprowadzenie badania własności sensorowych wybranych warstw polimerowych względem śladowych ilości DMMP w powietrzu na modułach z AFP 205 MHz z wykorzystaniem dodatkowych aktywacji optyczno-termicznych i optycznych w czasie oddziaływania polimer-DMMP, uzyskanie wielokrotnego zwiększenia czułości badanych warstw polimerów fotoprzewodzących w temperaturze pokojowej w rezultacie stosowania dodatkowych aktywacji optycznych diodami i laserami LED, realizację badań polimeru (RR)-P3HT w układzie rezystancyjnym, które wykazały, że w wyniku oddziaływania z DMMP występuje zwiększenie rezystancji próbki, co prowadzi do zmniejszenia odpowiedzi akustoelektrycznej.

Opracowane przez Autora oryginalne rozwiązania powodują, że układy sensorowe z akustycznymi falami powierzchniowymi zawierającymi cienkie warstwy polimerów fotoprzewodzących charakteryzują się wielokrotnym zwiększeniem czułości w temperaturach pokojowych, względem śladowych koncentracji w powietrzu badanego związku chemicznego takiego jak DMMP. Uzyskane rozwiązania nie są dotąd znane w literaturze przedmiotu. Dodatkowo interpretacja zamieszczonych w rozprawie, obszernych wyników zaproponowanych przez Doktoranta badań eksperymentalnych zasługuje na podkreślenie.

Rozprawa zawiera również wykaz dorobku naukowego Doktoranta jako współautora 11. recenzowanych publikacji naukowych opublikowanych również w czasopismach posiadających Impact Factor, 2. Konferencji międzynarodowych oraz 2. Patentów i 2. zgłoszeń patentowych związanych z tematyką rozprawy doktorskiej, co należy podkreślić jako dorobek niezwykle imponujący.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Rozprawa bardzo obszerna (zawiera 219 stron), ale zredagowana jest w sposób bardzo staranny, napisana jasnym językiem i posiada logiczny układ. Szata graficzna przy prezentacji uzyskanych rezultatów jest przejrzysta i logiczna. Wyniki analiz przedstawione zostały w rozprawie w sposób jasny i zwięzły.

W rozprawie nie znalazłem zasadniczych błędów edycyjnych. Ale brakuje odniesień literaturowych do wzorów matematycznych, co utrudnia recenzentowi ocenę, które wzory są oryginalne (własne), co oczywiście nie obniża wartości rozprawy. Praca wykonana jest wręcz wzorowo i trudno doszukiwać się słabych stron rozprawy. Przedstawiona bowiem do recenzji rozprawa stanowi nowatorskie, szerokie i wnikliwe opracowanie potwierdzone precyzyjnie zaplanowanymi badaniami eksperymentalnymi.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Autor opracował oryginalne stanowisko badawcze, dedykowany generator dla modułów AFP 205 MHz, technologię wytwarzania cienkich warstw polimerowych takich jak (RR)-P3HT oraz SiPEG 1.4, pozwalające na wielokrotne zwiększenie czułości badanych warstw polimerów fotoprzewodzących w temperaturze pokojowej poprzez zastosowanie dodatkowych aktywacji optycznych diodami i laserami LED. Doktorant dodatkowo przeprowadził badania polimeru (RR)-P3HT w układzie rezystancyjnym, które wykazały, że w wyniku oddziaływania z DMMP występuje

zwiększenie rezystancji próbki. Są one szczególnie istotne dla projektowania czujników gazowych.

Opracowane przez Doktoranta oryginalne technologie stanowią unikalne narzędzie do projektowania czujników gazowych z akustyczną falą powierzchniową stosowanych do wykrywania niskich stężeń substancji trujących w mieszaninach gazowych. Wybrane wyniki i metody można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych z zakresu technologii sensorowych.

7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

- a) *nie spełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,*
- b) *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,*
- c) *spełniająca wymagania,*
- d) *spełniająca wymagania z nadmiarem,*
- e) **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.**

Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, wnosząc o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie biorąc pod uwagę bogaty dorobek naukowy Doktoranta. Należy zauważyć, że mgr inż. Jarosław WROTNIAK występuje jako pierwszy autor w wykazie dorobku naukowego artykuły opublikowane [3], [11] oraz konferencyjny [2].

