



**Politechnika
Śląska**

Wydział Elektryczny

Katedra Optoelektroniki

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Piotr Kałużyński

**Badania nanostruktur sensorowych wykorzystujących hybrydowe
receptory półprzewodnikowe na bazie kopolimerów blokowych
do detekcji sub-ppm NO₂ w temperaturze pokojowej**

**Study of sensor nanostructures using hybrid semiconductor receptors
based on block copolymers for the detection
of sub-ppm NO₂ at room temperature**

Promotor: dr hab. inż. Erwin Maciak, prof. PŚ

Gliwice 2024

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Tytuł: Badania nanostruktur sensorowych wykorzystujących hybrydowe receptory półprzewodnikowe na bazie kopolimerów blokowych do detekcji sub-ppm NO₂ w temperaturze pokojowej

Autor: mgr inż. Piotr Kałużyński

Promotor: dr hab. inż. Erwin Maciak, prof. PŚ

Jednym z najpoważniejszych problemów, z jakim styka się cywilizacja w obecnych czasach jest zanieczyszczenie środowiska. W atmosferze wyróżnia się wiele zanieczyszczeń, które stanowią bezpośrednie przyczyny chorób układu oddechowego, nerwowego czy sercowo-naczyniowego. Możemy do nich zaliczyć: pył zawieszony (PM_{2.5}, PM₁₀), tlenki azotu (NO_x), lotne związki organiczne (LZO), tlenki siarki (SO_x), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), tlenek i dwutlenek węgla (CO, CO₂) czy ozon (O₃). W związku z powyższym, bardzo istotną kwestią jest ciągłe i dokładne monitorowanie składu atmosfery w celu wczesnego wykrywania zagrożeń, w szczególności ciągła analiza stężeń gazów toksycznych, stanowiących zagrożenie zarówno dla zdrowia ludzkiego jak i otaczającego nas środowiska.

Istnieje szereg metod pozwalających na jakościową i ilościową analizę składu mieszanin gazowych. Do wykrywania zanieczyszczeń powietrza i gazów toksycznych od dziesięcioleci stosuje się półprzewodnikowe tlenki metali wykorzystywane jako cienkie i grube warstwy receptorowe w czujnikach elektrochemicznych. Kolejną grupą materiałów, które wykazują wysoki potencjał do detekcji gazów w temperaturze pokojowej są półprzewodniki organiczne, przede wszystkim polimery przewodzące. Wiodącym trendem staje się także tworzenie materiałów hybrydowych i heterostruktur pozwalających na połączenie funkcjonalności poszczególnych składników struktury, na przykład mieszaniny organicznego polimeru z nanostrukturalnym materiałem nieorganicznym. W obliczu tak licznych zagrożeń związanych z gazami oraz różnorodności metod stosowanych do ich detekcji, a także szerokiego wachlarza materiałów receptorowych, konieczne jest zawężenie się do wybranej grupy gazów oraz typów czujników gazów. Z tego względu w rozprawie skupiono się na detekcji bardzo niskich koncentracji (sub-ppm) NO₂ z wykorzystaniem mikroelektronicznych czujników gazów na bazie nanostrukturalnych materiałów, zarówno organicznych jak i nieorganicznych, oraz ich hybryd.

Podjęty w dysertacji problem badawczy dotyczy opracowania aktywnych, hybrydowych receptorów półprzewodnikowych na bazie kopolimerów blokowych. Hybrydowość opracowywanych i analizowanych struktur polega na kontrolowanym wytworzeniu materiałów w formie mieszanin: w fazie stałej nanostrukturalnego, półprzewodnikowego tlenku cynku (ZnO, o n-typie przewodnictwa), a także organicznego półprzewodnika na bazie poli-3-heksylofenu (P3HT o p-typie przewodnictwa) w postaci wielozłazkowej blendy materiałowej. Tak wytworzone struktury półprzewodnikowe zostały przebadane jako aktywne receptory w mikroelektronicznych sensorach elektrochemicznych – chemorezystorach. Opracowane elementy czujnikowe zbadano i przetestowano, poddając je oddziaływaniu ditlenku azotu (NO₂) o niskich koncentracjach (poniżej 1 ppm – sub-ppm) w różnych warunkach środowiskowych, w temperaturze pokojowej. W ramach rozprawy doktorskiej opisano szereg procesów, zarówno badawczych jak i technologicznych, prowadzących do wytwarzania sensorów chemorezystancyjnych wykorzystujących badane w pracy materiały. Przedstawiono wpływ promieniowania UV na uzyskiwane odpowiedzi w zmiennej atmosferze gazowej, zarówno w warunkach suchych, jak i wilgotnych, oraz efekty starzenia się badanych struktur. Zwieńczeniem prac badawczych było przeprowadzenie eksperymentów mających na celu opracowanie odpowiedniej konfiguracji sensorowej oraz sprawdzenie, czy i jak zmieniają się parametry sensorowe chemorezystora wykorzystującego hybrydowe heterostruktury graftedego kopolimeru blokowego oraz nanostrukturalnego tlenku cynku jako receptora gazoczułego, względem receptora w postaci wyłącznie jednego ze składników tej hybrydy, przy czym jedną z kluczowych cech była zdolność detekcji sub-ppm NO₂ w temperaturze pokojowej.