

W ostatnim czasie, tlenek cynku (ZnO) przyciąga uwagę na całym świecie dzięki swoim interesującym właściwościom optoelektronicznym. Dzięki nim, pretenduje on do zastąpienia azotku galu (GaN), który jest powszechnie stosowany w niebieskich i białych diodach elektroluminescencyjnych (LED). Niestety, nie wszystkie właściwości tlenku cynku są dobrze znane. Każdy półprzewodnik może posiadać dwa rodzaje przewodnictwa - jedno, w którym głównymi uczestnikami transportu prądu są elektrony (typ n) i inne, w którym to dziury (będące po prostu brakiem elektronu) głównie uczestniczą w przewodzeniu prądu (typ p). Oba typy mogą występować naturalnie albo być uzyskane sztucznie, poprzez wprowadzenie do materiału tak zwanych "domieszek", które są po prostu atomami innego pierwiastka. Włączenie domieszek do materiału zmienia jego właściwości strukturalne, optyczne i elektryczne, dlatego szeroka i szczegółowa wiedza o obu typach przewodnictwa w materiale jest kluczowa w procesie rozwoju opartych na nim efektywnych i stabilnych urządzeń optoelektronicznych, takich jak LED, lasery czy detektory. W przypadku tlenku cynku, osiągnięcie przewodnictwa typu p okazuje się być problematyczne, głównie dlatego, że ZnO jest naturalnym półprzewodnikiem typu n, co w pewien sposób kompensuje sztucznie wprowadzany przeciwny rodzaj przewodności. Jednakże, dzięki postępowi technologicznemu, p-ZnO staje się osiągalne, ale dzisiejsza wiedza o tym materiale jest bardzo ograniczona. Celem tego projektu jest uzupełnienie brakującej wiedzy na temat strukturalnych właściwości p-ZnO.

Spektroskopia Ramana mogłaby rzucić więcej światła na własności obu typów tlenku cynku. Jest to bardzo czuła i precyzyjna technika pomiarowa, pozwalająca na badanie strukturalnych właściwości materiałów. Używa ona rozpraszania nieelastycznego (Ramana) światła monochromatycznego na wibracjach atomów (zwanych fononami) w materiale. Znając strukturę krystaliczną badanego materiału, wyniki pomiarów mogą być przewidziane teoretycznie przez teorię grup. W związku z tym, każde odchylenie od teoretycznych obliczeń wskazuje różnice, pojawiające się w właściwościach strukturalnych materiału. Przykłady informacji, których może dostarczyć ta metoda, to skład materiału, jego jakość i zanieczyszczenie, koncentracja domieszek czy struktura krystaliczna.

Praca badawcza w ramach tego projektu będzie zawierać kilka metod pomiarów ramanowskich, dostarczających informacji na temat różnych właściwości badanej struktury. Przykładami są badania z użyciem laserów z różną długością fali (514 nm i 325 nm), z detekcją polaryzacji, zmieniającą się mocą wiązki laserowej czy w szerokim zakresie temperatur. Analiza dotyczyć będzie szerokiego asortymentu struktur, zawierających warstwy ZnO/ZnMgO domieszkowane na typ p pierwiastkami grupy V, przygotowanych w konkretny sposób, aby możliwym było zbadanie wpływu poszczególnych parametrów produkcji na ich właściwości strukturalne. Przygotowane próbki będą różnić się atomami domieszek (As, Sb, N, podwójne i potrójne domieszkowanie), temperaturą (300-900°C), czasem (3-10 min) i atmosferą (O<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>) wygrzewania, koncentracją atomów domieszek, podłożem (GaN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i zawartością Mg. Spektroskopii Ramana towarzyszyć będą inne metody i spektroskopie, np. dyfrakcja rentgenowska (XRD) czy spektroskopia fotoelektronów z zakresu promieniowania X (XPS, które pomogą w analizie i interpretacji wyników).

Szczegółowe badania obu typów domieszkowania w ZnO przybliżą nas do rozwoju homozłącza p-n, opartego na tlenku cynku. Homozłącze to połączenie dwóch typów (p i n) tego samego materiału półprzewodnikowego, będące podstawą większości urządzeń optoelektronicznych. W dzisiejszych czasach, stosowane są złącza ZnO typu n i jakiegoś innego półprzewodnika typu p, ale to rozwiązanie powoduje problemy, które nie pojawiają się przy użyciu homozłącza. Nawet, jeśli użyte materiały mają bardzo podobne właściwości, zazwyczaj nie są one dokładnie takie same, co często skutkuje obniżeniem efektywności urządzenia. Kolejnym problemem jest fakt, że struktury tych materiałów nigdy nie są takie same, co prowadzi do pojawienia się naprężeń pomiędzy materiałami. Użycie homozłącza jest o wiele wygodniejsze, dlatego rozwój obu typów tlenku cynku wyeliminuje powyższe problemy.

Duże zainteresowanie rozwojem stabilnych i efektywnych obu typów przewodnictwa w tlenku cynku pochodzi z ogromnej szansy tego materiału na bycie alternatywą dla azotku galu, który jest używany przy produkcji niebieskich i białych LED. Poza wszelkimi podobieństwami między tymi półprzewodnikami, tlenek cynku posiada wiele zalet, których brak azotkowi galu. Ma on mniejsze wymagania procesu produkcji, takie jak 2 razy mniejsza temperatura wzrostu (500°C vs. 1000°C) czy prostsza technologia. Może być on wytworzony z dużą powierzchnią i dobrą jakością, z użyciem wielu niedrogich technik, które nie wymagają wysokiej próżni czy ciśnienia oraz nie muszą być nadzwyczaj czyste, podczas gdy azotek galu potrzebuje czystych metod, wysokiej próżni, wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury. Wszystkie te powody podnoszą cenę urządzeń opartych na GaN, między innymi niebieskich diod, będących podstawą białych żarówek LED, powszechnie używanych w naszych domach. Użycie ZnO zamiast GaN w urządzeniach optoelektronicznych sprawi, że będą one bardziej ekonomiczne, jednocześnie unikając zmniejszenia ich wydajności. W przypadku niebieskich i białych diod, niższa cena sprawi, że będą one bardziej dostępne dla społeczeństwa, co w rezultacie może zmniejszyć globalną konsumpcję energii.