

Streszczenie

Pod koniec lat 90-tych tlenek cynku (ZnO) został „odkryty na nowo” i wprowadzony jako interesująca alternatywa dla azotku galu (GaN). Biorąc pod uwagę fakt, iż wykazano, że wprowadzenie Cd do sieci ZnO wurcytu zmniejsza wartość energii pasma wzbronionego materiału od zakresu UV do obszaru światła widzialnego, w tym kontekście związek trójskładnikowy ZnCdO wydaje się interesującym kandydatem do pełnienia roli InGaN. Jednakże wytwarzanie wysokiej jakości ZnCdO napotkało na wiele trudności technologicznych. Ciekawą i nową alternatywą dla wytwarzania związku trójskładnikowego jest zatem wytworzenie kwazi trójskładnikowego materiału: krótkookresowych supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$. Takie supersieci nie były wcześniej raportowane w literaturze naukowo-badawczej.

Niniejsza rozprawa doktorska koncentruje się na niedomieszkowanych i domieszkowanych jonami Eu supersieciach opartych na warstwach tlenków ZnO i CdO. Domieszkowanie tych struktur kwantowych jonami Eu realizowane było „*in situ*” podczas wzrostów warstw przy zastosowaniu epitaksji z wiązek molekularnych z tlenowym źródłem plazmowym (ang. plasma assisted molecular beam epitaxy – PA-MBE). Niedomieszkowane supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ oraz supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$, $\{\text{ZnCdO/ZnO}\}_n$ i $\{\text{ZnCdO/ZnMgO}\}_n$ domieszkowane Eu zostały po raz pierwszy otrzymane i opisane w ramach badań prowadzonych w niniejszej rozprawie. Wszechstronna charakteryzacja otrzymanych w tej rozprawie struktur została przeprowadzona za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej (X-ray diffraction), spektrometrii mas jonów wtórnych (SIMS), mikroskopii transmisyjnej (TEM) oraz skaningowej (SEM), a także pomiarów fotoluminescencji (PL) i katodoluminescencji (CL).

W pierwszej części rozprawy doktorskiej zbadano warunki wzrostu niedomieszkowanych supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ osadzonych na podłożach szafirowych (Al_2O_3) metodą PA-MBE, w celu uzyskania struktur wysokiej jakości. Wykazano, że najlepszą jakość struktury krystalicznej supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ uzyskano przy użyciu do wzrostu podłoża Al_2O_3 o orientacji *m*. Jakość warstw została potwierdzona pomiarami XRD i TEM. Udowodniono, że niezależnie od grubości podwarstw, ZnO krystalizuje w heksagonalnej strukturze wurcytu, podczas gdy warstwy CdO przyjmują strukturę kubiczną soli kuchennej. W pracy badano także wpływ temperatury wzrostu na jakość supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ osadzonych na podłożach *m*- Al_2O_3 . Wykazano, że temperatura wzrostu supersieci wpływa na ich właściwości strukturalne i optyczne. Zwiększenie temperatury podłoża podczas wzrostu pogarsza jakość badanych supersieci. W pracy podjęto także temat dyfuzji w supersieciach $\{\text{CdO/ZnO}\}_n$. W tym celu po wzroście struktury poddano wygrzewaniu. Stosując połączenie metod SIMS i profilowania głębokościowego z użyciem CL, stwierdzono, że jednorodność rozkładu Cd po wygrzewaniu supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ w wysokich temperaturach zależy od grubości podwarstw CdO.

Druga część rozprawy doktorskiej poświęcona jest badaniom dotyczącym domieszkowania jonami Eu w sposób *in situ* supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ i $\{\text{ZnCdO/Zn(Mg)O}\}_n$. Wykazano, że możliwe jest otrzymanie wysokiej jakości struktur periodycznych supersieci $\{\text{ZnCdO/Zn(Mg)O}\}_n$ domieszkowanych Eu z gładkimi interfejsami pomiędzy podwarstwami. Udowodniono, że jony Eu wbudowują się do warstw Zn(Cd,Mg)O bezpośrednio podczas

wzrostu (*in situ*) metodą epitaksji z wiązek molekularnych, nie powodując wytrąceń lub separacji faz i zajmując ściśle określone podwarstwy. Następnie w pracy zbadano wpływ wygrzewania supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ i $\{\text{ZnCdO/Zn(Mg)O}\}_n$ na aktywację termiczną jonów Eu. W pracy wykazano zwiększenie wydajności emisji czerwonej związanej obecnością jonów Eu. Stwierdzono, że wysokość barier Zn(Mg)O oraz grubość studni kwantowych (Zn,Cd)O mają bezpośredni wpływ na intensywność emisji. Obniżenie szerokości studni kwantowych CdO oraz ZnCdO powoduje zwiększenie skuteczności pobudzenia jonów Eu, co zostało potwierdzone pomiarami CL.

Dzięki opanowaniu wzrostu supersieci opartych na ZnO i CdO metodą PA-MBE, kontroli własności krystalograficznych podsieci oraz ich grubości, co z kolei pozwoliło na przestrajalność pasma wzbronionego, uzyskano materiał kwazi trójskładnikowy stanowiący alternatywę dla stopów ZnCdO typu random. Wprowadzenie jonów Eu do tych struktur kwantowych pozwoliło ponadto na uzyskanie emisji czerwonej oraz zbadanie wpływu składu barier oraz studni na intensywność tej emisji w strukturach $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ i $\{\text{ZnCdO/ZnMgO}\}_n$. Zrozumienie pewnych aspektów dyfuzji w badanych strukturach związanych z temperaturą wzrostu bądź z temperaturą wygrzewania pozwoliło znacząco poszerzyć wiedzę w tym zakresie. Badania niedomieszkowanych oraz domieszkowanych jonami Eu supersieci $\{\text{ZnO/CdO}\}_n$ i $\{\text{ZnCdO/Zn(Mg)O}\}_n$ przedstawione w niniejszej pracy potwierdzają, że te nowoczesne struktury mają potencjał do zastosowania w projektowaniu współczesnych urządzeń optoelektronicznych.