

Streszczenie

Warstwowy azotek boru należy do kluczowych materiałów współczesnych badań struktur dwuwymiarowych (2D). Jego atomowo gładka powierzchnia pozbawiona wiszących wiązań, bardzo szeroka przerwa energetyczna oraz doskonałe właściwości dielektryczne sprawiają, że od lat stanowi podstawowy element heterostruktur van der Waalsa jako warstwa izolująca oraz podłoże dla wzrostu innych materiałów 2D. Jednocześnie ostatnie badania nad azotkiem boru wskazują, że materiał ten może być traktowany nie tylko jako bierny komponent, lecz jako aktywna platforma do inżynierii właściwości strukturalnych i funkcjonalnych.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było zbadanie możliwości modyfikacji właściwości azotku boru otrzymywanego metodą epitaksji z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych (MOVPE), ze szczególnym uwzględnieniem wpływu parametrów wzrostu na strukturę krystaliczną, środowisko defektowe, właściwości spinowe oraz przerwę energetyczną materiału. W pierwszej części pracy wykazano epitaksjalny charakter wzrostu BN na podłożach szafirowych, wskazując na kluczową rolę warstwy pośredniej $g\text{-C}_3\text{N}_4$ w przejściu od trójwymiarowej struktury podłoża do dwuwymiarowego materiału warstwowego przy zachowaniu relacji krystalograficznych. Następnie przeprowadzono szczegółową analizę wzrostu w reżimie flow modulation epitaxy, pokazując, że mechanizm ten łączy cechy ograniczeń kinetycznych reakcji oraz transportu masy. Na tej podstawie zaproponowano zestaw parametrów technologicznych prowadzących do otrzymywania warstw BN o możliwie najwyższej jakości strukturalnej i optycznej.

Kolejna część rozprawy poświęcona została badaniom politypizmu (polimorfizmu) występującego w azotku boru hodowanego metodą MOVPE. Wykazano, że luminescencja dimera $\text{C}_\text{B}\text{C}_\text{N}$ może stanowić efektywne narzędzie identyfikacji lokalnego środowiska krystalicznego, umożliwiając ilościową analizę udziału faz heksagonalnej i romboedrycznej w warstwach epitaksjalnych. Pokazano również, że odpowiedni dobór parametrów wzrostu pozwala sterować proporcją między zawartością hBN i rBN, a także przestrzennie definiować trójkątne domeny rBN w matrycy hBN. Dla takich domen zademonstrowano odpowiedź

piezoelektryczną oraz możliwość uzyskania przeciwnie skierowanej polaryzacji elektrycznej w zależności od sekwencji ułożenia warstw ABC i CBA.

W dalszej części pracy zbadano możliwości sterowania właściwościami spinowymi epitaksjalnego azotku boru poprzez inżynierię defektów węglowych. Wykazano, że zmiana parametrów wzrostu w procesie MOVPE umożliwia generację zarówno grup defektów o spinie $S = \frac{1}{2}$, jak i pojedynczych centrów o spinie $S = 1$, co otwiera perspektywę zastosowań BN w technologiach kwantowych.

Kolejna część badań dotyczyła inżynierii przerwy energetycznej poprzez tworzenie stopów BN z glinem (BAlN). Zaproponowano efektywne protokoły wzrostu warstw BAlN metodą MOVPE oraz pokazano, że nawet niewielka koncentracja wbudowanego Al prowadzi do istotnej modyfikacji widma absorpcji, obejmującej zarówno zawężenie przerwy energetycznej, jak i zmianę charakteru przejść optycznych ze skośnego na prosty.

Uzyskane wyniki pokazują, że azotek boru może być traktowany jako materiał o właściwościach, które można projektować na poziomie struktury krystalicznej, koncentracji i rodzajów defektów, jak również składu stopowego. Rozprawa wyznacza tym samym spójną strategię inżynierii BN ważnych dla zastosowań w fotonice, elektronice 2D oraz szerzej w różnych technologiach kwantowych.