

Tomasz Wójtowicz
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska

Rozprawa doktorska: Stabilność strukturalna azotku galu domieszkowanego metalami ziem rzadkich za pomocą implantacji jonowej

Streszczenie

Komercyjne wykorzystanie azotku galu (GaN) na szeroką skalę stało się faktem. Najlepszym tego przykładem są powszechnie stosowane odtwarzacze DVD, w których stosuje się technologię Sony Blue-ray wykorzystującą niebieskie diody laserowe.

Zastosowanie azotku galu w optoelektronice zapewne nie ograniczy się tylko do wykorzystania jego niebieskiej luminescencji. Badania przeprowadzone w ciągu kilku ostatnich lat dowiodły, że domieszkowanie GaN metalami ziem rzadkich rozszerza zakres barw możliwej luminescencji. W zależności od rodzaju domieszkowanego jonu jesteśmy w stanie otrzymać oprócz światła niebieskiego, również luminescencję w zakresie zielonym, czerwonym, bądź też w interesującym dla telekomunikacji zakresie podczerwieni ($1.54 \mu\text{m}$).

Jedną z metod domieszkowania szeroko stosowaną w przemyśle półprzewodnikowym jest implantacja jonowa. O ile dla klasycznych półprzewodników na bazie Si, Ge, GaAs jej wpływ na strukturę i właściwości jest dobrze poznany to w przypadku GaN wiedza w tym zakresie jest w dalszym ciągu niepełna.

Celem pracy była charakterystyka strukturalna metodą transmisyjnej mikroskopii elektronowej azotku galu domieszkowanego jonami metali ziem rzadkich (Er, Tm, Eu) za pomocą implantacji jonowej. W trakcie realizacji celu zbadano wpływ parametrów implantacji takich jak wielkość dawki jonów, ich energia, temperatura podłoża na stabilność struktury GaN. Badania wykazały, że podczas implantacji jonami metali ziem rzadkich struktura krystaliczna GaN ulega znacznemu zdefektowaniu. Zaobserwowano wytworzenie znacznej gęstości defektów punktowych, błędów ułożenia typu I_1 , I_2 oraz E. Po przekroczeniu dawki określanej mianem krytycznej ujawniono powstawanie nanokrystalicznej warstwy powierzchniowej z wyraźną granicą międzyfazową.

Po procesie wygrzewania wysokotemperaturowego, który jest konieczny do usunięcia defektów po implantacji jonowej, zauważono częściową dekompozycję wierzchniej warstwy nanokrystalicznej i utratę zawartych w niej domieszkowanych jonów metali ziem rzadkich.

Aby zapobiec niekorzystnym zjawiskom powstawania silnie zdefektowanej warstwy wierzchniej oraz jej dekompozycji w trakcie wygrzewania zaproponowano nałożenie na powierzchnię GaN kilkunanometrowej warstwy AlN.

Szczegółowe wyniki analizy mikrostruktury wykazały, że powierzchniowa warstwa AlN o grubości 10nm skutecznie zabezpiecza strukturę GaN przed degradacją powierzchni podczas implantacji. Nawet przy dużych dawkach ($\sim 5 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$) i energii (300keV) implantacji metali ziem rzadkich nie zaobserwowano powstania warstwy nanokrystalicznej na powierzchni ani błędów ułożenia w warstwie AlN. Wzrosła natomiast wielkość oraz gęstość błędów ułożenia w GaN. Powstały efekt można tłumaczyć różnicą w energii tworzenia błędów ułożenia w GaN i AlN, która jest 4-5 razy wyższa dla AlN.

Obserwacje struktury za pomocą transmisyjnej mikroskopii elektronowej próbek zabezpieczonych warstwą AlN poddanych wygrzewaniu wysokotemperaturowemu ujawniły brak degradacji powierzchni oraz zmniejszoną ilość błędów ułożenia w funkcji temperatury wygrzewania co potwierdziło słuszność postawionej tezy.

Dodatkowo przeprowadzone badania luminescencji potwierdziły konieczność stosowania wygrzewania wysokotemperaturowego po implantacji w celu aktywacji optycznej domieszkowanych jonów metali ziem rzadkich. Wyniki jednoznacznie pokazały, że intensywność luminescencji rośnie wraz z temperaturą wygrzewania co może mieć związek z zaobserwowanym za pomocą TEM spadkiem ilości błędów ułożenia.

Promotor
Dr hab. inż. Elżbieta Jezierska, prof. PW

Doktorant
Mgr inż. Tomasz Wójtowicz