

Azotek galu (GaN) jest uważany za jednego z najbardziej obiecujących kandydatów do budowy urządzeń elektronicznych wysokiej mocy. Półprzewodnikowe przyrządy mocy mają kluczowe znaczenie dla przyszłej infrastruktury energetycznej na całym świecie. Urządzenia zasilające oparte o GaN są obecnie alternatywą, która może sprostać przyszłym wymaganiom. Ich pełny triumf zależy od pomyślnego rozwiązania problemów materiałowych, które są częściowo analizowane i rozwiązywane w tym projekcie.

Krzem (Si) jest główną domieszką stosowaną do otrzymania wysoko przewodzącego GaN w technologiach epitaksjalnych. Krzem jest również implantowany do GaN w celu uzyskania obszarów o wyższej koncentracji swobodnych nośników w urządzeniach elektronicznych. Jednak współczynnik dyfuzji Si w GaN, jak również jego energia aktywacji i granica rozpuszczalności nie zostały jeszcze wyznaczone. W temperaturze epitaksji, rzędu 1000-1100°C, silne efekty dyfuzyjne nigdy nie występują w GaN. Dyfuzja rozpoczyna się, z reguły, w temperaturze 2/3 temperatury topnienia danego związku. Wykazano, że temperatura topnienia GaN przekracza 2300°C. Stąd procesy dyfuzji w GaN rozpoczynają się w temperaturze 1300-1400°C. W tak wysokiej temperaturze GaN rozkłada się pod ciśnieniem atmosferycznym. Jeśli rozważany jest proces dyfuzji danej domieszki w GaN, potrzebna jest wysoka temperatura, a zatem również wysokie ciśnienie azotu, które zapobiega rozkładowi powierzchni GaN. Tylko dzięki technologii wyżarzania ultra wysokociśnieniowego (z ang. ultra-high-pressure annealing; UHPA) możliwe jest badanie dyfuzji różnych pierwiastków w GaN.

Głównym celem tej pracy jest analiza procesu dyfuzji Si w GaN o najwyższej jakości strukturalnej i czystości. Wykorzystane zostaną kryształy GaN wyhodowane metodą z fazy gazowej na podłożach amonotermalnych GaN. Zbadane zostanie zjawisko dyfuzji w czterech podstawowych kierunkach krystalograficznych dla GaN. Do wymuszenia dyfuzji Si w azotku zostanie wykorzystana technologia UHPA. Zapewnia ona stabilność GaN w wysokich temperaturach do 1650°C poprzez zastosowanie hydrostatycznego ciśnienia azotu do 2 GPa.

Proces dyfuzji Si w GaN będzie badany poprzez wyżarzanie GaN pokrytego warstwą Si_xN_y oraz implantowanego jonami Si (traktowanych jako nieskończone źródła domieszki) w wysokich temperaturach przy użyciu technologii UHPA. Poprzez badanie profili głębokościowych Si w GaN (uzyskanych metodą spektrometrii mas jonów wtórnych; z ang. secondary ion mass spectrometry; SIMS) zostaną wyznaczone współczynniki dyfuzji, energie aktywacji oraz granice rozpuszczalności. Dopasowanie profili SIMS zostanie wykonane metodą różnic skończonych (z ang. Finite Difference Method). Sam profil głębokości nie jest wystarczający do identyfikacji mechanizmów dyfuzji. Szczegółowa analiza musi obejmować bezpośrednie porównanie profili eksperymentalnych z rozwiązaniami numerycznymi pełnego układu równań różniczkowych cząstkowych.

Zastosowanie dwóch źródeł Si dla GaN pozwoli lepiej zrozumieć rolę defektów punktowych, w szczególności luk galowych i azotowych, w procesie dyfuzji. Powszechnie wiadomo, że implantacja jonowa generuje w strukturze kryształu defekty Frenkla i Schottky'ego. Nie są one z kolei generowane podczas dyfuzji jakiegokolwiek elementu z napyłonej warstwy. Podczas proponowanego projektu takie eksperymenty zostaną przeprowadzone po raz pierwszy dla GaN i Si. Należy również zwrócić uwagę na stosowanie GaN o wysokiej jakości strukturalnej i czystości. Zarówno dyslokacje przechodzące (z ang. threading dislocations; TDs) jak i zanieczyszczenia nie będą silnie zakłócać procesu dyfuzji. Wpływ TDs i zanieczyszczeń nie będzie więc brany pod uwagę, co powinno ułatwić analizę samego procesu dyfuzji.

Po raz pierwszy zostaną wyznaczone energie aktywacji, współczynniki dyfuzji oraz granice rozpuszczalności Si w GaN o najwyższej jakości strukturalnej i czystości. Uwzględniony zostanie również wpływ defektów punktowych na proces dyfuzji. Proponowane badania będą miały charakter czysto naukowy i absolutnie nowatorski. Pozwolą również na lepsze projektowanie struktur elektronicznych opartych o półprzewodniki azotkowe domieszkowane Si.