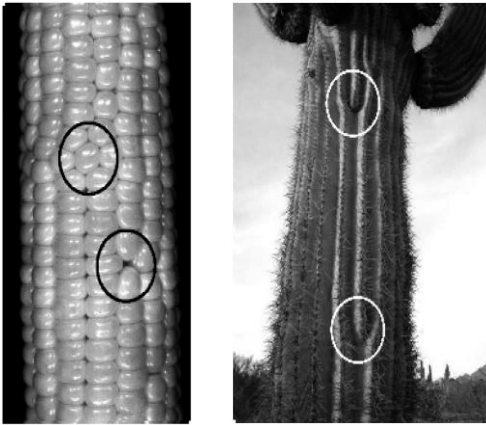


Cel projektu: Celem projektu jest zbadanie mechanizmów powstawania defektów we wzrastających epitaksjalnie warstwach azotku galu (GaN). Trzy typy warstw GaN będą badane w projekcie: (1) warstwy „as-grown”, (2) domieszkowane węglem oraz (3) naświetlane elektronami. Jednocześnie określony zostanie wpływ defektów na właściwości fizyczne badanych struktur, takich jak własności strukturalne, elektryczne i optyczne. Nasze prace będą skupiały się głównie na defektach związanych z węglem, tzw. wakansami galowymi oraz azotowymi oraz ich kompleksów. Rodzina półprzewodników azotkowych stanowi obecnie drugi po krzemie typ półprzewodników jeśli chodzi o inwestycję na badania i ich zastosowania. Wciąż natomiast brakuje pełnego zrozumienia mechanizmów tworzenia się defektów w materiałach azotkowych.

Powody podjęcia tematyki: Na rysunku 1 przedstawiono fragment dojrzałej kolby kukurydzy (po lewej stronie) oraz fragment drzewa kaktusowego (po prawej). W przypadku kolby kukurydzy zauważamy dwa rodzaje błędów ułożenia: 1) nadmiarowe ziarno kukurydzy powodujące „ściskanie” innych ziaren w jego najbliższym sąsiedztwie oraz 2) brak ziarna kukurydzy i tworzącą się w ten sposób tzw. lukę (wakans). W drugim przypadku obserwuje się zmiany w kształcie biegnących podłużnie żeber kaktusa. Błędy ułożenia widziane w kolbie kukurydzy są typowymi defektami punktowymi podczas gdy te obserwowane w kaktusie są przykładami tzw. defektów liniowych. Każdy kryształ występujący w przyrodzie można w pewien sposób



Rys.1. Przykłady naturalnych niedoskonałości obrazujących idee defektów w kryształach. Źródło: Semiconductor Material and Device Characterization, D.K.Schroeder, 2006

porównać do przedstawionej powyżej kolby kukurydzy, gdzie zamiast równomiernie rozłożonych ziaren znajdują się atomy. Azotek galu jest materiałem dwuskładnikowym a do jego budowy wykorzystywany jest azot i gal, wymieszane w pewien ściśle określony sposób tworząc tzw. strukturę wurcytu. Pozostałe półprzewodniki na bazie azotków zbudowane są w podobny sposób gdzie gal zastępowany jest w pełni lub tylko częściowo innym pierwiastkiem np. indem lub glinem.

Defekty w półprzewodnikach są obiektami niepożądanymi gdyż niekorzystnie wpływają na ich właściwości elektryczne i optyczne. Najczęściej spotykanymi formami defektów w kryształach są defekty punktowe tj. np. brak atomu w węźle sieci, dodatkowy atom międzywęzłowy czy obecność w strukturze obcych atomów (np. węgiel). Poza defektami punktowymi bardzo często spotyka się także defekty rozciągłe najczęściej w postaci tzw. dyslokacji, która jest wynikiem relaksacji naprężeń występujących w kryształach. Istnieje wiele

powodów dlaczego powstają defekty w azotkach. Jednym z nich jest wzrost kryształów i struktur w warunkach dalekich od stanu równowagi termodynamicznej tzn. procesy krystalizacji azotków odbywają się w zbyt niskich temperaturach. Drugim powodem jest utrudniony dostęp do wysokiej jakości podłoży dopasowanych sieciowo (rodziny podłoży GaN), co wymusza wzrost struktur na podłożach o istotnie innych stałych sieci: głównie na szafirze i krzemie. Fakt ten powoduje bardzo duże naprężenia wzrastających warstw a w konsekwencji dużą liczbę defektów i dyslokacji. Instytut Wysokich Ciśnień PAN dysponuje technologią wytwarzania wysokiej jakości podłoży GaN za pomocą techniki wodorkowej (HVPE) oraz techniki ammonothermalnej, które są jednymi z najlepszych podłoży dostępnych obecnie na świecie m.in. ze względu na ultra wysoką czystość (małą ilość defektów) oraz rekordowo niską gęstość dyslokacji.

Z powodów wspomnianych powyżej bardzo istotne jest aby hodowane struktury miały zredukowaną do minimum liczbę defektów punktowych i dyslokacji. Aby kontrolować powstawanie defektów w azotkach należy zrozumieć jakie mechanizmy decydują o ich tworzeniu co jest głównym tematem tego projektu.

Opis badań podstawowych realizowanych w projekcie: Realizacja postawionego w projekcie celu będzie przebiegała poprzez wytworzenie specjalnie zaprojektowanych struktur epitaksjalnych (w różnych warunkach wzrostu) i przeprowadzeniu szeregu badań podstawowych. Najważniejszymi będą badania zjawisk emisji i wychwytu nośników ładunku (elektronów i dziur) z defektów, a dokładniej ze stanów pułpkowych, które te defekty wprowadzają. Na podstawie takich badań można uzyskać szereg informacji parametryzujących defekty tj. np. ich liczbę na jednostkę objętości, łatwość pułpkowania czy energetyczne położenie poziomu defektowego. Analizowane w badaniach próbki będą tworzyły serie różniące się między sobą podłożami użytymi do wzrostu, hodowanymi warstwami a także warunkami w jakich struktury były wzrastane. Kluczowe warunki wzrostu to m.in. temperatura, ciśnienie a także ilość substancji chemicznych z których następuje właściwy wzrost. Bardzo ważnym zadaniem badawczym będzie określenie wpływu domieszkowania węglem, termicznego wygrzewania i naświetlania elektronami, na rodzaj tworzących się defektów. Wszystkie wymienione wyżej czynniki będą powodować tworzenie się różnych defektów, których parametry będzie można skorelować z warunkami panującymi w komorze wzrostu i późniejszej ich obróbki. Uzyskane w badaniach informacje znacząco poszerzą dotychczasowy stan wiedzy o defektach i mechanizmach ich powstawania w strukturach azotkowych.