

Charakteryzacja struktur kropek kwantowych na potrzeby zastosowań w przyrządach półprzewodnikowych

Mariusz Kaczmarczyk

Głównym celem pracy było scharakteryzowanie stanów energetycznych samozorganizowanych kropek kwantowych (QDs) i defektów w strukturach wykonanych epitaxją z wiązek molekularnych w trybie wzrostu Strańskiego-Krastanowa. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że obecność defektów w badanych strukturach jest nieodłączną cechą metody przerywanego wzrostu, która jest stosowana w celu uzyskania QDs o najwyższej jakości. Dlatego drugim celem pracy było pokazanie jak wyznaczane parametry, również w odniesieniu do defektów są ważne z punktu widzenia zastosowań QDs w przyrządach nanoelektronicznych. Do badań procesów emisji nośników z QDs i defektów i charakteryzacji ich stanów energetycznych wykonano struktury diod Schottky'ego z GaAs zawierające QDs z InAs oraz struktury, w których te QDs pokryto dodatkową warstwą redukującą naprężenia z InGaAs o dużej zawartości Ga. Odniesienie stanowiły diody zawierające tylko warstwę zwilżającą z InAs/GaAs lub diody z GaAs bez In, w których symulowano warunki wzrostu QDs. Do badań struktur niskowymiarowych wykorzystano metody oparte na spektroskopii warstwy ładunku przestrzennego, takie jak pomiary charakterystyk pojemnościowo-napięciowych (C-V) i niestacjonarna spektroskopia głębokich poziomów (DLTS). Techniki te rozwinęto i wykorzystano w wersji wieloparametrycznej, gdzie napięcie polaryzacji wstecznej i temperatura są parametrami dla pomiarów C-V oraz dodatkowo częstotliwość repetycji impulsów elektrycznych w przypadku techniki DLTS. Uzyskane wyniki zinterpretowano w oparciu o istniejące modele oraz nowy model teoretyczny zaproponowany w odniesieniu do wyników C-V. W szczególności wysoki poziom zrozumienia właściwości emisyjnych QDs osiągnięto wykorzystując statystyczny model Engströma, który uwzględnia dwupoziomą strukturę energetyczną zezwalającą nośnikom na opuszczanie QDs w wyniku różnych dróg emisji. Poprzez porównanie wyników eksperymentalnych i teoretycznych wyznaczono nie tylko energie stanów własnych QDs i ich przekroje czynne na wychwyty nośników, ale również ustalono warunki pomiaru umożliwiające wyznaczanie parametrów QDs klasyczną procedurą Arrheniusa. W konsekwencji wyznaczono czas przebywania nośników w stanach QDs, który jest trudny do uzyskania innymi technikami i który jest bardzo istotnym parametrem z punktu widzenia zastosowań QDs w "nieulotnych" pamięciach półprzewodnikowych. Przy pomocy zastosowanych technik pomiarowych i zaawansowanego modelowania scharakteryzowano defekty powstałe w trakcie wzrostu QDs jak również ujawniono efekty ich oddziaływania z QDs. Wyniki pomiarów C-V w funkcji temperatury oraz analiza wgłębnych profili koncentracji nośników stanowią podstawę nowej techniki charakteryzacji defektów o niejednorodnych rozkładach przestrzennych.