

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt. „Optyczne właściwości pojedynczych nanostruktur epitaksjalnych z InAs pod kątem zastosowań w nanofotonice”

W rozprawie doktorskiej zamieszczono wyniki badań eksperymentalnych jak i teoretycznych dotyczące głównie optycznych właściwości epitaksjalnych nanostruktur półprzewodnikowych z InAs o wydłużonej geometrii kształtu – tzw. kreski kwantowe – osadzonych na podłożu z InP. Struktury te emitują w zakresie średniej podczerwieni, włączając istotne z punktu widzenia telekomunikacji światłowodowej kanały transmisji przy długości fali 1300 nm i 1550 nm. Doświadczenie wysokorozdzielczej mikrofotoluminescencji przeprowadzono dla szeregu próbek celem identyfikacji podstawowych kompleksów ekscytonowych (KE) z pojedynczym kreski kwantowej, takich jak ekscyton, bieksyton czy ekscyton naładowany. Analiza danych pozwoliła na określenie energii wiązania KE, energii rozszczepienia struktury subtelnej ekscytonu oraz stopnia anizotropii polaryzacji liniowej. Dodatkowo, dzięki eksperymentom prowadzonym z wykorzystaniem zewnętrznego pola magnetycznego ustalono wartości dla g-czynnika ekscytonu oraz osobno dla elektronu i dziury oraz współczynników diamagnetycznych różnych KE. W szczególnej konfiguracji doświadczenia zaobserwowano stan zdegenerowany ekscytonu w niezerowym polu magnetycznym co oznacza możliwość wykorzystania kreski kwantowej jako emitera splątanych par fotonowych. Wykorzystując eksperymentalnie wyznaczone współczynniki diamagnetyczne został oszacowany rozmiar funkcji falowej nośników w kreskach kwantowych. Wynik ten został skonfrontowany z rezultatem uzyskanym w obliczeniach teoretycznych bazujących na metodzie 8kp.

Doświadczenia dla wielu kresek kwantowych emitujących w szerokim zakresie spektralnym umożliwiły wyznaczenie zależności dla najważniejszych parametrów w funkcji energii emisji, czyli przede wszystkim w funkcji rozmiaru nanostruktury. Przedstawione rezultaty zostały porównane z wynikami obliczeń teoretycznych wykonanych metodą ciasnego wiązania. Na podstawie analizy ilościowej ustalono, że znaczący wpływ na energię wiązania KE mają efekty korelacji elektronowych. Z tego powodu energia wiązania bieksytonu jest ujemna, co wynika właśnie z uwzględnienia korelacji. Energia wiązania naładowanego ekscytonu świadczy o ujemnie naładowanym KE. Dodatnio naładowany KE nie został zidentyfikowany eksperymentalnie, co sugeruje silną nierównowagę ładunku w strukturze. Dalej wykazano, że rozszczepienie struktury subtelnej ekscytonu wynika z wydłużonej geometrii nanostruktury oraz z rozkładu atomowego wewnątrz struktury, który uwidacznia się przez duży rozrzut wyników w skali energii, co odnajduje również potwierdzenie w obliczeniach atomistycznych.

Doświadczenia emisyjne w bazie polaryzacji liniowej dowodzą istotny wpływ geometrii wytrawionego obszaru półprzewodnika, w którym znajduje się kreska kwantowa, na stopień anizotropii polaryzacyjnej emisji z KE. Analizie poddano próbki o różnej geometrii oraz przeprowadzono serię symulacji numerycznych dla rozkładu pola elektrycznego w tym obszarze, którego wpływ poprzez efekt Purcella jest widoczny w doświadczeniu. Możliwość kontroli zależności stopnia polaryzacji liniowej poprzez zmianę kształtu obszaru z kreskami kwantowymi została sprawdzona doświadczalnie w szerokim zakresie spektralnym oraz teoretycznie w wyniku symulacji dla długości fali 1550 nm.

Badanie rozszczepienia struktury subtelnej ekscytonu w zależności od natężenia pola magnetycznego dla kilkunastu losowo wybranych przypadków wykazały, że redukcja rozszczepienia i tym samym uzyskanie potencjalnego emitera splątanych par fotonowych jest możliwa w szerokim zakresie spektralnym. Brak wyjątków wskazuje na uniwersalność kresek kwantowych pod względem zmiany energii rozszczepienia ekscytonu, co może być związane z efektem mieszania się podpasem walencyjnych, przez co aktywacja jednego ze stanów ciemnych ekscytonu jest bardziej wydajna.