

Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr Tomasza Jakubczyka p.t. „Effects of photonic confinement on the emission from CdTe quantum dots”

Praca poświęcona jest poprawie sterowania spontaniczną emisją fotonów z kropek kwantowych wytworzonych z materiałów typu II-VI: z tellurku kadmu (CdTe) osadzonych w tellurku cynku (ZnTe). W tym celu zastosowano mikrownęki optyczne wykorzystujące opracowane niedawno rozproszone zwierciadła Braggowskie o stałej sieci ZnTe. Badania mikrownęk optycznych dla materiałów typu II-VI uzasadniony są istnieniem dojrzałej technologii półprzewodników półmagnetycznych tego typu, świetnymi własnościami optycznymi heterostruktur zawierających (Cd,Mn)Te (takich jak np. kropki kwantowe), oraz dobrą znajomością oddziaływań i stałych materiałowych. Te własności w połączeniu z własnościami mikrownęk optycznych pozwalają uzyskać systemy o unikatowych własnościach magneto-optycznych.

Bazując na planarnych mikrownękach wytworzono mikrownęki filarowe charakteryzujące się związaniem fotonicznym we wszystkich kierunkach przestrzeni. Własności optyczne mikrownęk filarowych zawierających kropki kwantowe zostały zbadane przy użyciu fotoluminescencji niskotemperaturowej. W pierwszym kroku wyznaczono energie fotonowych modów własnych mikrownęk filarowych oraz dobroć tych rezonatorów. Wykazano również modyfikacje widma emisji omawianych kropek kwantowych. Następnie zbadano szczegółowe własności modów własnych takich mikrownęk. Dokonano mapowania rozkładu przestrzennego emisji mikrownęk filarowych oraz zmierzono rozkład kątowy emisji mikrownęk planarnych w zależności od energii fotonu. Zbadano również aspekty polaryzacyjne emisji obu rodzajów mikrownęk. Stwierdzono, iż mod podstawowy składa się z dwóch niezdegenerowanych energetycznie modów własnych o wzajemnie prostopadłych polaryzacjach.

Wyniki pomiarów energii modów własnych dla różnych średnic mikrownęk filarowych porównano z symulacjami wykonanymi przy użyciu rozszerzonej metody macierzy transferu. Uzyskano dobrą zgodność wyników symulacji z wynikami eksperymentalnymi. Czynniki Purcella opisuje przyśpieszenie spontanicznej emisji dla emitera we wnęce optycznej względem emitera w przestrzeni. Metodą macierzy transferu obliczono również efektywne objętości modów, co w połączeniu ze znajomością dobroci rezonatorów pozwoliło wyznaczyć spodziewaną zależność czynnika Purcella od średnicy mikrownęki filarowej. Eksperymentalnie ustalono, iż największe przyśpieszenie emisji związane z efektem Purcella uzyskuje się dla mikrownęk o średnicy poniżej 2 mikrometrów.

W eksperymentach z rozdzielczością czasową wykazano skrócenie czasu życia ekscytynu uwięzionego w kropce kwantowej będącego w rezonansie z modem fonicznym mikrownęki

filarowej o średnicy 1,5 mikrona. Uzyskany współczynnik Purcella o wartości 5,7 jest zgodny z wartością wyznaczoną dzięki symulacjom i pomiarom dobroci rezonatora.

W następnej kolejności zbadane zostały mechanizmy relaksacji wzbudzenia eksytonowego do fotonicznych modów własnych mikrownęki poprzez oddziaływanie z siecią krystaliczną materiału półprzewodnikowego, z którego zrobiona jest kropka kwantowa. Pomiary te są wykonywane dla zmieniającej się w sposób kontrolowany temperatury próbk. Daje to możliwość sprzęgania wybranych stanów ekscytonowych z modami fotonicznymi, gdyż energie obu tych zmieniają się w różnym tempie w zależności od temperatury. Zbadano intensywności emisji kropki kwantowej i modu własnego mikrownęki przy zmianie ich dostrojenia energetycznego. Pozwoliło to wykazać, iż emisja modu zasilana jest z najbliższej spektralnie linii kropki kwantowej. Eksperyment ten wykazał również ukierunkowanie emisji kropki kwantowej poprzez sprzężenie jej z modem własnym mikrownęki, który to mod jest emitowany kierunkowo.

Dysponując dobrze poznanym systemem mikrownęk filarowych z kropkami kwantowymi CdTe/ZnTe opracowano nowatorskie mikrownęki filarowe z dodatkowymi radialnymi rozproszonymi zwierciadłami Bragga. Dla takich mikrownęk wykazano, iż tempo rekombinacji promienistej w przypadku emiterów odstrojonych od modów własnych mikrownęki może zostać wydłużone o czynnik co najmniej 3.

W zakresie badań technologicznych przeprowadzono również optymalizację wzrostu kropek kwantowych CdTe/ZnTe oraz zwierciadeł Bragga o stałej sieci ZnTe w komorze do epitaksji z wiązki molekularnej poprzez użycie nowego rodzaju podłoża z antymonku galu (GaSb). Dzięki lepszemu dopasowaniu stałej sieci krystalicznej w takim podłożu zmniejszyła się gęstość defektów w wyhodowanych na nich strukturach.

Dzięki wytworzeniu wydajnych mikrownęk fotonicznych opartych na ZnTe badania kropek kwantowych CdTe w ZnTe zyskują nowe narzędzie do badania fizyki procesów w nich zachodzących. Własności materiałów II-VI, takie jak wysoka stabilność temperaturowa emisji i świecenie w widzialnym zakresie widma fal elektromagnetycznych, stawiają je jako dobre źródła pojedynczych fotonów na żądanie. Te ostatnie są kluczowym elementem informatyki i kryptografii kwantowej.