

Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Molasa pt.
"Multiexcitons in semiconductor quantum dots"

Pomimo około 25 lat intensywnych prac badawczych, półprzewodnikowe kropki kwantowe wciąż cieszą się szerokim zainteresowaniem naukowym i nadal zaskakują nowymi oraz ciekawymi właściwościami fizycznymi. Duża część przeprowadzonych na nich do tej pory badań została poświęcona pomiarom optycznym pojedynczych obiektów, które są również tematem tej pracy. Zdumiewające jest w pewnym stopniu to, że główny nurt badań optycznych pojedynczych kropek kwantowych był dotychczas skoncentrowany na spektroskopii emisyjnej (fotoluminescencji) i opierał się w dużej mierze na rekombinacji prostych kompleksów elektron-dziura, takich jak ekscyton (neutralny i naładowany) oraz biekscyton. Kropki kwantowe z silnym uwięzieniem kwantowym, takie jak te, którymi zajmowano się w ramach niniejszej pracy, mogą jednak pomieścić dużą liczbę (fotowzbudzonych) nośników. Badania poziomów energetycznych i procesów rekombinacji pojedynczych kropek kwantowych, wypełnionych optycznie maksymalnie czterema parami elektron-dziura są tematem bieżącej pracy. Będące przedmiotem rozważań kropki, wytworzone w matrycy GaAlAs, stanowią systemy zerowymiarowe o stosunkowo silnym potencjale wiążącym i ukazują kilka kwazi-atomowych powłok: s , p , d . Są one dość jasnymi obiektami, a ich emisja optyczna przypada na obszar widma promieniowania elektromagnetycznego, który pokrywa się z zakresem czułości wydajnych detektorów CCD oraz jest dostępny przy użyciu lasera tytan-szafir. Poszczególne kropki można łatwo wybrać w analizowanej strukturze, ze względu na ich bardzo niską gęstość powierzchniową ($\sim 10^6 \text{ cm}^{-2}$). Stosowane w tej pracy techniki eksperymentalne obejmują metody spektroskopii pojedynczych kropek kwantowych wykorzystujące rozdzielczość polaryzacyjną (liniową lub w razie potrzeby kołową), zewnętrzne pola magnetyczne, w tym wysokie - do 28 T oraz pomiary korelacji fotonów. Wyróżnione są dwa obszary energii lasera pobudzającego kropki, poniżej oraz powyżej bariery, które mają wpływ na wyniki eksperymentów fotoluminescencyjnych. Istotne są również przeprowadzone badania pobudzania fotoluminescencji (w polu magnetycznym).

W zależności od warunków pobudzania (mocy lasera i długości fali), w widmach badanych kropek pojawia się wiele ostrych linii, przy czym każda kropka ma bardzo charakterystyczny, identyczny układ linii, pogrupowanych w różne serie, odpowiadające kolejnym kwazi-atomowym powłokom. Prezentowane w niniejszej pracy badania obejmują zakres widmowy, który za-

wiera w sobie region powłok s i p . Przypisanie linii widmowych (identyfikacja kompleksów elektron-dziura, liczby nośników oraz obsadzonych poziomów energetycznych, odpowiadających za stan początkowy oraz końcowy w procesie rekombinacji) zostało głównie mierzone oparte na wynikach pomiarów mikroluminescencji przeprowadzonych z rozdzielczością polaryzacyjną (liniową) oraz eksperymentach korelacji pojedynczych fotonów. Wyniki tych badań ukazują trzy różne rodziny linii emisyjnych z których każda związana jest z rekombinacją odpowiednio: neutralnych, naładowanych dodatnio i naładowanych ujemnie kompleksów ekscytonowych (elektron-dziura). Szczegółowo badane są w tej pracy linie emisyjne, obserwowane w ramach czerostopniowej kaskady rekombinacji neutralnego kwadryekscytonu do neutralnego ekscytonu oraz w ramach dwuetapowych kaskad rekombinacji dodatnio naładowanych bieksytonów do stanu singletowego i trypletowego dodatnio naładowanego ekscytonu. Wynikająca z oddziaływania wymiennego struktura subtelna, która w eksperymencie ujawnia się jako (liniowo) spolaryzowana emisja w zerowym polu magnetycznym, jest analizowana dla różnych linii emisyjnych (związanych z powłoką s i p). Badaniom poddany jest również wpływ pola magnetycznego na to rozszczepienie. Interpretacja wyników uwzględnia anizotropię kształtu kropek oraz oddziaływania związane z charakterystycznymi dla różnych procesów rekombinacji efektami spinowymi i orbitalnymi. Znaczna część pracy jest poświęcona porównaniu widm emisyjnych mierzonych przy stosunkowo dużej mocy pobudzania (które obejmują procesy rekombinacji aż z kompleksu kwadryekscytonowego) z widmami pobudzania fotoluminescencji (które próbują stany wzbudzone pojedynczych ekscytonów). Tego rodzaju eksperymenty zostały przeprowadzone także w funkcji pola magnetycznego. Zgodnie z oczekiwaniami, widma emisyjne kompleksów wieloekscytonowych są modyfikowane przez oddziaływane kulombowskie między nośnikami, w związku z czym na ogół znacznie różnią się od widm pobudzania fotoluminescencji (kwazi-absorpcji) neutralnego oraz naładowanego ekscytonu. Dwa rodzaje dyspersji linii absorpcyjnych (rezonansów) w polu magnetycznym, charakterystyczne dla powłoki s i p , zostały zaobserwowane. Rezonanse o dyspersji powłoki s są przypisane przejściom między wzbudzonymi stanami dziurowymi w paśmie walencyjnym a podstawowym poziomem powłoki s w paśmie przewodnictwa. Tym niemniej istnieje linia emisyjna, która jest obserwowana w zakresie emisji z powłoki p i która pokrywa się z linią absorpcyjną. Ten "pokrywający się rezonans" jest identyfikowany jako wzbudzony stan ekscytonowy, który rekombinuje promieniście ze względu na efektywną blokadę jego relaksacji do poziomu podstawowego.