

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Dynamika spinów dziurowych w strukturach półprzewodnikowych

Mateusz Krzykowski

Przedmiotem niniejszej rozprawy było analityczne i numeryczne zbadania wybranych zagadnień związanych z dynamiką spinów dziurowych w nanostrukturach półprzewodnikowych InGaAs/GaAs. W szczególności obiektem badań były dziury zlokalizowane w pojedynczej i w podwójnej kropce kwantowej. Kluczowym okazało się uwzględnienie rozmaitych efektów związanych z odkształceniami występującymi przez niedopasowanie sieciowe pomiędzy samą kropką kwantową a otoczeniem.

Pierwszym prezentowanym obiektem badań była relaksacja spinu dziury ze względu na odkształcenia występujące w układach pojedynczych kropek kwantowych. W pierwszej kolejności za pomocą zaproponowanej metodologii udało się odwzorować znane z literatury zależności potęgowe szybkości relaksacji od pola magnetycznego i pokazano, że największy wkład w powszechnie używanych do badań eksperymentalnych przedziałach pól magnetycznych odgrywa indukowane przez fonony pole piezoelektryczne, sprzęgające stany dziurowe z rezerwuarem fononowym. Wykazano, że konieczne do wystąpienia powyższego efektu mieszanie pasm ciężkodziurowych jest powodowane głównie przez człony związane z odkształceniami dwuosiowymi i ścinającymi. W szczególnym przypadku kropki kwantowej zawierającej warstwę redukującą odkształcenia pokazano, że odkształcenia dwuosiowe są w znacznym stopniu zredukowane, dzięki czemu czas życia spinu znacząco rośnie.

Kolejnym obiektem badań była zależność czynnika żyromagnetycznego dziury w układzie podwójnej kropki kwantowej w zależności od szeregu parametrów układu, takich jak promień, wysokość, koncentracja indu, wydłużenie czy rozsuniecie osiowe kropek. Pokazano, że poza bardzo dobrze znanym efektem tunelowym kropki kwantowe oddziałują również przez wzajemne odkształcenia struktury krystalicznej. Najistotniejszym okazało się pole piezoelektryczne, które indukowane w jednej kropce przenika do wnętrza drugiej. Najlepiej pokazano to na przykładzie serii nanostruktur, gdzie zmieniano jedynie parametry jednej z kropek, a osiowym polem elektrycznym gwarantowano odsunięcie od rezonansu sprzężenia tunelowego — w takim przypadku modyfikacja jednej kropki wpływała na czynnik żyromagnetyczny stanów dziurowych zlokalizowanej w drugiej kropce. Wykonano też serię badań z wykorzystaniem zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych w kierunkach osiowym i wzdłuż płaszczyzny kropek.

Na koniec przedstawiono wyniki związane z badaniem sprzężenia stanów o przeciwnych spinach w różnych kropkach kwantowych. Takie sprzężenie jest możliwe tylko przy złamaniu symetrii osiowej układu, na przykład przez geometrię struktury (w niniejszej pracy przez rozsuniecie lub wydłużanie kropek) lub pole elektryczne w płaszczyźnie kropek. W celu dokładnego zbadania ilościowego i jakościowego wpływu złamania symetrii układu zaproponowano miarę asymetrii układu obliczaną na podstawie jego Hamiltonianu. Wykazano, że zgodnie z intuicją fizyczną związaną z teorią zaburzeń, rozważane sprzężenie będzie rosło wraz ze wzrostem miary asymetrii. W szczególnych przypadkach pokazano, że efekty wynikające ze złamania symetrii można znieść przez inny mechanizm łamiący symetrię.