

Streszczenie

Niniejsza rozprawa poświęcona jest magnetoptycznym badaniom anizotropii systemu, w którym pojedynczy jon magnetyczny (Co^{2+}) wbudowany jest w półprzewodnikową kropkę kwantową. Obejmują one zarówno problem wpływu anizotropowego oddziaływania elektron–dziura na widma neutralnego ekscytonu, jak i przede wszystkim problem wpływu niejednorodnego lokalnego naprężenia występującego w kropce kwantowej na strukturę spinową stanu podstawowego samego jonu.

Za pomocą techniki epitaksji z wiązek molekularnych wytworzyliśmy dwa nowatorskie systemy kropek kwantowych zawierających pojedyncze domieszki magnetyczne – kropki kwantowe CdTe/ZnTe (tellurkowe) z pojedynczymi jonami kobaltu oraz kropki kwantowe CdSe/ZnSe (selenkowe) z pojedynczymi jonami manganu. Dla obydwu systemów energia przejść wewnątrzcentrowych jonu jest niższa niż energia stanów ekscytonowych w kropce kwantowej. Istniała zatem uzasadniona obawa, iż w analogii do materiałów objętościowych, obserwacja luminescencji ekscytonowej wytworzonych przez nas struktur nie będzie możliwa ze względu na wydajny przekaz energii pomiędzy poziomami ekscytonowymi a poziomami wzbudzonymi jonu. Pomiar czasu życia stanów ekscytonowych potwierdziły jednak, iż w przypadku kropek kwantowych z pojedynczymi domieszkami jonów metali przejściowych wygaszanie luminescencji poprzez dodatkowy, niepromienisty kanał rekombinacji jest pomijalnie małe lub nie występuje wcale.

W pracy prezentujemy także systematyczne porównanie własności optycznych dwóch popularnych systemów kropek kwantowych niezawierających domieszek magnetycznych – kropek tellurkowych oraz selenkowych. Stanowi ono wstęp i podbudowę do głównej części tej rozprawy poświęconej bardziej złożonym zjawiskom, ujawniającym się w czasie spektroskopowych badań kropek kwantowych zawierających pojedyncze jony kobaltu.

W niskotemperaturowych pomiarach mikrofotoluminescencji tellurkowych kropek kwantowych z pojedynczymi jonami Co^{2+} zaobserwowaliśmy charakterystyczne czterokrotne rozszczepienie linii neutralnego ekscytonu. Linie te odpowiadają czterem możliwym rzutom spinu kobaltu ($\pm 3/2$ i $\pm 1/2$) na oś kwantyzacji kropki kwantowej. Jednak w odróżnieniu od wcześniej badanych kropek kwantowych CdTe zawierających pojedyncze jony Mn^{2+} , intensywności linii emisyjnych związanych z rzutami spinu jonu Co^{2+} $\pm 3/2$ i $\pm 1/2$ mogą znacząco różnić się od siebie. Powodem tych różnic jest fakt, iż nawet w zerowym polu magnetycznym początkowa poczwórna degeneracja stanów spinowych jonu Co^{2+} zniesiona jest poprzez oddziaływania spin-orbita w obecności naprężeń jednoosiowych. W polu krystalicznym o symetrii T_d stan swobodnego jonu 4F (o momencie orbitalnym $L = 3$ i spinowym $J = 3/2$) rozszczepia się i w efekcie stanem podstawowy kobaltu jest stan 4A_2 . Ze względu na część orbitalną funkcji falowej jest on czuły na dalsze obniżanie lokalnej symetrii, czego przejawem jest rozszczepienie stanów spinowych.

Analiza danych eksperymentalnych oraz symulacji teoretycznych związanych z czterema głównymi liniami emisyjnymi neutralnego ekscytonu, w szczególności ich ewolucji w polu magnetycznym, pozwoliła na wyznaczenie kierunku anizotropii jonu Co^{2+} . Pomiary fotoluminescencji w funkcji mocy pobudzenia oraz temperatury potwierdziły zaś, iż typowe rozszczepienie stanów kobaltu w zerowym polu magnetycznym jest rzędu pojedynczych meV.

Jednak dopiero magnetoptyczne pomiary bardzo słabych przejść optycznych częściowo dozwolonych poprzez mieszanie stanów spinowych jonu Co^{2+} , pozwoliły nam na precyzyjne i, co ważne, bezpośrednie wyznaczenie wartości rozszczepienia stanów spinowych jonu Co^{2+} . Dodatkowo, dzięki obliczeniom teoretycznym uzyskaliśmy wzory analityczne pozwalające wyznaczyć czynnik Landégo g_{Co} kobaltu oraz wartości parametrów D i E opisujących wpływ lokalnego naprężenia w kropce kwantowej (odpowiednio składowej równoległej do osi wzrostu próbki i składowej w płaszczyźnie próbki) na strukturę energetyczną jonu Co^{2+} .