

W wyniku tzw. silnego sprzężenia światło–materia powstają nowe kwazicząstki będące mieszaniną dwóch stanów wejściowych: fotonu oraz ekscytynu. Takie obiekty, zwane polarytonami ekscytonowymi, posiadają bardzo cenne właściwości dziedziczone z dwóch swoich części składowych: małą masę efektywną od fotonu, oraz możliwość oddziaływania między sobą od ekscytynu.

Polarytony ekscytonowe obserwowane są w przeróżnych konfiguracjach materiałowych. Najpopularniejszą realizacją są tzw. mikrownęki optyczne czyli struktury półprzewodnikowe które otrzymywane są dzięki epitaksji z wiązek molekularnych. Taka mikrownęka składa się z dwóch zwierciadeł braggowskich, czyli stosu warstw półprzewodników o różnych współczynnikach załamania o precyzyjnie dobranych grubościach rzędu 100 nm. Foton, który znajdzie się pomiędzy takimi zwierciadłami, będzie ulegał wielokrotnym odbiciom zanim zdoła opuścić wnękę. Im dłuższy czas przebywania fotonu we wnęce, tym silniej będzie oddziaływał z innymi cząstkami obecnymi w tym obszarze. Dlatego w tym samym obszarze umieszczane są efektywne emiterzy światła, np. studnie kwantowe, które lokalizują ekscytony. W odpowiednio wykonanych mikrownękach oddziaływanie fotonów z ekscytonami staje się tak silne, że obserwuje się zmieszane stany fotonowo–ekscytonowe zwane właśnie polarytonami ekscytonowymi. Technologia otrzymywania struktur półprzewodnikowych jest obecnie bardzo rozwinięta, co pozwala na uzyskiwanie mikrownęk o najwyższej jakości. Pozwala to także na stosowanie technik typowych dla innych struktur półprzewodnikowych, np. domieszkowanie studni kwantowych. Wprowadzenie nawet niewielkiej ilości innych jonów do sieci półprzewodnika może w znaczący sposób zmodyfikować jego właściwości. Szczególnie interesujące jest domieszkowanie jonami magnetycznymi takimi jak np. mangan. Prowadzi to otrzymaniu tzw. półprzewodnika półmagnetycznego. Dzięki dodatkowym momentom magnetycznym bezpośrednio wbudowanym w sieć materiał taki znacznie silniej reaguje na przyłożone zewnętrznie pole magnetyczne.

Obecnie poszukuje się alternatywnych sposobów na realizację polarytonów ekscytonowych. Szczególnie intensywnie badane są w ostatnich latach właściwości dwuwymiarowych płatków dichalkogenków metali przejściowych. Materiały te mają budowę bardzo przypominającą grafen, jednak w przeciwieństwie do niego posiadają przerwę energetyczną, co pozwala myśleć o wykorzystaniu ich do budowy tranzystorów lub diod LED. Ekscytony w tych materiałach są tak silnie związane, że są stabilne w temperaturze pokojowej. Dodatkowo struktura pasmowa tych związków pozwala na selektywne optyczne wzbudzenie ekscytonów do jednej z dwóch różnych dolin, co potencjalnie może służyć do zapisu, a następnie odczytu informacji.

W ramach tego projektu chciałbym zrealizować układ będący hybrydą trzech kwazicząstek: fotonu uwięzionego we wnęce optycznej, ekscytynu w płatku dichalkogenku metalu przejściowego (WSe_2 lub WS_2) oraz ekscytynu w półmagnetycznej studni kwantowej. Takie połączenie pozwoli na wykorzystanie jak najbardziej wartościowych cech każdego ze składników: małą masę efektywną z fotonu wnękowego, wrażliwość na zewnętrzne pole magnetyczne dzięki półprzewodnikom półmagnetycznym oraz fizykę dolinową z płatków dichalkogenków metali przejściowych.

Do realizacji tego celu chciałbym wykorzystać strojoną wnękę składającą się z lustra braggowskiego z odłożonym płatkem dichalkogenku metalu przejściowego oraz półwnęki półprzewodnikowej ze studniami kwantowymi domieszkowanymi magnetycznymi jonami manganu. Energia fotonu uwięzionego w takiej wnęce będzie silnie zależała od odległości pomiędzy dwoma lustrami. Przeprowadzone przeze mnie wstępne badania pokazały, że tą właściwość można wykorzystać do strojenia wnęki poprzez umieszczenie jednego z luster na przesuwie piezoelektrycznym, który pozwoli na precyzyjną kontrolę odległości między lustrami.

Realizowane przeze mnie badania będą polegały na pomiarach widm odbicia oraz luminescencji z próbki z rozdzielczością kątową, ze szczególnym naciskiem na poszukiwanie nieliniowych własności emisji. Rozpatrywanie padania światła pod różnymi kątami pozwala na bezpośrednie uzyskanie informacji na temat zależności energii obserwowanych polarytonów ekscytonowych od ich wektora falowego, czyli kierunku propagacji w kryształach. Ponadto zastosowanie zewnętrznego pola magnetycznego pozwoli na rozdzielenie komponentów spinowych polarytonów i selektywne adresowanie każdego z nich kołowo spolaryzowaną wiązką padającego światła. Taki eksperyment pozwoli na wytworzenie spinowo spolaryzowanych polarytonów określonych tylko w jednej dolinie (czyli ekstremum pasm energetycznych dichalkogenu) i zredukowanie procesów rozpraszania międzypolinowego. Przyczyni się to znacznie do rozwoju tzw. optoelektroniki dolinowej, czyli optoelektroniki, w której wykorzystywane są spinowe właściwości cząstek o dobrze określonym momencie pędu. W przypadku uzyskania nieliniowej emisji światła, otworzy to drogę do badania spinowych oddziaływań pomiędzy polarytonami hybrydowymi.