

Gwałtowny wzrost ilości zbieranych i przetwarzanych danych w ostatnich latach wymusza myślenie o alternatywnym podejściu niż stosowana obecnie elektronika. Naturalną alternatywą dla elektronów stosowanych w układach elektronicznych są cząstki światła, czyli fotony. Pozwalają one na szybsze przesyłanie danych na większe odległości, przy użyciu mniejszej ilości energii niż elektrony. Wykorzystanie światła pozwala również na rozwinięcie szybszych, bardziej wydajnych i pojemniejszych systemów przetwarzania informacji, a także stanowi kluczowy krok w kierunku rozwoju informacji kwantowej. Jednak do praktycznej realizacji fotonicznego przetwarzania danych konieczne jest wykorzystanie efektów nieliniowych, tzn. takich których wynik nie jest wprost proporcjonalny do zmienianego parametru. Jednym z przykładów optycznego zjawiska nieliniowego jest zachodzenie akcji laserowej, gdzie po przekroczeniu tzw. progu laserowania intensywność emitowanego światła gwałtownie rośnie.

Interesującymi strukturami, w których zachodzą optyczne zjawiska nieliniowe są mikrownęki półprzewodnikowe. Mikrownęka składa się z rezonatora optycznego, którego celem jest lokalizacja światła w obszarze studni kwantowej, gdzie fotony mogą kreować wzbudzenia materii zwane ekscytonami. W wyniku silnego sprzężenia pomiędzy fotonami a ekscytonami powstają nowe kwazicząstki zwane polarytonami ekscytonowymi. Intensywność emisji z mikrownęki badana w funkcji mocy pobudzenia pozwala precyzyjnie zaobserwować moment przechodzenia polarytonów do nowej fazy materii, będącej nierównowagowym kondensatem Bosego-Einsteina, co nazywane jest również w literaturze laserowaniem polarytonowym.

Celem mojego projektu jest zmniejszenie progów kondensacji polarytonów w mikrownękach półprzewodnikowych przez nadrukowanie na ich powierzchni eliptycznych mikrosoczewek twardej immersji. Dzięki własnościom immersyjnym, takie soczewki pozwalają na efektywne wstrzykiwanie światła do wnętrza struktury. Innowacyjna metoda wytwarzania takich soczewek opracowana przez naukowców na Uniwersytecie Warszawskim, była dotychczas wykorzystywana jedynie do badania emisji z kropek kwantowych oraz monowarstw dichalkogenków metali przejściowych. Proponowane przeze mnie rozwiązanie użycia mikrosoczewek eliptycznych do zmniejszenia progów zachodzenia kondensacji polarytonów, pozwoli na realizowanie nieliniowego przetwarzania sygnałów optycznych na niespotykanie niskim poziomie energetycznym. Nasze wstępne oszacowania pokazują, że jest to możliwe na poziomie pojedynczych fotonów, zbliżając nas do limitów kwantowych.

Ponadto, mikrosoczewki, dzięki swoim immersyjnym właściwościom, pozwalają na zebranie światła wychodzącego z mikrownęk pod dużymi kątami, niedostępnymi dla tradycyjnych obiektywów mikroskopowych. Pozwoli to na obserwację niedostępnych do tej pory eksperymentalnie wartości pędów polarytonów w płaszczyźnie struktury. Dla szerokich kątów emisji z mikrownęki możliwe jest zaobserwowanie kreowania się długożyciowego stanu zwanego rezerwuarem ekscytonowym, który zasila kondensat i spełnia kluczową rolę w jego powstawaniu.

Co więcej wydrukowanie sieci mikrosoczewek w precyzyjnie określonych odległościach między sobą, pozwoli na stworzenia sieci sprzężonych kondensatów. Wymiana cząstek pomiędzy kondensatami w węzłach sieci prowadzi do silnie nieliniowych właściwości, analogicznych do tych wykorzystywanych w sztucznych sieciach neuronowych. Dzięki temu będzie można je wykorzystać do wykonywania złożonych obliczeń czy rozpoznawania wzorców.

Rozwinięcie techniki nadrukowywania mikrostruktur za pomocą fotolitografii dwufotonowej pozwoli dodatkowo na wzbogacenie metod pomiarowych pozwalających na wstrzykiwanie fotonów pod kątem. Takie podejście pozwoli wprowadzić rezonansowo wiązkę światła do wnętrza struktury, z maksymalną efektywnością. Metoda ta pozwoli na stworzenie mikrownękowego falowodu, z propagacją światła na duże odległości wewnątrz mikrownęki.

Ponadto planuję badać inne efekty nieliniowe występujące w mikrownękach półprzewodnikowych, takie jak bistabilność optyczna. Efekt ten polega na tym, że dla pewnego zakresu mocy pobudzenia, układ może znajdować się w dwóch stabilnych stanach. W zależności od swojej historii, układ samoczynnie przełącza się pomiędzy dwoma tymi stanami. Dzięki wykorzystaniu nadrukowanych mikrosoczewek planuję obniżyć zakres mocy pobudzenia, koniecznych do obserwacji bistabilnego zachowania.

Dzięki opracowanej na Uniwersytecie Warszawskim metodzie nadrukowywania mikrostruktur polimerowych na powierzchni struktur półprzewodnikowych będzie możliwe zaobserwowanie nowych fizycznych efektów, a także zrewolucjonizowanie dotychczasowych metod kreowania kondensatów polarytonowych w mikrownękach optycznych.