

Efekty wynikające ze sprzężenia światła i materii w strukturach mikrownękowych przyciągają uwagę naukowców od czasu, gdy Claude Weisbuch wraz ze współpracownikami podał przekonujący dowód na występowanie silnego sprzężenia między parą elektron-dziura (ekscytonem) oraz fotonem uwięzionym w półprzewodnikowej wnęce optycznej (Physical Review Letters 69, 3314–3317 (1992)). Sprzężenie takie prowadzi do powstania kwazicząstki zwanej polarytonem ekscytonowym. Ma ona podwójną naturę: dzięki składowej fotonowej charakteryzuje się małą masą, natomiast wkład ekscytonowy pozwala na wzajemne oddziaływanie tych kwazicząstek. W kolejnych latach szybki rozwój technologii wytwarzania nano- i mikrostruktur oraz technik eksperymentalnych doprowadził do szeregu fascynujących odkryć w dziedzinie kwantowej elektrodynamiki mikrownękowej i fotoniki takich jak: kondensacja Bosego-Einsteina polarytonów ekscytonowych (Kasprzak et al. Nature 443, 409 (2006).) czy też laserowanie polarytonowe (Balili et al., Science 316, 1007 (2007)).

Możliwość wytworzenia źródeł światła koherentnego o niskim progu laserowania, bardzo istotna zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak również potencjalnych aplikacji, dała impuls do prac nad laserowaniem z mikrownęk półprzewodnikowych. Pomimo intensywnych badań teoretycznych i doświadczalnych nadal istnieje znaczny obszar niezbadanych zjawisk zachodzących w strukturach mikrownęk półprzewodnikowych szczególnie wykonanych z materiałów II-VI układu okresowego pierwiastków, takich jak np. efekty topologiczne. Ponadto różnorodność dostępnych materiałów półprzewodnikowych (III-V, II-VI, półprzewodniki organiczne, warstwowe, perowskity) sprawia, że dziedzina związana z półprzewodnikowymi mikrownękami optycznymi ciągle otwiera nowe perspektywy badań oddziaływania światło-materia.

Laserowanie to wzmocnienie światła w ośrodku aktywnym umieszczonym we wnęce rezonansowej. W ogólności można zaobserwować trzy reżimy laserowania w emisji z układu studni kwantowej sprzężonej z półprzewodnikową mikrownęką optyczną. Laserowanie polarytonowe w silnym sprzężeniu światła z materią powstaje w wyniku stymulowanego rozpraszania mikrownękowych polarytonów ekscytonowych. W wyższych mocach pobudzania lub w wyższych temperaturach, gdy zostaje utracone silne sprzężenie zachodzi laserowanie fotonowe za które odpowiedzialne są dwa mechanizmy: stymulowana rekombinacja ekscytonów, czyli elektronów i dziur związanych oddziaływaniem kulombowskim lub plazmy elektronowo-dziurowej. Do tej pory, niezależnie od wybranych materiałów, tylko jeden lub dwa z wymienionych reżimów laserowania obserwowane były dla jednej struktury. Badania w ramach pracy doktorskiej wnioskodawcy pozwoliły na eksplorację wszystkich trzech reżimów laserowania w przypadku jednej struktury. Potwierdzono je przez obserwację trzech progów laserowania w emisji z pułapek fotonicznych w strukturze mikrownęki optycznej na bazie selenków i tellurków z pojedynczą studnią kwantową CdSe/(Cd,Mg)Se. Wykazano również, że uzyskanie laserowania z plazmy elektronowo-dziurowej dla badanego systemu jest możliwe nawet w temperaturze pokojowej.

Temat laserowania polarytonowego rozszerzono również na układy sprzężonych półprzewodnikowych mikrownęk optycznych, w których zaobserwowano występowanie kondensacji polarytonów na dwóch najniższych gałęziach polarytonowych w czteropoziomowym systemie polarytonowym. Pomiary spektroskopowe z rozdzielczością czasową wykazały złożoną dynamikę procesów odpowiadających za transfer wzbudzenia między poziomami, w tym na obecność zjawiska zdegenerowanego w energii parametrycznego rozpraszania polarytonów ekscytonowych.

Badania mikrownęk na bazie materiałów grupy II-VI pokazały również, że są one potencjalnym kandydatem do badania efektów przepływu kondensatu polarytonów ekscytonowych. Wyznaczenie parametrów tego przepływu takich jak droga swobodna oraz czas życia kwazicząstek jest jednym z zadań badawczych wyznaczonych w celach pracy doktorskiej. Realizacja tych zadań jest istotna z punktu widzenia przydatności materiałów grupy II-VI jako potencjalnego kandydata w zastosowaniach praktycznych do budowy urządzeń polarytronicznych.

Wyniki omawianych wyżej badań stanowią podstawę artykułów naukowych obecnie przygotowywanych lub przyjętych do publikacji w recenzowanych czasopismach międzynarodowych (takich jak Communications Physics). Podjęta tematyka może znaleźć kontynuację w dziedzinach z pogranicza fizyki ciała stałego, fotoniki, optyki kwantowej oraz kwantowej informacji.