

mgr inż. Maciej Pieczarka

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

„Badania kondensatów polarytonów ekscytonowych w półprzewodnikowych mikrownękach optycznych z wbudowanym nieporządkiem”

W rozprawie doktorskiej przedstawione zostały optyczne badania nad polarytonami ekscytonowymi w mikrownękach optycznych. Polarytony ekscytonowe są kwazicząstkami będącymi naturalnymi wzbudzeniami układu silnie sprzężonego fotonu uwięzionego w mikrownęce planarnej oraz ekscytonu zlokalizowanego w studniach kwantowych, znajdujących się wewnątrz mikrownęki. Badane kwazicząstki są złożonymi bozonami, dlatego możliwe jest uzyskanie ich kondensatu, który posiada wiele analogicznych właściwości do kondensatów Bosego-Einsteina, w tym możliwość koherentnej propagacji ze znikomym rozpraszaniem na niewielkich defektach, co jest jedną z oznak nadciekłości.

W ramach rozprawy przeprowadzono badania kondensatu polarytonów ekscytonowych w strukturze mikrownęki optycznej wyhodowanej na podłożu z GaAs, składającej się ze zwierciadeł optycznych typu rozproszonych zwierciadeł Bragga z GaAs/AlGaAs. Wewnątrz mikrownęki znajdował się obszar aktywny w postaci studni kwantowych InGaAs o wysokiej zawartości molowej InAs (powyżej 27%). W ramach optycznych badań charakterystycznych (pomiar odbicia oraz skanowania lokalnej emisji spektralnej z rozdzielczością mikrometrową) stwierdzono wysoki stopień lokalizacji emisji polarytonów ekscytonowych w naturalnych defektach struktury. W badaniach kondensacji polarytonów, wykorzystano konfigurację ze wzbudzeniem nierezonansowym, w którym impulsowy laser wzbudzający posiadał energię znacznie wyższą od przerwy energetycznej materiału studni kwantowej. Laser wytwarzał w ten sposób niekoherentny rezerwuuar ekscytonowy, który zasilął w procesie rozpraszania stymulowanego kondensat polarytonów oraz powodował jego balistyczną propagację na zewnątrz skupionej na strukturze plamki laserowej. W ten sposób zaobserwowano propagację radialną polarytonów, jak również ich rozpraszanie na silnych naturalnych potencjałach defektowych, generując oddziaływanie i zderzanie się rozproszonych fal polarytonowych. W wyniku tego oddziaływania, możliwa była obserwacja polarytonów ekscytonowych rozproszonych do obu gałęzi wzbudzeń typu Bogolubowa, w szczególności do gałęzi o ujemnej energii względem kondensatu. Obserwacje te zostały potwierdzone w badaniach rozdzielonych polaryzacyjnie, w których zaobserwowano ortogonalną liniową polaryzację fotonów pochodzących z obu gałęzi, potwierdzając sposób obsadzenia gałęzi o ujemnej energii w procesie oddziaływania wielu cząstek. Badania zostały uzupełnione również o precyzyjne pomiary rozdzielone w czasie, pozwalające uchwycić skomplikowaną dynamikę polarytonów ekscytonowych w przestrzeni rzeczywistej oraz wektora falowego (przestrzeni odwrotnej). Dodatkowo, propagacja kondensatu polarytonowego w przestrzeni rzeczywistej została zamodelowana numerycznie w ramach fenomenologicznej teorii w przybliżeniu pola średniego, wykorzystując równanie Grossa-Pitajewskiego. Uzyskano jakościową zgodność zmierzonych eksperymentalnie dynamiki propagacji polarytonów oraz charakterystycznych oscylacji emisji w zlokalizowanych defektach.

Wyniki badań w przedstawionej rozprawie doktorskiej są unikalne w skali światowej i przedstawiają pierwszą obserwację spontanicznie obsadzonych obu gałęzi wzbudzeń kondensatu polarytonów ekscytonowych w bezpośrednim eksperymencie fotoluminescencji wzbudzanej nierezonansowo. Stanowią one istotny wkład w zrozumienie fizyki kondensatów polarytonów ekscytonowych wytworzonych w mikrownękach ze znaczącym wkładem potencjału defektowego.