

Streszczenie

W prezentowanej rozprawie rozwijana jest technologia projektowania i wytwarzania sprzężonych w kierunku pionowym mikrownęk optycznych, a uzyskane rezultaty dostarczają nowych narzędzi do badania oddziaływania światła z materią. Przedstawione zostały wyniki badań dwóch rodzajów zjawisk: regulowania siły sprzężenia między mikrownkami oraz tunelowania polarytonów w strukturach fotonicznych składających się z dwóch mikrownęk sprzężonych w kierunku pionowym, umieszczonych pomiędzy i rozdzielonych zwierciadłami Bragga. Opisany został również proces projektowania struktur z wykorzystaniem metody macierzy przejścia oraz przedyskutowano techniczne aspekty wytwarzania struktur przy użyciu technologii epitaksji z wiązek molekularnych.

W przypadku badań czysto fonicznego oddziaływania między mikrownkami, wykorzystane zostały podwójne sprzężone mikrownki optyczne oparte na systemie ZnTe – krótkookresowa supersieć MgSe/ZnTe/MgTe/ZnTe, w geometrii planarnej (1-D) i w geometrii pojedynczego mikrofilara (3-D), zawierające kropki kwantowe CdTe w jednej z mikrownęk. Próbkki zostały wytworzone z intencjonalnym prostopadłym gradientem grubości mikrownęk, co pozwalało na regulację siły oddziaływania między wnękami za pomocą zmiany pozycji na powierzchni próbki. Wyniki eksperymentalne zostały skonfrontowane z obliczeniami w formalizmie odpowiadającym przybliżeniu ciasnego wiązania zastosowanym do modów jednowymiarowej struktury fonicznej oraz z modelem opartym na Hamiltonianie sprzężonych oscylatorów harmoniczych. Otrzymano bardzo dobrą zgodność wyników doświadczalnych i teoretycznych.

W przypadku badań oddziaływania między emiterami znajdującymi się w dwóch, oddalonych mikrownkach, wykorzystane zostały podwójne sprzężone mikrownki optyczne oparte na (Cd,Zn,Mg)Te, w którym współczynnik załamania warstw regulowany jest zawartością magnezu w warstwach. Wewnątrz mikrownęk umieszczone zostały studnie kwantowe (Cd,Zn)Te, przy czym z jednej z mikrownęk znajdowały się studnie domieszkowane jonami Mn, a w drugiej mikrownęce niedomieszkowane Mn. Domieszkowanie studni w jednej z mikrownęk pozwoliło na wprowadzenie dodatkowego stopnia stero-

wania układu w postaci zewnętrznego pola magnetycznego. Próbki zostały wytworzone z równoległym gradientem grubości mikrownęk, co pozwalało regulować odstrojenie energetyczne modów optycznych od studni kwantowych poprzez zmianę miejsca na powierzchni próbki, przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnego sprzężenia między modami optycznymi. Pomiary wykazały, że w przypadku, gdy studnie kwantowe są sprzężone za pośrednictwem modu wnikowego, ich stany kwantowe ulegają zmieszaniu. Regulowane kierunkiem pola magnetycznego tunelowanie ekscytonów między sprzężonymi mikrownękami zachodzi, dzięki domieszanemu do funkcji falowej ekscytonu części fotonowej, na rekordową odległość powyżej $2\mu\text{m}$. Proces taki nie występuje w przypadku, gdy mod wnikowy jest odstrojony od studni kwantowych i ich nie sprzęga. Zaproponowany model oddziaływania studni kwantowych z modami optycznymi dobrze odtwarza dane doświadczalne.

Abstract

The main goal of this thesis is to develop methods for design and manufacturing technology of microcavities coupled in the vertical direction. The obtained results deliver new tools for light-matter interaction research. The results of two kinds of phenomena are presented: tuning the interaction strength of cavity modes and tunnelling of polaritons in structures comprised of two vertically coupled microcavities embedded and divided by distributed Bragg reflectors. The process of design of the structures using the transfer matrix method and technical aspects of structures manufacturing with the use of molecular beam epitaxy are discussed as well.

In the case of purely photonic interaction between microcavities, a system of coupled microcavities based on ZnTe – short period superlattice MgSe/ZnTe/MgTe/ZnTe system is used, in planar (1-D) and micropillar (3-D) geometry, with CdTe quantum dots embedded in one of the microcavities. The samples are manufactured with intentional perpendicular gradient of microcavities width, which allows for tuning of interaction strength between microcavities by selecting an area on the sample surface. The experimental results are confronted with calculations in the frame of tight-binding approximation and with the model based on Hamiltonian of coupled harmonic oscillators. A very good agreement between experimental results and theoretical predictions is obtained.

In the case of interaction between two emitters embedded in two separated microcavities, a system of coupled microcavities based on (Cd,Zn,Mg)Te is used, in which the refractive index is regulated by the composition of Mg in the layers. Within the microcavities, quantum wells (Cd,Zn)Te were placed. In one of the microcavities, the quantum wells were doped with Mn ions, whereas the quantum wells in the other microcavity were undoped. Doping of one of the quantum wells allowed for introduction of additional degree of freedom in the studied system by means of an external magnetic field. The samples were manufactured with parallel gradient of cavities width, which allowed regulation of energetic detuning between the optical modes and the quantum wells, while keeping optical modes in maximal coupling at all times. The measurements

showed that in the case when the quantum wells are coupled with each other by means of delocalized cavity modes, their quantum states mix. Controlled by magnetic field tunneling of excitons between coupled microcavities takes place on a record distance of over $2\mu\text{m}$, as a result of the admixture of a photon part to the exciton wave function. Such a process does not take place if the cavity modes are detuned in respect to quantum wells, and the quantum wells are not coupled. The experimental results are well explained by proposed theoretical model of interaction of quantum wells with optical modes.