

УДК 538.958

А.Н.Поддубный (4 курс, каф. ТТЭ),  
Е.Л.Ивченко, д.ф.-м.н., зав. сектором (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)

## РЕЗОНАНСНЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Фотонными кристаллами называются среды, у которых диэлектрическая проницаемость периодически меняется в пространстве с периодом, допускающим брэгговскую дифракцию света. Простейшей реализацией фотонного кристалла является структура, состоящая из двух материалов А и В с разными диэлектрическими постоянными  $\epsilon_A$  и  $\epsilon_B$ . Периодические структуры, в которых диэлектрическая проницаемость одного из композиционных материалов как функция частоты  $\omega$  имеет полюс на некоторой резонансной частоте, выделяют в особый класс *резонансных фотонных кристаллов*, в которых нормальными световыми волнами являются поляритоны.

В настоящей работе развита теория экситон-поляритонной зонной структуры резонансных трехмерных фотонных кристаллов при произвольном диэлектрическом контрасте, т.е. при произвольном соотношении между фоновыми показателями преломления композиционных материалов А или В и произвольной эффективной массе триплетного  $1s$ -экситона, который возбуждается в одном из этих материалов. Расчет проводился для периодического массива шариков А, образующих гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку и помещенных в диэлектрическую матрицу В. В диэлектрической проницаемости объемного материала А учитывались как временная, так и пространственная дисперсия, т.е. зависимости от частоты  $\omega$  и волнового вектора  $q$ .

При численном расчете использовался фотонный аналог метода Корринги–Кона–Ростокера, обобщенный с учетом экситонных эффектов. Установлено, что положение нижних ветвей поляритонной дисперсионной кривой монотонно зависит от экситонной эффективной массы и определяется взаимодействием света с несколькими первыми состояниями механического экситона, размерно-квантованного внутри каждого шарика или цилиндра. Для резонансного фотонного кристалла с диэлектрическим контрастом проанализировано, как меняется запрещенная зона структуры в направлении [001] при выборе резонансной частоты экситона посередине запрещенной зоны аналогичного фотонного кристалла, но в отсутствие экситона. Дисперсия экситонных поляритонов с учетом диэлектрического контраста представлена на рис. 1. Область частот на рисунке отрезана сверху так, чтобы остались только несколько нижних ветвей дисперсионной кривой. В отрезанной области дисперсия представлена густой сетью поляритонных ветвей, которые получаются в результате антипересечения ветвей фотонной дисперсии с плотным набором дискретных уровней размерного квантования экситона. Эта сеть имеет запутанный характер, сложный для изображения. Поэтому в данной работе поставлена цель проанализировать эволюцию нижних поляритонных ветвей с изменением параметров фотонного кристалла.

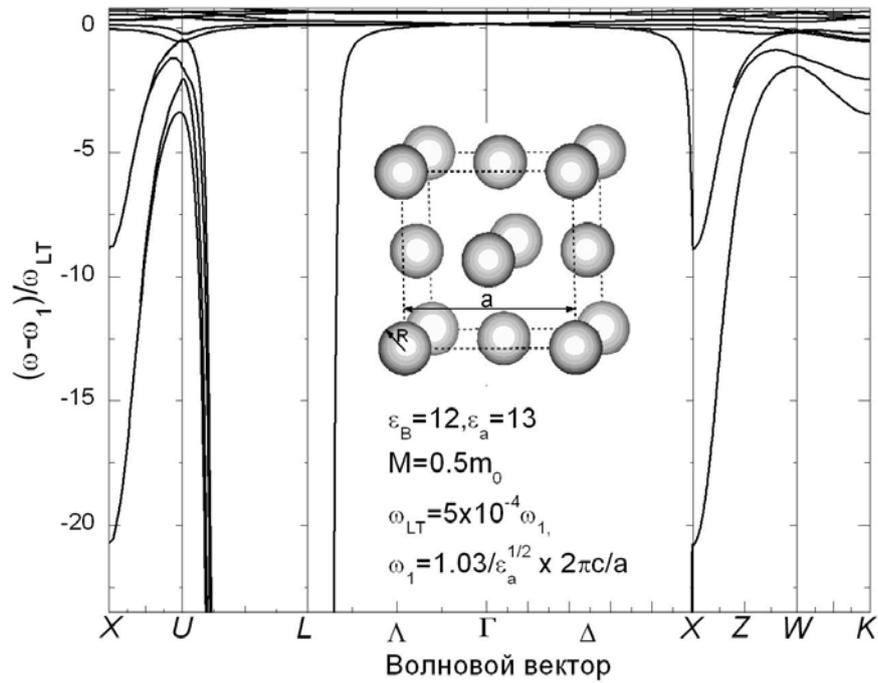


Рис. 1. Экситон-поляритонная зонная структура резонансного фотонного кристалла, в котором ГЦК решетка из шариков А помещена в матрицу В. Структура характеризуется семью параметрами:  $R$ ,  $a$ ,  $\omega_0$ ,  $\omega_{LT}$ ,  $M$ ,  $\epsilon_A$  и  $\epsilon_B$ , где  $R$  – радиус шариков,  $a$  – постоянная ГЦК решетки (см. вставку),  $\omega_0$  – резонансная частота,  $\omega_{LT}$  – продольно-поперечное расщепление и  $M$  – трансляционная эффективная масса триплетного  $1s$ -экситона в материале А,  $\epsilon_A$  – фоновая диэлектрическая проницаемость этого материала, учитывающая вклад в диэлектрический отклик всех остальных электронно-дырочных возбуждений,  $\epsilon_B$  – диэлектрическая проницаемость матрицы. Частота  $\omega_1$  определяется по формуле  $\omega_1 = \omega_0 + \hbar^2 \pi^2 / (2MR^2)$  и соответствует нижнему уровню размерного квантования механического экситона в шарике А. Численные значения параметров указаны на рисунке

Показано, что при малом диэлектрическом контрасте применимо двухволновое приближение, которое позволяет с удовлетворительной точностью аналитически описать результаты численного расчета. Основной вклад в положение нижней границы запрещенной зоны в точке  $X$  зоны Бриллюэна вносят размерно-квантованные экситонные состояния  $1s$ , взаимодействующие со световой волной симметрии  $X_5$ . Положение верхней границы определяется, главным образом, смешиванием экситона ( $1p$ ,  $m=0$ ) с фотоном симметрии  $X_5$ .