

Кулоновское увлечение дипольных экситонов в гибридной экситон-электронной системе

М. В. Боев⁺, В. М. Ковалев⁺⁺¹⁾

⁺ Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова Сибирского отделения РАН, 630090 Новосибирск, Россия

⁺⁺ Новосибирский государственный технический университет, 630073 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 9 апреля 2018 г.

Теоретически изучен эффект кулоновского увлечения газа дипольных экситонов в пространственно-разделенных двумерных квантовых ямах, содержащих электронный и экситонный газы. Эффект кулоновского увлечения экситонов может быть использован для управления транспортом экситонов в транзисторных структурах, активным элементом которых является двумерный газ дипольных экситонов. Получены выражения для кросс-проводимости экситонов в двух предельных режимах транспорта – диффузионном и баллистическом как функции температуры. Для каждого режима транспорта анализируются предельные случаи по параметру отношения длины экранирования кулоновского взаимодействия к расстоянию между газами. Показано, что при температурах, значительно превосходящих температуру вырождения экситонного газа, кросс-проводимость не зависит от температуры, а в обратном пределе обращается в нуль экспоненциальным образом.

DOI: 10.7868/S0370274X18100090

Введение. Гибридные системы на основе пространственно-разделенных электронного и экситонного газов активно изучаются в настоящее время. Взаимодействие элементарных возбуждений в такой системе проявляется в ряде физических явлений [1–8], среди которых активно изучается возможность сверхпроводимости электронного слоя, обусловленная обменом возбуждениями экситонного (или экситон-поляритонного) конденсата [8]. Значительный интерес представляет вопрос проявления кулоновского взаимодействия электронов и экситонов в транспортных свойствах гибридных экситон-электронных систем полупроводниковых наноструктур. Одним из примеров такого проявления может служить увлечение экситонного газа током электронов – эффект кулоновского увлечения – заключающийся в возникновении потока частиц в одной подсистеме за счет кулоновского взаимодействия с движущимися частицами в другой. Данный эффект изучался как теоретически, так и экспериментально для широкого класса систем [9].

При исследовании транспортных свойств двумерного экситонного газа основным подходом является анализ пространственного положения пятна экситонной люминесценции. Ток электронейтральных экситонов можно получать различными способами, например, создавая градиент электрического потен-

циала [10], электростатический конвейер [11] или с помощью увлечения поверхностными акустическими волнами [12–15]. В работе [16] высказана идея использовать эффект кулоновского увлечения экситонов для анализа их транспортных свойств, а также предложена теория данного эффекта на основе кинетического уравнения. В данной работе нами построена теория кулоновского увлечения двумерных дипольных экситонов на основе диаграммной техники с использованием формулы Кубо. Такой подход позволяет единым образом рассмотреть как квазibalлистический предел Друде–Больцмана, так и диффузионный предел. Помимо фундаментального интереса, данная задача может найти и практическое применение в свете развития технологии оптоэлектронных приборов для оптических систем коммуникации [17, 18] на основе двумерных экситонных газов.

При наличии двух подсистем проводимость является матрицей $\mathbf{j}_i = \sigma_{ij} \mathbf{E}_j$, где индексы (i, j) нумеруют подсистемы. Нас будет интересовать величина плотности тока в экситонной подсистеме при приложении поля к электронному слою $\mathbf{J} = \sigma_D \mathbf{E}$, где $\sigma_D \equiv \sigma_{21}$ – кросс-проводимость, являющаяся скалярной величиной в отсутствие магнитного поля. Плотность тока нейтральных экситонов имеет размерность $[\mathbf{J}] = 1/\text{см} \cdot \text{с}$, поэтому в настоящей задаче размерность кросс-проводимости $[\sigma_D] = e/\hbar$. Будем рассматривать следующую структуру (рис. 1): под электронным слоем на расстоянии l располагается

¹⁾ e-mail: vadimkovalev@isp.nsc.ru