

# Акустоэкситонные эффекты в двумерном газе дипольных экситонов

М. В. Боев,<sup>+</sup> В. М. Ковалев,<sup>+×</sup> А. В. Чаплик<sup>+\*1)</sup>

<sup>+</sup>Институт физики полупроводников им. Ржанова СО РАН, 630090 Новосибирск, Россия

<sup>\*</sup>Новосибирский Государственный Университет, 630090 Новосибирск, Россия

<sup>×</sup>Новосибирский Государственный Технический Университет, 630095 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 27 июня 2016 г.

Излагается теория эффектов взаимодействия двумерного газа непрямых дипольных экситонов с поверхностными упругими волнами релеевского типа. Рассматриваются эффекты поглощения и перенормировки фазовой скорости поверхностной волны, эффект увлечения экситонов поверхностной звуковой волной и генерация объемных звуковых волн двумерным газом дипольных экситонов под действием внешнего электромагнитного излучения. Указанные эффекты изучаются как при высоких температурах – в нормальной фазе, так и в конденсатной фазе экситонного газа. Вычисления проводятся в баллистическом и диффузионном пределах в обеих фазах.

DOI: 10.7868/S0370274X16150133

**1. Введение.** Акустические методы исследования элементарных возбуждений широко применяются в физике твердого тела. Сформировалась специальная область – акустоэлектроника, занимающаяся исследованием эффектов, основным механизмом которых является взаимодействие упругих волн с носителями заряда в кристаллах [1]. Измерение характеристик звуковой волны, распространяющейся в твердом теле, позволяет получать информацию о свойствах возбуждений полупроводниковых наноструктур. В частности, поверхностные акустические волны (ПАВ) использовались при изучении свойств двумерного электронного газа [2].

В недавних экспериментальных работах ПАВ использовались для изучения двумерных газов дипольных экситонов [3–5] и экситонных поляритонов [6, 7] в широких одиночных или двойных квантовых ямах. Дипольные экситоны в таких структурах, будучи бозе-частицами, демонстрируют широкий спектр интересных физических эффектов, наиболее интригующим из которых является бозе-конденсация [8–14]. Существенное увеличение рекомбинационного времени жизни экситонов в таких структурах позволяет накапливать их в основном состоянии в достаточном количестве для экспериментального получения бозе-конденсата с критической температурой  $T_c$  порядка нескольких кельвин [8–14].

Для экспериментального подтверждения существования экситонного конденсата исследуется по-

ведение линии экситонной люминесценции изучаемой структуры. При понижении температуры или, чаще, при увеличении концентрации экситонов, резкое сужение линии люминесценции говорит о формировании когерентного состояния экситонов, которое *обычно называют* бозе-эйнштейновским конденсатом (БЭК). Кроме этого, существует техническая возможность выделения световых лучей от пространственно разнесенных точек экситонного газа и наблюдения их интерференции, что также говорит о формировании макроскопически когерентного состояния [15].

Появление экспериментальных работ, в которых экситоны изучались с помощью воздействия на них ПАВ, стимулировали нас к построению теории акустоэкситонных эффектов в двумерном экситонном газе. Последняя, с нашей точки зрения, развита недостаточно полно, особенно в свете современных экспериментальных возможностей создания экситонного конденсата и управления движением экситонной жидкости. Предлагаемый обзор посвящен теории эффектов взаимодействия ПАВ с 2D экситонным газом как выше, так и ниже критической температуры.

Обычно рассматривают два типа ПАВ: волны Релея и Гуляева–Блюштейна. Последний тип волн существует лишь на поверхности пьезоэлектрических кристаллов и сопровождается квазистатическим электрическим полем, которое может приводить к ионизации (распаду) экситонов. Поэтому в экспериментах целесообразнее использовать ПАВ первого – релеевского – типа. В случае пьезоэлек-

<sup>1)</sup>e-mail: chaplik@isp.nsc.ru