

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Заболотных Андрея Адександровича  
"Свойства плазменных возбуждений в двумерных электронных системах",  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.04.10 – "физика полупроводников"

Диссертационная работа А.А. Заболотных посвящена исследованию свойств плазменных возбуждений в двумерных (2D) электронных системах. Несмотря на то, что плазменные волны (или плазмоны) в 2D системах изучаются уже несколько десятилетий, интерес к ним до сих пор не ослабевает. В диссертации исследуются свойства плазмонов в высокопроводящих 2D системах, когда важен учёт электромагнитного запаздывания, что является актуальным в связи с развитием технологии получения высокопроводящих 2D систем и появлением экспериментов по наблюдению плазмонов в таких системах. В диссертации получены условия, при которых краевые плазменные колебания, а также объёмные плазмоны в магнитном поле в диссипативной 2D электронной системе становятся слабозатухающими. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования источников и приёмников терагерцового излучения, работающих на плазмонном принципе.

В первой главе диссертации исследуются свойства магнитоплазмонов с учётом электромагнитного запаздывания в 2D системе с диссипацией. Из литературы известно, что без магнитного поля, плазмон-поляритоны становятся слабозатухающими в диссипативной системе, если проводимость системы сравнима или больше, чем скорость света. В главе показано, что если систему поместить во внешнее постоянное магнитное поле, то плазмон-поляритоны становятся слабозатухающими даже в системах с низкой проводимостью. Кроме того, получено, что в спектре магнитоплазмон-поляритонов появляется дополнительная ветвь, которая имеет точку окончания.

Во второй главе исследуется спектр краевого-плазмон поляритона, распространяющегося вдоль края диссипативной 2D системы. При решении задачи используется модель резкого скачка электронной концентрации на краю. Диссипация описывается с помощью объёмного времени релаксации импульса. Показано, что краевой плазмон-поляритон, как и объёмный, становится слабозатухающим даже при частотах, меньших обратного времени релаксации, если проводимость системы велика по сравнению со скоростью света.

В третьей главе диссертации рассмотрен параметрический резонанс в 2D электронной системе в магнитном поле, находящейся под действием микроволнового излучения. Исследование такого резонанса мотивировано экспериментальными работами по фотоотклику 2D систем в магнитном поле, в которых наблюдался пик в продольном сопротивлении высокоподвижных 2D систем при частоте микроволнового излучения, равной удвоенной циклотронной частоте электронов в системе. Отклик системы ищется в рамках нелинейного уравнения гидродинамики для средней скорости электронов. Получено, что для появления параметрического резонанса и, соответственно, отклика на удвоенной циклотронной частоте, электрическое поле, действующее на электроны в 2D системе, должно быть достаточно неоднородным, а сама система – достаточно чистой; в главе получено условие, связывающее эти параметры.

К третьей главе имеется одно замечание: автор пользуется гидродинамическими уравнениями для электронной жидкости, не приводя их обоснования. В условиях

описываемой работы PRL **105**, 246802 (2010) гидродинамический режим не реализуется: частота электрон-электронных столкновений  $\nu_{ee} \sim T^2 \ln(E_F/T)/E_F \approx 5 \times 10^8 \text{ с}^{-1}$  не превышает ни частоту внешнего поля  $\sim 100$  ГГц, ни циклотронную частоту  $\sim 50$  ГГц. В связи с этим неясно, является ли гидродинамический режим, предположенный диссертантом, необходимым условием для явления параметрического плазмонного резонанса? Или же указанные резонансные явления являются универсальными, а гидродинамика является лишь наиболее простым языком для описания?

Данное замечание не умаляет общего высокого уровня работы, который подтверждается публикациями в ведущих журналах (Phys. Rev. B, Письма в ЖЭТФ), а также докладами на российских и международных конференциях. Судя по автореферату, диссертационная работа представляет вполне законченную работу, выполненную на высоком уровне. По моему мнению, она отвечает всем требованиям ВАК РФ, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – "физика полупроводников".

29 мая 2017 г.

кандидат физико-математических наук,

заведующий лабораторией оптоэлектроники двумерных материалов

Московского физико-технического института

Дмитрий Александрович Свинцов

Адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

e-mail: [svintcov.da@mipt.ru](mailto:svintcov.da@mipt.ru)

тел: +7 926710 84 91

Подпись Д.А. Свинцова заверяю

ученый секретарь Московского физико-технического института

Юрий Иванович Скалько

