

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

Зарезина Алексея Михайловича

«Плазменные возбуждения в частично экранированных двумерных электронных системах»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Диссертация Зарезина А.М. посвящена исследованию плазменных мод в двумерных системах (2ДЭС) с различной конфигурацией затворов. Актуальность тематики связана с обширными приложениями 2ДЭС для детектирования, генерации и модуляции СВЧ излучения. Возбуждение плазменных колебаний в 2ДЭС открывает интересные возможности для частотно-селективного детектирования и даже спектроскопии излучения с помощью единичных приемников. Наличие плазменных колебаний в 2ДЭС может оказывать существенное влияние на процессы модуляции СВЧ излучения, селективно подавляя или усиливая взаимодействие излучения и вещества.

Во введении к диссертации корректно отмечено, что ранние исследования плазмонов в 2ДЭС относились в основном к предельным случаям неэкранированных и экранированных возбуждений. В реальности, все приборы современной СВЧ электроники являются «частично экранированными» - как из-за конечных размеров затвора во всех направлениях, так и из-за наличия металлических контактов стока и истока, которые лишь частично экранируют заряды в 2ДЭС. Свойства плазменных колебаний в таких сложных (но реалистичных) структурах исследовались ранее в основном теоретически, при этом применялись полностью численные методы или непрозрачное электромагнитное моделирование. В диссертации Зарезина А.М. выделяются «базовые блоки» таких составных систем, поддерживающие плазменные возбуждения, и анализируются свойства таких возбуждений. Главы 3-4 посвящены исследованию плазмонов в частично экранированных затвором 2ДЭС, глава 5 посвящена плазмонам на границе «2ДЭС – металлический контакт».

Результаты проведенных измерений зависимости резонансной частоты от магнитного поля и геометрических параметров 2ДЭС и затворов сравниваются с теоретическими моделями, разработанными коллегами соискателя из ИРЭ РАН. Результаты теории и эксперимента демонстрируют хорошее согласие друг с другом. При этом соискатель не ограничивается «чужими» теоретическими моделями, но и строит собственные схемотехнические LC-модели для наблюдаемых резонансов. Это достижение является чрезвычайно важным для дальнейшей реализации компактных SPICE-моделей СВЧ - устройств на основе 2ДЭС и анализа их частотных характеристик.

Наиболее значимыми результатами соискателя являются

- экспериментальное обнаружение «проксимити»-плазмонов в двумерных электронных системах с затвором в виде тонкой полосы;
- экспериментальное обнаружение «проксимити» - плазмонов в двумерных системах с затвором в форме диска;
- обнаружение нового класса плазменных резонансов в структурах, где затвор к 2ДЭС имеет электрическое соединение с контактом, исследование гибридизации этих мод с электромагнитными модами LC-резонатора, образованного емкостью затвора и индуктивностью соединительных проводов;
- исследование плазменных мод в 2ДЭС с боковым затвором.

Диссертация написана на очень высоком научном уровне. Результаты диссертации опубликованы в восьми статьях в международных рецензируемых журналах, количество публикаций значительно превосходит минимальные требования ВАК к публикациям при защите кандидатской диссертации. Работы соискателя хорошо известны в России и

представлялись неоднократно на ведущих конференциях по физике твердого тела и полупроводниковой электронике.

Касательно представленных результатов у меня имеется пара замечаний и вопросов.

1. Автор зачастую использует новый термин «релятивистского» плазмона. При этом в уравнении (11) для его частоты вообще не содержится проводимости в единицах скорости света или произведения проводимости 2ДЭС на импеданс свободного пространства. Более того, из формулы (11) не ясно, будет ли мода, связанная с соединением затвора и 2ДЭС наблюдаться в «нерелятивистском режиме» $2\pi\omega/c < 1$ (видимо, да). Тогда почему же эта мода называется «релятивистской»?

2. В описании взаимодействия двумерного плазмона с краевым затвором неясно происхождение аргумента логарифма в формуле (20). С другой стороны известно, что конечная толщина металлической пластины «сглаживает» сингулярность электрического поля вблизи края и дает конечное значение емкости структур с «щелевыми» контактами. Может ли конечная толщина металлического затвора объяснить эксперимент на рис. 11 с, а именно стремление плазменной частоты к конечному пределу для очень узких щелей?

Вынесенные замечания не снижают общей высокой научной и практической значимости работы А.М. Зарезина. Работа выполнена на очень высоком уровне и соответствует требованиям к диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук, а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

Старший научный сотрудник – заведующий лабораторией оптоэлектроники двумерных материалов

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

К. ф.-м. н. по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Свинцов Дмитрий Александрович

18 июня 2025 года

141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.
svintcov.da@mipt.ru +7 926 710 84 91

Подпись Свинцова Дмитрия Александровича заверяю

Секретарь ученого совета МФТИ

д.э.н. Евсеев Евгений Григорьевич



Я, Свинцов Дмитрий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.136.01 (ДОО2.100.02), и их дальнейшую обработку.

Свинцов Дмитрий Александрович