

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о работе Андреева Ивана Владимировича по диссертации «Высокочастотная проводимость и коллективные эффекты в двумерных электронных системах», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

Андреев Иван Владимирович пришел в Лабораторию Неравновесных Электронных Процессов ИФТТ РАН в 2007 году студентом 3-го курса МФТИ. За время работы в ИФТТ РАН в полной мере проявились его разнообразные способности в области научных исследований, в освоении различных, сложных экспериментальных микроволновых, транспортных и оптических методик, а также в изучении современных теоретических работ по низкоразмерным электронным системам.

Андрееву И. В. была поставлена новая для нашей лаборатории методическая задача, цель которой заключалась в исследовании микроволнового отклика двумерных электронных систем при помощи бесконтактной микрополосковой методики, основанной на измерении затухания высокочастотного сигнала, распространяющегося вдоль копланарного волновода, нанесенного на поверхность образца. Данная методика позволяет измерять высокочастотную проводимость и осуществлять спектроскопию микроволнового поглощения в двумерных системах. Последовательно развивая эту методику измерений, Андреев И. В. с её помощью успешно решил три актуальные физические задачи в области экспериментального исследования микроволнового отклика двумерных электронных систем.

Первая задача связана с экспериментальным исследованием так называемых акустических краевых магнитоплазменных мод в двумерных электронных системах в режиме целочисленного квантового эффекта Холла. Эти моды имеют сложный мультипольный характер распределения зарядовой плотности, поэтому их возбуждение и наблюдение в эксперименте крайне затруднено. До настоящего времени было опубликовано лишь несколько работ по исследованию акустических краевых магнитоплазмонов в двумерных электронных системах в полупроводниковых гетероструктурах, данные в которых весьма скудны и имеют противоречивый характер. Андрееву И. В. удалось реализовать методически нетривиальную технологию изготовления экспериментальных образцов при помощи неглубокого травления, которая позволяет получать двумерные электронные системы с рекордными ширинами области краевого обеднения вплоть до 10 мкм. Такое уширение краевой области приводит к увеличению масштаба пространственного разделения заряда в акустических краевых магнитоплазменных модах. Это существенно облегчило их возбуждение и наблюдение, и позволило Андрееву И. В. исследовать их дисперсию и магнитодисперсию в широком диапазоне магнитных полей и факторов заполнения. При этом был получен важный нетривиальный физический результат: число акустических магнитоплазменных мод в системе оказывается равным числу несжимаемых полосок на её краю. Этот результат открывает дорогу для новых методов исследования краевых состояний двумерных систем в режиме квантового эффекта Холла.

Вторая задача посвящена исследованию взаимодействия плазменных возбуждений в двумерной электронной системе и фотонных мод копланарного микрорезонатора. В ходе решения этой задачи Андрееву И. В. удалось показать, что эти возбуждения гибридизуются между собой, тем самым реализуя новый тип плазмон-поляритонной системы с сильной связью. При этом константу связи можно контролируемо перестраивать в широких пределах, изменяя концентрацию двумерных электронов в

системе. Реализация новой поляритонной системы с сильной и перестраиваемой связью имеет важное значение для исследования неадиабатических эффектов квантовой электродинамики резонатора.

Третья задача была связана с исследованием СВЧ-индуцированных осцилляций в высокочастотной проводимости двумерных электронных систем. Это интересное явление в физике двумерных электронных систем до сих пор не получило вполне удовлетворительного теоретического объяснения, более того, до сих пор не до конца понятно, является ли оно одночастичным или коллективным эффектом. Ранее, как правило, СВЧ-индуцированные осцилляции наблюдались в проводимости, измеренной на постоянном токе. Известно лишь несколько работ, в которых удалось наблюдать такие осцилляции в проводимости двумерных систем, измеренной на переменном токе в геометрии Корбино либо в поглощении объёмного резонатора, в котором был размещён образец. При этом в обоих случаях авторы данных работ были существенно ограничены в динамическом диапазоне частот измерительного сигнала. Поэтому дальнейшее исследование СВЧ-индуцированных осцилляций в высокочастотном отклике двумерных электронных систем и исследование влияния на них частоты измерительного сигнала является актуальной задачей. Андрееву И. В. удалось при помощи микрополосковой методики измерения высокочастотной проводимости показать, что СВЧ-индуцированные осцилляции наблюдаются и в высокочастотной проводимости двумерных систем, измеренной бесконтактным способом. Он исследовал зависимость амплитуды этих осцилляций от частоты измерительного сигнала в диапазоне 0.5-10 ГГц, и показал, что эта амплитуда убывает с ростом частоты измерительного сигнала. Полученный результат может иметь значение для определения природы СВЧ-индуцированных осцилляций магнитосопротивления двумерных электронных систем.

В результате успешного использования разработанных оригинальных экспериментальных методов Андреевым И.В. был получен целый ряд важных научных результатов, среди которых можно выделить следующие:

1. В образцах, изготовленных при помощи методики неглубокого травления, впервые удалось возбудить и исследовать свойства акустических краевых магнитоплазменных мод в условиях целочисленного квантового эффекта Холла. Показано, что размер области краевого обеднения имеет первостепенное значение для наблюдения этих новых мод.
2. Установлено, что количество акустических мод непосредственно определяется количеством несжимаемых полосок на краю системы.
3. Обнаружено, что при понижении температуры в спектре плазменных возбуждений возникают дополнительные акустические краевые моды, связанные со спиновым расщеплением в энергетическом спектре системы.
4. В сигнале пропускания копланарных микрорезонаторов, сформированных на поверхности гетероструктур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs обнаружен ряд новых резонансов, соответствующих гибридизации фотонных мод микрорезонатора с плазменными возбуждениями в электронной системе.
5. Показано, что СВЧ-индуцированные осцилляции магнитосопротивления в двумерных электронных системах наблюдаются не только в контактных, но и в бесконтактных измерениях высокочастотной проводимости вплоть до частот измерительного сигнала 10 ГГц.

Исследования, проведенные Андреевым И.В., хорошо известны в мировом научном сообществе и опубликованы в самых престижных научных журналах.

Особо следует отметить, что Андреев И.В. освоил в чистой комнате ИФТТ РАН все основные технологические процедуры (самые современные технологии фотолитографии и электронной литографии), что позволило Ивану Владимировичу изготавливать самостоятельно самые разнообразные полупроводниковые структуры, необходимые для его исследований. В результате он вырос в самостоятельного физика-экспериментатора, способного ставить и решать научные задачи.

Среди многих замечательных качеств, отличающих Андреева И.В. нельзя не отметить его заинтересованность в результатах научных исследований, творческий подход и глубокое осмысление поставленной задачи, восприимчивость к новым идеям и методикам. К уникальным свойствам Ивана Владимировича следует отнести его блестящие способности по представлению полученных результатов: он всегда тщательно готовит доклад и делает его очень уверенно и убедительно.

Диссертационная работа Андреева И.В. содержит ряд новых интересных результатов, научная достоверность которых не вызывает сомнения. Полученные результаты имеют большое значение для понимания физики низкоразмерных электронных систем. Результаты диссертационной работы полно и своевременно опубликованы в ведущих научных физических журналах, докладывались на Всероссийских и международных конференциях и семинарах. Во время работы над диссертацией Андреев Иван Владимирович являлся соисполнителем научных грантов РФФИ и РНФ.

Учитывая вышесказанное, считаю, что диссертация Андреева И. В. удовлетворяет всем требованиям ВАК, а её автор – Андреев Иван Владимирович – безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:
профессор, академик РАН,
д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 –
физика конденсированного состояния

И.В. Кукушкин

« 2 » октября 2020 г.

Подпись Кукушкина И.В. заверяю:



УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИФТТ РАН
ТЕРЕЩЕНКО А.Н.