



ФАНО РОССИИ

Институт физики микроструктур РАН

– филиал Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук»
(ИФМ РАН)

603087, Нижегородская обл., Кстовский район,
д. Афоново, ул. Академическая, д.7
тел.: 831- 4179473, факс: 831- 4179464
почта: 603950 Н.Новгород ГСП-105
E-mail: director@ipmras.ru; http://www.ipmras.ru
ОГРН 1025203020193
ИНН/КПП 5260003387/525043001

__19__09__ 2017 № _____

На № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФМ РАН - филиала
Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
"Федеральный исследовательский
центр прикладной физики
академии наук",
ответственный РАН, д.ф.-м.н.

_____/ З.Ф.Красильник

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Будкина Григория Владимировича "Фотогальванические эффекты и нелинейный транспорт в квантовых ямах и топологических изоляторах, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

В последнее десятилетие был проведен ряд экспериментов по наблюдению постоянных токов и фотоэдс при освещении низкоразмерных систем излучением с энергией кванта, соответствующей внутризонному поглощению, в магнитном поле. Было обнаружено увеличение постоянного тока при совпадении частоты излучения с циклотронной частотой или с удвоенной циклотронной частотой. Возникла необходимость адекватного описания наблюдаемых явлений. Диссертация Г.В.Будкина в значительной степени посвящена созданию последовательной теории возникновения постоянного фототока в таких условиях. Поэтому тема диссертации является, безусловно, актуальной. Следует отметить направленность диссертации на теоретическое объяснение наблюдаемых в эксперименте явлений, что является несомненным её достоинством.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении обоснована актуальность темы исследований, определены цель и задачи работы, показаны научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Кроме того, во введении анонсируется содержание диссертации и приводятся сведения об апробации работы.

Первая глава диссертации содержит обзор литературы по современному состоянию исследований в области фотогальванических эффектов. Кроме этого в этой главе разработана микроскопическая теория генерации постоянных фототоков, обусловленной анизотропным рассеянием в процессе поглощения излучения.

Во второй главе диссертации проведено теоретическое исследование фототоков, возбуждаемых в поверхностных состояниях в объемных топологических изоляторах на основе напряженных слоев HgTe. Дается сопоставление теоретических результатов с экспериментальными данными.

В третьей главе рассмотрено явление увлечения электронов фотонами в двумерных структурах. Разработана микроскопическая теория этого явления в постоянном магнитном поле, нормальном к плоскости структуры. Показано, что теория количественно описывает экспериментальные результаты, полученные для квантовых ям InSb.

В четвертой главе рассчитаны спиновые и электрические фототоки, обусловленные асимметричным спин-зависимым рассеянием на фононах в процессах энергетической релаксации фотоэлектронов. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, полученными для квантовых ям HgTe критической толщины.

В пятой главе диссертации разработана теория эффекта магнитного орбитального храповика в двумерных структурах с пространственно-осциллирующим магнитным полем. Показано, что частотные зависимости фототоков определяются доминирующим механизмом упругого рассеяния.

К числу наиболее **научно-значимых** результатов, полученным автором, относятся следующие:

1. Построена микроскопическая модель фотогальванических эффектов в квантовых ямах во внешнем магнитном поле. Показано, что постоянный фототок многократно усиливается при совпадении частоты излучения с циклотронной частотой или её второй гармоникой (в последнем случае только при циркулярной поляризации волны).
2. Разработана теория возникновения поверхностных токов в объемных топологических изоляторах на основе напряженных пленок HgTe, которая позволяет объяснить основные экспериментальные данные, полученные в таких образцах.
3. Построена теория увлечения электронов фотонами в условиях циклотронного резонанса в квантовых ямах. Показано, что эта теория хорошо описывает экспериментальные данные, полученные в структурах с квантовыми ямами InSb.
4. Построена теория эффекта храповика в структурах с латеральной магнитной сверхрешеткой. Определены два механизма генерации постоянного фототока: механизм связанный с неоднородным нагревом и механизм, обусловленный периодическим распределением электронов. Показано, что направления и амплитуды фототоков зависят от доминирующего механизма упругого рассеяния электронов.

Исследования, проведенные в ходе выполнения диссертационной работы выполнены на мировом научном уровне, что подтверждается уровнем цитирования работ автора диссертации (54 по данным Web of Science за 2017 г) и публикацией работ в журналах Phys Rev.B и ЖЭТФ.

Научная новизна работы состоит в (i) разработке теории фотогальванических эффектов и эффектов увлечения электронов фотонами в квантовых ямах в магнитном поле, (ii) теоретическом изучении магнитоиндуцированных эффектов в квантовых ямах HgTe критической толщины, обусловленные асимметричным спин-зависимым электрон-фононным взаимодействием, (iii) построении теории эффекта храповика в структурах с пространственно осциллирующим магнитным полем, (iv) вычислении волновых функций и циклотронных масс в поверхностных состояниях в напряженных пленках HgTe.

Практическая значимость работы состоит в создании теоретического базиса для интерпретации результатов экспериментов по наблюдению постоянных фототоков в структурах с квантовыми ямами и топологическом изоляторе на основе деформированных слоев HgTe.

Достоверность и надежность полученных результатов обусловлена использованием адекватного аппарата для описания рассматриваемых явлений и подтверждается хорошим согласием теоретических выводов с результатами эксперимента.

Диссертация не лишена недостатков, среди которых необходимо отметить следующие:

1. Уравнение (1.27) содержит априорно заданную неравновесную функцию распределения горячих электронов. Было бы более последовательно находить эту функцию решая уравнение Больцмана с учетом электрон-электронного рассеяния и разогрева электронного газа.
2. Результаты расчетов приведенных на рис. 2.3 выполнены для нулевого поля E_z , а не для поля $E_z = 0.5$ кВ/см как указано в подписи к рисунку.
3. В параграфе 4.3 не учитывается спиновое расщепление, обусловленной понижением симметрии на гетерогранице, которое приводит к появлению конечной ширины запрещенной зоны в квантовых ямах HgTe критической толщины (на что было указано в работе S.A.Tarasenko et al. Phys.Rev.B, **91**,081302 (2015)). В диссертации следовало бы обсудить, как повлияет на результаты данного параграфа это расщепление.
4. Автор диссертации не объясняет из каких соображений в выражении (3.2) остаются только две компоненты тензора третьего ранга χ .

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Большая часть замечаний носит рекомендательный или стилистический характер.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при исследовании фототоков в низкоразмерных структурах в ИПФ РАН, в ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН, Институте физики твердого тела РАН, Институте общей физики РАН, Институте физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН, а также в ряде других научных учреждений.

Работы автора диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах (все из списка ВАК), неоднократно докладывались на российских и международных конференциях и известны специалистам.

В диссертационной работе Будкина Г.В. решен ряд теоретических задач, имеющих важное значение для физики низкоразмерных полупроводниковых структур. По объему полученных результатов, научной и практической значимости диссертационная работа отвечает требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Будкин Григорий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.02 – теоретическая физика.

Г.В.Будкина заслушан на семинаре Отдела физики полупроводников ИФМ РАН 19.09.2017. Отзыв составлен главным научным сотрудником ИФМ РАН д.ф.-м.н. наук проф. В.Я Алешкиным и обсужден на заседании семинара.

Гл.научн. сотр. ИФМ РАН д.ф.-м.н. проф.

В.Я.Алешкин

Председатель семинара

Зам.директора ИФМ РАН, зав.отд.

физики полупроводников д.ф.-м.н. проф.

В.И.Гавриленко