

Отзыв

официального оппонента Тарасенко Сергея Анатольевича на диссертацию Быкова Антона Юрьевича «Оптические и нелинейно-оптические эффекты в наноматериалах с линейным электронным спектром», представленную в диссертационный совет Д 501.001.31 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа А.Ю. Быкова посвящена исследованию линейных и нелинейных оптических свойств структур на основе графена и теллурида висмута. Особое внимание уделено изучению эффектов генерации второй гармоники, механизмов оптического возбуждения фононной и электронной подсистем и их последующей релаксации, применению нелинейной оптической спектроскопии и микроскопии для характеристики наноструктур и исследования динамики носителей заряда и кристаллической решетки. **Актуальность** темы исследований не вызывает сомнений, поскольку физика графена и топологических изоляторов, к которым относится теллурид ртути, переживает в настоящее время период бурного развития. Носители заряда в графене и на поверхности кристаллов с нетривиальной топологией зонной структуры характеризуются линейным энергетическим спектром, что делает эти материалы чрезвычайно привлекательными как для фундаментальных физических исследований, так для и возможных приборных применений в электронике и оптоэлектронике.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключение и списка литературы.

Во Введении сформулированы цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, обоснованы актуальность и новизна исследований, описаны личный вклад автора, научная и практическая значимость работы.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертации. Приведено краткое описание нелинейных оптических явлений в твердых телах, в том числе эффекта генерации второй гармоники, обусловленного протеканием электрического тока в образце или связанного с нарушением инверсионной симметрии на поверхности, и эффекта просветления. Описаны современные экспериментальные методы линейной и нелинейной оптической спектроскопии. Проанализированы электронная структура и оптические свойства графена и топологических изоляторов.

Вторая глава диссертации посвящена экспериментальному изучению эффекта генерации второй гармоники в многослойном графене. Автором выполнены измерения квадратичного нелинейно-оптического отклика графеновых структур на подложках кремний/оксид кремния и стекле, которые свидетельствуют о поликристалличности исследованных образцов и отсутствии выделенных направлений в плоскости. Интересными и очень плодотворными представляются проведенные исследования гиперрэлеевского рассеяния света и работы по микроскопии второй оптической гармоники. Полученные результаты показали, что структуры обладают сильной пространственной неоднородностью, позволили оценить характерные длины корреляции квадратичной восприимчивости и связать эффект некогерентной генерации второй гармоники с границами между кристаллитами графена. Ярким результатом главы является первое в мире обнаружение и подробное исследование эффекта генерации второй гармоники в графеновых структурах, индуцированного протеканием электрического тока. Измеренные поляризационные зависимости такого электрооптического эффекта согласуются с феноменологической теорией.

В третьей главе диссертации описаны результаты проведенных автором исследований линейных оптических свойств монокристаллов Bi_2Te_3 . Исследование спектров отражения в экспериментах «накачка-зондирование» с высоким временным разрешением позволило разделить и проанализировать вклады электронной и фононной подсистем в оптический отклик. Анализ результатов показывает, что быстрые осцилляции коэффициента отражения

после импульса накачки определяются когерентным возбуждением фононных мод, активных при комбинационном рассеянии, а плавная огибающая коэффициента отражения – процессами возбуждения, энергетической релаксации и диффузии носителей заряда, а также нагревом и остыванием кристаллической решетки. Важным результатом главы, имеющим практическое значение, является наблюдение и определение параметров всех 4 фононных мод, активных при комбинационном рассеянии, в том числе зависимости констант затухания мод от температуры.

Четвертая глава диссертации посвящена изучению динамики нелинейного оптического отклика тонких пленок Bi_2Te_3 после импульса накачки и является естественным продолжением предыдущей главы. Наиболее интересным результатом главы представляется регистрация в отклике на удвоенной частоте как двух ИК-активных фононных мод объемного кристалла, так и дополнительной фононной моды. Появление этой моды в оптическом отклике обосновано связывается с поверхностью кристалла и понижением симметрии на поверхности. Продемонстрированы также возможности нелинейной оптической спектроскопии для изучения динамики размагничивания и восстановления спинового порядка в гибридных структурах топологический изолятор/ферромагнетик.

Результаты, полученные в диссертации, надежно **обоснованы**. Их **достоверность** обусловлена применением высокочувствительных методов измерений и современного экспериментального оборудования, воспроизводимостью экспериментальных данных и хорошим согласием с результатами симметричного анализа и модельных расчетов.

Полученные результаты являются **новыми, научно значимыми** и вносят важный вклад в развитие оптики графена и структур на основе топологических изоляторов.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. При анализе эффекта генерации второй гармоники, индуцированного током в графеновых структурах, было бы полезно обсудить возможные микроскопические механизмы данного эффекта в условиях эксперимента, когда энергия фотонов значительно превышает энергию Ферми носителей заряда. Играть ли роль фотовозбужденные носители заряда в формировании нелинейного отклика?
2. При описании временной зависимости нелинейного оптического отклика пленок Bi_2Te_3 было бы полезно обсудить возможную роль процессов фононного теплопереноса.
3. Диссертационная работа содержит ряд опечаток и неточностей. В формулах для диэлектрической проницаемости на стр. 25 и 103, по-видимому, перепутан знак у мнимой части диэлектрической проницаемости. Подпись на рис. 2.14(б) на стр. 82 содержит опечатку в обозначении поляризации света. Знаки в формулах (1.47) и (1.48) на стр. 54 не согласованы друг с другом. На стр. 122 для обозначения зеркально-поворотных осей кристалла используется необычный термин «роторефлекторные оси».

Отмеченные недостатки не являются существенными и не влияют на общую, положительную, оценку работы.

В целом, диссертационная работа А.Ю. Быкова выполнена на высоком научном уровне, отличается ясностью и логичностью изложения и вносит важный вклад в оптику твердого тела. Результаты, составившие основу диссертации, опубликованы в ведущих российских и международных научных журналах: Письма в ЖЭТФ, Physical Review B, Optics Letters, многократно докладывались автором на конференциях. Основное содержание и выводы диссертации адекватно и достаточно полно отражены в автореферате.

Считаю, что диссертационная работа А.Ю. Быкова «Оптические и нелинейно-оптические эффекты в наноматериалах с линейным электронным спектром» полностью соответствует критериям "Положения о присуждении ученых степеней" для ученой степени кандидата наук, утвержденного постановлением Правительства от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

27 сентября 2016

Официальный оппонент

Тарасенко Сергей Анатольевич

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,

Адрес: ул. Политехническая, д. 26, Санкт-Петербург, 194021

e-mail: tarasenko@coherent.ioffe.ru

тел.: (812)2927155

С.А. Тарасенко

Подпись Тарасенко С.А. заверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

д.ф.-м.н, профессор



А.П. Шергин