

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук**

Попковой Анны Андреевны

**на тему: «Оптические эффекты генерации второй и третьей гармоник и
сверхбыстрого переключения в наноструктурах на основе двумерных
материалов» по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»**

Актуальность темы работы

Диссертация Попковой Анны Андреевны посвящена экспериментальному исследованию нелинейно-оптических эффектов в наноструктурах на основе слоистых двумерных Ван-дер-Ваальсовых материалов, включая генерацию второй и третьей оптических гармоник и сверхбыстрое оптическое переключение. Двумерные материалы, и в особенности наноструктуры на их основе, представляют большой интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения будущих практических применений в компактных электронных, оптоэлектронных и фотонных устройствах на чипе. Нелинейная нанофотоника двумерных материалов является в данный момент одним из наиболее интересных в практическом плане направлений исследований в этой области. Различные типы двумерных Ван-дер-Ваальсовых материалов, такие как графен, дихалькогениды переходных металлов и гексагональный нитрид бора, характеризуются довольно высокими, а в некоторых случаях рекордными, показателями оптической нелинейности. Дальнейшее усиление нелинейно-оптических эффектов за счет формирования наноструктур и использования резонансных эффектов, изучаемое в данной работе, позволит в будущем разработать новые типы активных оптических устройств. С фундаментальной точки зрения, работа вносит вклад в исследование механизмов генерации оптических гармоник и сверхбыстрой модуляции

спектров отражения в новых типах материалов и структур на их основе. Таким образом, тема работы без сомнения является актуальной.

Структура и содержание диссертации

Основная часть диссертации состоит из введения, четырех глав и заключения. В первой главе диссертации приводится детальный обзор литературы по исследуемой теме. В главах 2-4 приводятся результаты экспериментальных исследований. Текст работы написан ясным и лаконичным языком, а материал хорошо иллюстрирован. Объем диссертации составляет 147 страниц, включая 92 рисунка. Список литературы содержит 178 пунктов.

Достоверность и новизна результатов

К числу основных результатов работы можно отнести следующие.

1. Был продемонстрирован и описан эффект генерации третьей гармоники в слоистом гексагональном нитриде бора, включая количественные оценки величины нелинейной восприимчивости третьего порядка и зависимости эффективности генерации от количества слоев. Результат является новым, поскольку ранее генерация третьей оптической гармоники в подобной структуре детально не изучалась.

2. Был экспериментально исследован и описан эффект усиления генерации второй гармоники в нанодисках из дисульфида молибдена за счет резонансов Ми и резонанса в спектре поглощения материала. Новизна результата в том, что за счет использования такого двойного резонанса удалось добиться усиления нелинейного сигнала на 3 порядка по сравнению монослоем MoS_2 , который сам по себе уже обладает значительным нелинейным откликом второго порядка.

3. Продемонстрирован и изучен эффект сверхбыстрой модуляции коэффициента отражения фотонного кристалла за счет оптической накачки интегрированного с ним монослоя графена и детектирования на длинах волн,

соответствующих возбуждению блоховских поверхностных волн. Несмотря на невысокое значение модуляции 0.3%, результат является новым, поскольку была впервые показана возможность сверхбыстрой оптической модуляции в подобной планарной структуре.

Достоверность представленных в работе результатов не вызывает сомнений и подтверждается высоким уровнем соответствующих статей (журналы ACS Photonics, Advanced Optical Materials, Laser & Photonics Reviews), опубликованных Попковой А.А. в качестве первого автора, а также докладами на ведущих конференциях и симпозиумах.

Степень обоснованности научных положений

Научные положения сформулированы кратко, ясно и аккуратно. Обоснованность выносимых на защиту научных положений подтверждается представленными в тексте работы результатами экспериментов в виде графиков, выведенных формул и оценок полученных количественных значений.

Замечания

1. В главе 2 не упоминаются возможные микроскопические механизмы генерации третьей гармоники в гексагональном нитриде бора и не проводится сравнение с аналогичными механизмами, например, в графене или двумерных полупроводниках. Не выдвигается гипотез о природе значительного различия между полученными значениями нелинейных восприимчивостей второго порядка для SnS_2 , SnSe_2 и аналогичных литературных данных по другим дихалькогенидам. В главе 3 не обсуждается природа так называемого С-экситона или микроскопического механизма усиления генерации второй гармоники на соответствующем материальном резонансе.

2. В главе 2 проводится сравнение сигналов генерации второй гармоники от наноструктурированных многослойных пленок MoS_2 с

сигналами от монослоя MoS_2 . Возможно, поскольку эти структуры обладают различной симметрией, было бы более аккуратно для сравнения использовать вместо монослоя результаты для неструктурированной пленки MoS_2 такой же толщины.

3. Не полностью ясно каким образом рассчитано значение длины когерентности для генерации второй гармоники в направлении назад по формуле (27) в 45 нм. Возможно, в формуле опечатка.

4. Временные зависимости сигналов модуляции отражения, представленные в главе 4, могли бы выглядеть более информативно в полулогарифмическом масштабе. В линейном масштабе плохо проявляются две различные временные шкалы, описанные в тексте.

5. Присутствует небольшое количество не критичных для понимания текста опечаток. Например, в формуле (26) не хватает единичных векторов в направлении x , y ; на стр. 27 вместо “энергией проводимости” должно быть “энергией зоны проводимости”; на стр. 122 “нелинейно-оптической”, а также в нескольких других местах.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Попкова Анна Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

PhD (признаваемый в России),

ведущий научный сотрудник

Физического факультета

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет
ИТМО»

Кравцов Василий Андреевич

16.12.2022

Контактные данные:

тел.: , e-mail: vasily.kravtsov@metalab.ifmo.ru

Адрес места работы:

197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49, литер А.

Университет ИТМО, Физический факультет

Тел.: 7(812)4800832; e-mail: vasily.kravtsov@itmo.ru

Подпись сотрудника Университета ИТМО В.А. Кравцова удостоверяю:

16.12.2022