

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Евгения Александровича Степанова “Формирование предельно коротких импульсов среднего инфракрасного диапазона и их применение для нелинейной спектроскопии полупроводников на основе генерации высших оптических гармоник”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Евгения Александровича Степанова посвящена развитию методик формирования лазерных импульсов с длительностью порядка одного цикла поля в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах спектра с энергиями от единиц до нескольких десятков микроджоулей. Эти методики включают использование нелинейно-оптических преобразований фемтосекундных импульсов в твердотельных и газовых средах, в том числе с применением волоконных технологий на основе широкополосных полых фотонно-кристаллических световодов. Подобные импульсы востребованы в большом диапазоне современных задач исследования сверхбыстрых процессов, спектроскопии и физики высоких энергий. В представленных исследованиях они используются для реализации новых методик нелинейной спектроскопии на основе генерации высших оптических гармоник для зондирования сверхбыстрой электронной динамики и энергетической структуры полупроводниковых кристаллов (селенида цинка).

Диссертационная работа Е.А.Степанова является в основном экспериментальным исследованием, хотя нельзя не отметить роль численных расчетов, используемых для анализа результатов. Работа состоит из пяти глав. Первая глава даёт общие представления об актуальности и методах решения задач формирования предельно коротких импульсов и мультиоктавного суперконтинуума в среднем инфракрасном диапазоне. Во второй главе рассматриваются лазерные комплексы, использовавшиеся в экспериментальных исследованиях, а также методика обработки экспериментальных данных. Третья, четвёртая и пятая главы относятся к оригинальной результативной части выполненной работы и описывают результаты экспериментов, направленных на создание и развитие методов формирования предельно коротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона, а также применения таких импульсов в задачах нелинейно-оптической спектроскопии зонной структуры полупроводниковых материалов на основе генерации высших оптических гармоник.

В результате проведенных исследований в работе был продемонстрирован полностью твердотельный источник перестраиваемых импульсов длительностью порядка одного периода оптического поля на центральной длине волны 4 – 8 мкм с энергией на уровне единиц микроджоулей. Этот результат достигается за счет эффективной самокомпрессии импульсов накачки к тонкой пластинке полупроводника арсенида галлия. Для получения более высокоэнергетических импульсов использовалась самокомпрессия импульсов среднего инфракрасного диапазона с энергией до ста микроджоулей в полем антирезонансном фотонно-кристаллическом волноводе, заполненном инертным газом. Были выявлены условия, при которых возможно формирование из исходных

относительно длинных импульсов на центральной длине волны вблизи 3.2 мкм мультиоктавного суперконтинуума, простирающегося от ближней ультрафиолетовой области спектра вплоть до среднего инфракрасного диапазона. Показано, что формирование такого суперконтинуума сопряжено с самокомпрессией импульса в процессе распространения в волноводе до предельно коротких длительностей, что было подтверждено в аналогичных экспериментах с импульсами накачки на центральной длине волны 2.1 мкм. Далее в работе были развиты методы полностью оптического анализа зонной структуры полупроводниковых материалов на основе явления генерации гармоник высокого порядка при использовании сверхкоротких импульсов среднего инфракрасного диапазона. Предложены модели описания явления генерации высоких оптических гармоник при помощи фотоиндуцированных внутризонных токов носителей заряда, позволяющие восстановить профиль зонной структуры вдоль выделенных направлений в экспериментах с поликристаллическими или монокристаллическими образцами полупроводникового материала.

В процессе своей регулярной и очень успешной работы в нашей лаборатории Е.А.Степанов продемонстрировал высокую квалификацию физика-исследователя. Во всех представленных в диссертации сложных экспериментальных исследованиях Е.А.Степанов являлся одной из ключевых фигур, от которой зависли успех и качество работы. Более того, часть исследований была инициирована им лично. Также хотелось бы особенно отметить его большую работоспособность, инициативность и желание работать в науке. В настоящее время Е.А. Степанов является соавтором 19 статей в рецензируемых журналах (из них 13 статей по теме диссертации, включая публикации в высокорейтинговых и значимых, таких как Scientific Reports, Optica, Phys.Rev Letters, Optics Letters).

В заключение хотелось бы еще раз отметить, что диссертационная работа Е.А.Степанова представляет собой глубокое научное исследование, которое имеет несомненную практическую значимость, связанную с развитием методик генерации длительностью импульсов порядка одного цикла поля и развитием новых нелинейно-оптических методик, применимых для исследования сверхбыстрых процессов в полупроводниках, что является важным с точки зрения создания петагерцовых оптоэлектронных устройств. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Степанов Евгений Александрович, рекомендуется к присвоению ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Лазерная физика».

Канд.физ.-мат.наук, доцент  
физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

А.Б.Федотов

Подпись доцента А.Б.Федотова удостоверяю,  
ученый секретарь Ученого Совета физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
профессор

В.А. Караваев