

## ОТЗЫВ

официального оппонента к. ф.-м. н. Овчинникова Андрея Владимировича  
на диссертационную работу Абрамовского Никиты Андреевича  
«Опτικο-терагерцовые конверторы на основе электрооптических кристаллов с  
неколлинearным распространением импульса накачки и терагерцовых волн»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертация Абрамовского Н.А. посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию оптико-терагерцевых конверторов, основанных на методе оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в нелинейном кристалле ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) в неколлинearных схемах генерации. Одна схема генерации основана на черенковском излучении терагерцевых волн при фокусировке лазерных импульсов, а другая – на генерации терагерцевого излучения при использовании лазерных импульсов с наклонным волновым фронтом. Кроме этого, в диссертационной работе представлены результаты по исследованию влияния многофотонного поглощения в нелинейных электрооптических кристаллах на уширение спектра терагерцевого излучения.

Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. В настоящее время излучение в терагерцевой области спектра широко применяется для научных и прикладных исследований. В связи с этим требуется разработка источников терагерцевого излучения с высокой эффективностью преобразования, энергией импульса и широким спектром. Таким образом научная задача, связанная с созданием источника терагерцевого излучения и его масштабированием для достижения высоких значений энергии импульса и, как следствие, достижения высоких значений напряженности электрического поля, является актуальной. Результаты исследований, полученные в диссертационной работе, оригинальны, имеют практическую значимость и могут быть использованы для разработки и оптимизации источников терагерцевого излучения, основанных на методе оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в нелинейном кристалле  $\text{LiNbO}_3$ .

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и списка публикаций по теме диссертации. Объем диссертации составляет 89 страниц, включая 35 рисунков, список цитированной литературы содержит 80 ссылок. Результаты, представленные в диссертационной работе, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах *Optics Letters*, *Optics Express* и *Phys. Rev. A*.

Во введении обсуждается актуальность выбранной темы, представлен обзор результатов, полученных отечественными и зарубежными исследователями, в области генерации терагерцевого излучения в кристалле ниобата лития, отмечены преимущества и недостатки существующих методов генерации. Определены цели и задачи диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава диссертации посвящена разработке и экспериментальному исследованию оптико-терагерцевого преобразователя, основанного на методе оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов с наклонным волновым фронтом в структуре, состоящей из двух согласующих призм и расположенной между ними пластины ниобата лития. Показано, что предложенная схема преобразователя обеспечивает конверсионную эффективность и спектральные характеристики, сравнимые с использованием стандартной оптической схемы оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов с наклонным волновым фронтом в призме из ниобата лития. Преимущество предложенной схемы преобразователя заключается в возможности ее масштабирования при использовании лазерных пучков накачки тераваттного уровня мощности с большой апертурой и коммерчески доступных нелинейных кристаллов большого диаметра.

Вторая глава посвящена исследованию оптико-терагерцевого преобразователя

черенковского типа с двусторонним выводом терагерцевого излучения из кристалла ниобата лития через призмы полного внутреннего отражения и формированием единого терагерцевого пучка. В работе продемонстрировано, что предложенная оптическая схема терагерцевого преобразователя позволяет устранить недостаток стандартных преобразователей с ассиметричным выводом излучения, заключающийся в наличии провала в терагерцевом спектре, а также позволяет получить терагерцевый пучок с плоским волновым фронтом.

В третьей главе приведены результаты исследований по возможности масштабирования оптической схемы преобразователя черенковского типа для увеличения энергии терагерцевых импульсов путем увеличения поперечного размера преобразователя и размера пучка накачки до нескольких сантиметров. Полученные результаты продемонстрировали, что применение оптико-терагерцевого преобразователя черенковского типа с большим поперечным размером позволяет получить напряженности электрических полей терагерцевого импульса на уровне суб-МВ/см.

В четвертой главе теоретически и экспериментально исследованы особенности черенковского излучения терагерцевых волн в схеме оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в электрооптических кристаллах в режиме многофотонного поглощения и генерации свободных носителей заряда. Влияние генерации свободных носителей исследовалось с помощью численного моделирования на примере четырехфотонного поглощения фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 1.7 мкм в кристалле фосфида галлия. Экспериментальные исследования проводились в условиях трехфотонного поглощения излучения титан-сапфирового лазера с длиной волны излучения 0.8 мкм в кристалле ниобата лития. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что происходит существенное уширение спектра черенковского излучения в терагерцевом частотном диапазоне вследствие образования электронно-дырочной плазмы в электрооптических кристаллах при многофотонном поглощении лазерного излучения накачки.

Каждая глава заканчивается подразделом с выводами, в котором кратко изложены основные полученные результаты. В конце диссертации представлено общее заключение, отражающее основные результаты всей работы. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается использованием современных методов диагностики и измерений, а также соответствием экспериментальных результатов с теоретическими оценками. Практическая значимость диссертационной работы обусловлена тем, что полученные результаты могут быть использованы для создания источников терагерцевого излучения с высокой энергией в импульсе и напряженностью электрического поля. Диссертационная работа содержит новые научные результаты, которые прошли апробацию на пяти международных и российских конференциях. По материалам диссертации опубликовано пять статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Общие замечания по диссертационной работе.

1. В главе 1 в стандартной оптической схеме с наклонным волновым фронтом использовалась дифракционная решетка с числом штрихов  $2000 \text{ мм}^{-1}$ , а в предложенной новой схеме преобразователя использовалась дифракционная решетка с числом штрихов  $1700 \text{ мм}^{-1}$ . На мой взгляд, для корректного сравнения работы двух схем было бы логично использование дифракционных решеток с одинаковым количеством штрихов.

2. В диссертационной работе нет информации о параметрах (ширина спектра и коэффициент пропускания) используемых полосовых терагерцевых фильтров. В связи с этим затруднен анализ зависимостей, представленных на рисунке 1.7.

3. Графики на рисунке 1.6 и 1.7 было бы лучше построить в зависимости от интенсивности лазерного импульса накачки. Представление экспериментальных результатов конверсионной эффективности преобразования в зависимости от энергии накачки усложняет их анализ, так как кроме изменения энергии лазерного импульса накачки изменялись

их анализ, так как кроме изменения энергии лазерного импульса накачки изменялись диаметр пучка и длительность импульса. Также отсутствует анализ погрешности измерений. Аналогичное замечание к рисунку 3.1.

4. В разделе 2.2. результаты численного моделирования приведены для кристалла толщиной 40 мкм, длиной 10 мм и длительности лазерного импульса накачки 100 фс. При этом в эксперименте использовался кристалл толщиной 55 мкм, длиной 9 мм, а длительность импульса накачки 35 фс. На мой взгляд, правильно было бы выполнить расчеты при параметрах схемы и накачки, используемых в эксперименте.

5. На рисунке 2.9 а) временная форма терагерцового импульса, генерируемого конвертером при накачке излучением с длиной волны 800 нм имеет осцилляции, которые автор диссертации связывает с переотражениями в тонкой пластине ниобата лития. Но при использовании излучения накачки с длиной волны 1.56 мкм таких осцилляций не наблюдается (рисунок 2.11. а)). Возможно, что вывод о причинах осцилляций во временной форме терагерцового импульса при накачке излучением с длиной волны 800 нм не совсем корректен.

Все перечисленные замечания не снижают общей значимости диссертационной работы.

Диссертация Абрамовского Н.А. «Опτικο-терагерцовые конверторы на основе электрооптических кристаллов с неколлинеарным распространением импульса накачки и терагерцовых волн» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, а выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном количестве теоретических и экспериментальных данных, написана грамотно и аккуратно оформлена. Диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Абрамовский Никита Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (г. Москва), кандидат физико-математических наук (специальность – 01.04.08 физика плазмы)

 Овчинников А.В.

«20» сентября 2023 г.

Я, Овчинников Андрей Владимирович, даю согласие на обработку моих персональных данных (приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 №662) и на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук Абрамовского Никиты Андреевича.

Объединенный институт высоких температур РАН  
Почтовый адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2  
Тел.: +7 (495) 485-90-09  
E-mail: [alexeykiverin@gmail.com](mailto:alexeykiverin@gmail.com)

Подпись Овчинникова А.В. и сведения заверяю  
Ученый секретарь ОИВТ РАН,  
д.ф.-м.н.



 Киверин А.Д.