

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет ИТМО»
доктор технических наук, профессор



Никифоров В.О.

2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Шугурова Александра Ивановича
«Детектирование терагерцовых волн ультракороткими лазерными импульсами в
толстых электрооптических кристаллах», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная
физика

Временная форма терагерцового импульса может быть измерена с помощью нелинейно-оптических преобразований фемтосекундных лазерных импульсов в электрооптических кристаллах. Зондирующий оптический импульс испытывает изменение поляризации под действием электрического поля терагерцового импульса в электрооптическом кристалле вследствие эффекта Погкельса. Для эффективного нелинейно-оптического детектирования пробный импульс должен двигаться синхронно с фазовым фронтом терагерцового, что при коллинеарной геометрии взаимодействия достигается только в некоторых кристаллах, при этом диапазон длин волн зондирующих импульсов также крайне ограничен. В то же время, использование неколлинеарной геометрии оптико-терагерцового взаимодействия, в которой терагерцовая волна запускается под углом Черенкова к пробному оптическому пучку, позволяет добиться оптико-терагерцового синхронизма при любой длине волны пробного оптического импульса в практически любом электрооптическом кристалле. Однако ранее возможность неколлинеарного детектирования была продемонстрировано только в схемах, использующих кристалл LiNbO_3 , чьим главным недостатком является сильное

собственное двулучепреломление, что негативно сказывается на точности детектирования. Таким образом, становится очевидной актуальность усовершенствование метода неколлинеарного детектирования за счет использования иных электрооптических кристаллов, или иных кристаллографических ориентаций кристалла LiNbO_3 .

Диссертация Шугурова А.И. посвящена развитию нелинейно-оптических методов детектирования импульсного терагерцового излучения, использующих неколлинеарную геометрию оптико-терагерцового взаимодействия в электрооптических кристаллах сантиметровой толщины, обеспечивающих высокое спектральное разрешение измерений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка публикаций по диссертации.

Во введении дан обзор литературы по исследуемой теме, обосновывается актуальность работы, формулируется ее цель, указывается научная новизна, кратко излагается содержание диссертации и приводятся основные положения, выносимые на защиту, обсуждается ее практическая значимость, приводятся сведения о публикациях и апробации результатов.

Первая глава диссертации посвящена разработке метода неколлинеарного эллипсометрического детектирования импульсного терагерцового излучения с помощью импульсов фемтосекундного волоконного лазера в кристаллах GaAs сантиметровой толщины. Была экспериментально продемонстрирована работоспособность представленного метода детектирования. Показано, что спектральное разрешение измерений достигает нескольких ГГц. Приведено сравнение результатов детектирования, полученных в коллинеарной и неколлинеарной геометриях оптико-терагерцового взаимодействия и показано, что эффективность неколлинеарного на порядок превышает эффективность коллинеарного детектирования. Был проведен анализ факторов, влияющих на эффективность неколлинеарного эллипсометрического детектирования, а также экспериментальное исследование влияния толщины кристалла и угла ввода пробного пучка в кристалл. Были сделаны выводы об оптимальных условиях детектирования (ориентация и толщина кристалла, угол падения пробного пучка на входную грань кристалла, поляризации терагерцового и пробного пучков).

Вторая глава диссертации посвящена разработке метода неколлинеарного неэллипсометрического детектирования импульсного терагерцового излучения в кристаллах GaAs сантиметровой толщины, в котором детектирование проводится путем измерения модуляции интенсивности пробного пучка. Работоспособность метода была продемонстрирована экспериментально. Было продемонстрировано, что эффективности детектирования обоими методами сравнимы. В результате экспериментального исследования влияния ширины пробного оптического пучка на спектр электрооптического сигнала были подтверждены теоретические предположения о том, что схема неколлинеарного неэллипсометрического детектирования обладает свойствами полосового фильтра, частотная характеристика которого определяется шириной пробного пучка.

Третья глава диссертации посвящена разработке метода неколлинеарного эллипсометрического детектирования импульсного терагерцового излучения в кристалле LiNbO₃ в конфигурации, обеспечивающей подавление паразитного эффекта собственного двулучепреломления кристалла. Главным достоинством этого метода является возможность его применения в схемах с различными источниками оптических импульсов. Экспериментально была продемонстрирована работоспособность метода в схемах с титан-сапфировым лазером (длина волны 0,8 мкм) и волоконным лазером (длина волны 1,55 мкм). Было достигнуто высокое (в несколько ГГц) спектральное разрешение детектирования.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна исследования. Диссертационная работа Шугурова А. И. представляет собой цельное, обладающей новизной исследование в области терагерцовой фотоники. К наиболее существенным результатам можно отнести следующие:

- Впервые были представлены схемы неколлинеарного электрооптического детектирования терагерцовых волн фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 1,56 мкм в кристалле GaAs, в которой, в отличие от известных схем на основе кристалла LiNbO₃, не используются согласующие оптические элементы.
- Впервые были экспериментально продемонстрированы неколлинеарные эллипсометрическое и неэллипсометрическое детектирования терагерцовых волн

импульсами волоконного фемтосекундного лазера в кристалле GaAs сантиметровой толщины.

- Предложен и экспериментально продемонстрирован метод неколлинеарного эллипсометрического детектирования терагерцовых волн фемтосекундными оптическими импульсами в кристалле LiNbO₃, не чувствительный к паразитному эффекту сильного собственного двулучепреломления кристалла.

Практическая значимость работы. Все разработанные методы детектирования импульсного терагерцового излучения отличаются высоким спектральным разрешением и могут быть использованы для терагерцовой спектроскопии во временной области (THz-TDS). Метод неколлинеарного неэллипсометрического детектирования, позволяет проводить измерение временной формы терагерцовых волн без использования поляризационной оптики и балансного детектора, что упрощает схему детектирования. Представленный метод неколлинеарного эллипсометрического детектирования в кристалле LiNbO₃ со специальной кристаллографической ориентацией может быть применен в схемах с различными источниками оптических импульсов (с длинами волн от 0,8 до 1,56 мкм).

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированных экспериментальных, теоретических и численных методов, согласованием результатов диссертационной работы в частных случаях с имеющимися теоретическими и экспериментальными данными других авторов, а также апробацией результатов на солидных международных конференциях и публикациями в высокорейтинговых международных рецензируемых журналах.

Среди достоинств диссертационной работы следует отметить (необязательно)

1. Проведена оценка влияния ширины оптического пучка, а также расплывания и поглощения излучения в кристалле GaAs на точность предложенного метода детектирования.
2. Проведено сравнение эффективности измерений для нескольких типов кристаллов GaAs, LiNbO₃, ZnTe, и показаны преимущества предложенных схем детектирования.

3. Работа представляет собой цельное законченное исследование, вся представленная информация обоснована и подтверждена экспериментальными результатами.

По содержанию работы имеются следующие замечания.

1. Раздел «Введение» не содержит иллюстраций и информация о существующих методах детектирования терагерцового излучения, а также о возможностях их применения представлена достаточно сжато.

2. При описании установок для проведения измерений терагерцового излучения, в главах 1, 2 и 3 используются одни и те же формулировки, отдельно не описываются различия, внесённые в схемы. Это затрудняет восприятие информации.

3. Существенное внимание в работе уделяется сравнению характеристик различных методов детектирования, при этом их значения встречаются отдельно в каждой главе, и сравнивать описанные методы довольно сложно. Представление всех данных в сводной таблице облегчило бы чтение и оценку диссертационной работы.

4. В тексте работы не встречается обсуждение ограничений для применения предложенных методов.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки выполненных исследований и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и вынесенных на защиту положений. Основные результаты диссертации Шугурова А.И. опубликованы в 14 научных работах, в том числе 3 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. Основные выводы диссертации полностью соответствуют целям, задачам и положениям, выносимым на защиту. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание работы.

Диссертация Шугурова Александра Ивановича «Детектирование терагерцовых волн ультракороткими лазерными импульсами в толстых электрооптических кристаллах» является завершённой научно-квалификационной работой, удовлетворяющей всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Шугуров А.И. безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Диссертационная работа и настоящий отзыв, составленный кандидатом физико-математических наук Петровым Михаилом Игоревичем обсуждались на семинаре Физического факультета Университета ИТМО 21 марта 2023 и получили положительную оценку. Присутствовало на семинаре 28 чел., проголосовали за – 25, против – 0, воздержались – 3.

Декан Физического факультета Университета ИТМО,
кандидат физико-математических наук



Мельчакова И. В.

Отзыв составили:

Старший научный сотрудник Физического факультета Университета ИТМО,
кандидат физико-математических наук, доцент



Петров М. И.

Сведения о составителях отзыва:

Петров Михаил Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Физического факультета Университета ИТМО

Степень и шифр специальности, по которой автором отзыва была защищена диссертация:

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Контактные данные:

m.petrov@metalab.ifmo.ru

+7 921 978 1131.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)

Адрес: 197101 Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49, лит. А.

E-mail: od@itmo.ru

Web: <http://itmo.ru/>

Тел.: +7 (812) 607-02-83

«24» 04 2023г.