

**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Булгаковой Владиславы Витальевны «Генерация пикосекундных импульсов
тока и терагерцового излучения в новых фотопроводящих средах»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика**

Актуальность избранной темы

В диссертационной работе Булгаковой В.В. проводится поиск новых материалов подложек фотопроводящих антенн и исследование процессов генерации импульсного электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне. Таким образом, данное исследование направлено на развитие фотопроводящих источников терагерцового излучения, которые широко используются благодаря своему малому размеру и стабильности генерируемого излучения для решения широкого круга задач, что обуславливает актуальность данных исследований.

Также в диссертационной работе предложена и реализована модель генератора сверхширокополосного СВЧ – излучения на основе эффекта фотопроводимости, благодаря чему фронт нарастания генерируемых импульсов имеет длительность короче 30 пс, а форма импульсов в ближней зоне близка к прямоугольной. Как правило, для генерации сверхширокополосных электромагнитных импульсов используют технические решения в виде трех отдельных узлов (генератора импульсного напряжения, антенны и соединяющего их нерезонансного коаксиально-волноводного перехода), при этом длительность импульса и диапазон частот излучения определяются параметрами всех трех компонентов, что накладывает ограничения на генерируемое сверхширокополосное излучение, что удалось обойти в данной работе. Разработанный источник сверхширокополосных электромагнитных импульсов также может найти свое применение для решения широкого класса фундаментальных и прикладных задач, таких как визуализация объектов, защищенная радиосвязь, геолокация, зондирование поверхности Земли и т.д.

Содержание работы

Работа изложена на 105 страницах и состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы, включающего 148 источников. Диссертационная работа иллюстрирована 29 рисунками.

Во введении и первой главе формулируется цель работы, научная новизна и практическая значимость, приводятся положения, выносимые на защиту. Также обосновывается актуальность диссертационной работы, описывается общее состояние исследований по генерации терагерцового излучения. Показано, что, несмотря на существование различных типов терагерцовых источников, генерация терагерцового излучения широкоапертурными фотопроводящими антеннами представляет интерес для множества современных применений.

Во второй главе описываются результаты исследований по генерации терагерцового излучения фотопроводящими антеннами на основе материалов, ранее не использованных в качестве подложек фотопроводящих антенн. Обоснованы перспективы использования

кристаллов $ZnGeP_2$ (ZGP), органо – неорганических галогенидных перовскитов и алмазов в качестве подложки широкоапертурной фотопроводящей антенны. Исследована генерация импульсов терагерцового излучения в фотопроводящих антеннах на основе ZGP, при их облучении фемтосекундными лазерными импульсами на длинах волны 800 и 400 нм. Установлено, что величина оптической плотности энергии насыщения ТГц-импульса для антенн на основе ZGP составляет: $F_{нас} = 0,27$ мДж/см². В широкоапертурных фотопроводящих антеннах на основе гибридных перовскитов $CH_3NH_3PbI_3$ (MAPbI₃) и $CH_3NH_3PbBr_3$ (MAPbBr₃) при воздействии на них фемтосекундного лазерного излучения происходит генерация импульсов терагерцового излучения, для которых величина плотности энергии насыщения составляет: $F_{нас} = 0,194$ мДж/см² для MAPbBr₃ и $F_{нас} = 0,293$ мДж/см² для MAPbI₃. Установлено, что в фотопроводящих антеннах на основе алмазов величина плотности энергии насыщения зависит от уровня легирования материалов (концентрации примесей) и в случае азотных примесных центров варьируется в широких пределах: от $F_{нас} = 12$ мДж/см², до $F_{нас} = 0,04$ мДж/см² при возбуждении фемтосекундными импульсами второй гармоники титан-сапфирового лазера ($\lambda = 400$ нм).

В третьей главе диссертационной работы представлена модель генератора сверхширокополосных электромагнитных импульсов, генерация которых основана также на эффекте фотопроводимости. Экспериментально показана и исследована генерация прямоугольных наносекундных импульсов с фронтом нарастания порядка десятков пикосекунд с формой импульса близкой к прямоугольной. Измерены времена жизни фотоиндуцированных носителей заряда в арсениде галлия и НРНТ алмазе, с азотными примесями, которые использовались в качестве фотопроводящего ключа в полеобразующей системе в форме рупора. Измерены зависимости напряженности магнитного поля от времени для внутри полеобразующей системы с разными фотопроводящими ключами (кремний, арсенид галлия, НРНТ алмаз).

В заключении соискателем сформулированы основные результаты, полученные при выполнении работы.

Научная новизна работы заключается в исследовании генерации терагерцового импульсного излучения фотопроводящими антеннами на основе новых материалов для этой задачи, таких, как: дифосфид цинка-германия, гибридных перовскитов, легированных азотом алмазов, выращенных методами осаждения из газовой фазы и термобарическим методом, основанным на кристаллизации алмаза из расплава углерода при высокой температуре и высоком давлении. Проведенные исследования показывают перспективность использования алмазных подложек, легированных азотом, в качестве подложек фотопроводящих антенн. Для генерации терагерцового излучения в таких алмазах требуются уровни энергии оптического излучения второй гармоники титан-сапфировой лазерной системы, сравнимые с энергиями, необходимыми для генерации терагерцового излучения в арсениде галлия.

В работе также описывается разработанный и созданный источник сверхширокополосного СВЧ излучателя, чья **научная новизна** обусловлена предложенной конструкцией (заменой узлов, вносящих ограничения на длительность импульса и диапазон частот в спектре излучения стандартных генераторов сверхширокополосных импульсов). В предложенном источнике излучения за счет использования полупроводникового коммутатора,

переключаемого короткими лазерными импульсами пикосекундной длительности, удалось получить генерацию сверхширокополосных электромагнитных импульсов с более короткими временами нарастания (30 пс).

Достоверность основных результатов диссертационной работы обоснована корректным применением методов и методик исследования, использованием корректных физических моделей и правомерных допущений. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях рецензируемых научных журналах (в том числе первого квартала) из списка ВАК и в 6 тезисах конференций. Важность полученных практических результатов подтверждается получением двух патентов РФ на полезные модели. Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на многочисленных Всероссийских и Международных конференциях

При общей положительной оценке работы считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. В Литературном обзоре отсутствует какой-либо иллюстративный материал, касающийся ранее разработанных методик и устройств для генерации импульсного электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне и различных вариантов фотопроводящих антенн. Наличие схем, графиков и фотографий помогло бы больше понять и оценить современный уровень развития данного направления для более четкой формулировки целей и задач диссертационной работы.
2. В диссертации нет деталей обоснования выбора полупроводниковых материалов, на основе которых была осуществлена генерация терагерцового излучения.
3. В случае использования кристалла дифосфида цинка-германия показана генерация при фотовозбуждении основной и второй гармоникой титан-сапфировой лазерной системой, однако, было бы интересно посмотреть генерацию при одновременном воздействии этих двух длин волн (400 нм и 800 нм).
4. В части работы про генерацию сверхширокополосное излучение говорится о ряде задач, связанных с распространением излучения в атмосфере, однако в диссертационной работе не приведены данные по изучению распространения излучения в данной среде.
5. В диссертации хотелось бы видеть сводную таблицу характеристик фотопроводящих антенн, полученных на основе новых материалов подложек, представленных в диссертационной работе, в сравнении с фотопроводящими антеннами, полученными ранее другими разработчиками, в том числе и отечественными.

Сделанные замечания, часть из которых носит характер пожеланий для последующих исследований диссертанта, не могут существенным образом повлиять на общую, несомненно положительную, оценку рецензируемой работы. Все выносимые на защиту результаты являются новыми, обоснованными и значимыми. Материалы диссертации полностью отражены в опубликованных научных работах по тематике исследования. Автореферат удовлетворяет предъявленным требованиям, и в полной мере отражает результаты и выводы диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Булгаковой Владиславы Витальевны «Генерация пикосекундных импульсов тока и терагерцового излучения в новых фотопроводящих средах» является законченной научно-квалифицированной работой, которая выполнена на высоком научном и инженерном уровне, имеет очевидную новизну и практическую значимость, соответствует паспорту специальности «Лазерная физика» (1.3.19) и отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 25 января 2024 года), полностью соответствует требованиям новизны, научно-практической значимости и достоверности, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации Булгакова Владислава Витальевна показала себя высококвалифицированным специалистом и безусловно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. «Лазерная физика».

Содержание автореферата и диссертации соответствуют друг другу.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник, заведующий лабораторией профилированных кристаллов, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна Российской академии наук


доктор технических наук по специальности 05.02.01 – Материаловедение (металлургия)

Адрес места работы: 142432, г. Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2, ИФТТ РАН


Контактные данные:

Тел.: +79637701574

E-mail: kurlov@issp.ac.ru


Курлов Владимир Николаевич

15 мая 2024 г.


Согласен на обработку персональных данных

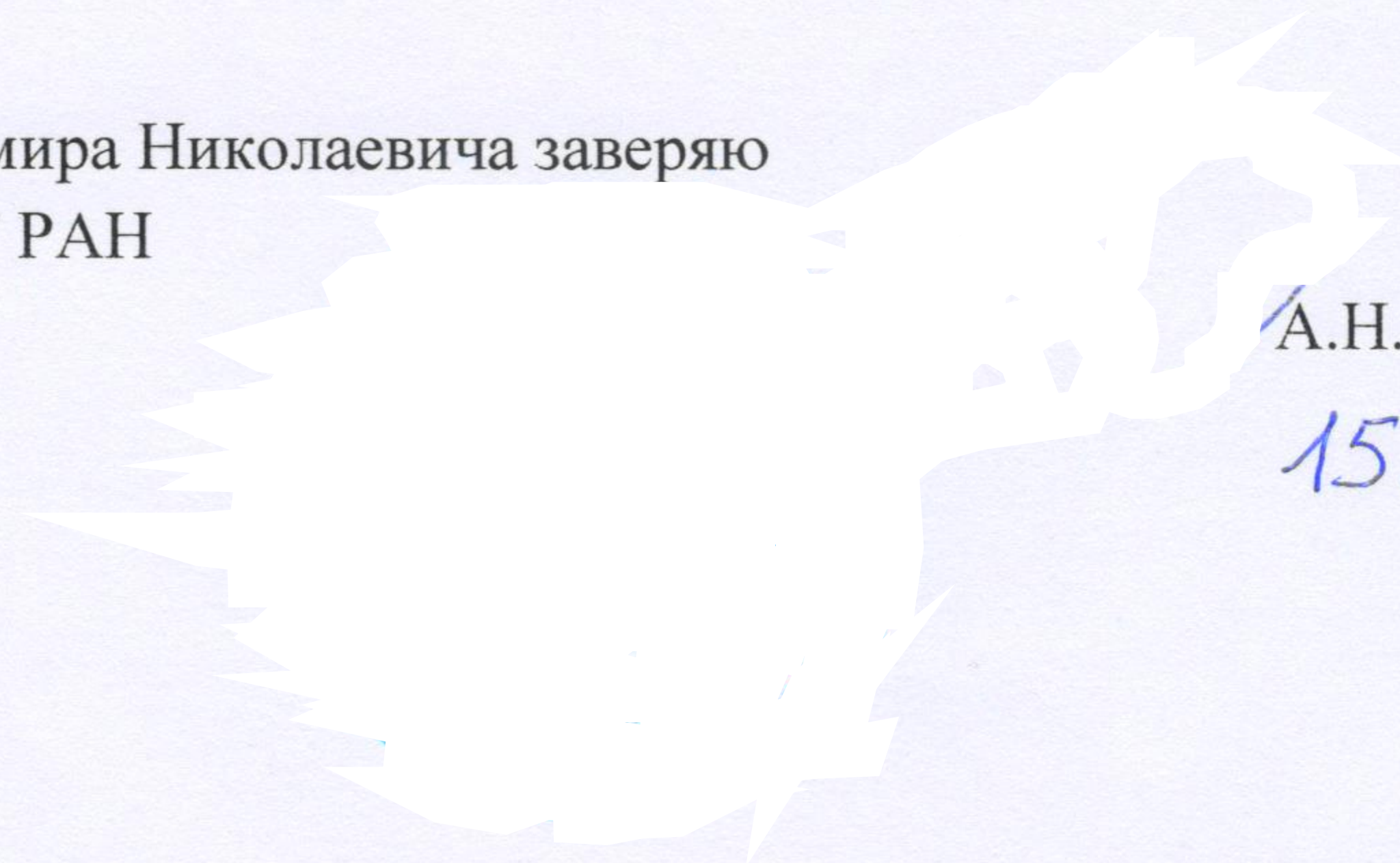
Курлов Владимир Николаевич

15 мая 2024 г.

Подпись Курлова Владимира Николаевича заверяю

Ученый секретарь ИФТТ РАН

к.ф.-м.н.


А.Н. Терещенко

15.05.2024