

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Осинцевой Натальи Дмитриевны
«Формирование мощных вихревых векторных пучков терагерцового диапазона с помощью дифракционных оптических элементов и их применение в плазмонике»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Натальи Дмитриевны Осинцевой посвящена решению задачи преобразования и приведения к бесселевому вихревому и векторному виду структуры поля терагерцового (ТГц) излучения лазера на свободных электронах, идентификации модового состава сформированных пучков и их применения для генерации и исследования вихревых поверхностных плазмон-поляритонов на аксиально-симметричной поверхности.

Актуальность избранной темы обусловлена в первую очередь ростом потребности в увеличении объема передачи данных в телекоммуникационных сетях, стимулируемым развитием технологий. Данная потребность представляет собой проблему, которая не может быть решена исключительно за счет увеличения ресурсов, и, следовательно, является большим вызовом, стоящим как перед Российской Федерацией, так и перед всем мировым сообществом. Своевременный ответ на данный вызов возможен за счет перехода из диапазона радио к ТГц-частотам. Возникающее при этом уменьшение длины волны излучения снижает дифракцию и приводит к необходимости работать с направленными пучками, распространяющимися в свободном пространстве. Это в свою очередь, делает данные пучки более чувствительными к помехам, вызванным всевозможными препятствиями. Одним из перспективных решений, способным обеспечить большую помехоустойчивость являются пучки с бесселевой модой, известные благодаря их бездифракционным свойствам и способности к самовосстановлению. Мультиплексирование же мод таких пучков на одной частоте в одном пучке приведет к существенному повышению информационной плотности потока данных.

Не менее актуальным также является проведение исследований, направленных на преобразование ТГц волн из свободного пространства в поверхностные плазмон-поляритоны (ППП). В потенциале эти исследования открывают путь для управления излучением в микромасштабах, разработки компактных высокоскоростных (работающих в ТГц-диапазоне) оптоэлектронных устройств – оптических интегральных схем. Природа и свойства ППП уже хорошо изучены в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, тогда как исследования в ТГц-диапазоне демонстрируют значительно меньший прогресс.

В связи с изложенными выше аргументами, актуальность темы диссертационной работы, затрагивающей упомянутые аспекты, не вызывает сомнений.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку они опираются на известные физические принципы, подтверждаются согласием тщательно спланированных и аккуратно выполненных физических и численных экспериментов, а также согласуются с данными, представленными в литературе, и могут быть подтверждены независимо другими группами. **Научные положения и выводы в работе в необходимой степени обоснованы** полученными результатами, и прошли апробацию

на 20 специализированных международных и 6 российских конференциях, отражены в рецензируемых публикациях в ведущих научных журналах. В совокупности, основные результаты диссертации опубликованы в 63 работах, из них 6 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. Публикации в научных журналах проиндексированы в международных базах данных Scopus и Web of Science Core Collection. Среди данного перечня имеется 1 коллективная монография и 56 публикаций в сборниках тезисов докладов научных конференций.

Научная новизна диссертации Осинцевой Н. Д. характеризуется следующим:

- Экспериментально были изучены особенности мощных вихревых бесселевых пучков ТГц-диапазона в зависимости от параметров дифракционных аксиконов. Показано, что отклонения от расчетной длины волны приводят к изменениям интенсивности в кольцах бесселевого пучка и его Фурье-образа.
- Разработан метод выделения сигнала с определенным топологическим зарядом, основанный на анализе Фурье-образа пучка, проходящего через кремниевый дифракционный элемент. Метод применялся как для одномодовых, так и для многомодовых пучков.
- В ТГц-диапазоне впервые созданы мощные вихревые пучки с диаметром, независимым от топологического заряда, известные как «совершенные» вихревые пучки.
- Впервые были сформированы и исследованы вихревые поверхностные плазмон-поляритоны ТГц-диапазона на аксиально-симметричной поверхности. В частности, было установлено, что направление вращения и питч-фактор вихревых плазмон-поляритонов зависят от топологического заряда освещающего пучка.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Разработка методов генерации вихревых плазмонов имеет большое научное значение в разных сферах. Они открывают новые возможности для управления светом на микро- и даже наномасштабе, что может способствовать созданию более эффективных оптических устройств, сенсоров и оптических методов передачи и обработки информации. Полученные в работе сведения могут быть использованы также и в видимом диапазоне частот для развития плазмонных систем. В области телекоммуникаций вихревые пучки Бесселя могут улучшить помехоустойчивость и надежность беспроводных систем связи.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертация содержит много практически полезных, новых и значимых результатов. Полученные результаты по возбуждению вихревых ППП закладывают фундамент развития волноводной техники ТГц-диапазона, что, несомненно, может послужить толчком для усовершенствования систем проводной транспортировки ТГц-излучения, которая необходима во многих сферах, например в медицине, для доставки излучения к внутренним органам и в обратном направлении, до детектора.

Среди прочих результатов имеются также и те, важность и практическая польза которых была недооценена автором. К таким результатам относятся полипроленовые фазовые экраны, разработанные для проведения экспериментов по прохождению бесселевых ТГц-пучков через фазово-неоднородные среды. Спекл-картины, формируемые в результате прохождения ТГц-излучения через фазовые экраны

обладают хорошим контрастом, а их вид можно легко менять, варьируя расположение гранул полипропилена. Таким образом, на основе данных фазовых экранов может быть разработан модулятор для систем однопиксельной или фантомной визуализации (single-pixel/ghost imaging). Развитию этих техник в ТГц-диапазоне частот сейчас уделяется много внимания.

Вместе с тем по работе имеются **замечания и вопросы**:

Замечание 1. Управление азимутальными вариациями интенсивности внутри колец, составляющих структуру бесселевого пучка важно для практических приложений. В первой главе обсуждаемая взаимосвязь этих вариаций с дизайном дифракционного оптического элемента (ДОЭ) требует дальнейшего изучения и интерпретации: В самой работе (стр. 45) наличие этих вариаций связывается с бинарной структурой ДОЭ и ограниченностью апертуры. Однако, на рисунке 2.3 подобные вариации интенсивности можно наблюдать и у бесселевых пучков, сформированных голографическим аксиконом с градиентным фазовым рельефом. Количество и характер расположения пиков на азимутальных распределениях интенсивности внутри колец меняется при отстройке длины волны освещающего излучения от длины волны, используемой при проектировании ДОЭ. При описании этих результатов в тексте диссертации, не уделено достаточного внимания этим различиям. Также следует отметить, что в работе исследовалась отстройка длины волны лишь на 4% процента.

Вопрос 1: В каком диапазоне величин отстройки длины волны будет сохраняться обнаруженная зависимость?

Вопрос 2: Для рассматриваемых в работе бинарных и градиентных аксиконов, каково количественное отношение флуктуаций в азимутальном распределении интенсивности к средней интенсивности излучения в наиболее интенсивном кольце? Можно ли использовать это количественное соотношение для количественной характеристики качества сформированных пучков Бесселя в случае рассогласования длины волны освещающего излучения?

Замечание 2: В тексте работы не указана взаимная ориентация пары аксиконов в экспериментах по формированию бесселевых пучков и идентификации заряда в них. Взаимная ориентация является достаточно важным параметром, отвечающим за фазовый сдвиг результирующего пучка, и, при определенных параметрах ДОЭ, может обеспечить управление орбитальным угловым моментом.

Вопрос 3: В четвертой главе диссертации, посвященной генерации и исследованию вихревых поверхностных плазмон-поляритонов на аксиально-симметричной поверхности использовались цилиндрические образцы с зауженным выходным торцом. Были получены интересные и важные научные результаты. При этом большой интерес для практических приложений может представлять конфигурация образца в виде толстостенного цилиндрического волновода-трубки, в котором поверхностные плазмон-поляритоны генерируются не только на внешней но и на внутренней поверхности трубки. Анализировалась ли такая конфигурация, и возможна ли постановка такого эксперимента в будущем?

Сделанные замечания в целом не снижают значимости полученных научных результатов, не влияют на актуальность и ценность работы, а также не снижают общую

положительную оценку выполненного диссертационного исследования.

Заключение о соответствии диссертации критериям

Автореферат диссертации с достаточной полнотой отражает ее содержание. Диссертация Осинцевой Н.Д. является завершённым научным исследованием и полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней" от 24.09.2013 N 842 с изменениями в действующей редакции), а ее автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.05 – Оптика), доцент, заведующий лабораторией Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,

адрес: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А;

тел: +7 905 204 9158, E-mail: nickolai.petrov@gmail.com;

«17» февраля 2025 г.


Петров Николай Владимирович

ПОДПИСЬ *Н.В. Петров*
УДОСТОВЕРЯЮ
МЕНЕДЖЕР ОПС
ЛЕБНИДОВА А.А.

