

УДК 535.421

**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ТГЦ ВИХРЕЙ ЗА СЧЕТ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ СПИРАЛЬНЫХ ЗОНАЛЬНЫХ
ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

**Радивон А.В. (МФТИ), Катыва Г.М. (ИОФ РАН, ИФТТ), Бурданова М.Г. (МФТИ, ИФТТ)
Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Бурданова М.Г.
(МФТИ, ИФТТ)**

Введение. В последние годы терагерцовые (ТГц) системы находят широкое применение в науке и техники, включая медицину, микроскопию и беспроводную связь следующего поколения [1]. Однако одной из проблем в интеграции ТГц технологий является отсутствие перестраиваемых устройств, способных работать в указанном диапазоне электромагнитного спектра. Для создания таких элементов требуются материалы с возможностью управления проводимостью путём приложения внешнего воздействия (электрического, механического, термического и т.д.). Ультратонкие пленки одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая ТГц проводимость, прочность при минимальной толщине, в сочетании с высокой стабильностью свойств, что делает их перспективным оптическим материалом для ТГц диапазона и основой для новых ТГц оптических элементов. Одним из таких перспективных новых элементов может быть ТГц модулятор, для контроля модового состава и орбитального углового момента (ОУМ) ТГц вихревых полей. В частности, за счет перестройки ОУМ можно повышать информационную емкость оптических каналов. В настоящей работе разработан и экспериментально испытан прототип подобного вихревого модулятора состоящего из комбинации спиральных зонных пластин (СЗП) [2]. Путем поворота одной пластины относительно другой нам удалось эффективно манипулировать основными характеристиками исследуемого оптического элемента – ОУМ пучка и топологическим зарядом. Кроме того, радиальное растяжение СЗП позволяет эффективно изменять положение фокуса модулятора. В нашем устройстве показан инновационный подход к улучшению модуляции вихревого пучка. В отличие от ранее разработанных вихревых модуляторов, оно предлагает более простой и эффективный метод управления, основанный на передовых технологиях изготовления. Мы используем ультратонкие и компактные устройства на основе одностенных углеродных нанотрубок, что позволяет достичь высокой производительности и оптимальных характеристик модуляции.

Основная часть. Предлагаемые СЗП рассчитаны с использованием метода бинаризации Ли, углеродные нанотрубки, используемые для их изготовления, синтезированы из монооксида углерода с использованием аэрозольного CVD-реактора и нанесены на специально подготовленный фильтр. Путем наложения металлической маски, отдельные части фильтра могут быть избирательно заблокированы, создавая недоступные области для осаждения. Затем при помощи метода сухого переноса, получившийся шаблон был нанесен на растягиваемый эластомер. Экспериментальная характеристика изготовленных ТГц оптических элементов и генерируемых ими вихревых пучков была выполнена с использованием системы непрерывного ТГц излучения, основанной на лампе обратной волны (ЛОВ) в качестве источника излучения и ячейке Голя в качестве детектора. Продемонстрировано предсказуемое перераспределение интенсивности между вихревыми и безвихревыми составляющими (модами) ТГц пучка. Кроме того, было продемонстрировано, что модулятор позволяет управлять фазовым сдвигом между основными модами, что приводит к изменению результирующего топологического заряда пучка при одинаковом значении ОУМ. Эти состояния ОУМ можно перестраивать путем взаимного вращения и растяжения. Экспериментальные измерения одной СЗП и ее различных комбинаций показывают хорошее совпадение с численным моделированием. Помимо возможности генерации вихревых пучков, пространственное вращение СЗП обеспечивает дополнительную степень свободы для реализации различных модальностей в ТГц диапазоне.

Выводы. ТГц модулятор разработан и рассчитан при помощи метода бинаризации Ли и изготовлен путём нанесения шаблона из углеродных нанотрубок с применением метода сухого переноса. Метод ТГц визуализации показал хорошее согласие между экспериментальными и теоретически предсказанными значениями эффективности генерируемой моды и ее чистоты. Таким образом тонкие пленки УНТ позволяют создавать устройства для манипуляции ТГц излучением с высокой эффективностью.

Список использованных источников:

1. Shi L. F. et al. The perspectives and trends of THz technology in material research for future communication-a comprehensive review //Physica Scripta. – 2023. – V.98. – № 6.
2. Radivon A. et.al. Expanding THz vortex generation functionality with advanced spiral zone plates based on single-walled carbon nanotube films. // Advanced Optical Materials. - 2024.