

Фемтосекундная лазерная запись в диэлектриках для микро- и квантово-оптических применений: актуальные задачи, основные принципы, результаты

**С.И. Кудряшов^{1,2*}, А.Е. Рупасов^{1,2}, Г.К. Красин^{1,2}, Ю.С. Гулина^{1,2},
П.А. Данилов^{1,2}, Н.А. Смирнов^{1,2}, М.С. Ковалев^{1,2}**

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

² *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

** E-mail: kudryashovsi@lebedev.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.232-233

Объемная лазерная запись мета-оптических устройств в твердых прозрачных диэлектрических материалах с использованием ультракоротких - фемто- и пикосекундных – лазерных импульсов рассматривается в качестве серьезной альтернативы планарной метаоптике благодаря возможностям трехмерной гибкой интеграции, высокой оптической и механической стойкости материала носителя. В то же время, современные волоконные лазерные системы ультракоротких импульсов с высокой стабильностью и частотой повторения (до 10 ГГц), но при этом низкой (1-100 мкДж) энергией каждого импульса в совокупности с передовыми устройствами мультиплексирования и/или профилирования лазерных пучков, высокоскоростными системами их сканирования (до 1 км/с), и цифровыми технологиями управления позволили создать инструмент высокопроизводительной и прецизионной поточечной лазерной 3Д-печати метасвойств различных материалов (металлов, полупроводников, диэлектриков) на микро- и нано-уровне. В лазерных технологиях это имело эффект, подобный изобретению печатного станка в средние века – в плане производительности (скорости, тиражирования) и качества печати. В частности, высокопроизводительная лазерная 3Д-печать ультракороткими лазерными импульсами с гибким управлением длиной волны, длительностью, энергией и поляризацией импульсов позволила записывать в объемных изотропных прозрачных диэлектриках микро-оптические устройства высокоплотной «вечной» 5-мерной оптической памяти, поляризующие элементы, волновые фазовые пластинки, цветные микрофильтры, реализуемые на базе трехмерных высокоуровневых (иерархических) структур с наноструктурированным анизотропным мета-атомом (битом лазерной записи), несущим фазовый сдвиг и орбитальный момент, и сложных интерференционно-поляризационных взаимодействий света внутри них [1]. Хотя микро-оптические элементы в объемных и тонкопленочных диэлектриках уступают плазмонным или диэлектрическим метаповерхностям в плане компактности (при более высоких механических характеристиках), для них по-прежнему нет конкурентов в плане (нелинейно)оптических преобразований лазерных пучков высокой мощности или интенсивности.

Физические механизмы, используемые для лазерной записи с использованием ультракоротких лазерных импульсов в твердых прозрачных диэлектрических материалах, включают в себя 1) фотовосстановление ионов, рекристаллизацию, генерацию точечных дефектов и центров окраски для задач микромаркировки и записи информации [2,3], лазерную имплантацию активных

ионов; 2) локальное уплотнение/разуплотнение материала для формирования волноводов I-ого и II-го типов и интегральных устройств на их основе, в том числе – устройств квантовой оптики; 3) локальное наноструктурирование материала в виде анизотропных нанорешеток внутри мета-элемента лазерной записи, несущего фазовый сдвиг и орбитальный момент, для фабрикация трехмерных высокоуровневых микро-оптических поляризационных устройств, 4) формирование нанополостей или микроканалов для микро-оптических и биомедицинских применений. Данные механизмы реализуются с участием кумулятивных атомистических процессов, эффектов наноплазмоники и локальной абляции, управляются лазерной длиной волны, поляризацией, пиковой интенсивностью и частотой следования импульсов [2-4].

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания № FSN-2024-0019.

Литература

- [1] H. Wang et al., *Laser & Photonics Reviews* 2301143 (2024)
- [2] S.I. Kudryashov et al., *Carbon* **201**, 399-407 (2023)
- [3] S. Kudryashov et al., *Micromachines* **14**, 1300 (2023)
- [4] S. Kudryashov et al., *Nanomaterials* **12**, 4303 (2022)