

## ФОРМИРОВАНИЕ 1D И 2D- МУЛЬТИПЕРИОДНЫХ ЛИППС НА ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ

Машарская А. А.<sup>1</sup>, Васильев М. Д.<sup>1</sup>

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Синева Д. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

alex.masharskaya@gmail.com

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10230, <https://rscf.ru/project/24-79-10230/>.

### Введение

Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИППС) на плёнках титана находят широкое применение в области фотоники. Одностадийный процесс записи с применением ультракоротких импульсов, без использования дорогостоящей литографии и медленных вакуумных технологий, позволяет обрабатывать геометрически сложные поверхности с варьированием величины периода структур [1]. Дифракционные решётки на основе ЛИППС позволяют создавать заданный высокорегулярный микрорельеф с настройкой под необходимый спектральный диапазон, а также могут использоваться для улучшения самоорганизации наночастиц золота на вершинах канавок решётки и усиления локализованного поверхностного плазмонного резонанса для производства уникальных и недорогих плазмонных сенсоров [2, 3]. Плазмонные сенсоры с наночастицами золота обладают чувствительностью к поверхностным плазмон-поляритонам и возбуждаемым поверхностным плазмонам, свойственным наночастицам, что позволяет регистрировать малые изменения показателя преломления изучаемой среды в биологических и химических исследованиях [4].

Особый интерес представляет технология создания мультипериодных двумерных структур (2D) с возможностью регистрации множественных резонансных пиков в отраженном сигнале и усиления плазмонных эффектов за счёт измерения дифракции в нескольких направлениях, поскольку известно, что изменение периода обусловлено углом падения излучения на поверхность образца [5, 6]. В данной работе изучается возможность варьирования периода структур в результате двойного экспонирования плёнок титана при изменении угла наклона образца и угла поворота поляризации. Ключевым аспектом данной работы является изучение параметров записи ЛИППС, а именно влияния угла поворота поляризации и угла наклона образца и последовательности записи на значение величины периода получаемых мультипериодных 2D-структур.

### Основная часть

В работе показана возможность создания мультипериодных 1D и 2D-ЛИППС за счёт проведения повторного экспонирования плёнок титана на кварцевой подложке. Запись проводили, поворачивая полуволновую пластину в диапазоне от 0° до 90° с шагом 30° и наклоняя образец на механическом столике в диапазоне от 0° до 30° с шагом 5°. Также изучали влияние последовательности изменения параметров записи на окончательную величину периода 2D-ЛИППС. В ходе исследования показана возможность создания двумерных периодических структур при значении угла между треками 0°, 30°, 60° и 90° при углах наклона образца от 0° до 30°. Удалось продемонстрировать, что при повторном экспонировании плёнок титана толщиной 30 нм на кварцевой подложке при увеличении угла наклона наблюдается рост периода формируемых ЛИППС.

Для оценки величины периода получаемых структур экспериментальные результаты были проанализированы при помощи двумерного быстрого преобразования Фурье в программе открытого исходного кода для обработки и анализа результатов оптической микроскопии Gwyddion.

### **Выводы**

В ходе данного исследования продемонстрирована возможность записи ЛИППС с периодами от  $720\pm 20$  нм до  $820\pm 20$  нм на одном материале подложки за счёт изменения угла наклона образца.

Показано увеличение периода структур при больших углах наклона образца. Отмечено, что период 2D-ЛИППС по оси, связанной с изменением угла наклона образца, увеличивается сильнее в случаях первоначальной записи структур с варьированием угла наклона, чем при изначальной записи структур с изменением угла поворота поляризации. Таким образом, подтверждается гипотеза о том, что на величину периода 2D-ЛИППС оказывает большее влияние первоначально записанная периодическая структура.

Продемонстрировано, что двухэтапная запись с изменением угла поворота поляризации приводит к созданию 2D-ЛИППС с различными типами симметрии.

В представленной работе показано, что последовательность изменения параметров записи влияет на величину периода формируемых ЛИППС. При первоначальной записи структур при повороте образца наблюдается более существенный рост периода структур 2D-ЛИППС по направлению, связанному с углом наклона образца, в отличие от случая записи, где сначала варьируют угол поляризации. Тем не менее более стабильными и соответствующими теоретическим расчетам оказываются периоды структур 2D-ЛИППС, зависящие от угла поворота поляризации. Также отмечено, что последовательность записи оказывает влияние на величину периода структур по направлению изменения поляризации.

Результаты данного исследования демонстрируют возможность создания мультипериодных 2D-ЛИППС на одном материале подложки, что открывает перспективы для разработки на их основе плазмонных сенсоров с множественными резонансными пиками.

### **Литература**

1. Shiu J. Y. et al. Fabrication of tunable superhydrophobic surfaces by nanosphere lithography // *Chemistry of materials*. – 2004. – Т. 16. – №. 4. – С. 561-564.
2. Gnilitskiy I. et al. Self-assembling of gold nanoparticles on si-based laser nanotextured 1D surface for plasmonic application // *CLEO: Science and Innovations*. – Optica Publishing Group, 2016. – С. STh4K. 3.
3. Hatami D. et al. A hybrid OTFT-SPR system for simultaneous electronic and optical sensing // *Scientific Reports*. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 15244.
4. Grimes C. A. et al. *Encyclopedia of sensors* //(No Title). – 2006.
5. Fedyaj V. et al. Formation of 2D laser-induced periodic surface structures on titanium films with femtosecond laser pulses // *Surfaces and Interfaces*. – 2025. – С. 108162.
6. Liu Y. H., Kuo K. K., Cheng C. W. Femtosecond laser-induced periodic surface structures on different tilted metal surfaces // *Nanomaterials*. – 2020. – Т. 10. – №. 12. – С. 2540.