

## ФАБРИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАНОФОТОНИКИ С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Трубицын А.М., Горшкова А.А., Хам Н.Д. (ФМЛ 239)  
Научный руководитель – Гулинян В.А. (Университет ИТМО)

### **Введение.**

Наноструктуры, полученные из благородных металлов, широко применяются в качестве чувствительного элемента для оптических измерений в биомедицинской области<sup>[1]</sup>. Более того, их функциональность может быть значительно улучшена путем дополнительной функционализации. Тем не менее создание датчиков на базе нанофотонных элементов остается сложной<sup>[2]</sup>, многоэтапной<sup>[3]</sup> и дорогостоящей процедурой. Для преодоления данных трудностей предлагается использование лазерного метода фабрикации нанофотонных элементов одиночными фемтосекундными импульсами. В частности, при облучении тонкой золотой пленки возможно создание наноигол или наноджетов. Настоящая работа посвящена разработке и тестированию экспериментальной установки, позволяющей в полуавтоматическом режиме создавать массивы наноструктур с высокой степенью воспроизводимости.

**Основная часть.** В качестве источника лазерного излучения использовался иттербиевый фемтосекундный твердотельный лазер Antaus производства Avesta (центральная длина волны 1030 нм, длительность импульса >270 фс) с генератором второй гармоники. В предложенной установке необходимо использовать длины волн в диапазоне от 500 до 525 нм, так как в конфигурации присутствует фазовая пластинка, позволяющая создавать тороидальное распределение интенсивности в пучке. Применение фазовой пластинки позволяет локально воздействовать на пленку, вследствие нагрева которой происходит разрушение пленки по контуру окружности с последующим ростом наноструктуры. Создание структур производилось с помощью конфокальной установки, включающей в себя встроенный сконструированный микроскоп со сменными объективами Mitutoyo Plan Apo Infinity (X10 NA=0.28, x50 NA=0.55, X100 HR NA=0.9) для визуальной оценки процесса фабрикации. Для создания массивов в предложенной схеме установки использовались моторизованные бесщеточные столики Standa с микрометровой точностью позиционирования для перемещения образца по трем осям в процессе работы лазера. Использование трехосевой схемы позволило не только осуществлять перемещение образца по заданной траектории в плоскости, но и производить контроль совпадения фокальной плоскости сфокусированного объективом пучка и поверхности пленки. Для осуществления автоматизированного создания массивов наноструктур было написано программное обеспечение на языке программирования Python. Для создания шаблонов и инструкций для движения столиков использовались стандартные библиотеки Python (Numpy, SciPy, time и др.). Для инициализации параметров синхронизации работы лазера и моторизованных столиков были написаны оболочки на существующие библиотеки от производителей, написанных на языке C#. В качестве образцов использовались тонкие пленки золота толщинами 140 и 90 нм на стекле. Для проверки работоспособности предложенного метода были сделаны снимки получившихся наноструктур с помощью СЭМ на микроскопе Inspect SEM FEI (Thermo Fisher Scientific).

**Заключение.** В настоящей работе показана возможность использования метода лазерно-индуцированной формования наноструктур из тонких пленок золота, которые являются перспективной основой сенсоров для биомедицинских приложений. Было написано

программное обеспечение, обладающее расширенным функционалом в сравнении с заводским. Так, разработанный алгоритм позволяет синхронизировать между собой устройства, не имеющие общего канала связи. Помимо прочего, точность и эффективность предложенного метода высока в сравнении с уже существующими технологиями. Данная методика представляет практический интерес для мелкосерийного создания основ фоточувствительных сенсоров.

Коллектив авторов благодарит Физико-технический мегафакультет Университета ИТМО за поддержку научных и исследовательских проектов школьников в рамках проекта Сириус.ЛЕТО.

Список источников:

1. Guo Z. et al. Intrinsic optical properties and emerging applications of gold nanostructures // *Advanced Materials*. – 2023. – С. 2206700.
2. Zhang, P.; Chen, X.; Yang, H. Large-Scale Fabrication of Photonic Nanojet Array via Template-Assisted Self-Assembly. *Micromachines* **2020**, *11*, 473. <https://doi.org/10.3390/mi11050473>
3. Surdo, S.; Duocastella, M.; Diaspro, A. Nanopatterning with Photonic Nanojets: Review and Perspectives in Biomedical Research. *Micromachines* **2021**, *12*, 256. <https://doi.org/10.3390/mi12030256>

Трубицын А.М. (автор)

Подпись \_\_\_\_\_

Горшкова А.А. (автор)

Подпись \_\_\_\_\_

Хам Н.Д. (автор)

Подпись \_\_\_\_\_

Гулинян В.А. (научный руководитель)

Подпись \_\_\_\_\_