

УДК 53.08.086

**ПРИМЕНЕНИЕ ЗОНДОВОЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ДЛЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ НАНОСТРУКТУР**Кошелева Маргарита Александровна ⁽¹⁾,*Студент 4 курса,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.Р. Ибрагимов,**старший преподаватель кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Сканирующая зондовая литография – это мощный, перспективный и универсальный метод манипулирования наночастицами. Для реализации этого метода используются различные приборы, такие как сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ). Различия между режимами зондовой литографии определяются формой энергии, используемой для модификации поверхности подложки. На данный момент существует два основных класса АСМ литографии: с использованием напряжения смещения и силовая АСМ литография. Принцип АСМ-анодно-окислительной литографии основан на окислении поверхности образца электрическим полем, возникающим при подаче напряжения на зонд. Электрическое поле ионизирует молекулы воды, образующиеся между зондом и образцом, что приводит к локальному анодному окислению, используемому для создания наноразмерных оксидных структур на поверхности [1]. В методе силовой зондовой литографии (СЗЛ) изменение топологии осуществляется за счет механического воздействия зонда на образец [2]. Преимуществами зондовой литографии перед другими типами, такими как электронно-лучевая литография и литография ионным пучком, является простота и экономичность, а также возможность создания уникальной топологии с меньшим количеством операций.

В данной работе рассматривается метод СЗЛ с использованием атомно-силового микроскопа. Метод направлен на создание контролируемых дефектов на поверхности образца с целью получения необходимой топологии посредством воздействия силы со стороны зонда на поверхность (Рис.1). В качестве образца использовалась коллоидная фотонно-кристаллическая (КФК) пленка, полученная из раствора полистирола с диаметром частиц 400 нм (Рис.2а). КФК пленка – это упорядоченная структура, состоящая из сферических частиц диэлектрического материала и обладающая свойствами фотонных кристаллов [3]. Путем создания контролируемых дефектов в КФК можно добиться локализации электромагнитной волны внутри кристалла. Такой эффект позволяет создавать на основе ФК оптические переключатели, волноводы и другие устройства микроэлектроники.

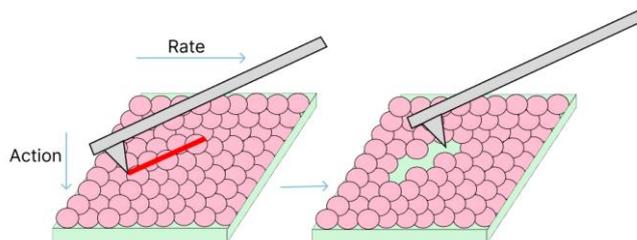


Рис.1. Принцип работы СЗЛ на основе АСМ

Целью эксперимента являлось удаление линейно организованных частиц из матрицы КФК пленки посредством проведения АСМ литографии в силовом режиме. Для достижения поставленной цели необходимо было осуществить подбор следующих параметров: сила взаимодействия между зондом и образцом, скорость перемещения зонда процесса. Результат эксперимента показал, что при недостаточном усилии зонд касается поверхности аналогично контактному режиму сканирования, при этом деформации структуры не происходит. Слишком высокие значения скорости приводят к загрязнению поверхности подложки, а также к «налипанию» на зонд отдельных частиц, что сказывается на конечном размере дефекта (Рис.2б). Для получения качественных результатов после проведения литографии необходимо производить дополнительную очистку подложки для удаления лишних частиц. Провести удаление частиц с поверхности можно с использованием ультразвуковой ванны.

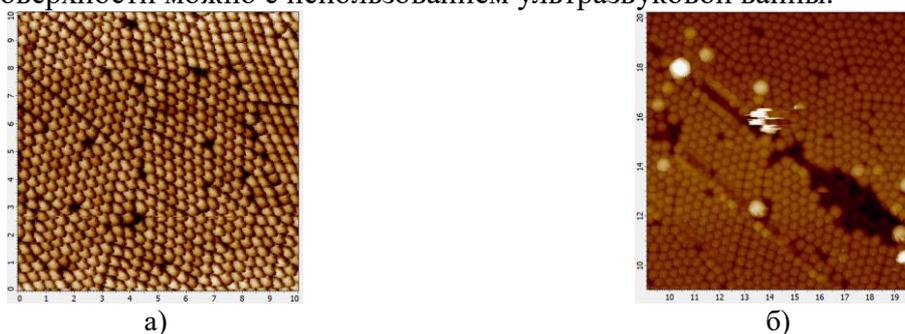


Рис.2. АСМ изображение а) – до проведения литографии, б) – после

Метод силовой литографии на основе АСМ позволяет формировать контролируемые дефекты на поверхности КФК пленки путем удаления конкретных частиц матрицы кристалла. Несмотря на широкую известность метода он требует тщательного изучения и отработки параметров, что в свою очередь позволит изменять топологию КФК структур с характерными размерами частиц от 100 нм до 400 нм, а также расширить область применения литографии на основе АСМ.

Литература

1. *Pineda J. P. et al. Nanoscale Material Patterning using Atomic Force Microscopy Nano-Lithography. – 2020.*
2. *Fan P. et al. Scanning probe lithography: state-of-the-art and future perspectives //Micromachines. – 2022. – Т. 13. – №. 2. – С. 228.*
3. *Кошелева М. А. Исследование структурных особенностей поверхности фотонно-кристаллической пленки методом атомно-силовой микроскопии. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 22 – 26 апреля, 2024, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2024.*