

УДК 544.032.65

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ
АКЦЕПТОРНОЙ ПОДЛОЖКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТОКОПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУР, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ ГЛУБОКИХ
ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ**

**Степанюк Д.С. (ИТМО), Заикина М.А. (ИТМО), Елтышева Е.А. (ИТМО)
Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Синева Д.А.
(ИТМО)**

Введение. В настоящее время активное развитие наблюдается в области гибридной электроники, а основной задачей является изготовление частого периодического прототипирования новых конфигураций. Существует множество методов изготовления типовых элементов электроники (платы, сенсоры и т.д.) таких как: струйная печать проводящими чернилами [1], лазерно-индуцированный перенос [2], лазерно-индуцированное осаждение из газовой фазы [3]. Однако, из-за многостадийности процесса изготовления, дороговизны оборудования и материалов использование перечисленных технологий не позволяет в полной мере выполнить задачу формирования структуры сложной геометрии. Метод лазерно-индуцированного осаждения металлов из глубоких эвтектических растворителей является современным решением, применение которого позволяет быстро и просто изготавливать токопроводящие структуры сложной геометрии на поверхности акцепторных подложек [4]. Перед осаждением токопроводящих структур на поверхность акцепторной подложки для повышения электрических характеристик было предложено проводить предварительное структурирование поверхности стекла с применением технологии лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП) [5]. Однако, до сих пор не изучена степень влияния различных факторов на электрические характеристики получаемых структур. На физико-химические свойства оказывают влияние следующие факторы:

- 1) Шероховатость поверхности акцепторной подложки;
- 2) Физико-химические характеристики донорного слоя, образованного при структурировании поверхности технологией ЛИМП;
- 3) Химический состав окружающей среды, в которой проводилось осаждение частиц меди.

Основная часть.

Настоящий доклад посвящен изучению влияния шероховатости поверхности акцепторной подложки на величину удельной электрической проводимости структур, полученных при осаждении меди из глубоких эвтектических растворителей под действием излучения волоконного лазера с длиной волны 1070 нм. Изменение таких параметров, как скорость сканирования лазерных импульсов и количество линий на миллиметр приводит к различным значениям перекрытия лазерных импульсов в двух ортогональных направлениях (вдоль линии сканирования и между линиями), что приводит к различной геометрии поверхности акцепторной подложки после воздействия плазменного факела, образованного при поглощении лазерного излучения мишени, использованной для реализации технологии ЛИМП. Неизменными характеристиками лазерного излучения были: мощность лазерного излучения 16 Вт, частота следования импульсов 20 кГц, длительность импульса 50 нс. В качестве поглощающих мишеней для технологии ЛИМП были использованы титановая пластина, стальная пластина и пластина графита, обладающие различными значениями поглощательных способностей (в диапазоне от 0,3 до 0,99), а также приводят к возникновению плазменного факела с различными характеристиками. Для удаления частиц пенографита, металлов и их оксидов с поверхности акцепторной подложки использовалось повторное облучение акцепторной подложки лазерным излучением, чтобы исключить влияние на химико-физические свойства образованных в ходе осаждения токопроводящих структур.

Измерение шероховатости поверхности акцепторной подложки проводилось при

помощи контактного профилометра Hommel Tester T8000 с разрешающей способностью ± 0.01 мкм. Измерение электрического сопротивления токопроводящих структур, образованных при осаждении меди из глубоких эвтектических растворителей под лазерным воздействием, проводилось с использованием мультиметра при нанесении серебряных контактов.

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить степень влияния шероховатости поверхности акцепторной подложки на электрические характеристики токопроводящих структур, полученных при осаждении меди из глубоких эвтектических растворителей под лазерным воздействием волоконного лазера с длиной волны 1070 нм, и сформулировать рекомендации к выбору режимов структурирования акцепторной подложки для достижения заданных электрических характеристик структур.

Коллектив авторов благодарит Е. А. Авилу, И. И. Тумкина и Е. М. Хайруллину за ценные обсуждения. Коллектив авторов благодарит кафедру систем управления и робототехники за помощь при работе с контактным профилометром Hommel Tester T8000.

Список использованных источников:

1. Super-fine ink-jet printing: toward the minimal manufacturing system. / Murata, K., Matsumoto, J., Tezuka, A. et al. // *Microsystem Technologies*. – 2005. – vol. 12, № 1-2. – P. 2–7.
2. Lasersonic® LIFT Process for Large Area Digital Printing / G. Hennig, T. Baldermann, C. Nussbaum [et al.] // *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*. – 2012. – Vol. 7. – №. 3.
3. Liu, Y.S. Laser direct writing of tungsten lines for VLSI applications / Liu, Y.S. // *United States: Materials Research Society*. – 1986.
4. Levchakova A. S. et al. Highly rapid direct laser fabrication of Ni micropatterns for enzyme-free sensing applications using deep eutectic solvent // *Materials Letters*. – 2022. – Т. 308. – №. 131085.
5. Avilova E.A. et al. Direct Laser Writing of Copper Micropatterns from Deep Eutectic Solvents Using Pulsed near-IR Radiation // *MDPI Nanomaterials*. – 2022. – Т. 12. – №. 1127.