

*А. С. Левшакова¹, Е. М. Хайруллина¹, М. С. Панов¹, А. Ю. Шишов¹,
Д. И. Гордейчук¹, Е. Е. Данилова¹, Л. С. Логунов², И. И. Тумкин¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

e-mail: i.i.tumkin@spbu.ru

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ХИМИИ ПОВЕРХНОСТИ: СОЗДАНИЕ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Одной из основных тенденций, которые характеризуют развитие технических устройств, в настоящее время является тренд на миниатюризацию оборудования, поэтому большой интерес привлекает разработка простых, недорогих и надежных методов изготовления новых малогабаритных конструкций с хорошей электропроводностью и электрохимическими свойствами. Эта тематика актуальна для многих областей медицины, науки и промышленности [1]. Традиционно для создания подобных материалов исследователи прибегают к различным лазерным методам синтеза.

В этой связи наша исследовательская группа успешно применяет метод лазерного химического жидкого фазового осаждения металлов из раствора (LCLD) как экономически эффективный, простой и доступный метод синтеза сенсорных активных материалов. В этом методе восстановление металла из локализованного объема раствора электролита происходит в фокусе лазерного луча, что приводит к образованию мелких металлических структур с сильно развитой площадью поверхности [2]. Существует ряд металлов, которые могут быть нанесены с использованием LCLD, включая медь, никель, золото, кобальт, молибден, платину, железо и другие [3]. Кроме того, полученные нано- и микроструктурированные металлические материалы с большой удельной поверхностью демонстрируют высокую электрическую проводимость, биосовмест-

* © Тумкин И. И., 2021

мость, высокую реакционную активность и электрокаталитическую активность [4]. Например, в работе [5] нами была продемонстрирована возможность синтезировать электрокаталитически активные микроструктуры меди, подходящие для обнаружения перекиси водорода и глюкозы, с использованием метода лазерного осаждения *in situ*, при этом синтезированные микроэлектроды показывали аналитический отклик почти в 30 раз выше, чем наблюдаемый у объемной меди. Таким образом, в данной работе впервые был предложен простой и дешевый метод получения электрокаталитически активных наночастиц металлов непосредственно в реакционной смеси.

Несмотря на то, что метод LCLD обладает рядом преимуществ, исследователям приходится сталкиваться и с некоторыми сложностями. Например, скорость процесса осаждения металлов из водных и органических растворов обычно равна 0,01 мм в секунду, что приводит к чрезмерной длительности процесса осаждения. Нашей научной группой было предложено использование глубоких эвтектических растворителей (ГЭР), что позволило значительно упростить процедуру осаждения металлов и увеличить скорость осаждения металлов более чем в 150 раз по сравнению с использованием водных или органических растворов. На рис. 1 представлены оптические и СЭМ изображения микроструктур меди, осажденных из ГЭР по методу LCLD.

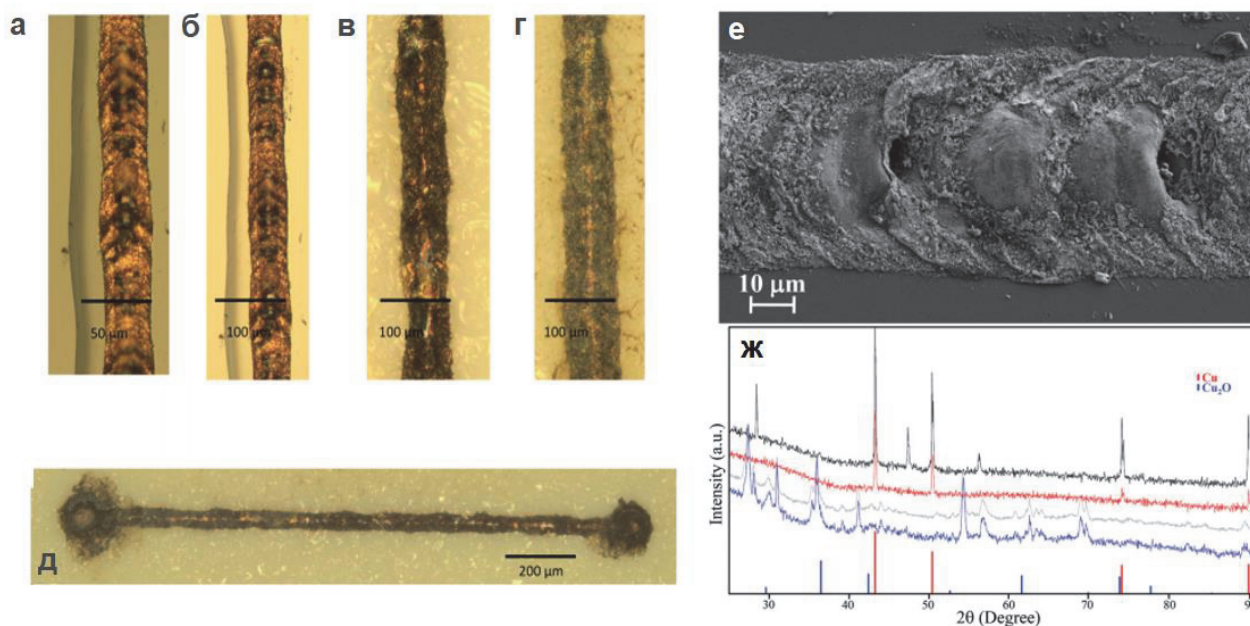


Рис. 1. Зависимость ширины и морфологии дорожек меди от мощности облучения и скорости лазерного сканирования: *а* – 1000 мВт 0,8 мм с⁻¹; *б* – 1500 мВт 1,6 мм с⁻¹; *в* – 2000 мВт 0,8 мм с⁻¹; *г* – 2000 мВт 1,6 мм с⁻¹; *д* – 2000 мВт 0,8 мм с⁻¹; *е* – СЭМ-изображения структур меди, осажденных из ДЭС на основе хлорида холина и лимонной кислоты; *ж* – рентгенограммы микроструктур меди

Список литературы

1. *Davis F., Higson S.* Biofuel cells--recent advances and applications // *Bio-sens. Bioelectron.* – 2007 – V. 22. – P. 1224–1235. DOI: 10.1016/j.bios.2006.04.029
2. Side reactions during laser-induced deposition of copper from aqueous solutions of CuII complexes / *V. A. Kochemirovsky et al* // *Russ. Chem. Bull.* – 2012. – V. 61. – P. 1041–1047. DOI: 10.1007/s11172-012-0133-3
3. Aluminum chloride reveals the catalytic activity towards laser-induced deposition of copper from water-based solutions / *O. A. Lozhkina et al* // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2015. – №10. – P. 6084–6091.
4. *Chen S., Yuan R., Chai Y., Hu F.* Electrochemical sensing of hydrogen peroxide using metal nanoparticles: a review // *Microchimica Acta.* – 2012. – V. 180. – P. 15–32. DOI: 10.1186/1471-2342-12-15

5. Sensory properties of copper microstructures deposited from water-based solution upon laser irradiation at 532 nm / Panov M. S. et al // Opt. Quant. Electron. –2016. – V. 48. – P. 490. DOI: 10.1007/s11082-016-0758-9

Авторы выражают признательность за финансовую поддержку РФФИ (20-33-70277) и Совету по грантам при Президенте Российской Федерации (проект МК-1521.2020.3). Авторы также выражают благодарность ресурсным центрам СПбГУ: центру нанотехнологий, центру исследования оптических и лазерных материалов и центру рентгеноструктурных исследований.