

**Получение тонкоплёночных мемристоров на основе eGaIn и исследование их свойств**

**Лобач А.С.** (Университет ИТМО), **Лаврентьев Ф.В.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – директор НОЦ ИнфоХимии, профессор, д.х.н. Скорб**

**Екатерина Владимировна** (Университет ИТМО)

**Введение.** Достижения в области нанотехнологий продолжают революционизировать электронику, прокладывая путь к созданию более эффективных и универсальных устройств. Среди этих инноваций тонкие пленки с мемристивными свойствами выделяются своим потенциалом в вычислительных технологиях следующего поколения и технологиях памяти. Однако традиционные методы получения тонких пленок, обладающих различными электрическими свойствами (диод, конденсатор, резистор и мемристор), часто сталкиваются с проблемами в достижении однородности, масштабируемости и надежности [1]-[4]. В данной работе предложен новый подход к получению тонкоплёночных мемристоров, основанного на использовании эвтектического сплава галлия и индия (eGaIn). В отличие от традиционных материалов, eGaIn обладает рядом уникальных преимуществ: высокой электропроводностью, обеспечивающей эффективную передачу сигнала, гибкостью и эластичностью, позволяющими создавать устройства, способные к деформации [5]-[8]. Низкая температура плавления eGaIn упрощает процесс изготовления тонких плёнок, обладающих мемристивными свойствами, а возможность контролируемого окисления позволяет формировать оксидный слой с требуемыми свойствами для эффективного резистивного переключения. Эти свойства делают eGaIn перспективным материалом для гибкой электроники.

**Основная часть.** Были изучены электрохимические свойства гидрогелей различного состава (с различными нитратами, хлоридами, сульфатами и фторидами), который используются для формирования тонкослойного интерфейса на поверхности галлий-индиевого эвтектического сплава (eGaIn). В зависимости от состава гидрогеля появляется возможность формирования на поверхности eGaIn нерастворимых оксидных пленок, выступающих как электронные компоненты: диод, конденсатор, резистор и мемристор. Так было обнаружено мемристивное свойство тонкой пленки, образованной на границе раздела эвтектического сплава галлия-индия (eGaIn) и гидрогеля с 0.1М концентрацией  $\text{Cu}^{2+}$ . Пленки были получены нанесением тонкого слоя сплава eGaIn на кварцевую подложку методом спин-коатинга. Перед этим подложка обрабатывалась ультразвуком в ацетоне и воде по 5 мин и сушилась под струей азота. Затем на eGaIn наносился 0,1 М раствор  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , подключались графитовые электроды (катод - к раствору, анод - к eGaIn), и подавалось напряжение 1 В в течение 10 мин для образования оксидной пленки, контролируемой хроноамперометрией. Сканирующая электронная микроскопия показала образование нерастворимой пленки сложного химического состава и структуры на поверхности эвтектического сплава при постоянном напряжении (1 В). Кроме того, на поверхности этой пленки присутствуют частицы меди размером 5-7 мкм, которые создают неоднородность и магнитопроводность пленки. Адаптивное поведение и синаптическая пластичность полученной пленки были охарактеризованы с помощью циклической вольтамперометрии и хроноамперометрии. Исследование пленки в режиме постоянного тока показывает биполярное поведение и непрерывное распределение состояний сопротивления, что указывает на улучшенное сохранение данных.

**Выводы.** Полученные результаты демонстрируют возможность формирования мемристивных устройств на основе eGaIn с использованием гидрогелей, что открывает перспективы для создания нейроморфных устройств на гибких носителях.

**Список использованных источников:**

1. Dang, B. *et al.* One-Phototransistor–One-Memristor Array with High-Linearity Light-Tunable Weight for Optic Neuromorphic Computing. *Advanced Materials* **35**, (2023).
2. Kim, M. *et al.* Forming-less flexible memristor crossbar array for neuromorphic computing applications produced using low-temperature atomic layer deposition. *Appl Mater Today* **38**, (2024).
3. Patil, A. R. *et al.* Sprayed FeWO<sub>4</sub> thin film-based memristive device with negative differential resistance effect for non-volatile memory and synaptic learning applications. *J Colloid Interface Sci* **642**, 540–553 (2023).
4. Yang, J. *et al.* Wafer-Scale Memristor Array Based on Aligned Grain Boundaries of 2D Molybdenum Ditelluride for Application to Artificial Synapses. *Adv Funct Mater* **34**, (2024).
5. Ivanov, A. S. *et al.* *Programmable Soft-Matter Electronics*.
6. Banerjee, S. S. *et al.* Designing Supertough and Ultrastretchable Liquid Metal-Embedded Natural Rubber Composites for Soft-Matter Engineering. *ACS Appl Mater Interfaces* **13**, 15610–15620 (2021).
7. Deng, Y., Guo, X., Lin, Y., Huang, Z. & Li, Y. Dual-Phase Inspired Soft Electronic Sensors with Programmable and Tunable Mechanical Properties. *ACS Nano* **17**, 6423–6434 (2023).
8. Tavakoli, M. *et al.* 3R Electronics: Scalable Fabrication of Resilient, Repairable, and Recyclable Soft-Matter Electronics. *Advanced Materials* **34**, (2022).