

## ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МЕМРИТОРОВ НА ОСНОВЕ eGaIn И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Лаврентьев Ф.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – профессор, кандидат химических наук, Скорб Е.В.  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Мемристор представляет собой нелинейное, пассивное и двухполюсное устройство, поддерживающее функциональную зависимость между временными интегралами напряжения и тока [1]. Он имеет широкий спектр приложений, включая энергонезависимую оперативную память, динамическую оперативную память и флэш-память [2]. В свою очередь, интерес к электронике на основе мягких материалов быстро возрастает благодаря своим выдающимся свойствам, таким как гибкость и растяжимость. Этот тип электрических компонентов может найти потенциальное применение для создания портативной, носимой электроники и биосовместимых устройств. Однако поиск материалов с доступными электрическими и механическими свойствами является сложной задачей. Существует три типа таких материалов: проводящие полимеры, жидкие металлы и гидрогели. В настоящее время наиболее распространенным жидким металлом являются эвтектические сплавы галлия и индия (eGaIn из 75% Ga и 25% In).

**Основная часть.** Были изучены электрохимические свойства гидрогелей различного состава (с добавлением ионов  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др. или анионы  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), 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. Когда через электроды из eGaIn протекает ток, галлий окисляется и превращается в  $\text{Ga}^{3+}$ . Индий в сплаве всегда восстанавливается галлием и в химических реакциях не участвует. При этом для галлия характерно образование оксидной пленки на поверхности при контакте с водным раствором, однако, в зависимости от состава гидрогеля возможно формирование пленок сложной структуры, например  $\text{CuGaO}_2$ ,  $\text{ZnGaO}_2$ ,  $\text{LiGaO}_2$ . Так было обнаружено мемристорное свойство тонкой пленки, образованной на границе раздела эвтектического сплава галлия-индия (eGaIn) и гидрогеля с 0.1M концентрацией  $\text{Cu}^{2+}$ . Сканирующая электронная микроскопия показала образование нерастворимой пленки сложного состава и структуры на поверхности эвтектического сплава под фиксированным напряжением (1V). Кроме того, на поверхности этой пленки находятся частицы меди размерностью 5–7 мкм, которые создают неоднородность и мемристивность пленки. Состав пленки был исследован методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией, рентгеноструктурного анализа, а морфология и толщина - атомно силовой микроскопией. Была предложена визуализация протекания электрического тока через гидрогель с  $\text{Cu}^{2+}$  в составе под фиксированным напряжением (1V) с помощью фотодиодов (на входе и выходе), которая в свою очередь подтверждает анализ вольтамперных характеристик (ВАХ). При стационарной подаче напряжения наблюдается постепенное увеличение интенсивности свечения диодов, а не снижение за счет роста оксидной пленки, что доказывает образование пленки сложного состава. Образование пленки влияло на свечение фотодиодов так, что фотодиод на выходе светился ярче фотодиода на входе. Исследование пленки в режиме постоянного тока показывает биполярное поведение и непрерывное распределение состояний резистентности, что указывает на улучшенное сохранение данных. Адаптивное поведение и синаптическая пластичность полученной пленки была охарактеризована циклической вольтамперметрией и хроноамперметрией. При подаче постоянного напряжения треугольной формы на мемристор кривая ВАХ в каждом цикле развертки выглядит как бананообразная петля гистерезиса и по

мере увеличения числа циклов проводимость увеличивается или уменьшается монотонно и последовательно.

**Выводы.** По сравнению с другими сообщениями об аналоговых мемристорах, мемристор на основе оксида галлия демонстрирует два основных отличия. Во-первых, соседние кривые развертки совпадают друг с другом в области низкого напряжения и не перекрываются, что указывает на улучшенное сохранение данных и квадратичную зависимость между током и напряжением, который в свою очередь указывает на механизм проводимости тока с ограничением пространственного заряда. Во-вторых, отсутствуют колебания или резкие изменения ВАХ во время сканирования, что предполагает непрерывное распределение состояний сопротивления. Полученные результаты дают возможность использования мемристоров на основе eGaIn для создания нейроморфных устройств на гибких носителях.

#### **Список использованных источников:**

1. Duraisamy N. et al. Fabrication of TiO<sub>2</sub> thin film memristor device using electrohydrodynamic inkjet printing //Thin Solid Films. – 2012. – Т. 520. – №. 15. – С. 5070-5074.
2. Dongale T. D. et al. Nanostructured TiO<sub>2</sub> thin film memristor using hydrothermal process //Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Т. 593. – С. 267-270.