

УДК 621.35.035

РАЗРАБОТКА ГИБКОЙ АДАПТИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ.

Яцук М.А. (ИТМО), Михайлова П.А. (ИТМО), Фальчевская А.С. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор химических наук, директор
химико-биологического кластера Виноградов В.В. (ИТМО)

Введение. В настоящее время гибкие электронные устройства постепенно внедряются в повседневное использование. Среди их преимуществ можно выделить компактность и большую вариативность применений по сравнению с девайсами более старого поколения на основе жесткой электроники.

Использование типичных проводниковых материалов, например, серебра, меди, алюминия не подходит для гибкой электроники, так как при сжатии металла, его растяжении, изгибе или кручении происходят его деформация и последующий разрыв цепи. Проводники на основе галлия и его сплавов (GaIn, GaInSn) обладают гибкостью и растяжимостью, при низких температурах не токсичны и имеют хорошую тепло- и электропроводность. Гибкие носимые устройства стали наиболее широко использоваться в медицинской сфере для оценки и мониторинга состояния человеческого организма [1], а потому они должны быть просты в изготовлении.

В настоящее время в РФ не сильно распространено использование галлия и его сплавов в области гибкой электроники. Однако в иностранных трудах есть множество работ по созданию электродов для гибкого соединения устройств, сенсоров [2], а также схем и функциональных носимых устройств, обеспечивающих автономность девайсов [3]. Последними, например, часто выступают трибоэлектрические наногенераторы (ТЭНг), преобразующие механическую энергию в электрическую [4].

Основная часть. В следующей работе предлагается разработка систем мониторинга здоровья, основой которых являются сенсоры и трибоэлектрический генератор в качестве источника питания, например, для микроконтроллера, который в перспективе может быть использован для передачи и обработки сигналов с сенсоров на экран соответствующего устройства. Их особенностью является использование сплава галинстана (GaInSn) и полимерной подложки в качестве основы, которые в совокупности способствуют сгибанию устройства. В разработке сенсоров и ТЭНга использовался полимер полидиметилсилоксан (ПДМС) SYLGARD 184 Silicone Elastomer Kit с отверждающим агентом (10:1).

В данной работе были проведены создание и исследование резистивных датчиков давления по разным параметрам аналитического отклика. Такие сенсоры дают сигнал изменения сопротивления проводника в ответ на их растяжение и нагрузку. Физическая величина электрического сопротивления прямо пропорционально зависит от его длины и обратно – от площади его поперечного сечения. Это дает возможность варьирования таких параметров сенсора, как высота поперечного сечения, диаметр и длина проводника. Изменение сопротивления фиксировали на мультиметре UNI-T UT890C. Растяжение и сжатие датчиков проводили на разрывной машине Ametek LS1.

В качестве основы для сенсора была приготовлена полимерная подложка. При помощи лазерного гравера LaserMan flying bear на нее поверх маски, придающей четкую форму, наносили схему будущего сенсора. Сплав галинстана напылялся внутрь паттерна с использованием аэрографа JAS 1202. Полученные сенсоры имели параметры, характеризующие аналитический сигнал, такие, как чувствительность, линейность и пределы обнаружения, за счет вариации форм и размеров паттерна проводника, а также количества проходов лазера при гравировке (определяют глубину лунки, а следовательно, поперечное сечение проводника).

Для автономной работы будущих девайсов немаловажно иметь гибкие преобразователи механической энергии в электрическую. Мы предлагаем использовать ТЭНги контактно-вертикально-разделительного режима на основе галинстана и ПДМС. Преимуществами этого режима являются простая конструкция и высокая выходная мощность, позволяющие поглощать энергию за счёт механического внешнего воздействия. Принцип работы состоит в том, что, когда к ТЭНгу прикладывается внешняя сила, два трибоэлектрических материала соприкасаются, и заряд передаётся между двумя материалами. В этом состоянии одна поверхность материала, обладающая сильной способностью притягивать электроны (ПДМС), будет производить отрицательные заряды. Положительные заряды появятся на другой поверхности подвижной части – медном электроде. Когда внешняя сила снимается, из-за разделения двух материалов возникает разность электрических потенциалов. Чтобы сбалансировать разность потенциалов заряды будут перетекать, с одной стороны, на другую до тех пор, пока устройство полностью не освободится [5]. Как только сила будет приложена снова, разность потенциалов уменьшается из-за сокращения межслойного расстояния. Этот процесс соответствует противоположному течению тока, а ток противоположно направлен движению электронов в ТЭНге.

За основу конструкции в виде сэндвича, зажатого между двух медных пластин ТЭНга, была использована следующая работа [6]. Преимущество нашего ТЭНга состоит в скорости и простоте изготовления. Этапы разработки состояли в приготовлении пленок ПДМС с использованием спинкоутера POLOS и нанесении поверх тонкого слоя галинстана при помощи аэрографа. Характеристик, вырабатываемых ТЭНгом, с диаметром $D=75$ мм хватило, чтобы зажечь диод с рабочим напряжением $\sim 2.0 - 3.0$ В и потреблением тока ~ 20 мА, что соответствует необходимому напряжению для микроконтроллера.

Выводы. В результате были разработаны электронные пре-прототипы, в основе которых лежат галинстан и полимер ПДМС. В дальнейшем датчики давления с автономным питанием могут быть использованы в носимых устройствах мониторинга здоровья, например, “умных” стельках и девайсах для мониторинга пульса и артериального давления. Также необходимо упомянуть, что помимо вышеперечисленных параметров возможно варьирование толщины подложки и соотношения полимера с отверждающим агентом, что в перспективе даст возможность разработки сенсоров с большей чувствительностью.

Список использованных источников:

1. Gowtham P., Pradeepkumar Ch., S K.B., Sharma P.P. Role of liquid metal in flexible electronics and envisage with the aid of patent landscape: a conspicuous review // *Electronic Materials Letters*. – 2023. – №19. – С. 325–341.
2. Park Y., Lee G., Jang J., Yun S.M., Kim E., Park J. Liquid metal-based soft electronics for wearable healthcare // *Advanced Healthcare Materials*. – 2021. – №10(17). – С. 2002280.
3. Phillip W., Seongmin J., Carmel M., Seung H.K., Recent advances in liquid-metal-based wearable electronics and materials // *iScience*. – 2021. – №24(7). – С. 102698.
4. Yang Y., Han Jing., Huang J., Sun J., Wang Z., Seo S., Sun Q. Stretchable energy-harvesting tactile interactive interface with liquid-metal-nanoparticle-based electrodes // *Advanced Functional Materials*. – 2020. – №30(29). – С. 1909652.
5. Wang Y., Yang Y., Wang Z.L. Triboelectric nanogenerators as flexible power sources // *Npj Flex Electron*. – 2017. – №10. – С. 1.
6. Kim J., Kim J.H., Seo S. Amplifying the output of a triboelectric nanogenerator using an intermediary layer of gallium-based liquid metal particles // *Nanomaterials*. – 2023. – №13(7). – С. 1290.