

УДК 538.9

## НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

Агликов А.С. (НИУ ИТМО)

Научный руководитель – к.х.н., проф. Скорб Е.В.

(НИУ ИТМО)

### Аннотация

Наноструктурированные материалы на основе наночастиц металлов и оксидов переходных металлов, например случайные сети - перспективные объекты для создания электронных приборов, вдохновленных принципами построения и работы нервной ткани живых существ. В работе рассматриваются системы, состоящие из диэлектрической подложки с металлическими электродами, и осажденной в случайном порядке сети из взвеси наночастиц. Показана принципиальная возможность создания электронных приборов на основе такой системы, а так же обсуждается поведение и отклик таких систем на внешние электрические сигналы.

### Введение

Изобретение вычислительных машин дало мощный толчок к развитию науки и техники: от старейших механических вычислителей к устройствам на реле и вакуумных лампах машины становились сложнее. С изобретением транзистора и технологий изготовления интегральных микросхем (ИМС) [1, 2] началась миниатюризация, увеличение надёжности устройств и их универсализация: стало возможным использование электронно-вычислительных машин (ЭВМ) во всех сферах жизни - от бытовых задач до космических исследований.

Невозможно представить современную цивилизацию, переживающую четвёртую промышленную революцию, без электронных приборов и устройств. Несмотря на такой бурный рост, ЭВМ имеют некоторые недостатки, например: узкое место архитектуры фон Неймана (физическое разделение между памятью и вычислительным устройством) устанавливает нижнюю границу быстродействия, связанную со скоростью передачи данных [3]. Согласно правилу Мура для ИМС каждые 1.5 года в 2 раза должно увеличиваться количество транзисторов при сохранении цены. Это правило работало около 50 лет, но теперь топологическая норма для канала полевого транзистора в КМОП-устройстве упирается в фундаментальные пределы, связанные с атомарными свойствами вещества и скоростью света [4]. Так же имеют место проблемы, связанные с энергопотреблением и тепловыделением ИМС.

Преодолеть ограничения классической архитектуры и принципов построения ИМС могли бы приборы и устройства, созданные на принципах работы нервной ткани. Например, человеческий мозг при потреблении в 20 Вт [5] в сравнении с процессором, который потребляет около 100 Вт, имеет на 4-5 порядков больше конструктивных элементов (нейронов, синапсов, аксонов, дендритов, клеток глии). Более того, для нервной ткани характерна способность к обучению - перестраиванию связей между нейронами. Таким образом, это ключевое свойство нервной ткани крайне интересно к реализации в твердотельном устройстве.

### Основная часть

Для решения поставленных проблем в качестве нейроморфных систем используются случайные сети наночастиц металлов (сплав Zn-Cu), полученные сонохимическим методом, и наночастицы оксидов переходных металлов (ZnO, NiO), полученные путём

гидротермального синтеза. Из взвеси частиц в спирте на подложку с металлическими контактами осаждается ограниченный объём, который впоследствии сушится в вакуумном эксикаторе.

Выбор методов синтеза обусловлен широкими возможностями подбора формы, размеров, состава и свойств частиц. Управление свойствами частиц необходимо для реализации высокоэффективных случайных сетей с нелинейным электрическим откликом и эффектом памяти.

В данной работе приведены характеристика морфологических и структурных свойств самих наночастиц, и высаженных на подложку плёнок таких частиц. Исследованы и проанализированы принципы работы таких сетей в "мемристорном" режиме с двойной петлёй гистерезиса на вольт-амперной характеристике (ВАХ), приведены данные о характерном изменении поведения в зависимости от количества рабочих циклов измерения ВАХ.

## **Выводы**

Путём простых операций используя наночастицы можно создавать твердотельное электронное устройство с нелинейным электрическим поведением и эффектом памяти. На функциональность и характеристики такого устройства влияют многие параметры и условия всех технологических операций от синтеза наночастиц до сушки взвеси, в том числе геометрия, форма, и материал контактов. Результаты исследования планируется применять для создания твердотельных электронных приборов нового поколения, вдохновленных структурой нервной ткани живых существ.

[1] J. Bardeen and W. H. Brattain, The transistor, a semi-conductor triode // Phys. Rev., vol. 74, pp. 230–231, July 15, 1947.

[2] Noyce, Robert N. Semiconductor device-and-lead structure // U. S. Patent 2981877 (Filed July 30, 1959. Issued April 25, 1961).

[3] Lv, Z.; Wang, Y.; Chen, J.; Wang, J.; Zhou, Y.; Han, S. Semiconductor Quantum Dots for Memories and Neuromorphic Computing Systems // Chem. Rev. 2020

[4] Leiserson C. E. et al. There's plenty of room at the Top: What will drive computer performance after Moore's law? // Science. – 2020. – Т. 368. – №. 6495

[5] Andrews-Hanna, J. R., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Lustig, C., Head, D., Raichle, M. E., et al. (2007). Disruption of large-scale brain systems in advanced aging. *Neuron*, 56(5), 924–935.

Агликов А.С. (автор)

к.х.н., проф. Скорб Е.В.