

Вх. № 7/23

от 02.03.2023г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ибрагима А. Х. А. «Математическое моделирование процессов резистивного переключения в мемристоре и обработки информации в мемристорно-диодных кроссбарах входного и выходного устройств биоморфного нейропроцессора», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В настоящее время активно развиваемое направление в области информационных технологий связано с разработкой нейроморфных устройств, которые более эффективны при малом энергопотреблении для распознавания образов, машинного обучения, принятия решений, чем современные вычислительные системы, разработанные на основе архитектуры фон Неймана. Одними из перспективных компонентов наноэлектроники для создания соответствующих импульсных аппаратных нейросетей являются твердотельные мемристоры на основе оксидов металлов.

Мемристорные массивы на основе оксидов металлов уже применяются для аппаратной реализации искусственных нейронных сетей. Твердотельный мемристор является аналогом биологического синапса, связывающего нейроны мозга. При обучении и работе этих устройств используются синаптические веса, которые реализуются в виде проводимостей мемристоров. В мемристоре между предельными высокопроводящим и низкопроводящим состояниями имеется множество промежуточных состояний с разной проводимостью. Эти состояния можно использовать в процессах ассоциативного обучения нейросети на основе мемристорных синапсов и одновременной обработки входных импульсов, заключающейся в их взвешивании и суммировании. Актуальной задачей является создание алгоритмов математического моделирования и программ на их основе для резистивного переключения твердотельного мемристора и обработки информации в больших мемристорных массивах, с помощью которых возможна верификация существующих математических моделей функционирования этих устройств.

Представленные диссертантом результаты несомненно обладают новизной, поскольку разработанные алгоритмы моделирования и соответствующие программы позволили реализовать полную математическую модель резистивных состояний мемристора, которая описывает перенос зарядов в электрическом поле, а также с помощью численного моделирования осуществить обработку сигналов в больших мемристорных массивах и показать их функциональные возможности.

Есть замечания по тексту автореферата.

1) Рис.4а иллюстрирует процесс резистивного переключения мемристора из низкопроводящего в высокопроводящее состояние при возрастании напряжения. На рисунке не представлена ветвь обратного резистивного переключения мемристора при отрицательном напряжении на мемристоре. Этот участок вольт-амперной

характеристики также представляет интерес при исследовании электрических свойств твердотельных мемристоров и мемристорных массивов.

2) Уравнение (3), описывающее процесс теплопереноса при движении вакансий в электрическом поле, в правой части содержит члены, связанные с рождением и рекомбинацией заряженных частиц. Но их роль в распределении температуры в оксидном слое не показана. Очевидно, они не дают существенного вклада в процесс нагрева.

3) В алгоритм моделирования резистивных состояний мемристора не заложен анализ в уравнениях (1) и (2) членов, связанных с термофорезом и пропорциональных градиенту температуры. Утверждается, что их вклад в нагрев оксидного слоя мал из-за небольшого диапазона изменения температуры. Однако из рис.4.б следует, что этот диапазон достаточно велик и составляет 100 К.

4) Аналитическое решение для распределения концентрации вакансий по толщине мемристорного слоя, показанного на рис.2а, дает только качественное согласие с результатом численного решения полной стационарной математической модели мемристора. Насколько востребовано такое аналитическое решение?

Судя по автореферату, диссертация Ибрагима А.Х.А. является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном уровне и может иметь большое значение для отечественного производства изделий микро- и нанoeлектроники в области информационных технологий, связанной с созданием нейроморфных устройств.

В целом, материал, изложенный в автореферате, позволяет заключить, что диссертация соответствует требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и соискатель Ибрагима Абдуллы Хайдара Абдо заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики твердого тела
Воронежского государственного
технического университета



А. В. Ситников

6 февраля 2023 г.

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Телефон: +7(473) 246-66-47

E-mail: sitnikov04@mail.ru

Подпись Александра Викторовича Ситникова
заверяю:

Ученый секретарь ученого совета ВГТУ



В.И. Трофимов