



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ  
РОБОТОТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ»

ЦНИИ РТК

Тихорецкий пр., 21, Санкт-Петербург, Россия, 194064  
Телефон: (812) 552-7405, (812) 552-0110 Факс: (812) 556-3692  
E-mail: rtc@rtc.ru http://www.rtc.ru  
ОКПО 02070097 ОГРН 1027802484852  
ИНН 7804023410 КПП 780401001

Учёному секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.238.04  
Н.В. Пермякову

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»  
ул. Профессора Попова, дом 5,  
литера Ф,  
197022, Санкт-Петербург

..... № .....

На № ..... от .....

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **АНДРЕЕВОЙ Натальи Владимировны**  
«Физико-технологические основы мемристивных нанослоевых композиций для аналоговых нейроморфных электронных систем», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.10 – «Физика полупроводников»

Диссертация Андреевой Н.В. посвящена исследованиям фундаментальных механизмов в оксидных и сегнетоэлектрических наноконпозициях при формировании гетерогенных систем и исследованию процессов их резистивного переключения, обуславливающего появление в таких системах эффектов многоуровневой резистивной памяти.

*Актуальность* работы, в первую очередь, обусловлена сферами перспективного применения аналоговых нейроморфных электронных систем моделей и устройств генерации, передачи и синхронизации. Это – как фундаментальные исследования нелинейной динамики сложных систем, так и прикладные направления: разработка устройств мониторинга активности мозга, реализация искусственных нейрочипов-имплантов, исследование нейроморфных и нейрогибридных (состоящих из живых и искусственных нейронов) устройств применительно к решению актуальных задач в сфере информационно-телекоммуникационных технологий. Аналоговая перестройка веса синаптической связи и возможность физически изменять веса связей между нейронами значительно повышает эффективность обработки асинхронных потоков входных данных и существенно снижает энергопотребление.

*Научная значимость* работы определяется тем, что автором были разработаны и реализованы мемристивные структуры и композиции, обеспечивающие возможность энергонезависимой многоуровневой перестройки сопротивления. Установлены основные физические механизмы, лежащие в основе предложенных технологий. Данные результаты имеют большую *практическую значимость* для создания новой элементной базы для вычислительных архитектур, ориентированных на память, в том числе нейроморфных архитектур. Это особенно значимо в плане обеспечения современных требований технологической независимости в области искусственного интеллекта и высокотехнологичной медицинской помощи.

В работе получен ряд *новых научных результатов*, наиболее интересными из которых, на наш взгляд, являются следующие:

- развит экспериментальный комплекс методов исследования базовых для данной технологии физических механизмов;
- разработаны структуры с многоуровневым переключением сопротивления, на основе последовательности тонких металлооксидных слоев;
- разработаны мемристивные структуры с тонкими сегнетоэлектрическими пленками, показано, что многоуровневая перестройка сопротивления в них возможна только в результате перераспределения кислородных вакансий.

Также следует отметить *общую значимость* работы, в результате которой выработаны системные подходы к управлению физическими свойствами гетерогенных тонкопленочных оксидных структур с эффектами многоуровневого переключения сопротивления и памяти.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих мировых и российских журналах и многократно апробированы на профильных научных конференциях. Личный вклад автора в опубликованных работах не вызывает сомнения. Разработанные мемристивные структуры на базе последовательности  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -слоев, обеспечивающие возможность перестройки уровня сопротивления в диапазоне семи порядков по значению, защищены патентом РФ.



В качестве *замечания*, не снижающего общую высокую оценку работы, следует отметить отсутствие сравнительного обзора рабочих параметров разработанных мемристивных нанослоевых композиций с аналогичными структурами, если таковые существуют.

Аннотация диссертации в полной мере отражает основные научные результаты проведенного исследования. Судя по аннотации, диссертационная работа Андреевой Натальи Владимировны на тему «Физико-технологические основы мемристивных нанослоевых композиций для аналоговых нейроморфных электронных систем» является законченным научным исследованием и вносит существенный вклад в физику полупроводников. Диссертация соответствует критериям, установленным для докторских диссертаций в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Андреева Наталья Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников».

Директор-главный конструктор  
доктор технических наук



Александр Витальевич Лопота

Заместитель директора  
по научной работе  
кандидат технических наук

Александр Владимирович Попов

23.09.2022