

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Никонова Александра Евгеньевича «Электрические свойства нано-
композитов $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}\text{-LiNbO}_3$ и мемристорных структур на их ос-
нове», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Системы записи и хранения информации (устройства памяти) являются ключевым и динамично развивающимся компонентом в современной микро- и нанoeлектронике. Скорость записи и считывания памяти являются одними из основных параметров, влияющих на производительность вычислительных систем, и сегодня эти параметры становятся узким местом, ограничивающим дальнейшее развитие компьютерных технологий. Следует отметить, что это справедливо не только для оперативной памяти, но и памяти жесткого диска, о чем в том числе свидетельствует популярность твердотельных накопителей, пришедших на замену накопителям на жестких магнитных дисках и значительно ускоривших процесс записи и считывания. Создание быстродействующей, энергонезависимой памяти с неограниченным ресурсом является важнейшей задачей современной микроэлектроники, решение которой позволило бы осуществить качественный скачок в работе современных устройств.

В связи с вышеизложенным полагаю, что диссертационная работа Никонова Александра Евгеньевича, целью которой стало вы-

явление физически механизмов, влияющих на электрические свойства нанокompозита $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}\text{-LiNbO}_3$ (НК) вследствие добавления реактивных газов при синтезе гетерогенных пленок методом ионно-лучевого распыления и термической обработки образцов и установления взаимосвязи электрических свойств НК и мемристорных характеристик структур М/НК/М и М/НК/ LiNbO_3 /М, безусловно является **актуальной**.

Тема диссертации соответствует Перечню приоритетных направлений фундаментальных исследований, утвержденному Президиумом РАН (раздел 1.2 – «Физика конденсированного состояния вещества»).

Работа **хорошо апробирована**. Основные научные результаты были представлены на 5 российских конференциях и семинарах и достаточно полно отражены в 16 публикациях, в том числе и по перечню изданий ВАК.

Диссертация отвечает паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Ее автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации и адекватно отражает полученные в работе результаты. Публикации соискателя соответствуют изложенному материалу.

Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы. Во **введении** соискателем обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и поставлены основные задачи, определены объекты исследования, отмечена новизна и практическая ценность полученных результатов. Так же отмечен лич-

ный вклад автора. Изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит литературный обзор по теме диссертации. Представлены общие сведения о композитах металл-диэлектрик. Обсуждаются механизмы переключения мемристов между высокоомным и низкоомным состояниями. Описаны механизмы проводимости в сильных электрических полях.

Во второй главе описана методика получения нанокompозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ и мемристивных структур М/НК/М и М/НК/ LiNbO_3 /М. Также в данном разделе изложены экспериментальные методы исследования характеристик мемристоров.

Третья глава посвящена изучению влияния реактивных газов на структурные превращения и электрические свойства композитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$.

Суммируя все вышеперечисленное, можно сказать, что большой объем экспериментальных исследований, выполненных А.Е. Никоновым, позволил получить новые научные результаты, наиболее важные из которых являются следующие:

1. Обнаружено, что добавление O_2 и паров H_2O в рабочий газ (Ar) в процессе формирования пленки композитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ методом ионно-лучевого распыления приводит к увеличению удельного электрического сопротивления и концентрации металлической фазы на пороге протекания гетерогенной системы за счет доокисления соединения LiNbO_3 и частичного окисления элементов металлических гранул образцов. Более

интенсивно процесс окисления происходит при добавлении кислорода.

2. Показано, что порог протекания в перпендикулярной к плоскости пленки геометрии имеет существенно меньшую концентрацию атомов сплава $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$, чем в плоскости пленки.

3. Выявлено, что температура кристаллизации диэлектрической фазы нанокомпозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ увеличивается с ростом концентрации металлической фазы и уменьшается с увеличением степени окисления элементов гетерогенной структуры за счет введения в распылительную камеру кислорода и паров воды при синтезе пленок.

4. Предложена модель формирования диэлектрической прослойки на начальном этапе роста пленки нанокомпозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ на поверхности Cr, которая заключается в возможности реализации островкового и слоевого механизмов роста для металлической и диэлектрической фаз композита, соответственно.

5. Обнаружено, что структуры $\text{Cu}/(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}/\text{Cu}/\text{ситалл}$, $\text{Cu}/(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}/\text{LiNbO}_3/\text{Cu}/\text{ситалл}$, $\text{Cu}/(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}/\text{LiNbO}_3/\text{Cu}/\text{ситалл}$ при $x < 13$ ат.% после полевого воздействия имеют значительную величину (до 16 мВ) остаточного напряжения.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обусловлена корректными формулировками цели и задач диссертационного исследования, примени-

ем аттестованных методик измерений и современных методов обработки экспериментальных данных.

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием. Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях, в том числе и по перечню ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Вместе с тем по диссертации А.Е. Никонова можно высказать ряд замечаний:

1. В разделе «практическая значимость» (см. п 5) надо было указать структуры с высоким значением остаточного напряжения (см. п.5 раздела «научная новизна»), а не способы снижать данную характеристику. Так как этот параметр может быть важен для практического применения.

2. . Не приведено объяснение не монотонному характеру зависимостей $R_{off}(t)$, и $R_{on}(t)$ композита $(Co_{40}Fe_{40}B_{20})_{13.2}(LiNbO_3)_{86.8}$ полученного с добавлением O_2 1 % к давлению рабочего газа (Ar) Рис. 3.10b.

3. Рисунок 3.22 компиляция рисунков 3.6 можно было бы сослаться на соответствующие кривые рис. 3.6, а не плодить новые изображения.

4. На рис. 3.37. ВАХ (а) и временные зависимости индуцированных сопротивлений (b) структуры $Cr/Cu/Cr/(Co_{40}Fe_{40}B_{20})_X(LiNbO_3)_{100-X}/LiNbO_3/Cr/Cu/Cr/$ ситалл при $x=13.7$ ат.% после термической обработки в течение 60 минут при T : a,b – 112 °C, c,d – 200 °C, e,f – 250 °C приведены только кривые а и b.

Указанные замечания не снижают ее ценности.

По актуальности, новизне, объему, научной и прикладной значимости полученных результатов диссертационная работа «Электрические свойства нанокompозитов $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}\text{-LiNbO}_3$ и мемристорных структур на их основе» отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК РФ, а ее автор Никонов Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
электронного строения твердого тела
физики ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
университет»

Рябцев Станислав Викторович

31.03.2023

394018, г. Воронеж,
ул. Университетская площадь, 1
Тел. ...
e-mail: ryabtsev@phys.vsu.ru

