

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Смирнова Андрея Николаевича «Структура, термостойкость и электрические свойства многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$, $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Смирнова Андрея Николаевича посвящена исследованию термостойкости и изменению структуры и электрических свойств многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ при нагреве.

Многослойные пленки с толщиной слоя порядка нескольких нанометров находят широкое применение в современных функциональных элементах многочисленных технических устройств. Однако, несмотря на плюсы многослойных наноструктур серьезной проблемой является их невысокая термическая устойчивость. Наноразмерность слоёв или фазовых включений приводит к повышению химической активности материалов вследствие чего даже незначительный нагрев, который необходим для процессов гидрирования, может инициировать межфазное (межслоевое) взаимодействие, что приводит к разрушению слоистости структуры. Поскольку термическая устойчивость многослойной наноструктуры во многом зависит от химической активности фаз, образующих такую структуру, актуальной задачей является изучение влияния степени химической активности формирующих материалов на свойства и термостойкость наноструктур.

Поэтому работа А.Н. Смирнова, посвященная исследованию термостойкости и изменению структуры и электрических свойств многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ направлена на решение научной проблемы и является **актуальной**.

Поставленные задачи в диссертационной работе решены, а цели достигнуты.

Научная новизна.

К наиболее значимым результатам можно отнести:

- полученные ионно-лучевым распылением двух независимых мишеней с последующим осаждением материала на вращающуюся подложку многослойные наносистемы $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ с градиентом толщины металлических слоев. Значения толщины одного бислоя в образцах (металл + оксид) варьируется от 0,95 до 8,5 нм;

- выявленные температурные зависимости электрического сопротивления синтезированных многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ в интервале температур 77 – 300 К. Установлено, что в дискретных многослойных наноструктурах $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ в области низких температур реализуется прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми. Показано, что в дискретных наноструктурах $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ плотность электронных состояний на уровне Ферми линейно увеличивается при увеличении толщины металлического слоя ($4 \cdot 10^{16}$ - $5 \cdot 10^{18}$ эВ·см⁻³ и 10^{21} - $2 \cdot 10^{22}$ эВ·см⁻³, соответственно).

- установленные закономерности, указывающие на то, что увеличение плотности электронных состояний на уровне Ферми в многослойных наноструктурах $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ с толщинами бислоев более 4,6 нм после отжига при температуре 873 К, которое ранее не наблюдалась ни в композитных, ни в многослойных наноструктурах, обуславливается окислением магниевой фазы кислородом из диоксида циркония, что приводит к увеличению концентрации дефектов (кислородных вакансий) в диоксиде.

Практическая и научная значимость

Полученные результаты в диссертационном исследовании имеют важное, как **практическое, так и теоретическое** значение и могут быть использованы при создании термостойких многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$.

Диссертантом отработаны режимы напыления многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ с толщинами металлического и оксидного слоев порядка нескольких нанометров; показана практическая возможность получения многослойных наноструктур Mg/ZrO_2 с дискретными металлическими слоями, сформированными из неокисленных наноразмерных частиц Mg; установлены толщины металлических слоёв в многослойных наноструктурах $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ и $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ при которых слои являются дискретными и сформированы из наноразмерных металлических частиц.

В теоретическом плане соискателем получены новые знания об изменении плотности электронных состояний на уровне Ферми исследуемых материалов после отжига. В работе установлено, увеличение плотности электронных состояний на уровне Ферми в наноструктурах $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$ с гранулированными слоями магния после отжига при температуре 873 К.

В основу диссертации положены результаты исследований по следующим научно-исследовательским программам и проектам:

- проект «Нелинейные явления в функциональных и конструкционных гетероструктурах на основе оксидных систем» в рамках базовой части государственного задания (проект №FZGM-2020-0007, 2020-2022 гг.). - проект «Твердофазные гетерогенные среды конструкционного и функционального назначения» в рамках базовой части государственного задания (проект №FZGM-2023-0006, 2023-2025 гг.) - проект «Разработка водородопоглощающей ленты на основе многослойных наноструктур» (программа «УМНИК», договор № 16312ГУ/2021).

Материалы работы прошли достаточную апробацию. Материалы, представленные в диссертации были доложены на всероссийских и международных. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 7 - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из которых 5 статей опубликованы в рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных Scopus, получен 1 - патент.

Автореферат написан хорошим научным языком, хорошо иллюстрирован и по содержанию полностью соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (пунктам 1, 3, 4 и 6).

В качестве замечания можно отметить:

в автореферате

- не дана информация о скорости отогрева образца при исследовании температурного поведения электросопротивления материалов, хотя, как известно, скорость нагрева играет для этого случая важную роль.

- не указан метод измерения $R(T)$, используемые при этом контактные материалы.

Сделанное замечание не умаляет научную и практическую значимость диссертационной работы.

Судя по содержанию автореферата, диссертант проделал большую и скрупулезную исследовательскую работу, получил доброкачественный экспериментальный материал и дал адекватную теоретическую интерпретацию.

Общая оценка диссертационной работы положительная.

Заключение.

Диссертационная работа Смирнова Андрея Николаевича «Структура, термостойкость и электрические свойства многослойных наноструктур $(\text{Mg}/\text{NbO}_n)_{82}$, $(\text{Mg}/\text{ZrO}_2)_{52}$, $(\text{Ni}/\text{ZrO}_2)_{72}$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, является самостоятельным и законченным научным исследованием, по своей актуальности, новизне и совокупности полученных результатов соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики (кафедра НМОиПФ):



Игнатенко Николай Михайлович

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ),
кафедра «Нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики»

Диссертация на соискание ученой степени д. ф-м. н. защищена по специальности 01.04.07 (Физика конденсированного состояния),
Электронная почта inmkstu@bk.ru
Телефон: (4712) 22-26-21

