

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Смирнова Андрея Николаевича  
«Структура, термостойкость и электрические свойства многослойных наноструктур  
(Mg/NbO<sub>n</sub>)<sub>82</sub>, (Mg/ZrO<sub>2</sub>)<sub>52</sub>, (Ni/ZrO<sub>2</sub>)<sub>72</sub>», представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
1.3.8. Физика конденсированного состояния

Многослойные наноструктуры металл\диэлектрик являются актуальными объектами, как с точки зрения теоретических исследований, так и с точки зрения практического применения. В таких структурах важным фактором является не только элементный состав фаз, но и геометрический аспект, а именно, толщина слоёв каждой фазы. Толщина слоёв влияет как на отклик многослойной системы на внешние воздействия (например, на воздействие электромагнитного поля), так и на свойства самой системы в целом. Например, толщина определяет морфологию слоёв металла (островковую или сплошную), характер магнитного взаимодействия, возникающего между магнитными слоями и т.д. В этой связи тема диссертации, посвящённой исследованию электрических свойств и термической устойчивости многослойных наноструктур (Mg/NbO<sub>n</sub>)<sub>82</sub>, (Mg/ZrO<sub>2</sub>)<sub>52</sub>, (Ni/ZrO<sub>2</sub>)<sub>72</sub> в зависимости от толщины металлических слоёв является важной и, безусловно, актуальной.

В работе исследован фазовый состав, структура, морфология и электрические свойства многослойных образцов (Mg/NbO<sub>n</sub>)<sub>82</sub>, (Mg/ZrO<sub>2</sub>)<sub>52</sub>, (Ni/ZrO<sub>2</sub>)<sub>72</sub> в зависимости от толщины металлических слоёв, которая меняется от образца к образцу. Исследована термическая устойчивость многослойных наноструктур и характер изменения электрических свойств при нагреве в зависимости от толщины (фактически от морфологии) металлических слоёв. Изучено влияние химической активности материала слоёв (Mg или Ni, NbO<sub>n</sub> или ZrO<sub>2</sub>) на свойства наноструктур в исходном состоянии и при термическом воздействии.

В диссертации получены новые результаты, характеризующиеся научной новизной и практической значимостью. К таковым можно отнести следующее:

Установлен эффект стабилизации метастабильных модификаций беспримесного диоксида циркония кислородными вакансиями. Обнаружен эффект возрастания плотности электронных состояний на уровне Ферми в слоях диоксида циркония после отжига доперколяционных наноструктур (Mg/ZrO<sub>2</sub>)<sub>52</sub>. Установлены механизмы, объясняющие резкое увеличение электросопротивления многослойных наноструктур (Mg/NbO<sub>n</sub>)<sub>82</sub>, (Mg/ZrO<sub>2</sub>)<sub>52</sub>, (Ni/ZrO<sub>2</sub>)<sub>72</sub> при нагреве и показана определяющая роль химической активности фаз, формирующих наноструктуры, в реализации конкретного механизма. Установлено влияние морфологии металлических слоёв на электрические свойства наноструктур.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. При исследовании многослойных структур принципиально важно то, как располагаются зонды на образцах и как ориентирован ток относительно слоёв системы («перпендикулярно» слоям или «вдоль» слоёв). В автореферате про это ничего не сказано.

2. Многослойность систем  $(Mg/NbO_n)_{82}$  и  $(Mg/ZrO_2)_{52}$  однозначно подтверждается результатами высокоразрешающей ПЭМ. Следовало проделать такое же исследование и для третьей многослойной системы -  $(Ni/ZrO_2)_{72}$ .

Данные замечания не сказываются на общей положительной оценке работы. Диссертация «Структура, термостойкость и электрические свойства многослойных наноструктур  $(Mg/NbO_n)_{82}$ ,  $(Mg/ZrO_2)_{52}$ ,  $(Ni/ZrO_2)_{72}$ » представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая как по качественным, так и по количественным показателям соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Смирнов А.Н. достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

д.т.н., проф.

И.Н.Гончаров

12.03.2025

Гончаров Игорь Николаевич,  
профессор кафедры «Электронные приборы»  
Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (ФГБОУ ВО СКГМИ (ГТУ))  
362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44  
Тел: +7 (8672) 407-443,  
e-mail: goncharov-scgtu@mail.ru

Диссертация защищена по специальности 05.13.12 «Системы автоматизированного проектирования» (промышленность)

Судья коллегия И.Н. Гончаров  
Г. Сергеева  
Бенедикта  
Секретарь СКГМИ (ГТУ)  
Гончаров

