

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации М.В. Полякова «Структура и свойства тонких пленок CoCrFeNiTi, CoCrFeNiCu, синтезированных методом магнетронного напыления из многокомпонентных мишеней», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Диссертационная работа М.В. Полякова посвящена разработке и получению тонких пленок высокоэнтروпийных сплавов систем Co-Cr-Fe-Ni-Ti и Co-Cr-Fe-Ni-Cu, исследованию их структуры, свойств и оценке возможности применения для создания новых тонкопленочных резистивных элементов. Большой интерес к подобным исследованиям возник в связи с тем, что новый класс материалов - высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) - благодаря многокомпонентному составу и высокой степени энтропии смешения обладают уникальной комбинацией механических, физических и химических характеристик, не наблюдаемых в традиционных сплавах. Использование ВЭС в виде тонких пленок открывает дополнительные возможности их применения в различных областях техники и электроники. Системы CoCrFeNiTi и CoCrFeNiCu выделяются благодаря своим превосходным эксплуатационным характеристикам, таким как высокая прочность, износостойкость и коррозионная стойкость. Кроме того, они обладают перспективными электрофизическими и функциональными свойствами, что делает их привлекательными для использования в электронных устройствах. Однако структура и свойства тонких пленок этих сплавов, синтезированных методом магнетронного напыления, остаются недостаточно изученными. Поэтому тематика диссертационной работы является, несомненно, важной и актуальной.

Следует отметить, что отличительной чертой обсуждаемой работы является новая технология изготовления мишеней: впервые применяется подход, при котором мишени изготавливаются из смеси элементарных порошков компонентов ВЭС, консолидированных методом горячего прессования. Такой метод упрощает процесс подготовки мишеней без ухудшения свойств получаемых пленок.

Впервые выявлены и количественно описаны закономерности влияния режимов магнетронного напыления на морфологию, структуру и химический состав тонких пленок на основе ВЭС. Проведены комплексные исследования термической стабильности и электрофизических свойств полученных тонких пленок CoCrFeNiTi и CoCrFeNiCu. Понимание влияния температуры на структуру и свойства этих пленок является ключевым для их практического применения и долговечности.

Полученные результаты значительно расширяют возможности применения данных материалов, позволяя использовать их не только для создания чип-резисторов, но и для разработки термоэлектрических генераторов и систем эффективного преобразования тепловой энергии.

При исследовании использовался комплекс современных методик, позволяющих всесторонне изучить эволюцию структуры: рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия; просвечивающая электронная микроскопия; Оже-спектроскопия; а также измерение ряда свойств: электрические измерения – четырехзондовый метод; коррозионная стойкость – метод потенциодинамической поляризации.

Диссертация выполнена на хорошем экспериментальном и теоретическом уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Результаты надежно апробированы. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 4 статьи в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК и базы данных

Web of Science и Scopus; 12 тезисов в сборниках трудов международных и национальных конференций.

Неоспорима практическая значимость работы. Разработан новый способ получения высокоэнтропийных пленок на диэлектрической подложке, получен патент РФ на изобретение № 2828417 от 11 октября 2024 г. Разработанные методы получения и оптимизации свойств тонких пленок высокоэнтропийных сплавов систем Co-Cr-Fe-Ni-Ti и Co-Cr-Fe-Ni-Cu позволяют создавать новые тонкопленочные резистивные элементы для микроэлектроники.

В качестве замечаний следует отметить следующее. В автореферате не обосновано, чем вызван выбор интервала температур, в котором проводились исследования свойств тонких пленок. Так:

- пленки CoCrFeNiCu с высоким коэффициентом мощности, карты сопротивлений получены в диапазоне температур от  $-196$  до  $200$  °С;

- разработка на основе полученных пленок резистивных структур с низкими удельным сопротивлением и ТКС велась в диапазоне температур от  $-196$  до  $227$  °С;

- электрофизические свойства пленок также изучались в диапазоне температур от  $-196$  до  $227$  °С.

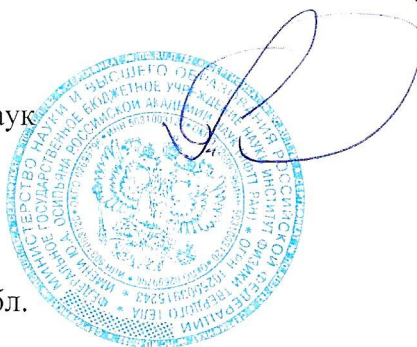
Возможно, ответы на эти замечания имеются в диссертации. В любом случае, указанные недочеты не оказывают заметного влияния на диссертационную работу.

Представленная диссертационная работа, несомненно, является законченным исследованием, соответствует специальности 2.6.17 и отвечает требованиям Положения о присуждении ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, М.В. Поляков, заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Старший научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Институт физики твердого тела  
имени Ю.А.Осипьяна Российской академии наук  
кандидат технических наук

 И.М.Аристова  
10.02.2025г.

Подпись И.М.Аристовой заверяю:  
Ученый секретарь ИФТТ РАН  
Кандидат физико-математических наук



 А.Н.Терещенко

Сведения о рецензенте:  
Аристова Ирина Марковна;  
Кандидат технических наук,  
142432 Черноголовка Московской обл.  
Ул. Академика Осипьяна, д. 2;  
7 496 522 8274;  
E-mail: [aristova@issp.ac.ru](mailto:aristova@issp.ac.ru);  
Старший научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института физики твердого тела имени  
Ю.А.Осипьяна Российской академии наук