



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФТИАН им. К.А. Валиева РАН,  
чл. корр. РАН

В.Ф. Лукичев,

«13» июня 2023 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технологического института им. К.А. Валиева Российской академии наук (ФТИАН им. К.А. Валиева РАН) по диссертационной работе Селюкова Романа Вячеславовича на тему «Влияние ионной бомбардировки на структуру и электрические свойства тонких пленок металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

Диссертационная работа выполнена в лаборатории Технологии микро- и наносистемной техники Ярославского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технологического института им. К.А. Валиева Российской академии наук (ЯФ ФТИАН им. К.А. Валиева РАН).

В 2003 году Селюков Р.В. с отличием закончил физический факультет ЯрГУ им. Демидова, ему была присвоена квалификация «Физик-микроэлектронщик» по специальности «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы». В том же году поступил в очную аспирантуру Института микроэлектроники и информатики РАН (ИМИРАН) по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах», которую окончил в 2006 году. Также, начиная с 2003 года, работал в



лаборатории наноэлектроники и спинтроники ИМИРАН, а с 2009 года – в лаборатории Технологии микро- и наносистемной техники ЯФ ФТИАН РАН в должности стажера-исследователя, с 2008 года – младшего научного сотрудника, с 2019 года – научного сотрудника.

Научный руководитель – Наумов Виктор Васильевич, кандидат физико-математических наук, ученый секретарь ЯФ ФТИАН им. К.А. Валиева РАН.

### ВЫПИСКА

из протокола № 4-23 от 25 мая 2023 г. заседания научного семинара  
«Перспективные технологии и устройства микро- и наноэлектроники» в  
Физико-технологическом институте им. К.А. Валиева РАН

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:** В работе семинара под председательством директора ФТИАН им. К.А. Валиева РАН чл.корр. РАН В.Ф. Лукичева приняли участие 12 человек: рук. лаборатории ФДМ к.ф.-м.н. А.В. Мяконьких, рук. лаборатории ТЭОЛ к.ф.-м.н. А.Е. Рогожин, рук. лаборатории ИЛТ к.ф.-м.н. В.П. Кудря, ученый секретарь Института к.ф.-м.н. И.А. Хорин, в.н.с., д.ф.-м.н. А.А. Ломов, директор ЯФ ФТИАН им. К.А. Валиева РАН, д.ф.-м.н. Трушин О.С., рук. лаборатории технологии микро- и наносистемной техники д.ф.-м.н. И.И. Амиров, ученый секретарь Ярославского филиала Института к.ф.-м.н. В.В. Наумов и другие.

**СЛУШАЛИ:** Доклад по диссертационной работе Селюкова Романа Вячеславовича на тему «Влияние ионной бомбардировки на структуру и электрические свойства тонких пленок металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».



В ходе обсуждения к.ф.-м.н. Наумов В.В., являющийся научным руководителем Селюкова Р.В., сообщил, что во время работы над диссертацией соискатель проявил как специалист, обладающий необходимыми теоретическими знаниями и практическим опытом. Селюков Р.В. выполнил поставленные перед ним задачи самостоятельно. Опубликованные соискателем работы достаточно полно отражают содержание диссертации. По мнению Наумова В.В., работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и ее следует рекомендовать к защите.

С положительной оценкой работы также выступили:

Рук. лаборатории ИЛТ к.ф.-м.н. В.П. Кудря.

**ПОСТАНОВИЛИ:** рекомендовать диссертацию Селюкова Р.В. «Влияние ионной бомбардировки на структуру и электрические свойства тонких пленок металлов» к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств» и утвердить заключение, содержащее общую характеристику диссертационной работы.

#### **Актуальность темы**

Тонкие пленки Pt могут быть использованы в пленочных приборах с пьезо- и сегнетокерамикой, в качестве тыльного электрода, в пленочных сенсорах различных газов в качестве катализаторов, в качестве покрытий с низкой поглощательной способностью в ИК-диапазоне. Во всех этих случаях кристаллическая текстура и размеры зерен Pt пленки оказывают влияние на характеристики приборов и структур. Тонкие пленки Ti используются в электронике в качестве адгезионных подслоев для ферромагнитных пленок, пленок TiN, Al, AlN. Изменения текстуры подслоя Ti приводят к изменению текстуры и свойств пленок, осаждаемых на него. Тонкие пленки Co являются



перспективной системой для металлизации микросхем, где необходимы низкое удельное сопротивление и стойкость к электромиграции. Данные параметры пленки определяются, в том числе, ее микроструктурой и текстурой. Пленки с заданной текстурой и микроструктурой получают, регулируя параметры процессов осаждения, в частности, используя ионную бомбардировку. В ряде работ показана возможность управлять структурой пленок металлов с помощью бомбардировки ионами инертных газов с энергиями ионов  $\sim 1$  кэВ - 1 МэВ, проводимой после осаждения. Однако диапазон энергий менее 1 кэВ не исследован. Вместе с тем такие энергии ионов могут быть легко получены в системах ионно-плазменного осаждения и реакторах плазмохимического травления. Получили развитие реакторы индуктивно-связанной плазмы, за счет высокой плотности ионного тока передающие мишеням мощности, сопоставимые с таковыми, получаемыми при высокоэнергетической ионной бомбардировке. Целью работы было определение влияния параметров ионно-плазменной обработки в индуктивно-связанной плазме Ar, проводимой после осаждения, на значения параметров микроструктуры и кристаллической текстуры, а также удельное сопротивление пленок Pt, Ti, Co. Сравнительная простота и доступность обработок в плазме с одной стороны и необходимость управления текстурой и микроструктурой тонких пленок с другой стороны делают исследование влияния на них низкоэнергетической ионной бомбардировки актуальным.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Ионная бомбардировка в плазме Ar пленок Ti толщиной не более 30 нм со средней энергией ионов 25 - 30 эВ при  $T = 320$  К существенно меняет их структуру на всю глубину.
2. Ионная бомбардировка в плазме Ar пленок Ti толщиной 10 - 20 нм со средней энергией ионов 30 эВ при  $T = 320$  К уменьшает их удельное сопротивление на 14-20%.



3. Циклические плазменные обработки пленок Со толщиной до 50 нм в плазме Ar при  $T = 500$  К приводят к немонотонным изменениям их удельного сопротивления от обработки к обработке.
4. Ионная бомбардировка в плазме Ar пленок Pt толщиной до 80 нм при  $T = 320$  К и средней энергии ионов 15 эВ не оказывает воздействия на их структуру. Ионное распыление пленок Pt толщиной до 80 нм в индуктивно-связанной плазме Ar при  $T = 320$  К и средней энергии ионов 45-125 эВ не меняет существенно текстуру пленки, а при энергии больше 75 эВ уменьшает размер субзерен.

### **Практическая значимость работы.**

Показана возможность с помощью низкоэнергетической ионной бомбардировки в реакторе индуктивно-связанной плазмы Ar формировать текстуру (100) в тонких пленках  $\alpha$ -Ti, а также управлять их электросопротивлением. Показана устойчивость текстуры, микроструктуры и удельного сопротивления тонких пленок Pt к низкоэнергетическому ионному распылению в плазме Ar, что позволяет использовать такие обработки применительно к пленкам Pt без модификации кристаллической структуры последних. Показана возможность управлять электросопротивлением тонких пленок Со с помощью высокотемпературной плазменной обработки. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых плазменных технологических процессов электроники.

### **Личный вклад автора**

Постановка задач и планирование эксперимента были выполнены автором совместно с В.В. Наумовым и И.И. Амировым. Лично автором выполнены электрофизические, большая часть рентгеноструктурных измерений, их количественный анализ, а также анализ СЭМ и энергодисперсионных измерений. Автором самостоятельно выполнены



исследования и анализ влияния параметров ионно-плазменной обработки на параметры кристаллической текстуры, микроструктуру, морфологию поверхности, удельное сопротивление пленок Pt, Ti и Co.

**Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендована к защите.**

Содержание диссертационной работы соответствует пунктам 1 и 4 паспорта специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

**Полнота изложения материалов в печати.**

Основные результаты по теме диссертации изложены в 13 печатных работах, 5 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, индексируемых в Web of Science и Scopus, 7 – в тезисах докладов.

## **Заключение**

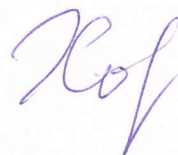
Научный семинар «Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники» ФТИАН им. К.А. Валиева РАН после обсуждения диссертационной работы Селюкова Р.В. оценивает ее как научную квалификационную работу, которая по актуальности, объему, новизне и значимости результатов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертационная работа Селюкова Р.В. отвечает всем требованиям п.п. 9-14 Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, так как является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знания.

Исходя из вышесказанного, следует рекомендовать диссертацию Селюкова Р.В. «Влияние ионной бомбардировки на структуру и электрические свойства



тонких пленок металлов» к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в Диссертационном совете 24.2.326.07 при РТУ МИРЭА по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».

Ученый секретарь ФТИАН им. К.А. Валиева РАН  
к.ф.-м.н.



И.А. Хорин

ФТИАН им. К.А. Валиева РАН,  
17218, Россия, Москва, Нахимовский проспект д.36 к.1  
телефон: +7 (499) 129-54-92, факс: +7 (499) 125-38-26,  
e-mail: ftian.director@bk.ru, lukichev@ftian.ru