

## Отзыв

научного руководителя доктора физико-математических наук  
Никитенкова Николая Николаевича по диссертационной работе Чжан Ле «Формирование и исследование тонкоплёночной системы  $TiN_x/Ti/Zr-1\%Nb$  при модифицировании поверхности сплава  $Zr-1\%Nb$  плазмой вакуумного дугового разряда», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Чжан Ле, гражданка КНР, после окончания бакалавриата и магистратуры ФГБОУ ВО Томский политехнический университет, по направлению «Физика конденсированного состояния», поступила в аспирантуру в 2016 году по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния Томского политехнического университета. В 2020 году заканчивает аспирантуру.

Диссертационная работа Чжан Ле посвящена актуальным проблемам материаловедения, а именно, созданию защитных покрытия для конструкционных и функциональных материалов, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

Научная новизна работы определяется большим вкладом автора в изучение процессов:

- а) механизмы формирования и свойства модифицированного приповерхностного слоя сплава  $Zr-1\%Nb$  путем плазменно-иммерсионной ионной имплантации (ПИИИ) титана из вакуумного дугового разряда (ВДР),
- б) механизмы формирования и свойства покрытия из нитрида титана при его осаждении из плазмы ВДР,
- в) проникновения водорода в тонкопленочную структуру  $TiN/Ti/Zr-1\%Nb$  из водородной атмосферы под давлением и при повышенной температуре,
- г) адгезия покрытий и другие свойства структуры  $TiN/Ti/Zr-1\%Nb$  в экстремальных условиях приближенным к условиям Арктики,
- д) разработаны процедуры моделирования условий, приближенных к Арктическим в материковой лаборатории; собрана простая лабораторная установка и исследованы некоторые свойства системы  $TiN/Ti/Zr-1\%Nb$  в модельных условиях Арктики.

Результаты, представленные в работе, вносят вклад в развитие физики взаимодействия плазмы ВДР с поверхностью и водорода с тонкими плёнками и покрытиями. Результаты имеют фундаментальный характер. Они могут быть использованы для разработки технологий защиты конструкционных и функциональных материалов в экстремальных условиях от водородного охрупчивания и коррозии.

При выполнении работы использован большой комплекс методов исследования поверхности и тонких плёнок, современные лабораторные технологии насыщения материалов водородом.

Работа выполнена в рамках государственного задания "Наука", исследовательский проект № 11.3683.2017/4.6.

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, апробированы на постоянно действующих Международных конференциях, проходивших в Томске, Москве, Звенигороде, Ярославле, Ченду (КНР). Большая часть результатов опубликована в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в Scopus.

При выполнении данной диссертации и защите ВКР аспирантуры, Чжан Ле проявила себя как квалифицированный специалист, способный решать научные задачи, анализировать и интерпретировать экспериментальные и расчетные данные, формулировать выводы. Чжан Ле сложившийся научный работник и преподаватель-исследователь в данной области знаний.

Считаю, что диссертационная работа, выполненная Чжан Ле на тему «Формирование и исследование тонкоплёночной системы  $TiN_x/Ti/Zr-1\%Nb$  при модифицировании поверхности сплава  $Zr-1\%Nb$  плазмой вакуумного дугового разряда» является законченным научным исследованием и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук, согласно Порядку присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а Чжан Ле заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния.

Научный руководитель:  
д.ф.-м.н., с.н.с., профессор ОЭФ  
ИЯТШ НИ ТПУ

г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел. 8(3822) 60-62-00  
e-mail: nikitentkov@tpu.ru

Подпись Н.Н. Никитенкова заверяю  
Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ



21.11.2020 /Никитенков Николай Николаевич/

О.А. Ананьева/  
23.11.2020.