

УТВЕРЖДАЮ.

Заместитель директора по научной
работе ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н.

 П.П. Каминский

«11» 01 2019 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук

(ИФПМ СО РАН)

Диссертация «**Повышение износостойкости меди при трении в атмосфере инертного газа методами ионной имплантации и нанесения покрытий**», представляемая на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния, выполнена в лаборатории материаловедения покрытий и нанотехнологий (ЛМПиН) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН).

В период подготовки диссертации Жарков Станислав Юрьевич (дата рождения 11 сентября 1990 г.) обучался в очной аспирантуре ИФПМ СО РАН (с 01.10.2014 г. по 28.06.2018 г.) по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния и работал в должности инженера ЛМПиН ИФПМ СО РАН с 03.06.2013 г. по 17.09.2018 г, с 17.09.2018 г. по настоящее время – в должности младшего научного сотрудника.

В 2014 г. Жарков С.Ю. окончил с отличием магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ) по направлению подготовки «Машиностроение».

Диплом об окончании аспирантуры выдан в ИФПМ СО РАН в 2018 г.

Научный руководитель: доктор технических наук Сергеев Виктор Петрович – заведующий лабораторией материаловедения покрытий и нанотехнологий ИФПМ СО РАН (основное место работы), профессор отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО НИ ТПУ (работа по совместительству).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертации.

Одним из основных требований, предъявляемых к космическим аппаратам, является обеспечение надежного функционирования и повышение срока их активного существования на орбите. Важнейшим конструктивным узлом, определяющим срок службы на орбите сканеров-зондировщиков спутников дистанционного зондирования Земли, является токосъемник, непрерывно вращающийся в процессе эксплуатации и работающий как электроконтактная пара трения в условиях космического вакуума. Токосъемник представляет собой пару «щетка – контактное кольцо» в многоканальных вращающихся контактных устройствах, осуществляющих слаботочную электрическую связь между космическим аппаратом и внешними вращающимися агрегатами типа сканеров-зондировщиков. Для увеличения ресурса токосъемников актуальной является разработка способов повышения износостойкости конструкционных материалов, работающих в паре трения. Однако в этом случае обязательным условием также является сохранение высоких значений электропроводности материалов.

Для изготовления щеток и контактных колец токосъемников применяют медные и серебряные сплавы, но имеющиеся сегодня в промышленности сплавы не обеспечивают требуемый срок эксплуатации токосъемников для перспективных космических аппаратов, и поиск путей повышения их износостойкости является на сегодня актуальной задачей.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Жаркова С.Ю. является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, позволяющие с помощью обработки потоком ионов азота и нанесения покрытий на основе системы Cu–Mo–S повысить износостойкость меди при трении в условиях инертной среды. Данные результаты могут быть использованы при конструировании деталей перспективной космической техники.

Основные результаты, полученные соискателем впервые

1. Исследованы триботехнические свойства и установлены факторы, способствующие увеличению износостойкости имплантированной ионами азота меди, работающей в паре трения с контртелом из того же материала в атмосфере аргона.
2. Разработан метод нанесения твердосмазочных электропроводящих покрытий системы Cu–Mo–S методом импульсного магнетронного распыления композиционных мишеней оригинальной конструкции.
3. Выявлены закономерности ионно-магнетронного формирования покрытий на основе системы Cu–Mo–S и изучены структурно-фазовое состояние, трибологические и электрические свойства этих покрытий.
4. Установлены закономерности изнашивания проводящих покрытий на основе системы Cu–Mo–S на меди при работе в атмосфере аргона в условиях сухого скольжения и приложения электрического тока.

Теоретическая значимость работы

Результаты, представленные в диссертационной работе, вносят значительный вклад в физику конденсированного состояния, заключающийся в выявлении физических механизмов и установлении закономерностей влияния ионно-пучковой поверхностной обработки и осаждения методом импульсного магнетронного распыления композиционных мишеней твердосмазочных электропроводящих покрытий системы Cu–Mo–S на механизм адгезионного изнашивания медных пар трения в атмосфере инертного газа.

Практическая значимость работы

Установленные в работе закономерности формирования твердосмазочных покрытий на основе системы Cu–Mo–S и их триботехнические и электрические свойства позволяют рекомендовать такие покрытия к использованию в качестве твердых смазок в токоъемниках, коммутационных узлах, электрических контактах приводов ориентации солнечных батарей, реле и переключателей, шарнирах, клапанах и других ответственных электротрибосопряжениях в составе космических аппаратов, работающих в условиях открытого космического пространства. Практическая значимость подтверждена справками использования результатов, выданными ведущими предприятиями Госкорпорации Роскосмос (АО «Российские космические системы, КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ПАО «РКК «Энергия»).

Достоверность результатов и обоснованность выводов.

Результаты, полученные в данном исследовании, подтверждены систематическим характером проведения экспериментальных исследований и их статистической обработкой с использованием высокоточного научно-исследовательского оборудования, а также согласованностью полученных данных с результатами исследований других авторов в смежных направлениях.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных, обсуждении и постановке совместно с научным руководителем цели и задач исследования, разработке методики нанесения покрытий посредством импульсного магнетронного распыления композиционных мишеней и приготовлении экспериментальных образцов для исследования, проведении триботехнических испытаний, исследовании электрических характеристик, определении механических свойств, изучении химического и фазового состава и микроструктуры покрытий, обработке полученных результатов, формулировании выводов и положений, выносимых на защиту, написании научных статей по теме диссертации.

Основное содержание работы изложено в 7 научных публикациях, из них 2 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, и 5 статей в зарубежных изданиях, включенных в библиографические базы данных Web of Science и Scopus.

Работы автора в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Сергеев В.П., **Жарков С.Ю.**, Сунгатулин А.Р., Калашников М.П. Влияние покрытий системы Cu-Mo-S на триботехнические свойства пары трения «медь-медь» // Известия вузов. Физика. – 2016. – Т. 59. – №7/2. – С. 226-230.
2. Сергеев В.П., **Жарков С.Ю.**, Сергеев О.В., Калашников М.П. Изнашивание медной пары трения с электропроводящим антифрикционным покрытием на Cu-Mo-S// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. –Т.14. – № 1. – С. 59 - 63.

В зарубежных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus:

1. Sergeev V.P., Kalashnikov M.P., Rybalko E.V., Sungatulin A.R., Sergeev O.V. and **Zharkov S.Yu.** Changes in the structure and wear resistance of

- the surface layer of copper under treatment by nitrogen ion beams // AIP Conference Proceedings – 2014. – V. 1623. – P. 559–562.
2. Sergeev V.P., **Zharkov S.Yu.**, Kalashnikov M.P., Sungatulin A.R. The tribological properties and the microstructure of Cu–Mo–S coatings // AIP Conference Proceedings. – 2015. – 1683. – P.020203-1 - 20203-4.
 3. Sergeev V.P., **Zharkov S.Yu.**, Kalashnikov M.P., Sungatulin A.R. The effect of Cu–Mo–S coatings on wear resistance of copper friction pair // Key Engineering Materials – 2016. – V. 685. – P. 587 - 590.
 4. **Zharkov S.Yu.**, Sergeev V.P., Fedorischeva M.V., Sergeev O.V., Kalashnikov M.P. Increasing wear resistance of copper friction pair with electrically-conductive tribological Cu-Mo-S coatings // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1783. – P. 020234-1-020234-4.
 5. **Zharkov S.Yu.**, Sergeev V.P., Sungatulin A.R., Kalashnikov M.P. Wear of nitrogen ion implanted copper with tribological Cu-Mo-S coatings // AIP Conference Proceedings. – 2017. – V. 1909. – P. 020238-1-020238-4.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: II Всероссийском конкурсе научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследования, применение» (2014 г., г. Томск); Международной конференции «Физическая мезомеханика многоуровневых систем – 2014. Моделирование, эксперимент, приложения» (2014 г., г. Томск); Международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (2014, 2015 г.г., г. Томск); Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» (2014, 2015, 2016, 2017 г.г., г. Томск); IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» (2015 г., г. Томск); VI Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (2015 г., Москва); XII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (2015г., Москва); II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Перспективные материалы в технике и строительстве» – (2015 г., г. Томск); VI Всероссийской конференции молодых ученых «Материаловедение, технологии и экологии в третьем тысячелетии» (2016 г., г. Томск); Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2016): International Congress (2016 г., г. Томск); 13 Международной конференции «Пленки и покрытия – 2017» (2017 г., Санкт-Петербург).

Научная специальность диссертации

Анализ структуры и содержания диссертационной работы Жаркова С.Ю. «Повышение износостойкости меди при трении в атмосфере инертного газа методами ионной имплантации и нанесения покрытий» показал, что по содержанию и полноте изложения материала она соответствует специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния, технические науки (паспорт специальности, п. 1) и всем требованиям п. II. Положения о присуждении ученых степеней ВАК.

Заключение принято на заседании экспертного научного семинара ИФПМ СО РАН по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния. Присутствовало на заседании 30 человек, в том числе 9 докторов и 8 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 30 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 80 от 24.11.2018 г.

Председатель семинара:

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий лабораторией физики прочности,



Зуев Лев Борисович

Секретарь семинара:

доктор физико-математических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
лаборатории физики прочности



Баранникова Светлана Александровна