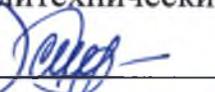


УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по научной работе и инновациям
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

 Степанов И.Б.
« 15 » февраля 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Диссертация «**Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом**» выполнена в отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

В период подготовки диссертации соискатель Шаненкова Юлия Леонидовна обучалась в очной аспирантуре и в настоящий момент работает в должности ассистента в Отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы Энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Срок окончания аспирантуры – 2018 год.

В 2014 г. окончила с отличием федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в 2018 г.

Научный руководитель – Сивков Александр Анатольевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор Отделения электроэнергетики и электротехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Во время обсуждения диссертационной работы были заданы следующие вопросы:

1. В чем заключается суть патента, который у вас имеется? Каково основное отличие от прототипа?
2. Прокомментируйте размерность сопротивления. Замечание: термин «удельное» сопротивление не корректен, лучше отказаться от него.
3. Почему не указаны доверительные интервалы на графике, слайд 5?
4. Оценивали ли вы нагрев медного и алюминиевого элемента по отдельности? Если нет, то хотелось бы видеть данные расчёты в вашей работе.
5. Как был реализован двухимпульсный режим работы ускорителя? Каким образом подавался сигнал на игнитроны?
6. Существуют ли на сегодняшний день альтернативные методы нанесения медного материала на алюминиевые покрытия? Чтобы сделать большую партию образцов, сколько времени необходимо затратить на это?
7. Применение данной технологии возможно только для нанесения медного материала на алюминиевые образцы? Возможно ли применение других материалов?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Шаненковой Юлии Леонидовны на тему

«Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом» является законченной научно-квалификационной работой.

1. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки нового универсального метода совмещения контактной пары медь-алюминий с минимальным переходным сопротивлением. Существующие способы решения данной проблемы недостаточно эффективны и имеют ряд недостатков. Поэтому в работе предлагается новый уникальный способ нанесения медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя. В отличие от существующих способов он реализуется при атмосферном давлении и комнатной температуре, обеспечивает нанесение устойчивого покрытия, отличается экологичностью, не требует предварительной подготовки обрабатываемой поверхности и дозированной подачи основного расходного материала. Получаемые плазмодинамические медные покрытия обеспечивают высокую прочность сцепления с подложкой, а также низкие величины переходного сопротивления контактной пары медь-алюминий.

2. Личное участие и вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Все основные результаты работы, такие как разработка метода нанесения медных покрытий на алюминиевые поверхности, поиск и оптимизация оптимальных режимов работы системы, проведение экспериментальных исследований и анализ полученных данных, осуществлялись лично автором или при его непосредственном участии. В публикациях, содержащих указанные результаты, определяющая роль принадлежит автору диссертации.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность и обоснованность результатов исследований обеспечивается использованием известных современных методик контроля параметров

импульсных электроразрядных процессов, использованием современных приборов и методов анализа покрытий.

4. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах. Результаты исследования достаточно полно изложены в 15 печатных работах, включая 3 статьи в рецензируемых периодических изданиях из перечня ВАК, 5 публикаций в зарубежных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, 3 из которых относятся к первому (Q1) и второму (Q2) квартилям. Опубликовано один патент РФ.

Статьи в рецензируемых периодических изданиях по перечню ВАК РФ, в которых изложены основные положения:

1. Сивков А.А., Шаненков И.И., Сайгаш А.С., Колганова (Шаненкова) Ю.Л. Исследование поверхности контактной пары медь – алюминий, полученной плазмодинамическим методом // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 10/3. - С. 259-263

2. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Колганова (Шаненкова) Ю.Л. Влияние свойств медного покрытия на алюминиевой контактной поверхности на переходное сопротивление // Электротехника. - 2013 - №. 8. - С. 11-14

3. Сивков А.А., Ивашутенко А.С., Назаренко О.Б., Сайгаш А.С., Пак А.Я., Колганова Ю.Л. Плазмодинамический синтез ультрадисперсных оксидов меди в атмосферных условиях // Физика и химия обработки материалов. - 2015. - № 4. - С. 25-34.

Патенты:

1. Патент на изобретение № 137443 РФ. МПК H05H 11/00 (2006.01). Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель/ Сивков А.А., Сайгаш А.С., Колганова (Шаненкова) Ю.Л. Заявка № 2013143254/07, 24.09.2013 Опубликовано 10.02.2014 г. Бюл. № 4.

Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus:

1. Sivkov A.A., Shanenkova Y.L., Saygash A.S., Shanenkov I.I. High-speed thermal plasma deposition of copper coating on aluminum surface with strong

substrate adhesion and low transient resistivity // Surface and Coatings Technology. - 2016 - Vol. 292. - p. 63-71

2. Sivkov A.A., Shanenkov I.I., Pak A.Y., Gerasimov D.Y., Shanenkova Y.L. Deposition of a TiC/Ti coating with a strong substrate adhesion using a high-speed plasma jet // Surface and Coatings Technology. - 2016 - Vol. 291. - p. 1-6

3. Sivkov A.A., Saygash A.S., Kolganova (Shanenkova) Y.L. The influence of the properties of a copper coating deposited on an aluminum contact surface on contact resistance // Russian electrical engineering. - 2013 - Vol. 84 - №. 8. - p. 418-421

4. Sivkov A.A., Ivashutenko A.S., Shanenkova Y.L., Shanenkov I.I. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultradispersed zinc oxide with single-crystalline particle structure // Advanced Powder Technology. - 2016 - Vol. 27 - №. 4. - p. 1506-1513

5. Sivkov A.A., Saygash A.S., Kolganova (Shanenkova) Y.L., Shanenkov I.I. Phase analysis study of the copper-aluminum contact pair obtained by plasma dynamic method (Article number 012048) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-5

Материалы конференций:

1. Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л. Нанесение меди на алюминиевые поверхности плазмодинамическим методом // Тинчуринские чтения: материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26-28 Апреля 2017. - Казань: КГЭУ, 2017 - Т. 1 - С. 165-166

2. Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 26-29 Апреля 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1. Физика - С. 229-231

3. Kolganova (Shanenkova) Y.L., Sivkov A.A., Saygash A.S., Shanenkov

I.I. Investigation of copper-aluminum contact pair surface obtained by plasmodynamic method // Energy Fluxes and Radiation Effects: Book of Abstracts of International Congress, Tomsk, September 21-26, 2014. - Tomsk, 2014 - p. 376

4. Колганова (Шаненкова) Ю.Л., Шаненков И.И., Сайгаш А.С. Влияние микрогеометрии поверхности на величину удельного переходного контактного сопротивления // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 54-55

5. Kolganova (Shanenkova) Y.L., Shanenkov I.I. Development of basis about deposition of copper coating on the aluminum surface by using a coaxial magnetoplasma accelerator // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: труды XIV Международного студенческого научно-технического семинара в 2-х томах, Томск, 24-27 Апреля 2012. - Томск: Изд-во СПб Графикс, 2012 - Т. 2 - С. 286-290

6. Sivkov A.A., Saygash A.S., Kolganova (Shanenkova) Y.L., Nazarova M.E. Research of Properties of Copper Coatings Obtained by the Plasmodynamic Method // 3rd International Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows: Abstracts, Tomsk, September 17-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - p. 458

5. Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлены на следующих конференциях и форумах: Международная научно-практическая конференция "International Conference on Industrial Engineering (Санкт-Петербург, 2017 г.), 5th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2016)) (Томск, 2016), IFOST -2016: The 11th International Forum on Strategic Technology 2016 (Новосибирск, 2016), «4th International congress on radiation physics and chemistry of condensed matter, high current electronics and modification of materials with particle beams and plasma flows» (Томск, 2014), XX Юбилейная Международная научная

конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2014).

Результаты данной диссертационной работы реализованы в ряде НИР, выполненных при личном участии автора или непосредственно под его руководством:

1. «У.М.Н.И.К.» «Разработка технологии нанесения медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности»;
2. Российский научный фонд «Разработка плазмодинамического метода на основе уникальной высокомошной системы распыления материалов для синтеза многофункциональных покрытий на основе титана» (№15-19-00049);
3. Российский фонд фундаментальных исследований «Получение ультрадисперсного порошка оксида меди – компонента материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью» (№14-08-31122);
4. Российский фонд фундаментальных исследований «Разработка метода получения объемных оксидно-цинковых материалов с управляемыми электрическими характеристиками» (№ 18-32-00115).

6. Научная новизна работы:

1. Разработаны системы на основе сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа с медными электродами и ускорительным каналом с электропитанием от емкостного накопителя энергии для сверхзвукового распыления и нанесения устойчивых медных покрытий на плоские и внутренние конические алюминиевые контактные поверхности.

2. Определены оптимальные условия, конструктивные и энергетические параметры ускорителя, обеспечивающие нанесение медного покрытия регулируемой толщины порядка 100 мкм, площадью до 200 см² и высокой прочностью сцепления до 2500 МПа с алюминиевой подложкой.

3. Экспериментально установлено, что плазмодинамическое медное покрытие с естественной шероховатостью на алюминиевой поверхности обеспечивает надежное совмещение плоской или конической контактной пары медь-алюминий и снижение переходного сопротивления в $2,5 \div 4$ раза за счёт образования граничного слоя взаимного перемешивания материалов и высокотвёрдых интерметаллидных фаз.

7. Практическая значимость работы.

1. Определены оптимальные параметры и разработаны научно-технические основы системы, базирующейся на использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа с медными электродами для создания промышленной технологии нанесения устойчивых медных покрытий на алюминиевые контактные поверхности различной конфигурации, обеспечивающие надёжное совмещение сильноточных контактных пар медь-алюминий и снижение переходного сопротивления контактных соединений при монтаже силовых электрических цепей.

2. Показаны возможности применения разработанной системы для нанесения медных покрытий на контактные поверхности стандартных алюминиевых шинопроводов, электроконтактных наконечников и конусных отверстий контактных терминалов вакуумных выключателей.

8. Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержит научные и практически важные результаты. В работе приведены новые технические решения, позволяющие реализовывать процесс генерации сверхзвуковых струй медной электроразрядной плазмы и получения медных покрытий на контактные поверхности стандартных алюминиевых шинопроводов, электроконтактных наконечников и конусных отверстий контактных терминалов вакуумных выключателей. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом» Шаненковой

Юлии Леонидовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений

Заключение принято на заседании научного семинара Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Присутствовало на заседании 15 чел.

Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Протокол № 4 от «14» февраля 2019 г.

Председатель научного семинара
руководитель Отделения
электроэнергетики и электротехники,
профессор Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
Ph.D, к.т.н., доцент

Ю.Н. Дементьев

Секретарь научного семинара
профессор Отделения
электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
д.т.н., профессор

В.Я. Ушаков