

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шаненковой Юлии Леонидовны «Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 Техника высоких напряжений.

Работа связана с исследованием нового метода нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность. Идея состоит в том, чтобы использовать для этой цели сверхзвуковую струю, образующуюся за счет эрозии медного электрода в сильноточном импульсном магнитоплазменном ускорителе. Исследование представляет интерес в различных аспектах. С одной стороны, оно дает вклад в физику и технику магнитоплазменных ускорителей. С другой стороны, имеются проблемы в интерпретации взаимодействия плазменной струи с поверхностью алюминия и в выявлении механизма формирования покрытия. Поэтому тема представляется вполне актуальной.

Выбранное направление работы также стимулируется и возможностью технологического применения получаемых результатов. Здесь прежде всего следует выделить проблему соединения медных и алюминиевых контактных шин в самых разных электрических установках. Дело в том, на поверхности алюминия обычно присутствует оксидная пленка, поэтому контакт обладает довольно высоким переходным сопротивлением. Простое механическое удаление пленки перед соединением не дает желаемых результатов, т.к. контакт из разнородных материалов представляет собой электрохимическую пару, и со временем переходное сопротивление контакта вновь возрастает. В идеальном случае необходимо создать на алюминии медное покрытие с высокой адгезией и уже потом фактически осуществлять контакт меди с медью. Представленные в работе исследования направлены в том числе и на решение данной актуальной технологической проблемы.

Диссертация изложена на 157 страницах и включает в себя введение, 5 глав основного текста, заключение, список сокращений и условных обозначений, список используемой литературы, а также приложение с актом внедрения результатов работы.

Во введении обоснована актуальность работы, приведены ссылки на темы и гранты, в рамках которых работа выполнялась, отмечен личный вклад автора, показано на каких конференциях доложены результаты и в каких журналах опубликованы.

В первой главе проанализировано какими способами в настоящее время решается проблема совмещения контактной пары алюминий-медь и обосновано направление исследований диссертации.

Во второй главе описана экспериментальная аппаратура и методы проведения исследований. Глава относится главным образом к описанию самого магнитоплазменного ускорителя и метода диагностики струи плазмы в ускорительном канале и на выходе канала.

В третьей главе представлены результаты исследования процесса нанесения медного покрытия на алюминиевую подложку в различных режимах работы ускорителя. Рассматриваются вопросы формирования плазменной струи, применительно к задаче нанесения покрытий.

Четвертая глава посвящена изучению характеристик самих образцов, полученных с использованием магнитоплазменного ускорителя. В частности, приведена информация по переходному сопротивлению контактных пар, по микроструктуре и фазовому составу

медного покрытия на алюминиевой подложке, по физико-механическим свойствам покрытия, по адгезии и топологии контактной поверхности.

Наконец, в пятой главе даны результаты нанесения покрытий на образцы специфической формы. Здесь речь идет о нанесении медных покрытий на внутренние поверхности конусных отверстий.

Отмечу некоторые, наиболее значимые, на мой взгляд, результаты.

Разработан коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, позволивший реализовать специфический метод нанесения медного покрытия на алюминиевые подложки.

Предложен режим работы ускорителя, в котором за счет применения двух импульсов, следующих друг за другом, уменьшена полная энергия на создание требуемого покрытия, причем при этом снижены также электродинамические и термические нагрузки на ускорительный канал. Важным фактором явилось и то, что в данном режиме предотвращается эрозия образцов в процессе их взаимодействия со струей.

Несомненный интерес представляют результаты по исследованию свойств самих покрытий. Здесь прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что в полученных образцах снижено контактное сопротивление граничного слоя. Показано, что слой образуется в результате взаимного перемешивания меди и алюминия и формирования синтезированных интерметаллидных фаз.

Результаты по диагностике плазменной струи имеют не просто прикладное значение применительно к конкретной технической проблеме нанесения меди на подложку из алюминия, но и дают вклад в понимание механизма формирования струи в системах типа плазменного пинча образующегося в парах материала электродов.

Поскольку в отзывах принято также указывать на недостатки работы и высказывать пожелания, то отмечу некоторые из них. В работе говорится, что за счет использования внешнего индуктора получена более высокая масса продуктов, выносимых из ускорительного канала, чем в классических Z-пинчах. Отмечается, что механизм эрозии медного электрода связан не только с плавлением меди в месте привязки токового канала, но и с энергией, излучаемой самим каналом. Поэтому, по утверждению автора работы, эрозия определяется не величиной переносимого заряда, а является функцией, выделившейся в ускоряющем канале энергии. Представляется, что этот вопрос проработан недостаточно глубоко и скорее является некоторой общей декларацией. Ведь ясно, что чем больше переносимый заряд, тем больше энергии будет выделяться в ускоряющем канале. Оба фактора тесно связаны между собой, и не имеет смысла противопоставлять их друг другу.

В работе используются некоторые не очень удачные термины, и следует уделять больше внимание корректности их применения. Среди таких терминов можно отметить, в частности, следующие: «отклонение экспериментальных значений от монотонных трендовых линий», «быстронарастающий ток электропитания», мудреные слова «пандеромоторных сил кондукционной и индукционной электродинамики» и др.

Еще один оборот, применяемый в работе, это «установлена корреляционная связь». Все же о корреляционной функции, коэффициенте корреляции и пр. обычно говорят применительно к математической статистике и вероятностным процессам. Это относится к ситуациям, когда при воздействии внешнего фактора событие может произойти, а может и не произойти, т.е. событие происходит с определенной вероятностью. Более правильно было бы говорить, что просто установлена связь без слова корреляционная.

Еще один недостаток, почему-то ставший модным в диссертациях, относится к чрезмерному употреблению аббревиатур. Это часто встречается и в статьях, причем как в отечественных, так и иностранных. Представляется, что нет смысла сначала вводить аббревиатуры в большом количестве, а в конце текста давать их список: КПКМУ, УК, КФПС, ЕНЭ, ЦЭ, КР, ХГН, СГП и другие.

Отмеченные недостатки не влияют на общую оценку диссертации. Характеризуя работу в целом, следует отметить большой объем экспериментальных результатов, относящихся как к системе получения струи плазмы, так и к исследованию свойств образцов с нанесенными на них покрытиями. Вполне современный и высокий уровень проведенных исследований не вызывает сомнений. Даже просто формальные критерии публикационной активности производят хорошее впечатление. Результаты довольно полно представлены на конференциях и опубликованы в рейтинговых журналах. Например, в журналах, индексируемых в базе Web of Science опубликовано пять статей. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, диссертационная работа Юлии Леонидовны Шаненковой безусловно отвечает всем требованиям, установленным Порядком присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 93/од от 06.12.2018), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – техника высоких напряжений.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник ИСЭ СО РАН
д. ф.-м. н., профессор

Ю.Д. Королев

28.05.2019

Подпись Королева Юрия Дмитриевича заверяю

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН
д. ф.-м. н.

И.В. Пегель

Полное наименование организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
634055 г. Томск, проспект Академический 2/3
(3822) 491-544, contact@hcei.tsc.ru