

«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева,
д.х.н., профессор С.Н. Филатов

«» 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» по научным специальностям 2.6.17 – Материаловедение (технические науки) и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (технические науки) выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на кафедре инновационных материалов и защиты от коррозии.

В процессе подготовки диссертации Бардина Ольга Игоревна, 31 июля 1997 года рождения, являлась аспиранткой кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» с 01.09.2021 г. по 31.08.2025 г.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – кандидат химических наук по специальности 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии, доцент, профессор кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Григорян Неля Сетраковна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» принято следующее заключение.

Современная тенденция к возрастанию производительности электронного оборудования с одновременным снижением его габаритов приводит к усложнению и повышению класса точности печатных плат (ПП) – основы современных электронных приборов и устройств.

Обеспечение высокой прочности сцепления медной поверхности с

неметаллическими слоями и покрытиями, такими как препрег, фоторезист и паяльная маска – одна из ключевых задач в производстве печатных плат.

Для надежного сцепления медной поверхности с указанными материалами на различных стадиях производства многослойных печатных плат (МПП) формируют адгезионный слой, например, на медной поверхности ТПР перед прессованием внутренних слоев многослойных печатных плат или нанесением паяльной маски, или на поверхности фольгированного диэлектрика перед нанесением фоторезиста при формировании ТПР.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что обеспечение прочности сцепления внутренних слоев МПП, а также адгезии фоторезиста и паяльной маски к медной поверхности на различных этапах изготовления МПП является одной из ключевых задач в производстве печатных плат. Отечественных технологий формирования адгезионного слоя на поверхности ТПР внутренних и внешних слоев, а также на поверхности фольгированного диэлектрика, удовлетворяющих ужесточившимся современным требованиям по функциональным характеристикам слоя (адгезия, коррозионная стойкость, а для СВЧ ПП – минимальная шероховатость), а также по технологичности растворов (ресурс, стабильность и др.) не существует. Российские производители вынуждены использовать импортные композиции, известными недостатками которых являются высокая стоимость и санкционные риски.

В связи с изложенным разработка технологий подготовки токопроводящего рисунка внутренних слоев перед прессованием, а также подготовки поверхности меди перед нанесением фоторезиста и паяльной маски, позволяющих формировать адгезионный слой, не уступающий зарубежным аналогам по функциональным характеристикам адгезионного слоя, а также по технологичности растворов, является важной научно-технической задачей.

Стратегическая важность разработки композиций для обработки поверхности заготовок ПП заключается в создании технологической независимости в критически важном сегменте производства.

Научная новизна

1. Впервые показано, что добавление хлорид-ионов в количестве 5-500 мг/л в раствор травления меди, содержащий серную кислоту и пероксид водорода, снижает скорость травления меди в 10-15 раз, а добавление в указанный раствор бензотриазола существенно снижает ингибирующее влияние хлорид-ионов на процесс растворения меди, что может быть использовано для регулирования шероховатости адгезионного слоя с целью обеспечения максимальной прочности сцепления поверхности меди с диэлектриком при минимальной скорости её травления.

2. Впервые установлено, что в процессе обработки медной поверхности в растворе, содержащем серную кислоту, пероксид водорода, бензотриазол и хлорид-ионы, наряду с развитием микрорельефа медной поверхности, на ней формируется металлоорганический слой толщиной 200-300 Å, основными компонентами которого являются соединения Cu, S, N.

Теоретическая и практическая значимость

1. Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей влияния параметров процесса, природы и концентрации компонентов растворов микротравления на скорость травления меди, шероховатость формирующейся поверхности и её адгезию к неметаллическим материалам.

2. Разработаны технологии модификации медной поверхности ТПР внутренних слоев ПП, в т.ч. СВЧ ПП, перед прессованием с целью обеспечения прочности сцепления внутренних слоев МПП.

3. Разработаны технологии модификации медной поверхности печатных плат перед нанесением фоторезиста и паяльной маски, не уступающие зарубежным аналогам по прочности сцепления с указанными материалами и технологичности.

Разработанные технологии успешно протестированы в цехе печатных плат на АО «НИЦЭВТ» и рекомендованы к внедрению в производство.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации полностью отражены в 3 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях и съездах, в том числе на: Международной научно-технической конференции «Инновационные материалы и технологии – 2021» (г. Минск, 2021 г.), VII International Scientific Congress «Innovations 2021» (г. Варна, Болгария, 2021 г.), VI Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» (г. Кемерово, 2022 г.), III Конференции молодых ученых с международным участием «Новые материалы и химические технологии» (г. Москва, 2022 г.), I Всероссийской научной конференции с международным участием «Теоретические и прикладные аспекты электрохимических процессов и защита от коррозии» (г. Казань, 2023 г.), XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (г. Сочи, 2024 г.), III Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов» (г. Москва, 2024 г.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Grigoryan N.S. Surface preparation before chemical copper plating of holes in printed circuit boards. Part I / N.S. Grigoryan, S.A. Savitskaya, N.A. Asnis, **O.I. Bardina** [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2022. Vol. 11, No. 4. – P. 1593-1603. – DOI 10.17675/2305-6894-2022-11-4-11 (**Scopus, Web of Science**).

2. Bardina O.I. Solution for pre-pressing surface treatment of the conductive pattern of the inner layers of multilayer printed circuit boards / **O.I. Bardina**,

N.S. Grigoryan, S.A. Savitskaya, N.A. Asnis [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 460-474. – DOI 10.17675/2305-6894-2024-13-1-23 (**Scopus, Web of Science**).

3. Савицкая С.А. Подготовка медной поверхности внутренних слоев многослойных печатных плат к прессованию / С.А. Савицкая, **О.И. Бардина**, Н.С. Григорян, Н.А. Аснис [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2024. – № 4. – С. 69-76 (**Chemical Abstracts**).

Публичные доклады на международных и всероссийских научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Бардина О.И. Травление поверхности медной фольги с целью получения контролируемой шероховатой поверхности / **О.И. Бардина**, М.С. Солопчук, Д.В. Митько, С.А. Савицкая [и др.] // Инновационные материалы и технологии – 2021: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 19 – 21 января 2021 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. – С. 194-195.

2. Solopchuk M.S. Conditioning and etching of the surface of printed circuit boards holes prior to metallization / Solopchuk M.S., **Bardina O.I.**, Mitko D.V., Grigoryan N.S. [et al.] // VII International Scientific Congress «INNOVATIONS 2021», Varna, Bulgaria, 21 – 24 June 2021. Proceedings. “Innovation policy and innovation management”. “Innovative solutions”. – 128 p. – ISSN 2535-0285. – P. 88-89.

3. Бардина О.И. Формирование адгезионного слоя на поверхности медной электролитической фольги / **О.И. Бардина**, И.С. Коротких, Н.С. Григорян [и др.] // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: Материалы VI Всероссийской конференции, Кемерово, 29 – 30 ноября 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технологический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2022. – С. 104.1-104.3.

4. Бардина О.И. Раствор для формирования адгезионного шероховатого слоя на поверхности токопроводящего рисунка перед прессованием внутренних слоев многослойных печатных плат / **О.И. Бардина**, И.С. Коротких, Н.С. Григорян [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 13 (262). – С. 37-39.

5. Бардина О.И. Модификация медной поверхности с целью повышения прочности сцепления внутренних слоев многослойных печатных плат / **О.И. Бардина**, М.А. Пруссакова, Н.С. Григорян [и др.] // Теоретические и прикладные аспекты электрохимических процессов и защита от коррозии: Материалы I Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 20 – 23 ноября 2023 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. – С. 23-24.

6. Бардина О.И. Адгезионный металлоорганический слой на поверхности токопроводящего рисунка внутренних слоев многослойных печатных плат / **Бардина О.И.**, Савицкая С.А., Григорян Н.С., Аснис Н.А. [и др.] // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 7 – 12 октября, 2024, Федеральная территория «Сириус», Россия. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 6. – М.: ООО «Буки Веди», 2024. – 364 с. – ISBN 978-5-00202-670-8 [т. 6] – С. 94.

7. Бардина О.И. Формирование адгезионного слоя на медной поверхности внутренних слоев СВЧ плат / **Бардина О.И.**, Пруссакова М.А., Григорян Н.С., Аснис Н.А. [и др.] // Тезисы докладов III Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов», памяти чл.-корр Ю.М. Полукарова, Москва, 26 – 27 ноября 2024 года. – М.: ИФХЭ РАН, 2024. – 137 с. – ISBN 978-5-6040217-5-0. – С. 52.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии в части п. 3. Электрохимические, химические, физические и комбинированные методы обработки поверхности материалов и нанесения покрытий. Гальванопластика и гальваностегия, а также паспорту специальности научных работников 2.6.17 Материаловедение в части п. 11. Разработка функциональных покрытий различного назначения и методов управления их свойствами и качеством и п. 12. Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, а также режимных параметров и других факторов на свойства функциональных покрытий.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Бардиной Ольги Игоревны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Бардиной Ольге Игоревне; они оригинальны, достоверны и отличаются новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский

химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 – Материаловедение и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертация рассмотрена на расширенном заседании кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии, состоявшемся «25» сентября 2025 года, протокол № 3. В обсуждении приняли участие: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Ваграмян Т.А., к.х.н., доцент, профессор Григорян Н.С., к.т.н., доцент, доцент кафедры Мазурова Д.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры Абрашов А.А., д.пед.н., профессор, профессор Капустин Ю.И., к.т.н., доцент Чуднова Т.А., к.т.н., доцент, доцент кафедры Василенко О.А., к.т.н., доцент, доцент кафедры Вершинина Е.В., к.т.н., доцент Смирнов К.Н., к.т.н., ведущий инженер кафедры ИМиЗК РХТУ им. Д.И. Менделеева Аснис Н.А., к.т.н., специалист по учебно-методической работе I категории, генеральный директор ООО ПК «НПП СЭМ.М» Архипов Е.А., д.х.н., профессор, заведующий лабораторией окисления и пассивации металлов и сплавов ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» РАН Андреев Н.Н., к.т.н., и.о. начальника производственного управления АО «НИЦЭВТ» Гиринов О.С.

Принимало участие в голосовании 13 человек. Результаты голосования: «За» - 13 человек, «Против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 3 от «25» сентября 2025 года.

Заведующий кафедрой
инновационных материалов
и защиты от коррозии,
д.т.н., профессор

Т.А. Ваграмян

Секретарь заседания,
Доцент кафедры
инновационных материалов
и защиты от коррозии,
к.т.н., доцент

Д.В. Мазурова