

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.07, созданного на базе

Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева
Министерства образования и науки Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № 44/25
решение диссертационного совета
от 17 декабря 2025 г. № 14

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Бардиной Ольге Игоревне, представившей диссертационную работу на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» по научным специальностям 2.6.17 Материаловедение, 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии, принятой к защите «13» ноября 2025 г., протокол №11 диссертационным советом РХТУ.2.6.07 Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 15 человек приказом и.о. ректора Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева №267 от «08» июля 2022 г., № 317А от «01» ноября 2023 г., №52 ОД от «24» марта 2025 г.

Соискатель Бардина Ольга Игоревна 1997 года рождения в 2021 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», диплом с отличием серия 107731 номер 0389654.

В 2025 г. Бардина О.И. окончила аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по образовательной программе 05.17.03 «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии», диплом серия 107734 номер 0245719.

С января 2020 г. по март 2022 г. Ольга Игоревна Бардина работала на кафедре инновационных материалов и защиты от коррозии (ИМиЗК) РХТУ им. Д.И. Менделеева специалистом по учебно-методической работе I категории.

С марта 2022 г. по настоящее время работает в должности ассистента кафедры ИМиЗК РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по научным специальностям 2.6.17 Материаловедение, 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии выполнена на кафедре инновационных материалов и защиты от коррозии в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» утверждена на заседании Ученого совета факультета цифровых технологий и химического инжиниринга Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева 17 апреля 2025 г. (протокол № 06).

Научный руководитель кандидат химических наук, доцент Григорян Неля Сетраковна, профессор кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Официальные оппоненты:

– доктор химических наук, профессор **Истомина Наталия Владимировна**, проректор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ангарский государственный технический университет»;

– кандидат химических наук **Дровосеков Андрей Борисович**, старший научный сотрудник лаборатории строения поверхностных слоев, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук».

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»).

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 10 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts; 7 тезисах докладов – в материалах всероссийских и международных конференций.

Опубликованные работы посвящены разработке импортозамещающих технологий модификации медной поверхности с целью увеличения прочности сцепления меди с неметаллическими материалами; исследованию влияния компонентов раствора модификации на функциональные характеристики адгезионного слоя (шероховатость, осыпаемость, коррозионную стойкость, адгезию с препрегом); способам обеспечения адгезии внутренних слоев сверхвысокочастотных печатных плат (СВЧ ПП). Опубликованные работы полностью отражают результаты, полученные в диссертации.

Апробация результатов научного исследования подтверждена публичными докладами на 7 международных и всероссийских конференциях.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

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**).

В материалах тезисов докладов и конференций:

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. – P. 88-89.

3. Бардина О.И. Раствор для формирования адгезионного шероховатого слоя на поверхности токопроводящего рисунка перед прессованием внутренних слоев многослойных печатных плат / **Бардина О.И.**, Коротких И.С., Григорян Н.С., Аснис Н.А. [и др.] // Успехи в химии

и химической технологии. – 2022. Т. 36, № 13 (262). – С. 37-39.

4. 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.] // материалы XXII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Сочи, 7 – 12 октября 2024 года. – Сочи: Федеральная территория «Сириус», 2024. Т. 6. – С. 94.

5. 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.] // материалы 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. – Москва: ИФХЭ РАН, 2024. – С. 52.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

От официальных оппонентов:

1. Доктор химических наук, профессор **Истомина Наталия Владимировна**, проректор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ангарский государственный технический университет»

Вопросы и замечания по работе

1. Какое увеличение микроскопа представлено на рис. 2.1, с. 66?

2. Почему контрдиспропорционирование происходит только в присутствии органических кислот? Рассматривались ли в этих условиях восстановительные свойства муравьиной кислоты?

3. Раствор для удаления фоторезиста № 3 (с. 134) содержит довольно низкие концентрации аминов, однако он показывает наилучшие результаты. Возникает вопрос: на чем основана такая высокая эффективность используемых аминов?

4. В литературном обзоре на с. 47-48 рассматривается механизм травления в растворах муравьиной кислоты, но в уравнениях 1.19–1.20 эта кислота не фигурирует.

5. На рис. 3.9 (с. 82) пунктиром выделен прямоугольный участок, что он означает? Удалось найти также небольшие ошибки на с. 11, 17, 57 и 72, а на с. 74 использовано неудачное словосочетание «гетероциклические углеводороды».

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

Итогом решения комплексной задачи по определению и оптимизации состава используемых растворов и параметров процессов модификации медной поверхности является разработка технологий, необходимых для производства печатных плат, в том числе СВЧ печатных плат. Это подкреплено соответствующими документами, представленными в Приложениях.

Диссертация Бардиной О.И. содержит все необходимые сведения, которые позволяют высоко оценить представленную работу. Текст написан прекрасным научным языком, материал богато иллюстрирован, в нужных местах всегда дается ссылка на используемый источник. Следует отметить, что большая часть источников относится к последним 5 – 10 годам, при этом использованы сведения более, чем из 35 патентов, что дополнительно говорит о научно-практическом значении проведенного исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Материал диссертации хорошо представлен в публикациях автора и доложен на конференциях высокого уровня.

Подводя итог, можно уверенно сказать, что Бардиной О.И. представлена научно-квалификационная работа, в которой изложены научно обоснованные технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Диссертационная работа Бардиной Ольги Игоревны на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий

печатных плат» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД. Автор диссертации, Бардина Ольга Игоревна, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 – Материаловедение и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

2. Кандидат химических наук Дровосекков Андрей Борисович, старший научный сотрудник лаборатории строения поверхностных слоев, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук».

Вопросы и замечания по работе

1. Разработанные автором растворы для создания адгезионного слоя на меди содержат ионы хлора в очень низкой концентрации. Например, рабочий интервал концентраций ионов хлора в растворе для формирования адгезионного слоя на медной поверхности перед нанесением фоторезиста и паяльной маски составляет всего 1-3 мг/л (с. 115-116). При этом в методической части работы отсутствует описание методов контроля за количеством ионов хлора в растворе, а также сведения о квалификации использованных в работе реактивов. А ведь даже небольшие примеси этого элемента в исходных реактивах способны заметно повлиять на результат исследований.

2. Вызывает вопросы толщина металлоорганического слоя, определенная автором по перпендикулярному поверхности срезу (рисунок 2.1, с. 66). По моему мнению, толщина исследованного слоя слишком незначительна – всего 50 нм (с учетом того, что в эту величину входит также медная основа и защитный слой платины), чтобы со всей определенностью можно было утверждать, что толщина металлоорганического слоя составляет 250-300 ангстрем, а не больше.

Хотелось бы подчеркнуть, что сделанные замечания ни в коей мере не умаляют достигнутых автором работы результатов.

В целом, диссертация на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных исследований разработаны импортозамещающие процессы создания адгезионных слоев при производстве печатных плат, а также композиции для их реализации, не уступающие зарубежным аналогам по технологичности и достигаемым результатам. Работа хорошо изложена, сбалансирована в своих основных частях и очень хорошо оформлена. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях и в организациях, таких как: АО «НИЦЭВТ», АО «РКС», ООО «Резонит», АО «НПК «Элара» имени Г.А. Ильенко», АО НПП Радиосвязь и др.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

По актуальности, новизне, достоверности результатов, обоснованности выводов и практической значимости диссертационная работа Бардиной Ольги Игоревны отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД.

Содержание работы соответствует паспортам научной специальности 2.6.17 Материаловедение (п.11. Разработка функциональных покрытий различного назначения и методов управления их свойствами и качеством. 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) и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (п.3. Электрохимические, химические, физические и комбинированные методы обработки поверхности материалов и нанесения покрытий. Гальванопластика и гальваностегия).

Считаю, что Бардина Ольга Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 – Материаловедение и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Отзыв ведущей организации:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»).

Вопросы и замечания по работе

1. При описании метода нормального отрыва не указан материал «грибков» и способ подготовки их поверхности, обеспечивающий более высокую адгезию поверхности грибка с эпоксидной смолой ЭД-16 по сравнению с адгезией светочувствительного материала к медной поверхности (с. 68-69).

2. В работе не приведено сравнение скоростей травления меди в разработанных модифицирующих растворах и в растворах зарубежных аналогов для процессов подготовки перед нанесением светочувствительных полимеров (раздел 3.1.5).

3. Отсутствуют данные о влиянии продолжительности обработки на функциональные характеристики поверхностей, формируемых перед нанесением светочувствительных полимеров (раздел 3.1.5)

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

Приведенные вопросы и замечания носят дискуссионный характер; они не портят хорошего впечатления от работы, не снижают ценность полученных результатов и не затрагивают основные результаты работы. Выводы диссертационной работы достоверны, подтверждены полученными экспериментальными данными и не вызывают сомнений. Диссертация О.И. Бардиной отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а ее автор, Бардина Ольга Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 - Материаловедение и 2.6.9 - Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертационная работа Бардиной Ольги Игоревны рассмотрена и обсуждена на заседании научно-технического совещания отделения материаловедения ФГУП («ВНИИА» имени Н.Л. Духова, протокол заседания №Т0075/297-2025 от «26» ноября 2025 г.

Отзывы на автореферат:

1. Отзыв Шкудиной Светланы Евгеньевны, начальника цеха печатных плат АО «Завод «Компонент»». Отзыв положительный.

Вопросы и замечания:

В разделе «Практическая значимость» указано, что разработаны технологии модификации поверхности, не уступающие зарубежным аналогам по прочности сцепления с фотополимерными покрытиями и по технологичности. Однако сравнительные данные, по технологичности разработанных процессов не приведены (отсутствуют).

Сделанные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную

оценку работы.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

В целом, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, которое вносит существенный вклад в развитие технологии производства печатных плат. Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в электронной промышленности.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа **Бардиной Ольги Игоревны** на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» **соответствует** требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а ее автор **Бардина Ольга Игоревна** **заслуживает** присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защиты от коррозии.

2. Отзыв кандидата технических наук **Егорова Алексея Геннадьевича**, генерального директора ООО «ПЕТРОКОММЕРЦ». Отзыв положительный.

Вопросы и замечания

Замечания отсутствуют.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

На основании изложенного, как можно судить по автореферату, диссертантом проведено широкое и квалифицированное исследование в области технологий производства печатных плат по модификации медной поверхности с целью увеличения адгезии к неметаллическим слоям, существенно расширившее существующие знания в этой области. Кандидатская диссертация Бардиной О.И. соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД.

Считаю, что **Бардина О.И.** достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

3. Отзыв кандидата химических наук **Клюева Максима Евгеньевича**, начальника отдела инноваций и новых технологий АО «ГАЛЬВАНИТ ЕВРО». Отзыв положительный.

Вопросы и замечания

В качестве замечаний следует отметить, что не описан процесс выбора концентрации персульфата калия в растворе органосилана в процессе модифицирования поверхности внутренних слоёв СВЧ МПП.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

В целом автором проведена большая исследовательская работа по разработке композиций для модификации медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоёв и функциональных покрытий печатных плат. На основании изложенного считаю, что работа Бардиной Ольги Игоревны на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденном приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени кандидата наук, а ее автор,

Бардина Ольга Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9. Технология электро-химических процессов и защита от коррозии.

4. Отзыв доктора химических наук **Чередниченко Александра Генриховича**, заведующего кафедрой физической и коллоидной химии ФГАОУ ВО РУДН им. П. Лумумбы. Отзыв положительный.

Вопросы и замечания

1. Применение органических азотсодержащих оснований в условиях кислой среды должно приводить к образованию соответствующих аммонийных солей, химические свойства которых существенно отличаются от свойств свободных азотистых оснований. Этот факт должен быть учтен в интерпретации полученных в диссертации результатов.

2. Защита диссертации по двум специальностям требует внесения в автореферат соответствия полученных результатов паспортам этих специальностей и обоснованного анализа необходимости привлечения второй специальности в дополнение к первой.

3. На с. 19 автореферата фраза: «При использовании в составе раствора микротравления органической кислоты введения в состав раствора окислителя не требуется» не соответствует действительности, т.к. роль окислителя в этом случае выполняет кислород воздуха, барботируемого через раствор в процессе травления.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

Сделанные замечания не снижают ценность полученных результатов.

Считаю, что диссертационная работа Бардиной Ольги Игоревны на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.202 г. № 103 ОД. Автор диссертации, Бардина Ольга Игоревна, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 - Материаловедение и 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

5. Отзыв кандидата химических наук **Черника Александра Александровича**, заведующего кафедрой химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники Белорусского государственного технического университета. Отзыв положительный.

Вопросы и замечания

В автореферате не в полной мере описана причина эффекта отсутствия разнотонности модифицированной медной поверхности.

Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

Однако, данное замечание не снижает ценность полученных результатов. Работа Бардиной Ольги Игоревны на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.202 г. № 103 ОД., а ее автор Бардина Ольга Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

На все замечания Бардиной Ольгой Игоревной даны полные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью, достижениями в научных исследованиях с близкой тематикой, наличием у оппонентов и ведущей организации публикаций в рецензируемых журналах и их высоким профессиональным уровнем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны импортозамещающая технология формирования металлоорганического адгезионного шероховатого слоя, позволяющая обеспечить прочность сцепления внутренних слоев МПП, а также композиции для её реализации (для стадий очистки, кондиционирования, модификации); технология формирования кремнийсодержащего адгезионного слоя, позволяющая обеспечить прочность сцепления внутренних слоев ВЧ и СВЧ МПП без формирования развитого микрорельефа поверхности, а также композиции для её реализации, в т.ч. для стадий очистки, активации, модификации; технологии подготовки медной поверхности перед нанесением фоторезиста и паяльной маски, а также композиции для их реализации с применением универсальных растворов на основе серной или муравьиной кислот, обеспечивающих высокую прочность сцепления медной поверхности с фоторезистом и паяльной маской, не уступающие лучшим зарубежным аналогам по технологичности и функциональным характеристикам формирующихся покрытий;

предложены способы модификации поверхности меди с целью увеличения прочности сцепления с неметаллическими слоями и покрытиями;

доказано, что добавление хлорид-ионов в небольшом количестве (5-500 мг/л) в раствор микро травления, содержащий серную кислоту и пероксид водорода, снижает скорость травления меди в 10-15 раз, а введение в раствор бензотриазола снижает ингибирующее влияние хлорид-ионов на процесс растворения меди; формирование металлоорганического слоя толщиной 200-300 Å, основными компонентами которого являются соединения Cu, C, N.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

экспериментально **установлены** закономерности влияния параметров процесса, природы и концентрации компонентов растворов микро травления на скорость травления меди, шероховатость формирующейся поверхности и её адгезию к неметаллическим материалам;

установлено, что толщина формирующегося шероховатого адгезионного слоя составляет 2,5 мкм, поверхностного металлоорганического слоя - 250 Å, прочность сцепления медной поверхности с препрегом FR4 составляет 0,8 Н/мм; кремнийсодержащий адгезионный слой обеспечивает прочность сцепления с препрегом FR4 равную 0,8 Н/мм без формирования развитого микрорельефа поверхности; применение универсальных растворов на основе серной или муравьиной кислот обеспечивает прочность сцепления медной поверхности с фоторезистом 6,5-7,5 МПа, с паяльной маской – 10,5-12,0 МПа при глубине травления 0,5-0,7 и 1,0-1,5 мкм соответственно; 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;

изложены результаты экспериментов по исследованию влияния состава раствора и параметров процесса модификации на скорость травления меди и функциональные характеристики (шероховатость, осыпаемость, коррозионную стойкость, прочность сцепления с препрегом) адгезионного слоя для внутренних слоев МПП; результаты экспериментов по исследованию влияния состава раствора микро травления на прочность сцепления поверхности меди с фоторезистом и паяльной маской;

раскрыты закономерности влияния природы и концентрации компонентов растворов

микротравления на скорость травления меди, шероховатость формирующейся поверхности и её адгезию к неметаллическим материалам;

изучено влияние состава модифицирующего раствора на функциональные характеристики адгезионного слоя; влияние концентрации хлорид-ионов и бензотриазола на скорость травления меди;

автором **использован** комплекс физико-химических методов исследования: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, конфокальная лазерная микроскопия, оптическая профилометрия, рентгенофлуоресцентный анализ и др.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены технологии модификации медной поверхности ТПР внутренних слоев ПП, в т.ч. СВЧ ПП, перед прессованием с целью обеспечения прочности сцепления внутренних слоев МПП; технологии модификации медной поверхности печатных плат перед нанесением фоторезиста и паяльной маски, не уступающие зарубежным аналогам по прочности сцепления с указанными материалами и технологичности. Разработан комплект научно-технической документации: технические условия (ТУ), технологические инструкции (ТИ) на изготовление, технологические инструкции на применение разработанных композиций УМ-А1, УМ-А2, УМ-А3, УМ-А4, УМ-Ф1, УМ-Ф2, УМ-Ф3; разработанные технологии успешно протестированы в цехе печатных плат АО «НИЦЭВТ», получен акт испытаний и рекомендации к внедрению в производство с целью замещения зарубежных продуктов; полученные результаты могут быть использованы для организации отечественного производства композиций для подготовки медной поверхности перед прессованием внутренних слоев МПП, нанесением фоторезиста и паяльной маски, а также для развития и совершенствования теории и практики обработки поверхности в производстве печатных плат; **определены** перспективы темы исследования, связанные с использованием полученных результатов для продолжения работы по дальнейшему совершенствованию технологий модификации поверхности меди с целью увеличения прочности сцепления внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат, в т.ч. для СВЧ ПП.

Полученные результаты могут быть использованы в производстве МПП в различных отраслях промышленности, а также для развития и совершенствования теории и практики химической обработки поверхности металлов.

Перспективы дальнейшего развития исследований:

- исследование возможности и разработка технологии нанесения адгезионного слоя на основе титан- и/или цирконийсодержащих покрытий перед прессованием внутренних слоев СВЧ плат;
- экспериментальное определение зависимости потерь сигнала СВЧ плат от вида адгезионного слоя внутренних слоев МПП.

Оценка достоверности результатов исследования:

достоверность **экспериментальных результатов** обусловлена применением современного сертифицированного оборудования с использованием корректно выбранных методик экспериментов и подтверждается воспроизводимостью экспериментальных результатов;

теория построена на известных, проверяемых данных и фактах и не противоречит опубликованным экспериментальным данным по теме диссертации;

идеи базируются на анализе полученных (проверяемых и воспроизводимых) экспериментальных результатов, учитывают имеющиеся в литературе сведения по исследуемой тематике и не противоречат известным закономерностям в области

формирования адгезионных слоев;

использованы экспериментальные данные и теоретические выкладки, опубликованные в работах отечественных и зарубежных авторов;

установлено отсутствие противоречия результатов литературным данным;

использованы общепринятые методики статистической обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя:

- Поиск и анализ литературы по теме работы, выбор и освоение методик экспериментов.
- Постановка цели и задач работы.
- Выполнение экспериментов и анализ полученных данных.
- Разработка технологических процессов и сопроводительной научно-технической документации.

Диссертационная работа Бардиной О.И. на тему «Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат» полностью соответствует пунктам «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. №103ОД. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача по разработке импортозамещающих технологий модификации медной поверхности, позволяющих обеспечить требуемую адгезию внутренних слоев и функциональных покрытий (фоторезист, паяльная маска) многослойных печатных плат.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.07 РХТУ им. Д.И. Менделеева 17 декабря 2025 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Бардиной Ольге Игоревне.

Присутствовало на заседании – 13 членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции – 4, в том числе докторов наук по научным специальностям рассматриваемой диссертации: 2.6.17. Материаловедение – 6, 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии – 6.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за»	–	<u>9</u>
«против»	–	<u>0</u>
«воздержались»	–	<u>0</u>

Проголосовали 4 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за»	–	<u>4</u>
«против»	–	<u>0</u>
«воздержались»	–	<u>0</u>

Итоги голосования:

«за»	—	<u>13</u>
«против»	—	<u>0</u>
«воздержались»	—	<u>0</u>

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор Ваграмян Т.А.

Ученый секретарь диссертационного совета

к.т.н. Чуднова Т.А.

Дата «17» декабря 2025 г.

