

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Бардиной Ольги Игоревны
«Модификация медной поверхности с целью увеличения адгезии
внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальностям 2.6.17 – Материаловедение и 2.6.9 – Технология
электрохимических процессов и защита от коррозии**

Актуальность исследования

Производство печатных плат (ПП) является основой развития практически всех отраслей, связанных с использованием электронного оборудования. Это производство представляет собой сложный технологический процесс, требующий тщательной подготовки медной поверхности, на которой монтируется большое число электронных компонентов, соединенных токопроводящим рисунком (ТПР). Надежная работа печатных плат определяется прочностью сцепления медной поверхности с неметаллическими покрытиями. С этой целью медную поверхность многослойных печатных плат (МПП) подвергают специальными видами обработки, способствующей модификации поверхности с формированием адгезионного слоя определенной структуры. Такая модификация осуществляется путем воздействия химических реагентов с использованием многокомпонентных систем. Разработка отечественной технологии, исключающей использование импортных реагентов, несомненно, является актуальной задачей.

Рассматриваемая диссертация Бардиной О.И. посвящена решению этой сложной комплексной задачи. Оптимизация состава используемых растворов с подбором определенных компонентов – трудоемкий процесс, который, как видно из материала диссертации, требует глубоких знаний практически из всех областей химии и материаловедения. Систематически исследовав все используемые растворы, автор успешно справилась с поставленными в диссертации задачами.

Научная новизна результатов работы

В ходе исследований были получены важные научные результаты, для которых было дано надежное теоретическое обоснование. Очень интересным научным фактом, обнаруженным Бардиной О.И., является значительный ингибирующий эффект травления медной поверхности при добавлении в раствор травления хлорид-ионов в небольшой концентрации (до 0,5 г/л). Именно при этих низких концентрациях наблюдается наиболее существенное снижение скорости травления (в 10 – 15 раз). При этом обнаружено, что добавка в раствор бензотриазола может снижать ингибирующее влияние

хлорид-ионов. Это, несомненно, открывает возможности регулирования скорости травления и, следовательно, шероховатости медной поверхности. Немаловажным научным фактом является также экспериментальное доказательство формирования в ходе обработки медной поверхности металлоорганического слоя с определением его толщины и элементного состава.

Теоретическая и практическая значимость работы

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

Бардиной О.И. разработаны технологии модификации медной поверхности ТПР внутренних слоев ПП, в т.ч. сверхвысокочастотных печатных плат (СВЧ ПП), перед прессованием с целью обеспечения прочности сцепления внутренних слоев МПП.

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.

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях и в организациях, таких как: ООО «Резонит»; АО «НИЦЭВТ»; АО «НПК «Элара» имени Г.А. Ильенко»; АО НПП Радиосвязь; АО «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина»; АО «Микрон»; АО «Композит» и др.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы и трех приложений. Работа изложена на 173 страницах, содержит 96 рисунков, 16 таблиц, библиографию из 143 наименований.

Анализ работы по главам

Во введении обоснована актуальность работы, описаны цели и задачи работы, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор научно-технической литературы, посвященный способам подготовки медной поверхности с целью увеличения адгезии меди с последующими неметаллическими слоями (например, препрег, фоторезист, паяльная маска), в т.ч. для СВЧ ПП.

Во второй главе описана методика исследования сформированных в процессе обработки поверхности меди адгезионных слоев. Приведены

методики измерения основных функциональных характеристик адгезионных слоев: параметров шероховатости, коррозионной стойкости, относительной осыпаемости, адгезии с неметаллическими материалами.

В третьей главе приведены и обсуждены результаты экспериментов. Описаны полученные зависимости функциональных характеристик адгезионных слоев от природы и концентрации компонентов растворов, а также параметров процесса обработки. Представлены различные варианты обработки поверхности меди с целью увеличения прочности сцепления внутренних слоев СВЧ печатных плат и полученные значения прочности сцепления обработанной поверхности с препрегом.

В четвертой главе представлены результаты по разработке технологических процессов подготовки поверхности меди перед прессованием внутренних слоев многослойных печатных плат и нанесением светочувствительных материалов (фоторезиста и паяльной маски). Приводится перечень разработанной 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.

В заключении представлены выводы из работы.

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов обеспечена применением широкого спектра современных аналитических методов и корректно выбранных методик экспериментов. Основные результаты по теме диссертации изложены в 10 научных работах, в том числе в 3 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных научного цитирования Scopus, Web of Science и Chemical Abstracts, а также 7 тезисах докладов в материалах всероссийских и международных конференций.

Замечания и вопросы по работе

Детальное знакомство с содержанием работы не дает поводов для ее принципиальной критики. Тем не менее, незначительные замечания и вопросы можно высказать:

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».

Приведенные вопросы и замечания ни в коем случае не снижают очень хорошего впечатления от работы и тем более ценность полученных результатов.

Общее заключение по диссертационной работе

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.

Официальный оппонент:

проректор, профессор кафедры технологии электрохимических производств,
доктор химических наук (02.00.03 – органическая химия), профессор



/ Истомина Наталия Владимировна

28.11.2025

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ангарский государственный технический университет», 665835, г. Ангарск, квартал 85а, д. 5.

Тел.: +79025124985,

E-mail: prorector@angtu.ru