

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **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

2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Диссертация Бардиной Ольги Игоревны посвящена разработке методов модификации медной поверхности для улучшения адгезии внутренних слоев и функциональных покрытий печатных плат.

Актуальность

Тема диссертации является весьма актуальной для отечественной электронной промышленности, в результате санкций потерявшей доступ ко многим иностранным технологиям, в том числе в сфере создания печатных плат. Следует отметить, что в России ранее отсутствовали конкурентноспособные технологии, касающиеся, в частности, методов создания адгезионных покрытий для печатных плат, поэтому диссертацию Бардиной Ольги Игоревны можно считать **актуальной** и пионерской для отечественной промышленности.

Автором проделан огромный объем работы как по изучению современного опыта по теме диссертации, так и в плане проведения многочисленных экспериментов, касающихся подбора и оптимизации составов растворов для создания адгезионных слоев на медной поверхности проводников печатных плат, а также растворов предварительной подготовки поверхности (очистка, кондиционирование и некоторые другие). В ходе работы автором достигнуты намеченные цели:

1. Разработаны технологии формирования адгезионных слоев и композиции для их реализации, позволяющие обеспечить прочность сцепления внутренних слоев, как для низкочастотных печатных плат, так и для печатных плат, функционирующих на высокой (ВЧ) и сверхвысокой частоте (СВЧ).

Следует отметить, что производство ВЧ и СВЧ печатных плат представляет особую трудность вследствие того, что адгезионные слои должны быть сформированы без формирования развитого микрорельефа поверхности чтобы избежать больших потерь сигнала.

2. Разработаны 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, обеспечивающие высокую прочность сцепления медной поверхности с фоторезистом и паяльной маской.

Научная новизна результатов работы

Представляют научный интерес установленные автором закономерности: 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. Данные закономерности могут быть использованы для регулирования шероховатости адгезионного слоя с целью обеспечения максимальной прочности сцепления с диэлектриком при минимальной скорости и глубине травления меди.

Методом просвечивающей микроскопии выявлено формирование металлоорганического слоя на медной поверхности, подвергнутой обработке в растворе, содержащем серную кислоту, пероксид водорода, бензотриазол и хлорид-ионы. Такой слой состоит из меди, углерода и азота.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей влияния природы и концентрации компонентов растворов микротравления, а также параметров процесса на скорость травления меди, микрорельеф формирующейся поверхности и её адгезию к неметаллическим материалам (препрег, фоторезист, паяльная маска).

Следует отметить, что разработанные автором технологии не уступают лучшим зарубежным аналогам по технологичности и функциональным характеристикам формирующихся покрытий. Полученные результаты могут быть использованы в производстве печатных плат в различных отраслях промышленности, а также для развития и

совершенствования теории и практики химической обработки поверхности металлов.

Общая характеристика работы

Оппонируемая диссертационная работа изложена на 173 страницах текста, содержит 96 рисунков, 16 таблиц. Работа содержит следующие разделы: введение, 4 главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список использованной литературы, включающий 143 наименования, 3 приложения.

Во **Введении** изложены актуальность темы, формулировка цели и задач исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В главе **Аналитический обзор литературы** рассмотрены виды и устройство печатных плат, материалы и технологии для их изготовления. Особое внимание уделяется способам формирования адгезионных слоев на медной поверхности перед прессованием внутренних слоев печатных плат и нанесением светочувствительных полимерных материалов.

В главе **Методика экспериментов** описаны способы подготовки поверхности образцов, составы растворов для формирования адгезионных слоев. Приведены методики исследования микрорельефа медной поверхности, определения толщины и элементного состава металлоорганического слоя, коррозионной стойкости, относительной осыпаемости, прочности сцепления обработанной медной поверхности с неметаллическими материалами, скорости травления меди.

В **главе 3** приведены результаты экспериментов по исследованию влияния состава растворов и режимных параметров процесса на скорость травления меди и функциональные характеристики адгезионного слоя, определены оптимальные составы растворов для формирования на медной поверхности адгезионного шероховатого слоя, не уступающего по функциональным характеристикам лучшим мировым аналогам. Представлены результаты исследований состава и толщины сформированного на поверхности меди металлоорганического слоя методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии.

В главе 4 приводится описание разработанных технологических процессов подготовки поверхности меди к прессованию и нанесению фоторезиста и паяльной маски, включая научно-техническую документацию: технологические инструкции, технические условия на композиции (растворы) и технологические инструкции на их применение. Определены рабочие диапазоны концентраций разработанных композиций и режимные параметры.

Обоснованность и достоверность выводов и результатов диссертации

Диссертация выполнена соискателем самостоятельно и с достаточной полнотой отражает проведённые исследования. Обоснованность и достоверность полученных результатов, основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается проведением большого количества экспериментов, использованием современного оборудования и применением корректно выбранных методик экспериментов.

Результаты диссертационного исследования представлены в 10 научных работах, в том числе 3 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts, 7 тезисах докладов – в материалах всероссийских и международных конференций. Работа прошла хорошую апробацию, ее результаты сообщались на международных и всероссийских конференциях.

Замечания и вопросы по работе

Несмотря на высокое качество представленной работы, хотелось бы сделать следующие замечания:

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 по диссертационной работе

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.

Официальный оппонент:

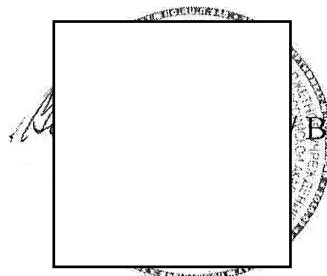
Старший научный сотрудник лаборатории строения поверхностных слоёв
ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина»
РАН, кандидат химических наук (05.17.03 Технология электрохимических
процессов)

26.11.2025

 / Дровосеков Андрей Борисович /

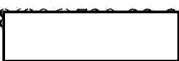
Подпись Дровосекова А.Б. заверяю

Ученый секретарь Ученого Совета
ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина



Варшавская И.Г. /

119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31

ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» Российской
академии наук. тел.:  2, e-mail: dro 