



Утверждаю  
Зам. директора  
**ФГБНУ ВНИИТИН**  
А.Н. Машков  
2025 г.  
*Илья*

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» на диссертационную работу Савицкой Сирануш Артуровны «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве печатных плат», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии**

### Актуальность темы диссертации

Современные темпы развития электроники и ужесточение требований к качеству готовой продукции требуют повышения технического уровня печатных плат (ПП) – основы современных электронных приборов и устройств. Печатные платы находят широкое применение, в том числе, в сельскохозяйственной технике и оборудовании. Они составляют основу электронных систем, используемых в умном сельском хозяйстве, поддерживая сложную сеть датчиков, контроллеров и коммуникационных модулей, подключая такие датчики, как влажность почвы, температуры, и т. д. для сбора данных в режиме реального времени, выполняют функцию связи таких устройств, как дроны, и автоматизированной системы орошения. Печатные платы выступают в качестве центров управления автоматизированными системами, такими как ирригация и управление теплицами, обрабатывая входные данные и эффективно выполняя действия.

Процесс производства печатных плат представляет собой сложную инженерную задачу, в которой возникают различные трудности. Дефекты в процессе изготовления могут привести к отказу электронных устройств или снижению их работоспособности. Под действием влаги, температуры, загрязняющих веществ ПП могут подвергаться коррозионному разрушению. В производстве печатных плат важное место занимает подготовка поверхности к металлизации, от которой в дальнейшем будет зависеть качество всего металлического покрытия, включая противокоррозионные свойства. Подготовка поверхности включает в себя стадии очистки-кондиционирования, микротравления и палладиевой активации. Качество химического медного покрытия, используемого в работе, во многом определяет надежность ПП.

Отечественные стандартные технологии подготовки поверхности отверстий печатных плат к химическому меднению относятся к 70-90-м гг. прошлого столетия и не удовлетворяют современным требованиям как по технологическим характеристикам, так и свойствам покрытий. Более поздние отечественные разработки также не нашли широкого практического применения, поскольку уступают зарубежным аналогам по перечисленным параметрам и технологичности. Отечественные производители печатных плат вынуждены либо работать с растворами, предписанными ГОСТ и ОСТ (для предприятий оборонного комплекса), либо использовать

композиции зарубежных производителей.

В связи с изложенным разработка отечественных технологий для подготовки поверхности отверстий ПП к химическому меднению, а также композиций для их реализации, не уступающих по характеристикам зарубежным аналогам, является важной научно-технической задачей, решению которой посвящена данная диссертационная работа.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, экспериментальной части с обсуждением, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы и списка работ, опубликованных автором. Общий объем работы: 158 страниц, включая 61 рисунок, 30 таблиц, библиографию из 117 наименований и 3 приложения.

### **Анализ работы по главам**

**Во введении** обоснована актуальность и перспективность темы диссертационной работы. Определены цель и задачи диссертационной работы.

**В первой главе** представлен обзор научно-технической литературы, посвященной процессам и растворам подготовки поверхности ПП к химическому меднению отверстий. Описаны существующие технологии подготовки поверхности к металлизации, обоснована актуальность разработки отечественной технологии и сформулированы задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** описана методика исследований и использованное оборудование.

В качестве образцов использовали пластины (тест-купоны) фольгированного и нефольгированного диэлектрика FR-4 (композиционный материал на основе эпоксидной смолы, армированной стекловолокном) с набором отверстий различного диаметра от 0,2 до 1,0 мм.

В качестве объектов сравнения были выбраны наиболее распространенные на отечественном рынке зарубежные аналоги композиций для процесса подготовки к металлизации отверстий ПП компаний J-Kem International и Room&Haas.

При проведении экспериментов автор использовал сложное современное оборудование и корректно выбранные методики исследования.

Особо следует отметить, использованный авторами оригинальный способ определения времени полного зарашивания активированной поверхности диэлектрика химическим медным слоем. Для определения этого параметра авторы определяли изменение светопроницаемости (Tr) и поверхностного электрического сопротивления в процессе химического меднения. Для этого предварительно подготовленные образцы нефольгированного диэлектрика погружали в раствор химического меднения. Через каждые 5 секунд один из образцов извлекали из раствора химического меднения, промывали, высушивали и определяли значения указанных характеристик. За время полного зарашивания принимали время, за которое сопротивление поверхности диэлектрика в процессе химического меднения снижалось до 5 Ом, а светопроницаемость падала до 0%. Светопроницаемость образцов измеряли с помощью автономного спектрофотометра X-rite серии сібх в диапазоне от 0 до 100 %, где 0 – полностью непрозрачный объект, а 100 – светопроницаемость нефольгированного диэлектрика. Электрическое сопротивление поверхности диэлектрика в процессе химического меднения измеряли с помощью омметра «ВИТОК».

**В третьей главе** описаны объекты исследований, приведены и обсуждены результаты экспериментов.

Установлено, что с увеличением гидродинамического диаметра мицелл коллоидного

активатора с 90 нм до 221 нм время полной затяжки активированной поверхности отверстий ПП в процессе химического меднения возрастает с 15 с до 80 с, а зависимость стабильности раствора коллоидного активатора от размера его мицелл имеет экстремальный характер. Максимальная стабильность раствора соответствует преимущественному ГДД, равному  $105\pm5$  нм. Установлено, что ГДД коллоидного активатора зависит от скорости и порядка смешивания растворов компонентов активатора и показано, что достичь оптимальных значений размеров мицелл палладиевого активатора и его максимальной стабильности возможно только при двухстадийном смешивании компонентов активатора. Установлено, что наиболее стабильными являются коллоидные активаторы с ГДД мицелл, равным  $105\div175$  нм. Показано, что коллоидные системы с таким размером мицелл формируются при отношении мольных концентраций  $\text{Sn}^{2+}:\text{Pd}^{2+}$ , равном 10:1 на первой стадии смешивания и 50:1 – в готовом концентрате. Обнаружено, что с увеличением температуры смешиваемых компонентов концентрата коллоидного активатора до  $60^{\circ}\text{C}$  диаметр формирующихся мицелл активатора снижается, а дальнейший рост температуры на размножении мицелл не сказывается.

Разработана технология изготовления концентрата коллоидного активатора путем поэтапного смешивания промежуточных композиций с ультразвуковой обработкой между этапами, позволяющей формировать коллоидную систему с оптимальным ГДД мицелл и узким интервалом их дисперсности, превосходящую по эксплуатационным характеристикам зарубежные аналоги.

Наряду с этим разработана технология изготовления комплексных ионных активаторов, которые в последние годы также становятся востребованными промышленностью. Исследован ряд соединений и выбраны наиболее подходящие лиганда, установлено как изменяются характеристики медного химического слоя по мере истощения растворов комплексных активаторов по ионам палладия, как влияют параметры процесса на активирующую способность растворов. Разработан раствор и параметры постактивации для этих активаторов.

Установлены поверхностно-активные вещества – азотсодержащие соединения, применение которых в растворе очистки-кондиционирования обеспечивает перезарядку поверхности диэлектрика перед металлизацией, и показано, что это способствует сокращению времени полной затяжки поверхности диэлектрика химическим медным слоем.

Определено, что в процессе очистки-кондиционирования происходит изменение заряда поверхности диэлектрика базового материала на основе эпоксидной смолы и стекловолокна (FR-4) с  $-17$  мВ до  $+44$  мВ, а полиимида с  $-30$  мВ до  $+35$  мВ.

Разработаны импортозамещающие процессы очистки-кондиционирования, микротравления, палладиевой активации (коллоидный и два комплексных активатора) поверхности диэлектрика перед химическим меднением сквозных отверстий печатных плат, а также композиции для их реализации, не уступающие зарубежным аналогам по технологичности и достигаемым результатам.

### **Научная новизна, теоретическая и практическая значимость.**

Приведенные в диссертации и автореферате научная новизна, теоретическая и практическая значимость не вызывают сомнения и подтверждены описанными в работе экспериментами и их результатами.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается

подробным изложением материала, согласованностью выводов, полученных в ходе теоретических исследований с соответствующими результатами, которые были получены в ходе многочисленных экспериментальных исследований.

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе **4** статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts, **6** тезисов докладов – в материалах всероссийских и международных конференций.

### **Выводы и рекомендации по работе**

Полученные результаты могут быть использованы для организации отечественного производства композиций для подготовки поверхности ПП перед химическим меднением, а также для развития и совершенствования теории и практики обработки поверхности в производстве печатных плат. В дальнейшем рекомендуется развивать тему в направлении химического меднения отверстий печатных плат.

### **Вопросы и замечания по работе**

1. В цели работы говорится о разработке технологий, *позволяющих получить прочно сцепленные с основой покрытия*, а методик, позволяющих оценить прочность сцепления с основой и результатов такой оценки нет.
2. Ни в научной новизне, ни в теоретической и практической значимости не отражены результаты проведенных исследований по комплексным активаторам (задача 2) и зависимости потенциала диэлектрика (задача 3).
3. Не указано, чем состав разработанного раствора микротравления отличается от известных составов зарубежных аналогов.
4. Три из пяти заявленных задач работы (2, 3 и 5) не нашли отражения в выводах по работе.
5. Вывод 9 требует конкретизации, 10 и 11 говорят лишь о возможности использования полученных результатов и скорее относятся к практической значимости работы.
6. Замечания по оформлению: в обозначениях подразделов должно быть максимум 4 цифры (например, 1.4.2.4.1 быть не должно, можно сделать такой подзаголовок без цифр); сокращения т.н., т.е., т.о в диссертационной работе и автореферате не приветствуются; стр. 65 диссертации подпись к рисунку перескочила на следующую страницу.

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимости оппонируемой диссертационной работы.

### **Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы**

Диссертация Савицкой Сирануш Артуровны на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Все положения и выводы диссертации опубликованы в изданиях, включенных в международные базы цитирования Scopus и WoS, а также в журнале, рекомендованном ВАК РФ и доложены на международных и всероссийских конференциях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Представленная к защите диссертационная работа Савицкой С.А. «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве печатных плат» по критериям актуальности, научной новизны и практической значимости 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., предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертационная работа Савицкой Сирануш Артуровны рассмотрена и обсуждена на заседании научно-технического совета НТС-2 ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», протокол № 2 от 16.05.2025

Отзыв подготовил  
доктор химических наук  
«16» мая 2025 г.

Князева Лариса Геннадьевна

Подпись Князевой Ларисы Геннадьевны заверяю  
Ученый секретарь ФГБНУ ВНИИТИН

Корнев А.Ю.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Российская Федерация, 392022, г. Тамбов, Переулок Ново-Рубежный, д. 28, Телефон: +7 (4752) 446203., e-mail: [viitin-adm@mail.ru](mailto:viitin-adm@mail.ru)