

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева,
д.х.н., профессор Е.В. Румянцев



24 » _____ 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве 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 Савицкая Сирануш Артуровна, 20 января 1980 года рождения, была соискателем кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» с 01.10.2020 г. по 30.09.2024 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: «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве печатных плат» принято следующее заключение.

Современная тенденция к возрастанию производительности электронного оборудования с одновременным снижением его габаритов обуславливает повышение технического уровня печатных плат (ПП) – основы современных электронных приборов и устройств.

Создание прочного электрического соединения между токопроводящим рисунком внутренних и наружных слоёв ПП является ответственной частью технологического процесса изготовления ПП, определяющей надежность ПП.

На практике чаще всего применяют технологию металлизации сквозных отверстий ПП – химическое меднение с последующим гальваническим доразращиванием медного слоя до требуемой толщины. От качества химического медного покрытия существенно зависит качество всего металлического слоя и, в конечном счете, надежность ПП. В свою очередь качество химического медного покрытия во многом определяется качеством подготовки фольгированного диэлектрика к его нанесению, включающей операции очистки-кондиционирования, микротравления и палладиевой активации.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что отечественные стандартные процессы [ГОСТ 23770-79, ОСТ 107.40092.004] подготовки к химическому меднению ПП, разработанные в середине прошлого века, не удовлетворяют современным требованиям как по технологическим (скорость осаждения химического покрытия, ресурс и стабильность растворов), так и свойствам покрытий (прочность сцепления с основой, сплошность). Более поздние отечественные разработки также не находят практического применения, поскольку уступают лучшим мировым аналогам как по стабильности и ресурсу растворов, так и по свойствам химического медного покрытия.

Российские производители вынуждены использовать дорогостоящие зарубежные композиции для обработки поверхности в производстве ПП при наличии серьезных санкционных рисков и отсутствия возможности оперативного

получения этих композиций.

В связи с изложенным разработка импортзамещающих технологий очистки-кондиционирования, микротравления, палладиевой активации, позволяющих получать компактные, прочно сцепленные с основой, неосыпающиеся химические медные покрытия в отверстиях МПП не уступающих зарубежным аналогам по скорости затяжки поверхности диэлектрика медным слоем, а также по стабильности и ресурсу 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 установлена зависимость гидродинамического диаметра (ГДД) мицелл коллоидного активатора от *состава, скорости и порядка смешивания* компонентов раствора. Показано, что достичь оптимальных значений размеров мицелл палладиевого активатора и его максимальной стабильности возможно только при двухстадийном смешивании компонентов активатора, причем наиболее стабильные коллоидные системы формируются при отношениях содержания $\text{Sn}^{2+}:\text{Pd}^{2+}$, равном 10:1, на первой стадии смешивания и 50:1 – в готовом концентрате.

2. Впервые установлено, что функциональные характеристики коллоидного палладиевого активатора зависят от размеров мицелл коллоидного активатора:

– скорость полной затяжки активированной поверхности отверстий ПП в процессе химического меднения возрастает с уменьшением преимущественного ГДД мицелл активатора;

– зависимость стабильности раствора коллоидного активатора от ГДД имеет экстремальный характер, максимальная стабильность раствора соответствует преимущественному ГДД 105 ± 5 нм.

Впервые экспериментально установлен факт перезарядки поверхности диэлектрика в отверстиях ПП (с -17 до $+44$ мВ в FR-4 и с -30 до $+35$ мВ в полиимиде) в процессе кондиционирования в растворах, содержащих гидрофильные катионные азотсодержащие полимеры K1 и K2.

Теоретическая и практическая значимость

1. Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей влияния параметров процесса приготовления активатора на ГДД его мицелл, а также влияния ГДД мицелл на скорость металлизации активированной поверхности диэлектрика и стабильность раствора активатора в процессе эксплуатации и хранения.

2. Практическая ценность работы заключается в разработке технологии изготовления концентрата коллоидного активатора путем поэтапного смешивания промежуточных композиций с ультразвуковой обработкой между этапами, позволяющей формировать коллоидную систему с оптимальным преимущественным ГДД мицелл и узким интервалом их дисперсности, превосходящую по эксплуатационным характеристикам применяемые на практике мировые аналоги.

3. Подобран антикоагулянт – соединение из класса органических монотерпеновых альдегидов, позволивший дополнительно (в 2,5 раза) повысить стабильность коллоидного палладиевого активатора с оптимальным ГДД мицелл (105 нм) в сравнении с используемым в настоящее время 4-гидрокси-3-метоксибензальдегидом.

4. Показано, что с увеличением температуры смешиваемых компонентов концентрата коллоидного активатора до 60°C диаметр формирующихся мицелл активатора снижается, а дальнейший рост температуры на размере мицелл не сказывается.

5. Установлены КПАВ – азотсодержащие соединения (К1 и К2), 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.

6. Разработаны импортозамещающие технологии 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.

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

Основные положения диссертации получили полное отражение в 4 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе: Международные научно-технические конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии: материалы» (г. Минск, Республика Беларусь, 2021 и 2024 гг.); VII International scientific congress INNOVATIONS 2021 (г. Варна, Болгария, 2021 г.); Всероссийская конференция «Обработка поверхности и защита от коррозии» (г. Москва, 2021 г.); III Конференция молодых ученых с международным участием «Новые материалы и химические технологии» (г. Москва, 2022 г.); XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (Федеральная территория «Сириус», 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 [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** [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. Grigoryan N.S. Surface preparation before chemical copper plating of printed circuit board holes. Part II. Activation / N.S. Grigoryan, **S.A. Savitskaya**, I.S. Korotkikh [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2024. – Vol. 13, No. 3. – P.

1741-1750. – DOI 10.17675/2305-6894-2024-13-3-23 (Scopus, Web of Science).

4. Савицкая С.А. Подготовка медной поверхности внутренних слоев многослойных печатных плат к прессованию / С.А. Савицкая, О.И. Бардина, Н.С. Григорян [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, 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. Митько Д.В. Кондиционирование поверхности диэлектрика в процессе металлизации отверстий печатных плат / Д.В. Митько, О.И. Бардина, 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. 476-477.

3. Solopchuk M.S. Conditioning and etching of the surface of printed circuit boards holes prior to metallization / M.S. Solopchuk, O.I. Bardina, D.V. Mitko, N.S. Grigoryan, S.A. Savitskaya, A.A. Abrashov, N.A. Asnis // Machines. Technologies. Materials. – 2021. – Issue 4. – P. 144-145.

4. Савицкая С.А. Перезарядка поверхности диэлектрика в процессе подготовки к химическому меднению / С.А. Савицкая, Д.В. Митько, О.И. Бардина [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. Т. 35, № 5 (240). – С. 41-42.

5. Алешина В.Х. Композиция для микротравления поверхности отверстий печатных плат перед металлизацией / В.Х. Алешина, Н.С. Григорян, С.А. Савицкая [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 13 (262). – С. 40-42.

6. Драгунова А.Ю. Перезарядка поверхности диэлектрика в процессе подготовки к химическому меднению / А.Ю. Драгунова, И.С. Коротких, С.А. Савицкая [и др.] // Инновационные материалы и технологии – 2024: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 31 марта – 04 апреля 2024 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2024. – С. 351-353.

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 и п. 4 Электрохимические, химические, физические и комбинированные методы обработки поверхности материалов, 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, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Савицкой Сирануш Артуровны 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 Савицкой Сирануш Артуровне; 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: «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве 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 заседании кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии, состоявшемся «23» апреля 2025 года, протокол № 8. 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 Мазурова Д.В., к.т.н., доцент, доцент Абрашов А.А., д.пед.н., профессор, профессор Капустин Ю.И., к.х.н., доцент, доцент Апанович Н.А., к.т.н., доцент Чуднова Т.А., к.т.н., доцент, доцент Василенко О.А., к.т.н., доцент, доцент Вершинина Е.В., к.т.н., доцент Смирнов К.Н., к.т.н., ведущий научный сотрудник УНЦ химической и электрохимической обработки материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева Аснис Н.А., к.т.н., генеральный директор ООО ПК «НПП СЭМ.М» Архипов Е.А., д.х.н., руководитель лаборатории окисления и пассивации металлов и сплавов ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» РАН профессор Андреев Н.Н., к.т.н., и.о. начальника производственного управления АО «НИЦЭВТ» Гиринов О.С., инженер-технолог 1 категории АО «Научно-исследовательский институт точных приборов» Шумилина Д.А.

Принимало участие в голосовании 14 человек. Результаты голосования: «За» - 14 человек, «Против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 8 от «23» апреля 2025 года.

Председатель заседания,
зав. кафедрой инновационных материалов
и защиты от коррозии, д.т.н., профессор

Т.А. Ваграмян

Секретарь заседания,
доцент, к.т.н., доцент

Д.В. Мазурова