

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу **Савицкой Сирануш Артуровны**
«Разработка технологических процессов подготовки поверхности
к химическому меднению в производстве 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 Савицкой С.А. посвящена разработке технологических процессов подготовки поверхности диэлектрика к химическому меднению для важнейшей стадии производства многослойных печатных плат – металлизации отверстий.

Оппонируемая диссертационная работа изложена на 158 страницах текста, содержит 61 рисунок, 30 таблиц. Работа содержит следующие разделы: введение, 4 главы, выводы и список цитируемой литературы, включающей 117 наименований, 3 приложения.

Актуальность работы

Диссертационная работа Савицкой С.А. посвящена решению весьма важной проблемы – разработке импортозамещающих технологий подготовки поверхности диэлектрика к химическому меднению отверстий многослойных печатных плат (МПП).

Во *введении* обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, обозначены научная новизна и практическая значимость диссертации, а также позиции, выносимые на защиту.

Качество химического медного покрытия во многом определяет свойства всего металлического слоя и, в конечном счете, надежность ПП, в связи с чем требования к нему всё более ужесточаются. В свою очередь качество химического медного покрытия во многом определяется подготовкой поверхности отверстий к его нанесению. Подготовка поверхности включает в себя стадии очистки-кондиционирования, микротравления и палладиевой активации.

Как следует из приведенного аналитического обзора литературы, включая патенты и доступную научно-техническую документацию к зарубежным процессам, отечественные стандартные технологии подготовки поверхности отверстий МПП к химическому меднению (ГОСТ 23.770-79, ОСТ 107.460092.028-96) устарели и не удовлетворяют современным требованиям как по технологическим характеристикам, так и свойствам покрытий. Более поздние отечественные разработки также не нашли практического применения, поскольку уступают зарубежным аналогам по перечисленным параметрам и технологичности. Отечественные производители печатных плат вынуждены либо работать с растворами, предписанными ГОСТ и ОСТ (предприятия оборонного комплекса), либо использовать композиции зарубежных производителей.

Недостатками зарубежных продуктов являются их высокая стоимость и необходимость

складского резерва, а также риски прекращения поставок.

В связи с этим **актуальность темы** диссертационной работы Савицкой Сирануш Артуровны, посвященной разработке импортзамещающих технологий очистки-кондиционирования, микротравления, палладиевой активации поверхности ПП перед металлизацией, удовлетворяющие современным требованиям по скорости затяжки поверхности диэлектрика медным слоем, а также по стабильности и ресурсу растворов, не вызывает сомнений.

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

Описание методики исследований и использованного оборудования приведено *во второй главе*. Диссертант выбрал для исследований корректные методики экспериментов и использовал для их реализации современное оборудование, такое как анализатор частиц Anton Paar Litesizer 500, энергодисперсионный спектрометр Shimadzu EDX-7000, лазерный сканирующий микроскоп OLYMPUS LEXT OLS4100 и др.

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

Автор исследования подчеркивает, что с уменьшением 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. Им обнаружено, что зависимость стабильности раствора коллоидного активатора от размера мицелл коллоидного активатора имеет экстремальный характер, а максимальная стабильность раствора соответствует ГДД, равному 100 ± 10 нм. Наряду с этим автором установлено, что ГДД коллоидного активатора зависит от скорости и порядка смешивания растворов компонентов активатора. Показано, что достичь оптимальных значений как размеров формирующихся мицелл палладиевого активатора, так и его стабильности возможно только при двухстадийном смешивании компонентов активатора. Как установлено, наиболее стабильными являются коллоидные активаторы с ГДД мицелл, равным $105 \div 175$ 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. Показано, что с увеличением температуры смешиваемых компонентов концентрата коллоидного активатора до 60 °С диаметр формирующихся мицелл активатора снижается, а дальнейший рост температуры на размере мицелл не сказывается.

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 (FR4) с -17 мВ до $+44$ мВ, полиимида (DuPont Pyrolux 8525AP) с -30 мВ до $+35$ мВ.

Четвертая глава посвящена разработке технологического процесса подготовки поверхности ПП к металлизации.

Диссертантом были определены допустимые диапазоны концентраций компонентов в разработанных композициях, диапазоны изменения концентраций компонентов в рабочих растворах, а также режимные параметры процессов для каждой из стадий подготовки поверхности к металлизации. В приложении к диссертации приведена разработанная автором научно-техническая документация к разработанному процессу, в т.ч., технологические инструкции на применение композиций для очистки-кондиционирования, микротравления, активации поверхности диэлектрика, технические условия на композиции для очистки-кондиционирования, микротравления, активации поверхности диэлектрика.

Резюмируя, отмечаю, что диссертантом решены все сформулированные в диссертации задачи и достигнуты все поставленные цели.

Несомненная практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что разработаны отечественные технологии очистки-кондиционирования, микротравления, палладиевой активации (коллоидный и два комплексных активатора) поверхности диэлектрика перед химическим меднением сквозных отверстий печатных плат, сопоставимые по достигаемым результатам с зарубежными аналогами, чрезвычайно востребованные в настоящее время на российских производствах. Разработанные технологии успешно протестированы на АО «НИЦЭВТ» – одном из ведущих предприятий, производящих ПП, получен акт испытаний и рекомендации к внедрению в производство.

По оппонируемой работе имеется ряд **замечаний**:

1. В п. 1 теоретической и практической значимости указано, что установлено влияние ГДД мицелл активатора на стабильность раствора в процессе его эксплуатации и хранения. Но в тексте диссертации нет данных о длительности эксплуатации или хранения активатора. Есть только результаты ускоренных испытаний рабочего раствора, из которых нельзя сделать вывод о длительности хранения концентрата активатора.

2. В п. 6 теоретической и практической значимости указано, что диссертантом разработаны импортозамещающие технологии подготовки поверхности перед химическим меднением сквозных отверстий ПП. Означает ли это, что для меднения глухих отверстий разработанные технологии непригодны?

3. Не указано, чем состав разработанного раствора микротравления отличается от известных составов зарубежных аналогов.

Общая оценка диссертационной работы

Указанные замечания не портят общее положительное впечатление от диссертационной работы и не умаляют её научной и практической ценности.

Диссертация выполнена соискателем самостоятельно и с достаточной полнотой отражает проведённые исследования. Достоверность результатов обоснована и верифицирована.

В целом, диссертация на тему «Разработка технологических процессов подготовки поверхности к химическому меднению в производстве печатных плат» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных исследований 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.

Сделанные замечания являются дискуссионными, не затрагивают сути работы и основных выводов диссертации. Научные выводы диссертационной работы, как и выносимые на защиту положения, достаточно обоснованы. Работа хорошо изложена, сбалансирована в своих основных частях и, в целом, хорошо оформлена.

Результаты диссертационного исследования представлены в 10 научных работах, в том числе 4 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts, 6 тезисах докладов – в материалах всероссийских и международных конференций. Работа прошла хорошую апробацию, ее результаты сообщались на международных и всероссийских конференциях. 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.

По актуальности, новизне, достоверности результатов, обоснованности выводов и практической значимости диссертационная работа Савицкой С.А. 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 и 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Считаю, что Савицкая Сирануш Артуровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.17 Материаловедение и 2.6.9 – Технология

Варшавская И.Г.