

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
“Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники”

УДК 621.3.049.75:621.357

Белоцкий
Иван Павлович

Металлизация печатных плат при комбинированном воздействии
импульсного тока и ультразвуковых колебаний

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для
производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель
Хмыль А.А.
д.т.н, профессор

Минск 2019

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Гальваническое меднение является процессом, при котором формируется токоведущий слой печатной платы, определяющий ее эксплуатационные свойства, такие как устойчивость к термоудару, циклическому изменению температур, перепайкам, ремонтпригодности. В производстве печатных плат покрытия на основе меди используют для придания поверхности определенного внешнего вида, обеспечения электропроводности, а также прочности сцепления фрикционных композиций с основой. При этом важной проблемой, требующей решения, является увеличение скорости процесса, обеспечение пластичности и равномерности медных покрытий на поверхности и в отверстиях сложнопрофилированных деталей, особенно это относится к прецизионным печатным платам и печатным платам пятого класса точности.

В связи с этим актуальным является проведение исследований по выбору нетоксичных электролитов для процессов скоростного электрохимического нанесения меди на рабочую поверхность печатных плат с применением нестационарных режимов электролиза и сонохимической обработки; изучению кинетики электродных процессов, а также установлению зависимостей физико-механических свойств и качества полученных медьсодержащих покрытий от параметров нестационарного электролиза и ультразвукового поля.

Целью магистерской диссертации является установление физико-химических закономерностей электрохимического меднения в сульфатных электролитах в присутствии выравнивающих добавок в условиях нестационарного электролиза и ультразвукового стимулирования, исследование влияния параметров периодического тока и ультразвука на структуру и свойства медных покрытий, разработка способа металлизации сложнопрофилированных изделий в условиях нестационарного электролиза и при воздействии ультразвука, создание оборудования для ультразвукового воздействия во взаимодействующих высокочастотном (ВЧ) и низкочастотном (НЧ) ультразвуковых полях на процесс осаждения в докавитационном и кавитационном режимах со встроенными датчиками режима обработки и индикатором активности кавитации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным фундаментальным и прикладным научным исследованиям в Республике Беларусь и содержит результаты исследований, полученных при выполнении: ГБЦ № 16-3057: “Исследование закономерностей электрохимического меднения сложнопрофилированных изделий при воздействии на процесс электролиза периодических токов и ультразвуковых колебаний”, государственной программы ГПНИ ”Механика, металлургия, диагностика в машиностроении”, подпрограмма: “гальванотехника”.

Цели и задачи исследования

Цель диссертационной работы заключается в установлении закономерностей электрохимического осаждения медьсодержащих покрытий в условиях стационарного и нестационарного электролиза, и разработка способа металлизации сложнопрофилированных изделий на реверсированном токе.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) провести анализ состояния исследований и современных методов электрохимического осаждения меди;
- 2) разработать методику электрохимического осаждения меди на подложки и обосновать выбор электролита;
- 3) исследовать кинетические закономерности процесса меднения при воздействии интенсифицирующих факторов;
- 4) исследовать влияние нестационарных режимов электролиза и ультразвука на рассеивающую способность сульфатных электролитов меднения;
- 5) исследовать влияние периодического тока и ультразвука на структуру и физикомеханические свойства медных осадков;
- 6) разработать рекомендации по практическому применению нестационарного электролиза и ультразвука для металлизации ПП.

Объектом исследований являлись электрохимические покрытия медью, полученные на постоянном и периодическом токе при воздействии интенсифицирующих факторов.

Предметом исследований являлись свойства медных осадков и закономерности изменения этих свойств в зависимости от режима электролиза.

Положения, выносимые на защиту

1. Периодический ток не изменяет механизм разряда ионов меди, однако снижают катодную поляризацию, увеличивают вдвое величину предельного тока и допустимую плотность тока, позволяет

интенсифицировать процесс электроосаждения и повысить эксплуатационные свойства покрытий.

2. Введение в сульфатный электролит меднения комплексной блескообразующей добавки приводит к повышению поляризации катодного процесса, оказывая выравнивающее действие.

3. Введение в состав электролита блескообразующих и выравнивающих добавок может как повышать, так и снижать рассеивающую способность.

4. Реверсированный ток позволяет повысить рассеивающую способность на 18-35%.

Личный вклад соискателя учёной степени

Личный вклад соискателя состоит в участии в проведении экспериментальных работ, формулировании научных выводов и практических рекомендаций, а также разработке компьютерной программы, предназначенной для расчёта кинетических закономерностей электрохимических процессов на основе результатов исследований.

Апробация диссертации и информации об использовании её результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 13-я международная научно-техническая конференция “Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка”. – НАНБ, г. Минска, Республика Беларусь, 2018; 54-ая научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь, 2018; 11-ая международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов “Новые направления развития приборостроения”, – БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь, 2018; 1-ая международная научно-техническая конференция “Опто-, микро и свч-электроника-2018”. – Государственное научно-производственное объединения “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника”, г. Минск, Республика Беларусь, 2018; международной научно-технической конференции “INTERMATIC – 2018”. – РТУ МИРЭФ, г. Москва, 2018.

Опубликование результатов диссертации

По результатам проведенных исследований опубликовано 5 научных работ, в том числе 4 в сборниках материалов международных конференций.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объём диссертационной работы составляет 60 страниц из которых 55 страниц основного текста, 35 рисунка на 25 страницах, 9 таблиц на 8 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** и в **общей характеристике работы** обоснована актуальность темы диссертации, показана ее связь с научными программами и темами. Сформулирована цель работы и поставлены задачи исследований. Представлены основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации, её структуре и объёме.

Первая глава посвящена аналитическому обзору научной литературы по теме диссертации. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к электролитам меднения печатных плат:

- высокая рассеивающая способность;
- возможность применения высоких плотностей тока при осаждении;
- обеспечение высокой пластичности осаждаемой меди;
- минимальное воздействие на фоторезисты;
- высокая устойчивость к органическим загрязнениям;

Показаны преимущества и недостатки разных электролитов и добавок.

Рассмотрена технология импульсной металлизации печатных плат. Поскольку эта технология предусматривает полное заполнение переходных отверстий медью, реверс тока позволяет создать толстые мелкокристаллические осадки без заметных внутренних напряжений. Для улучшения качества покрытий ПП, часто применяются методы, основанные на изменении только электрического режима питания ванны во время электролиза. А так как при электрокристаллизации ток является одним из основных факторов, определяющих электрохимические и структурные условия выделения металлов, то, изменяя его по определённым законам, можно в широких пределах регулировать качество получаемых систем металлизации. Нестационарный электролиз является мобильным, хорошо поддаётся автоматизации, не требует сложного состава электролита, управление им не вызывает затруднений и при определённых организационно-технических мероприятиях может выполняться ПЭВМ. Применение периодически изменяющегося тока различной формы (импульсный, реверсный, асимметричный, синусоидальный с отсечкой и т. д.) оказывает значительное влияние на электродные процессы и, в первую очередь, на поляризацию катода.

Рассмотрены возможности применения ультразвука в гальванотехнике. Основное назначение – применение с целью интенсификации процессов. Под воздействием ультразвука в процессах осаждения металлов (меднения, никелирования, хромирования, цинкования и др.) снижается водородная поляризация и облегчается разряд ионов, таким образом обеспечивается повышение катодной плотности тока. Фактически ультразвук в несколько раз увеличивает активную площадь катода. Покрытие получается более равномерное с большей адгезией к основе. Технология реализуется с помощью погружных ультразвуковых излучателей с фронтальным типом излучения.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что для удовлетворения требований, предъявляемых к качеству гальванических покрытий ПП и интенсификации процесса осаждения следует комбинировать методы введения специальных добавок в электролит с методами нестационарного электролиза на реверсированном токе и ультразвуке.

Во **второй главе** изложена методика проведения научных исследований. Описан выбранный электролит, и оборудование для исследования влияния нестационарных режимов электролиза и ультразвука. Представлены методики определения толщины покрытий, катодного выхода металла по току, контактного электросопротивления, коррозионной стойкости, микротвёрдости и рассеивающей способности.

В **третьей главе** представлены результаты исследований кинетических закономерностей процесса меднения при воздействии интенсифицирующих факторов. На начальном этапе проводилось исследование влияния нестационарных режимов электролиза и УЗК на рассеивающую способность сульфатных электролитов меднения (рис. 3.1 – 3.3). Установлено, что введение в состав электролита, содержащего 100 г/л сульфата меди, 160 г/л серной кислоты и 0,04 г/л хлористого натрия, выравнивающих добавок (солей третичных аминов) может как повышать, так и снижать рассеивающую способность. Ультразвук при малых интенсивностях (0,06-0,3 Вт/см²) может повысить рассеивающую способность электролита, причем эффективность воздействия зависит от состава электролита и плотности тока.

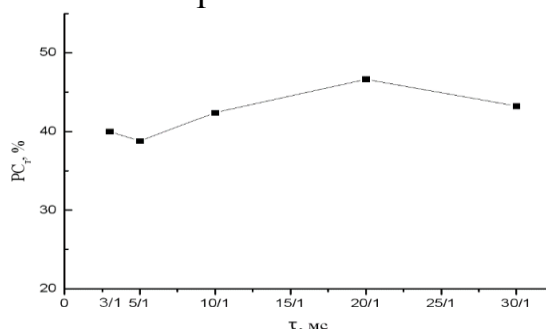


Рисунок 1 – Влияние частоты переключения реверсированного тока на его рассеивающую способность в электролите меднения с добавкой №3

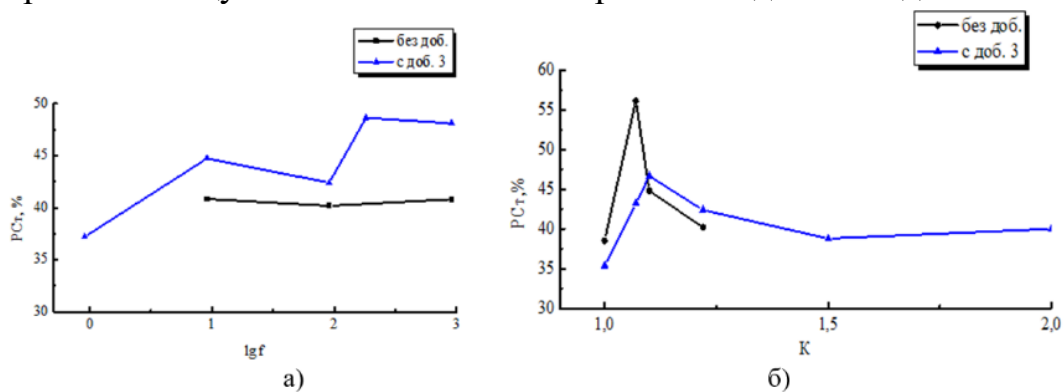


Рисунок 2 – Влияние частоты (а) и коэффициента заполнения реверсированного тока (б) на рассеивающую способность электролита меднения с добавкой додецилтриметиламмоний бромида, $i_{cp}=2A/dm^2$

Таким образом, установлено, что использование при электроосаждении медных покрытий ультразвукового стимулирования и периодического тока позволяет повысить равномерность распределения покрытия по поверхности.

Были исследованы кинетические закономерности электродных процессов. Для обработки результатов экспериментов была представлена программа Galvan-kinetics. Было установлено, что ультразвук ускоряет процесс зародышеобразования и уменьшает размер зародышей (рисунок 3), а также снижает катодную поляризацию процесса меднения, повышает предельный ток и допустимую плотность тока, а, следовательно, позволяет интенсифицировать процесс электроосаждения (рисунок 4).

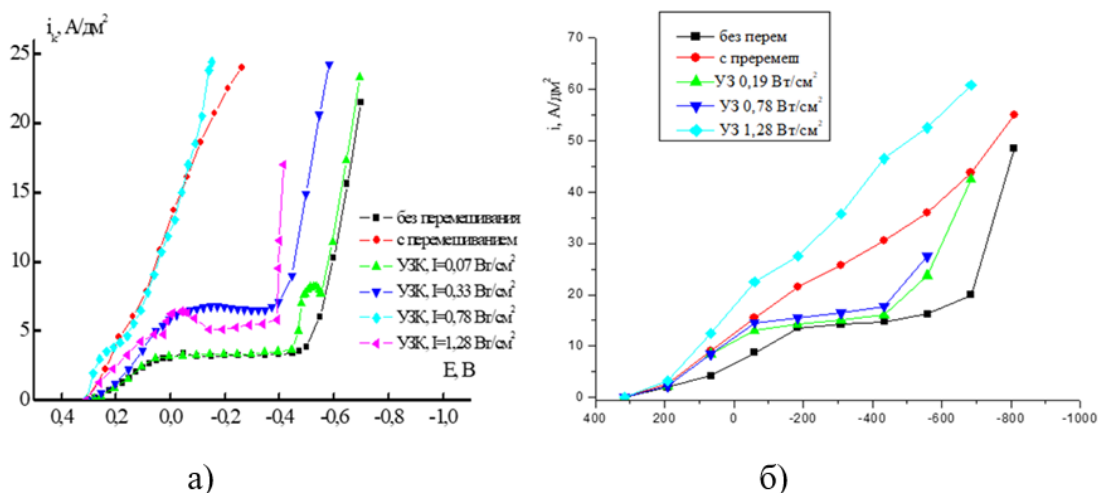


Рисунок 3 – Вольтамперные характеристики процесса меднения из сульфатных электролитов при различных концентрациях серной кислоты и сульфата меди: а - соответственно 180 и 80 г/л; б – 100 и 190 г/л

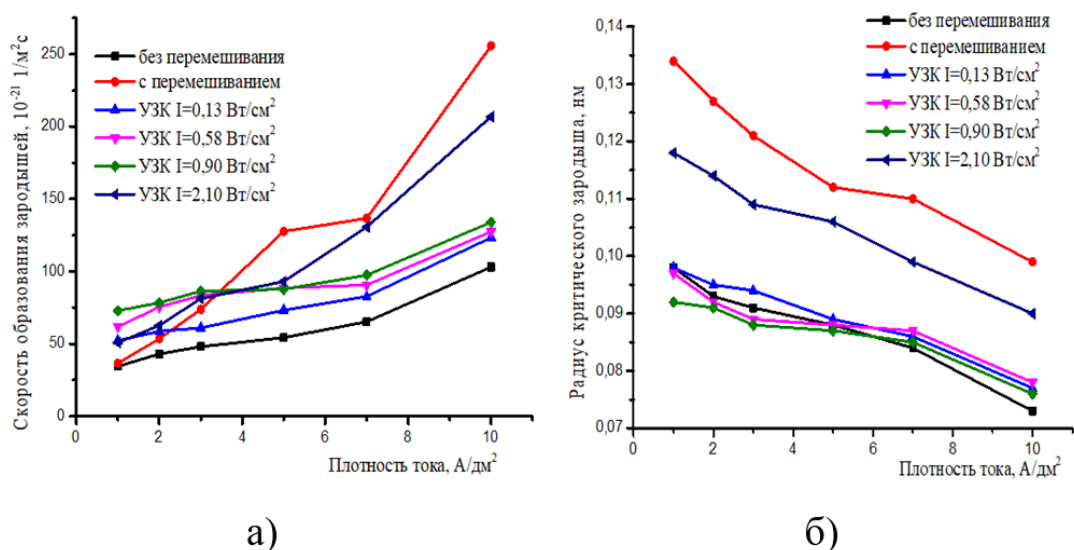
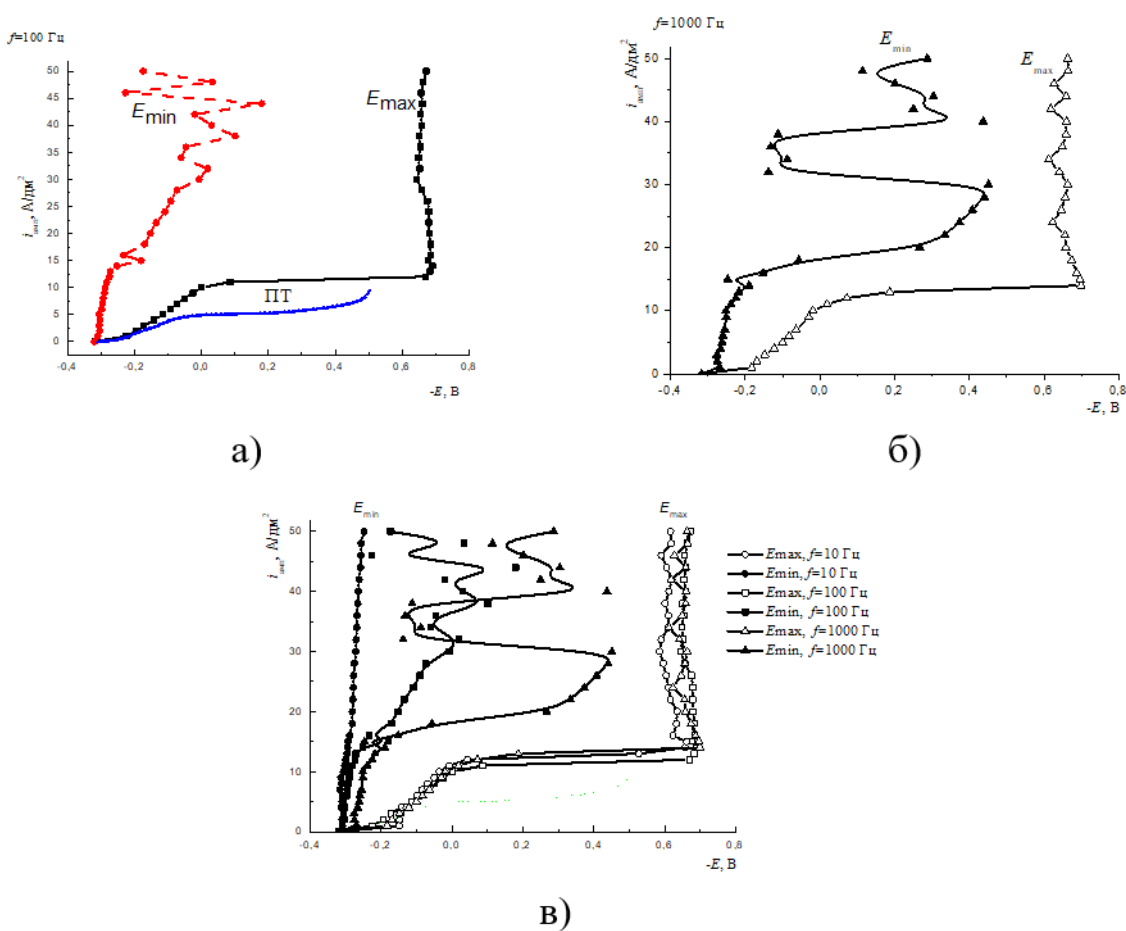


Рисунок 4 – Влияние интенсивности ультразвука на скорость зародышеобразования а) и радиус критического зародыша медных осадков б)

Ускорение электрохимических процессов в ультразвуковом поле обусловлено несколькими причинами: снижением перенапряжения выделения

металлов, значительным перемешиванием электролита и выравниванием концентрации ионов, ускорением дегазации электролита, увеличением активной поверхности благодаря ее очистке.

При повышении частоты от 10 до 1000 Гц наблюдается некоторое снижение катодной поляризации, величина второго предельного тока несколько повышается (рисунок 5). Снижение частоты приводит к уменьшению реактивной проводимости электрода и емкостного тока, при этом фарадеевская составляющая возрастает. В результате растет размах ($E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}$) колебаний. При частоте 1000 Гц во время паузы (микросекунды) потенциал не возвращается к равновесному значению, за счет чего кривая минимума $E_{\text{мин}}$ значительно смещается в более электроотрицательную сторону.



а) – $f=100$ Гц, б) – $f=1000$ Гц, в) – $f=100$ Гц и 1000 Гц

Рисунок 5 – Влияние частоты импульсного тока на кинетику электрохимического меднения, $q=2$

Было исследовано влияние периодического тока и ультразвука на структуру и физико-механические свойства медных осадков. Как показали проведенные исследования, электроосаждение меди на реверсированном токе привело к повышению коррозионной стойкости в 1,2-4,3 раза, причем эффективность воздействия нестационарных режимов электролиза возрастала

с увеличением плотности тока, что позволяет интенсифицировать процесс электролиза за счет увеличения рабочей плотности тока и повысить качество осадков. Исследования показали, что скорость коррозии на реверсированном токе при средней плотности тока 3 А/дм^2 снижается в 1,2-2,4 раза, а при плотности тока 4 А/дм^2 – 2,6-4,3 раза (рисунок 6).

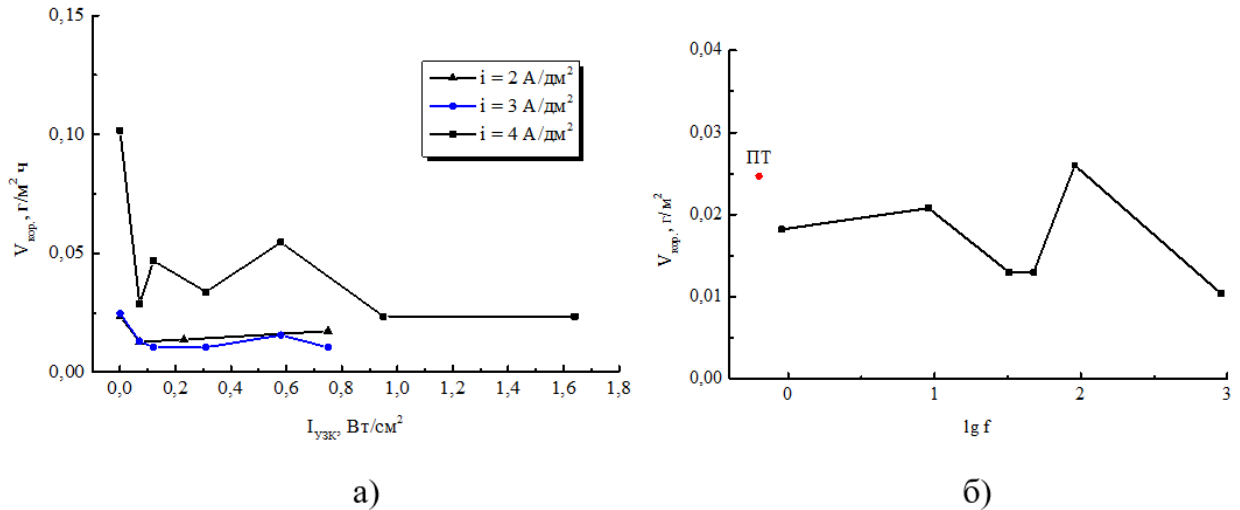
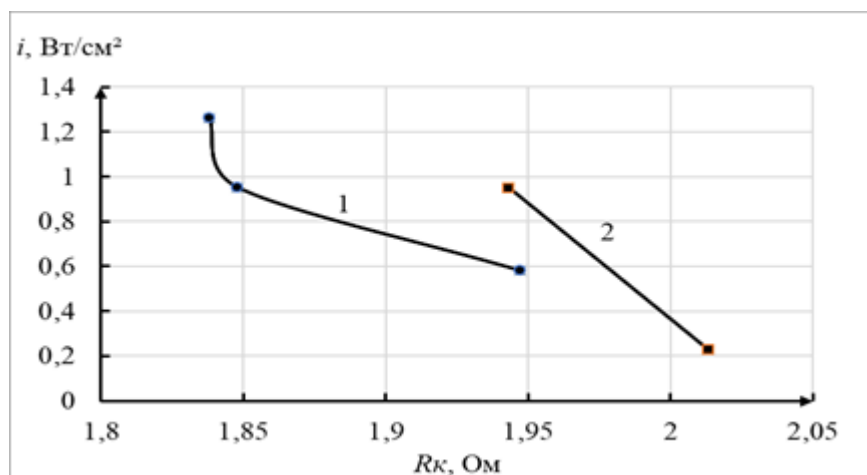


Рисунок 6 - Влияние интенсивности ультразвука (а) и частоты реверсированного тока (б) на коррозионную стойкость медных покрытий, $i_{ср} = 2 \text{ А/дм}^2$, $k = 1,22$

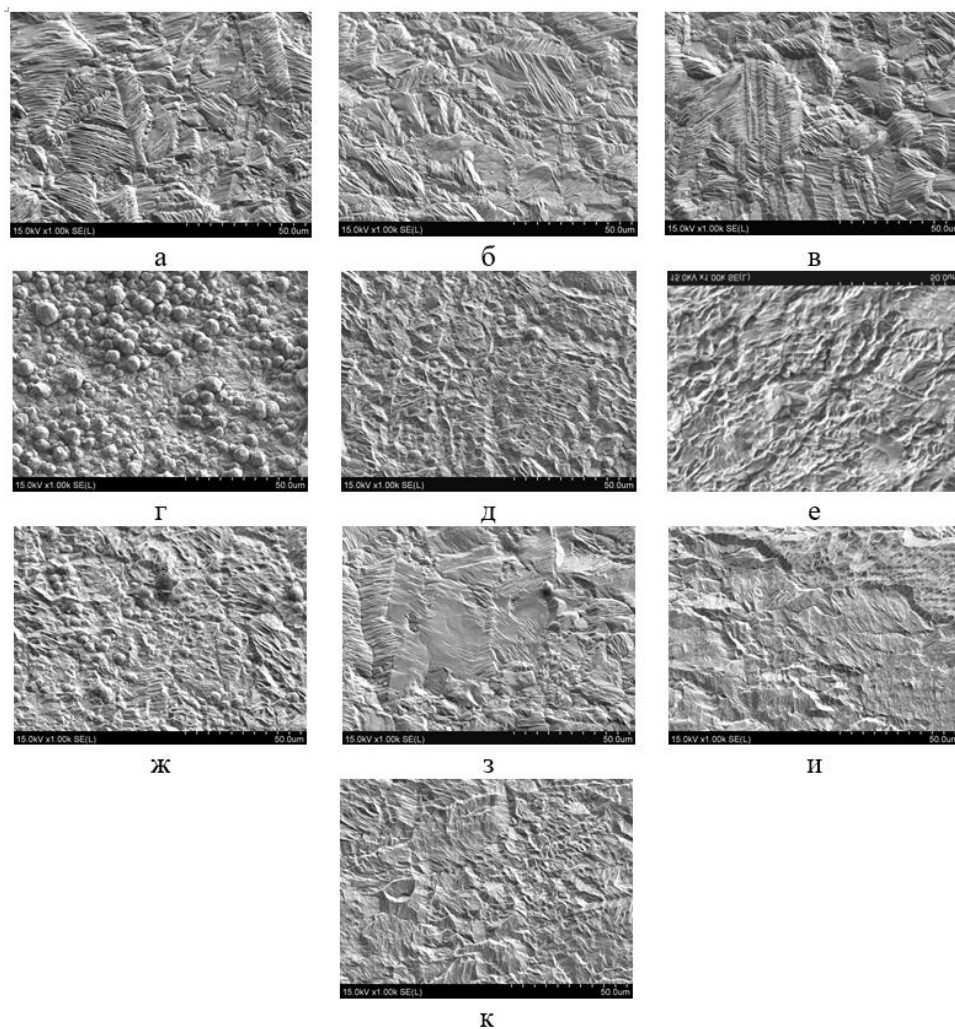
Ультразвук способствует снижению величины R_k (рисунок 7). Аналогичное воздействие оказывает и реверсированный ток, очевидно, за счет уменьшения содержания примесей и сглаживания поверхности. Введение в электролит смачивающих и выравнивающих добавок несколько повышает величину контактного электросопротивления вследствие их адсорбции поверхностью.



Плотность тока: 1 – 2 А/дм^2 ; 2 – 4 А/дм^2
 Рисунок 7 – Зависимость контактного электросопротивления R_k от интенсивности ультразвука i .

Микротвердость покрытий зависит от структуры и содержания примесей. Установлено, что, изменяя частоту, соотношение длительностей прямого и обратного импульсов, можно изменять микротвердость медных осадков от 600 до 1100 МПа (при средней плотности тока 2 А/дм^2), при воздействии ультразвука – до 1700 МПа, а в электролите с добавками – до 2000 МПа.

Четвёртая глава содержит результаты исследования структуры медных покрытий в условиях нестационарного электролиза. Как следует из полученных результатов, ультразвук способствует получению более сглаженных осадков и увеличению интервала рабочих плотностей тока – даже при 4 А/дм^2 (без перемешивания) в электролитах различного состава получена однородная сглаженная поверхность (рисунок 8), наблюдается увеличение выхода по току.



а-в – 2 А/дм^2 , г-к - 4 А/дм^2 ; б, д, з – с УЗК, $I = 0,95 \text{ Вт/см}^2$;
 в, е, и - с УЗК, $I = 0,12 \text{ Вт/см}^2$; к - с УЗК, $I = 0,58 \text{ Вт/см}^2$

Рисунок 8 – Влияние плотности тока и интенсивности ультразвука на микроструктуру медных осадков из электролита без добавок (а-е) и с добавками кристаллообразователя и осветлителя (ж-к)

На рисунке 9 представлены РЭМ-снимки поверхности медных покрытий, полученных в электролите с добавкой №3 на реверсированном токе. Как следует из полученных результатов, изменяя параметры реверсированного тока (плотности прямого и обратного тока, частота, соотношение длительностей прямого и обратного импульса), можно управлять размерами и формой кристаллитов, и шероховатостью поверхности. В целом, реверсированный ток уменьшает размер зерна с ростом частоты до 100 Гц (коэффициент заполнения 1,22) с увеличением кристаллитов при 1000 Гц.

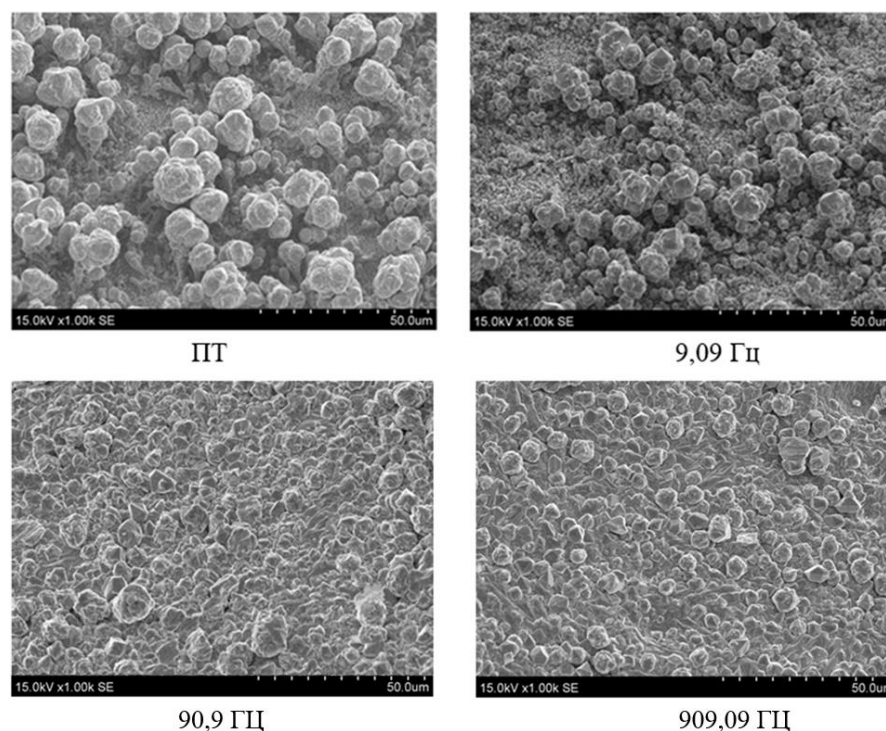


Рисунок 9 - Влияние частоты реверсированного тока на структуру покрытий, $i_{cp}=4 \text{ A/дм}^2$, $\tau_{пр}:\tau_{обр}=10:1$

В **пятой главе** предоставлены рекомендации по практическому применению разработанного способа металлизации печатных плат. Его суть заключается в том, что печатную плату помещают в ванну между двумя электродами, к которым относительно изделия прикладывают два различных по величине напряжения в прямом и обратном направлениях. Изделие совершает между электродами возвратно-поступательное перемещение, синхронно с которым изменяется полярность прикладываемых напряжений при прохождении изделием среднего положения. Большее по величине направление к удаляющемуся от изделия электроду. При подаче прямого напряжения между катодом (изделием) и анодом 1 (рис. 10. фаза 1) который удаляется, происходит процесс осаждения на катоде. Сближение анода и катода приводит к снижению равномерности покрытия по поверхности. Для того чтобы этого не было, одновременно с прямым

напряжением, между катодом и анодом 2 включается второе напряжение обратной полярности. Поэтому, когда между катодом и удаляющимся анодом 1 происходит процесс осаждения металла на одну поверхность катода, то между катодом и приближающимся анодом 2 происходит растворение металла.

Режим, соответствующий фазе 1, продолжается до тех пор, пока катод, достигнув крайнего правого положения, не начнет двигаться в обратном направлении и не пересечет линию, находящуюся на равном расстоянии между анодами (рисунок 10, фаза 2). В момент пересечения катодом этой линии меняется полярность на противоположную между катодом и анодом 1, катодом и анодом 2 (рисунок 10 фаза 3). Переключение полярности источников питания электродов в любой другой момент приводит к снижению положительного эффекта в равномерности покрытия. Далее процесс повторяется при движении катода в крайнее левое положение (рисунок 10, фаза 4).

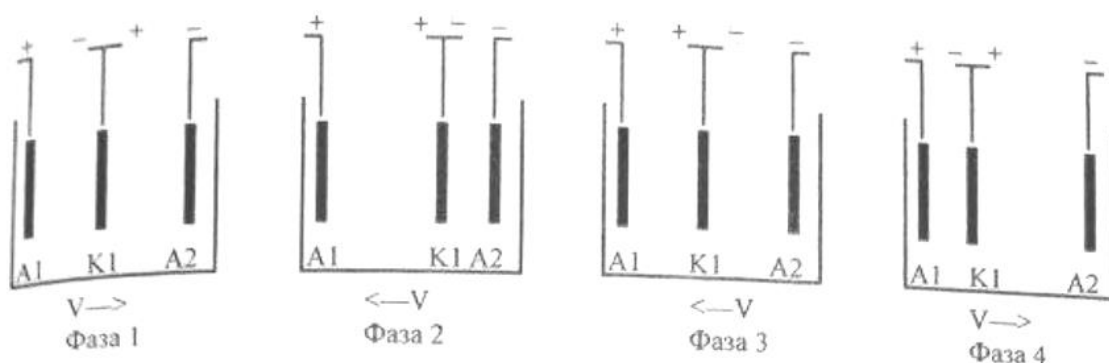


Рисунок 10 – Фазы перемещения ПП в электролите (Пат. РБ № 1336)

Структура покрытий, полученных в отверстиях ПП при различных режимах осаждения меди представлена на рисунке 11. Применение реверсного и импульсного токов средней плотности 3 А/дм^2 не дали положительных результатов в отношении равномерности покрытия.

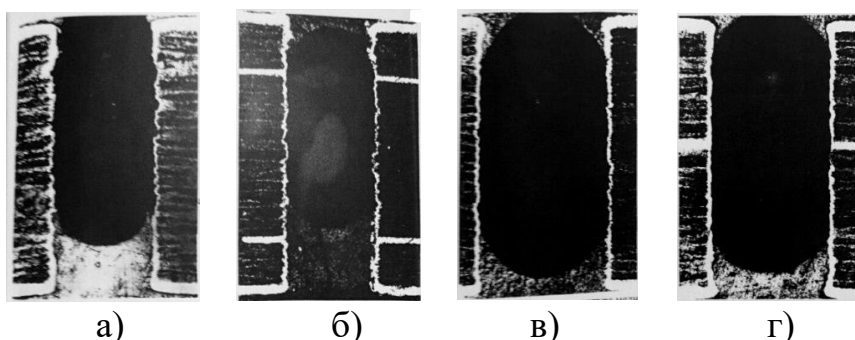


Рисунок 11 – Микроструктура медных покрытий в отверстиях ПП, осажденных: а) постоянным током в серийном производстве; б) импульсным током; в) реверсным током; г) по разработанному способу

Проведение дополнительных исследований позволило установить оптимальные моменты переключения источников тока на электродах (табл. 1), а также плотность тока растворения между сближающимися электродами (табл. 2).

Таблица 1 – Равномерность покрытий на ПП при изменении момента перекоммутации источников тока

Момент перекоммутации источников тока	$K_p = V_{min}/V_{cp}$	Примечание
T ₁	0,82 0,72	По поверхности изделия Внутри отверстия
T ₂	0,96 0,84	По поверхности изделия Внутри отверстия
T ₃	0,88 0,76	По поверхности изделия Внутри отверстия

Таблица 2 – Влияние плотности тока растворения на равномерность покрытий ПП

Плотность тока растворения, А/дм ² (плотность тока осаждения 3 А/дм ²)	$K_p = V_{min}/V_{cp}$	Примечание
0,3	0,84 0,73	По поверхности изделия Внутри отверстия
0,6	0,96 0,84	По поверхности изделия Внутри отверстия
1,2	0,90 0,80	По поверхности изделия Внутри отверстия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Установлены физико-химические закономерности формирования медных покрытий в условиях нестационарного электролиза и ультразвукового стимулирования. Исследовано влияние состава сульфатных электролитов меднения, блескообразующих и выравнивающих добавок, параметров постоянного и периодического тока, а также интенсивности низкочастотных

ультразвуковых колебаний на механизм и кинетические закономерности процесса, рассеивающую способность электролита меднения, структуру и свойства медных покрытий.

Исследование кинетики процесса меднения показало, что периодический ток не изменяет механизм разряда ионов меди. Вместе с тем абсолютные значения скоростей электродных реакций при импульсном электролизе выше, периодические токи снижают катодную поляризацию, увеличивают вдвое величину предельного тока и допустимую плотность тока, позволяют интенсифицировать процесс электроосаждения и повысить эксплуатационные свойства покрытий. Изменение механизма электрокристаллизации при нестационарном электролизе приводит к формированию плотных мелкокристаллических осадков с повышенной коррозионной стойкостью. Введение в сульфатный электролит меднения комплексной блескообразующей добавки приводит к повышению поляризации катодного процесса, причем перемешивание слабо влияет на перенапряжение выделения меди, что косвенно свидетельствует о выравнивающей способности электролита. Установлено влияние компонентов комплексной добавки на механизм процесса металлизации сложнопрофилированных изделий, например, печатных плат.

Установлено, что введение в состав электролита блескообразующих и выравнивающих добавок может как повышать, так и снижать рассеивающую способность, а реверсированный ток позволяет повысить РСт на 18-35%. Электролит с добавкой 1 обладает высокой рассеивающей способностью (58-70%) в диапазоне плотности тока 0,5-3 А/дм², а электроосаждение в оптимальных режимах реверсированного тока позволяет повысить ее до 80 %, что обеспечивает высокую равномерность распределения покрытия по поверхности сложнопрофилированных изделий. Электроосаждение в ультразвуковом поле повышает величину предельного тока и позволяет интенсифицировать процесс электролиза.

Электролит с добавкой позволяет получать качественные блестящие покрытия со сглаженной поверхностью. Изменение механизма электрокристаллизации при нестационарном электролизе приводит к формированию плотных мелкокристаллических осадков с повышенной коррозионной стойкостью. Установлены новые экспериментальные зависимости физико-механических свойств и качества полученных медьсодержащих покрытий от параметров нестационарного электролиза и ультразвукового поля. Показано, что, варьируя параметры периодического тока и ультразвука, можно управлять структурой и свойствами медных покрытий.

Практическое использование результатов

Разработан способ металлизации сложнопрофилированных изделий на реверсированном токе и при воздействии ультразвука, позволяющий повысить равномерность распределения покрытия по поверхности и обеспечить высокую коррозионную стойкость и пластичность покрытий.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Кузьмар, И.И., Влияние условий электроосаждения на формирование функциональных медьсодержащих покрытий / И.И. Кузьмар, Л.К. Кушнер, В.К. Василец, А.А. Хмыль, И.П. Белоцкий, Д.Ю. Гульпа // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 13 й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16-18 мая 2018 г.:/ «Беларуская навука». – Минск, 2018. – С. 309-312.

2-А. Кушнер, Л.К. Влияние ультразвука и периодического тока на процесс электроосаждения меди / Л.К. Кушнер, И.И. Кузьмар, А.А. Хмыль, Н.В. Дежкунов, И.И. Курило, И.П. Белоцкий // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 497–500. (№73).

3-А. Белоцкий, И.П. Влияние периодических токов на равномерность распределения медных электрохимических покрытий / И.П. Белоцкий, Д.Ю. Гульпа // Материалы докладов 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь, 2018. – С. 46-51.

4-А. Белоцкий И.П., Исследование влияния граничных условий на активность кавитации / И.П. Белоцкий, А.В. Ковальчук // Материалы докладов 11- ой Международной научно-технической конференции молодых учёных и студентов “Новые направления развития приборостроения”, – БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь, 2018. – С. 58-60.

5-А. Л.К. Кушнер, Л.И. Степанова. И.И. Кузьмар, А.А. Хмыль, С.К. Лазарук, А. Долбик, И.П. Белоцкий “Формирование металлических межсоединений методом химического и электрохимического осаждения” // Материалы докладов 1 международной научно-технической конференции “ОПТО-, МИКРО И СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА-2018”. – Государственное научно-производственное объединение “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника”, г. Минск, Республика Беларусь, 2018. – С 148-151.

РЭЗІЮМЕ

Бялоцкі Іван Паўлавіч

Металізацыя друкаваных плат пры камбінаваным уздзеянні імпульснага току і ультрагукавых ваганняў

Ключавыя словы: друкаваныя платы, фізіка-механічныя ўласцівасці, структура, кінетыка працэсаў, імпульсна-рэверсированны ток, электрохимическое меднение, ультразвук, нестационарный электролиз.

Мэта працы: ўсталяванне заканамернасцяў электрахімічнага асаджэння медзезмяшчальных пакрыццяў ва ўмовах стацыянарнага і нестацыянарнага электролізу і пры ўздзеянні ультрагуку, распрацоўка спосабу металізацыі сложнопрофилированных вырабаў на рэвэрсіраванам токе.

Атрыманая вынікі і іх навізна: выканана даследаванне заканамернасцяў электрахімічнага меднення ва ўмовах нестацыянарнага рэжыму электролізу і пры ўздзеянні ультрагуку. Распрацаваны праграма для разліку кінэтычных заканамернасцяў электрахімічных працэсаў. Дадзены рэкамендацыі па практычным прымяненні распрацаванага працэсу металізацыі друкаваных плат.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры электроннай тэхнікі і тэхналогіі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі".

Вобласць ужывання: гальванічныя пакрыцця друкаваных плат.

РЕЗЮМЕ

Белоцкий Иван Павлович

Металлизация печатных плат при комбинированном воздействии импульсного тока и ультразвуковых колебаний

Ключевые слова: печатные платы, физико-механические свойства, структура, кинетика процессов, импульсно-реверсированный ток, электрохимическое меднение, ультразвук, нестационарный электролиз.

Цель работы: установление закономерностей электрохимического осаждения медьсодержащих покрытий в условиях стационарного и нестационарного электролиза и при воздействии ультразвука, разработка способа металлизации сложнопрофилированных изделий на реверсированном токе.

Полученные результаты и их новизна: выполнено исследование закономерностей электрохимического меднения в условиях нестационарного режима электролиза и при воздействии ультразвука. Разработаны программа для расчёта кинетических закономерностей электрохимических процессов. Даны рекомендации по практическому применению разработанного процесса металлизации печатных плат.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре электронной техники и технологии “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”.

Область применения: гальванические покрытия печатных плат.

SUMMARY

Bialotski Ivan Paulavich

Metallization of printed circuit boards with the combined effects of pulsed current and ultrasonic oscillation

Keywords: printed circuit boards, physical and mechanical properties, structure, kinetics of processes, pulsed-reversed current, electrochemical copper plating, ultrasound, non-stationary electrolysis.

The object of study: the establishment of patterns of electrochemical deposition of copper-containing coatings in the conditions of stationary and non-stationary electrolysis and under the influence of ultrasound, the development of a method for the metallization of complexly shaped products on a reversed current.

The results and novelty: is conducted the study of the patterns of electrochemical copper plating under the conditions of the non-stationary electrolysis mode and under the influence of ultrasound. Has been developed a program for calculating the kinetic regularities of electrochemical processes. Were given the recommendations on the practical application of the developed process of metallization of printed circuit boards.

Degree of use: The results were introduced into the educational process at the Department of Electronic Engineering and Technology “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”.

Sphere of application: galvanic coatings for printed circuit boards.