

Согласно данным, полученным при исследовании теплового расширения термообработанных стекол было выявлено, что с увеличением температуры до 690 °С значения их ТКЛР не претерпевали существенных изменений. В то время как значения ТКЛР термообработанных стекол при 720 °С резко снизились и составили  $(-0,14 - (-3,27)) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  в сравнении с исходными стеклами. Подобное снижение ТКЛР вызвано зарождением и ростом кристаллических фаз, которые согласно данным РФА представлены твердыми растворами  $\beta$ -кварца, эвкрипитом и  $\beta$ -сподуменом.

Таким образом, в результате проведенных исследований в системе  $\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  были получены термостойкие ситаллы, характеризующиеся низким температурным коэффициентом линейного расширения, что обеспечивается наличием таких кристаллических фаз, как твердые растворы  $\beta$ -кварца, эвкрипит и  $\beta$ -сподумен. Однако в предкристаллизационный период происходит появление интенсивной темно-фиолетовой окраски стекла, которая связана с переходом титана из степени окисления  $\text{Ti}^{+4}$  в  $\text{Ti}^{+3}$ , в итоге прозрачность материала существенно снижается. В этой связи, для устранения нежелательного окрашивания при кристаллизации стекол следует вводить окислители с целью предотвращения восстановления титана, либо снижать его содержание в стеклах, вплоть до полного исключения.

УДК 544.654.2

#### **Использование нестационарных токовых нагрузок для электрохимического меднения печатных плат**

Студент II курса 1 гр. ф-та ИДиП Харитонов Д.С.

Научный руководитель – Курило И.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В производстве изделий машиностроения, приборостроения, средств компьютерной техники, бытовой теле- и радиоаппаратуры широко используются печатные платы, обеспечивающие автоматизацию монтажно-сборочных работ, снижение габаритных размеров аппаратуры, металлоемкости, повышение ряда конструктивных и эксплуатационных качеств изделий. Требования, предъявляемые к миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры, повышению быстродействия схем, увеличению удельных тепловых нагрузок способствуют росту производства двусторонних и многослойных печатных плат.

Одним из способов повышения надежности и долговечности работы приборов является создание качественного электропроводящего соединения между проводниками на печатных платах, которое осуществляется за счет нанесения медного покрытия. Основными направлениями совершенствования технологического процесса электролитического меднения печатных плат в настоящее время, наряду с оптимизацией состава электролита, является применение нестационарных токовых режимов.

Целью работы было исследование влияния нестационарных режимов электролиза на распределение электрохимически нанесенного медного покрытия по высоте отверстия многослойных печатных плат.

В качестве исходных использовали промышленные образцы многослойных печатных плат, предварительно прошедшие все стадии обработки до электролитического меднения. Электролиз проводили с использованием импульсно-реверсивного тока промышленной частоты без анодного импульса (режим I) и с величиной амплитуды анодного импульса, составляющей 50% от амплитуды катодного (режим II). Длительность катодного импульса составляла  $5/6$  периода, анодного –  $1/9$

периода. Средняя катодная плотность тока составляла 70,7%, а средняя анодная – 25% от амплитуды катодного импульса. Состав электролита, г/л:  $\text{CuSO}_4$  100–120;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  160–180;  $\text{NaCl}$  0,02–0,04; ЛТИ 0,08–0,10; ОС-20 0,8–1,5. Аноды – медные пластины марки АМФ.

Проведенные исследования показали, что в отсутствие перемешивания при электролитическом меднении в режиме I при плотностях тока  $1,0 \text{ А/дм}^2$  наблюдается равномерное распределение меди по высоте отверстий, расположенных как в центр, так и по краям платы. При этом образуются мелкокристаллические гладкие полублестящие осадки.

При повышении плотности тока до  $2,5 \text{ А/дм}^2$  наблюдается ухудшение качества образующихся осадков, а также увеличение на 10–25% толщины осажденного слоя меди в центре отверстия и его уменьшение (до 20%) на краях. Причем неравномерность распределения меди с увеличением плотности тока для отверстий, расположенных в центре платы, выражена более резко. Данные закономерности можно объяснить существенным градиентом концентраций у поверхности платы и в отверстиях. Вероятно, утолщение слоя меди в центре отверстия обусловлено образованием рыхлого осадка.

В случае использования для электролитического меднения режима II при плотностях тока  $1,5\text{--}2,0 \text{ А/дм}^2$  существенно улучшается равномерность распределения меди по высоте отверстия многослойных печатных плат (отклонение не превышает 10–15%), а также качество образующихся осадков. При увеличении токовой нагрузки повторяются те же закономерности, что и в случае отсутствия анодной составляющей.

При осаждении меди при перемешивании электролита равномерное распределение меди на поверхности и в отверстиях наблюдается в более широкой области тока (до  $3,5\text{--}4,0 \text{ А/дм}^2$ ). При электролитическом меднении в режиме I при плотностях тока  $3,5 \text{ А/дм}^2$  для центра платы равномерность распределения меди в отверстиях выше, чем для края. Однако, при плотностях тока более  $4,0 \text{ А/дм}^2$  наблюдается вогнутый профиль отверстия. Это, вероятно, можно объяснить различным изменением диффузионного перенапряжения на поверхности и в отверстиях платы.

При нанесении покрытия в режиме II при перемешивании электролита для отверстий, расположенных на периферии печатной платы наблюдается менее равномерное распределение меди как в центре, так и с края отверстия, чем для отверстий, расположенных в центре платы. При плотностях тока  $3,5\text{--}4,5 \text{ А/дм}^2$  на периферии платы отверстия имеют слегка вогнутый профиль. Это можно объяснить повышенной напряженностью электромагнитного поля как на краю платы в целом, так и на краю отверстия. Следует отметить, что при этом режиме для центра платы наблюдается равномерное распределение меди в отверстиях при всех исследуемых плотностях тока.

Как показали исследования, распределение меди на образцах, полученных в режиме II более равномерное, чем в режиме I. Это можно объяснить следующим образом. Как известно, в процессе электрокристаллизации металл выделяется, прежде всего, на активных центрах, определяемых микрогеометрией и кристаллографическими особенностями поверхности, а также наличием различного рода адсорбционных пленок. При протекании катодного импульса максимальная плотность тока существенно превышает среднюю катодную плотность тока. При этом осаждение металла происходит как на активных, так и на менее активных участках поверхности. Кроме того, возрастает скорость образования кристаллографических зародышей. При протекании анодного импульса на наиболее активных центрах поверхности образуется более прочная пленка оксида или гидроксида меди(I). Это приводит к выравниванию активности различных участков поверхности и образованию при последующей электрокристаллизации сплошных мелкокристаллических катодных осадков.

Образование более блестящих осадков в режиме II по сравнению с осадками, полученными в режиме I, как при перемешивании, так и без перемешивания электролита, также можно объяснить образованием пленок оксида меди(I) при протекании анодного тока. При первом катодном импульсе образуется слой меди, состоящий из кристаллов меди небольшого размера, ориентированных подложкой. Анодный импульс, как указывалось выше, создает на поверхности этого слоя тонкую прозрачную пленку  $\text{Cu}_2\text{O}$ . В последующие циклы осаждения ориентация кристаллов возобновляется каждый раз с учетом наличия оксидной пленки.

Наряду с пассивацией активных участков поверхности при протекании анодного тока возможно их частичное растворение, что также способствует выравниванию покрытия на поверхности и в отверстиях печатных плат.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование нестационарных токовых режимов с анодной составляющей при электрохимическом меднении печатных плат позволяет существенно интенсифицировать процесс и получать качественные покрытия, равномерно распределенные по высоте отверстий.

УДК 621.384.53

### **Регенерация отработанных промышленных масел**

Студент гр.14 Цейко В.В.

Научный руководитель – Лихачева А.В.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Отработанные масла являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды. Их количество, поступающее на почву и в водоемы, превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке. Отработанные масла только частично являются биологически разлагаемыми; их трансформация и миграция в природной среде может привести к целому ряду негативных последствий для экосистем. Например, при поступлении в водный объект отработанные масла снижают количество кислорода в воде, необходимого для нормальной жизнедеятельности флоры и фауны.

В отработанных маслах идентифицировано 38 химических соединений, которые обладают канцерогенным и мутагенным воздействием, в т.ч. бензопирен, полихлордифенилы, диоксины, фураны и другие вещества. Эти отходы – также один из основных загрязнителей почвенных вод. Степень воздействия отработанных смазочных масел можно оценить по следующему факту: всего 1 л отработанного масла способен загрязнить 7 млн. л почвенных вод.

Отработанные масла образуются во всех процессах, где они используются для смазки, охлаждения, изоляции, обработки, защиты от коррозии или для передачи мощности. В процессе эксплуатации масла соприкасаются с металлами, подвергаются воздействию воздуха, температуры и других факторов, под влиянием которых с течением времени происходит изменение свойств масла: разложение, окисление, полимеризация и конденсация, обугливание, разжижение горючим, обводнение и загрязнение посторонними веществами. Перечисленные факторы действуют в комплексе и взаимно усиливают друг друга, ухудшая качество масла в процессе его эксплуатации до такой степени, что требуется его замена. С каждой заменой увеличивается объем отработанного масла, которое необходимо хранить, транспортировать и утилизировать как отходы. На предприятиях, эксплуатирующих большой парк машинного оборудования, это становится существенным фактором производственных издержек.