

УДК 621.357.5 СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Анастасия Александровна Тюлькова

Студент 1 курса магистратуры

Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва

Ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: печатная плата (circuit board), подготовка поверхности (surface preparation), очистка (cleaning), шероховатость (roughness), смачиваемость (wettability)

Аннотация: В данной статье рассмотрены существующие способы подготовки поверхности печатных плат и отверстий в них под последующую металлизацию. Это актуально для повышения надежности создаваемого контакта между фольгированной поверхностью стеклотекстолита и формируемыми проводниками, а также между поверхностью отверстий и соединениями между уровнями металлизации, получаемыми на стенках этих отверстий. В статье рассмотрена апробация ряда составов для жидкостной подготовки поверхности и отверстий печатных плат и представлена оценка результатов проведенных экспериментов.

Подготовка печатных плат к металлизации является важным этапом в технологическом процессе изготовления плат, так как во многом определяет качество последующей металлизации, проявляемое в виде надежности последующего образования проводящих и переходных структур на исходной заготовке. Рассматриваемый этап технологического процесса проводится после изготовления переходных и функциональных отверстий на заготовке и относится как к обработке медной фольги на поверхности стеклотекстолита, так и к обработке отверстий.

При производстве печатных плат, при наличии в заготовке из стеклотекстолита отверстий, не разделяют процессы подготовки поверхности стеклотекстолита и подготовки отверстий, а после выбора метода обработки поверхности производят одновременную обработку всех поверхностей заготовки. Однако стоит отметить, что сущности процессов обработки медной фольги и поверхности отверстий различны. В ходе обработки фольги главным требованием является удаление заусенцев и острых краев, очистка от жировых и иных загрязнений, повышение шероховатости поверхности для увеличения ее площади и повышения адгезии последующей металлизации. В ходе обработки отверстий требуется удалить наволакивание смолы на металлизированных торцах, снизить шероховатость поверхности, удалить выступающие элементы стекловолокна.

Рассмотрим существующие методы подготовки поверхностей печатных плат и методы контроля качества подготовки.

Обратимся к ГОСТам РФ, регламентирующим технологические процессы изготовления печатных плат. ГОСТ 23770-79 «Платы печатные. Типовые технологические процессы химической и гальванической металлизации» определяет этап подготовки поверхности как первый этап в технологическом процессе химической и гальванической металлизации печатных плат. Подготовка поверхности заготовок печатных плат должна производиться в соответствии с ГОСТ 23663-79 и рекомендуемыми приложениями 2А и 2Б.

ГОСТ 23663-79 «Платы печатные. Механическая зачистка поверхности. Требования к типовому технологическому процессу» описывает следующие основные особенности проведения механической обработки печатных плат:

- Механическую зачистку печатных плат допускается производить на специальных зачистных станках;
- Для механической зачистки допускается применять специальные абразивные круги;
- В процессе механической зачистки съем фольги с поверхности заготовок не должен превышать 0,005 мкм;
- После механической зачистки на поверхности заготовок не должно быть незачищенных мест, следов маски и жира. Допускаются отдельные риски, царапины, не нарушающие целостность фольги;
- Параметр шероховатости Ra заготовок после механической зачистки должен быть от 2,5 до 0,2 мкм.

ГОСТ 23663-79 также регламентирует следующие методы контроля проведенной механической обработки:

- Проверку заготовок по внешнему виду до обработки и после обработки следует проводить визуальным осмотром заготовок. Допускается применять лупу 5 – 10^x или производить сличение с эталоном;
- Контроль величины съема фольги с поверхности заготовок проводить на этапе отработки технологического процесса путем отрыва фольги от заготовки и измерении ее толщины с помощью скобы;
- Контроль параметра шероховатости поверхности заготовки после зачистки проводить профилометром. В процессе работы контроль производить сличение с эталоном.

Таким образом, ГОСТ 23663-79 регламентирует требуемый результат проведения зачистки в виде величины толщины и шероховатости медной фольги после механической обработки.

Механическая подготовка поверхности не позволяет получить достаточно хорошее сцепление покрытий с поверхностью. По этим причинам механическая подготовка производится в ограниченных масштабах и повсеместно заменяется химическими способами обработки поверхности (травление) [1].

Обработка поверхности фольгированного диэлектрика перед химическим осаждением металлических покрытий включает ее очистку (обезжиривание) и подтравливание для снятия поверхностной оксидной пленки и создания морфологии поверхности, обеспечивающей большую площадь контакта осаждаемого металла с подложкой [2].

В приложениях 2А и 2Б ГОСТа 23770–79 (см. табл. 1 и 2) описаны процессы химической подготовки поверхности стеклотекстолита.

Таблица 1. Приложение 2А Подготовка поверхности при изготовлении печатных плат полуаддитивным способом

Последовательность операций и переходов	Компоненты		Режимы	
	Наименование	Содержание, г/л	Температура, °С	Время, мин
Подготовка поверхности адгезива				
Обезжиривание	Тринатрийфосфат	30	40 – 60	2 – 5
	Сода кальцинированная	30		
	Синтетическое моющее средство	5		
Промывка горячей проточной водой	–	–	45 – 55	2 – 3

Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Обработка для набухания	Диметилформамид	–	18 – 25	5 – 7
Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Травление	Ангидрид хромовый	800 – 810	50 – 60	3 – 10
	Кислота серная (пл. 1,84)	250 – 260		
	Вода дистиллированная	800		
Промывка горячей проточной водой	–	–	45 – 55	5 – 7
Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Нейтрализация	Состав 1:		18 – 25	1 – 2
	Натрий кислый сернокислый	10 – 15		
	Кислота серная (пл. 1,84)	15 – 20		
	Состав 2:		18 – 25	1 – 2
	Натрий гидроокись	30 – 60		
Вода дистиллированная	До 1 л			
Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Нейтрализация	Кислота соляная (пл. 1,19)	50	18 – 25	1 – 2
Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Промывка проточной деионизованной водой	–	–	18 – 25	1 – 2
Активация	Палладий двухлористый	0,5 – 0,8	18 – 25	4 – 5
	Кислота соляная	0,6 – 1,0		

Таблица 2. Приложение 2Б Подготовка поверхности при изготовлении печатных плат на материале типа СТПА – 5

Последовательность операций и переходов	Компоненты		Режимы	
	Наименование	Содержание, г/л	Температура, °С	Время, мин
Обезжиривание	Тринатрийфосфат	25 – 35	45 – 60	2
	Сода кальцинированная	25 – 35		
	Синтетическое моющее средство	3 – 5		
Промывка горячей проточной водой	–	–	50 – 60	1 – 2
Промывка холодной проточной водой	–	–	15 – 25	0,5 – 1,0
Активация химическая	Кислота серная (пл. 1,84)	50 – 100	18 – 25	0,2 – 0,3
Промывка холодной проточной водой	–	–	Не менее 15	0,5 – 1,0

Подтравливание	Аммоний надсернистый	200 – 250	18 – 25	0,5
	Кислота серная (пл. 1,84)	10 – 20		
Промывка холодной водой	–	–	15 – 25	2 – 3
Активация химическая	Кислота соляная (пл. 1,19)	50 – 100	18 – 25	0,03 – 0,05
Промывка холодной проточной водой	–	–	18 – 25	1 – 2
Сушка	–	–	30 – 40	1 – 3

В рассмотренных процессах фигурируют этапы обезжиривания и подтравливания. Рассмотрим их более подробно.

Назначение обезжиривания состоит в удалении с поверхности деталей органических жиров и минеральных масел, а также различных твердых загрязнений (мелкой металлической и минеральной пыли), удерживаемых на детали жировой (масляной) пленкой. Органические жиры попадают на детали от соприкосновения с человеческими руками [3]. Твердые загрязнения могут быть весьма разнообразными, но к ним в данном случае не относят окислы. Для обезжиривания используют щелочные растворы. Основным обезжиривающим компонентом в них является щелочь в виде гидроокиси и (или) солей щелочных металлов. Она омыляет находящиеся на поверхности растительные и животные жиры, способствует переводу минеральных масел в эмульсии [4]. Обезжиривание, удаление с деталей органических жиров и минеральных масел достигается благодаря наличию в обезжиривающем растворе специально добавляемых эмульгаторов – веществ, которые проникают между частицами загрязнений и металлом, отделяют их таким образом от поверхности детали и удерживают в виде устойчивой эмульсии – мелких капелек, не сливающихся в сплошной слой жира, который иначе мог бы снова прилипнуть к поверхности [3]. Надежное обезжиривание без эмульгаторов, даже при интенсивном газовойделении в электрохимическом процессе, практически невозможно. Ни едкие, ни углекислые щелочи эмульгирующими свойствами необладают, они создают только благоприятные условия для работы эмульгаторов.

Подтравливание медной фольги производится с целью удаления с поверхности оксидных пленок, препятствующих прочному сцеплению химически осаждаемой меди с фольгой, и придания поверхности специального микрорельефа [2].

Отметим, что ГОСТ 23770–79 не регламентирует требуемую величину шероховатости поверхности медной фольги после химической обработки, однако описывает следующие методы контроля поверхности:

- Степень обезжиривания поверхности заготовок определяют по смачиваемости. Заготовку выдерживают после промывки под водой под углом 60°. Если пленка воды сохраняется сплошной в течение 1 мин., подготовку считают удовлетворительной;
- Целостность фольги, механические включения, наличие окислов проверяют визуально.

ГОСТ 23770–79 также описывает методы подготовки отверстий печатных плат. В нем отмечается, что для повышения надежности межслойных соединений многослойных печатных плат перед операцией активации должна производиться гидроабразивная обработка поверхности стенок отверстий и подтравливание диэлектрика. Гидроабразивная обработка должна производиться в соответствии с ГОСТ 23664–79. ГОСТ 23664–79 «Платы печатные. Получение монтажных и подлежащих металлизации отверстий» описывает технологический процесс получения отверстий в печатных платах, регламентирует параметр шероховатости отверстий, получаемых сверлением, который не должен превышать 40 мкм. ГОСТ 23664–79 также описывает процесс гидроабразивной зачистки отверстий, включая материалы, режимы

проведения данного процесса. В этом стандарте отмечают, что контроль параметра шероховатости отверстия необходимо осуществлять по ГОСТ 23662–79.

ГОСТ 23662–79 «Платы печатные. Механическая обработка. Требования к типовым технологическим процессам» описывает следующую методику контроля отверстий:

- Контроль параметров шероховатости поверхности фиксирующих и технологических отверстий следует производить на этапе отработки процесса изготовления заготовок и аттестации применяемого технологического оснащения;
- Из указанных заготовок должен быть вырезан образец, который следует разрезать по диаметру отверстий. Контролируемую поверхность отверстия перед замером необходимо протереть спиртом для удаления пылевидной стружки;
- Контроль производить путем сличения с эталоном. Параметр шероховатости эталона определять при помощи профилометра – профилографа.

Вернемся к ГОСТ 23770–79. Помимо механической обработки отверстий, он также регламентирует его возможную химическую обработку в виде подтравливания диэлектрика. Цель подтравливания – сделать поверхность микропористой и хорошо смачиваемой водными растворами [2]. Подтравливание диэлектрика должно производиться в смеси серной и фтористоводородной кислот, взятых в соотношении $H_2SO_4:HF=5:1$. При приготовлении смеси кислот не допускается ее нагрев выше $60^\circ C$. Допускается подтравливание диэлектрика сначала в HF, затем в H_2SO_4 или же в одной серной кислоте.

После подтравливания стенок отверстий заготовок многослойных печатных плат должна проводиться промывка водой, обработка в щелочном растворе для нейтрализации и повторная промывка.

Значение глубины подтравливания диэлектрика в отверстиях заготовок многослойных печатных плат должна быть в пределах от 0 до 30 мкм.

Последовательность операций подготовки поверхности отверстий перед химическим меднением приведена в рекомендуемом приложении 2 (см. табл. 3).

Таблица 3. Подготовка поверхности монтажных отверстий многослойных печатных плат, изготавливаемых методом металлизации сквозных отверстий перед химическим меднением

Последовательность операций и переходов	Компоненты		Режимы	
	Наименование	Содержание, г/л	Температура, °C	Время, мин
Гидроабразивная подготовка отверстий	–	–	–	–
Подтравливание диэлектрика в отверстиях	Состав 1: Кислота серная (плотность 1,84)	–	35 – 40	1 – 1,5
Подтравливание диэлектрика в отверстиях	Состав 2: Кислота фтористоводородная	1 объем	18 – 25	0,7 – 0,8
	Кислота серная (пл. 1,84)	5 объем		
Промывка холодной водопроводной водой	–	–	–	–
Травление стеклоткани в отверстиях	Кислота фтористоводородная (30 – 40%)	–	18 – 25	0,2 – 0,4
Промывка проточной горячей водой	–	–	45 – 55	2 – 3
Сушка	–	–	35 – 40	10 – 20
Контроль	–	–	–	–
Ультразвуковая очистка отверстий	Дистиллированная или деионизованная	–	18 – 25	2 – 4

	вода			
Сушка	–	–	40 – 50	15 – 20
Контроль	–	–	–	–

В приведенном процессе серная кислота выступает в роли травителя эпоксидной смолы, образуя растворимые в воде соединения, а фтористоводородная кислота растворяет стекло.

Методы контроля обработки отверстий печатных плат, приведенные в ГОСТ 23770–79:

- После операции подтравливания у каждой платы просматривают по 10 – 15 отверстий;
- Значение глубины подтравливания в отверстиях многослойных печатных плат контролируют после операции гальванического меднения. Контроль производят по металлографическим шлифам отверстий, просверленных на технологическом поле платы.

Еще одним методом химической подготовки отверстий является перманганатная очистка (табл. 4). Как отмечается в [2], перманганатная очистка широко распространена, ее предлагают практически все фирмы, предлагающие оборудование струйной обработки. $KMnO_4$ окисляет органические вещества до CO_2 , H_2O и образует шлам в виде нерастворимого в воде CrO_3 , осаждающегося на стенках отверстий. Поэтому процесс очистки помимо этапов кондиционирования поверхности и травления эпоксидной смолы включает этап удаления CrO_3 путем его окисления до растворимого Cr^{3+} в растворе восстановления [4].

Таблица 4. Линия перманганатной очистки [2]

№	Операция	Материалы	Концентрация, г/л	Температура, °С	Время, мин
1	Кондиционирование	Металэтилкетон (или ацетон)	250 мл/л	18–25	5–10 (15–20)
		NaOH	18–20		
		Питьевая вода	До 1 л		
2	Промывка	Питьевая вода	–	50–60	5–6
3	Очистка	$KMnO_4$	40–50	70±2	15–25
		KOH	35–45		
		Питьевая вода	До 1 л		
4	Восстановление	$Na_2S_2O_3$	35	18–25	7–10
		H_2SO_4	15–20 мл/л		
		Питьевая вода	До 1 л		
5	Промывка	Питьевая вода	–	50–60	5–6

В лаборатории «Микротехнологии» кафедры МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана был проведен ряд экспериментов по сравнению влияния растворов подготовки печатных плат на поверхность фольгированного стеклотекстолита.

В ходе экспериментов оценивалось влияние как растворов очистки, так и растворов, применяемых для подготовки стенок отверстий под последующую металлизацию. Поскольку в ходе подготовки отверстий поверхность фольги не защищается, то правомерно проводить сравнение влияния обоих видов растворов на результат подготовки поверхности.

В качестве растворов обезжиривания и подготовки поверхности рассматривались составы, приведенные в таблице 5. Составы 1 и 2, рекомендованные соответственно в источниках 3, 6 и ГОСТ 23770-79 и были составлены из отдельных химических веществ. Состав 3 – раствор DS 270, является продуктом компании J-КЕМ, представляет собой низкоконцентрированный однокомпонентный очиститель/кондиционер с высокой кондиционирующей способностью для многослойных печатных плат с высоким отношением толщины платы к диаметру отверстия [5]. В таблице также приведены использованные режимы обработки.

Таблица 5. Обработка фольгированного стеклотекстолита в растворах обезжиривания поверхности

Номер раствора	Состав	Концентрация, г/л	Температура, °С	Время обработки, мин
1	с	30	25	5
	Сода кальцинированная	30		
	Синтетическое моющее средство	5		
2	Ацетон	250 мл/л	20	15
	КОН	20		
	Питьевая вода	1 л		
3	DS 270	–	30	10

Раствор DS 270 является щелочным раствором ($\text{pH} \approx 14$ – выявлено с помощью универсальной индикаторной бумаги), содержащим моющие вещества (при нагреве и перемешивании раствора на его поверхности образуется мыльная пена). Таким образом, по своим характеристикам аналогичен рекомендуемым составам 1 и 2, но более удобен для промышленного применения как готовый продукт.

В таблице 6 приведены последовательности обработки (№ 4–6) в ряде растворов, которые обычно применяются для обработки диэлектрика в отверстиях. В таблице также приведены использованные режимы обработки.

После обработки в каждом растворе происходила промывка в холодной проточной воде в течение 0,5–1,0 мин. После проведения обработки заготовок в соответствующих последовательностях растворов производилась их сушка фильтровальной бумагой.

Таблица 6. Обработка в растворах травления диэлектрика

Номер последовательности обработки	Номер состава	Состав	Концентрация, г/л	Температура, °С	Время обработки, мин	
4	1	Тринатрийфосфат	30	25	5	
		Сода кальцинированная	30			
		Синтетическое моющее средство	5			
	2	2	H_2SO_4 конц.	250	25	3
			CrO_3	800		
			H_2O	800		
		3	КОН	30	20	2
4	HCl конц.	50	20	2		
5	1	Тринатрийфосфат	30	25	5	
		Сода кальцинированная	30			
		Синтетическое моющее средство	5			
	2	H_2SO_4 конц.	50	20	0,2	
	3	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	200	30	0,5	
		H_2SO_4 конц.	10			
4	HCl конц.	50	20	2		
6	1	Ацетон	250 мл/л	20	15	
		КОН	20			
		Питьевая вода	1 л			
	2	KMnO_4	40	30	10	
		КОН	35			
		Питьевая вода	1 л			
	3	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10	20	2	
		H_2SO_4 конц.	250			

После проведения обработки заготовок производился контроль обработки. Поскольку контролируемыми параметрами поверхности медной фольги, согласно стандартам, являются шероховатость и качество очистки поверхности, определяемое в виде ее гидрофильности, то эти параметры были подвергнуты оценке.

Шероховатость поверхности заготовок была измерена с помощью профилометра. Значения шероховатости для различных методов обработки приведены в таблице 7.

Таблица 7. Шероховатость поверхности фольгированного стеклотекстолита после химической обработки

Номер последовательности обработки	Поверхность фольгированного стеклотекстолита без обработки	1	2	3	4	5	6
Шероховатость поверхности медной фольги, Ra, мкм	0,299	0,308	0,346	0,347	0,278	0,347	0,332

Как видно из таблицы, наиболее сильное влияние на шероховатость поверхности фольги оказала обработка в составах 3 и при последовательности обработки 5, возможно вызванное использованием сильного окисляющего реагента $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Использование вместе него рекомендованных в [2] менее агрессивных реагентов (например, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), вероятно приведет к меньшему значению шероховатости. Большие значения шероховатости поверхности, а соответственно и большая площадь поверхности, приведут к лучшей адгезии последующего слоя металлизации.

Качество очистки поверхности оценивалось путем измерения угла смачивания. Измерение проводилось согласно следующей методике, описанной в ГОСТ 7934.2–74. На поверхность заготовки помещалась капля дистиллированной воды, заготовка устанавливалась под оптическим микроскопом так, чтобы совместить основание капли с осью штриховой сетки угломерной головки микроскопа. Край капли подводился под скрещивание двух взаимно перпендикулярных осей микроскопа. Затем на угловой шкале микроскопа отмечалось начальное положение оси. С помощью винта поворота угловой шкалы поворачивались оси до тех пор пока вертикальная ось не занимала касательное положение к капле воды. Новое положение оси отмечалось на угловой шкале. За краевой угол смачивания поверхности заготовки принималась разность между двумя положениями угловой шкалы, выраженная в градусах. Результаты измерения угла смачивания поверхности заготовок фольгированного стеклотекстолита до и после обработки приведены в таблице 8.

Таблица 8. Значения краевого угла смачивания поверхности фольгированного стеклотекстолита после химической обработки

Номер последовательности обработки	Поверхность фольгированного стеклотекстолита без обработки	1	2	3	4	5	6
Угол смачивания поверхности медной фольги, град.	74	34	47	34	46	33	69

Как видно из таблицы, после обработки значения угла смачивания значительно уменьшились. Согласно [6], на величину угла смачивания влияют качество очистки поверхности и ее шероховатость. Но значения шероховатости поверхности образцов мало отличаются между собой, следовательно, наибольшее влияние оказало качество очистки, которое оказалось наилучшим при методах 1, 3 и 5.

Наилучшие показатели (наибольшая шероховатость и наименьший угол смачивания) показали заготовки, полученные после обработки методами 3 и 5, то есть в растворе DS 270 и при подтравливании в нескольких растворах.

Изучение влияния составов на качество обработки отверстий является предметом дальнейших исследований, необходимых для определения наилучшего состава для обработки поверхности и отверстий, что в особенности важно при производстве многослойных печатных плат.

Литература

1. *Ильин В. А.* Металлизация диэлектриков – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1977 – 80 с.
2. *Капица М.* Подготовка поверхностей в производстве печатных плат – Технологии в электронной промышленности, №4 2005
3. *Лобанов С. А.* Практические советы гальванику – Л.,: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 248 с.
4. Мелашенко Н.Ф. Гальванические покрытия диэлектриков: Справочник – Мн.: Беларусь, 1987. – 176 с.
5. [Электронный ресурс] URL: http://www.ostec-st.ru/shared/attachments/articles_groups/4/Ostec_boards_new.indd.pdf (Дата обращения: 18.03.2016)
6. Сумм Б. Д. Гистерезис смачивания – Соровский образовательный журнал, №7, 1999