

Фотолитография и травление в технологиях высокоплотных печатных плат

УДК 621.3.049.75 | ВАК 05.27.06

Ю. Боброва¹, М. Андроник², В. Орлов³

В статье приводится методика, позволяющая от общего руководства по выбору конструкционных материалов и фоторезистов для изготовления печатных плат 5 класса точности и выше (ГОСТ Р 53429-2009) перейти к более конкретным рекомендациям по определению типа применяемого фоторезиста и его толщины для получения фотополимерной защитной маски при формировании субтрактивным методом токопроводящих структур шириной от 75 до 25 мкм. С целью минимизации бокового подтравла подобного рода структур рекомендуется применение струйного метода травления кислотными растворами, отличающимися низкой емкостью по меди.

ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Распространенная в отечественном производстве технология одновременного прессования пакета многослойной печатной платы (МПП), включающая в себя как прессование внутренних слоев с металлизированными переходными отверстиями, так и слоев без отверстий, впоследствии объединяемых в единую электрическую цепь методом сквозной металлизации (рис. 1а), позволяет получать МПП 5 класса точности или 5-го класса с элементами 6-го. Последнее чаще всего обозначает наличие на внутренних слоях проводников, для которых отношение проводник/зазор составляет 75/75 мкм. Но выполнить данным методом многослойную плату, полностью соответствующую 6 классу точности, на практике маловероятно, поскольку две весомые причины – рассовмещение топологии внутренних слоев и неравномерность толщины диэлектрического слоя по площади групповой заготовки – не позволяют обеспечить соответствие требованиям к таким платам.

Технология послойного прессования (рис. 1б), основанная на работе со ставшими традиционными для отрасли диэлектриками из армированного эпоксидного связующего, позволяет реализовывать МПП 6 класса точности. Это становится возможным, поскольку топология каждого последующего слоя формируется по реперным знакам предыдущего, что минимизирует их рассовмещение [1, 2].

Для высокоплотных печатных плат свойственно предъявлять повышенные требования к равномерности толщины диэлектрических слоев, потому что от этого, помимо функциональных свойств будущего печатного узла, зависит получение глухих отверстий в пределах допуска по оси Z. При работе с диэлектриками из армированного эпоксидного связующего выдерживать требуемую толщину диэлектрического слоя после прессования, равно как и выдерживать итоговую толщину многослойной платы в пределах допуска – сложная и дорогостоящая задача, требующая набора пресс-форм для плат различной толщины и слойности.

В развитие технологии послойного прессования появился метод послойного наращивания (рис. 1в), основанный на применении неармированных диэлектриков [2]. Для электронных узлов, работающих на относительно невысоких частотах, в качестве конструкционного материала применяется медная фольга, покрытая неполимеризованной эпоксидной смолой (англ. RCC – Resin Coated Copper); примером такого материала может служить пленка ABF – Ajinomoto Build-up Film [3]. Для высокочастотных применений появился новый термопластичный жидкокристаллический полимер (англ. LCP – Liquid Crystal Polymer) в виде пленки с химически нанесенным слоем меди [4, 5]. Технология послойного наращивания, основанная на применении неармированных материалов, позволяет получать не только платы 7 класса точности, но и по всем характеристикам выходить за его пределы в сторону более высокой плотности токопроводящего рисунка и межслойных связей.

Все рассмотренные выше методы изготовления МПП содержат такие технологические этапы, как формирование фотополимерной маски и травление токопроводящих

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана, старший преподаватель, ju.s.bobrova@bmstu.ru.

² НОЦ «ФМНО» МГТУ им. Н. Э. Баумана, ведущий инженер, m_andronic@mail.ru.

³ МГТУ им. Н. Э. Баумана, студент.

структур. Оба эти этапа оказывают непосредственное влияние на точность соответствия полученных размеров элементов проводящего рисунка их номинальным значениям.

Целью данной статьи является описание новой методики, позволяющей на основе требований к наименьшим номинальным значениям проводников и зазоров между ними для плат 5 класса точности и выше определять тип и толщину фоторезистивных материалов, обеспечивающих высокий выход годных при изготовлении высокоплотных печатных плат.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПЛОТНОГО ТОКОПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА Конструкционные материалы

Получение токопроводящих структур с шириной проводников и расстояниями между ними в 25–75 мкм субтрактивным способом (тентинг-методом) во многом зависит от первоначальной толщины токопроводящего покрытия диэлектрика [6]. В настоящее время при использовании фольгированных материалов или технологии, предполагающей припрессовывание фольги, основной выбор осуществляется между толщиной фольги в 6, 9 или 12 мкм.

Поскольку при травлении процесс растворения металла идет по границам зерен, важно, чтобы ориентация зерен была направлена вертикально, как в случае с электролитической фольгой, а не горизонтально, как в случае с катаной. Это обеспечит более ровные, менее шероховатые боковые грани проводников. К тому же тонкомерная фольга в силу ограничений, накладываемых технологическими особенностями процесса прокатки, на данный момент может быть получена только электролитическим способом. Таким образом, согласно стандарту IPC-4562 это может быть фольга марки 2, 3 и 4, то есть высокопластичная электролитическая (HD, тип E), электролитическая с повышенной пластичностью при высокой температуре (HTE, тип E) и отожженная электролитическая (ANN, тип E).

При работе с диэлектрическими материалами, токопроводящий слой на которых получен методом химической металлизации, толщина меди может достигать 2–3 мкм.

В случае создания токопроводящего слоя напылением приходится работать с диэлектрическими материалами, на которых сначала сформирован резистивный слой (Cr или NiCr), а поверх него нанесена медь, например, методом магнетронного распыления. При этом

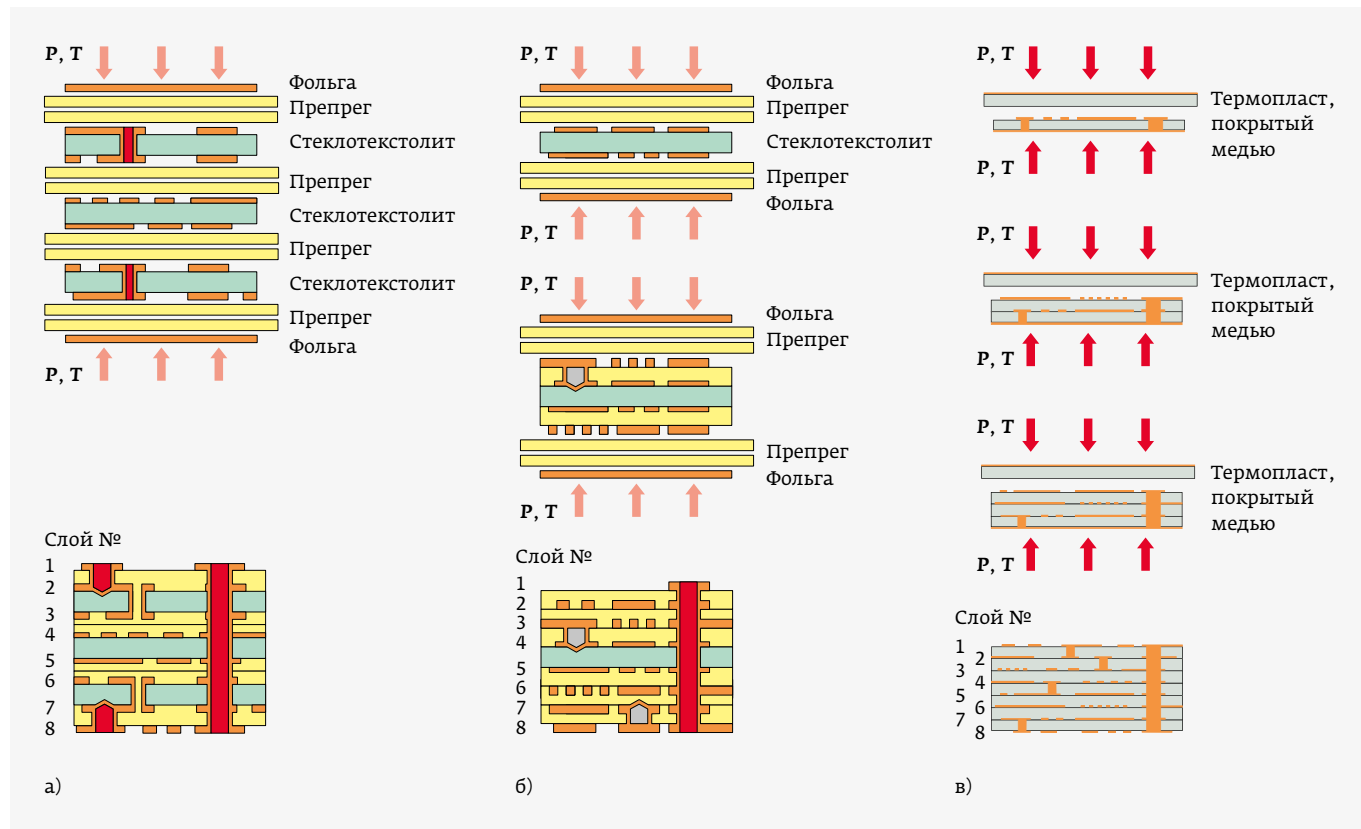


Рис. 1. Основные этапы технологий изготовления и схемы конструкций высокоплотных МПП: а – метод одновременного прессования; б – метод послойного прессования; в – метод послойного наращивания

толщина подслоя составляет десятки нанометров, а толщина напыленной пленки меди должна составлять не менее 1,5–2 мкм для осуществления последующих операций, включая электролитическое осаждение меди, при котором основным требованием является сохранение целостности токопроводящего покрытия при подведении тока к металлизированной заготовке. Травление токопроводящих структур в данном случае предполагает последовательное использование двух растворов травления: раствор травления меди и раствор травления хрома (сплавов хрома).

Фотолитография

В формировании проводников плат выше 5 класса точности важную роль играет разрешающая способность фоторезиста, применяемого для получения защитной маски токопроводящих структур в процессе травления. Основной сложностью фотолитографии является обеспечение вертикальности стенки профиля рельефа маски и соответствие его размеров и геометрических характеристик требуемым (рис. 2).

На разрешающую способность процесса фотолитографии (предельное число линий, воспроизводимых на 1 мм длины изображения) влияют:

- характеристики фоторезиста (состав, толщина, срок годности и т. д.);
- метод и технологические параметры процесса экспонирования;
- технологические параметры процесса проявления скрытого изображения;
- качество подготовки медной поверхности и многое другое.

Последний из факторов заслуживает более пристального рассмотрения, поскольку его влияние на разрешающую способность процесса фотолитографии в производстве печатных плат описано только с точки зрения усиления адгезии фотополлимерной маски к медной поверхности [7]. Этот аспект регламентируется общими техническими требованиями к производству печатных плат (ГОСТ Р 53432-2009), согласно которым перед нанесением фоторезиста медной поверхности необходимо придать шероховатость R_z величиной от 1,25 до 2,5 мкм. При работе с тонкомерной электролитической фольгой повышение адгезии фоторезиста с ней следует создавать за счет шероховатости в 0,6–1 мкм [2], увеличивая суммарную площадь поверхности в несколько раз путем равномерного травления областей вокруг зерен меди при ее

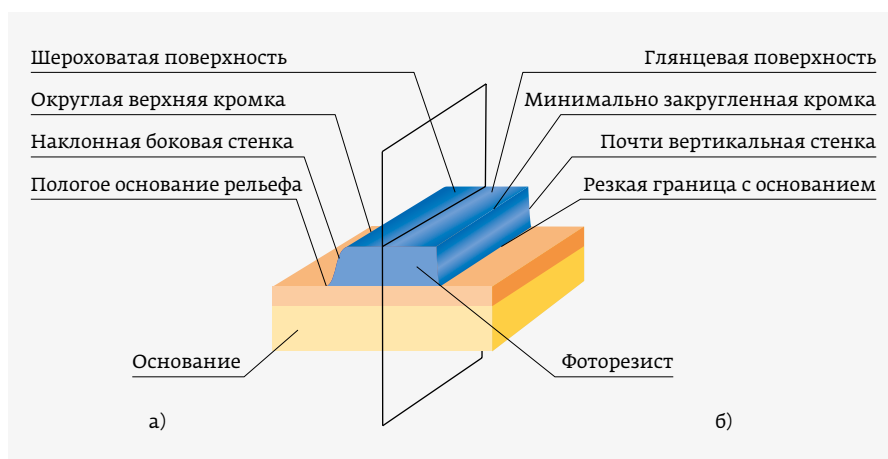


Рис. 2. Характеристики профиля в пленочном фоторезисте: а – реальные; б – требуемые

обработке в одном из растворов на основе муравьиной кислоты [7]. Таким образом обеспечивается сцепление фотополлимерной маски с минимальными элементами в несколько десятков микрон с медной поверхностью, достаточное для проведения операции струйного травления.

Также необходимо, чтобы при изготовлении высокоплотного проводящего рисунка тентинг-методом рельеф фотополлимерной маски имел четкую границу прилегания к медной поверхности и соответствовал номинальным размерам элементов в пределах установленного допуска.

Однако есть еще одна проблема, для решения которой шероховатость медной поверхности имеет существенное значение. Дело в том, что в установках экспонирования, использующих неколлимированные источники излучения, свет через прозрачные области фотошаблона падает под углами, отличными от 90°. Отраженный от гладкой поверхности меди свет может попадать в области, закрытые непрозрачной частью фотошаблона, вызывая частичную или полную полимеризацию фоторезиста у поверхности заготовки, что приводит к искажениям топологического рисунка. На шероховатой же поверхности происходит активное поглощение и диффузное рассеяние падающего излучения, что сводит к минимуму количество света, попадающего в теневую область у поверхности заготовки (рис. 3).

В статье [8] приводится исследование поглощения /отражения света шероховатыми металлическими поверхностями. Варьируя высоту микронеровностей и длину волны падающего на них излучения, можно построить модели поверхностей, близкие к медным поверхностям, получаемым в результате операций микротравления. Анализ полученных в источнике соотношений подтвердил, что процент поглощенного света существенно возрастает

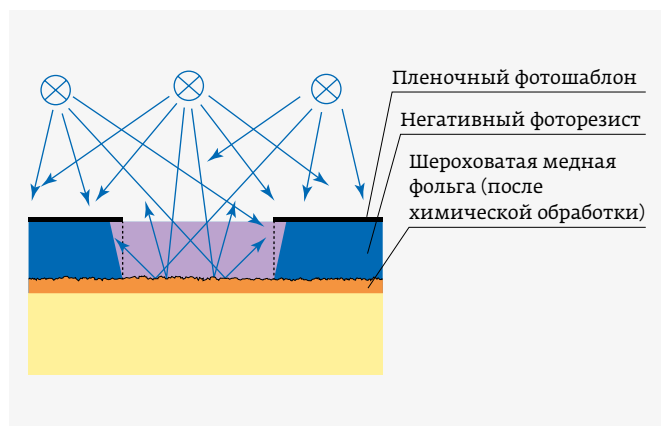


Рис. 3. Экспонирование фоторезиста на шероховатой поверхности. Влияние диффузного рассеяния излучения на форму профиля скрытого изображения

с увеличением глубины микронеровностей даже при больших углах падения; соответственно, доля отраженного света уменьшается.

Таким образом, повышать шероховатость медной поверхности следует не только для увеличения адгезии фоторезиста к ней, но и для уменьшения краевых эффектов, возникающих вследствие отражения излучения от гладкой поверхности заготовки. При одинаковых

технологических параметрах процесса фотолитографии рельеф фотополимерной маски на поверхности с шероховатостью, соизмеримой с длиной волны экспонирования, обладает более вертикальными боковыми гранями и резкой границей с медной фольгой, что является необходимым условием получения проводящих структур с шириной проводников / зазоров 75 мкм и менее.

С целью получения фотополимерной маски для травления проводников внутренних слоев МПП 6, 7 классов точности следует применять сухие пленочные фоторезисты (СПФ), специально разработанные для этих целей. Их отличает высокая разрешающая способность, малая толщина и стойкость в кислых растворах травления. В табл. 1 приведены основные марки доступных на рынке фоторезистов, обладающих этими свойствами.

В случаях, когда необходимо формировать ультратонкие токопроводящие структуры 7 класса точности и выше (что встречается в ОКР российских разработчиков), следует применять жидкие фоторезисты (табл. 2). Жидкие отечественные фоторезисты отличает кинематическая вязкость в пределах 35 сСт*, что позволяет наносить их методом аэрозольного распыления [10]. Более вязкий фоторезист ELPIMER SD2054 рекомендуется наносить через сетку.

* 1 сантистокс [сСт] = 0,000001 м²/с.

Таблица 1. Тонкие сухие пленочные фоторезисты водощелочного проявления

Производитель (страна происхождения)	Марка	Толщина, мкм	Минимальная ширина элемента, мкм	Способ экспонирования
Elga Europe (Италия)	Ordyl Alpha 820	20	20	LDI ¹ , стандартные УФ-лампы
	Ordyl Alpha 920			
	Ordyl Alpha 920NDI			
	Ordyl AM 120ND			
DuPont (США)	Riston Special FX 515	15	25–30	Стандартные УФ-лампы
	Riston 9008	20	75	
	Riston Special FX 920	20	10–15	
Eternal Chemical Co., Ltd. (Тайвань)	E8013 (серия 8000)	33 (38, 49)	30	
KOLON Industries, Inc. (Корея)	FW 2412	12	10	Стандартные УФ-лампы
	FW 2415	15	12	
	LDI 7030/LDH 7030	29	20–25	LDI
МПФ-ВЩ ² по ТУ 6-43-1568-93 (Россия)	МПФ-ВЩ-20-1	20	Нет данных	Стандартные УФ-лампы
	МПФ-ВЩ-25	25	110 ± 10	

¹ LDI – Laser Direct Imaging – прямое лазерное формирование изображений [9].

² Отечественный СПФ для плат 5 класса точности.

Таблица 2. Жидкие фоторезисты для формирования ультратонких структур на внутренних слоях без отверстий

Производитель (страна происхождения)	Марка	Толщина, мкм	Минимальная ширина элемента, мкм	Тон фоторезиста	Проявление	Примечание
Lackwerke Peters GmbH & Co. KG (Германия)	ELPEMER SD2054	10–12	50	Негативный	1%-ный водный раствор Na ₂ CO ₃	Неустойчив в щелочных растворах травления с pH ≥ 9
ЗАО «Фраст-М» (Россия)	ФП-27-18БС	2,0–3,4	3	Позитивный	1%-ный водный раствор КОН	Неустойчив в щелочных растворах травления
ЗАО «Фраст-М» (Россия)	ФН-11С-ФД	3,5–5,0	8	Негативный	Специальный раствор УНФ-01	Устойчив в кислых и щелочных растворах травления

Поскольку речь идет о способах устойчивого получения фотополимерной маски с минимальными элементами в несколько единиц и десятков микрометров, то процесс сушки рекомендуется выстроить по всем правилам работы с жидкими фотополимерами. Это означает, что сушить фоторезистивную пленку следует не в печи конвекционного типа, а на термостолу, нагревая заготовку так, чтобы растворитель поднимался от заготовки к поверхности фоторезиста. Поэтому на участке нанесения жидких фоторезистов должна быть организована зона для их сушки, оснащенная оборудованием, специально предназначенным для этой операции.

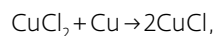
Травление

К настоящему времени наиболее полное описание технологии формирования токопроводящего рисунка плат 6 и 7 классов точности дал И. Л. Лейтес в статье [11]. В дополнение к приведенной в ней информации авторы данной статьи считают необходимым прояснить момент, связанный с фактором травления в кислых и щелочных растворах, поскольку в некоторых источниках можно встретить высказывания, противоречащие выводам Лейтеса на этот счет.

Фактор травления в кислых растворах выше, чем в щелочных [11]. При прочих равных боковой подтрав, влияющий на вертикальность боковых граней проводников, будет больше при травлении в щелочных растворах. Это связано главным образом с таким параметром, как емкость по меди раствора травления, и у щелочных растворов она существенно выше, чем у кислых (состав и свойства растворов травления приведены в табл. 3).

Существует ряд кислых медно-хлоридных растворов с очень низкой емкостью по меди, что дает им преимущество при травлении прецизионного рисунка. Низкие

значения емкости по меди обусловлены характером протекающей в них реакции травления



в ходе которой раствор быстро теряет способность реагировать с медью: CuCl не участвует в процессе травления, и реакция прекращается, если к меди не поступает новый объем CuCl₂. При вертикальной подаче раствора реакция по большей части протекает на дне канала с минимальным его растравливанием вбок.

Понятно, что основные щелочные растворы обладают большей скоростью травления (табл. 3), а значит, обеспечивают более высокую производительность. Однако не стоит забывать, что при формировании проводников внутренних слоев высокоплотных плат толщина стравливаемой фольги в среднем в 1,5–3 раза меньше, чем у плат низких классов точности. Травление таких слоев в кислых растворах не окажет значительного влияния на общую продолжительность производственного процесса, в то время как быстрое травление в щелочном растворе наверняка приведет к высокому проценту брака в изготовленных платах.

Металлорезисты (Sn, Sn-Pb, Sn-Ni, Ni-Ag), применяемые в серийном производстве печатных плат аддитивным методом, не выдерживают воздействия растворов травления на основе солей соляной и серных кислот, так как предназначены для работы в щелочных растворах. Высокую устойчивость к кислым растворам показывают защитные маски из фоторезистов водощелочного проявления. Таким образом, при разработке технологического процесса производства плат выше 5-го класса точности для изготовления высокоплотных внутренних слоев рекомендуется выбирать тентинг-метод с травлением в медно-хлоридных растворах по фотополимерной маске.

Таблица 3. Растворы травления медных проводников печатных плат [11-16]

Тип произ-водства	Название	Базовый состав ¹ – г/л	Темпе-ратура рас-твора, °С	Скорость струйного трав-ления ² , мкм/мин	Емкость по меди, г/л	Класс точности ПП ГОСТ Р 53429-2009	Возможность регенерации	
Кислые растворы травления								
Лабораторное, мелкосерийное	Раствор хлорного железа (III)	FeCl ₃ ·6H ₂ O – 500 HCl – 50-70	35-50	35-50	75-105	1-3	Не регенерируется	
	Хромовокислый раствор	CrO ₃ – 40-60 H ₂ SO ₄ – 90 CuSO ₄ ·5H ₂ O – 125 Cr ₂ (SO ₄) ₃ – 30 KBr – 0,5	40-60	30-40	Нет информации	1-5	Электролитическое извлечение меди с последующей корректировкой состава раствора	
	Персульфатный раствор (раствор персульфата аммония или персульфата натрия)	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ – 250-280 H ₂ SO ₄ – 11-60 или Na ₂ S ₂ O ₈ – 250-280 H ₂ SO ₄ – 11-60	40-50	10-25	30-35	1-3	Химическая регенерация охлажденного раствора. Осадок CuSO ₄ ·(NH ₄) ₂ SO ₄ сливается, раствор корректируется	
	Раствор хлорида меди (II)	CuCl ₂ – 100-150 HCl – 145-150	45-55	15-20	10-20	1-7	Химическая регенерация с электролитическим извлечением меди	
	Медно-хлоридный раствор с перекисью водорода	CuCl ₂ – 80-120 HCl – 75-90 H ₂ O ₂ – 25-30	35-40	25-30	10-20	1-7		
	Хлоридно-пероксидный раствор	HCl (36%) – 85 H ₂ O ₂ (30%) – 70	35-40	25-35	100-130	1-5		
Серийное, массовое	Сульфатный пероксидный раствор	H ₂ SO ₄ – 340 H ₂ O ₂ (30%) – 80	35-40	25-35	40-50	1-6	При охлаждении раствора CuSO ₄ ·5H ₂ O выпадает в осадок. Электролитическое извлечение меди с последующей корректировкой состава раствора	
	Щелочные растворы травления							
	Хлоридный медно-аммиачный раствор	Cu(NH ₃) ₄ Cl ₂ – 80-100 NH ₄ Cl – 40-100 (NH ₄) ₂ CO ₃ – 20-30 NH ₃ ·H ₂ O – 5-20	35-50	20-25	60	1-5	Полная регенерация в замкнутом цикле	
		CuCl ₂ ·2H ₂ O – 60-70 NH ₄ Cl – 100-110 NH ₄ OH – 145-160	35-50	25-35	90-100	1-5		
	Сульфатный медно-аммиачный раствор	CuSO ₄ ·5H ₂ O – 170-190 (NH ₄) ₂ SO ₄ – 150-170 NH ₃ ·H ₂ O – 370-470	50-55	20-25	100	1-5		

1 Без добавок, стабилизирующих или ускоряющих процесс травления.

2 Травление свежим раствором при установившемся температурном режиме.

МЕТОДИКА ПОДБОРА ТОЛЩИН ФОЛЬГИ И ФОТОРЕЗИСТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПЛОТНОГО ТОКОПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА

Основные инструменты методики

Для обеспечения травления высокоплотного токопроводящего рисунка с параметрами 75/75 мкм и менее необходимо, помимо минимизации толщины меди, обеспечить минимальную толщину фотополимерной маски. Это позволит раствору своевременно удаляться из зоны струйного травления, не задерживаясь в микроканалах, образуемых проводниками с фоторезистивной маской на них [14]. Задача формулируется как определение оптимальной пары «толщина фольги и толщина фоторезиста» по критерию максимальной разрешающей способности процессов фотолитографии и травления.

Толщина фольги определяется совместно с конструктором-разработчиком платы, а определение толщины применяемого фоторезиста полностью возлагается на технолога-изготовителя. Для решения задачи предлагается нижеследующая методика, в основе которой лежит прогнозирование необходимой толщины фоторезиста в зависимости от ширины минимального токопроводящего элемента.

Методика основана на допущении, что разрешающая способность процесса фотолитографии совпадает с разрешением процесса травления, то есть размеры основания фотополимерной маски равны размерам токопроводящих элементов.

В качестве переменной, от которой зависит протекание исследуемого процесса, было введено аспектное отношение – отношение ширины канала a к его глубине $H = h_{Cu} + h_{Фр}$, где h_{Cu} и $h_{Фр}$ – толщина меди и толщина фоторезиста соответственно (рис. 4). В ходе экспериментов было установлено, что условием производительного, воспроизводимого травления в пределах допуска будет выступать выполнение неравенства (1):

$$2,5 < \frac{a}{H} < 3,5. \quad (1)$$

Предпосылками к появлению данного неравенства послужили анализ технической документации более 60 марок фоторезистов (данные о толщине и разрешении), представленных на отечественном рынке, и многолетний опыт работы с некоторыми из них в качестве

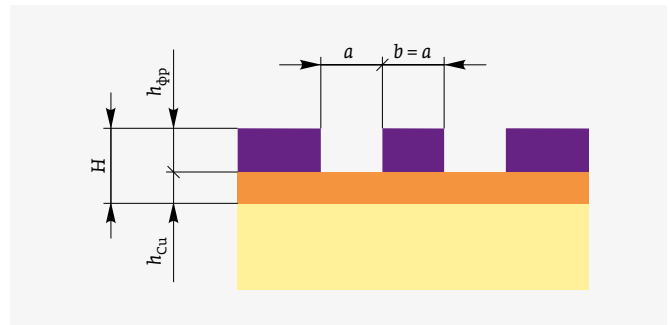


Рис. 4. Характеристики фоторезистивной маски и токопроводящего покрытия

фотополимерных масок при изготовлении двухсторонних плат тентинг-методом.

Эти данные в сочетании с информацией о том, что для производства многослойных печатных плат наиболее подходит фольга толщиной 3, 6, 9, 12, 18, 35 мкм, позволили построить два графика, показывающие аспектное отношение – один при применении жидкого фоторезиста, второй – пленочного. Ордината каждой точки графиков получена путем подбора h_{Cu} из стандартных значений, оптимальных для заданной величины зазора между проводниками (параметр a , ось абсцисс), и добавления к ней величины $h_{Фр}$, также выбранной из известных значений с таким расчетом, чтобы полученная величина a/H укладывалась в пределы неравенства (1).

Для удобства практического применения графики были объединены в особой точке $a = 65$ мкм (рис. 5). Эта точка определяет предел целесообразности использования



Рис. 5. График для определения аспектного отношения – отношения ширины канала a (зазора между проводниками при травлении) к его глубине H . Красные горизонтальные линии – верхнее и нижнее значение a/H в соответствии с неравенством (1)

жидкого фоторезиста, поскольку аспектное отношение вследствие невозможности наращивать толщину его слоя становится больше 3,5. При фиксированном значении минимальной ширины проводника / зазора выход за пределы верхнего значения неравенства означает, что фоторезист в этом случае имеет избыточность по разрешающей способности, в то время как выход за нижнюю границу неравенства говорит о том, что выбранный фоторезист (тип, толщина, разрешение) не сможет обеспечить в штатном режиме травления требуемые минимальные характеристики токопроводящего рисунка.

Порядок работы – последовательность определения типа и толщины фоторезистивной маски

1. Исходные данные для работы с графиком задаются конструкторской документацией:

a – минимальная ширина зазора, мкм;

h_{Cu} – толщина медной фольги, мкм.

Для примера примем $a=60$ мкм, $h_{Cu}=12$ мкм.

2. На оси абсцисс размещается точка, соответствующая минимальной ширине зазора, чем сразу же определяется тип рекомендуемого фоторезиста: при ширине зазора от 0 до 65 мкм (участок слева от пунктирной линии) рекомендуется применять жидкий фоторезист, при зазоре более 65 мкм – СПФ.

Точка на оси абсцисс, соответствующая минимальным размерам 65 мкм / 65 мкм, находится на границе областей применения сухого пленочного и жидкого фоторезистов; это означает, что для получения проводника такой ширины могут быть использованы как тонкие СПФ, так и относительно толстые слои жидкого фоторезиста.

В рассматриваемом примере точка, соответствующая ширине 60 / 60 мкм, находится в области применения жидкого фоторезиста.

3. По значению ординаты графика в месте пересечения его перпендикуляром из выбранной точки на оси абсцисс определяется рекомендуемое аспектное отношение для соответствующего минимального элемента 60 / 60 мкм. Оно примерно равно 3,15.
4. Вычисляется сумма толщин фольги и фоторезиста:

$$(h_{Cu} + h_{Фр}) = 60 \text{ мкм} / 3,15 = 19,05 \text{ мкм.}$$

5. В соответствии с исходными данными толщина фольги $h_{Cu}=12$ мкм, следовательно, $h_{Фр}=19,05-12=7,05$ мкм.
6. В случае сухого фоторезиста следует выбрать стандартное значение толщины пленки фоторезиста, ближайшее к полученному по п. 5, и проверить соблюдение неравенства (1).

Экспериментальная апробация методики позволяет сделать рекомендации по выбору типа и толщины

фоторезиста для получения топологии внутренних слоев плат 5, 6 и 7 классов точности посредством тентинг-метода.

При травлении внутренних слоев печатных плат 5 класса точности необходимо получить проводники / зазоры размером 100 / 100 мкм. Для этого рекомендуется применять фольгу толщиной 12 или 18 мкм и сухой пленочный фоторезист толщиной 20 мкм.

При травлении проводников плат 6-го класса точности размером 75 / 75 мкм следует применять фольгу толщиной 9 или 12 мкм и СПФ толщиной 15 мкм, также можно применять СПФ толщиной 20 мкм, но в этом случае результат травления может быть получен в пределах допуска только при толщине фольги 9 мкм.

Для травления проводников плат 7 класса точности размером 50 / 50 мкм следует применять фольгу толщиной 6 или 9 мкм и маску из жидкого фоторезиста толщиной от 5 до 10 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснованный выбор базовых материалов, марки фоторезиста и состава раствора травления еще не является залогом гарантированного получения заведомо годных высокоплотных внутренних слоев плат. Это, скорее, правильно сделанные первые шаги для построения технологических процессов изготовления плат выше 5 класса точности. Следующими этапами должны стать апробация разработанных технологических процессов фотолитографии и травления на тестовых образцах, соответствующих по материалам и уровню сложности предельным минимальным значениям ширины проводников и зазоров на плате осваиваемого класса. Технологи, как показывает практика общения с ними, при наличии вектора, указывающего направление, в котором следует решать задачу, быстрее справляются с ней. Данная статья и специально подобранная литература должны задать этот вектор.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шуваев П. В., Трусов В. А., Баннов В. Я. и др.** Формирование структуры сложных многослойных печатных плат // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2013. Т. 1. С. 364–373.
2. **Holden H., et al.** The HDI Handbook. A comprehensive high-density interconnection resource for designers, fabricators and assemblers, First Edition. 2009. 631 p.
3. **Hirohisa Narahashi.** Low Df Build-up Material for High Frequency Signal Transmission of Substrates / The 63rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC). USA, Nevada, Las Vegas. 2013. URL: https://ectc.net/files/63/ECTC2013_WEB4_Ajinomoto_Hirohisa_Narahashi_130610.pdf
4. **Feature by Beaulieu D.** Catching up with... James Rathburn President, HSIO Technologies // PCB007 Magazine, September 2018, pp. 36–42.

5. **Rathburn J.** High Performance High Density Interconnects using Liquid Crystal Polymer-Substrates, Circuits Driven by Mobile Applications / International Symposium on Microelectronics: FALL 2015, Vol. 2015, No. 1, pp. 000817-000821.
6. **Лейтес И. Л.** Как делать печатные платы. Базовые материалы для печатных плат. Монография. 2020. URL: <http://www.rts-engineering.ru/TechPro/tpPP/tpPPmain.shtml>.
7. **Смертина Т.** Подготовка поверхности. Механическая или химическая? // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 3. С. 26–31.
8. **Bergstrom D., Powell J., Kaplan A. F. H.** The absorption of light by rough metal surfaces – A three-dimensional ray-tracing analysis // Journal of Applied Physics. 2008. pp. (103515)1-12. DOI: 10.1063/1.2930808.
9. **Медведев А., Сержантов А.** Лазерная литография в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 5. С. 22–26.
10. **Bobrova J. S., Andronic M. M.** Methods of Applying a Thick-Film Layers of High-Viscosity Liquid Photopolymers // Nano-i Mikrosistemnaya Technika. 2017. Vol. 19. No. 4. pp. 195–206.
11. **Лейтес И.** Травление проводящего рисунка современных многослойных печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 7. С. 60–63.
12. **Лейтес И., Баева О.** Получение прецизионного рисунка в тентинг-процессе // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2006. № 5. С. 1–3.
13. **Шкундина С.** Анизотропное травление печатных плат // Печатный монтаж. 2011. № 6. С. 158–168.
14. **Смертина Т.** Высокоточное травление. От теории к практике // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3. С. 12–19.
15. **Озеров Г. Л.** Экологические аспекты производства печатных плат [Текст]: дис. ... к. т. н. Москва. 2000. 151 с.
16. **Терешкин В., Фантгоф Ж., Григорьева Л.** Травление печатных плат и регенерация травильных растворов // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 26–29.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

ЭТАЛОНЫ И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)»

В книге рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений. Даны методы воспроизведения единиц физических величин на основе современных научно-технических достижений с использованием квантовых эффектов и фундаментальных физических констант.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2018. – 402 с.,
ISBN 978-5-94836-512-1

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



Разработка и производство конденсаторов

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы
K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83,
K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91,
K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98

объемно-пористые танталовые конденсаторы
K52-1, K52-1М, K52-1БМ, K52-1Б, K52-9, K52-11,
K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24,
K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28.

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы
K53-1А, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип),
K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип),
K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

суперконденсаторы (ионисторы)
K58-26, K58-27

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53
e-mail: elecond-market@elcudm.ru, <http://www.elecond.ru>