

Школа производства ГПИС. Фотолитография.

Первый этап: формирование слоя резиста

Трудно представить себе производство микроэлектроники без процесса литографии. Сегодня данный процесс применяется не только при изготовлении непосредственно тонко- и толстопленочных слоев гибридно-пленочных интегральных микросхем (ГПИС), но и при изготовлении трафаретов для их производства.

Максим Шмаков

mhm-shmakov@yandex.ru

Валерий Паршин, к. т. н.

Процесс литографии в производстве ГПИС применяется в основном для тонких пленок. В толстопленочной технологии он применяется для изготовления прецизионных элементов.

Немного из истории

Термин «литография» произошел от греческих слов lithos – камень и grapho – пишу, рисую¹. Изобретенная в Германии А. Зенефельдом на рубеже XVIII–XIX вв., литография ко второй его четверти стала распространенным художественным средством. Технология производства микросхем (МС) заимствовала литографию из полиграфической промышленности.

Внедрение контактной фотолитографии в полупроводниковое производство в 1957 г. (*Примечание.* В 2007 г. исполняется 50 лет как фотолитография используется в электронной промышленности.) определило дальнейшее развитие элементной базы электроники и позволило перейти от дискретных элементов к интегральным [1].

К основным достоинствам фотолитографического процесса следует отнести:

- возможность получения элементов ИМС весьма малых размеров практически любой конфигурации;
- универсальность метода, позволяющего изготавливать трафареты для напыления пленок и сеткографии, селективно травить напыленные пленочные слои, осуществлять глубинное травление и диэлектрических подложек и т. д.;
- возможность применения групповой технологии, обеспечивающей получение миллионов элементов ИМС за одну операцию и на одном виде оборотования.

Сущность, этапы и основные операции литографического процесса

Процесс литографии можно разделить на три этапа, каждый из которых включает ряд операций (рис. 1).

Теоретические основы процесса ФЛ включают три основных раздела [2]:

- 1) прикладную оптику, формирующую заданное изображение на фоторезистивном слое;
- 2) прикладную фотохимию, определяющую закономерности поведения ФР в различных ситуациях;
- 3) прикладную теорию травления (растворимости или распыления) различных материалов в жидкостных, газовых плазменных и плазмохимических средах.

Классификация методов литографии

В зависимости от длины волны применяемого излучения различают оптическую, рентгеновскую, электронную или ионную литографию (рис. 2). Оптическая литография (фотолитография), стандартная или в глубокой ультрафиолетовой области, в соответствии со способом экспонирования может быть контактной или бесконтактной (на микроскопе и проекционная). Рентгеновская литография может выполняться путем последовательной передачи топологического рисунка на слой резиста сфокусированным единичным электронным лучом или путем одновременной проекции всего рисунка. То же можно сказать и об электронной литографии [1].

В связи с применяемыми излучениями из разных областей спектра по предложению В. П. Лаврищева был введен термин «актинолитография», учитывающий любые виды излучения [2].

В связи с тем что при производстве ГПИС нецелесообразно использовать длины волн <200–300 нм, то подробно остановимся только на оптической литографии (фотолитографии), точнее, на стандартной фотолитографии (длина волны $\lambda = 310\text{--}450$ нм).

Следует отметить принципиальные различия между световыми излучениями и излучениями высоких энергий. Для поглощения световой энергии характерна селективность. Поглощение же излучений высокой энергии менее избирательно и, за исключе-

¹ Светом (photo) по камню (lithos) пишу (grapho).

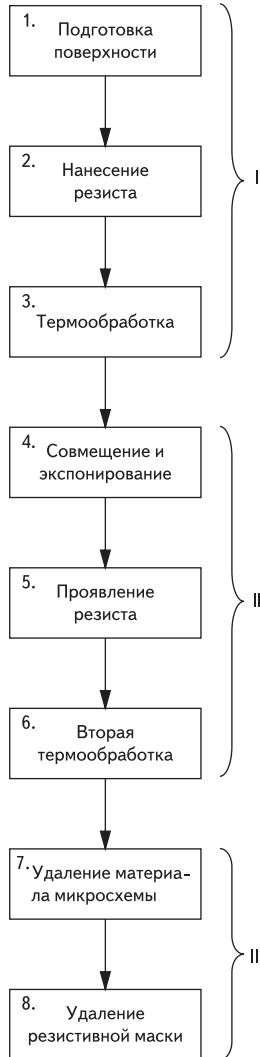


Рис. 1. Этапы (I, II, III) и операции (1–8) литографического процесса:
I – формирование слоя резиста; II – передача рисунка на слой резиста; III – передача рисунка на материал ИМС

нием мягкого рентгеновского излучения, почти не зависит от химического строения полимера. Световая энергия воздействует лишь на валентные электроны в молекулах, в то время как ионизирующее излучение может оказывать влияние и на связанные более прочно внутренние электроны [2].

Оптическая литография (фотолитография)

Фотолитография (ФЛ) – это технологический процесс (ТП), основанный на использовании фотохимических явлений, которые происходят в нанесенном на подложку слое фоторезиста (ФР) (Примечание. В литературе можно также встретить термин «актинорезист») при его обработке ультрафиолетовым (УФ) излучением через маску (фотошаблон (ФШ)) и последующей операции формирования маски в слое фоторезиста и травления технологического слоя через маску в ФР [3].

Основными параметрами, определяющими технологический уровень ФЛ, являются:

- минимальный элемент изображения и точность его воспроизведения в ФР по полю изображения, по подложке и в партии обрабатываемых подложек;
- погрешность совмещения топологических слоев;
- воспроизводимость формы (рельефа) элементов, протравленных в технологическом слое через маску в ФР;
- плотность дефектов в технологическом слое, внесенных в процессе литографии.

Формирование слоя резиста

Данный процесс должен обеспечить получение равномерных по толщине бездефектных фотослоев с хорошей адгезией к подложке при сохранении исходных свойств применяемых ФР.

1. Подготовка поверхности подложки.

Подготовка поверхности подложки к нанесению ФР состоит из нескольких операций и является индивидуальной для каждого конкретного случая в зависимости от материала подложки, технологии его получения, состояния поверхности и дальнейшего назначения

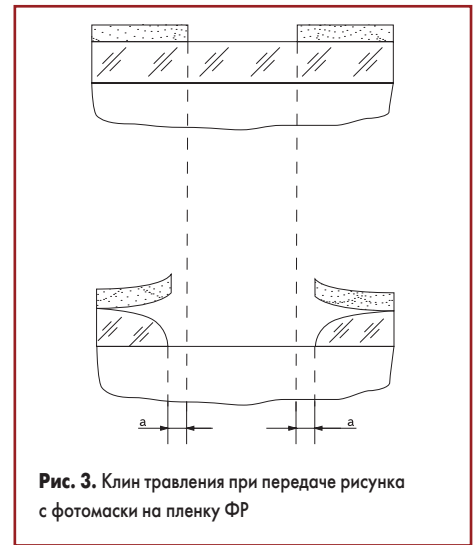


Рис. 3. Клин травления при передаче рисунка с фотомаски на пленку ФР

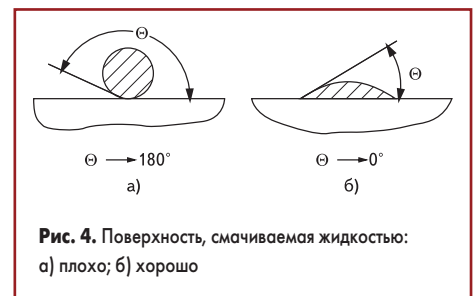


Рис. 4. Поверхность, смачиваемая жидкостью: а) плохо; б) хорошо

маски. Под подложкой в фотолитографических процессах подразумевается тот материал, на котором формируют резистивный слой.

Если фотомаска используется для локального травления, то качество передачи рисунка на подложку зависит в основном от адгезии маски к подложке и от способности травителя проникать под слой фотомаски по границам окон. Адгезия фотослоя увеличивается с повышением смачивания поверхности подложки ФР. Проникновение травителя под слой фотомаски, приводящее к растравливанию подложки (рис. 3), в свою очередь, зависит от смачивания поверхности подложки травителем или водой. Критерием смачиваемости является краевой угол смачивания поверхности твердого тела жидкостью (рис. 4). Оптимально подготовленной к ФЛ поверхностью является поверхность, которая хорошо смачивается ФР и плохо смачивается водой, т. е. для которой выполняется условие:

$$\Theta_{\text{Ф}} \rightarrow 0^\circ, \Theta_{\text{В}} \rightarrow 180^\circ.$$

Эти условия не противоречат друг другу для большинства полимерных ФР, так как они, будучи сами гидрофобными, хорошо смачивают гидрофильные, а не гидрофильные поверхности. Таким образом, подготовленная к нанесению фоторезиста поверхность должна быть очищена от загрязнений, а также должна обладать свойством гидрофобности.

Требования к очистке, содержащиеся в ОСТ 107.750878.001-87, состоят в следующем.

1. Очистка подложек должна включать:

- обработку моющими средствами;
- промывку;
- просушку.

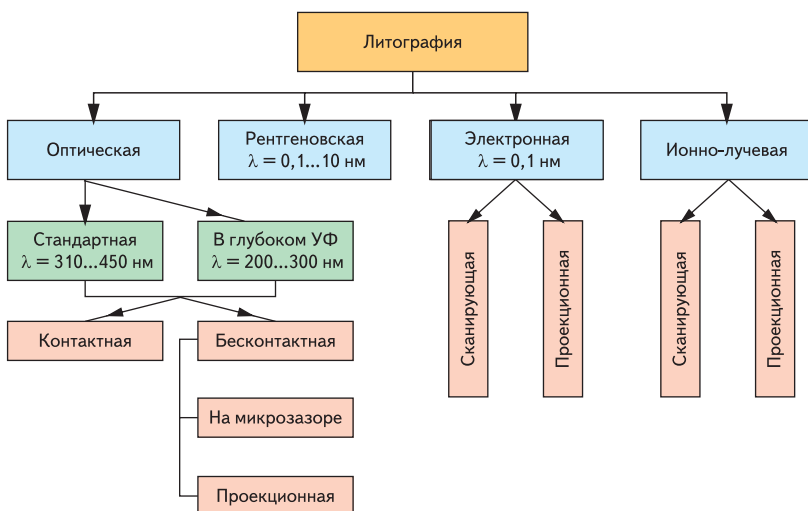


Рис. 2. Классификация литографических процессов

- Выбор мощных средств для обработки подложек, за исключением полиамидных, производится в соответствии с ОСТ 4Г 0.029.233-84. Обработку подложек из керамики нужно производить с использованием ультразвукового (УЗ) воздействия на частоте не менее 18 кГц.
- Обработку полиамидных подложек производить в хромовой смеси (серная кислота 1000 мл, вода деионизованная 100 мл, калий двуххромовокислый 75 г).
- Промывку подложек производить в прочной дистиллированной или деионизованной воде.
- Сушку подложек, за исключением полиамидных, производить при температуре $120 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 15 ± 5 мин. Допускается производить сушку подложек в центрифуге при использовании специальных линий очистки подложек, в которых предусмотрена такая сушка.
- Сушку (отжиг) полиамидных подложек производить в среде инертного газа при температуре не менее 200°C в течение 60 ± 5 мин.
- Поверхность подложки, прошедшей очистку, должна быть чистой, без подтеков, пятен и инородных предметов.
- Очистку подложки следует производить непосредственно перед нанесением на нее слоев. В обоснованных случаях допускается перерыв между окончанием очистки и началом нанесения слоев, который не должен превышать 6 ч при хранении подложек в эксикаторе с силикагелем или 24 ч при хранении в шкафу с защитной средой.

2. Нанесение слоя резиста.

Нанесенный на предварительно подготовленную поверхность подложек слой ФР должен быть однородным по толщине по всему их полю, без проколов, царапин (т. е. быть сплошным) и иметь хорошую адгезию.

Наносят слой ФР в максимально обеспыленной среде. Перед употреблением обязательно фильтруют в специальных фильтрах.

Существуют следующие методы нанесения ФР:

- центрифугирование;
- распыление (пульверизация);
- электростатический метод;
- окунание;
- полив;
- накатка.

Наиболее распространенными являются первые два метода, о которых мы подробно и расскажем, остальные затронем только с точки зрения их достоинств и недостатков.

Метод центрифугирования (рис. 5)

Центрифугирование в основном применяется для круглых подложек, т. е. пластин кремния и других полупроводников, но с помощью несложной доработки установки для данного метода нанесения ФР можно приспособить и для прямоугольных пластин (рис. 6).

На несложном оборудовании наносят слой ФР, погрешность толщины которых составляет $\pm 5\%$. На подложку 2, которая устанавливается на столике 3 центрифуги и удерживается на нем вакуумным присосом, ФР подается капельницей-дозатором 1. (Примечание. Время между нанесением жидкого ФР и вклю-

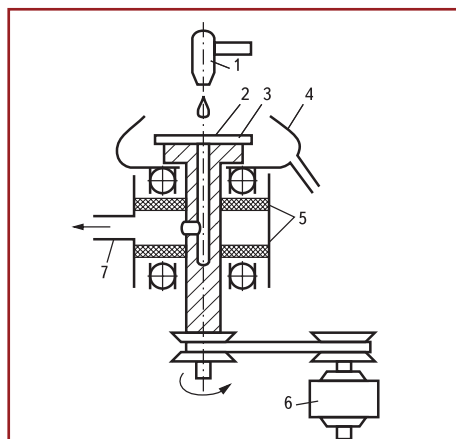


Рис. 5. Схема установки для нанесения слоя ФР центрифугированием: 1 – дозатор (капельница); 2 – подложка; 3 – столик; 4 – кожух для сбора избытка ФР; 5 – вакуумные уплотнители; 6 – электродвигатель; 7 – трубопровод к вакуумному насосу



Рис. 6. Доработанная рабочая камера установки для нанесения ФР центрифугированием на прямоугольные подложки

чением центрифуги должно быть минимальным ($0,5-1$ с), чтобы вязкость резиста не менялась в результате испарения растворителя). Когда столик приводится во вращение, ФР растекается тонким слоем по поверхности подложки, а его излишки сбрасываются с нее и стекают по кожуху 4. При вращении центрифуги происходит испарение растворителя и вязкость ФР возрастает, поэтому он не полностью сбрасывается с поверхности подложки. Зависимость оставшегося на поверхности жидкого слоя ФР h от частоты вращения центрифуги ω и кинематической вязкости ФР ν определяется соотношением:

$$h = A \cdot \sqrt{\nu/\omega},$$

где A – коэффициент пропорциональности, подбираемый экспериментально.

Зависимость толщины наносимого слоя от частоты вращения столика центрифуги при различных коэффициентах вязкости ФР показана на рис. 7.

С увеличением скорости центрифугирования уменьшается не только среднее значение толщины ФР, но и ее разброс. При достижении некоторого числа оборотов толщина пленки становится постоянной, а рассеивание минимальным. Это число оборотов называется критическим. Оно соответствует равно-

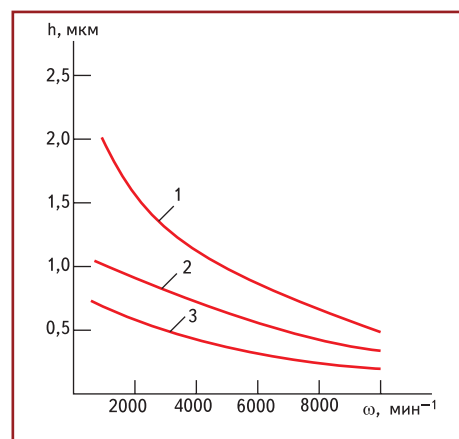


Рис. 7. Зависимость толщины слоя h ФР от частоты вращения ω центрифуги при различных значениях его кинематической вязкости: 1 – $\nu=12 \times 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$; 2 – $\nu=10 \times 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$; 3 – $\nu=5 \times 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$

весию центробежных и когезионных сил при пленкообразовании.

Большое рассеяние (невоспроизводимость) значений толщины при числе оборотов, которое меньше критического, можно объяснить краевым утолщением слоя фоторезиста, которое с увеличением частоты вращения уменьшается и смещается к периферии подложки.

На рис. 8 изображены профили ФР-слоя, полученные на подложках при различных частотах вращения центрифуги. Из рисунка видно, что при малом числе оборотов краевое утолщение занимает значительную часть подложки, а при большом числе оно практически сводится к нулю. Поскольку максимальная разрешающая способность процесса фотолитографии достигается при минимальной толщине ФР, то целесообразно поддерживать частоту оборотов, превышающую критическое значение. Однако от толщины ФР-слоя зависит его устойчивость к агрессивным средам, которую нельзя обеспечить при минимальной толщине ФР. Таким образом, при выборе толщины слоя ФР, а следовательно, и значения критического числа оборотов, следует исходить не из минимальной, а из оптимальной толщины пленки.

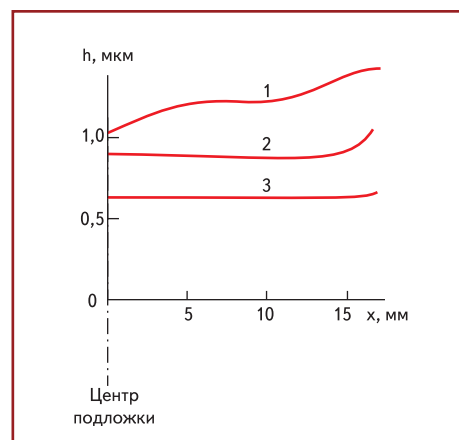


Рис. 8. Профили фоторезистивного слоя, полученные на подложках при разных скоростях вращения центрифуги: 1 – 200 мин^{-1} ; 2 – 400 мин^{-1} ; 3 – 1000 мин^{-1}

Необходимо отметить, что время центрифугирования мало влияет на параметры слоя. Для формирования слоя обычно достаточно 20–30 с.

Выбирая толщину слоя фоторезиста, необходимо учитывать, что он должен обладать высокой разрешающей способностью (чем меньше толщина, тем выше разрешающая способность) и не терять стойкости к травителю. Кроме того, слой фоторезиста не должен иметь дефектов в виде проколов, число которых с уменьшением толщины увеличивается. Следовательно, толщина слоя ФР должна быть возможно минимальной, но достаточной для обеспечения его стойкости к травителю, плотности и малой дефектности (в виде проколов).

Наносимые центрифугированием слои ФР могут иметь дефекты в виде «комет», образующиеся в том случае, если на поверхности подложек имелись остаточные загрязнения или ФР был плохо отфильтрован. Такие дефекты выглядят как направленные от центра локальные утолщения или разрывы слоя ФР.

Достоинствами центрифугирования являются:

- простота;
- отработанность;
- достаточная производительность оборудования;
- возможность нанесения тонких слоев фоторезиста с небольшим разбросом по толщине.

Недостатки этого метода:

- трудность нанесения толстых слоев ФР (более 3 мкм);
- наличие краевого утолщения;
- загрязнение слоев из-за захвата пылинок из окружающей среды при вращении центрифуги (центр вращающегося диска является своеобразным центробежным насосом);
- наличие внутренних напряжений в слое ФР;
- необходимость тщательного контроля вязкости ФР из-за испарения растворителей и режимов работы центрифуги;
- сложность автоматизации.

Метод распыления

(пневматический) (рис. 9)

Примечание. В литературе можно встретить термин «дисперсионный» метод.

Нанесение ФР распылением производится форсункой, в которой для диспергирования

струи раствора ФР при выходе из сопла используется сжатый воздух. Для получения равномерных слоев распыление выполняют движущейся форсункой на движущиеся подложки. Параметры слоя зависят от давления и температуры воздуха, расстояния от сопла форсунки до подложки, скоростей движения форсунки и подложки и от параметров ФР. Для улучшения адгезии фотослоя подложки можно нагревать. Распылением можно нанести слой на рельефные поверхности, получить слои толщиной от 0,3 до 20 мкм с точностью до 10%. Основная проблема при нанесении слоев распылением – затягивание пыли и других загрязнений струей диспергированного ФР. Распыление применяют для нанесения ФР на прямоугольные диэлектрические подложки.

Достоинства пневматического метода состоят в следующем:

- возможность изменения толщины слоя ФР в широких пределах;
- однородность слоев по толщине;
- отсутствие проколов (пор) и разрывов пленки;
- отсутствие механических напряжений в слое ФР (как следствие — уменьшение дефектности слоев в 3–4 раза по сравнению с полученными центрифугированием);
- отсутствие утолщений по краям подложек;
- возможность нанесения ФР на профилированные подложки (в малейшие углубления и отверстия);
- возможность нанесения ФР на поверхности большой площади;
- меньший расход ФР (по сравнению с центрифугированием);
- высокая производительность;
- возможность групповой обработки и автоматизации.

Недостатки метода:

- затягивание пыли и других загрязнений струей диспергированного ФР;
- попадание остатков газа-носителя в слой ФР;
- применение газа-носителя с малой температурой испарения;
- сложность установки (как следствие — дороговизна).

Электростатический метод

Достоинства метода:

- высокая производительность;
- возможность наносить слой фоторезиста на подложки большой площади.

Недостатки:

- трудность стабилизации;
- проблема устранения пыли, притягиваемой электростатическим полем;
- сложность оборудования.

Методы окунания и полива

Достоинства:

- нанесение слоя ФР на подложки больших размеров;
- возможность изменения толщины слоя ФР в широких пределах на обеих сторонах подложки.

Недостатки:

- неоднородность слоя ФР по толщине;
- высокая вероятность загрязнения слоя ФР.

Примечание. Общей особенностью нанесения жидких ФР являются трудности получения сплошных слоев заданной толщины и влияния краевых дефектов.

Метод накатки

Накатка применяется для нанесения сухих пленочных ФР, представляющих собой трехслойную ленту.

Достоинства метода:

- простота процесса;
- равномерность толщины в пределах $\pm 5\%$;
- пригоден для нанесения ФР на подложки любого типа.

Недостатки:

- большая толщина слоя (10–20 мкм);
- низкая разрешающая способность.

3. Термообработка (1-я сушка) слоя.

Сушка является операцией, завершающей формирование слоя ФР, и выполняется после его нанесения. Она проходит в два этапа:

- 1) низкотемпературная выдержка нанесенного слоя;
- 2) высокотемпературная выдержка нанесенного слоя.

В процессе сушки удаляется растворитель, и в пленке ФР происходит сложный релаксационный процесс плотной упаковки молекул, уменьшающий внутренние напряжения и увеличивающий адгезию фотослоя к подложке. Растворитель при сушке необходимо удалять полностью, так как он экранирует фоточувствительные части молекул при экспонировании. Удаление растворителя проходит в две стадии:

- 1) диффузия изнутри слоя к границе со слоем – атмосфера;
- 2) испарение с поверхности.

Если испарение преобладает над диффузией, поверхностный слой ФР уплотняется раньше внутреннего слоя и препятствует удалению растворителя изнутри. При этом возникают внутренние напряжения, ослабляющие слой и приводящие к его разрывам. Для более равномерного высыхания фоторезист готовят на смесях растворителей с различными скоростями испарения. Сушку рекомендуют проводить в инертной атмосфере, так как на воздухе возможно окисление молекул ФР.

Основными параметрами процесса сушки являются температура и время, которые в значительной степени влияют на такие важные показатели ФР, как время его экспонирования и точность передачи размеров элементов после проявления. При низких температурах адгезия фотослоя к подложке плохая, преобладает сцепление между собственными молекулами полимера (когезия). Этим объясняется отслаивание фотослоя при проявлении, кроме этого, возможно неполное удаление растворителя. Слишком быстрая сушка может привести к возникновению механических напряжений в пленке. При больших температурах в ФР идет термополимеризация (при 140–200 °С) и другие процессы. Так, в слое позитивного ФР при температурах выше критических, протекают те же необратимые явления, что и при экспонировании. Качество проведения сушки влияет на все остальные операции ФЛ.

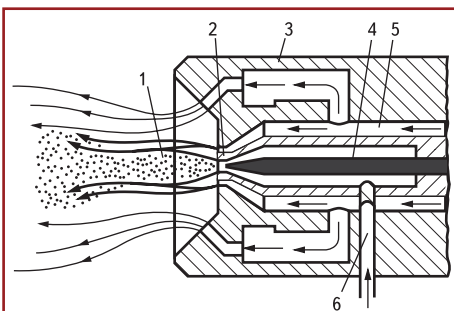


Рис. 9. Схема нанесения ФР способом пневматического распыления: 1 – область разрежения; 2 – сопло; 3 – форсунка; 4 – регулирующая игла; 5 – распыляющий газ; 6 – подача ФР

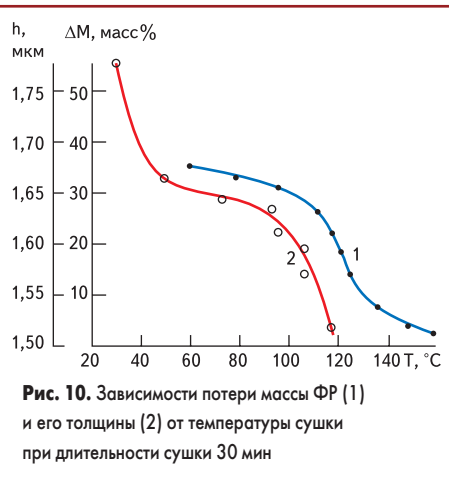


Рис. 10. Зависимости потери массы ФР (1) и его толщины (2) от температуры сушки при длительности сушки 30 мин

На рис. 10 показаны зависимости потери массы ФР (за счет удаления растворителя) и изменения толщины слоя от температуры сушки при постоянном времени сушки.

Большое значение при сушке имеет механизм подвода теплоты. Существуют три метода сушки:

- конвективный,
- инфракрасный (ИК),
- СВЧ-поле.

Конвективная сушка выполняется в термостатах. Образующаяся на поверхности уплотненная часть слоя препятствует равномерной и полной сушке. Для равномерного испарения растворителя и снижения внутренних механических напряжений в фотослое сушку выполняют в два этапа: 15–20 мин. при 18–20 °С, 30–60 мин. при 90–120 °С. Недостаток метода — низкое качество ФР-слоя.

ИК-сушка отличается равномерным удалением растворителя по толщине слоя резиста, поскольку источником теплоты является сама подложка. (Примечание. ИК-излучение сначала достигает границы раздела подложка – резист и, отразившись от подложки, сильнее на-

гревает нижние прилегающие к подложке слои ФР). Возникает такой температурный градиент по толщине резиста, при котором наиболее холодной частью покрытия будет поверхность, а самой горячей — нижние слои, в которых испарение растворителей почти завершено. Следовательно, «фронт сушки» перемещается от подложки к поверхности слоя ФР. Поэтому у поверхности слой преждевременно не уплотняется. Время сушки понижается до нескольких минут. ИК-сушка является основным промышленным методом, применяемым в ФЛ-линиях. Она выполняется непосредственно после нанесения ФР под ИК-лампами при непрерывном продуве азотом.

При СВЧ-сушке подложки нагреваются, поглощая электромагнитную энергию СВЧ-поля. Такая сушка производится в печах мощностью 200–400 Вт при рабочей частоте 2,45 ГГц. Время сушки — несколько секунд. Достоинством метода является высокая производительность, а недостатками — сложность оборудования и необходимость тщательного экранирования рабочего объема во избежание облучения оператора, а также неравномерность сушки слоя фоторезиста на различных по электрическим характеристикам участках подложек. Поэтому СВЧ-сушке подвергают только однородные подложки.

При любом методе сушки ее режимы (время, температура) должны исключать появление структурных изменений в слое ФР. Высушенный слой необходимо экспонировать не позднее чем через 10 ч. Сушку подложек следует выполнять в тщательно очищенной от пыли среде. Контролируют качество сушки визуально или под микроскопом.

При нанесении слоя фоторезиста могут появиться различные виды брака.

- Плохая адгезия ФР к подложке вызывает при последующем травлении растравливание и искажение рисунков элементов. Причи-

ной плохой адгезии является некачественная подготовка поверхности подложек.

- Локальные неоднородности рельефа слоя фоторезиста, имеющие вид капелек, обусловлены попаданием пылинок на подложки или присутствием посторонних частиц в ФР.
- Микродефекты (проколы) слоя фоторезиста объясняются теми же причинами, что и локальные неоднородности рельефа.
- Неоднородности рельефа слоя ФР в виде радиально расходящихся длинных лучей вызываются нарушением режима центрифугирования в процессе нанесения слоя (вибрацией столика при вращении).
- Неоднородность толщины слоя ФР на подложках и разброс ее на разных подложках являются результатами перекоса столика, уменьшения частоты его вращения и увеличения времени разгона центрифуги. Отклонение толщины слоя ФР от заданной может быть также связано с изменением вязкости ФР.

Литература

1. Малышева Н. А. Технология производства микроэлектронных устройств. М.: Высшая школа. 1991.
2. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь. 1987.
3. Энциклопедия машиностроения. Т. 8: Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении / Под ред. Ю. В. Панфилова. М.: Машиностроение. 2000.
4. ОСТ 107.750878.001-87. Технология изготовления тонкопленочных плат.
5. Блохин В. Г. Технологии производства микроэлектронной аппаратуры: Лекции. М.: РГТУ-МАТИ им. К. Э. Циолковского, 2004–2005.

Семинар «Проектирование многослойных печатных плат с BGA»

28 марта 2007 года компания PCB technology провела свой второй крупный семинар для специалистов в области разработок печатных плат. Тема данного семинара была выбрана по результатам опроса посетителей первого семинара. Это одна из наиболее актуальных и обсуждаемых сегодня тем. Отличием этого семинара было обсуждение печатных плат с BGA-корпусами не только с точки зрения их проектирования, но и с позиций технологии изготовления и монтажа. Были подробно рассмотрены следующие вопросы: типы BGA-корпусов, варианты трассировки BGA-корпусов, виды используемых для разводки BGA переходных отверстий, способы нанесения маски вокруг контактных площадок, покрытия и материалы под бессвинцовую пайку, технология монтажа и варианты установки BGA-корпусов, виды рентген-контроля, а также анализ всех этих нюансов с точки зрения надежности и стоимости реализации.

С докладами на семинаре выступили: Александр Акулин, технический директор компании «ПСБ технологджи», Ольга Барина, представитель фирмы «ПСБ технологджи» в Санкт-Петербурге, Аркадий Медведев, профессор МАИ, научный руководитель ООО «Электрон-Сервис-Технологии», и Олеся Собченко, технолог компании «Альтоника» (она рассказала слушателям о своем опыте монтажа многослойных печатных плат с BGA-корпусами).

Подробное освещение большого количества вопросов, связанных с многослойными печатными платами с BGA, привлекло внимание не только разработчиков, но и инженеров-технологов, а также сотрудников отдела контроля качества печатных плат. Таким образом, количество участников семинара в этом году возросло более чем в 1,5 раза. Не только посетители прошлых семинаров, но и новые специалисты пришли послушать доклады и сопоста-

вить их со своим опытом в области разработок и монтажа печатных плат с BGA.

Также на семинаре была затронута тема подготовки проектов печатных плат к производству. Это большая отдельная тема для разговора, и на следующих семинарах она тоже будет подробно рассмотрена.

Семинар состоялся в рамках выставки «Цифровая обработка сигналов и ее применение. DSPA-2007», в которой компания PCB technology приняла участие. Подобного рода семинары дают неоценимые знания. Это не только опыт и знания специалистов, которыми они охотно делятся, но еще и возможность задать интересующие вопросы, которые долгое время оставались без ответов. Это возможность не только послушать, но и пообщаться.

Все посетители семинара и просто желающие могут отправлять свои вопросы и пожелания на адрес pcb@pcbtech.ru.