Фотошаблоны

**Введение**

Какие бы процессы печати ни использовались, все они начинаются с фотографического изображения будущего рисунка – фотошаблона, в нашем случае – с изображения топологии схемы со всеми элементами печатного монтажа: проводниками, контактныыми площадками для пайки, для отверстий, экраны, печатные разъемы, элементы электрической схемы и т.д. Используя фотошаблон получают масочное изображение на сите – сетчатый трафарет для трафаретной печати, рельефное изображение фоторезиста на плоском основании для формировании рисунка субтрактивным или аддитивным методом, рельефные формы для офсетной печати краской или для флексографии.

**1.** Материалы фотошаблонов – носители изображений

Из всего разнообразия фотопроцессов в техническом (не художественном) их применении установились определенные традиции, основная направленность которых – получить штриховое (без полутоноь) изображение большой плотности и большой контрастности. Материалы для фотошаблонов должны обладать в первую очередь высоким градиентом оптической плотности, высокой износоустойчивостью, позволяющей многократно использовать их в процессах фотопечати и, что очень важно, высокой размерной устойчивостью.

1.1 Общие свойства фотоматериалов

Фотоматериалы – светочувствительные материалы, предназначенные для получения фотографических изображений. Различают галогеносеребряные фотоматериалы, в которых светочувствительным элементом является галогенид серебра (AgHal), и несеребряные (светочувствительный элемент – соединения железа, хрома, соли диазония и др.

Фотоматериалы для фотошаблонов по обшей классификации фотоматериалов выделяются следующим образом:

* по назначению – микрофильмирование;
* по воспроизведению цвета объекта съемки – черно-белые монохроматические (с однотонным окрашенным изображением);
* по способу применения – негативные, позитивные, обращаемые;
* по виду подложки – на гибкой полимерной основе, на жесткой основе (фотопластинки, чаще всего из стекла),
* по формату – листовые, рулонные;
* по сенситометрическим характеристикам: общая и эффективная светочувствительность, коэффициент контрастности, фотографическая широта, оптическая плотность вуали, максимальная оптическая плотность изображения и др.,

•по структурнорезкостным характеристикам: разрешающая способность, среднеквадратическая гранулярность,

* по физико-механическим свойствам: размерная устойчивость в условиях изменения температуры и влажности, термостойкость, механическая прочность слоев, влагоемкость, скручиваемость.

Основные сенситометрические характеристики фотоматериалов определяют по экспериментальной характеристической кривой (сенситограмме, рис. 4.1), выражающей зависимость между логарифмом экспозиции \g Н и оптической плотностью почернения D, образованного металлическим серебром. Экспозицию Я вычисляют по формуле: Н= Et, где £-освещенность, t – время экспонирования (выдержка). Оптическая плотность участков фотографического слоя, не подвергавшихся действию света, называется оптической плотностью фотографической вуали D0. Она не зависит от экспозиции и определяется свойствами самого фотоматериала и условиями его обработки. Принятая в фотографии величина минимальной оптической плотности представляет собой сумму значений оптической плотности вуали и оптической плотности подложки. Наибольшая оптическая плотность почернения (потемнения) фотоматериалов, т.е. плотность в высшей точке характеристической кривой, называют максимальной плотностью D.

Сенситометрические испытания фотоматериалов проводят в стандартных условиях, при которых важнейшим фактором является цветовая температура источника света – величина, характеризующая спектральный состав излучения источника света. Цветовая температура определяется температурой абсолютно черного тела, при которой его излучение имеет такой же спектральный состав и такое же распределение энергии по спектру, что и излучение данного источника; выражается в Кельвинах. В сенситометрических измерениях обычно используют три цветовые температуры: 2850 К~ при испытании фотобумаг; 3200 К – для позитивных кинопленок; 6500 К – для негативных фотоматериалов.

Светочувствительность S – способность фотоматериалов регистрировать световое излучение и образовывать в фоточувствительном слое материала почернение (потемнение). Светочувствительность (см2/Дж) рассчитывается как величина, обратно пропорциональная экспозиции: S = 1/Et = 1/Н. Светочувствительность измеряют, как правило, в относительных единицах – числах светочувствительности – S = k/Н, где Н – экспозиция, необходимая для получения определенной оптической плотности потемнения D (критерий светочувствительности); к – коэффициент пропорциональности, имеющий определенное принятое значение для каждого из видов фотоматериалов. Для черно-белых негативных фотоматериалов общего назначения за критерий светочувствительности приняты оптическая плотность D = Dg + 0, \ и коэффициент пропорциональности к =V2.

Строгого эквивалента между светочувствительностью фотоматериалов и числами светочувствительности не существует; приблизительно считают, что 1 единица ГОСТ эквивалентна 106 см2/Дж.

Коэффициент контрастности – градиент прямолинейного участка характеристической кривой – характеризует способность фотоматериалов передавать различие яркости объекта съемки по различию оптической плотностей потемнений. Определяется как тангенс угла наклона прямолинейного участка кривой к оси абсцисс:

Фотографическая широта L определяется как интервал яркостей объектов съемки, передаваемых на изображении с одинаковым коэффициентом контрастности; на характеристической кривой соответствует диапазону логарифмов экспозиций: L = lgH2 – IgH' Интервал экспозиций, ограниченных верхним и нижним пределами потемнений, называют полным интервалом экспозиции L. или полной фотографической широтой.

Разрешающая способность – способность фотоматериала раздельно передавать мелкие детали (участки) объекта фотографирования; выражается количеством разрешаемых линий на 1 мм в фотографическом изображении специального тест-объекта (так называемой, резольвометрической миры).

Гранулярность (зернистость) – флуктуации оптической плотности равномерно экспонированного и проявленного фотоматериала; численная оценка зернистой структуры фотографического изображения определяется среднеквадратической гранулярностью.

Серебросодержащие фотопленки могут быть негативными и позитивными. Негатив воспроизводит черным прозрачные места и прозрачным черные места. Позитив воспроизводит черное черным. Диазопленки обычно позитивные. Фотопленки для фотоплоттеров – негативные. Фотопленки для контактной печати могут быть любыми, это зависит от задач репродукции и вида фоторигинала (негатив или позитив). Обычно позитивные фотошаблоны (черные линии – проводники) используются для наружных слоев печатных плат, и негативные (прозрачные линии – проводники) – для внутренних слоев.

Серебросодержащие фотопленки не безразличны к процессам проявления и типам проявителей. Выбор проявителя может сказаться на скорости и глубине проявления, на зернистости и на реализации чувствительности пленки. Поэтому для проявления фотопленки нужно придерживаться рекомендаций в прилагаемой спецификации.

Серебросолержашие и диазопленки отличаются и по свойствам и по физическим процессам обработки, о чем будет сказано дальше. Но визуальная прозрачность, сопротивление к истиранию и явно лучшая размерная стабильность диазопленок делают их незаменимыми для изготовления прецизионных фотошаблонов. Однако, серебросодержащие фотопленки по большему ряду фотографических характеристик лучше для использования в фотоплоттерах, преобразования изображений и большей части фотокопировальных работ.

1.2 Серебросодержащие фотоматериалы

Сенситометрические и структурнорезкостные показатели серебросодержащих фотоматериалов зависят в основном от размеров, формы и состава микрокристаллов AgHal, а также условий их химической или спектральной сенсибилизации.

Все галогеносеребряные фотоматериалы состоят из светочувствительных (эмульсионных) и дополнительных (вспомогательных) слоев, нанесенных на подложку (рис. 4.2).

Основой всех фотоматериалов является светочувствительный слой толщиной 3…30 мкм, который представляет собой суспензию микрокристаллов AgHal в связующих – водных растворах желатина, эфирах целлюлозы, агаре, альбумине и др. Нанесенная на подложку и высушенная фотоэмульсия образует светочувствительный слой фотоматериалов. Концентрация желатина в фотоэмульсиях составляет обычно 5… 10% по массе, концентрация AgHal (в пересчете на металлическое серебро) – 30… 150 г. Ag на 1 л объема фотоэмульсии. Средние линейные размеры микрокристаллов 0,01… 10 мкм, их количество в 1 см3 – 101С…Ю16.

Поверхностная концентрация AgHal (в пересчете на серебро) от 0.1 г./м2 в малочувствительных фотоматериалах до 5… 10 г./м2 в высокочувствительных негативных фотоматериалах и до 10–35 г./ м2 – в радиографических материалах. В светочувствительном слое фотоматериалов содержится до 40…60% AgHal.

Подложкой для различных фотоматериалов могут служить стеклянные пластинки толщиной 0,8…5 лш (и более), гибкие полимерные пленки из триацетата целлюлозы толщиной 60–220 мкм или полиэтилентерефталата толщиной 25… 175 мкм.

Для придания фотоматериалам высоких физико-механических, противоореольных, антистатических и др. свойств на подложку и светочувствительные слои обычно наносят вспомогательные и дополнительные слои: подслой, защитный, противоореольный, противоскручивающий, антистатический, фильтровый, промежуточный, восковый и др. Подслой – вспомогательный слой толщиной 0.5… 1 мкм. нанесенный на подложку в целях обеспечения прочного сцепления (адгезии) светочувствительного слоя с подложкой. Подслой для фотопленок содержит коллоидный раствор желатины в воде, органический растворитель, подрастворяющий полимер подложки, и органическую кислоту, стабилизирующую коллоидный раствор желатина. Подслой для фотопластинок содержит, кроме того, жидкое стекло.

Защитный слой представляет собой слой сильно задубленного желатина с добавкой синтетического полимера (например, латекса) толщиной 0,5…1,5 мкм. Он наносится на поверхность эмульсионного слоя фотопленки и предохраняет его от механических повреждений и воздействия окружающей среды.

Для уменьшения ореолов отражения в негативных фотопленках и фотопластинках под светочувствительный слой или на обратную сторону подложки наносят противоореольный лаковый или желатиновый слой, содержащий пленкообразующее вещество и краситель или пигмент (например, сажу), которые обесцвечиваются или вымываются в процессе обработки фотоматериалов, иначе они сделают фотошаблон непрозрачным. Желатиновый противоореольный слой, нанесенный на обратную сторону подложки, служит также и противоскручивающим слоем.

Противоскручивающий слой (контрслой) – лаковый слой из синтетических полимеров, наносимый на обратную сторону подложки для улучшения плоскостности пленки, а в ряде случаев и для придания пленке глянца и улучшения антистатических свойств.

Антистатический слой – вспомогательный слой толщиной 0,5… 1 мкм; представляет собой слои полимеров с добавками электролитов, электропроводящих наполнителей (высокодисперсные сажа, графит и др.), ПАВ и другие соединения, способных поглощать из воздуха заряженные частицы, нейтрализующие заряд фотоматериалов, или влагу, повышающую его поверхностную проводимость.

Фильтровый слой служит для поглощения нежелательных лучей света, действующих на лежащие под ним светочувствительные слои.

При хранении фотоматериалов наблюдается их старение, заключающееся в уменьшении светочувствительности и увеличении плотности вуали. Каждый вид фотоматериалов характеризуется гарантийным сроком хранения, втечение которого может наблюдаться падение чувствительности и рост вуали, что необходимо учитывать при экспонировании и обработке. Чем выше светочувствительность фотоматериала, тем меньше срок их хранения. Фотоматериалы необходимо хранить в оригинальной заводской упаковке при пониженной температуре, не превышающей] 8 °С, и относительной влажности 40…60%. Они должны быть защищены от воздействия агрессивных газов, рентгеновского и радиоактивного излучения, механических повреждений. Для длительного хранения черно-белых фотоматериалов рекомендуется температура 4…5 «С.

Собственная спектральная чувствительность галогенидов серебра имеет максимум на длине волны 545 нм и приемлема только для коротковолнового излучения с длиной волны, меньшей 520 нм.

Применение сенсибилизирующих красителей позволяет создать фотоматериалы, чувствительные ко всей видимой и ближней И К области спектра с длиной волны до 1500 нм. В зависимости от спектральной чувствительности фотоматериалы делят на несенсибилизированные (обычно позитивные и рентгенографические) – чувствительные к синим и более коротким лучам света и жесткому излучению; ортохроматические и изоортохроматические – чувствительные к синим и желто-зеленым лучам; панхроматические и изопанхроматические – чувствительные ко всему видимому спектру; инфрахроматические – чувствительные к синим лучам и ИК излучению (рис. 4.3).

Поскольку для изготовления фотошаблонов в последнее время используют лазерные фотоплоттеры, спектральную чувствительность фотопленок приспосабливают к излучению соответствующего лазера.

Во время экспозиции кристаллы абсорбируют фотон света, его энергия используется для формирования металлического серебра на светочувствительном центре.

Абсорбция большего количества фотонов приводит к большему восстановлению металлического серебра. Когда число атомов металлического серебра достигнет от 4 до 10, кристалл фиксирует латентное (скрытое) изображение. Это такое латентное изображение, которое при проявлении восстанавливает металлическое серебро во всем объеме кристалла. Размер экспозиции фотопленки должен быть таким, чтобы достичь оптимальных результатов. Если оригинал – негатив или фотопленка экспонируется на фотоплоттере, большие экспозиции будут прибавлять ширину линии и уменьшать ширину пробельных мест. Наоборот, маленькие экспозиции уменьшат линии и их оптическую плотность.

После экспозиции фотопленка должна быть проявлена. Это четырехступенчатая процедура, обычная в фотопроцессах. Для иллюстрации показана последовательность процессов. Экспонированные кристаллы проявляют свое латентное изображение.

Первый процесс называется проявлением (рис. 4.4). Здесь экспонированные кристаллы гаплоидного серебра преобразуются в металлическое серебро. Скрытое изображение действует как катализатор в реакции восстановления, так что обеспечивается разница между экспонированными и не экспонированными кристаллами. Однажды начавшийся процесс преобразования кристалла заканчивается эффектом с усилением изображения более чем в 10 млн. раз.

Проявление фотопленки должно обеспечить оптимальные результаты. Перепроявление делает линии широкими с расплывчатыми краями. Это также приводит к образованию плотной вуали на пробельных местах. Недопроявление создаст тонкие линии и низкую оптическую плотность изображений. Обычно процесс проявления контролируется предназначенным для этого процессором.

Теперь можно увидеть проявленное изображение, образованное металлическим серебром. Неэкспонированные кристаллы, не активированные светом, не восстановлены до металлического серебра в процессе проявления (рис. 5).

Но это изображение еще не устойчиво. Чтобы сделать изображение устойчивым, фотопленка должна подвергнуться процессу фиксирования, при котором из фотоэмульсии удаляются кристаллы галлоидного серебра (рис. 6). В процессе обработки в фиксирующем растворе тиосульфат аммония превращает эти кристаллы в несколько растворимых солей, которые удаляются из эмульсии. Рисунок из металлического серебра не затрагивается на этой стадии. Фиксирование – некритическая операция. Невозможно передержать фотопленку в фиксирующем растворе. Правда, попадаются пленки, у которых при передержке светлые области приобретают серый оттенок. При недостаточной выдержке или обедненном растворе фиксажа фотопленка при выходе из процессора может демонстрировать молочно-белые оттенки там, где она должна быть чистой.

Проясним эту ситуацию. При изготовлении фотошаблона проявление – процесс, при котором начатые при экспозиции химические изменения усиливаются и расширяются. При экспонировании сухого пленочного фоторезиста химический процесс завершается при экспозиции, и после нее не требуется дополнительная обработка для химических превращений. Когда технологи говорят о проявлении фоторезиста, они подразумевают его селективное удаление с заготовки платы. Это аналогично фиксации изображения на серебросодержащих фотоматериалах, когда из эмульсии удаляют неэкспонированное галлоидное серебро.

Итак, в результате операции фиксирования металлическое серебро остается в местах, где оно было экспонировано. Неэкспонированное галлоидное серебро, преобразованное в растворимые соединения, уходит из желатинового слоя в раствор. Поскольку этот процесс диффузионный, для него требуется время.

После проявления и фиксации, фотошаблон должен быть хорошо промыт для удаления побочных химических продуктов. Если они все же останутся, при сушке они проявят себя в виде многочисленных кристаллов, которые могут разрушить желатиновый слой, сделать его недостаточно прозрачным.

Завершающий процесс – сушка, в процессе которой испаряется вода. Очевидно, что желатиновый слой, который начал набухать уже при первом погружении в проявитель, и при увлажнении будет увеличиваться примерно на одну десятую своего размера. Полиэфирная основа будет также увеличивать свои размеры при мокрой обработке в результате абсорбции влаги. В результате происходят некоторые изменения размеров фотошаблонов.

1**.3** Диазопленки

В диазографии (диазотипии, светокопировании) изображение оригинала получают под действием света на светочувствительный материал, содержащий диазосоединение.

Регистрирующий материал состоит из подложки, покрытой слоем, чувствительным к излучению УФ и сине-фиолетовой зонам спектра. Различают диазографические материалы с одно-, двух- и трехкомпонентным светочувствительным слоем. Однокомпонентный слой содержит соль диазония. диспергированную в связующем из легкоплавкого полимера, например смесь поливинилового спирта с поливинилацетатом или сополимер метилвинилового эфира с малеиновым ангидридом. Двухкомпенентный слой кроме соли диазония содержит азокомпоненту (резорцин, фтороглюцин, ароматический амин, динатриевую соль 6-гидрокси-2-нафталинсульфоновой кислоты). Трехкомпонентный слой дополнительно содержит соединения, выделяющие при нагревании до 100…120 «С вещества основного характера, например, мочевину или ее производные.

На экспонированных участках соль диазония разлагается и теряет способность к реакции азосочетания. На участках, не подвергнутых действию света, из соли диазония и азокомпоненты при проявлении образуется азокраситель, цвет которого зависит от строения его радикалов. Обработка, необходимая для получения красителя, в зависимости от вида светочувствительного слоя может быть мокрой – с применением раствора азокомпоненты (для однокомпонентных слоев), сухой – в парах аммиака (для двухкомпонентных) или термической (для трехкомпонентных).

Время получения изображения 1…3 с. Светочувствительность диазографических пленок 5 см2/Дж, разрешающая способность 100 мм ', коэффициент контрастности 3–4.

Диазографические пленки используются главным образом для размножения микроформ и, в частности, для изготовления рабочих фотошаблонов печатных плат.

Диазопленки обладают такими свойствами, которые хорошо согласуются с требованиями к фотошаблонам, в частности для визуального совмещения. Фотошаблоны из диазопленки имеют прозрачное желтое изображение, позволяющее легко совмещать его со сверленными отверстиями. Это изображение не прозрачно для ультрафиолетового света, к которому чувствителен фоторезист. Мало того, поскольку изображение находится не в желатине, используемом в серебросодержащих фотопленках, поверхность фотошаблонов из диазопленки устойчива к истиранию, что очень нужно при многократном использовании фотошаблонов в процессах экспонирования.

Структура диазопленки, используемой для фотошаблонов несколько похожа на структуру серебросодержащих фотопленок, но по химическому содержанию это другой материал. Это отличие заключается в светочувствительном слое, в котором формируется изображение. Этот слой содержит четыре главных составляющих диспергированных компонента в акриловом связующем:

• светочувствительная соль диазония,

* красящие компоненты, которые реагируют с диазонием во время проявления для формирования рисунка,
* стабилизатор, предотвращающий преждевременную реакцию диазония и красящих компонентов,
* рельефообразователь (для соответствующего типа материала с рельефом для ускорения вакуумирования в раме экспонирования).

Подслои, используемый вдиазопленках, отличается оттого, что используется в серебросодержащих материалах, но назначение его то же: обеспечить адгезию активного слоя с основанием. Как и в серебросодержащих материалах, в качестве пленочного основания используется большей частью полиэфир, обеспечивающий необходимые прочность, гибкость, долговечность и размерную устойчивость. Антистатическое покрытие обратной стороны предотвращает налипание пыли и загрязнеения, вызванное статическим электричеством. Когда основание имеет толщину \75 мкм. общая толщина составляет 180 мкм.

Светочувствительный компонент в диазопленкс – соль диазония. Это органическая молекула размером примерно 1,5 нм, которая содержит два связанных атома азота. На экспонированных участках соль диазония разлагается и теряет способность к реакции азосочетания. На участках, не подвергнутых действию света, из соли диазона и азокомпоненты при проявлении образуется азокраситель, например, ArN + Аг2 ОН ArNP % NAr2 ОН + НХ, цвет которого зависит от строения радикаловЛги/1г2. Обработка, необходимая для получения красителя, – сухая, в парах аммиака. Время получения изображения 1…3 с. Светочувствительность диазографических пленок 5 см2/Дж, разрешающая способность коэффициент контрастности 3…4.

Как было сказано ранее, диазопленка – позитивно работающая система: там, где пленка освещалась, не будет зачернения изображения. Когда экспонирование производят в области, близкой к ультрафиолетовой, диазомолекулы разлагаются на два неактивных бесцветных компонента. Величина экспозиции также важна, как и для серебросодержащих фотопленок, но эффект от неправильно выбранной экспозиции другой. Если оригинал – негатив, большая экспозиция увеличивает ширину линии (цветную область), пробельные элементы уменьшаются. При меньшей экспозиции уменьшаются линии (цветные области) и плотность цвета.

Чтобы правильно установить экспозицию, диазопленку экспонируют через оригинал, содержащий 21-ступенчатую шкалу плотностей. Когда экспозиция установлена по наиболее хорошо воспроизведенному окну шкалы плотностей, к ней немного прибавляют выдержку, чтобы уверенно воспроизвести тонкие линии.

Во время проявления пленка подогревается и обрабатывается в парах аммиака (NH4) OH. Аммоний разрушает защиту в светочувствительном слое и приводит диазосолъ к реакции окрашивания двух составляющих.

Одна составляющая абсорбирует голубые лучи и образует желтое визуально прозрачное изображение. Другая тоже визуально прозрачная, но непрозрачная для УФ-лучей, используемых для экспонирования фоторезистов.

Для проявления используется специальный процессор, в котором для проявления используется (NH4) OH. Температура поддерживается в диапазоне 60…70 °С. Большая температура приводит к повышенной деформации полиэфирной основы.

После проявления формируется окрашенное изображение на неэкспонированных участках и прозрачное – п области экспонирования.

Не требуется больше никаких обработок. Диазопленки трудно перепроявить. Однако, недопроявление уменьшает оптическую плотность фотошаблонов.

1.4 Фотопленки для изготовления фотошаблонов

Общие сведения

Для изготовления фотошаблонов предназначены фототехнические черно-белые пленки и пластинки для репродукционных и копировальных работ в полиграфии. Фотопленки изготовляются на полиэтилентерефталатной (толщина 65… 175 мкм) или триацетатцеллюлозной (100…200 мкм) подложках.

Фотопленки для фотошаблонов печатных плат содержат:

* полимерную основу,
* фоточувствительный слой эмульсии,
* дополнительные вспомогательные слои поддержки

Для обеспечения размерной стабильности и удобства автоматического управления процессами экспонирования фотопленки для фотошаблонов изготавливаются на толстой полиэфирной основе. Толщина такой фотопленки, как правило, – 175 мкм. Толщина эмульсии и вспомогательных слоев – приблизительно 5 мкм. Некоторые фотопленки не имеют желатинового слоя поддержки, что уменьшает влияние относительной влажности на изменение их линейных размеров.

Для фотошаблонов очень важно обеспечить размерную стабильность в условиях изменяющихся температуры и влажности. Для этого после полива или экструзии пленку подвергают циклическому нагреву, в результате чего она ускоренно релаксирует и из ее объема выпариваются остатки растворителей. В результате снимаются внутренние напряжения и улучшается размерная стабильность.

Влияние влажности

При изменении влажности внешней среды полиэфирная основа фотопленок приобретает равновесную влажность и меняет свои размеры. Чтобы на 90% достигнуть равновесия с внешней средой (время релаксации) для пленки толщиной 175 мкм требуется порядка 4 ч. Коэффициент линейного расширения при изменении относительной влажности полиэфирной пленки – 0,0008% на 1% относительной влажности. Этот коэффициент – не зависит от толщины пленки», но желатиновые и вспомогательные слои ощутимо влияют на изменение размеров основы, а значит и фотопленки. Причем желатин поглощает влажность очень быстро. Требуется меньше трех минут для слоя желатина, чтобы он достиг 99% равновесия с окружающей средой. Поэтому, чем толще пленка основы, тем меньший вклад имеют наслоения, и фотопленка получается стабильнее в размерах.

Процессы поглощения влаги основой и слоями желатина являются полностью обратимым: эффекты гистерезиса незначительны.

Влияние температуры

Фотопленка расширяется при повышении температуры окружающего воздуха и сжимается при понижении температуры.

Температурный коэффициент расширения полиэфирной основы – 0,0018% на 1 °С. Температурный коэффициент расширения не зависит от толщины материала.

Реакция фотопленки на изменение температуры проявляется очень быстро.

Фотопленка адаптируется к окружающей температуре в течение 2…3 минут.

Расширение и уменьшение фотопленки при изменении температуры – обратимый процесс. Однако, если фотопленку нагреть до 60 °С, произойдет необратимое изменение ее размеров.

Влияние режимов обработки

В результате мокрой обработки фотопленки (проявление фиксаж, отмывка) и последующей сушки происходит изменение ее размеров. Особенно существенно влияет температура сушки так, что фо топленки, которые сушатся при высоких температурах, будут иметь увеличенные размеры и наоборот. Изменение размеров фотопленок толщиной 175 мкм может составлять ± 0,02%. Однако, фотопленка, которая была высушена при оптимальной температуре, может изменить свои размеры очень незначительно. Мало того, существует оптимальная температура сушки, при которой это изменение размеров может сводить к нулю. Эта температура устанавливается для каждого типа фотопленки. Величина оптимальной температуры сушки в основном зависит от относительной влажности окружающей среды и относительной влажности воздуха в сушильной камере проявочной машины. Поэтому идеальная температура сушки должна быть определена исходя из относительной влажности воздуха в помещении для обработки фотопленки. Например, фирма Кодак дает такие рекомендации:

|  |  |
| --- | --- |
| Влажность воздуха | Температура сушки |
| 40% | 27 – 32DC |
| 40% | 41 -46 °С |
| 50% | 32 – 38 °С |
| 50% | 43 -49 °С |
| 60% | 35–4ГС |
| 60% | 46–54 °С |

Старение

Размер фотопленок изменяется из-за старения основы, но величина этих изменений является очень незначительной. Полиэфирная основа может изменить размеры в пределах ±0,01% за 5… 10 лет.

Изменения линейных размеров зависят от влажности и температуры хранения фотопленок. Хранение при высокой влажности, вероятно, повлечет за собой увеличение размеров фотошаблона и наоборот.

Размерная стабильность

Фотопленки для фотошаблонов печатных плат с позиций размерной стабильности могут быть сгруппированы в два класса: фотопленки, которые не имеют вспомогательных слоев и фотопленки, которые его имеют (на желатиновой основе).

Методика измерений

Изменение размеров от изменения влажности приводится обычно для диапазона влажности от 15 до 50% при температуре 21 °С. Эта процедура относительно сложна, так как изменение размеров не линейны по отношению к изменению влажности. Это важно, поскольку измерения в разных диапазонах влажности могут иметь отличия. Можно в качестве примера привести значения коэффициент линейного расширения при изменении влажности, измеренные при низкой, средней и высокой влажности:

Низкая влажность:

от 15 до 50% 0.0014

Средняя влажность:

от 30 до 60% 0.0012 Высокая влажность:

от 50 до 80% 0.0010

Поэтому при сравнении поведения различных фотопленок от изменения влажности важно знать диапазон абсолютного изменения влажности, при котором он определялся.

То же самое относится и к температуре. Показанные в таблицах коэффициенты определены в диапазоне температур между 21 °С и 49 °С (70Т и 120 °F) и относительной влажности 20%. Температурный коэффициент всех фотопленок на полиэфирной основе практически одинаков, независимо от её толщины.

Эффект «Серебряного слоя»

Количество серебра в слое фотоэмульсии может влиять на изменение размера фотопленки. Негативы, имеющие высокое отношение непрозрачной (серебросодержашей) области к прозрачной, будут иметь меньшие изменения линейных размеров, чем позитивы того же изображения. Высокое содержание серебра стабилизирует желатиновый слой. И хотя значение этого эффекта очень мала – во втором знаке температурного коэффициента изменения размеров, с ним приходится считаться.

Время релаксации фотопленки

Время, требуемое, чтобы достигнуть равновесия с влажностью в помещении зависит от толщины фотопленки. Требуется один час на 25 мкм толщины фотопленки, чтобы достигнуть равновесия по относительной влажности с окружающей средой:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Время | релаксации (час) |
| Релаксация фотопленки к условиям влажности окружающей среды | для фотопленки для фотопленки с основой 100 мкм с основой 175 мкм |
| 50% | 1 час | 0.4 часов |
| 75% | 2 часа | 1 час |
| 90% | 4 часа | 2 часа |
| 99% | 7 часов | 4 часа |

Фотопленка адаптируется к окружающей температуре в пределах от 1 до 3 минут.

Неравномерность свойств фотопленок вХи Yнаправлениях

Основы фотопленок изготавливают поливом на движущуюся ленту. Поэтому их свойства должны быть неодинаковыми вдоль и поперек полива. В последующем пленка подвергается всевозможным обработкам, чтобы предотвратить эту анизотропность. Совершенно идеальная основа фотопленки будет иметь идентичные свойства в X, Y, и диагональных направлениях в пределах всего листа. Тем не менее, большие листы фотопленки могут иметь различные изменения размеров в X и Y направлениях, с разницей в пределах ±10%.

Гистерезис

Гистерезис – это необратимое изменение размера фотопленки при изменении относительной влажности окружающей среды, зависящий и от направления изменения влажности. Этот эффект означает, что фотопленка не будет полностью возвращаться к первоначальному размеру, и это зависит от того, как изменяется относительная влажность (увеличивается или понижается).

Эффект гистерезиса для современных типов фотопленок на толстой полиэфирной основе мало заметен: меньше чем 10% любого изменения размера. Для новых типов фотопленок эффект гистерезиса ешё меньше и поэтому практически не учитывается.

Подготовка фотошаблонов к работе

Обшие рекомендации: пленочные фотошаблоны должны быть выдержаны от 4 до 7 часов в условиях рабочего помещения (т.е. рядом с установкой контактной печати или фотоплоттером).

Необходимо поддерживать постоянную температуру (±ГС) и влажность (55+5%) во всех помещениях, где используются фотошаблоны.

Фотопленка должна быть предварительно адаптирована к условиям её эксплуатации (режимам работы) в течение, по крайней мере, 4 часов (адаптация по влажности на 90%) или 7 часов (99%).

Необходимо стандартизировать температуру сушки фотопленки в проявочной машине в зависимости от влажности в помещении. Более точная температура сушки должна быть установлена опытным путем.

Целесообразно определить время адаптации фотопленки после её обработки в проявочной машине, измеряя через 5-минутные интервалы размер между реперными точками до момента его стабилизации.

Создание условий вакуумной гигиены в рабочих помещениях – «чистые» комнаты

Дверь в помещение, предусмотренное для работы с фотопленкой, должна плотно закрываться и, по возможности, иметь снаружи «темный» тамбур. Светофильтр для неактиничного освещения должен быть корректно выбран и установлен в соответствие с документацией на используемую фотопленку. Необходимо контролировать помещение на содержание пыли и периодически делать «влажную» уборку.

На поверхностях стоек и полок, предназначенных для работы с фотопленкой, должны быть устранены любые заусенцы и неровности, которые могли бы поцарапать эмульсию фотопленки.

Пакет фотопленки (обычно 100 листов) может требовать сотен часов для полной релаксации к климатическим условиям «чистой» комнаты. Практически невозможно достичь необходимого результата, оставив фотопленку в пакете. Поэтому перед использованием необходимо разделить общий пакет фотопленки на отдельные листы для достижения скорейшей релаксации размеров фотопленок к влажности в помещении.

Пример расчета изменения размеров фотопленки

Коэффициент изменения размеров от изменения влажности: 0,0009% на 1% относительной влажности.

Температурный коэффициент: 0,0018% на ГС.

Изменение размера = Первоначальный размерх (0,0009/Ю0) х изменение влажности в% + Первоначальный размер х (0,0018/100) х изменение температуры в °С

Пример №1

Размер фотопленки: 500 мм

Изменение влажности в%: увеличение на 4%

Изменение температуры в «С: уменьшение на 2 °С

Изменение размера = (500 ммхО, 0009/100 х4) +

+ (500 мм х0,0018/100 х (– 2))= 0,018 мм + (-0.018 мм) =

= 0 (без изменения)

Пример №2

Размер фотопленки: 500 мм Изменение влажности в%: увеличение на 4% Изменение температуры в °С: увеличение на 2 °С Изменение размера = (500 мм хО.0009/100x4) + (500 мм х х 0,0018/100 х 2)= 0,018 мм + 0,018 мм = 0.036 мм

Фотостекла

Основы из стекла не подвержены влиянию влажности. Стабильность их размеров зависит только от изменений температуры, но и при этом их температурный коэффициент расширения гораздо меньше, чем у других материалов:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Температурный коэффициент, % на 1 °С | Коэффициент измененияот влажности, % на 1% ОВ |
| Кварц | 0,00005 | 0 |
| Стекло | 0,00080 | 0 |
| Полиэфирная пленка («Майлар») | 0,00180 | 0,0009 |
| Триацетатцеллюлозная пленка 0,00270 | 0,0023 |
| Полихлорвиниловая пленка («Астралон») | 0,00650 | 0,0018 |

Примеси оксидов железа, неизбежно присутствующие в стекле, делают его непрозрачным в ультрафиолетовой области спектра, в которой должны работать фотошаблоны. Высокой прозрачностью для ультрафиолетовых лучей обладают кварцевое стекло, а также специальные увиолевые стекла на основе **В2О5,** Р2О5.

Стеклянные фотошаблоны должны обладать хорошей плоскостностью, поэтому стеклянные пластины после отливки шлифуют и полируют. Чтобы придать им прочность их делают относительно толстыми (до 6 мм). От этого они становятся тяжелыми и неудобными для ручной загрузки светокопировальных рам.

При использовании системы совмещения типа PIN-LAM в стекле высверливались окна для размещения в них втулок. Во втулках с большой точностью по диаметру и межцентровым расстояниям высверливались отверстия для входа штифтов системы базирования. Большие технические трудности представляло совмещение системы координат координатографа и сформированной на стекле системы баз. При использовании системы MASS-LAM необходимость в базовых отверстиях отсутствует. И это открывает прямую дорогу к использованию стеклянных фотошаблонов. Остается еще одна проблема: стеклянные фотошаблоны могут изготавливаться только на координатографах (низкая производительность) или планшетных фотоплоттерах (дорогое оборудование). Но если и эта проблема будет преодолена, стеклянные фотошаблоны станут преобладающим носителем топологии при изготовлении плат по высоким проектным нормам.

2. Принципы прорисовки фотошаблонов

2.1 Методы ручной работы

Конечно, эти методы относятся к истории, но чтобы понять значительность достижений последнего времени, стоит хотя бы перечислить методы ручного изготовления фотооригиналов, из которых потом методом репродукции изготавливались рабочие фотошаблоны.

Вычерчивание

Автор еще застал этот метод, по которому большие коллективы работниц, получившие хорошие навыки в картографии, вычерчивали на ватмане гуашью топологию печатных плат. В основном использовались следующие средства работы:

* вручную – с помощью простых чертежных документов и приспособлений, на основе с предварительно нанесенной координатной сеткой, с помощью точных шаблонов;
* вычерчивание на координатографе, управляемом вручную.

Применение координатографов, которые с давних пор использовались в картографии, намного увеличило точность изготовления фотооригиналов.

Метод аппликации примагничивающимися элементами

На стальную пластину, выкрашенную в белый цвет, укладывали шаблоны элементов рисунка, изготовленные из магнитной резины. Для точного позиционирования элементов пластина имела отверстия, высверленные с большой точностью на координатно-свер-лильном станке. Для упрощения работы оператора на стальную пластину проецировали эскиз печатной платы, предварительно нарисованный на миллимитровке.

Аппликация липкой лентой

В этом случае рисунок печатной платы выполняется цветной липкой лентой. Элементы рисунка наклеиваются непосредственно на безусадочную основу с нанесенной координатной сеткой. Наклеиванием липкой лентой получали рисунок с хорошей резкостью контуров. При изготовлении фотошаблонов двусторонних печатных плат для одной стороны платы использовали один цвет (например, красный), для обратной – другой (например, синий). При репродукции через соответствующие светофильтры получали комплект из двух фотошаблонов. Этот же метод использовали для нанесения рисунка непосредственно на фольгу диэлектрика для защиты от травления.

Целый ряд фирм специализировался на производстве и поставках наборов для аппликации. В последующие времена они пользовались большим успехом в лабораторной практике.

Метод скрайбирования двухслойной пленки

Основу этого метода создает двухслойная пленка. Базовый слой – безусадочная синтетическая пленка или стекло. Покровный слой – полупрозрачная пленка красного цвета, которая при репродукции воспроизводится в черном цвете. Для изготовления оригинала специальным резцом вырезается по контуру и отделяется от основания пленка покровного материала. Этот метод чаше использовался в изготовлении фотооригиналов для изготовления микросхем и оттуда временно перешел в производство печатных плат. Метод отличался высокой точностью воспроизведения рисунка.

Резание по эмали

Полированное стекло покрывается непрозрачным слоем эмали. Вырезание рисунка производится на точном координатографе с ручным приводом головки. Расстановка контактных площадок производится оператором по таблице координат с точностью ±(0,2…0,5) мм. При репродукции с уменьшением обеспечивается точность позиционирования не хуже ±10 мкм.

2.2 Автоматические методы изготовления фотошаблонов

Установились два принципа прорисовки рисунка печатной платы: векторный и растровый. И хотя в последнее время предпочтение отлается растровому методу, используемому в фотоплоттерах, необходимо хотя бы упомянуть и векторный метод, занявший значительный период развития технологий печатных плат.

Векторный метод вычерчивания изображений

Машины, в которых используются векторные принципы прочерчивания рисунка на координатных столах, принято называть координатографами. На одних из них работы могут выполняться вручную (см. п.п. 4.2.1.4 и 4.2.1.5), на других – в автоматических режимах. В автоматических координатографах в большинстве случаев для прорисовки фотошаблонов используется световой луч, экспонирующий фотоматериал. Для формирования светового пятна заданной формы используются соответствующие апертуры, которые размещаются на стеклянной планке или диске. При прорисовке программно управляемый механизм выставляет необходимую в данном случае апертуру: контактную площадку той или другой формы, круговое или квадратное пятно определенного диаметра для прорисовки проводников и т.д. (рис. 4.7).

Большая часть времени работы координатографа занимает прорисовка проводников. Для этого координатный стол с управляемым приводом движется в системе координат X-Y, включающийся при движении световой луч через апертуру засвечивает фотопленку (рис. 4.8). Скорость движения луча – порядка 0,2 м/с, скорость смены апертуры (символов) – 0,5 с. Однако на самом деле время прорисовки определяется ускорением разгона и замедления координатного стола. А это зависит от мощности привода. Реально средняя скорость перемещения луча при прорисовке проводников – 0,1 м/ с. При экспонировании контактных площадок стол постоянно работает в режиме «старт-стоп», т.е. он вынужден разгоняться и при подходе к позиции контактной площадки замедляться. В общей сложности на пропечатку контактных площадок уходит порядка по 2 с на позицию. Если учесть, что суммарная длина проводников в МПП средней сложности составляет 100 м, а число контактных площадок примерно 1000, и они повторяют слоях и на противоположном наружном слое, чистое время прорисовки проводников не может быть меньше одного часа. Если учесть еще и время смены заданий при переходе от одного слоя к другому, общее время изготовления комплекта фотошаблонов МПП на координатографе превышает два часа.

Поскольку движение стола полностью соответствует направлениям проводников, такой принцип прорисовки называют векторным.

Погрешности прорисовки фотошаблонов на координатографах складываются из погрешностей позиционирования координатного стола и погрешностей позиционирования световых пятен от апертур на планках или дисках. Когда эти погрешности сведены к минимуму, можно ожидать погрешности координатографов в пределах ± Ю…\2 мкм.

Наборный принцип

Фотонаборные автоматы (ФНА) – это поколение высокопроизводительных среднеформатных фотовыводных устройств. Они работают по принципу поочередной фотопечати элементов рисунка. Они также как и в фотокоординатографах имеют источник света и апертуры, соответствующие различным элементам рисунка. На рис. 4.9 показан принцип действия фотонаборного автомата применительно к полиграфическому производству, где они активно используются. На рисунке показано для примера воспроизведение символа «Н», но им может быть любой элемент рисунка печатной платы. Время смены символов порядка 0,1…0,2 с. Поскольку наборный принцип означает поочередное экспонирование элементов рисунка, то проводник прорисовывается как последовательность пошаговых экспонирований элементов проводника. Поэтому производительность фотонаборных автоматов при изготовлении фотошаблонов печатных плат очень низка.

Фотонаборные автоматы плохо приспосабливаются к производству фотошаблонов. Тем не менее, их применение в производстве печатных плат не исключено.

Растровый принцип

По способу печати растровые графопостроители подразделяются на:

* электростатические графопостроители (electrostatic plotter) с электростатическим принципом воспроизведения изображения на специальных носителях;
* струйные графопостроители (ink-jet plotter), основанными на принципе струйной печати (выдавливании красящего вещества через сопла форсунок за счет термоудара или динамического удара пьезоэлементом);
* лазерные графопостроители (laser plotter), воспроизводящие изображение с использованием луча лазера на промежуточном носителе с последующим переносом на бумагу;
* светодиодные графопостроители (LED-plotter), отличающиеся от лазерных способом формирования изображения для переноса его с барабана на бумагу;
* термические графопостроители (thermal plotter);
* фотоплоттеры (photo plotter) с фиксацией изображения на светочувствительном материале.

Мы будем рассматривать растровые фотоплоттеры применительно к процессам фотолитографии, используемым в технологиях печатных плат.

Растровый принцип формирования изображений полностью подобен воспроизведению рисунка на экранах мониторов: телевизоров, компьютеров и т.д. Построчно бегающий луч модулируется по яркости, поэтому на изображении появляются светлые и темные элементы.

Растровый метод записи изображений одинаково легко воспроизводит любые элементы рисунка: позитивные и негативные, прямые и зеркальные. Возможности проектирования печатных плат расширяется за счет простоты воспроизведения любых форм проводников и контактных площадок.

Построчная развертка луча может осуществляться либо за счет вращения барабана, на котором закреплена фотопленка, либо за счет вращения призмы с зеркалами, построчно, развертывающей луч на плоской поверхности, несущей фотоматериал. Поэтому фотоплоттеры могут быть двух типов: планшетные и барабанные.

Возможности использования растровых фотоплоттеров расширились с появлением лазерных источников света. Их большая энергетическая насыщенность (плотность энергии), возможность фокусировки луча в точечный размер и, главное, способность к высокоскоростному модулированию луча – все это создало условия для широкого распространения растрового принципа формирования изображений.

Размер фотошаблона определяется диаметром барабана, на котором закрепляется фотопленка и длиной пробега источника света по каретке вдоль направляюшей барабана. Чтобы фотопленка плотно прилегала к плоскости барабана, его снабжают перфорацией, с помощью которой осуществляется вакуумный прижим пленки.

В качестве источника света в фотоплоттерах могут использоваться лазерные и световые, например, ксеноновые лампы. У ксеноновых ламп спектр излучения шире, чем у монохромного лазера (рис. 10). Поэтому в них могут использоваться обычные фотоматериалы, сенсибилизированные к видимой части света. Ксеноновая лампа имеет большой срок эксплуатации (более десяти лет при круглосуточном использовании или 10» вспышек) и имеет максимальное излучение в диапазоне 400–560 нм (синий-голубой-зелёный спектр). Она излучает очень короткие (менее 3 микросекунд) и мощные импульсы света. Активная жидкокристаллическая матрица (LCD) модулирует свет вспышки согласно данным рисунка фотошаблона, которые покадрово на ней воспроизводятся при перемещении фотоголовки.

Для лазерных фотоплоттеров необходимо использовать фотоматериалы, имеющие максимальную чувствительность на длине излучения лазера: красный или зеленый или др. лазеры. Фотоматериалы с широкой спектральной чувствительностью малочувствительны в узкой полосе излучения лазера. Именно поэтому для лазерных фотоплоттеров используют специальные фотоматериалы, сенсибилизированные к соответствующей частоте (длине волны) излучения лазера.

Скорость прорисовки изображений на фотоплоттерах явно выше, чем при использовании других принципов. В первую очередь это обусловлено отсутствием режима «старт стоп». Это значит, что при движении луча ему нет необходимости останавливаться и разгоняться, прорисовка идет построчно с постоянно высокой скоростью. Сама скорость движения луча зависит от мощности источника света и чувствительности пленки. Производительность изготовления фотошаблона связана с заданной разрешающей способностью так, что чем она выше, тем тоньше линии, тем их больше, тем большим количеством строк формируется рисунок.

Принято считать, что минимальный размер светового пятна лазера примерно равен 3…5 длинам волн когерентного источника света. Значит, если красный лазер излучает свет с длиной волны 650 нм, с его использованием можно получить четкое световое пятно размером 2…3 мкм. Если требуется получать более четкое изображение, необходимо использовать лазерные источники света с меньшей длиной волны и соответствующие им фотоматериалы (см. табл. 4.11).

Четкость и равномерность края проводников непосредственно зависит от частоты строк растрового изображения (рис. 11). Волнистость края вертикального проводника – естественное явление для растра.

С увеличением разрешения производительность фотоплоттера падает так, как ему приходится воспроизводить рисунок большим количеством строк. Для примера в табл. 3 показана производительность фотоплоттеров с ксеноновой лампой.

Для увеличения производительности луч источника света расщепляют и модулируют каждый из них индивидуально. Известны конструкции фотоплоттеров, в которых расщепление осуществляется на восемь лучей.

Возгонка масочного покрытия

Вместо фотоматериалов можно использовать прозрачные полиэфирные пленки с тонким (5 мкм) непрозрачным масочным покрытием. Для записи изображения на таких пленках используют ИК-лазер, например, волоконный лазер с активной средой на основе иттербия. Масочное покрытие в зоне облучения лазерным лучом сублимирует и удаляется в систему отсоса. Работа с такой пленкой не требует затемнения и мокрой обработки для проявления и фиксации. Фотошаблоны по этому методу получаются высококонтрастными с большой оптической плотностью (4,5 Dlog) и резкостью края. Плоттеры для работы с масочным покрытием удобно использовать непосредственно рядом с местом проектирования, получая возможность сверять задуманные проекты с полученными фотошаблонами. Отсутствие мокрых процессов позволяет избежать изменения размеров основы фотошаблонов за счет набухания и гистерезиса изменения размеров.

Примером конструкции плоттера для «сухой» технологии изготовления шаблонов – отечественный плоттер LaserGraver, позволяющий производить запись шаблонов с разрешением до 10160 dpi (размер пикселя 2,5 мкм). Многолетний опыт работы авторов технологии LaserGraver привел их к наиболее оптимальному решению – использованию волоконного лазера с полупроводниковой накачкой (рис. 4.12). Он не требует водяного охлаждения, не имеет изнашиваемых компонентов и обладает рекордным КПД.

Продолжением технологии LaserGraver должно явиться непосредственное формирование рисунка на масочном покрытии заготовки печатной платы, минуя фотошаблоны и фоторезисты.