

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОТОШАБЛОНОВ

*Анастасия Вадимовна Лысенко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (996)380-08-95, e-mail: nastushae@mail.ru

*Дмитрий Михайлович Никулин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (923)240-44-45, e-mail: dimflint@mail.ru

В статье рассматриваются основные этапы маршрута изготовления фотошаблонов, в процессе которых образуются дефекты. Приведены основные дефекты и возможные причины их появления. Рассмотрен способ исправления дефектов в виде «проколов» и «недоразвития» лазерным методом. Приведены недостатки лазерного метода при исправлении элементов топологического рисунка фотошаблонов.

**Ключевые слова:** фотошаблоны, фотолитография, микроэлектроника

## OCCURRENCE OF DEFECTS THE PRODUCTION OF MASKS

*Anastasiya V. Iisenko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (996)380-08-95, e-mail: nastushae@mail.ru

*Dmitry M. Nikulin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (923)240-44-45, e-mail: dimflint@mail.ru

The article discusses the main stages of the route for the production of masks, during which defects are formed. The main defects and possible reasons for their appearance are given. A method of correcting defects in the form of punctures and undergrowth by the laser method is considered. The disadvantages of the laser method in correcting the elements of the topological pattern of masks are presented.

**Keywords:** masks, photolithography, microelectronics

### *Введение*

Производство интегральной микросхемы является долгим и сложным процессом. Чтобы сделать простенькую схему, одна полупроводниковая пластина проходит около десятка основных операций. Одна из операций, помимо нанесения различных плёнок, является фотолитография [2]. Различают контактный, бесконтактный и проекционный способы фотолитографии. Все эти виды литографии объединяет один оптический инструмент – фотошаблон.

Качество фотошаблонов отвечает за технико-экономические показатели всего производства интегральных микросхем. Этими показателями являются: минимальные размеры элементов, их точность и воспроизводимость; конечная стоимость изделий, выраженная через трудоёмкость и стоимость их проектирования, стоимость изготовления и процента выхода годных интегральных микросхем.

Целью работы является проанализировать маршрут изготовления фотошаблонов, основные дефекты, которые появляются по мере его изготовления, и способы исправления дефектов элементов топологического рисунка.

### *Маршрут изготовления фотошаблонов*

Производство фотошаблона начинается с изготовления стеклянных пластин. В качестве исходного материала используют оптическое боросиликатное стекло марки К8 [6]. После варки стекло формируют для придания ему определенной формы и размеров. В качестве подложек для фотошаблонов используют обычно пластины квадратной формы следующих размеров, мм: 76x76x3, 102x102x3, 127x127x3.

Далее следует нанесение плёнки маскирующего покрытия. Материалом плёнок обычно выступают хром и оксид железа. Перед нанесением покрытия металла стеклянная пластина проходит химическую очистку и промывку в деионизованной воде. Слой металла наносят, используя следующие методы: вакуумная металлизация, метод термического испарения или катодного распыления, химический метод осаждения плёнок.

Заканчивают изготовление заготовки для фотошаблона нанесением слоя фоторезиста. Наносят его следующими способами: распыление, вытягивание, заливка, накатка и центрифугирование. После нанесения следует сушка при температурах 80–100 °С в течение 10–30 минут.

Так как фотошаблоны бывают нескольких видов (промежуточные, проекционные, эталонные и рабочие), то формирование рисунка топологии на поверхности заготовки тоже имеют отличия. Для промежуточных и проекционных шаблонов, преимущественно с хромовым покрытием, формирование изображения проводят с помощью лазерных генераторов изображения [1, 10]. Эталонные и рабочие фотошаблоны, преимущественно с покрытием окиси железа, используют вторичную съёмку с окончательным уменьшением и мультиплицированием изображения, установка – фотоповторитель [4]. Так же на предприятиях могут использовать устаревший способ контактной печати, для которой и делают эталонные шаблоны.

Химическая обработка проходит в три этапа: проявление, травление и снятие слоя фоторезиста. При проявлении используют два способа: погружение в раствор и центрифугирование. Наиболее распространенные составы проявителей: 2 % водный раствор  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$  и 0,7 % водный раствор  $KOH$ . Травление металлических плёнок чаще всего проводится в растворе. Такое травление является изотропным, т. е. травление по всем направлениям идет с примерно одина-

ковой скоростью. Плёнки хрома травят в растворе серной, соляной или фосфорной кислоты, для плёнки окисла железа применяют раствор фосфорной кислоты или насыщенного раствора йодистого калия в 250 мл воды и 50 г хлорного железа в 750 мл воды, которые перед употреблением смешивают. При снятии фоторезиста необходимо учитывать марку фоторезиста, растворимость его в определенных растворителях, предыдущие операции (термообработки, напыление покрытий) и устойчивость материала подложки к растворителям. Основным технологическим приемом удаления пленки фоторезиста является обработка подложек в соответствующих растворителях. Наиболее легко растворяются пленки позитивных фоторезистов в ацетоне, диоксане, диметилформамиде и воднощелочных растворах.

Контроль фотошаблонов является весьма трудоёмкой и ответственной операцией. В неё входит: проверка геометрических размеров контролируемых элементов, контроль совмещаемости комплекта фотошаблонов, контроль рабочего поля шаблона, контроль топологического рисунка [4, 7].

### *Дефекты, возникающие в процессе изготовления фотошаблона*

Систематизировать частоту возникновения дефектов при изготовлении фотошаблонов, является трудоемкой задачей. Это зависит от многих факторов: комплекс используемого оборудования, класс чистых помещений [5], применяемые материалы, уровень квалификации персонала и т.д. В таблице приведены дефекты фотошаблонов при их изготовлении [4].

#### Дефекты, возникающие в процессе фотолитографии

Вид брака	Условия наблюдения, описание	Возможные причины
1. Подтравливание маскирующего слоя под плёнкой фоторезиста	Под микроскопом при увеличении 100X в проходящем свете наблюдается «ободок» (клин травления) под фоторезистивной плёнкой вследствие проникновения травителя	Проявитель слишком агрессивный: а) велика концентрация; б) реактив слишком активен; в) вязкость раствора; Травитель слишком агрессивный: а) высокая концентрация; б) реактив слишком активен.
2. Уменьшение размера элементов микроизображения	Под микроскопом в отражённом свете наблюдается рыхлый край фоторезиста, клин проявления, «ласточки хвосты» во внешних углах, закрытых фоторезистом элементов	Переэкспозиция. Плохой контакт (контактная фотолитография). Оптическая резкость не подобрана (проекторная фотолитография)

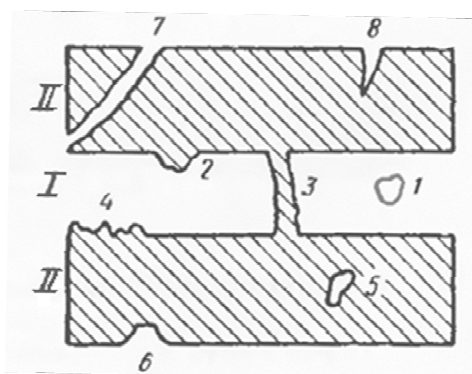
Продолжение таблицы

Вид брака	Условия наблюдения, описание	Возможные причины
3. Увеличение размеров элементов микроизображения	Кроме соответствующих результатов измерения под микроскопом могут наблюдаться увеличенные элементы в проявлении и моно-слое недопроявленного фоторезиста по краям	Мала экспозиция. Мала концентрация проявителя. Велика вязкость проявителя. Реактив малоактивен. Недостаточная оптическая резкость изображения (проекционная фотолитография)
4. «Нерезкость» изображения или неравномерные уходы размера по рабочему полю пластины	Одни и те же элементы в разных модулях выполнены с различной чёткостью или измерение размеров одного и того же элемента в разных модулях даёт неодинаковый результат	Пластины неплотно размещаются на посадочном месте (проекционная фотолитография). Неравномерная освещённость рабочего поля. Плохой контакт эталона с пластиной (контактная фотолитография). Неплоскостность поверхности превышает допустимое значение
5. Невытравленные точки	Островки невытравленного маскирующего слоя наблюдаются под микроскопом при увеличении 200X	Воздушные пузырьки, образующиеся при погружении пластины в раствор, как проявителя так и травителя, затрудняющие доступ этих растворов к плёнке фоторезиста или маскирующего слоя. Пылинки на промежуточном фотошаблоне и на оптических деталях фотоповторителя, экранирующих фоторезистивную плёнку от засветки (проекционная фотолитография). В контактной фотолитографии пылинки, вдавленные в фоторезистивную плёнку. В контактной фотолитографии пылинки, частицы фоторезиста, прилипшие к эталонному фотошаблону, при повторном экспанировании (без отмывки), экранируют участки фоторезистивной плёнки от засветки. Дефект «промежуточного» фотошаблона в проекционной фотолитографии. Дефекты оптической системы осветителя. Дефект эталонного фотошаблона в контактной фотолитографии. Жировые отпечатки пальцев и другие загрязнения; механические частицы в неотфильтрованных рабочих растворах

Вид брака	Условия наблюдения, описание	Возможные причины
6. «Вырывы», «отлипы»	Проколы часто крупные, почти всегда с остатками маскирующего слоя внутри (при контактной фотолитографии)	Слишком высокое давление в контактной рамке установки экспонирования. Пылинки, частицы фоторезиста прилипшие к эталонному фотошаблону при неоднократных контактных экспонированиях без отмывки, продавливают фоторезистовую плёнку
7. Неровный край элементов изображения	Там, где должна быть прямая линия, край элемента «пилообразный», волнистый и т.д.	Загрязнённый эталонный фотошаблон, особенно при отмывке салфетками, смоченным ацетоном или другим растворителем. Дефект эталонного фотошаблона. Дефект оптической системы осветителя. Перепроявление. Перетравливание
8. Растрескивание плёнки фоторезиста	Трещины по всей плёнке фоторезиста или трещины в углах элементов	Возникновение напряжений в высококонтрастной плёнке на основе резольных смол при проявлении в концентрированном проявителе
9. «Двойной» край элементов изображения	При контактной фотолитографии по фоторезисту параллельно истинному чёткому краю наблюдается проявленное изображение второй (часто штриховой) линии. При этом возможны «ласточки хвосты»	Оптическая плотность эталонного фотошаблона ниже 1,8 (при 400 нм), особенно критичны фотошаблоны с железистоокисным маскирующим покрытием. Переэкспозиция при работе с эталонным фотошаблоном малой оптической плотности
10. Несовместимость фотошаблонов в комплекте	Осевые линии X и Y фигур совмещения расходятся на величину более допустимой	Качество контрольного фотошаблона не соответствует оптимальным критериям. Установка совмещения имеет случайный собственный сдвиг по осям вследствие ремонта, наладки и т.д. Фотошаблоны одного комплекта изготовлены на машинах, имеющих различный сдвиг по осям x и y (ромбовидность)

На рисунке ниже показано схематическое изображение основных дефектов фотошаблона.

Рисунок иллюстрирует, что дефекты можно классифицировать на «недотравы», то есть дефекты на светлом поле (римская цифра I), и «проколы», дефекты на тёмном поле фотошаблона (римская цифра II).



Виды дефектов фотошаблона:

I – недотравы; II – проколы; 1 – тёмная точка; 2 – краевой выступ; 3 – перемычка (закоротка); 4 – неровность края; 5 – светлая точка; 6 – вырыв; 7 – разрыв; 8 – царапина

### ***Ретушь и корректировка топологии фотошаблона***

При изготовлении фотошаблонов большое значение имеет процент выхода годных фотошаблонов [9]. При обнаружении дефектов, они исправляются.

Самым простым и эффективным методом ретуши светлого поля фотошаблона является лазерный метод. Его суть заключается в наведении лазерного пучка на обрабатываемый дефект и его удаление методом лазерного разрушения [3, 4]. Локальные дефекты, если они достаточно большие и находятся на значительном расстоянии от элементов схемы, можно удалить вручную, используя травитель (преимущественно для проекционных фотошаблонов на основе хрома).

Для устранения дефектов типа «прокол» и «вырыв» можно использовать метод локального лазерного переноса вещества [8, 4].

Для бездефектного изготовления фотошаблонов применяются комплексы, в комплект которых входит лазерная система ремонта непрозрачных и прозрачных дефектов фотошаблонов. При всех преимуществах данного специального оборудования для устранения дефектов топологии, особенно при использовании технологии раздельного устранения прозрачных и непрозрачных дефектов, оно имеет ряд недостатков:

- дорогостоящее;
- вероятность повреждения стекла фотошаблонов;
- изменение размера элементов топологического рисунка при устранении непрозрачных дефектов в месте воздействия импульсным лазером;
- неконтролируемый процесс формирования «заплатки» нужного размера на прозрачный дефект;
- трудность в распознавании на фотошаблоне дефектов от инородных частиц (пыль);
- несовершенная методика настройки комплекса оборудования.

## *Заключение*

Анализ маршрута изготовления фотошаблонов показывает, что на современном уровне технологий возникновение дефектов является неизбежным. Для повышения выхода годной продукции необходимым является процедура исправления дефектов. Наиболее эффективным методом исправления дефектов в виде элементов топологического рисунка является лазерный метод. Исследования, направленные на совершенствование лазерного метода, являются актуальными. Планируется проведение исследования лазерного метода на примере установки лазерного устранения дефектов промежуточных шаблонов ЭМ – 5001Б.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аваков С., Пушкин Л., Русецкий В., Трапашко Г., Юдицкий В. Лазерное оборудование для изготовления фотошаблонов [Электронный ресурс]: Журнал: электроника: наука, технология, бизнес, 2010. – № 3 (101). – С. 26–31. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16535245> / (дата обращения: 30.04.2021).
2. Б. А. Лапшинов. Технология литографических процессов [Текст]: Лапшинов Б.А. Л 24 Технология литографических процессов: учеб. пособие. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2011. – 95 с.
3. В. П. Вейко. Лазерные микро– и нанотехнологии в микроэлектронике [Текст]: Вейко В.П. «Лазерные микро– и нанотехнологии в микроэлектронике»: опорный конспект лекций. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 141 с.
4. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств [Текст]: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
5. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Межгосударственный стандарт. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1–7. М.: Изд-во стандартов, 2003.
6. ГОСТ 3514-94 Стекло оптическое бесцветное. Технические условия [Текст]: межгосударственный стандарт. – Введён 01-01-1997. Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 20 декабря 1995 г. – 39 с.
7. Кручинин Д. Ю., Фарафонтова Е. П. Фотолитографические технологии в производстве оптических деталей [Текст]: Кручинин, Д. Ю. Фотолитографические технологии в производстве оптических деталей: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 51 с.
8. Пат. RU 80284 U1 Российская Федерация, МПК: H01L 21/027; Устройство для устранения дефектов фотошаблона [Текст] / Овчинников В. А., Беспалов В. А., Рыгалин Д. Б., Лышенко А. В., Зайченко С. Е.; патентообладатели Открытое акционерное общество "Зеленоградский инновационно-технологический центр" (ОАО "ЗИТЦ"). – 2008126416/22; заявл. 01.07.2008; опубл. 27.01.2009. – 5 с.: ил.
9. Русецкий, В.А. Технология изготовления фотошаблонов, основанная на оперативном моделировании параметризованных процессов фотолитографии [Текст] // Наука и техника, 2013. – № 4. – С. 43-48.
10. Стецик, В. М. Основы оптических технологий в микроэлектронике [Электронный ресурс]: Стецик, В. М. Основы оптических технологий в микроэлектронике: учеб. материалы / В. М. Стецик; БГУ, Факультет радиофизики и компьютерных технологий. – URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/7660> (дата обращения: 30.04.2021).

© А. В. Лысенко, Д. М. Никулин, 2021