

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОТОШАБЛОНОВ

Тумилович В.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к. т. н. доцент, доцент кафедры ПИКС, Юдицкий В. А. – главный специалист-начальник лаборатории ОАО «Планар»

Аннотация. В статье анализируются ключевые этапы процесса производства фотошаблонов, в ходе которых возникают дефекты. Описаны основные виды дефектов и возможные причины их возникновения. Рассматривается метод исправления дефектов с использованием лазера. Также указаны недостатки лазерного метода при коррекции элементов топологического рисунка фотошаблонов.

Ключевые слова: дефект; шаблон; фотошаблон; микроэлектроника; методика; метод; электроника; вырыв; топология; исследования.

Введение. Изготовление интегральной микросхемы представляет собой длительный и трудоемкий процесс. Для создания даже простой схемы одна полупроводниковая пластина проходит примерно десять ключевых этапов. Одной из таких операций, помимо нанесения различных пленок, является фотолитография. Все эти виды литографии объединяет один оптический инструмент – фотошаблон. Фотошаблоном называют плоскую прозрачную пластину, на которой изображен узор, состоящий из комбинации прозрачных и непрозрачных для света определенной длины волны участков, формирующих топологию устройства или группы повторяющихся элементов в пределах рабочего поля пластины [2]. Качество фотошаблонов влияет на технико-экономические характеристики всего процесса производства интегральных микросхем. К таким характеристикам относятся: минимальные размеры компонентов, их точность и воспроизводимость; конечная стоимость продукции, определяемая трудозатратами и затратами на проектирование, а также стоимость производства и процент годных интегральных микросхем.

Целью работы является анализ маршрута изготовления фотошаблонов, их основные дефекты, которые появляются по мере изготовления, а также способы исправления дефектов элементов топологического рисунка.

Основная часть. Производство фотошаблонов начинается с изготовления стеклянных пластин. В качестве исходного материала используется оптическое боросиликатное стекло.

После плавления стекло формуется, чтобы придать ему определенную форму и размер. В качестве подложек для фотомасок обычно используются квадратные пластины следующих размеров, мм: 76x76x3, 102x102x3, 127x127x3 [3].

Затем осуществляется нанесение маскирующего покрытия. В качестве материала для пленок обычно используются хром и оксид железа. Перед нанесением металлического слоя стеклянная пластина подвергается химической очистке и промывке в деионизированной воде. Металлический слой наносят с помощью следующих методов: вакуумная металлизация, термическое испарение или катодное распыление, а также химическое осаждение пленок.

Завершают процесс создания заготовки для фотошаблона нанесением слоя фоточувствительного материала. Его наносят различными методами: распылением, вытягиванием, заливкой, накаткой и центрифугированием. После нанесения необходимо провести сушку при температурах 80-100 °С в течение 10-30 минут.

Поскольку фотошаблоны бывают нескольких типов (промежуточные, проекционные, эталонные и рабочие), формирование топологического рисунка на поверхности заготовки также различается. Для промежуточных и проекционных рисунков, преимущественно хромированных, формирование изображения осуществляется с использованием лазерных генераторов изображений [4,7]. Эталонные и рабочие фотошаблоны, в основном с покрытием из оксида железа, используют вторичную съемку с окончательным уменьшением и увеличением изображения, установка – фотоповторитель. Химическая обработка проходит в три этапа: проявление, травление и снятие слоя фоторезиста. При проявлении используют два способа: погружение в раствор и центрифугирование.

Основным технологическим методом удаления пленки фотопластика является обработка подложек в соответствующих растворителях. Пленки положительных фотопластиков легче всего растворяются в ацетоне, диизопропиловом эфире, диметилформамиде и водных щелочных растворах.

Проверка фотошаблонов представляет собой достаточно сложную и важную процедуру. Она включает в себя: измерение геометрических параметров проверяемых элементов, оценку совместимости комплектов фотошаблонов, анализ рабочего поля шаблона и проверку топологического рисунка.

Дефекты, возникающие в фотошаблонах:

Существуют различные виды дефектов фотошаблонов. Они делятся на непрозрачные и прозрачные. Данные дефекты соответственно делятся на: дефекты формы, дефекты размера, дефект пропускания, дефект смещения, отсутствие непрозрачной топологии.

В настоящее время наблюдаются следующие трудности при устранении прозрачных дефектов:

1 Выбор материала осаждения, который соответствует типу подложки, и его адаптация для использования на всех типах подложек.

2 «Дополнение» топологии с высокой степенью точности (менее 50 нм) между элементами, расположенными близко друг к другу [5].

Непрозрачные дефекты корректируются путем испарения лишнего материала или дефектной зоны путем испарения (абляции) под воздействием импульсного лазера [8]. Он исправляет такие дефекты как: островок (1), краевой выступ (2), угловой выступ (3), непрозрачный мостик (4), увеличенный размер на непрозрачной топологии (5), уменьшенный размер на непрозрачной топологии (6), удлинение на непрозрачной топологии (7), усечение на непрозрачной топологии (8), смещение на непрозрачной топологии (9), дефект пропускания на прозрачной топологии (10), островок произвольной формы (11), смещение на непрозрачной топологии (12). На рисунке 1 ниже показано схематичное изображение непрозрачных дефектов фотошаблона.

А прозрачные дефекты корректируются ионно-лучевым травлением и лазерно-химическим осаждением материала на прозрачный дефект [6]. Он исправляет такие дефекты как: прокол (13), краевой вырыв (14), угловой вырыв (15), прозрачный мостик (16) увеличенный размер на прозрачной топологии (16), уменьшенный размер на прозрачной топологии (17), удлинение на прозрачной топологии (18), усечение на прозрачной топологии (19), смещение на прозрачной топологии (20), дефект пропускания на непрозрачной топологии (21), отсутствие прозрачной топологии (22), краевой выступ произвольной формы (23), непрозрачный мостик (24). На рисунке 2 ниже показано схематичное изображение прозрачных дефектов фотошаблона.

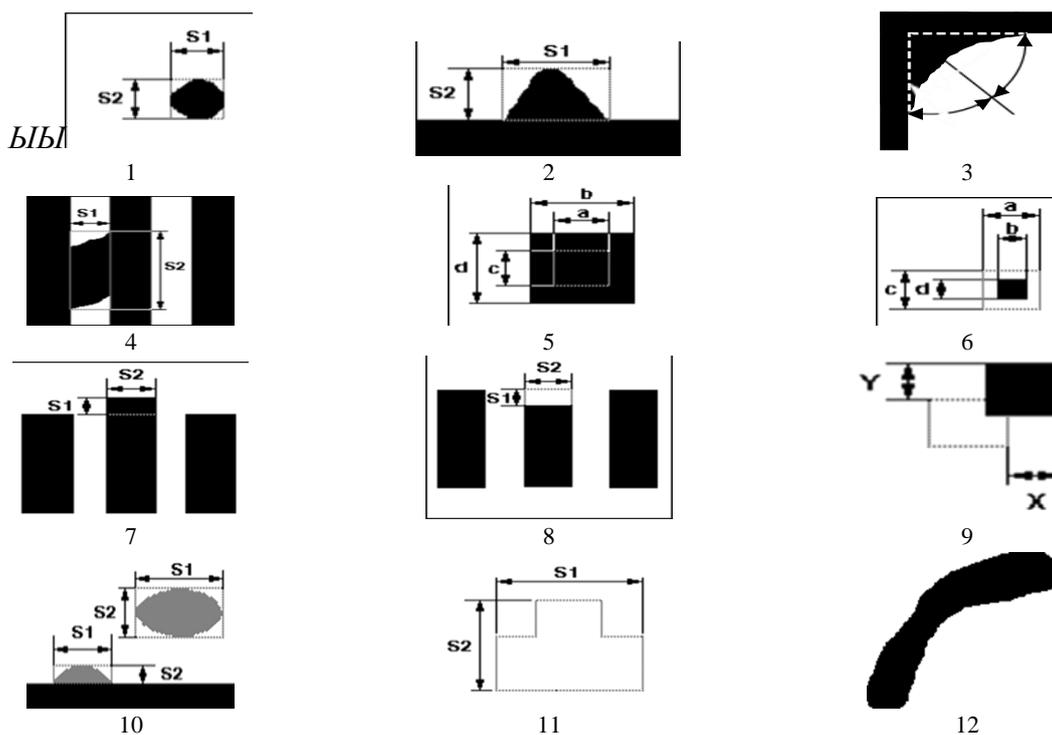


Рисунок 1 – Непрозрачные дефекты : краевой выступ (2), угловой выступ (3), непрозрачный мостик (4), увеличенный размер на непрозрачной топологии (5), уменьшенный размер на непрозрачной топологии (6), удлинение на непрозрачной топологии (7), усечение на непрозрачной топологии (8), смещение на непрозрачной топологии (9), дефект пропускания на прозрачной топологии (10) , островок произвольной формы (11), смещение на непрозрачной топологии (12)

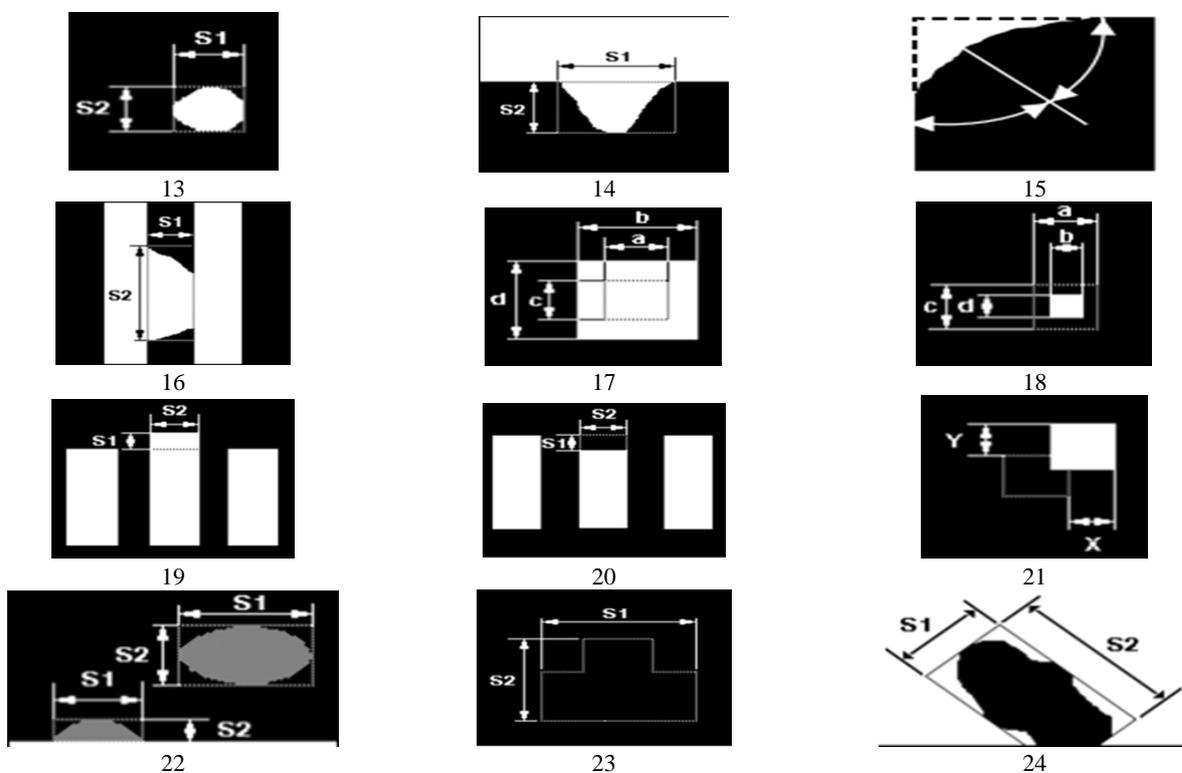


Рисунок 2 – Прозрачные дефекты: прокол (13), краевой вырыв (14), угловой вырыв (15), прозрачный мостик (16) увеличенный размер на прозрачной топологии (16), уменьшенный размер на прозрачной топологии (17), удлинение на прозрачной топологии (18), усечение на прозрачной топологии (19), смещение на прозрачной топологии (20), дефект пропускания на непрозрачной топологии (21), отсутствие прозрачной топологии (22), краевой выступ произвольной формы (23), непрозрачный мостик (24)

ОАО «Планар» предлагает оптимальное решение данной проблемы, применяя свои высокотехнологичные машины, которые гарантируют высокую степень надежности и точности на каждом этапе производственного цикла [9]. Производственный процесс начинается с начальной стадии, где закладываются основы изделия, и завершается на этапе коррекции дефектов, обеспечивая тем самым высокое качество и надежность конечного продукта (рисунок 3).



Рисунок 3 – Система производства фотошаблонов

Заключение. Анализ процесса производства фотошаблонов демонстрирует, что на современном этапе технологического развития появление дефектов является неизбежным. Для увеличения доли качественной продукции необходимо внедрение процедуры коррекции дефектов. Наиболее действенным способом устранения дефектов, проявляющихся в виде элементов топологического рисунка, является лазерный метод. Исследования, сосредоточенные на улучшении лазерного метода, остаются актуальными.

Список литературы

1. Лапинов, Б. А. Технология литографических процессов [Текст]: Лапинов Б.А. Л 24 Технология литографических процессов: учеб. пособие. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2011. – 87с.
2. Русецкий В.А. Технология изготовления фотошаблонов, основанная на оперативном моделировании параметризованных процессов фотолитографии [Текст] // Наука и техника, 2013. – № 4. – С. 43–48.
3. Карпович Р.А. Изготовление фотошаблонов для микроэлектроники / Сост. Р.А. Карпович. — Москва : Б. и., 1973. — 95 с.
4. Кручинин Д. Ю. Фарафонтва 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.
5. Стецки В. М. Основы оптических технологий в микроэлектронике [Электронный ресурс]: Стецки, В. М. Основы оптических технологий в микроэлектронике: учеб. материалы / В. М. Стецки; БГУ, Факультет радиофизики и компьютерных технологий. – <http://elib.bsu.by/handle/123456789/7660>.
6. Вейко В. П. Лазерные микро- и нанотехнологии в микроэлектронике [Текст]: Вейко В.П. «Лазерные микро- и нанотехнологии в микроэлектронике»: опорный конспект лекций. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 132 с.
7. Руководство по классификации дефектов фотошаблонов и определению размеров, 2020. – 2–7 с.
8. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Межгосударственный стандарт. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1–7. М.: Изд-во стандартов, 2003.
9. Готра З.Ю. Технология микронных устройств [Текст]: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 511 с.
10. Аваков С., Пушкин Л., Русецкий В., Трапанико Г., Юдицкий В. Лазерное оборудование для изготовления фотошаблонов [Электронный ресурс]: Журнал: электроника: наука, технология, бизнес, 2010. – № 3 (101). – С. 26–31. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=16535245>

UDC 621.3.10.33764

OCCURRENCE OF DEFECTS THE PRODUCTION OF MASKS

Tumilovich V.V

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Piskun G.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Yuditsky Valeryan Alexandrovich – The chief specialist of the laboratory Planar KBTEM

Annotation. The article analyzes the key stages of the photomask production process, during which defects occur. It describes the main types of defects and possible causes of their occurrence. The method of correcting defects using a laser is discussed. The drawbacks of the laser method for correcting elements of the photomask's topological pattern are also noted. Additionally, the article highlights the importance of minimizing defects at the design and production stages to achieve a quality result.

Keywords: Defect; template; photo template; microelectronics; methodology; method; electronics; breakout; topology; research.