

2.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ КОМПЛЕКТА ФОТОШАБЛОНОВ

Цель работы: Ознакомление с системой служебных элементов, сформированных на промежуточном фотошаблоне генератором изображений, предназначенных для обеспечения взаимной ориентации и совмещения топологических слоев при формировании структур полупроводниковой ИС.

Работа выполняется с комплектом ПФШ на инструментальном микроскопе, обеспечивающим точность линейных измерений не хуже ± 5 мкм.

Задание по лабораторной работе

Часть 1. В процессе выполнения работы студенты получают для работы комплект промежуточных фотооригиналов. Пользуясь микроскопом, на каждом стекле (шаблоне) они должны найти зоны, в которых располагаются метки базирования и совмещения. Отчет должен содержать эскиз этих меток. Также необходимо определить их линейные размеры и рассчитать величину угла возможного поворота (рассовмещения) комплекта шаблонов. Внутри поля кристалла необходимо найти метки совмещения, определить их тональности и линейные размеры – 3 часа.

Часть 2. Оформление отчета – 2 часа.

Теоретическая часть

В выполняемой лабораторной работе объектом исследования является комплект промежуточных фотошаблонов (ПФШ), которые используются в качестве инструмента формирования эпитаксиально-планарной структуры полупроводниковой ИС.

Каждый ПФШ содержит единичное изображение топологического слоя в увеличенном масштабе (обычно 10:1 или 5:1), которое формируется специализированной установкой, называемой «Генератор изображений».

В случае проекционного литографического процесса ПФШ непосредственно используют для экспонирования его рисунка на кремниевую пластину с помощью установки пошагового проекционного мультиплицирования обычно называемой «Степпер».

При контактном литографическом процессе ПФШ необходим для получения группового шаблона, который изготавливается на установке, называемой «Фотоповторитель», и в дальнейшем используется в самом процессе контактной литографии при переносе с него изображения непосредственно на кремниевую пластину.

В случае производства интегральных микросхем (ИС) малой и средней степени интеграции ПФШ может содержать не один, а прямоугольную группу

идентичных модулей (два, четыре, шесть и т.д.). При проекционной литографии это позволяет сократить время обработки кремниевой пластины, поскольку в этом случае производится экспонирование не одного, а сразу группы идентичных модулей. Количество модулей на ПФШ в этом случае ограничено допустимым размером рабочего поля (кадра) установки пошагового проекционного мультиплицирования.

И проекционный, и контактный литографический процессы требуют совмещения рисунка шаблона с рисунком на кремниевой пластине непосредственно перед выполнением экспонирования. Например, рисунок эмиттерного слоя шаблона должен быть достаточно точно ориентирован относительно рисунка слоя базы, уже сформированного на кремниевой пластине на предыдущем цикле литографического процесса.

Задача совмещения ПФШ с рисунком кремниевой пластины сводится к уменьшению погрешностей Δx и Δy (в плоскости кремниевой пластины) и $\Delta \varphi_z$ (разворота изображений вокруг оси z) и решается для каждой пластины в составе партии в каждом цикле литографической обработки, начиная со второго цикла, когда на пластине уже сформирован первый топологический слой.

Погрешность $\Delta \varphi_z$ сводится к минимуму за счет того, что оператор прецизионной литографии после первичной ориентации пластины стремится с помощью микроскопа совместить границы двух пар модулей, расположенных на краях пластины и фотошаблона (рис. 2.3.1). Существует, однако, погрешность $\Delta \varphi'_z$, которая возникает из-за непараллельности границы модуля на ПФШ направлению движения стола фотоповторителя при мультиплицировании (рис. 2.3.2). Эта погрешность неустранима при совмещении и поэтому сводится к минимуму при настройке оборудования, т.е. при юстировке положения ПФШ относительно координатного стола фотоповторителя до обработки партии кремниевых пластин. Для юстировки используют специальные знаки, которые формируются генератором изображений в единой системе с топологическим рисунком модуля ПФШ, но на достаточно большом расстоянии от модуля. При последующем мультиплицировании эти знаки оказываются вне рабочего поля объектива фотоповторителя. Используя перекрестие микроскопа, выверенное по направлению движения стола, с помощью юстировочных знаков добиваются значений $\Delta \varphi_z$ в пределах $\pm 10''$ (рис. 2.3.3), что практически не отражается на качестве последующего совмещения фотошаблона и кремниевой пластины.

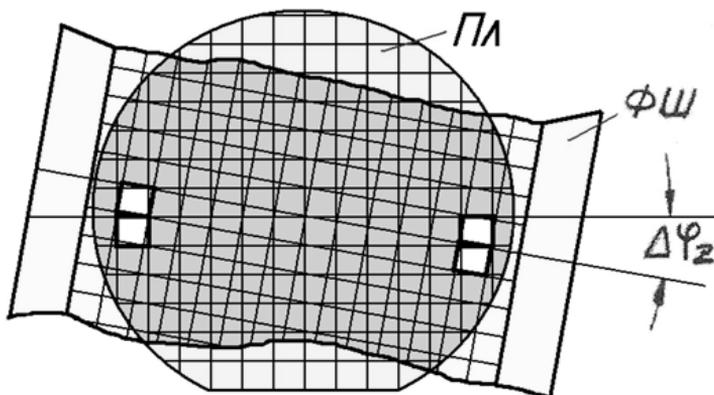


Рис. 2.3.1. Совмещение пластины и шаблона по краевым модулям

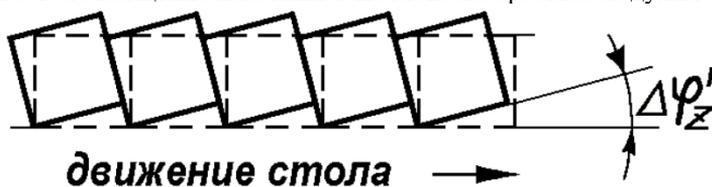


Рис. 2.3.2. Влияние непараллельности границы модуля на ПФШ направлению движения стола фотоповторителя

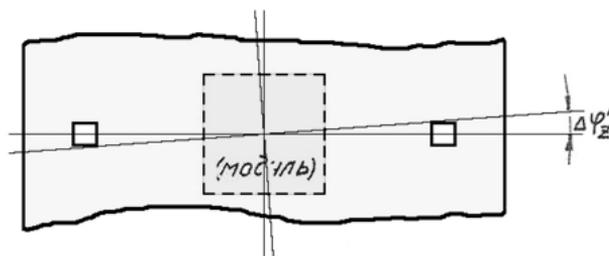


Рис. 2.3.3. Ориентация ПФШ по юстировочным модулям

Погрешности Δx и Δy сводятся к минимуму за счет того, что оператор с помощью микроскопа вводит один в другой знакисовмещения на фотошаблоне и на пластине, добываясь при этом наличия одинакового зазора между знаками по всему контуру (рис. 2.3.4).

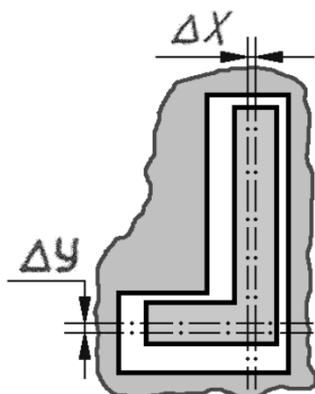


Рис. 2.3.4. Знаки совмещения на пластине (внутренний) и шаблоне (внешний)

Существуют, однако, не устранимые оператором погрешности $\Delta x'$ и $\Delta y'$, которые возникают из-за разброса значений шага перемещения стола при мультиплицировании (рис. 2.3.5). Эта погрешность сводится к минимуму с помощью прецизионных систем позиционирования на установках мультиплицирования (фотоповторителях). В результате современные фотоповторители обеспечивают точность шага в пределах $\pm 0,25$ мкм.

Обычно каждый шаблон комплекта (за исключением первого и последнего) содержит два знака совмещения: рабочий (непосредственно используемый для совмещения в данном литографическом цикле) и подготовительный (который переносится на кремниевую пластину и используется затем для совмещения в следующем литографическом цикле).

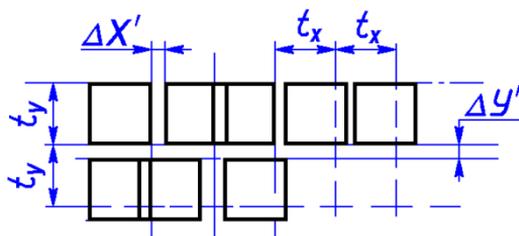


Рис. 2.3.5. Погрешности, возникающие из-за разброса шага перемещения стола фотоповторителя

Физический контур подготовительного знака, перенесенного с фотошаблона на пластину, может быть образован (в зависимости от конечной цели обработки) кромкой окисла, ступенькой окисла, кромкой металла или границами p - и n -областей. При этом обработка (диффузия, травление) может иметь место либо внутри знака, либо вне его. Последнее зависит от прозрачности или непрозрачности знака на шаблоне, а также от типа нанесенного на пластину резиста (позитивного или негативного).

Таким образом, за счет бокового подтравливания или боковой диффузии размеры знака на пластине изменяются в ту или другую сторону. Соответственно и зазор между знаками совмещения будет отличаться от того, который может быть вычислен по измерениям на шаблонах.

В ряде случаев тот или иной шаблон комплекта может содержать дополнительный (вспомогательный) знак совмещения (например, для предварительного грубого совмещения) или содержать один знак (вместо двух), который применяется для совмещения со старым, уже использованным знаком на пластине (когда не требуется высокая точность совмещения).

Порядок выполнения практической части

1. На любом ПФШ из комплекта необходимо найти котировочные знаки и составьте их эскиз.

2. Между котировочными знаками измеряются расстояние (с точностью не хуже ± 1 мм) и зазоры внутри знаков (с точностью не хуже ± 5 мкм).

3. Вычисляется предельную погрешность юстировки ПФШ (угловых секундах), пренебрегая шириной линий окулярного перекрестья.

4. В соответствии с последовательностью литографических операций находятся и зарисовываются знаки совмещения (рабочие и подготовительные).

5. Учитывая конечную цель каждой литографической операции, необходимо установить физический смысл контура знаков совмещения, перенесенных с шаблона на кремниевую пластину.

Результаты заносятся в таблицу, образец которой представлен ниже:

Номер ПФШ	Наименование слоя	Эскиз рабочего знака	Эскиз подготовительного знака	Чем образован контур подготовительного знака?	Размеры знака на ПФШ (увеличение (+) или уменьшение (-))
1.					
2.					
...					

6. По указанию преподавателя определяются размеры знаков совмещения для двух смежных ПФШ и зазор между ними.

7. По указанию преподавателя составьте эскиз общей топологии элемента ИС (транзистора или резистора), отметив на эскизеномера шаблонов, формирующих тот или иной его топологический слой.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Эскизы котиловочных знаков и знаков совмещения всех топологических слоев.
3. Таблица, составленная при выполнении п. 5.
4. Эскиз общей топологии элемента ИС, заданного преподавателем.
5. Необходимые пояснения к эскизам.
6. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принципиальное отличие фотошаблона, предназначенного для контактной печати на кремниевой пластине, от фотошаблона для проекционной печати?
2. Какие погрешности совмещения неустраняемы на операции совмещения? Каково их происхождение?
3. Фотошаблон содержит два знака совмещения. Как и когда каждый из них используется?
4. Каковы причины и характер изменения размеров подготовительного знака, перенесенного на кремниевую пластину? Приведите примеры.