

2.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. АНАЛИЗ СОСТАВА И РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БАЗОВОГО МАТРИЧНОГО КРИСТАЛЛА

Цель работы: Ознакомление с порядком размещения в БМК элементов различных типов, а также с особенностями структурно-технологического формирования транзисторов *n-p-n*- и *p-n-p*-типов проводимости в едином планарно-эпитаксиальном технологическом процессе с двумя скрытыми слоями.

Задание по лабораторной работе

Часть 1. Пользуясь микроскопом, студент должен выполнить эскиз одной четвертой поверхности кристалла полупроводниковой интегральной схемы и указать на нем, где на поверхности кристалла находятся транзисторы, диоды и резисторы, тем самым распознав их по конфигурации, которую эти элементы имеют на поверхности кристалла. – 2 часа.

Часть 2. Необходимо подсчитать, сколько на кристалле находится транзисторов, сколько из них *n-p-n*- а сколько *p-n-p*-типов, сколько из них представляют мощные структуры. Кроме того, необходимо найти на кристалле области, в которых расположены емкости и определить их число. Определить число контактных площадок кристалла. – 2 часа.

Часть 3. Оформление отчета. – 2 часа.

Теоретическая часть

Базовый матричный кристалл (сокращенно БМК) содержит универсальный набор нескоммутированных элементов (транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов) изготовленных по одной из интегральных технологий в групповой кремниевой пластине. Путем выбора необходимых элементов и организации между ними электрических связей БМК может быть преобразован в конкретную специализированную интегральную микросхему достаточно высокой степени интеграции. При необходимости соединения между элементами создают с помощью двух и более уровней металлизации.

Базовые матричные кристаллы появились в 70-х годах XX века и позволили существенно сократить время проектирования и изготовления, а также стоимость разработки новых интегральных микросхем, поскольку требовали для каждой проектируемой микросхемы изготовления шаблонов только коммутационных слоев. Кроме того, сокращение времени изготовления новой микросхемы достигалось и за счет того, что для ее производства можно было воспользоваться кремниевыми пластинами с уже заранее сформированными в ее объеме элементами, но без коммутационных слоев, и чтобы получить новую микросхему достаточно было сформировать

только ком-мутационные слои, а не проводить весь технологический процесс изготовления микросхемы с самого начала.

К недостаткам БМК следует отнести низкий процент использования заложенных в них элементов. В лучших специализированных микросхемах, разработанных на основе БМК, процент использования заложенных элементов не превышал 50-70%.

Размер кристалла – 3,0 x 2,3 мм. Элементы БМК скомпонованы в матрицы, расположенные симметрично относительно осей кристалла. Транзисторные матрицы содержат транзисторы p-p-n и p-n-p типов проводимости и разделены областями резисторов различных номиналов. Резисторы малых сопротивлений (30 ... 40 Ом) могут быть использованы в качестве пересечений при трассировке ортогональных проводников, что облегчает реализацию одноуровневой системы межсоединений.

Контакты к подложке p-типа (потенциал смещения) расположены по периферии кристалла, поэтому шина нулевого потенциала должна окружать кристалла полностью или частично¹. Это дает возможность избежать пересечений с трассами положительного потенциала питания.

По периферии кристалла между будущими монтажными площадками размещены транзисторы повышенной мощности и МОП-конденсаторы, вертикальный профиль физической структуры которых показан на рис. 2.1.1, а также высокоомные резисторы, к точности номиналов сопротивления которых не предъявляется повышенных требований. Последние выполнены в виде так называемых «пинч-резисторов», топология и вертикальный профиль физической структуры которого приведен на рис.2.2.2. Анализируемый БМК представляет собой тестовый кристалл, используемый для контроля электрических параметров избирательно легируемых областей, по результатам которого решается вопрос о необходимости коррекции технологических режимов процессов диффузии. Для этого в БМК сформирована шина нулевого потенциала, а у тестируемых транзисторов – выводы на периферийные контактные площадки.

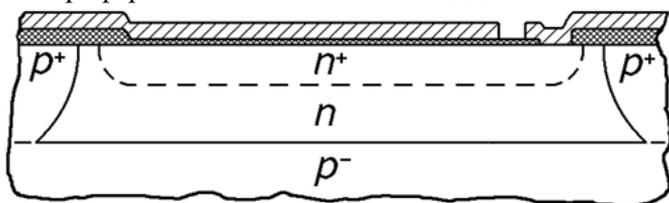


Рис. 2.2.1. Вертикальный профиль физической структуры МОП-конденсатора

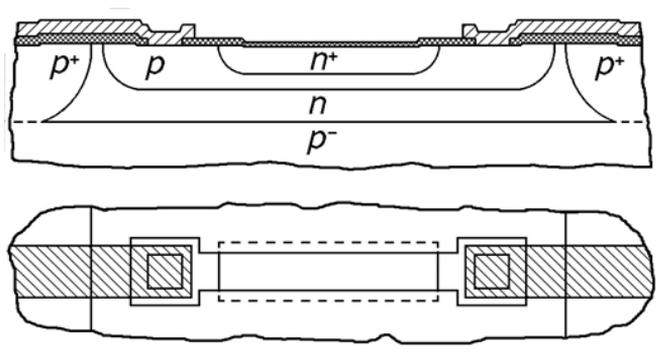


Рис. 2.2.2. Вертикальный профиль физической структуры «пинч-резистора»

Матрицы транзисторов включают в себя транзисторы как $n-p-n$, так и $p-n-p$ типов проводимости (всего БМК содержит 128 транзисторов). В поле резисторов размещены диодные структуры (4 шт.). Необходимо также помнить, что любой транзистор БМК можно преобразовать в диод, задействовав один из его $p-n$ -переходов и выполнив соответствующую коммутацию его областей.

Исследуемый БМК сформирован на основе планарно-эпитаксиальной технологии с двумя скрытыми слоями и так называемой «встречной» разделительной диффузией для изоляции элементов друг от друга обратнорасположенными $p-n$ -переходами. Использование встречной разделительной диффузии позволяет повысить плотность упаковки элементов на кристалле за счет сокращения расстояния от границ активных областей элементов до разделительных областей примерно в два раза. Последовательность формирования слоев транзисторных структур можно уяснить из рис. 2.2.3, в котором цифрами в кружках указаны номера этапов технологической обработки кремниевой пластины:

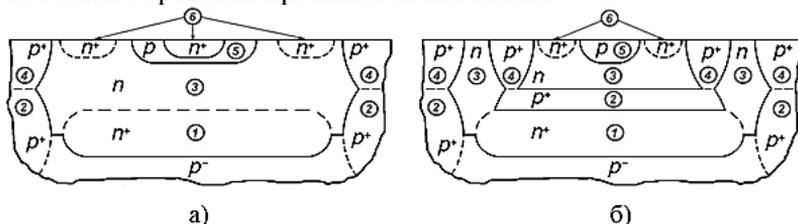


Рис. 2.2.3. Вертикальный профиль физической структуры $n-p-n$ (а) и $p-n-p$ (б) транзисторов

1. Формирование скрытых n^+ -областей с помощью процесса избирательной диффузии сурьмы. Выбор сурьмы в качестве легирующего элемента обусловлен малым значением коэффициента диффузии этой примеси в кремнии, что позволяет сохранить формируемый слой от

“размывания” при последующих высокотемпературных процессах эпитаксиального наращивания и избирательной диффузии.

2. Одновременное формирование скрытых p^+ -областей и области нижней разделительной p^+ -области с помощью процесса избирательной диффузии бора с концентрацией меньшей, чем концентрация сурьмы на предыдущем этапе (во избежание перекомпенсации n^+ -областей в формируемых вертикальных $p-n-p$ -транзисторах).

3. Наращивание сплошного эпитаксиального n -слоя.

4. Формирование коллекторов вертикальных $p-n-p$ -транзисторов и изолирующих карманов с помощью процесса избирательной диффузии бора. Смыкание верхней и нижней разделительных областей произойдет в результате последующих высокотемпературных процессов диффузии и окисления.

5. Одновременное формирование областей базы $n-p-n$ -транзисторов и эмиттера $p-n-p$ -транзисторов с помощью процесса избирательной диффузии бора.

6. Одновременное формирование n^+ -областей эмиттеров и приконтактных областей коллекторов $n-p-n$ -транзисторов, а также приконтактных областей баз $p-n-p$ -транзисторов с помощью процесса избирательной диффузии фосфора.

7. Формирование контактных окон к областям элементов БМК (на рис. 2.2.3 не показаны) в поверхностном слое двуокиси кремния, покрывающем всю поверхность кремниевой пластины, посредством последовательно выполняемых операций фотолитографии и травления окисного слоя (жидкостного или плазменного).

8. Напыление на поверхность пластины сплошного слоя алюминия и последующее выполнение операции фотолитографии по этому слою с целью создания проводящего рисунка межсоединений.

9. Формирование защитного слоя. В большинстве технологий в качестве материала защитного слоя используется двуокись кремния SiO_2 .

Одновременно с транзисторами формируются все прочие типы элементов (диоды, резисторы и конденсаторы), поскольку они имеют физическую структуру, подобную физической структуре транзисторов.

Порядок выполнения практической части

1. Полученный у преподавателя образец БМК (в кассете) устанавливается на подставку, обеспечивающую наклон плоскости поверхности кристалла к плоскости поверхности предметного столика микроскопа примерно на 30° . Подставка с кассетой устанавливается на предметный столик микроскопа.

2. После регулировки резкости микроскопа положение осветителя регулируется так, чтобы контрастно просматривались границы, разделяющие

области с различными уровнями легирования (эффект полного внутреннего отражения).

3. При перемещении тубуса микроскопа вверх-вниз зона резкости перемещается по поверхности кристалла, что позволяет последовательно просматривать всю его площадь, находящуюся в поле зрения объектива микроскопа. Поскольку БМК имеет две оси симметрии, достаточно изучить 1/4 часть площади поверхности кристалла.

4. На поверхности кристалла определяется положение матрицтранзисторов (нужно выделить в их составе *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторы), области резисторов, периферийных элементов (мощных транзисторов. МОП-конденсаторов. пинч-резисторов. областей под монтажные контактные площадки). Далее составляется схема размещения указанных элементов.

5. Создается эскиз топологий типовых элементов БМК, указанных в п. 4.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз схемы размещения на поверхности БМК матриц транзисторов, областей резисторов и периферийных элементов.
3. Эскизы вертикального профиля *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторов с нумерацией слоев в технологической последовательности их формирования.
4. Эскизы топологий типовых элементов БМК.
5. Необходимые пояснения к эскизам.
6. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается выигрыш при проектировании специализированных интегральных микросхем на основе БМК?
2. Какова технологическая последовательность формирования слоев в физической структуре БМК?
3. В чем выражается технологическая совместимость структур *n-p-n* и *p-n-p* транзисторов, а также структур резисторов и конденсаторов со структурами транзисторов?
4. По какому признаку можно различить на кристалле *n-p-n* и *p-n-p* транзисторы?
5. Почему контакты к областям мощных транзисторов БМК имеют «гребенчатую» структуру?
6. Какова физическая структура МОП-конденсатора?
7. Какова физическая структура «пинч-резистора»?

8. За счет чего достигаются большие номиналы сопротивлений в «пинч-резисторах», и какими причинами обусловлен большой разброс величины их сопротивления?

9. Внимательно рассмотрите физическую структуру элементов БМК. Объясните, почему поверхностный слой двуокиси кремния в них имеет различную толщину? Каким образом это обстоятельство проявляется на поверхности БМК?