

Варианты реализации дрейфовой области стока в мощных СВЧ LDMOS транзисторах

Представлен обзор основных особенностей конструктивно-технологического формирования дрейфовой области стока в мощных СВЧ LDMOS транзисторах. Рассмотрены варианты с однородным легированием дрейфовой области, двойная дрейфовая область, n-дрейфовая область и «инвертированная» дрейфовая область.

Ключевые слова: транзисторы, LDMOS, дрейфовая область стока, приборное моделирование.

Дискретные мощные ВЧ и СВЧ транзисторы применяются в усилительных трактах связанных и телевизионных радиопередатчиков, авиационной бортовой и наземной электронике, импульсных передатчиках радиолокационных систем, средствах РЭБ, радарх различного назначения, дальномерной аппаратуре и системах предотвращения столкновения самолетов TCAS. В настоящее время наиболее актуальной технологией создания мощных СВЧ кремниевых транзисторов является LDMOS технология в силу своих преимуществ. Возможность реализации более высоких по сравнению с биполярными транзисторами входных сопротивлений делает полевые транзисторы более универсальными при работе в широкой полосе частот и упрощает схемотехнические задачи сложения динамической мощности при построении многокаскадных усилителей. Транзисторы, изготовленные по LDMOS технологии, обладают наилучшими характеристиками по таким параметрам как коэффициент усиления по мощности КУР, коэффициент полезного действия КПДС, электрическая и тепловая стабильность, устойчивость к рассогласованию нагрузки, высокая линейность, уровень максимально допустимой рассеиваемой мощности и надёжность в диапазоне частот до 3 ГГц [1, 2].

Мощные СВЧ LDMOS транзисторы создаются на базе кремниевых эпитаксиальных структур с низкоомным базовым р-слоем и высокоомным (порядка нескольких десятков Ом на см) эпитаксиальным слоем, во многом определяющим максимально достижимое пробивное напряжение транзистора. Кроме этого в объеме кремния с помощью операций ионной имплантации формируются контактные n^+ области стока и истока, низколегированная n дрейфовая область стока (LDD), p -канальная область и глубокая p^+ область для вывода электрического контакта на нижнюю часть кристалла. На поверхности кремния формируется поликремневый затвор окруженный системой полевых электродов. Полевые электроды формируются по целому ряду причин: во-первых с их помощью можно значительно снизить емкость обратной связи транзистора (ценой значительного увеличения входной и незначительного увеличения выходной емкостей); во-вторых полевые электроды помогают получать большие пробивные напряжение сток-исток транзистора при неизменном сопротивлении путем перераспределения электрического поля в районе дрейфовой области стока и в-третьих способствуют снижению деградации параметров прибора из-за воздействия горячих носителей. В современных LDMOS транзисторах применяется 3-5 уровневая система металлизации для отвода широких токоведущих шин от активной структуры для уменьшения паразитных емкостей. В

истоковой области металлическая шина электрически соединяет n^+ и p^+ истоковые области для вывода истока транзистора на нижнюю часть кристалла. После завершения технологического цикла формирования транзисторной структуры полученные кремниевые пластины утоняют до толщины 120-170 мкм для снижения теплового и электрического сопротивления транзистора.

Без сомнения одной из наиболее важных областей транзистора, во-многом определяющей его параметры, является дрейфовая область стока. Оптимизации этой области в большинстве случаев задает соотношение между пробивным напряжением и сопротивлением сток-исток. Кроме того переход LDD-эпитаксиальный слой является наибольшей переменной частью выходной ёмкости транзистора, и из-за того, что LDD область вплотную прилегает к затвору транзистора, она также вносит вклад в проходную емкость. Введение в конструкцию транзистора полевого электрода может значительно изменять требуемые параметры LDD области, но не влияет на общие принципы ее формирования.

Основным способом формирования LDD области является описанная выше операция легирования n -примеси. Длина LDD области подбирается из необходимого пробивного напряжения сток-исток, так для напряжений пробоя 65-80 В характерные значения длины LDD составляют 2,5-4 мкм, для напряжений 100-120 В – 5,5-7 мкм, для напряжений 150-170 В – 8-9,5 мкм. Как показывают расчеты и практический опыт создания LDMOS транзисторов зависимость пробивного напряжения от уровня легирования LDD области имеет плавно возрастающий вид при низких значениях концентрации легирующей примеси и четко выраженный максимум, после которого начинается резкое падение пробивного напряжения при увеличении уровня легирования. Зависимость сопротивления от уровня легирования LDD области носит ниспадающий характер при всех разумных значениях уровня легирующей примеси. Исходя из этого оптимальным значением концентрации примеси в LDD области в большинстве случаев можно считать значение вблизи максимума пробивного напряжения.

Другим распространенным методом формирования LDD области является двойное легирование этой области. При этом первый процесс легирования проводится во всю поверхность, в то время как дополнительное легирование только в часть LDD области. Технологические (энергия, доза) и топологические (соотношение длин двух областей) параметры легирования могут в значительной степени варьироваться в зависимости от требуемого результата. В общем случае дополнительное легирование неизбежно привносит дополнительные заряды в LDD область, из-за чего необходимо снижать уровень легирования основной дрейфовой области. При правильно подобранном соотношении длин и уровней легирования двух LDD областей, добавление второй области смещает значение оптимальное значение уровня легирования (соответствующее максимальному пробивному напряжению) в область больших концентрация и небольшому увеличению максимально достижимого пробивного напряжения (порядка 10 %). При этом неизбежно возрастают удельные паразитные емкости транзистора на единицу длины затвора (выходная и проходная), но за счет значительного снижения удельного сопротивления, емкости конечного прибора будут несколько ниже.

Продолжением предыдущей идеи является формирование 3, 4 или более уровней LDD с последовательно возрастающей концентрацией от затвора к стоку. Предельным случаем в данной области будет LDD с постоянным градиентом концентрации. Общие тенденции изменения параметров будут абсолютно схожим со случаем с двумя LDD областями. Стоит отметить, что достаточно очевидным фактом является то, что дополнительные области легирования в LDD будут вносить тем больше изменений, чем длиннее является базовая LDD область. Это в первую очередь связано с тем, что длинные области требуют

достаточно низких степеней легирования для получения высоких значений пробивных напряжений, что сильно сказывается на сопротивлении сток-исток транзистора.

Еще одним способом формирования LDD области является создание кармана с более высоким значением уровня легирования вблизи затвора. Такой прием практически не используется без полевого электрода, но при его наличии происходит эффективное обеднение участка LDD с повышенной концентрацией. В результате дополнительное легирование практически не сказывается на максимально достижимые значения пробивного напряжения, но при этом уменьшает значение сопротивления сток-исток. Негативным эффектом такого конструктивного решения будет увеличение изменяемой части проходной емкости.

Кроме всех перечисленных параметров конструкция LDD области будет также влиять на скорость деградации параметров транзистора в следствие захвата горячих носителей, из-за перераспределения поля вдоль дрейфовой области. Но так как кроме распределения поля на деградацию будет влиять также количество и энергия ловушек, то влияние LDD области на этот вид деградации необходимо отдельно рассматривать в каждом конкретном случае.

Как видно из статьи, дрейфовая область стока является сложным конструктивным элементом, имеющим большое количество параметров, каждый из которых в значительной мере влияет на конечные параметры транзистора. При всем многообразии конструктивно технологических решений, конкретный вид реализации дрейфовой области стока должен подбираться разработчиком исходя из требований на параметры конечного изделия.

Библиографический список

1. Кожевников В.А., Дикарев, В.И., Горохов В.С., Цоцорин А.Н. Мощные СВЧ LDMOS-транзисторы ОАО «НИИЭТ» для средств радиосвязи и радиолокации // Дискретные силовые компоненты, 2015, № 4, стр 60-63.
2. Бачурин В., Васильев А., Крымко М., Сопов О. Динамика развития отечественных мощных кремниевых полевых ВЧ и СВЧ МОП транзисторов // Электронная техника, Серия 2 Полупроводниковые приборы, 2011, выпуск 2 (221).