

Многоэмиттерный транзистор.

Структура многоэмиттерного транзистора (МЭТ) показана на рис. 20.16, а. Такие транзисторы составляют основу весьма распространенного класса цифровых ИС – так называемых схем ТТЛ. Количество эмиттеров может составлять 5–8 и более.

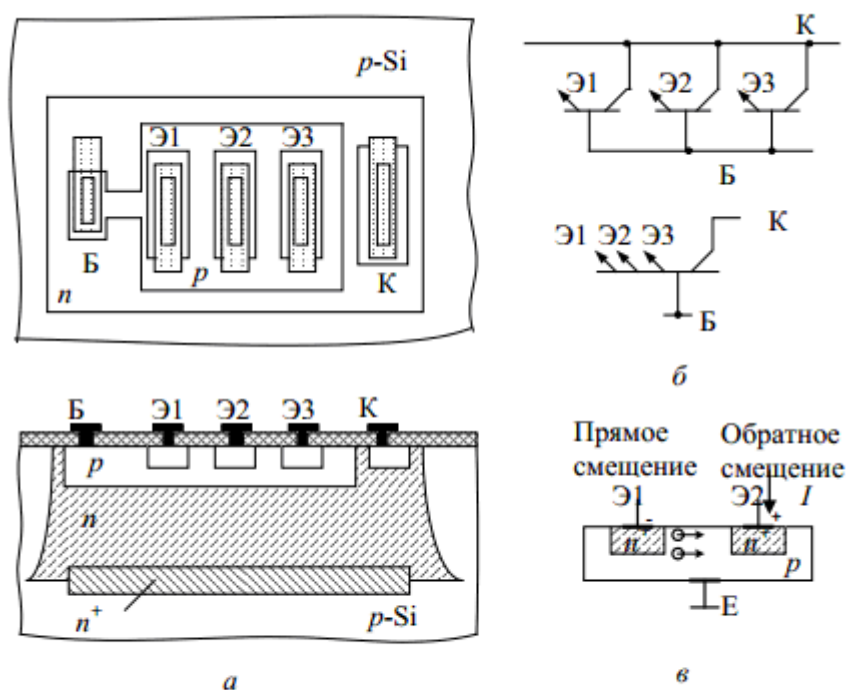


Рис. 20.16. Многоэмиттерный транзистор: а – топология и структура; б – схемные модели; в – взаимодействие между смежными эмиттерами

В первом приближении МЭТ можно рассматривать как совокупность отдельных транзисторов с соединенными базами и коллекторами (рис. 20.16, б). Особенности МЭТ как единой структуры следующие (рис. 20.16, в). Во-первых, каждая пара смежных эмиттеров вместе с разделяющим их р-слоем базы образует горизонтальный (иногда говорят – продольный) транзистор типа $n^+ - p - n^+$.

Если на одном из эмиттеров действует прямое напряжение, а на другом – обратное, то первый будет инжектировать электроны, а второй будет собирать те из них, которые инжектированы через боковую поверхность эмиттера и прошли без рекомбинации расстояние между эмиттерами. Такой транзисторный эффект является для МЭТ паразитным: в обратно-смещенном переходе, который должен быть запертым, будет протекать ток. Чтобы избежать горизонтального транзисторного эффекта, расстояние между эмиттерами, вообще говоря, должно превышать диффузионную длину носителей в базовом слое. Если транзистор легирован золотом, то диффузионная длина не превышает 2–3 мкм и практически оказывается достаточным расстояние 10–15 мкм.

Важно, чтобы МЭТ имел как можно меньший инверсный коэффициент передачи тока. В противном случае в инверсном режиме, когда эмиттеры находятся под обратным напряжением, а коллектор – под прямым, носители, инжектируемые коллектором, будут в значительной мере достигать эмиттеров, и в цепи последних, несмотря на их обратное смещение, будет протекать ток – паразитный эффект, аналогичный отмеченному выше.

Как известно, инверсный коэффициент передачи всегда меньше нормального из-за различий в степени легирования и в площадях эмиттера и коллектора. Чтобы дополнительно уменьшить инверсный коэффициент I_{α} в МЭТ, искусственно увеличивают сопротивление пассивной базы, удаляя омический базовый контакт от активной области транзистора (рис. 20.15, а).

При такой конфигурации сопротивление узкого перешейка между активной областью и базовым контактом может составлять 200–300 Ом, а падение напряжения на нем от базового тока 0,1–0,15 В. Значит, прямое напряжение на коллекторном переходе (в инверсном режиме) будет в активной

области на 0,1–0,15 В меньше, чем вблизи базового контакта. Соответственно инжекция электронов из коллектора в активную область базы будет незначительной и паразитные токи через эмиттеры будут практически отсутствовать.

Многоколлекторные п–р–п-транзисторы.

Структура многоколлекторного транзистора (МКТ), показанная на рис. 20.17, а, не отличается от структуры МЭТ. Различие состоит лишь в использовании структуры. Можно сказать, что МКТ – это МЭТ, используемый в инверсном режиме: общим эмиттером является эпитаксиальный п-слой, а коллекторами служат высоколегированные п⁺-слои малых размеров. Такое решение составляет основу одного из популярных классов цифровых ИС, так называемых схем инжекционной логики И2Л. Эквивалентная схема МКТ показана на рис. 20.17, б.

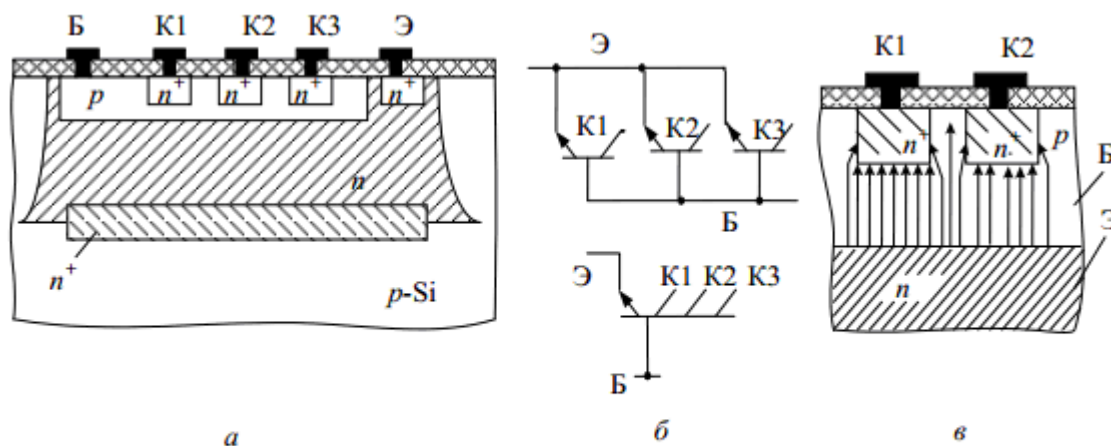


Рис. 20.17. Многоколлекторный транзистор: а – структура; б – схемные модели; в – траектория движения инжектированных носителей

Главной проблемой при разработке МКТ является увеличение нормального коэффициента передачи тока от общего п-эмиттера (инжектора) к каждому из п⁺-коллекторов. Естественно, что эта проблема – обратная той, которая решалась в случае МЭТ, когда коэффициент передачи от п-слоя к п⁺-слоям старались уменьшать.

В данном случае желательно, чтобы скрытый п⁺-слой располагался как можно ближе к базовому или просто контактировал с ним (как, например, при ИКД технологии). Тогда этот высоколегированный п⁺-слой, будучи эмиттером, обеспечит высокий коэффициент инжекции. Что касается коэффициента переноса, то для его повышения п⁺-коллекторы следует располагать как можно ближе друг к другу, сокращая тем самым площадь пассивной области базы. Оба эти пути, конечно, ограничены конструктивно-технологическими факторами. Тем не менее, даже при сравнительно разреженном расположении коллекторов, можно получить коэффициенты передачи на всю совокупность коллекторов $\alpha = 0,8–0,9$ или коэффициенты усиления $\beta = 4–10$. Этого достаточно для функционирования схем И2Л, если число коллекторов не превышает 3–5. Коэффициент усиления в расчете на один коллектор равен общему коэффициенту усиления, поделенному на число коллекторов. Для приведенных значений β коэффициент усиления на один коллектор превышает единицу, что и требуется в схемах И2Л.

На рис. 20.17, в показаны траектории движения инжектированных носителей в базе. Как видим, носители двигаются так, что их доля, попадающая на коллекторы, существенно больше, чем если ее рассчитывать по формальному отношению площади коллектора к площади эмиттера.

Именно поэтому реальный коэффициент β имеет те сравнительно большие значения, которые приведены выше. Следовательно, при расчете коэффициентов α и β нужно использовать не геометрические, а эффективные площади, о чем уже говорилось применительно к инверсному включению транзисторов.

Из рис. 20.17, в видно также, что средняя длина траектории носителей значительно превышает толщину активной базы W . Поэтому среднее время диффузии будет значительно меньше, чем у МЭТ и отдельных транзисторов. Разница во временах пролета еще больше, поскольку в МКТ поле базы для инжектированных носителей является не ускоряющим, а тормозящим. Время пролета t_{pr} составляет не менее 5–10 нс, а соответствующая предельная частота f_T – не более 20–50 МГц.

Коллекторная емкость C_k у МКТ значительно меньше, чем у МЭТ и обычных транзисторов из-за малой площади p^+ -коллектора. Поэтому эквивалентная постоянная времени транзистора уменьшается.