

Рис. 1. Четырёхслойная p^+npn^+ -структура тиристора: AC—основная цепь; AB—цепь управления; 1—шунтирующие каналы; 2—ОПЗ коллектора.

базы, соответственно понижают потенц. барьеры эмиттеров \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , что приводит к соответствующей инжекции неосновных носителей в базы. Эти носители диффундируют через базовые области, частично рекомбинируя с осн. носителями, а затем выбрасываются полем через ОПЗ в соответствующие базы уже в качестве осн. носителей, понижают барьеры \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 и т. д. Т. находится в устойчивом запертом состоянии до тех пор, пока кол-во носителей, поступающих в базовые слои, не превышает их потерь из-за рекомбинации и ухода в эмиттеры. С ростом приложенного напряжения растёт протекающий через n^+pnp^+ -структуру ток из-за расширения ОПЗ и увеличения поля в ней, приводящих к увеличению тока утечки. Возрастание тока ведёт к относительному уменьшению потерь; это связано в осн. с ростом инжекционной компоненты тока эмиттерных переходов и полевому ускорению переноса носителей через n -базу. Поэтому при определ. напряжении поступление носителей начинает превышать потери. Этот процесс вследствие положит. характера обратной связи нарастает лавинообразно и приводит к заполнению базовых областей электронно-дырочной плазмой большой плотности (см. Плазма твёрдых тел), смещение коллектора вследствие этого меняет знак, и прибор переходит во включённое состояние. Шунтирующие каналы в эмиттере \mathcal{E}_1 , увеличивающие потери дырок в p -базе, позволяют поднять напряжение переключения вплоть до напряжения лавинного пробоя коллектора. Вольт-амперная характеристика (ВАХ), определяемая вышеописанными процессами, показана на рис. 2; она описывается выражением

$$j_{ко}(U) = j [1 - \alpha_1(j) - \alpha_2(j_2 U)], \quad (1)$$

где $j_{ко}$ —ток утечки коллекторного перехода; α_1 , α_2 —коэф. усиления n^+pn - и p^+np -транзисторов, составляющих n^+pnp^+ -структуру. Из (1) следует, что условием переключения ($j_{ко} \rightarrow 0$, т. е. $U \rightarrow 0$) приближённо можно считать $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$. Переключение n^+pnp^+ -структуры можно осуществить не повышением напряжения, а, напр., импульсом света с энергией кванта, достаточной для генерации электронно-дырочных пар (фототиристор), или инжекцией

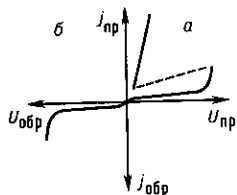


Рис. 2. ВАХ тиристора: а — при прямом смещении; б — при обратном смещении.

электронов эмиттером \mathcal{E}_1 при пропускании импульса тока в цепи AB (рис. 1). В этом случае из-за большого тангенциального сопротивления p -базы инжектирует узкая область эмиттера вдоль границы с электродом управления B. Процесс включения происходит только в этой области, и из неё включённое состояние распространяется по всей площади прибора. На нач. стадии, пока плотность тока во включённой части высока, распространение включённого состояния определяется электр. полем на границе включённой и невключённой областей, смещающим эмиттеры в проводящем направлении, а по мере уменьшения плотности тока определяющим механизмом становится диффузия плазмы

из включённой области. Скорость этих процессов обычно лежит в пределах 0,1—0,005 мм·мкс в зависимости от мгновенной плотности тока и конструкции прибора. ВАХ Т. в установившемся включённом состоянии практически аналогична ВАХ p^+nn^+ -диода; распределение электронно-дырочной плазмы в базовых слоях показано на рис. 3. Выключение Т. обычно осуществляется путём кратковрем. изменения полярности внеш. напряжения. Ток при этом меняет направление и носители заряда из плазмы вытягиваются во внеш. цепь, обеспечивая протекание тока. Концентрация плазмы у эмиттерных переходов уменьшается как за счёт вытягивания неосновных носителей, так и за счёт рекомбинации. Из p -базы электроны уходят через n^+ -слой, а избыточные дырки инжектируются коллекто-

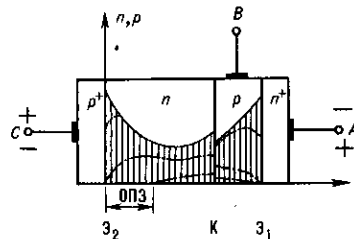


Рис. 3. Распределение электронно-дырочной плазмы в базовых слоях включённого тиристора (+ на p^+ -слое). Штрихпунктирными линиями показаны три последовательные стадии рассасывания плазмы при выключении тиристора (— на p^+ -слое).

ром К в n -базу; низковольтный эмиттер \mathcal{E}_1 быстро восстанавливается и пробивается. Через переход \mathcal{E}_2 из n -базы уходят дырки, но избыточные электроны практически не могут уйти через потенц. барьер прямосмещённого коллектора. Поэтому протекающий через Т. обратный ток почти не выносит заряд из n -базы: уход дырок через \mathcal{E}_2 сопровождается поступлением через коллектор К почти такого же кол-ва дырок, создаваемых ударной ионизацией в переходе \mathcal{E}_1 , и заряд в n -базе исчезает практически только вследствие рекомбинации. После того как концентрация дырок у перехода \mathcal{E}_2 уменьшается до равновесного значения, начинается образование ОПЗ, граница к-рой быстро перемещается в глубь n -базы, сопротивление прибора резко возрастает, а ток в цепи падает. В квазиэитральной части n -базы при этом нек-рое время сохраняется довольно большое кол-во избыточных носителей заряда. При изменении полярности внеш. напряжения на прямое эти носители выбрасываются полем коллектора в базы, вызывая всплеск прямого тока; однако если этот ток меньше нек-рой критич. величины $j_{кр}$, приводящей к лавинообразному нарастанию концентрации Т. остаётся в выключённом состоянии. Промежуток времени между изменением направления тока через Т. до момента, когда становится возможным приложение прямого смещения, наз. временем выключения t_q . Оценочно, $t_q \approx \tau_p \ln(j_{np}/j_{кр})$, где τ_p — время жизни дырок в n -базе. Отсюда следует, что статич. и динамич. характеристики Т. жёстко взаимосвязаны. Для того чтобы обеспечить блокирование большого напряжения, n -база должна быть слаболегированной и иметь толщину, превышающую размер ОПЗ коллектора примерно на $L_p = (D_p \tau_p)^{1/2}$. Увеличение толщины ведёт к увеличению напряжения на приборе во включённом состоянии. Для того чтобы оно оставалось на приемлемом уровне, необходимо увеличивать L_p , что ведёт к увеличению t_q , т. е. к ухудшению частотных характеристик прибора. Поэтому быстродействующие Т. имеют сравнительно невысокое рабочее напряжение, а высоковольтные — большое время выключения.

Основным полупроводниковым материалом для изготовления Т. является кремний. Четырёхслойная n^+pnp^+ -структура изготавливается, как правило, путём последовательных операций термодиффузии примесей p - и n -типа в пластину монокристаллич. кремния, причём для получения эмиттерного n^+ -слоя сложной геом. формы применяются маскирование окислом и фотолитография.

Диапазон рабочих параметров совр. Т. чрезвычайно широк. Т. в планарном исполнении, обычно интегрируемые