

06;12

Формирование полярно-чувствительных входных вольт-амперных характеристик симисторной структуры

© С.Б. Бакланов, Н.Т. Гурин, Е.В. Лычагин, С.Г. Новиков, А.В. Картавенко, М.А. Костылов

Ульяновский государственный университет,
432970 Ульяновск, Россия
e-mail: soy@sv.uven.ru

(Поступило в Редакцию 11 марта 2003 г.)

Получено семейство входных вольт-амперных характеристик структуры планарно-диффузионного симистора. Предложено объяснение механизма формирования на входной характеристике N-образного участка. Показано, что входная N-образная характеристика в зависимости от полярности напряжения на силовых электродах формируется в разных входных цепях симисторной структуры.

Многослойные полупроводниковые приборы, такие как симисторы, по сути являются элементарными функциональными устройствами благодаря наличию у них внутренней положительной обратной связи, позволяющей реализовать на вольт-амперной характеристике участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением. В настоящее время продолжается поиск новых практических приложений симисторных структур. В частности, в работе [1] представлены результаты исследования симисторов в составе оптопар; также предлагаются методы повышения их магниточувствительности [2]. Проводимые исследования симисторов, как правило, направлены на оптимизацию электрофизических и конструктивно-технологических параметров структуры и совершенствование традиционной для симисторов S-образной выходной вольт-амперной характеристики. В то же время для симистора как прибора со „встроенной“ положительной обратной связью характерна дуальность входных и выходных характеристик, т.е. S-образная выходная вольт-амперная характеристика, однозначная по току, дуальная N-образной входной характеристике, однозначной по напряжению; они будут аналогичны друг другу, если взаимозаменить оси токов и напряжений [3]. При этом объяснение механизма возникновения N-образной входной характеристики, приведенное в [4], не отвечает имеющимся экспериментальным данным.

Для определения механизмов формирования входной характеристики проведено исследование планарно-диффузионного симистора, основу которого составляет интегральный модуль из двух копланарных тиристорных структур $p_1-n_0-p_2-n_1$, сформированных в общем объеме полупроводника n_0 и включенных встречно-параллельно с помощью внешней коммутации (p_1 -область одного тиристора соединена с n_1 -областью другого) [2]. Входом является цепь управляющего (p_2 -область) и ближайшего к нему силового (n_1 -область) электродов, а выходом — цепь силовых электродов (p_1 - и n_1 -области). Поскольку составляющие части этого симистора — прямая и обращенная тиристорные структуры, анализ процессов проведем на основе физики работы одного из составляющих тиристорных структур. Входная характеристика

N-типа (рис. 1, *b*) с участком отрицательной дифференциальной проводимости возникает в цепи катод-управляющий электрод. Ток I' в указанной цепи является функцией напряжения U' , а выходное напряжение между анодом и катодом U выполняет роль управляющего параметра. На выходной S-образной характеристике (рис. 1, *a*) напряжение U является функцией выходного тока I , а ток I' является управляющим.

Рассмотрим формирование участков входной характеристики через взаимосвязь ее с выходной характеристикой. Представим схематично начальную выходную характеристику в виде кривой I на рис. 1, *a*, где AB — нагрузочная прямая, положение которой соответствует бистабильному режиму работы прибора. При подаче

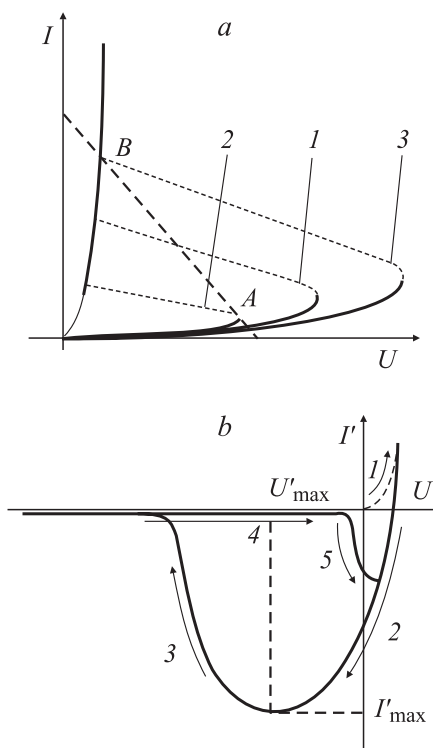


Рис. 1. Схематичное представление выходной (а) и входной (б) характеристик симистора.

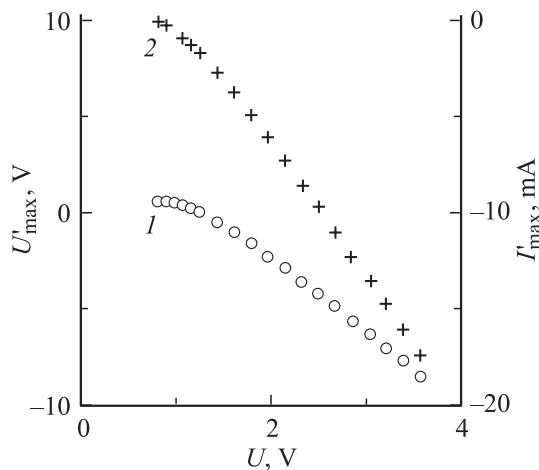


Рис. 2. Экспериментальные зависимости напряжения пика U'_{\max} (1) и тока пика I'_{\max} (2) от напряжения управления U .

на управляющий электрод некоторой величины положительного тока I' кривая 1 деформируется до положения 2 и происходит переключение тиристорной структуры из закрытого состояния в состояние с высокой проводимостью (из точки А в точку В по нагрузочной прямой). На входной характеристике (рис. 1, б) рабочая точка перемещается по стрелке 1. В этом состоянии все дырки, инжектированные из анодной p_1 -области в n_0 -базу, достигают базовой p_2 -области. Несоответствие величины положительного напряжения U' на управляющем p_2 - n_1 -переходе уровню основных носителей заряда в p_2 -базе вызывает появление тока, направление которого в этом случае является отрицательным, и на входной характеристике наблюдается некоторое уменьшение прямого тока и появление пика. При последующем уменьшении тока I' на управляющем электроде кривая 2 выходной характеристики (рис. 1, а) деформируется обратно в сторону кривой 1, но в силу бистабильного режима работы тиристорная структура остается включенной, так как ток точки В превышает ток удержания. Это вызывает перемещение рабочей точки на входной характеристике по стрелке 2 (рис. 1, б), что обуславливает соответствующий рост отрицательного тока, поскольку оттоку дырок способствует отрицательная полярность напряжения U' на управляющем p_2 - n_1 -переходе. Однако при дальнейшем снижении управляющего тока I' выходная характеристика достигает такого состояния (кривая 3 на рис. 1, а), что ток удержания становится больше тока в рабочей точке В, при этом отрицательным ток входной характеристики достигает своего максимального значения I'_{\max} . Еще большее увеличение отрицательного тока I' через управляющий переход приведет к выключению тиристорной структуры из точки В в точку А по нагрузочной прямой (рис. 1, а). При этом перенос дырок резко уменьшается, что приводит к уменьшению отрицательного тока на входной характеристике (по стрелке 3 на рис. 1, б) до величины тока насыщения обратносмещенного p - n -перехода.

Возвращение в сторону положительного напряжения U' на управляющем p_2 - n_1 -переходе происходит по стрелке 4 (аналогично перемещению рабочей точки на выходной характеристике при выключении, когда обратный ход рабочей точки на входной характеристике не совпадает с прямым), затем снова происходит включение тиристорной структуры и одновременное увеличение отрицательного тока I' (стрелка 5 на рис. 1, б).

Результаты экспериментального исследования основных параметров входной характеристики симистора при температуре 20°C представлены на рис. 2. Пороговое значение управляющего напряжения U , при котором появляется участок с отрицательной дифференциальной проводимостью, составило 0.75 V. Области пробоя пик достиг при напряжении управления $U = 3.6$ V. При этом максимум пика изменился по напряжению от 0.75 до -8.8 V, а по току — от 0 до -18 mA. Входная характеристика легко управляема, зависимости $U'_{\max}(U)$ и $I'_{\max}(U)$ близки к линейным на большей части диапазона изменения напряжения управления U .

При переходе ко второй тиристорной структуре в составе симистора и проведении аналогичных измерений получены идентичные результаты. При этом следует указать на невозможность наблюдения одновременно N-образных характеристик во входной цепи как одного, так и второго тиристора, поскольку полярность напряжения управления U способствует возникновению указанной характеристики только в одной входной цепи. Это позволяет использовать симисторы в качестве приборов, чувствительных к смене полярности напряжения на силовых электродах по отношению к формированию N-образных вольт-амперных характеристик на разных парах входных электродов.

Таким образом, показано, что механизм формирования N-образного участка на входных характеристиках симистора (или входной характеристике каждого из составляющих тиристоров) обусловлен однозначной взаимосвязью входной и выходной вольт-амперных характеристик и определяется наличием у S-образной выходной характеристики включенного и выключенного состояний, отличающихся уровнем токопереноса. При этом N-образная характеристика возникает на одной или другой паре входных электродов в зависимости от полярности приложенного к силовым электродам напряжения.

Список литературы

- [1] Бакланов С.Б., Гурин Н.Т., Новиков С.Г. // Изв. вузов. Электроника. 1997. № 6. С. 49–59.
- [2] Воронцов С.И., Бакланов С.Б., Гурин Н.Т., Новиков С.Г. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. Вып. 19. С. 37–42.
- [3] Гаряинов С.А., Абезгауз И.Д. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. М.: Энергия, 1970. 320 с.
- [4] Колосов А.А., Горбунов Ю.И., Наумов Ю.Е. Полупроводниковые твердые схемы. М.: Сов. радио, 1965. 500 с.