

Тураев А.А.

Преподаватель Бухарский государственный университет, г. Бухара, Узбекистан.

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРАНЗИСТОРНОЙ СТРУКТУРЫ В ДВУХПОЛЮСНОМ РЕЖИМЕ

Turaev A.A.

Lecturer Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

FEATURES OF THE TEMPERATURE SENSITIVITY OF THE TRANSISTOR STRUCTURE IN THE BIPOLUS MODE

Abstract.

In the article, the observed increase in operating current (-) pnp + (+) - structures can be explained by the fact that the current transfer ratio depends on the collector-emitter voltage and increases with increasing temperature due to the increasing number of carriers generated in the collector junction.

Аннотация.

В статье, наблюдаемое нарастание рабочего тока (-)р-п-р⁺(+)-структуры можно объяснить тем, что коэффициент передачи тока зависит от напряжения коллектор-эмиттер и увеличивается с повышением температуры, благодаря возрастающему количеству генерируемых в коллекторном переходе носителей.

Keywords: germanium structure, bipolar transistor, collector-base, voltage, bipolar mode.

Ключевые слова: германиевой структуры, биполярного транзистор, коллектор-база, напряжения, двухполюсном режим.

Представляет интерес проведение аналогичных исследований в качестве датчика температуры германиевого биполярного транзистора при различных режимах включения, так как он содержит два выпрямляющих перехода (+)р-п-р⁺(-). А технологии получения каждого перехода отличаются, что позволит получить новые данные по его применению в качестве датчика температуры. Выбор германиевой структуры обусловлен тем, что в отличие от кремниевой она обладает большей температурной чувствительностью, что позволяет обеспечить высокую точность измерения и регулирования температуры.

Как известно в транзисторной р-п-р⁺-структуре р-п-переход (коллектор-база) имеет большую площадь, чем п-р⁺-переход (база-эмиттер) и протекающий через него ток из-за малой плотности не вызывает дополнительного разогрева перехода, что способствует стабильности температурных характеристик. На основе измерения температурной зависимости вольтамперной характеристики для вы-

бранного режима включения перехода определяются коэффициенты температурной чувствительности полупроводниковой структуры.

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные зависимости тока от прямого и запирающего напряжения перехода база - коллектор германиевого транзистора. В режиме прямого смещения перехода база-коллектор с повышением температуры прямая ветвь смещается параллельно в область меньших напряжений.

Зависимость тока от напряжения описывается экспоненциальной функцией [1]:

$$I_{p-n} = I_0 \exp \frac{qU}{nkT}, \quad (1)$$

с показателем экспоненты - n равным единице, что обусловлено рекомбинацией носителей в толще базовой области. С повышением температуры ток насыщения I_0 растет быстрее, по сравнению со снижением экспоненты из-за увеличения теплового потенциала $\varphi_T = kT/q$.

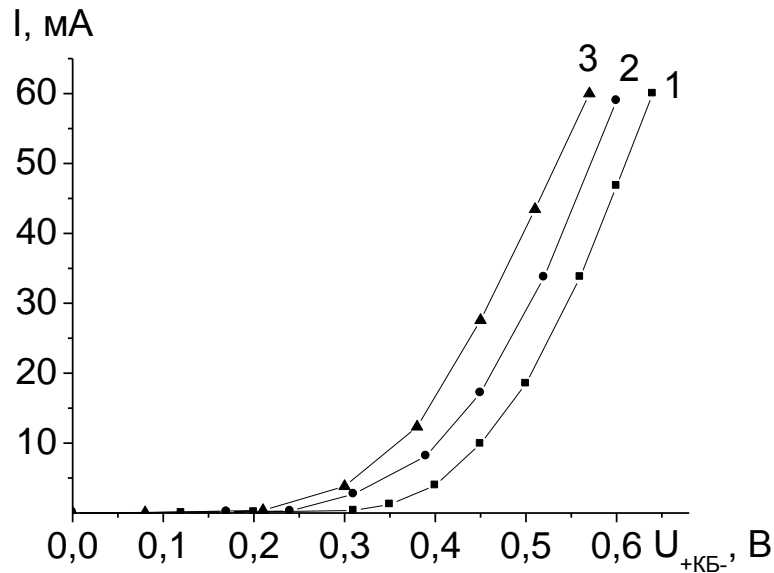


Рис. 1. Зависимости тока от напряжения в режиме прямого смещения перехода коллектор-база при различных температурах:
1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 60°C.

В результате противоположного влияния этих двух факторов входные характеристики транзистора, для выбранных токов I_{Σ} , смещаются влево на величину $\Delta U \approx (1 \div 2)$ мВ (рис.1). При этом можно заметить, что в исследуемом транзисторе для заданного фиксированного тока температурный коэффициент напряжения,

$$\alpha_U = \frac{U_1 - U_2}{\Delta T} \quad (2)$$

как и в диодных структурах, составляет 2 мВ/град. В этом режиме фиксированный рабочий ток необходимо выбирать больше 7 мА, где температурная чувствительность падения напряжения на

переходе база-коллектор принимает неизменные значения. В частности, при этих токах с повышением температуры падение напряжения линейно уменьшается, что подтверждает возможность его использования в качестве параметра для измерения температуры.

В режиме запирания р-п-перехода коллектор-база для заданной температуры с увеличением напряжения ток остается неизменным (рис. 2), а по мере повышения температуры значение тока увеличивается с возрастающим токовым температурным коэффициентом:

$$\alpha_I = \frac{I_2 - I_1}{\Delta T} \quad (3)$$

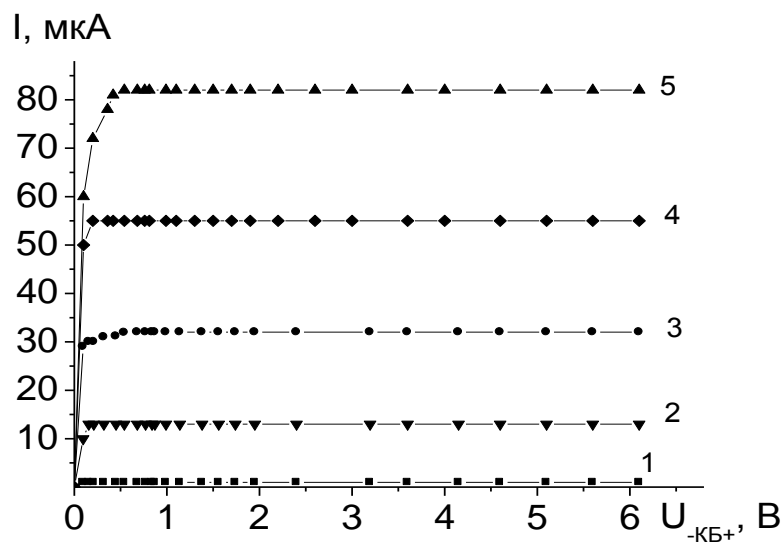


Рис. 2. Зависимости тока от напряжения в режиме запирания перехода коллектор-база при различных температурах:

1 – 20°C, 2 – 30°C, 3 – 40°C, 4 – 50°C, 5 – 60°C.

С повышением температуры вольтамперная характеристика смещается в область меньших напряжений, что связано с туннельными процессами в предпробойной области. Температурный коэффициент напряжения при ограниченном токе в интервале 200÷400 мкА составляет 10 мВ/град, что в пять раз больше температурной чувствительности по сравнению с режимом прямого смещения отдельно взятого перехода база-коллектор, рис. 2. То

есть, в данном случае для получения температурной чувствительности 10 мВ/град требуется на два порядка меньший рабочий ток [2].

Следовательно, обратный ток коллектора также можно использовать в качестве измерительного параметра. Результаты расчета значений температурного коэффициента, полученные на основе приведенных на рис.3, данных для заданных интервалов температур, приведены в табл.1.

Таблица 1

Данные токового температурного коэффициента перехода коллектор-база.

Интервал температуры, °C	20-30	30-40	40-50	50-60
α_I , мкА/град	1.2	1.9	2.3	2.7

Как видно из таблицы токовый температурный коэффициент запираемого перехода с повышением температуры от 20 до 60°C увеличивается с 1.2 мкА/град до 2.7 мкА/град.

При использовании отдельно взятого запираемого коллекторного р-п-перехода для измерения коэффициента температурной чувствительности рабочее напряжение целесообразно задавать от генератора напряжения. В данном случае при уменьшении рабочего напряжения от 6 до 1 вольта чувствительность практически остается неизменной.

Кроме того в данном режиме он может функционировать от автономного источника питания с малым потреблением энергии (мкА вместо мА).

В двухполосном режиме включения (+)р-п-р⁺ (-) транзистора с плавающей (свободной) базой по мере запирания эмиттера формируется обратная вольтамперная характеристика эмиттерного перехода, рис. 3.

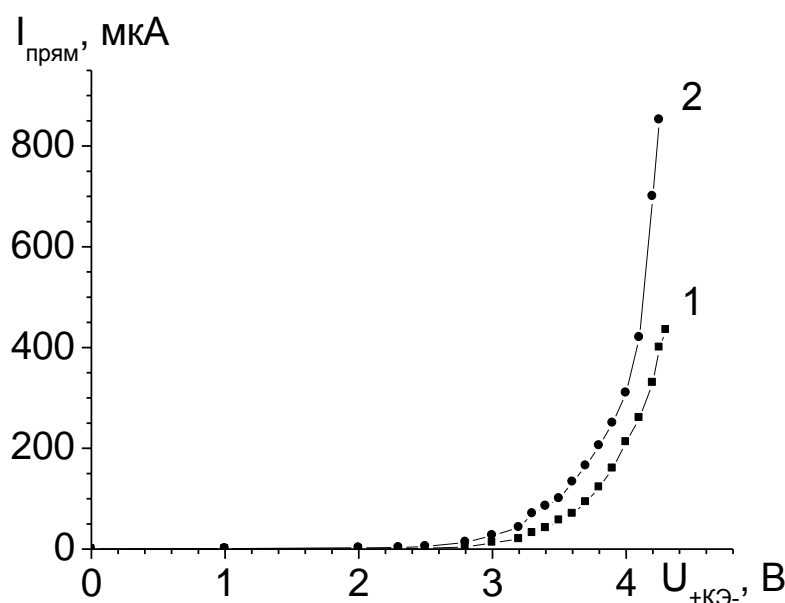


Рис. 3. Зависимости тока от напряжения в двухполосном режиме включения (+)р-п-р⁺ (-) с плавающей (свободной) базой при запирании эмиттерного перехода: 1 – 30°C, 2 – 50°C.

Наблюдаемое на рис. 3 нарастание рабочего тока (-)р-п-р⁺(+)-структуры можно объяснить тем, что коэффициент передачи тока зависит от напряжения коллектор-эмиттер и увеличивается с повышением температуры, благодаря возрастающему

количеству генерируемых в коллекторном переходе носителей [3-4]. При этом сопротивление эмиттерного перехода становится более чувстви-

тельным к воздействию температуры, а сопротивление коллекторного перехода к запирающему напряжению.

При смене полярности рабочего напряжения ((-)р-п-р⁺(+)) в режиме запирания коллекторного перехода (рис. 4) при 30°C ток коллектора при малых напряжениях (менее 0.5В) достигает максимального значения и далее с увеличением напряже-

ния возрастает незначительно. Однако при увеличении температуры до 50°C зависимость тока от напряжения приобретает линейно нарастающий характер. Соответственно, по сравнению с режимом запирания отдельно взятого перехода база-коллектор (рис. 2) режим запирания коллекторного перехода при двухполюсном режиме включения обеспечивает большую температурную чувствительность, управляемую рабочим напряжением.

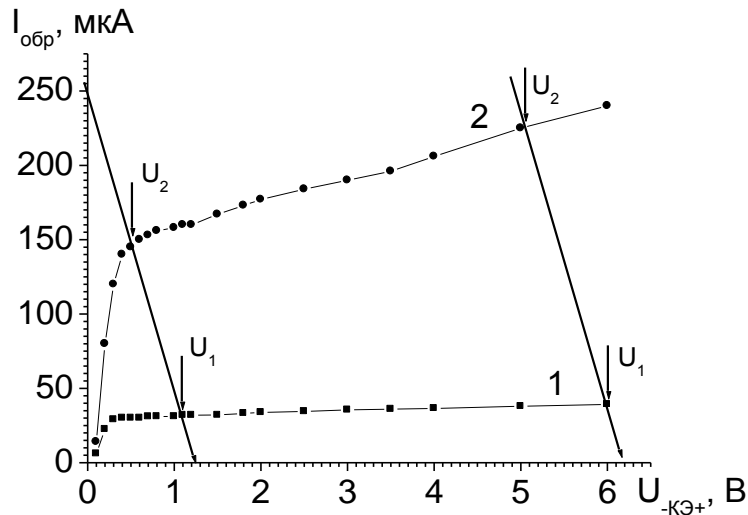


Рис. 4. Зависимости тока от напряжения в двухполюсном режиме включения (-)р-п-р⁺(+) с плавающей (свободной) базой при запирании коллекторного перехода: 1 – 30 °С, 2 – 50 °С.

При фиксированном рабочем напряжении коллекторный переход, находясь в режиме запирания, выступает в роли ограничителя тока (рис.3), а напряжение, падающее на эмиттерном переходе (эмиттер-база) с повышением температуры линейно уменьшается. Эти процессы совместно формируют вольтамперную характеристику двухполюсника с плавающей базой в режиме запирания коллекторного перехода (рис. 4.14). При питании транзисторной структуры от источника напряжения с нагрузочным сопротивлением в эмиттере 5 кОм по мере повышения напряжения падающего на эмиттерном переходе от 1.0 В до 6.0 В температурный коэффициент напряжения (α_U) увеличивается с 25 мВ/град до 50 мВ/град, что связано с возрастающим характером рабочего тока от напряжения. В частности, с учетом напряжения, падающего на нагрузочном сопротивлении рабочее напряжение можно выбирать в интервале от 2 до 7 В.

Таким образом, транзисторная (-)р-п-р⁺(+)-структура при двухполюсном режиме включения обладает высокой температурной чувствительностью и малым рабочим током в отличие от отдельно взятого диодного включения. Такие датчики представляют интерес для применения в авиационной,

автомобильной и в других отраслях промышленности [5].

Литература

1. Karimov A.V., Dzhuraev D.R., Kuliev Sh.M., Turaev A.A. Distinctive features of the temperature sensitivity of a transistor structure in a bipolar mode of measurement // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2016. – Vol. 89, No. 2. – PP. 514-517.
2. Sze S. M., Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. Hoboken–New Jersey: Wiley-Interscience, 2007. 3rd ed., P. 94.
3. M.A. Huque, L.M. Tolbert, B.J. Blalock, S.K. Islam, A high temperature, high-voltage SOI gate driver IC with high output current and on-chip low-power temperature sensor, IMAPS International Symposium on Microelectronics, 2009, pp. 220-7.
4. Каримов А.В., Джураев Д.Р., Ёдгорова Д.М., Рахматов А.З., Абдулхаев О.А., Каманов Б.М., Тураев А.А. Некоторые особенности ограничителя тока на полевом транзисторе //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –2011. -№1. -С. 30-32.
5. S. Drago, F. Sebastiano, L. J. Breems and D. M. W. Leenaerts, K. A. A. Makinwa. NPN-based temperature sensor with digital output transistors has been realized. DRAFT. April 20, 2010. P.1-28.