

05;06.2

Термоэлектрический преобразователь

© А.В. Каримов, Ш.Н. Бахронов

Физико-технический институт НПО "Физика–Солнце" АН РУз, Ташкент

Поступило в Редакцию 5 июня 1998 г.

Приведены результаты исследования управляемого полем и температурой термополевого транзистора. Экспериментально показано, что термополевой транзистор в сравнении с терморезисторами имеет более широкие возможности управления его рабочей точкой и выходными характеристиками.

Выполнен ряд оригинальных работ по использованию термоэлектрических явлений для преобразования малых сигналов [1,2]. Широко изучаются функциональные возможности терморезисторов, позисторов и элементов с фазовым переходом [3,4]. Однако вопросы дальнейшего пополнения элементной базы развивающейся термоэлектроники новыми термоэлектрическими приборами остаются без должного внимания.

В настоящей работе приводятся результаты исследования термочувствительного элемента на основе впервые полученного термополевого транзистора.

Отличие рассматриваемого термополевого транзистора от резисторных структур состоит в том, что его рабочей точкой наряду с температурой можно дополнительно управлять запирающим напряжением. Такая возможность достигнута благодаря приданию заданного знака зависимости сопротивления канала от температуры.

Основу рассматриваемой термопреобразовательной структуры составляет арсенидгаллиевый $p^+ - n$ -переход, где к области n -типа сформированы два омических контакта, между которыми образуется канал. Один из контактов выполняет функцию стока, а другой истока. К области p^+ -типа нанесен сплошной контакт, служащий в качестве затвора. Он включается к источнику питания так, что $p - n$ -переход всегда оказывается запертым. В нашем случае к каналу прикладывается рабочее напряжение плюс к стоку, а управляющее — к переходу затвор–исток, минус к затвору. Увеличение запирающего напряжения приводит к уменьшению тока, протекающего по каналу (рис. 1, а).

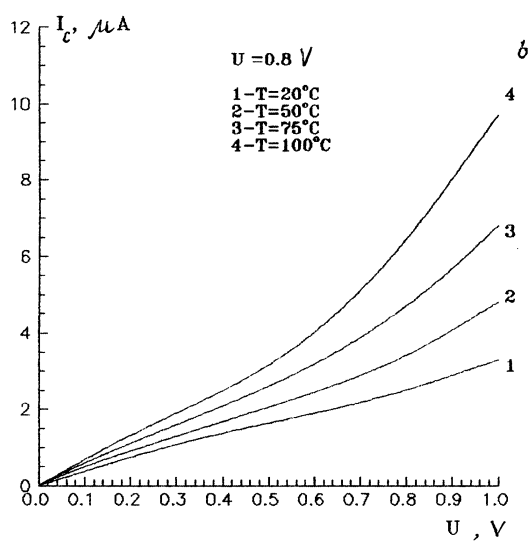
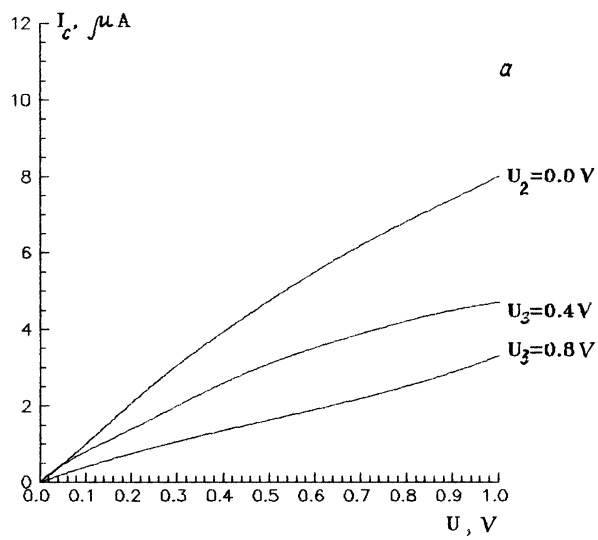


Рис. 1. Зависимость тока стока от запирающего напряжения (*a*), а также от температуры (*b*) при запирающем напряжении 0.8 V.

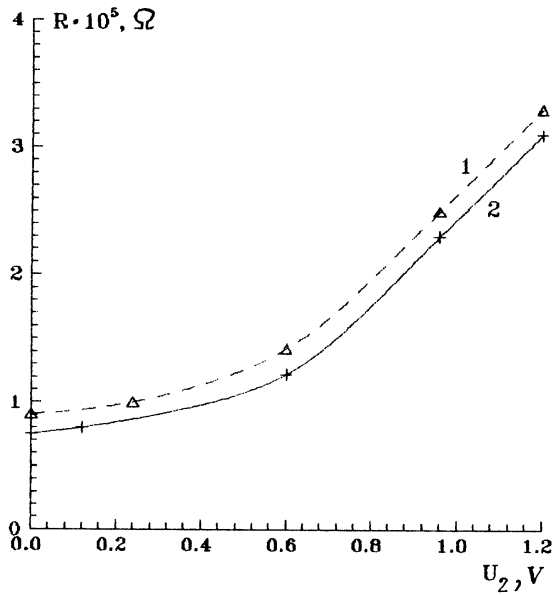


Рис. 2. Зависимость сопротивления проводящей части от запирающего напряжения (1 — расчетная, 2 — экспериментальная).

Термотранзисторный эффект в данном полевом транзисторе реализуется в режиме, приближающем отсечку канала, в частности при напряжениях на затворе, больших $0.5V_1$ (здесь V — напряжение отсечки). Так, увеличение напряжения стока до 1 В, как и фиксированных значений температуры до 100°C , формирует семейство характеристик, подобное триодным (рис. 1, *b*).

Из рисунка видно, что при фиксированных температурах ток между стоком и истоком от напряжения стока возрастает экспоненциально. Здесь функцию входного сигнала выполняет температура.

Отношение изменения тока стока к приращению температуры ($\Delta I/\Delta T$) представляет собой термочувствительность. Она определяется выражением

$$S_\theta = \frac{\partial I}{\partial T},$$

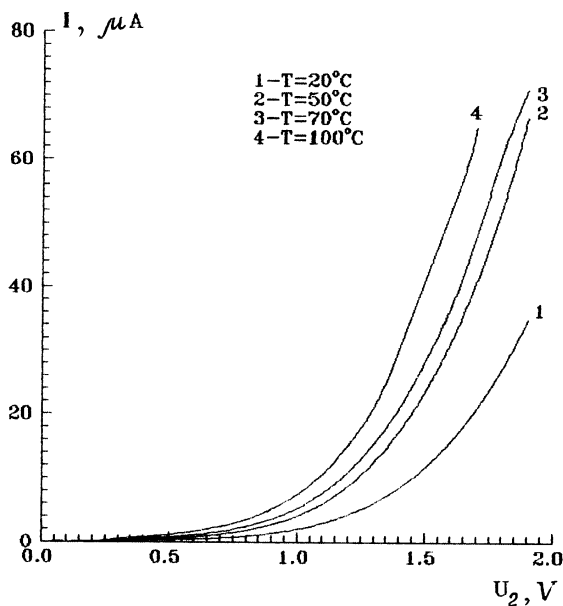


Рис. 3. Зависимость обратного тока $p-n$ -перехода затвора при различных температурах.

или удельная термочувствительность представляет собой

$$S'_\theta = \frac{1}{I} \cdot \frac{\partial I}{\partial T}.$$

Величина термочувствительности зависит от рабочей точки и увеличивается с ростом напряжения стока. Для рабочего напряжения 1.8 V его величина составляет $(7-8) \cdot 10^{-5}$ A/grad.

Зависимость сопротивления проводящей части от температуры ($R \sim f(T)$) для $V_c = 2kT/q$ при напряжениях, меньших V_1 , подчиняется линейному закону. Для комнатной температуры (20°C) при запирающем напряжении 0.8 V сопротивление канала равно $2.32 \cdot 10^5 \Omega$ и уменьшается до $1.35 \cdot 10^5 \Omega$ при 100°C. При этом зависимость сопротивления от запирающего напряжения (V_2) (рис. 2) аппроксимируется функцией

вида [5]

$$R = R_0 / (1 - (V_2/V_1)^{2/3}),$$

где R_0 — сопротивление канала при нулевом смещении; V_1 — напряжение отсечки. Расчетная (1) и экспериментальная кривые (2) зависимости $R \sim V$ удовлетворительно согласуются.

Если сравнить выходные характеристики (рис. 1, *b*) с зависимостью тока затвора от запирающего напряжения (рис. 3), то обнаружим, что ток затвора вначале меняется незначительно, а затем резко возрастает. Исследования показали, что напряжения пробоя p - n -перехода затвора от температуры изменяются линейно по закону [6]

$$V_3(T) = V_3(T_0) + \beta V_3(T_0) \Delta T.$$

Здесь T_0 — комнатная температура; $\Delta T = T - T_0$; β — температурный коэффициент напряжения пробоя:

$$\beta = \frac{V_3(T) - V_3(T_0)}{V_3(T_0) \Delta T}.$$

Температурный коэффициент напряжения пробоя, определенный на основании данных рис. 3, оказался равным $3.53 \cdot 10^{-3}$ 1/grad. Эта величина согласуется со значениями ($\beta = -(2-8) \cdot 10^{-3}$ 1/grad) [7], полученными для теплового пробоя. Наблюдаемый крутой рост тока затвора обусловлен электрическим пробоем, вызывающим перегрев p - n -перехода.

Касаясь зависимости тока стока от напряжения, следует отметить, что при всех температурах (20 – 100°C) ток меняется по одному и тому же закону. Режим пробоя перехода сток–затвор не достигается. Механизм увеличения тока стока с температурой можно объяснить увеличением толщины проводящей части канала за счет уменьшения контактной разности потенциалов p - n -перехода от температуры.

Таким образом, исследования показывают, что термополевой транзистор имеет более широкие возможности управления его рабочей точкой и может представлять интерес для обработки электрических и тепловых сигналов.

Список литературы

- [1] Агеев Ю.И., Акперов М.М., Кобахидзе К.З., Небуцинов М.В., Стильбанс Л.С., Токарбаев Т.Т., Шер Э.М. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 22. С. 1396–1400.
- [2] Агеев Ю.И., Билялов А.Э., Стильбанс Л.С., Шер Э.М. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. В. 17. С. 1058–1061.
- [3] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Пыжов Я.Г., Стильбанс Л.С., Чудновский Ф.А., Шер Э.М. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 7. С. 1446–1447.
- [4] Федоров М.И., Зайцев В.И., Саломкин Ф.Ю., Ведерников М.В. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 15. С. 64–69.
- [5] Игумнов Д.В., Грамов И.С. Эксплуатационные параметры и особенности применения полевых транзисторов. М.: Радио и связь, 1981. 64 с.
- [6] Shockley W. // Bell. Syst. Techn. J. 1949. V. 28. N 3. P. 435–485.
- [7] Воронов В.Ф., Ахмелкин А.Г., Докучаев И.М. и др. Токи затвора в полевых транзисторах с $p-n$ -переходом. Обзоры по электронной технике. Сер. "Полупроводниковые приборы". М.: ЦНИИ Электроника, 1972. В. 4(22). 31 с.