

2. Караян Г. С., Давиджан А. А., Асатрян Р. С. Теоретическое исследование некоторых характеристик фотополупроводников // Изв. АН Арм. ССР. Сер. Физика — 1985. — № 2. — С. 85—90.
3. Чалюков В. Е., Елсеян Ю. А. Физические основы работы силовых полупроводниковых приборов. — М.: Энергия, 1973. — 280 с.

ЕрГУ, ИРФЭ АН Армянск

3. IX 1990

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 40—41

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.383.33.639.013

Г. А. МАКАРЯН, А. А. ВАРДАНИЯН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ СЕРИИ 2ТН ДЛЯ БОРТОВОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается радиационная стойкость силовых биполярных транзисторов серии 2ТК. Определены основные изменения статических параметров транзисторов после облучения  $\gamma$ -излучением и нейтронами. Разработаны методы определения коэффициента усиления и стабилизации параметров статического коэффициента усиления транзистора и коэффициента передачи. Определены константы деградации. Даны рекомендации по повышению радиационной стойкости силовых биполярных транзисторов.

Ил. 3. Таблицы: 6 шт.

Փնտրվում է 2ТК սերիայի էլեկտրոնային սրտեղիատրանզիստորների համազարգացման հարմարեցման հարցը. որոշվում է արմատաբար փոփոխված ստատիկ պարամետրերի փոփոխման տվյալները: Մշակվում է նոր սեռուղան ձևախերք, որը թույլ է տալիս գնահատելու հասանքի փոփոխման ստատիկ գործակցի և կոնդիտոր-կոմպենսացիոն հաղնցման շարժան փոփոխությունները: Բացվում են էլեկտրոնային փոխադրությունների հատկանիշները: Զորվում են էլեկտրոնային սրտեղիատրանզիստորների համազարգացման կարևորագույնը բարելավելու ուղիները:

Изменения статических параметров силовых биполярных транзисторов после облучения носят сложный характер. Структурные радиационные нарушения, возникающие под действием проникающего излучения, обуславливают устойчивые изменения статических характеристик транзисторов. Изменения этих параметров после воздействия облучения объясняется уменьшением времени жизни носителей заряда (НЗ) в базовой области транзисторной структуры (ТС). Радиационная стойкость маломощных транзисторов подробно исследована в [1]. Силовые транзисторы, рассчитанные на большие токи (от 30 А до 250 А), мало изучены.

Исследуемые транзисторные ключи (ТК) разрабатывались в двух исполнениях: в первом исполнении это четыре параллельно включенные ТС, а во втором это двухкаскадный транзистор Дарлинг-

тона. ТК первого и второго исполнений соответственно предназначены на постоянный ток коллектора до 250 А и 100 А при постоянном напряжении коллектор-эмиттер 150 В и 300...400 В.

Основным элементом вышеуказанных ТК являются идентичные круглые тестовые ТС с диаметром 16 мм, изготовленные по базовой технологии методом тройной односторонней диффузии алюминия, бора и фосфора в  $n$ -слой обращенных эпитаксиальных  $n-p^+n$  структур.

Полученные ТК подвергались гамма- ( $\gamma$ ) и нейтронному ( $n$ ) облучению. Доза гамма-облучения составляет  $10^{11}$  р.с $^{-1}$ , а интегральный поток нейтронов —  $\Phi = 10^{13}$  н.см $^{-2}$  при энергии  $E = 0,1$  МэВ. После облучения параметры ТК значительно меняются из-за образования радиационных дефектов в функциональных областях ТС. Ухудшаются статические параметры — коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером  $h_{21э}$ , и напряжение насыщения коллектор-эмиттер  $U_{наэ}$ , изменение которых обусловлено снижением времени жизни неосновных ПЗ. Графики зависимости коэффициента  $h_{21э}$  от коллекторного тока  $I_c$ , а также вольт-амперные характеристики (ВАХ) при разных базовых токах  $I_b$  после радиационного воздействия приведены на рис. 1—3.

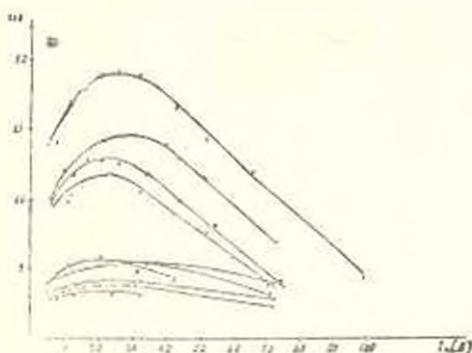


Рис. 1. Кривые зависимости  $h_{21э} = f(I_c)$  при  $U_{наэ} = 5$  В для ТК: х — соответствует ТК второго исполнения, а о — первого исполнения.

После облучения у ТК обоих исполнений значения коэффициентов усиления уменьшаются по сравнению со значениями  $h_{21э}$  до облучения (рис. 1). Аналогично, для ТК второго исполнения коэффициент усиления по току во всем интервале от 40 А до 250 А на два порядка больше, чем у ТК первого исполнения. Отношение значений  $h_{21э}$  ТК обоих исполнений после специального воздействия приближаются и становятся порядка 3—4 (рис. 1), что подтверждается также исследованиями [2].

В рамках работы был разработан новый теоретический механизм, позволяющий без разрушения ТК рассчитать основные электрические параметры ТС. Согласно этому механизму изменение электрических параметров транзисторного ключа после специального воздействия обусловлено соответствующими изменениями параметров отдельных транзисторных структур, входящих в состав ключа. По результатам

экспериментального исследования характеристик транзисторных ключей вычисляются электрические параметры отдельных ТС.

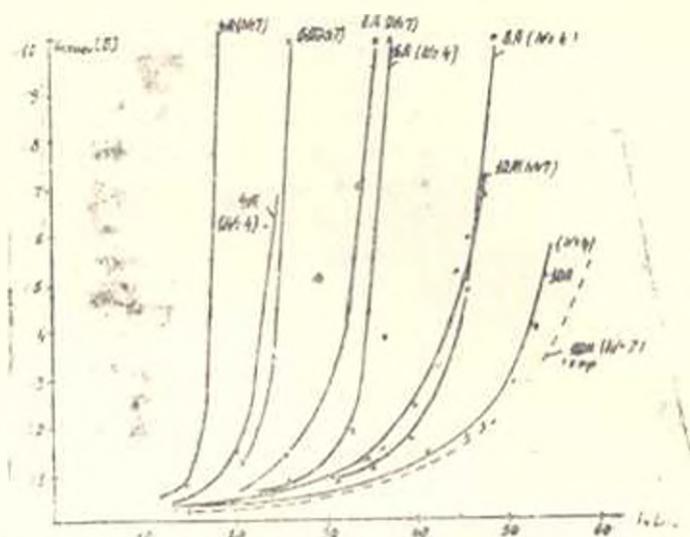


Рис. 2 ВЛХ ТК первого исполнения № 4 и 7 при разных базовых токах. Пунктирная линия соответствует теоретической кривой при  $I_b = 10$  А для ТК № 4

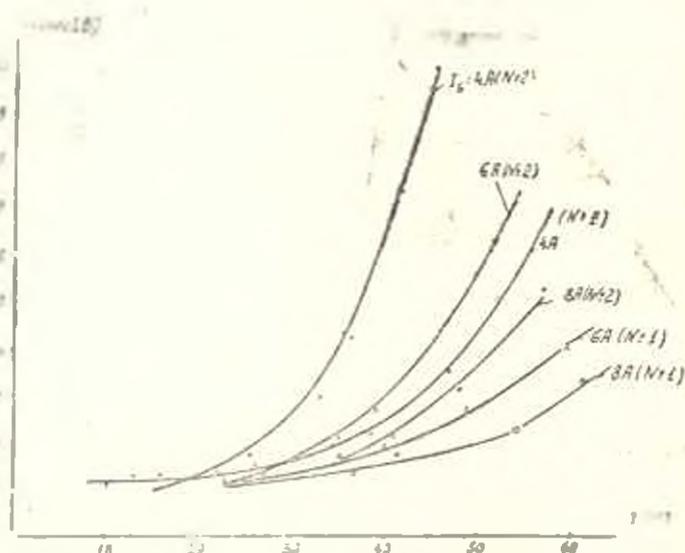


Рис. 3 ВЛХ двух ТК второго исполнения № 1 и 2 при разных базовых токах  $I_b = 4$  А.

Для напряжения насыщения коллектор-эмиттер одиночной транзисторной структуры типа  $n^+ - p - n - n^+$  согласно [3, 4] справедливо выражение

$$U_{c, \text{нас}} = I_c R_c \left( 1 - \frac{\alpha_1}{W} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha_1$  определяется соотношениями

$$\text{ch} a x_1 = (c + 1) \frac{I_p}{I_c} + 1, \quad a^2 = \frac{c + 1}{2\tau_p D_p} \quad (2)$$

Здесь  $I_c$  — ток коллектора в режиме насыщения,  $\bar{R}_c$  — сопротивление немодулированного коллекторного слоя,  $x_1$  — толщина коллекторного слоя, модулированная неравновесными НЗ,  $W$  — толщина коллекторного слоя,  $c = \frac{\mu_n}{\mu_p}$  — отношение подвижности электронов и дырок,  $\tau_p$  — время жизни дырок в коллекторном слое.

Для дырочного тока  $I_p$  в точке  $x = 0$  (этой точке соответствует коллекторный переход) на основании [5] находим

$$I_p = \frac{h_{21s}^0 I_B - I_c}{h_{21s}^0 + 1} \quad (3)$$

где  $I_c$  — базовый ток,  $h_{21s}^0$  — максимальный коэффициент усиления по току или коэффициент усиления по току в граничной точке. Подставив (3) в (2), получим

$$\frac{\eta - 1}{h_{21s}^0 + 1} (c + 1) + 1 = \text{ch} \left[ \left( \frac{c + 1}{2c} \right)^{1/2} \frac{x_1}{L} \right] \quad (4)$$

где  $\eta = h_{21s}^0 I_B / I_c$  — глубина насыщения,  $L = \sqrt{\tau_p D_p}$  — длина диффузии дырок в коллекторном слое.

Заметим, что при получении (1) пренебрегается падением напряжения на  $p$ - $n$ -переходах по сравнению с падением напряжения на высокоомном слое коллектора.

Согласно (1) и (4) рассчитаны ВАХ первого исполнения. Предполагается, что после воздействия радиации изменениями концентрации и подвижности основных НЗ можно пренебречь. При коллекторном токе  $I_c$  для ТК первого исполнения напряжение насыщения ТС вычисляется при токе  $I_{c4}$ , т. к. ТК первого исполнения состоит из четырех параллельно соединенных структур. На рис. 2 показаны также теоретические и экспериментальные зависимости ВАХ ТК № 4 после облучения при базовом токе  $I_b = 10 \text{ А}$ .

Одной из важнейших характеристик силовых транзисторов является коэффициент  $h_{21s}$ , в связи с чем скорость деградации этой характеристики после воздействия радиации приобретает первостепенное значение. Рассмотрим зависимость константы  $K_R$  радиационного изменения коэффициента  $h_{21s}$  от коллекторного тока  $I_c$  для ТС, где  $K_R = (1/h_{21s} - 1/h_{21s0}) \Phi$ , а  $h_{21s}$ ,  $h_{21s0}$  — значения коэффициента усиления по току, измеренные при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер  $U_{кэ} = \text{const}$ . Из (1) и (4) при условиях  $L > x_1$  и  $U_{кэ} = \text{const}$  для  $K_R$  получается выражение

$$K_R = K_B = \frac{I_{c0}}{c} \left( 1 - \frac{I_c}{I_{c1}} \right)^2 K_2, \quad I_c > I_{c1}, \quad I_c < I_{c1}, \quad (5)$$

где  $A_B = (1/A_{21}^0 - 1/A_{21}^0)^2$  определяется согласно [6] радиационными процессами в активной базе и слое пространственного заряда эмиттерного перехода,  $t_{01} = W^2 / D$  — время пролета НЗ через коллекторный слой,  $I_{c1} = U_{c2} S_{c1} / R$  — коллекторный ток насыщения в граничной точке,  $\rho$  — удельное сопротивление коллекторного слоя,  $S_e$  — площадь эмиттера,  $K = (1/\epsilon - 1/\epsilon_0) \Phi$  — коэффициент радиационного изменения времени жизни дырок в коллекторном слое.

Согласно (5) радиационное изменение коэффициента  $A_{21}$  в режиме насыщения определяется, в основном, параметром коллекторного слоя  $W^2(1/D - 1/L_0^2)$ , уменьшением которого улучшаются электрические характеристики ТС после специального воздействия. Это приводит к сужению области насыщения, в связи с чем радиационные изменения в режиме насыщения уменьшаются. Следовательно некоторыми из технологических решений, необходимых для получения специальной стойкости ТС, являются условия  $W^2(1/D - 1/L_0^2) \ll 1$  и  $I_{kc} \approx I_{c1}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коршунов Ф. П., Гитальский Г. В., Иванов Г. М. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. — Минск: Наука и техника, 1978 — 232 с.
2. Авалян Р. В., Варданян А. А., Киракосян Г. Г., Шаболян А. С., Соловьев твердотельные транзисторные ключи с многокаскадным усилением // Изв АН АрмССР, Сер. ТН, — 1990. — Т. XI, III, № 5. — С. 220—225.
3. Пуклянец К. Б., Бингелис А. Ю. Расчет напряжения насыщения мощных высоковольтных  $n^+ - p - n^+ - p^+$ -транзисторов // Электронная техника, Сер. 2. Полупроводниковые приборы, — 1990. — Вып. 2 (137). — С. 68—73.
4. Варданян А. А. Расчет и конструирование силовых транзисторных ключевых элементов. — Ереван: Меганарт, 1991. — 201 с.
5. Кремниевые планарные транзисторы / Под ред. Я. А. Федотова. — М.: Сов. радио, 1973. — 273 с.
6. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. — М.: Сов. радио, 1980. — 315 с.