

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ-ОЭФ -- 89-102

И Ф В Э 89-102  
ОЭФ

Л.Л.Курчанинов, В.В.Рыкалин, А.И.Сарайкин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ  
МАЛОШУМЯЩИХ ТРАНЗИСТОРОВ

Протвино 1989

**Аннотация**

Курчанинов Л.Л. и др. Исследование радиационной стойкости малошумящих транзисторов: Препринт ИФВЭ 89-102. - Серпухов, 1989. - 6 с., 3 рис., библиогр.: 12.

Изучается вопрос радиационного воздействия на шумовые характеристики биполярных транзисторов ( $V_N$ ,  $\gamma_{BB}$ , ЕМС). Проведено сравнение нескольких типов транзисторов по радиационной стойкости, а также дана граница применимости по поглощенной дозе для транзистора КТ399.

**Abstract**

Kurchaninov L.L. et al. Study of Radiation Stability of Low Noise Transistors: IHEP Preprint 89-102. - Serpukhov, 1989. - p. 6, figs. 3, refs.: 12.

The radiation influence on the bipolar transistors noise characteristics has been investigated. Different types of transistors have been compared. The range of applicability for the transistor КТ399 depending on the absorbed dose is given.

## ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах на встречных и выведенных пучках УНК предполагается широкое использование микрополосковых полупроводниковых детекторов<sup>/1,2/</sup>. При этом детекторы и электроника предварительного усиления (ПУ) могут эксплуатироваться в условиях высоких радиационных нагрузок. Поэтому одним из важных параметров, определяющих возможность применения, является радиационная стойкость детекторов и электроники. Устойчивость полупроводниковых детекторов к излучению изучалась во многих работах (см., например,<sup>/3-5/</sup>). В то же время данные по радиационной стойкости электроники ПУ отсутствуют.

Известно, что при высоких скоростях счета предпочтительнее использовать предусилители на биполярных транзисторах (БТ)<sup>/6/</sup>. К сожалению, данные по радиационной стойкости БТ носят слишком общий характер и не затрагивают конкретных типов транзисторов. Поэтому нами проведено исследование радиационной стойкости транзисторов КТ391, КТ399 и КТ3127. Мы выбрали эти типы БТ, так как они имеют малую величину распределенного сопротивления базы и пригодны для использования в малощумящем усилителе<sup>/7,8/</sup>.

### 1. МЕХАНИЗМ ДЕГРАДАЦИИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Радиационное воздействие влияет на все параметры биполярного транзистора, но основной интерес представляет поведение эквивалентного шумового заряда (ЕНС), так как именно эта величина определяет качество электроники предварительного усиления. В свою очередь, ЕНС транзистора определяется величинами распределенного сопротивления базы  $r_{BB}$  и усилением по току  $\beta_N$ <sup>/9/</sup>. Сопротивление базовой области, как и коллекторной, вероятно, не определяет радиационную стойкость транзисторов, так как существенное изменение их значений происходит при дозах больше 1 мрад<sup>/10/</sup>.

Поэтому в основном интерес представляет деградация дифференциального  $\beta_N$  и статического  $B_N$  коэффициентов передачи тока базы

$$\beta_N = mB_N, \quad (1)$$

где  $m$  - величина, показывающая долю рекомбинации в базовой области, которая слабо меняется при облучении<sup>/11/</sup>. Деградация  $B_N$ , в свою очередь, обусловлена зависимостью времени жизни неосновных носителей в базовой области  $\tau$  от дозы частиц<sup>/10/</sup>

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + K_p D, \quad (2)$$

где  $\tau_0$  - время жизни в необлученной структуре,  $K_p$  - радиационная константа,  $D$  - поглощенная доза.

Изменение времени жизни обусловлено изменением скорости рекомбинации вследствие увеличения количества объемных и поверхностных дефектов.  $B_N$  и  $\tau$  связаны простыми соотношениями

$$B_N = \frac{1}{1 - \alpha_N}, \quad (3)$$

где  $\alpha_N$  - коэффициент передачи эмиттерного тока, который определяется в основном технологией

$$\alpha_N = \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{l_B}{L_B} \right)^2 \right], \quad (4)$$

$$L_B = \sqrt{D_0 \tau}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  - коэффициент инжекции,  $l_B$  - ширина базы,  $L_B$  - диффузионная длина,  $D_0$  - коэффициент диффузии,  $B_{0N}$  - коэффициент усиления в необлученной структуре.

Учитывая зависимость (2) и подставляя (4) в (3), имеем для  $B$

$$B_N = \frac{B_{0N}}{1 + p B_{0N} D}, \quad (6)$$

где  $p$  - константа, в которую входят параметры, определяемые технологией и конкретным видом радиационного воздействия.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Облучалось по 5 транзисторов трех типов КТ3127, КТ399, КТ391. При облучении транзисторы не были включены. После облучения транзисторы в течение недели не исследовались с целью исключения фактора временной стабильности. Измерялась поглощенная доза в мегарадах. Средством измерения служил полиэтиленовый детектор, действие которого основано на принципе выделения водорода из полимера под действием излучения<sup>/12/</sup>. Точность измерения дозы составляла  $\sim 20\%$ . Радиационное поле состоит из компонент  $p$ ,  $n$ ,  $\pi$ <sup>/12/</sup>. Влияние компонент по отдельности на радиационную стойкость транзисторов нами не исследовалось.

Коэффициент усиления базового тока  $V_N$  измерялся по схеме с общим эмиттером, при фиксированном значении  $U_{кэ} = 5$  В, ток  $I_K = 3$  мА. Измерение распределенного сопротивления базы осуществлялось по методике, описанной в работе<sup>/7/</sup>. Значение ENC вычислялось по измеренным  $r_{ВВ}$  и  $\beta_N$ . Методика расчета описана в работе<sup>/8/</sup>. Расчет производился для емкости детектора  $C_0 = 30$  пФ и постоянной времени RC-СR фильтра  $\tau' = 50$  нс. Разброс измеренных значений  $V_N$  находился в пределах точности измерений  $\sim 10\%$ .

Зависимость  $V_N(D)$  приведена на рис.1 для транзисторов КТ399, КТ391, КТ3127. На рис.2 приведена зависимость  $r_{ВВ}(D)$  для транзистора КТ399. На рис.3 показана зависимость ENC(D), где  $\circ$  — для КТ399,  $\bullet$  — для КТ391, КТ3127, так как их значения по деградации  $V_N$  совпали.

Как следует из приведенных зависимостей, ухудшение свойств транзисторов в зависимости от поглощенной дозы определяется не изменением  $r_{ВВ}$  и, следовательно, шума, обусловленного этим фактором, а изменением  $V_N$ . При этом возрастает шумовой фактор, обусловленный дробовым шумом тока базы, так как  $I_B = \frac{I_K}{V_N}$ .

Кроме этого, в схеме с общим эмиттером с непосредственными связями предварительного усилителя, описанного в работе<sup>/9/</sup>, жестко задан ток коллектора. Поэтому уменьшение  $V_N$  больше чем на 30% можно считать неприемлемым, так как происходит искажение режима работы. Следовательно, границей для данного предварительного усилителя можно считать изменение  $V_N$  первого транзистора до уровня 70%. Таким образом, для КТ399 из рис.1 границей по поглощенной дозе можно считать уровень  $\sim 50$  крад, в то же время для транзисторов КТ3127, КТ391 значение 640 крад можно считать приемлемым.

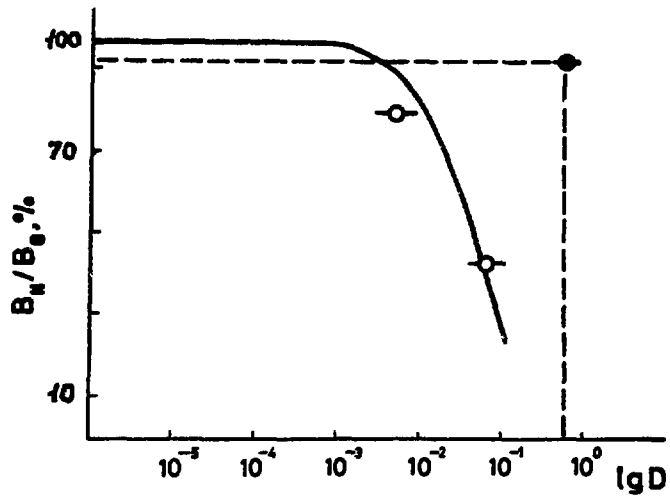


Рис.1.

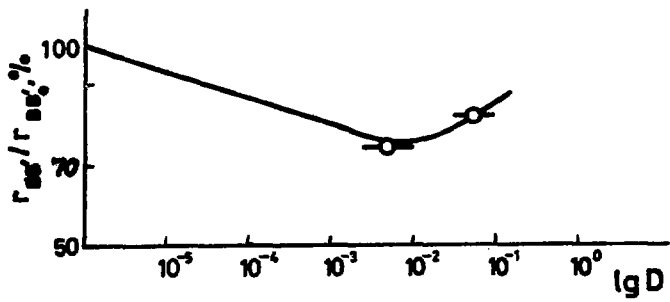


Рис.2.

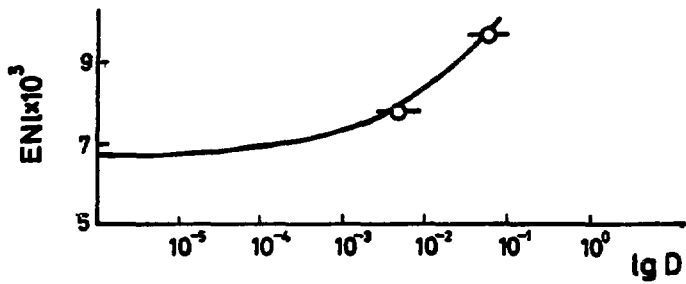


Рис.3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

10000  
10000

Измерена зависимость  $V_N(D)$ ,  $r_{ВВ}(D)$ ,  $ENC(D)$ . При этом показано, что изменение шумовых характеристик обусловлено в основном зависимостью  $V_N(D)$ . Нами было экспериментально определено значение поглощенной дозы, определяющее границу применения транзистора КТ399 в полях смешанного излучения ускорителей. Это значение равно  $5 \cdot 10^4$  рад. Для транзисторов КТ3127, КТ391 уровень дозы 640 крад можно считать приемлемым.

Авторы выражают благодарность В.Е.Бородину и А.А.Асееву за помощь, оказанную при выполнении работы.

### Список литературы

1. Денисов С.П. и др. // Материалы рабочего совещания "Физические исследования на УНК ИФВЭ". - Протвино, 1981. С. 3.
2. Зайцев А.М. // Материалы рабочего совещания "Физические исследования на УНК ИФВЭ". - Протвино, 1981. С. 90.
3. Borgeand P. et al. - Preprint DFNPE, 82-04, March 1982.
4. Vanlint V. - Mechanism of radiation effects in electronic materials 2 vol WILEY 1980.
5. Nacamura M. Radiation damage test of silicon detector. Preprint PPNV 88-08, January, 1988.
6. Gatti E., Manfredi P.F. // NIM 1984, V. 226, P. 142.
7. Краснокутский Р.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 86-5. Серпухов, 1986.
8. Краснокутский Р.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 87-103. Серпухов, 1987.
9. Краснокутский Р.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 86-217. Серпухов, 1986; // ПТЭ. 1988. № 3. С. 129.
10. Патрикеев А.Н. Радиационная стойкость полупроводниковых приборов и интегральных схем. - Москва, 1975.

11. Аствагурьян Е.Р., Голоткин О.Н. Проектирование электронных схем с учетом радиационных воздействий. - Москва, изд-во МИФИ, 1984.
12. Бородин В.Е., Мохов Н.В. - Препринт ИФВЭ 82-46. Серпухов, 1982.

Рукопись поступила 28 марта 1989 г.



Д.Л.Курчанинов и др.

Исследование радиационной стойкости маломощных транзисторов.

Редактор Н.В.Ежела. Технический редактор Л.П.Тимкина.

Корректор Т.Д.Галкина.

---

|                               |                  |                  |
|-------------------------------|------------------|------------------|
| Подписано к печати 10.05.89.  | Т-10651.         | Формат 60x90/16. |
| Офсетная печать. Печ.л. 0,38. | Уч.-изд.л. 0,42. | Тираж 250.       |
| Заказ 356.                    | Индекс 3649.     | Цена 6 коп.      |

---

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов  
Московской обл.

6 коп.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 89-102, ИФВЭ, 1989