

УДК 621.382:539.29

## Процессы релаксации в облученных биполярных и МОП-приборах

<sup>1</sup> Богатырев Ю. В., <sup>1</sup> Ластовский С. Б., <sup>1</sup> Огородников Д. А.,  
<sup>2</sup> Кетько А. В., <sup>2</sup> Козловский В. А.

<sup>1</sup> Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению  
ул. П. Бровки, 19, Минск, 220072, Беларусь  
bogat@ifftp.bas-net.by, lastov@ifftp.bas-net.by

<sup>2</sup> ОАО «Интеграл»  
ул. Казинца, 121А, Минск, 220108, Беларусь  
office@bms.by

Получено 16 января 2019 г.

Отрецензировано 6 февраля 2019 г.

Принято к публикации 12 февраля 2019 г.

**Аннотация:** Рассмотрены релаксационные процессы, проявляющиеся в конденсаторных и транзисторных МОП-структурах, КМОП интегральных микросхемах на их основе, а также биполярных транзисторных структурах, облученных быстрыми электронами с энергией 4 МэВ или гамма-квантами  $Co^{60}$ . Релаксация (отжиг) радиационно-индуцированного заряда в  $SiO_2$  может происходить за счет туннелирования электронов в окисел из кремния (у *n*-канальных МОП-структур) или из металла (у *p*-канальных МОП-структур). Рекомендуется, учитывая релаксационные процессы, для получения адекватных результатов при испытаниях биполярных и МОП-приборов на радиационную стойкость соблюдать одинаковое время, прошедшее после окончания облучения и до проведения контрольных измерений (в пределах каждой партии однотипных образцов).

**Ключевые слова:** релаксационные процессы, конденсаторные и транзисторные МОП-структуры, интегральная микросхема, биполярные транзисторные структуры, радиационная стойкость, гамма-излучение, электронное излучение.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Богатырев Ю. В., Ластовский С. Б., Огородников Д. А., Кетько А. В., Козловский В. А. Процессы релаксации в облученных биполярных и МОП-приборах // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 1. С. 22—32.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Богатырев, Ю. В. / Процессы релаксации в облученных биполярных и МОП-приборах / Ю. В. Богатырев, С. Б. Ластовский, Д. А. Огородников, А. В. Кетько, В. А. Козловский // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2019. — Т. 2, № 1. — С. 22—32.

## Relaxation processes in the irradiated bipolar and MOS devices

Yu. V. Bogatyrev<sup>1</sup>, S. B. Lastovski<sup>1</sup>, D. A. Ogorodnikov<sup>1</sup>,  
A. V. Ket'ko<sup>2</sup>, and V. A. Kozlovski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific-Practical Materials Research Centre NAS of Belarus

19, P. Brovki Str., Minsk, 220072, Belarus

bogat@ifftp.bas-net.by, lastov@ifftp.bas-net.by

<sup>2</sup>Joint Stock Company «Integral»

121A, Kazintsa Str., Minsk, 220108, Belarus

office@bms.by

Received: January 16, 2019

Peer-reviewed: February 6, 2019

Accepted: February 12, 2019

**Abstract:** *The relaxation processes appeared in condenser and transistor MOS structures, CMOS integrated circuits on their basis, and also bipolar transistor structures, irradiated by fast electrons with energy of 4 MeV or gamma-quantum's  $Co^{60}$  are observed. The relaxation (annealing) of the radiation-induced charge in  $SiO_2$  can occur at the expense of electrons tunneling in oxide from silicon (at n-channel MOS structures) or from metal (at p-channel MOS structures). It is recommended, considering relaxation processes, for reception of adequate results at tests of bipolar and MOS-devices for radiation hardness to observe the equal time last after the termination of irradiation and before conducting of control measurements (within each party of the same samples).*

**Keywords:** *relaxation processes, condenser and transistor MOS structures, integrated circuit, bipolar transistor structures, radiation hardness, gamma radiation, electron radiation.*

**For citation (IEEE):** Yu. V. Bogatyrev et al. "Relaxation processes in the irradiated bipolar and MOS devices," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 22–32, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.1.03

### 1. Введение

В настоящее время для получения достоверной информации о радиационной стойкости приборов со структурой металл-окисел-полупроводник (МОП), а также биполярных приборов необходимо учитывать процессы релаксации радиационно-наведенного заряда в подзатворном и изолирующем (пассивирующем) окисле кремния [1—4].

Кроме заряда, захваченного в окисле, величину сдвига порогового напряжения МОП-транзисторов определяет заряд на поверхностных состояниях (ПС). Заряд на ПС изменяет также величину подвижности носителей в канале и, следовательно, крутизну сток-затворной вольтамперной характеристики. Важнейшей особенностью процесса является продолжение образования ПС после прекращения облучения [3].

В биполярных структурах изменения параметров обусловлены влиянием объемных и поверхностных радиационных дефектов. В первом случае при снижении коэффициента усиления  $\beta$  необходимо учитывать уменьшение времени жизни неосновных носителей заряда в базовой области транзисторов в связи с образованием центров рекомбинации [1]. Во втором случае рост скорости поверхностной рекомбинации приводит к уменьшению коэффициента усиления за счет возрастания поверхностной составляющей тока базы, а также увеличению токов утечки [2]. При этом в приборах *n-p-n*-типа основное влияние на поверхностную рекомбинацию оказывает объемный заряд в оксиде, а в *p-n-p* — заряд на поверхностных состояниях у границы раздела Si-SiO<sub>2</sub> [5].

В данной работе исследованы процессы релаксации (восстановления параметров) в конденсаторных и транзисторных МОП-структурах, интегральных микросхемах (ИМС) на их основе, а также биполярных транзисторных структурах, облученных быстрыми электронами или гамма-квантами.

## 2. Методика экспериментов

Исследовались тестовые конденсаторные МОП-структуры, транзисторные *n*- и *p*-канальные МОП-структуры, комплементарные МОП интегральные микросхемы (КМОП ИМС), а также тестовые транзисторные *n-p-n*- и *p-n-p*-структуры (элементы аналоговых микросхем), изготовленные по стандартной эпитаксиально-планарной технологии.

Облучение тестовых и экспериментальных образцов гамма-квантами Co<sup>60</sup> проводилось на установке «Исследователь» при температуре 300 К. Мощность дозы гамма-излучения составляла 10—50 рад/с.

Облучение тестовых и экспериментальных образцов электронами с энергией 4 МэВ проводилось на линейном ускорителе ЭЛУ-4 при комнатной температуре. Плотность потока электронов составляла  $5 \times 10^9$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>.

В процессе облучения использовался активный электрический режим работы биполярных транзисторных структур (напряжение на коллекторе  $U_k = 5$  В, ток базы  $I_6 = 10$  мкА) и МОП-структур (напряжение на затворе  $U_3 = 5$  В).

*CV*-характеристики тестовых МОП-конденсаторов измерялись с помощью цифрового измерителя *LCR E7-12* на частоте 1 МГц. Контроль параметров тестовых биполярных и МОП-транзисторов осуществлялся с помощью автоматизированного измерителя параметров полупроводниковых приборов ИППП-1/6. Измерение параметров КМОП ИМС проводилось с помощью автоматизированной измерительной системы АИС «Дакота».

### 3. Результаты экспериментальных исследований

В результате воздействия гамма-излучения  $\text{Co}^{60}$  в активном электрическом режиме (+5 В на затворе) происходит значительный сдвиг *CV*-характеристик тестовых МОП-конденсаторов (толщина окисла  $d_{\text{ox}} = 0,38$  мкм) в сторону отрицательных напряжений затвора, что обусловлено накоплением положительного фиксированного заряда в объеме окисла (рис. 1). Наблюдается также уменьшение наклона *CV*-характеристик и искажение их первоначальной формы, что объясняется увеличением плотности быстрых поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub> [1—4].

В качестве иллюстрации необходимости учета процессов релаксации на рис. 2 показано изменение порогового напряжения  $\Delta U_T$  тестовых транзисторных *n*-канальных МОП-структур при электронном облучении в реальном масштабе времени. На этом рисунке стрелками показано изменение  $\Delta U_T$  во время перерывов между облучениями. Видно, что в промежутках для измерения параметров после каждой дозы облучения происходит частичное восстановление величины порогового напряжения. И это восстановление тем больше, чем выше доза облучения, а также чем больше время без воздействия радиации.

Следовательно, для получения адекватных результатов при испытаниях на радиационную стойкость необходимо обеспечить как одинаковые условия облучения образцов, так и одинаковое время, прошедшее после окончания облучения и до проведения контрольных измерений.

На рис. 3а показано изменение пороговых напряжений транзисторных МОП-структур в зависимости от времени в процессе и после электронного облучения при  $T=293$  К. Как видно, у *p*-канальных структур после облучения происходит очень небольшое восстановление величины  $U_T$ , а у *n*-канальных структур после облучения наблюдается заметное восстановление порогового напряжения.

На рис. 3б показано относительное изменение подвижности носителей  $\mu/\mu_0$  в канале транзисторных МОП-структур в зависимости от времени в процессе и после электронного облучения. Здесь также наблюдается более заметное восстановление подвижности после облучения у *n*-канальных МОП-структур по сравнению с *p*-канальными.

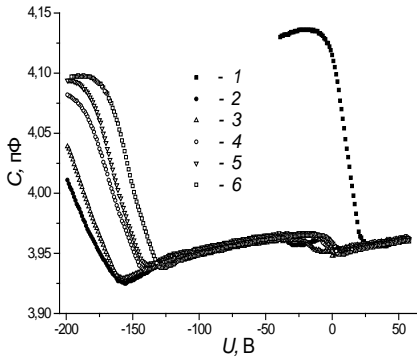


Рис. 1. CV-характеристики МОП-конденсатора до (1) и после облучения гамма-квантами  $\text{Co}^{60}$  дозой  $D = 5 \times 10^5$  рад (2 — через 0,8 ч; 3 — 1,3 ч; 4 — 3,1 ч; 5 — 5,7 ч; 6 — 47,5 ч).

Fig. 1. CV-characteristics of the MOS-capacitor before (1) and after irradiation by gamma quanta of  $\text{Co}^{60}$  by dose  $D = 5 \times 10^5$  rad (2 — after 0.8 h; 3 — 1.3 h; 4 — 3.1 h; 5 — 5.7 h; 6 — 47.5 h)

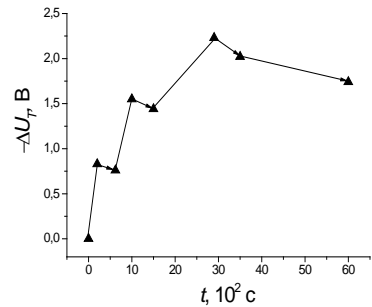


Рис. 2. Изменение порогового напряжения транзисторных  $n$ -канальных МОП-структур в зависимости от времени при электронном облучении.

Fig. 2. Change of a threshold voltage of transistor  $n$ -channel MOS structures depending on a time at electron irradiation

В  $n$ -канальных МОП-структурах при положительном напряжении на затворе в процессе облучения в окисле накапливается положительный заряд вследствие захвата дырок на ловушках вблизи границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$  [1, 2]. Релаксация (отжиг) этого заряда может происходить за счет туннелирования электронов в окисел из кремния. Туннелирование свободных электронов из зоны проводимости кремния зависит от приложенного напряжения (с ростом  $U_3$  увеличивается поверхностная концентрация электронов), а также определяется температурой [2]. Туннелирование электронов происходит из кремниевой подложки на положительно заряженные дефекты в окисле, расположенные в туннельной близости от границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$  ( $< 3$  нм). Кинетика такой релаксации носит логарифмический по времени характер в широком временном диапазоне. Логарифмический характер кинетики релаксации объясняется большим разбросом времен (вероятностей) туннелирования для разных дефектов [6]. Кинетика туннельной релаксации в очень широком временном диапазоне (от  $10^{-6}$  до  $10^8$  с) может приближенно рассматриваться как продвижение туннельного «фронта» вглубь окисла по логарифмическому временному закону [2]:

$$x_m(t) = \lambda \ln(v_0 t), \quad (1)$$

где  $x_m(t)$  – положение фронта туннелирования, т. е. область наиболее интенсивного перезаряда ловушек;  $\nu_0$  – «частота попыток» туннелирования при  $x = 0$ ;  $\lambda$  – характерная длина туннелирования, зависящая от потенциального барьера.

В МОП-структурах с  $p$ -каналом в результате облучения при отрицательном напряжении на затворе дырки захватываются в окисле у границы раздела  $\text{SiO}_2$  - металл. При этом отжиг положительного заряда в  $\text{SiO}_2$  может происходить за счет туннелирования электронов из металла в окисел под действием приложенного электрического поля. Однако образование этого заряда на значительном расстоянии от границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$  (при  $U_3 < 0$ ) является причиной малого изменения порогового напряжения в зависимости от времени после облучения (рис. 3а).

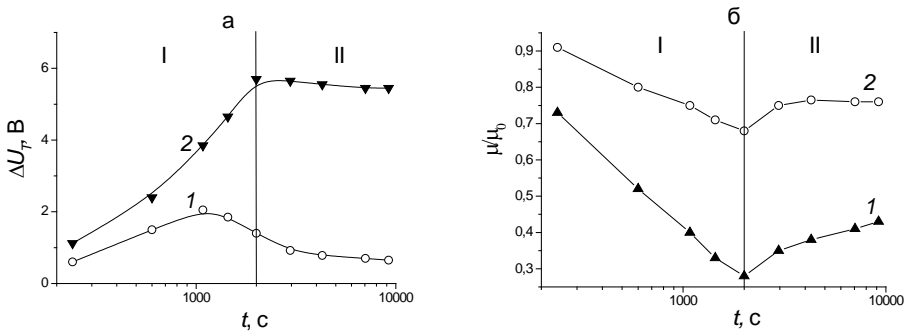


Рис. 3. Изменения порогового напряжения (а) и относительной подвижности носителей в канале (б) транзисторных МОП-структур с  $n$ - (1) и  $p$ -каналом (2) в процессе (I) и после (II) электронного облучения.

Fig. 3. Threshold voltage changes (a) and relative mobility of carrying agents in the channel (b) of transistor MOS structures with  $n$ - (1) and the  $p$ -channel (2) in the course of (I) and after (II) electron irradiation

Изменение подвижности в канале при облучении объясняется взаимодействием носителей с ПС и зарядом в окисле. В общем случае относительное изменение подвижности в канале при облучении за счет встраивания ПС ( $\Delta N_{it}$ ) и положительного заряда ( $\Delta N_{ot}$ ) описывается соотношением [3]:

$$\mu/\mu_0 = 1 + \alpha_{it}\Delta N_{it} + \alpha_{ot}\Delta N_{ot}, \quad (2)$$

где  $\Delta N_{it}$  и  $\Delta N_{ot}$  — приращения плотностей ПС и положительного заряда;  $\alpha_{it}$  и  $\alpha_{ot}$  — коэффициенты пропорциональности. Из формулы (1) следует, что наблюдаемое на рис. 3б изменение подвижности после облучения в основном обусловлено релаксацией положительного заряда в окисле ( $\Delta N_{ot}$ ).

Исследования также проводились на двух экспериментальных образцах КМОП микросхем однократно электрически программируемого ПЗУ емкостью 4 Мбит. Контролировался ток потребления в режиме хранения  $I_{CC}$  при напряжении питания 3,6 В. На рис. 4 приведены результаты измерений параметра  $I_{CC}$  КМОП ИМС (образцы № 1 и 2) при различных дозах гамма-излучения от  $10^2$  до  $10^4$  рад. Согласно приведенным данным значение  $I_{CC}$  при  $U_{CC}=3,6$  В, полученное при дозе  $7,0 \times 10^2$  рад, для обоих образцов составляет 100 мкА. При более высоких дозах (до  $7,0 \times 10^3$  рад) ток потребления возрастает до 1 мА (прибор № 1).

У прибора № 2 после облучения исследовалась релаксация: наблюдалось частичное восстановление тока  $I_{CC}$  в течение 50 минут (рис. 5).

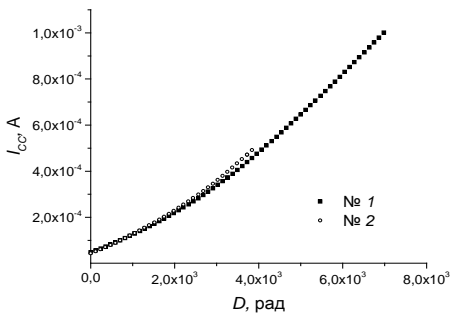


Рис. 4. Дозовые зависимости тока потребления КМОП ИМС (обр. № 1 и 2).  
Fig. 4. Dose dependences of a consumption current of CMOS IC (samp. № 1 and 2)

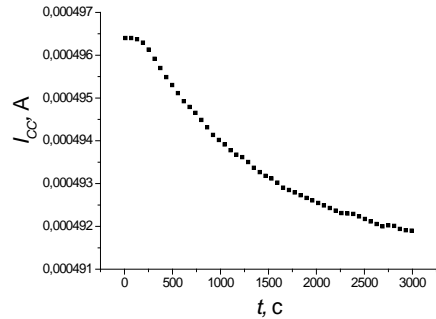


Рис. 5. Релаксация тока  $I_{CC}$  КМОП ИМС (обр. № 2) после облучения  $D = 3,8 \times 10^3$  рад.  
Fig. 5. Relaxation of current  $I_{CC}$  of CMOS IC (samp. № 2) after irradiation  $D = 3,8 \times 10^3$  rad

На рис. 6 (кривая 1) показаны значения выходного напряжения  $U_{OUT}$  КМОП ИМС стабилизатора напряжения, измеренные в процессе облучения при входном напряжении  $U_{IN} = 10,0$  В и токе нагрузки 90 мА. Видно, что с ростом дозы облучения  $D$  значения  $U_{OUT}$  уменьшаются и выходят за пределы нормы технических условий при  $D = 7,5 \times 10^3$  рад. На рис. 6 (кривая 2) представлена дозовая зависимость выходного напряжения  $U_{OUT}$  ИМС стабилизатора. Данные параметры измерялись через 1 час после окончания облучения. По сравнению с контролем параметров в процессе облучения (кривая 1) наблюдается более высокая радиационная стойкость ИМС: величина  $U_{OUT}$  вышла за нормативные пределы только при  $D = 1,9 \times 10^5$  рад.

Полученные результаты можно объяснить влиянием процессов релаксации радиационно-наведенного заряда в подзатворном и изолирующем окисле кремния МОП-приборов [1—4]. При этом изменения парамет-

ров МОП-приборов после облучения описываются логарифмической зависимостью от времени  $t$ . В нашем случае для образцов микросхем стабилизатора, соответственно, получим следующую зависимость  $U_{OUT}(t)$  после облучения дозой  $D = 5 \times 10^4$  рад (рис. 7):

$$U_{OUT} = 4,19 + 0,0928 \ln(t). \quad (3)$$

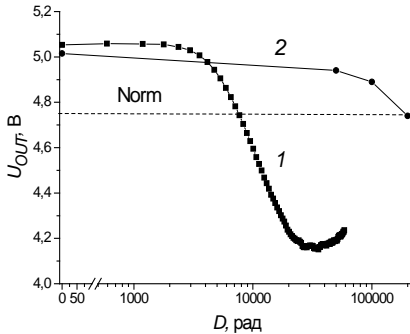


Рис. 6. Дозовые зависимости параметра  $U_{OUT}$  ИМС стабилизатора, измеренные в процессе облучения (1) и через 1 час после облучения (2).

Fig. 6. Dose dependences of parameter  $U_{OUT}$  of the stabilizer IC, measured in process (1) and in 1 hour after irradiation (2)

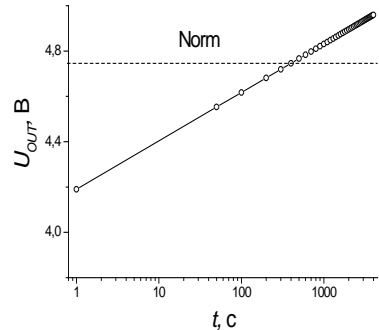


Рис. 7. Расчетная зависимость  $U_{OUT}(t)$  ИМС стабилизатора напряжения после гамма-облучения.

Fig. 7. Calculation dependence of  $U_{OUT}(t)$  of the voltage stabilizer IC after gamma irradiation

Исследовались изменения параметров биполярных транзисторных структур в процессе и после гамма-облучения. При облучении дозой  $D = 10^6$  рад коэффициент усиления по току  $\beta$   $p-n-p$ -транзистора довольно заметно уменьшился, а после облучения практически мало восстановился (рис. 8а). В случае  $n-p-n$ -транзистора коэффициент усиления после облучения восстановился значительно в большей степени (рис. 8б), особенно при наличии активного электрического режима (область 2). При отсутствии напряжения смещения (область 3) величина  $\Delta\beta$  остается практически постоянной.

Изменения параметров исследованных биполярных транзисторных структур связаны в основном с ионизационными процессами встраивания заряда в пассивирующем (защитном) окисле в области базы и объемного заряда эмиттерного перехода [1, 2]. Положительный заряд в окисле конвертируется в поверхностные состояния, которые непосредственно влияют на рекомбинацию инжектированных носителей [5]. Увеличение плотности ПС приводит к увеличению скорости поверхностной рекомбинации. Рост



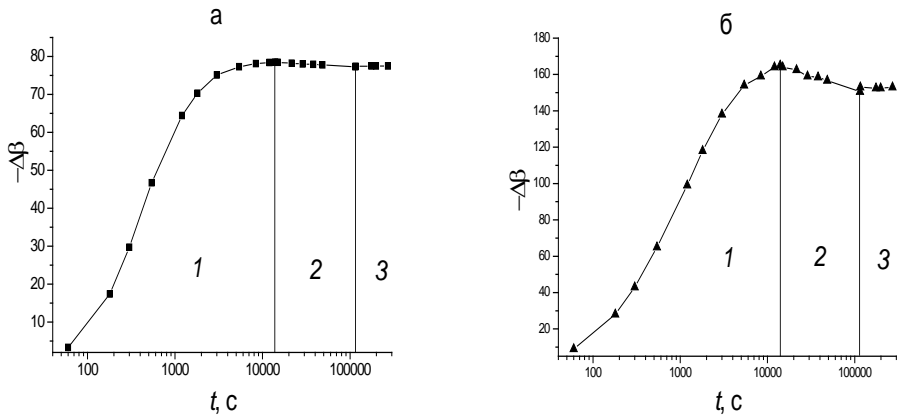


Рис. 8. Изменения коэффициента усиления по току  $p-n-p$ - (а) и  $n-p-n$ -транзистора (б) в процессе гамма-облучения (1) и после него в активном (2) и пассивном (3) электрическом режиме.

Fig. 8. Current gain changes of the  $p-n-p$ - (a) and  $n-p-n$ -transistor (b) in the course of gamma irradiation (1) and after it in active (2) and passive (3) electric regime

скорости поверхностной рекомбинации обуславливает уменьшение коэффициента усиления биполярных транзисторов за счет возрастания поверхностной составляющей тока базы [2]. Знак заряда поверхностных состояний обуславливает величину рекомбинационных потерь (для  $n-p-n$ -транзисторов заряд отрицателен, а для  $p-n-p$ -транзисторов — положителен) [5]. В  $n-p-n$ -транзисторах отрицательный заряд поверхностных состояний отталкивает инжектированные в базу электроны, снижая вероятность их рекомбинации. При этом происходит уменьшение удельного тока поверхностной рекомбинации, что обуславливает частичное восстановление коэффициента усиления биполярных транзисторов после облучения, поскольку, как отмечалось выше, образование ПС продолжается и после прекращения радиационного воздействия [3].

#### 4. Заключение

Исследованы процессы релаксации (восстановления параметров) в транзисторных биполярных и МОП-структурах, а также ИМС на их основе, облученных быстрыми электронами или гамма-квантами.

После электронного облучения у транзисторных  $p$ -канальных МОП-структур происходит очень небольшое восстановление величины порогового напряжения  $U_T$ , а у  $n$ -канальных структур после облучения наблюдается заметное восстановление  $U_T$ . Изменения параметров КМОП ИМС

стабилизатора напряжения после облучения описываются логарифмической зависимостью от времени  $t$ .

Релаксация (отжиг) радиационно-индуцированного заряда в  $\text{SiO}_2$  может происходить за счет туннелирования электронов в окисел из кремния с быстрых ПС (у  $n$ -канальных МОП-структур) или из металла (у  $p$ -канальных структур). Изменение подвижности в канале МОП-структур после облучения в основном обусловлено релаксацией положительного заряда в окисле.

При облучении дозой  $D = 10^6$  рад коэффициент усиления по току  $\beta$   $p$ - $n$ - $p$ -транзистора довольно заметно уменьшился, а после облучения практически мало восстановился. В случае  $n$ - $p$ - $n$ -транзистора коэффициент усиления после облучения восстановился значительно в большей степени.

Изменения параметров исследованных биполярных транзисторных структур связаны в основном с ионизационными процессами встраивания заряда в объеме пассивирующего окисла в области базы и эмиттерного перехода, а также заряда поверхностных состояний. Знак заряда ПС обуславливает величину рекомбинационных потерь (для  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторов заряд отрицателен, а для  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторов — положителен). В  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторах отрицательный заряд поверхностных состояний отталкивает инжектированные в базу электроны, снижая вероятность их рекомбинации, что обуславливает частичное восстановление коэффициента усиления биполярных транзисторов после облучения.

Учитывая наличие релаксационных процессов, для получения адекватных результатов при радиационных испытаниях биполярных и МОП-приборов рекомендуется соблюдать одинаковое время после окончания облучения и до проведения контрольных измерений (для каждой партии однотипных образцов).

### Список литературы

1. Коршунов Ф. П., Богатырев Ю. В., Вавилов В. А. Воздействие радиации на интегральные микросхемы. Минск : Наука и техника, 1986. 254 с.
2. Першенков В. С., Попов В. Д., Шальнов А. В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. М. : Энергоатомиздат, 1988. 256 с.
3. Ma T. P., Dressendorfer P. V. Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits. New York. : John Wiley & Sons, 1989. 587 p.
4. Чумаков А. И. Действие космической радиации на интегральные схемы. М.: Радио и связь, 2004. 320 с.
5. Першенков В. С. Дозовые эффекты в изделиях микроэлектроники при воздействии ионизирующих излучений // Радиационная стойкость изделий ЭКБ : Научное издание. М. : НИЯУ МИФИ, 2015. С. 93—130.
6. Зебрев Г. И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах высокой степени интеграции. М. : НИЯУ МИФИ, 2010. 149 с.

### Информация об авторах

**Богатырев Юрий Владимирович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационных воздействий Научно-практического центра НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск, Беларусь.

**Ластовский Станислав Брониславович**, кандидат физико-математических наук, зав. лабораторией радиационных воздействий Научно-практического центра НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск, Беларусь.

**Огородников Дмитрий Александрович**, аспирант лаборатории радиационных воздействий Научно-практического центра НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск, Беларусь.

**Кетько Александр Владимирович**, директор Филиала: Научно-технический центр «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», г. Минск, Беларусь.

**Козловский Виктор Антонович**, начальник отдела Филиала: Научно-технический центр «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», г. Минск, Беларусь.

### Information about the authors

**Yuri V. Bogatyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Main Researcher of the Radiation Effects Laboratory of the Scientific-Practical Materials Research Centre of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.

**Stanislav B. Lastovski**, Cand. Sci. (Phys.-Math), Head of the Radiation Effects Laboratory of the Scientific-Practical Materials Research Centre of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.

**Dmitriy. A. Ogorodnikov**, Graduate Student of the Radiation Effects Laboratory of the Scientific-Practical Materials Research Centre of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.

**Alexander V. Ket'ko**, Director of the Scientific-Technical Centre «Belmicrosystems» of the Joint Stock Company «Integral», Minsk, Belarus.

**Victor A. Kozlovski**, Head of Department of the Scientific-Technical Centre «Belmicrosystems» of the Joint Stock Company «Integral», Minsk, Belarus.