

# Процессы радиационной ионизации в диэлектрических пленках МДП-структур в сильных электрических полях

В. В. Андреев, Г. Г. Бондаренко, А. В. Романов, С. А. Лоскутов

---

Исследовано воздействие  $\alpha$ -частиц и протонов на структурах металл – диэлектрик – полупроводник (МДП-структурах), находящихся в условиях сильнополевой туннельной по Фаулеру – Нордгейму инжекцией электронов в диэлектрик. Инжекцию электронов осуществляли в режиме протекания постоянного тока через подзатворный диэлектрик при положительной полярности напряжения на затворе. Установлено, что ионизационный ток, возникающий в процессе облучения МДП-структуры при поддержании режима протекания постоянного тока, может существенно уменьшать электрическое поле в диэлектрической пленке. Показано, что ионизационные процессы, протекающие в диэлектрических пленках МДП-структур, находящихся в режимах сильнополевой туннельной инжекции электронов импульсом постоянного тока, а также, заряда и разряда емкости, можно использовать для регистрации радиационных излучений.

**Ключевые слова:** МДП-структура, диэлектрическая плёнка, радиационное облучение, сильные электрические поля, инжекционный ток, радиационная ионизация.

---

## Введение

Процессы радиационной ионизации в диэлектрических пленках МДП-структур и приборов на их основе интенсивно исследуют последние несколько десятилетий по следующим основным причинам. Во-первых, изучают деградационные процессы в МДП-приборах под действием разных видов облучений [1, 2]. Эти работы направлены в первую очередь на повышение радиационной стойкости и надежности МДП-приборов. Второе направление исследований связано с возможностью использования радиационных обработок для модификации МДП-структур и, как следствие, коррекции их характеристик, а также для повышения надежности приборов и интегральных микросхем [3, 4]. Третье направление — посвящено возможности использования МДП-структур и приборов на их основе в качестве датчиков радиационных излучений [5 – 7]. Для всех этих трех направлений большой интерес представляет исследование радиационной ионизации в МДП-структурах в сильных электрических полях, приводящих к инжекции носителей заряда в диэлектрическую пленку, поскольку сильные электрические поля стимулируют

процессы ионизации и ускоряют перемещение зарядов в объеме диэлектрической пленки [8, 9].

Цель данной работы — исследование воздействия  $\alpha$ -частиц и протонов на МДП-структуры, находящихся в режиме протекания через диэлектрик постоянного туннельного тока, обусловленного сильнополевой по Фаулеру – Нордгейму инжекцией электронов в диэлектрик, а также в режиме заряда и разряда емкости постоянным током.

## Методики и экспериментальные образцы

В качестве экспериментальных образцов использовали специально разработанный набор тестовых МДП-конденсаторов [7]. МДП-конденсаторы формировали на пластинах КЭФ-4,5 кристаллографической ориентацией  $\langle 100 \rangle$ . Низкоомный полупроводник был специально выбран для удобства создания сильнополевых инжекционных режимов при изучении ионизационных процессов, протекающих под действием облучения, в тонких диэлектрических пленках. Диоксид кремния толщиной 50 – 100 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере кислорода при температуре 1000 °С с

добавлением 3 % HCl. Верхние электроды формировали с использованием фотолитографии по алюминиевой пленке, напыленной магнетронным методом. После формирования Al-электродов проводили отжиг в среде азота при температуре 475 °С. Для удобства контактирования и использования полученные кристаллы частично разваривали в корпуса интегральных микросхем. С этой целью все контактные площадки были сформированы на толстой пленке SiO<sub>2</sub>. Также были сформированы планарные контакты к подложке.

Во время облучения к МДП-структуре прикладывали импульс постоянного тока, обеспечивающий заряд емкости структуры, а затем установление режима сильнополевой туннельной инжекции электронов в диэлектрик. Амплитуду импульса тока выбирали исходя из условия незначительной зарядовой деградации МДП-структуры, обусловленной инжекцией электронов в течение всего измерительного цикла, а также получением необходимой чувствительности МДП-структуры. Экспериментальная установка позволяла переключать амплитуду прикладываемого токового импульса, реализуя режимы многоуровневой токовой нагрузки [10, 11]. Для получения информации об изменении зарядового состояния диэлектрической пленки и влиянии радиационной ионизации непосредственно в процессе облучения, во время токового воздействия контролировали напряжение на МДП-структуре. Кроме того, изменение зарядового состояния МДП-структур после радиационных воздействий определяли с использованием C – V-метода.

Все структуры испытывали при положительной полярности металлического электрода, что позволяло создать в полупроводнике МДП-структуры режим обогащения и исключить влияние полупроводника на перенос заряда через МДП-структуры, который в этом случае определялся только свойствами инжектирующей границы раздела и объемом диэлектрической пленки.

Для исследования влияния α-частиц на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой инжекции носителей в диэлектрик, образцы подвергали воздействию излучения источника <sup>239</sup>Pu. Мощность потока α-частиц составляла 10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>.

Облучение протонами проводили на экспериментальной установке НИИЯФ МГУ, созданной на базе ускорителя КГ-500 [12], что позволяло использовать потоки протонов с энергией 150 – 500 кэВ. Один импульс на ускорителе обеспечивал флюенс протонов 10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup>. Плотность тока протонов составляла (1 – 4)·10<sup>-8</sup> А/см<sup>2</sup>, что исключало возможность разогрева исследованных образцов.

## Экспериментальные результаты и обсуждение

Экспериментальные результаты, иллюстрирующие воздействие α-частиц на МДП-структуры в условиях приложения к образцу постоянного импульса тока плотностью 10<sup>-8</sup> – 10<sup>-6</sup> А/см<sup>2</sup>, представлены на рис. 1. Участок 1 на рис. 1 соответствует заряду емкости МДП-структуры постоянным током плотностью 10<sup>-8</sup> А/см<sup>2</sup> до напряжения, обеспечивающего переход структуры в режим сильнополевой туннельной инжекции электронов из кремниевой подложки (участок 2). Затем на расстоянии нескольких миллиметров от затвора МДП-структуры помещали источник α-частиц (рис. 1, облучению соответствуют участки 3 – 6). В [8] было показано, что при приложении к МДП-структуре постоянного импульса тока плотностью J<sub>0</sub> можно записать следующее выражение для суммы плотностей токов:

$$J_0 = J_c + J_{inj} + J_{ion}, \quad (1)$$

где J<sub>c</sub> = C(dV/dt) — плотность емкостного тока, C — удельная емкость МДП-структуры; J<sub>inj</sub> — плотность тока сильнополевой туннельной инжекции электронов; J<sub>ion</sub> — плотность тока ионизации, возникающего в МДП-структуре под действием излучения. Следовательно, если плотность ионизационного тока больше плотности J<sub>0</sub>, то будет происходить разряд емкости МДП-структуры до напряжений близких к нулю (рис. 1, участок 3). По скорости разряда емкости МДП-структуры на этом участке, с использованием формулы (1), была рассчитана плотность тока ионизации, которая составила 3·10<sup>-7</sup> А/см<sup>2</sup> в середине участка и уменьшалась до 2·10<sup>-7</sup> А/см<sup>2</sup> в области

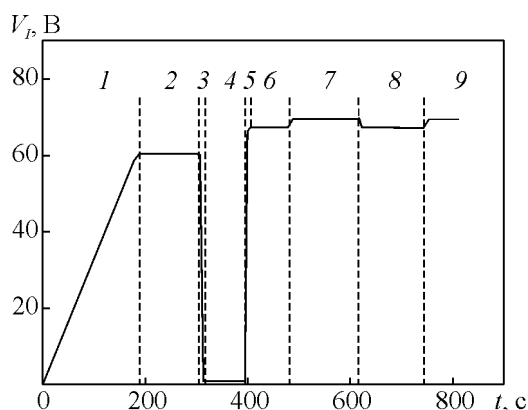


Рис. 1 Временная зависимость напряжения на МДП-структуре при заряде (участки 1, 5) и разряде (участок 3) емкости МДП-структуры, а также при протекании сильнополевой инжекционного тока (участки 2, 6 – 9) в условиях приложения к образцу постоянного импульса тока, А/см<sup>2</sup>: 1 – 4 – 10<sup>-8</sup>; 5 – 9 – 10<sup>-6</sup>; на участках 3 – 8 проводили облучение α-частицами.

более слабых электрических полей. На участке 5 (рис. 1) плотность тока, прикладываемого к МДП-структуре, была увеличена до  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>, в результате чего  $J_{ion}$  стала меньше  $J_0$  и структура перешла в режим заряда емкости. Наличие ионизационного тока на участке 5 приводит к уменьшению скорости возрастания напряжения (рис. 1) по сравнению с режимом, в котором отсутствовало облучение. Напряжение было рассчитано с использованием выражения (1). На этом участке значение  $J_{ion}$  также имело значение  $(2 - 3) \cdot 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>. На участке 6 (рис. 1) напряжение, при котором структура переходит в режим сильнополевой инжекции электронов, ниже, чем на участке 7, где отсутствует облучение. Плотность ионизационного тока на участке 6 (рис. 1) можно рассчитать, используя выражение (1) и уравнение для плотности тока Фаулера – Нордгейма [11, 13]:

$$J_{inj} = AE^2 \exp\left(-\frac{B}{E}\right), \quad (2)$$

где

$$A = 1,54 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m_0}{m^*} \cdot \phi_B^{-1} \text{ А/В}^2$$

и  $B = 6,83 \cdot 10^7 \cdot \frac{m_0}{m^*} \cdot \phi_B^{3/2} \text{ В/см}$

— постоянные туннельной инжекции по Фаулеру – Нордгейму;  $E = V_l / d_{ox}$  — напряжённость электрического поля;  $V_l$  — напряжение на МДП-структуре;  $d_{ox}$  — толщина подзатворного диэлектрика;  $m_0$  и  $m^*$  — масса электрона в вакууме и эффективная масса электрона в диэлектрике;  $\phi_B$  — высота потенциального барьера на инжектирующей границе раздела.

Таким образом, ионизационный ток, возникающий в процессе облучения МДП-структуры при поддержании режима протекания постоянного тока, может существенно уменьшать электрическое поле в диэлектрической пленке. Плотность ионизационного тока, рассчитанная с использованием выражений (1) и (2) на участках 6 и 8 (рис. 1) была равна  $5 \cdot 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>. Более высокая плотность ионизационного тока на участках 6 и 8 была, по-видимому, обусловлена полевой зависимостью радиационной ионизации [2, 8].

После прекращения кратковременного действия  $\alpha$ -облучения напряжение на МДП-структуре практически возвращается к значениям, наблюдавшимся до облучения (рис. 1), что свидетельствует об отсутствии заметных деградиационных процессов в диэлектрической пленке [7 – 13]. При более длительных воздействиях  $\alpha$ -частиц в подзатворном диэлектрике у границы раздела с кремнием накапливается поло-

жительный заряд, плотность которого пропорциональна интегральной поглощенной дозе ионизирующего излучения [5, 6]. Накопление положительного заряда приводит к уменьшению напряжения, падающего на МДП-структуре в режиме сильнополевой инжекции электронов  $V_l$  при протекании постоянного тока. Еще более существенное влияние накопление положительного заряда оказывает на сдвиг  $C - V$  характеристик.

Исследование воздействия протонного облучения на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой инжекции электронов в диэлектрик, проводилось на ускорителе КГ-500 [12]. Перед началом облучения к МДП-структурам, установленным в камере ускорителя, прикладывали импульс постоянного тока и добивались их перехода в режим сильнополевой по Фаулер – Нордгейму туннельной инжекции электронов из кремния в диэлектрик. МДП-структуры, находящиеся в режиме инжекции, облучали пучком протонов короткими импульсами (50 – 300 мс). В течение всего эксперимента контролировали временную зависимость напряжения на МДП-структуре (рис. 2). Как видно из рис. 2, на участке 1 структура была переведена в режим сильнополевой инжекции импульсом тока плотностью  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>, затем на участке 2 она была облучена потоком протонов с флюенсом  $10^{10}$  см<sup>-2</sup>. Кривые 1' и 2' на рис. 2 были получены на МДП-структурах, облученных потоком протонов с энергией 500 и 160 кэВ, соответственно. Энергия протонов 160 кэВ обеспечивала их прохождение через алюминиевый затвор и среднюю длину пробега, приходящуюся на объем диэлектрической пленки [12]. Величина ионизационного тока на участке разряда емкости МДП-структуры, рассчитанная с использованием

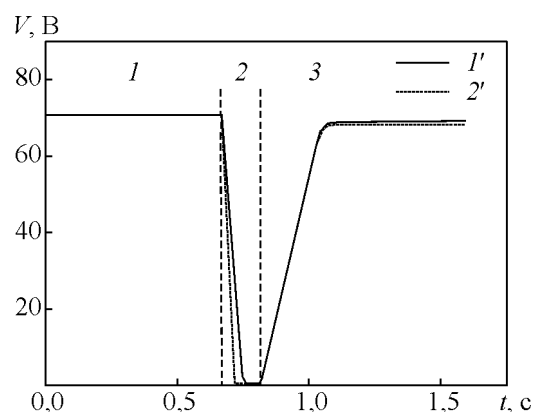


Рис. 2. Временная зависимость напряжения на МДП-структуре, измеренная в режиме протекания через диэлектрик постоянного тока плотностью  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>, при облучении пучком протонов одним импульсом (участок 2) с энергией, кэВ: 1' – 500; 2' – 160.

уравнения (1) из рис. 2, для кривой 1' составила  $2 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>, а для кривой 2' — около  $3,5 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>. Возрастание ионизационного тока при энергии протонов 160 кэВ хорошо согласуется с ранее полученными экспериментальными данными [12]. Исследования при увеличении плотности инжекционного тока больше  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup> не проводили в связи с возможностью заметных деградационных процессов в МДП-структуре вследствие сильнополевой инжекции [13, 14]. Как видно из рис. 2, после облучения протонами наблюдается уменьшение напряжения  $V_T$ , что обусловлено накоплением в пленке диэлектрика положительного заряда. Величина положительного заряда возрастает при облучении протонами с энергией 160 кэВ [12]. Контроль величины положительного заряда, накапливающегося в подзатворном диэлектрике после облучения, позволяет определять интегральную поглощенную дозу ионизирующего излучения [5, 6].

На основе рассмотренных экспериментальных данных была разработана методика контроля ионизирующих излучений сенсорами на основе МДП-структур, находящихся в режиме заряда и разряда емкости постоянным фиксированным уровнем тока в неинжекционном режиме.

Суть предложенного метода заключается в использовании для регистрации радиационных излучений МДП-конденсатора, находящегося в режиме заряда и разряда емкости МДП-структуры постоянным током. Напряжение, до которого заряжается МДП-структура, должно быть ниже напряжений, при которых начинается инжекция заряда в подзатворный диэлектрик. На рис. 3 показаны временные зависимости напряжения на МДП-структуре (а), находящейся в режиме заряда и разряда емкости постоянным током (б) амплитудой  $I_0$ , при отсутствии облучения (кривая 1) и при облучении (кривая 2).

Как видно из рис. 3, при воздействии ионизирующего облучения изменяется время заряда и разряда емкости МДП-структуры. Кривая 2 показывает, как изменяется временная зависимость напряжения на МДП-структуре при воздействии ионизирующего облучения, вызывающего образование в подзатворном диэлектрике ионизационного тока амплитудой  $I_{ion}$ . При  $I_{ion} = 0,5 \cdot I_0$  согласно уравнению (1) время заряда и разряда емкости МДП-структуры увеличивается в два раза. Для реализации алгоритма, приведенного на рис. 3, МДП-структура заряжается до напряжения  $V_{S2}$  и разряжается до нуля или напряжения  $V_{S1}$  постоянным током амплитудой  $I_0$ , а величина ионизационного тока контролируется по изменению временной зависимости напряжения,

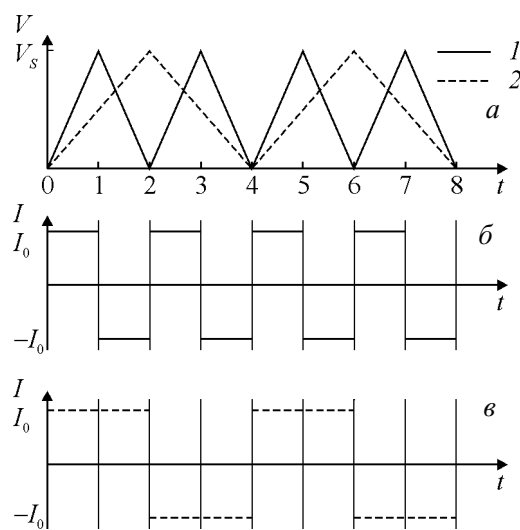


Рис. 3. Временные зависимости напряжения на МДП-структуре (а), находящейся в режиме заряда и разряда емкости постоянным током (б, в) амплитудой  $I_0$ , при отсутствии облучения (1б) и при облучении (2в), вызывающем ионизационный ток плотностью  $I_{ion} = 0,5 \cdot I_0$ .

падающего на МДП-конденсаторе. Амплитуду импульса тока, прикладываемого к образцу, выбирали исходя из условия получения необходимой чувствительности МДП-сенсора к радиационному излучению. Диапазон изменения напряжений, в котором осуществляется заряд, и разряд емкости МДП-структуры, выбирается исходя из условия минимизации погрешности, связанной с полевой зависимостью тока ионизации.

## Выводы

Установлено, что ионизационный ток, возникающий в процессе облучения МДП-структуры, как  $\alpha$ -частицами, так и протонами в режиме протекания через диэлектрик постоянного тока, может существенно уменьшать электрическое поле в диэлектрической пленке.

Показано, что по временной зависимости напряжения, падающего на МДП-структуру в режиме протекания постоянного тока можно определить величину ионизационного тока. Это явление можно использовать в сенсорах радиационных излучений, позволяющих контролировать как интенсивность радиационных излучений, так и величину интегральной поглощенной дозы ионизирующего излучения. В работе предложен метод контроля ионизирующих излучений сенсорами на основе МДП-структур, находящихся в режиме заряда и разряда

емкости постоянным фиксированным уровнем тока в неинжекционном режиме.

*Работа выполнена в рамках государственного задания МГТУ им. Н.Э. Баумана министерства образования и науки РФ (проект № 1117) и в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2015 году.*

## Литература

1. Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоатомиздат. 1988, 256 с.
2. Ma T.P., Dressendorfer P.V. Ionizing radiation effects in MOS devices and circuits. Wiley-IEEE, 1989, 442 p.
3. Воронкова Г.М., Попов В.Д., Протопопов Г.А. Уменьшение плотности ловушечных центров в оксиде кремния при радиационно-термической обработке. Физика и техника полупроводников, 2007, т. 41, вып. 8, с. 977 – 980.
4. United States Military Standard MIL-STD-883H Method 1019.8. Ionizing radiation (total dose) test procedure. Department of Defense, 2010, 14 p.
5. Asensio L.J., Carvajal M.A., Lopez-Villanueva J.A., Vilches M., Lallena A.M., Palma A.J. Evaluation of a low-cost commercial mosfet as radiation dosimeter. Sensors and Actuators A, 2006, v. 125, pp. 288 – 295.
6. Перевертайло В.Л. Датчики интегральной поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе МОП-транзисторов. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2010, № 5 – 6, с. 22 – 29.
7. Андреев В.В., Столяров А.А., Васютин М.С., Михальков А.М. Активный чувствительный элемент сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур с наноразмерными диэлектрическими слоями. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”, 2010, с. 118 – 127.
8. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Лычагин А.А., Столяров А.А., Ульяненко С.Е. Радиационная ионизация в структурах металл-диэлектрик-полупроводник в режиме сильнополевой инжекции электронов. Физика и химия обработки материалов, 2006, № 6, с. 19 – 23.
9. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин М.С. Моделирование воздействия ионизирующих излучений на МДП-структуры с наноразмерными диэлектрическими пленками. Физика и химия обработки материалов, 2011, № 5, с. 18 – 25.
10. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A.: Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, v. 41, 2012, p. 012017 (1 – 9).
11. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Andreev D.V. Control current stress technique for the investigation of gate dielectrics of MIS devices. Phys. Status Solidi C, 2015, v. 12, no. 3, pp. 299 – 303.
12. Андреев В.В., Бедняков А.А., Бондаренко Г.Г., Кузнецов Н.В., Новиков Л.С., Соловьев Г.Г., Столяров А.А., Лоскутов С.А. Влияние протонного облучения на электрофизические параметры МДП-структур. Физика и химия обработки материалов, 2001, № 3, с. 5 – 11.
13. Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Sune J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies. Wiley-IEEE Press, 2009, 624 p.
14. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Andreev D.V. Modification and Reduction of Defects in Thin Gate Dielectric of MIS Devices by Injection-Thermal and Irradiation Treatments. Phys. Status Solidi C, 2015, v. 12, no. 1 – 2, pp. 126 – 130.

## References

1. Pershenkov V.S., Popov V.D., Shalnov A.V. *Poverhnostnye radiatsionnye efekty v IMS* [Surface radiation defects in IC]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 256 p.
2. Ma T.P., Dressendorfer P.V. Ionizing radiation effects in MOS devices and circuits. Wiley-IEEE, 1989, 442 p.
3. Voronkova G.M., Popov V.D., Protopopov G.A. Umen'shenie plotnosti ловушечных центров v oxide kremniya pri radiatsionno-termicheskoi obrabotke [Decrease of trap center's density in a silicon oxide under radiation-thermal treatment]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov — Semiconductors*, 2007, vol. 8, pp. 977 – 980.
4. United States Military Standard MIL-STD-883H Method 1019.8. Ionizing radiation (total dose) test procedure.
5. Asensio L.J., Carvajal M.A., Lopez-Villanueva J.A., Vilches M., Lallena A.M., Palma A.J. Evaluation of a low-cost commercial MOSFET as radiation dosimeter. Sensors and Actuators A, 2006, vol. 125, pp. 288 – 295.
6. Perevertailo V.L. Datchiki integralnoi pogloshennoi dozi ioniziruyushogo izlycheniya na osnove MOP transistorov [Sensors of absorbed dose of ionizing radiation based on MOSFET]. *Technologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature — Technology and design for electronic devices*, 2010, no. 5 – 6, pp. 22 – 29.
7. Andreev V.V., Stolyarov A.A., Vasyutin M.S., Mikhal'kov A.M. Aktivnii chuvstvitel'nii element sensora raditsionnih izlucheniya na osnove MDP-structur s nanorazmernimi dielectricheskimi sloyami [Active Sensitive Element of Radiation Sensor based on MOS-structures with Nanodimensional Dielectric Layers]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. "PriBOROSTROENIE" — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*, 2010, pp. 118 – 127.
8. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Lychagin A.A., Stolyarov A.A., Ulianenko S.E. Radiatsionnaya ionizatsiya v strukturah metall-dielektrik-polyprovodnik v rezhime sil'no polevoi inzhetsii elektronov [Radiation ionization in metal-insulator-semiconductor structures under high-field electron injection mode]. *Fyzika i khimiya obrabotki materialov — Physics and chemistry of materials treatment (in Rus)*, 2006, no. 6, pp. 19 – 23.

9. Andreev D.V., Bondarenko G.G., Stolyarov A.A., Vasyutin M.S. Modelirovanie vozdeystviya ioniziruyushih izlucheni na MDP-structuri s nanorazmernimi dielectricheskimi plenkami [Modeling of ionizing irradiation influence on MIS structures having nanosized dielectric films]. *Fyzika i khimiya obrabotki materialov — Physics and chemistry of materials treatment* (in Rus), 2011, no. 5, pp. 18 – 25.
10. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2012, vol. 41, p. 012017.
11. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Andreev D.V. Control current stress technique for the investigation of gate dielectrics of MIS devices. *Phys. Status Solidi C*, 2015, vol. 12, no. 3, pp. 299 – 303.
12. Andreev V.V., Bednyakov A.A., Bondarenko G.G., Kuznetsov N.V., Novikov L.S., Soloviev G.G., Stolyarov A.A., Loskutov S.A. Vliyanie protonnogo oblycheniya na electrophysichiskie parametri MDP-structur [Influence of proton irradiation on electrophysical characteristics of MIS structures]. *Fyzika i khimiya obrabotki materialov — Physics and chemistry of materials treatment* (in Rus), 2001, no. 3, pp. 5 – 11.
13. Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Suci J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies. Wiley-IEEE Press, 2009, 624 p.
14. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Andreev D.V. Modification and Reduction of Defects in Thin Gate Dielectric of MIS Devices by Injection-Thermal and Irradiation Treatments. *Phys. Status Solidi C*, 2015, vol. 12, no. 1 – 2, pp. 126 – 130.

*Статья поступила в редакцию 22.06.2015 г.*

**Андреев Владимир Викторович** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана (248000, Калуга, ул. Баженова, 2), доктор технических наук, профессор, специалист в области физики полупроводниковых и диэлектрических материалов. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

**Бондаренко Геннадий Германович** — Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики” (НИУ ВШЭ) (101000, Москва, ул. Мясницкая, 20), доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист в области физики конденсированного состояния, радиационной физики твердого тела. E-mail: bondarenko\_gg@rambler.ru.

**Романов Андрей Владимирович** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана (248000, Калуга, ул. Баженова, 2), аспирант, специалист в области физики полупроводниковых и диэлектрических материалов. E-mail: tankerpoint@freemail.ru.

**Лоскутов Сергей Александрович** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана (248000, Калуга, ул. Баженова, 2), кандидат технических наук, доцент, специалист в области физики полупроводниковых и диэлектрических материалов. E-mail: sergel-75@ya.ru.

## **Processes of radiation ionization in dielectric films of MIS structures under high-fields**

**V. V. Andreev, G. G. Bondarenko, A. V. Romanov, S. A. Loskutov**

We have researched an influence of  $\alpha$ -particles and protons on MIS structures being under high-field Fowler-Nordheim tunnel injection. We implemented the injection of electrons in the mode of constant current conducting through gate dielectric at positive polarity of gate voltage. We have ascertained that ionizing current taking place during the process of the irradiation of MIS structure at maintaining of the constant current mode, might be a cause of electrical field reducing in the dielectric film. We have shown that we could use ionizing processes conducting in dielectric films of MIS structures, which are under high-field injection of electrons implemented by constant current pulse, or in charging/discharging mode, to register of the radiation.

**Key words:** MOS-structure, dielectric film, irradiation, high-field, injection current, radiation ionization.

---

***Andreev Vladimir** — the Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (Kaluga, 248000, Bazhenov str., 2), DrSci (Eng), professor; specialist in physics of semiconductors and dielectrics. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.*

***Bondarenko Gennady** — National Research University Higher School of Economics (Moscow, 101000, Myasnitskaya Ulitsa, 20), DrSci (Phys-Math), professor; head of a laboratory, specialist in condensed matter physics and radiation solid-state physics. E-mail: bondarenko\_gg@rambler.ru.*

***Romanov Andrey** — the Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (Kaluga, 248000, Bazhenov str., 2), post-graduate student, specialist in physics of semiconductors and dielectrics. E-mail: tankerpoint@freemail.ru.*

***Loskutov Sergey** — the Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (Kaluga, 248000, Bazhenov str., 2), PhD (Eng.), associated professor; specialist in physics of semiconductors and dielectrics. E-mail: sergel-75@ya.ru.*