

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

выпуск 13

ТВЕРЬ 2021

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в журнале «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Издательство Тверского государственного университета, 2021. – Вып. 13. – 956 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-47789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Журнал предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2021

© Тверской государственной
университет, 2021

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА В СИСТЕМЕ $Al_2O_3-SiO_2$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Г.А. Мустафаев¹, А.Г. Мустафаев², Н.В. Черкесова¹

¹ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

²ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»

367008, Россия, Махачкала, ул. Джамалутдина Атаева, 5

arслан_mustafaev@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.329

Аннотация: Полупроводниковые МДП (металл – диэлектрик – полупроводник) структуры являются ключевыми элементами современной электронной техники, в том числе устройств работающих в условиях воздействия проникающих излучений. Одним из возможных подходов к уменьшению радиационных эффектов в МДП структурах является использование диэлектриков, которые уменьшают генерацию и накопление избыточного пространственного заряда в объеме диэлектрика. В работе исследована система диэлектриков $Al_2O_3-SiO_2$. Исследование показывает пригодность использования МДП структур, на основе системы диэлектриков, для формирования приборов с высокой радиационной стойкостью. Нанесение слоя Al_2O_3 поверх слоя SiO_2 улучшает рабочие характеристики МДП структур за счет повышения однородности параметров. Основной эффект влияния слоя Al_2O_3 на параметры структур заключается в уменьшении механических напряжений на границе SiO_2 -подложка. Захват ловушками электронов в Al_2O_3 , компенсирует заряд захваченных дырок в Al_2O_3 , и снижает паразитный ток через Al_2O_3 .

Ключевые слова: ионизирующее излучение, поверхностные состояния, распределение заряда, система диэлектриков, радиационная стойкость.

1. Введение

Радиационная стойкость диэлектриков играет важную роль при проектировании приборов, работающих при повышенных уровнях ионизирующего излучения. Воздействие ионизирующего излучения на полупроводниковую структуру диэлектрик-подложка приводит к образованию поверхностных электроактивных центров и значительному ухудшению характеристик приборов [1-3]. В структуре диэлектрик-подложка при облучении происходит накопление объемного положительного заряда, что приводит к деградации параметров приборов в целом. Основной причиной образования этих центров является разрыв напряженных связей между атомами, как в объеме диэлектрика, так и вблизи границы диэлектрик-подложка [4, 5].

Возникновение напряженных связей между атомами вызвано двумя основными причинами [6]:

1. кристаллографическим и структурным несоответствием материалов

диэлектрика и подложки;

2. несоответствием коэффициентов линейного расширения материалов диэлектрика и подложки.

Целью данной работы является исследование влияния ионизирующего облучения на распределение зарядов в системе диэлектриков $Al_2O_3-SiO_2$, и возможность применения полученного комбинированного диэлектрика для увеличения радиационной стойкости МДП структур.

2. Эксперимент и описание результатов

Облучение структур диэлектрик-подложка быстрыми электронами (4 МэВ) проводилось при температуре 20 °С потоком электронов 10^{14} см^{-2} на установке ЭЛУ-4. Плотность поверхностных состояний определялась с помощью метода вольтфарадных характеристик. Насыщение плотности поверхностных состояний достигается при интенсивности электронного излучения $10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Увеличение плотности поверхностных состояний и снижение подвижности носителей заряда в приповерхностных слоях происходит, вследствие роста общей потенциальной разупорядоченности границы раздела SiO_2 -подложка.

Природа потенциальной разупорядоченности границы раздела SiO_2 -подложка, возникающей в результате радиационного воздействия, в значительной степени обусловлена локальной реконструкцией приповерхностных валентных связей SiO_2 . В процессе окисления, из-за наличия дефектов на поверхности подложки, несоответствия коэффициентов термического расширения и параметров решетки подложки и SiO_2 , в слоях SiO_2 формируются аморфные области с напряженными связями между атомами кремния и кислорода. При воздействии ионизирующего излучения происходит разрыв напряженных связей кремний-кислород с образованием пары электрон-дырка. При этом атомы кремния и кислорода перемещаются в равновесное положение, вследствие чего появляются стабильные ловушечные центры, энергетические уровни которых расположены в запрещенной зоне. Атом кислорода образует ловушечный уровень донорного типа, на котором локализована дырка, атом кремния - нейтральный акцепторный уровень.

Возникшие при облучении электроны являются свободными и они уходят из SiO_2 , или захватываются экситонными уровнями и рекомбинируют с дырками [7]. С увеличением концентрации дырочных ловушек и температуры в SiO_2 появляется дырочная проводимость, при этом генерируемые излучением подвижные дырки, могут потерять часть энергии, вследствие чего они захватываются напряженными связями.

Менее подвижные дырки захватываются стационарными ловушками на поверхности раздела SiO_2 -подложка и в объеме SiO_2 и образуют положительный пространственный заряд.

Увеличение плотности поверхностных состояний в процессе облучения зависит от ее первоначальной величины и типа диэлектрика. Полярность напряжения, приложенного к структуре диэлектрик-подложка в процессе облучения, определяет пространственное распределение объемного заряда.

При отсутствии электрического поля основным эффектом является рекомбинация генерируемых в диэлектрике пар электрон-дырка, и только небольшое количество электронов и дырок захватывается ловушками, расположенными, соответственно, у поверхности раздела SiO_2 -подложка. Когда концентрация захваченных электронов равна концентрации захваченных дырок, результирующий объемный заряд равняется нулю. Как правило концентрация дырочных ловушек больше, чем электронных. В этом случае при нулевом напряжении в SiO_2 образуется небольшой положительный заряд.

При небольшом отрицательном смещении перемещение зарядов через поверхности раздела не происходит. Поэтому электронно-дырочные пары, захваченные в диэлектрике, вынуждены рекомбинировать. При возрастании отрицательного напряжения становится возможным перенос зарядов через границу SiO_2 -подложка [8, 9]. Это приводит к возникновению области положительного заряда. Образующийся в слое SiO_2 положительный объемный заряд, в свою очередь, индуцирует отрицательный заряд в подложку. С увеличением потока ионизирующих частиц D , плотность поверхностных состояний в SiO_2 увеличивается, достигая насыщения при потоке $10^8 - 10^9$ рад (см. рис. 1).

Исследование распределения заряда в слое SiO_2 , подвергнутой бомбардировке электронами с энергией 4 МэВ (поток 10^{14} см⁻²), методом послойного травления показало, что весь положительный заряд сконцентрирован на расстоянии порядка 10 нм от поверхности раздела диэлектрик-подложка.

Улучшение свойств SiO_2 проводят различными методами: ионной имплантацией, легированием, изменением технологических процессов выращивания и т.д. Легирование SiO_2 атомами фосфора, бора, хрома и алюминия уменьшает вероятность накопления положительного заряда за счет изменения числа и природы ловушек и тем самым способствует снижению чувствительности SiO_2 к радиации.

Нанесение слоя Al_2O_3 поверх слоя SiO_2 улучшает рабочие

характеристики структур за счет повышения однородности параметров. Основной эффект влияния слоя Al_2O_3 на параметры структур заключается в уменьшении механических напряжений на границе SiO_2 -подложка. Величина заряда, накапливаемого в слое Al_2O_3 при γ -облучении, меньше, чем в SiO_2 (см. рис. 2).

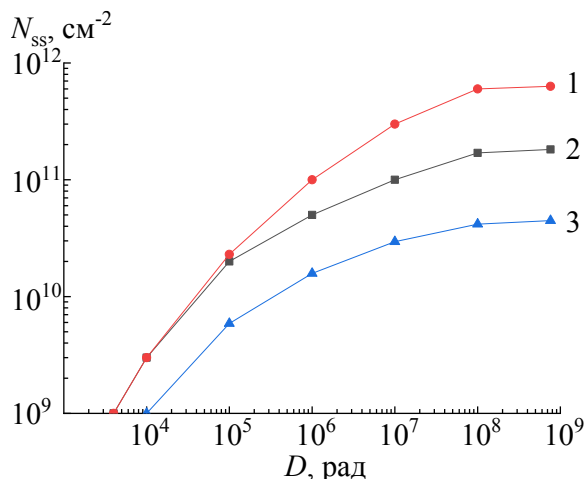


Рис. 1. Зависимость плотности поверхностных состояний N_{ss} в структуре подложка-диэлектрик от дозы электронов: 1 – влажный SiO_2 , 2 – сухой SiO_2 , 3 – Al_2O_3 .

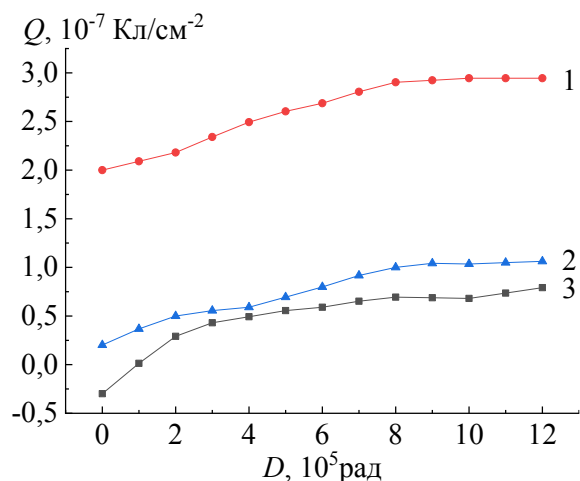


Рис. 2. Зависимость плотности заряда Q в диэлектрических слоях от дозы γ -облучения: 1 – SiO_2 , 2 – Al_2O_3 , 3 – $Al_2O_3-SiO_2$.

При облучении однослойных диэлектрических структур возникающие в них заряды не компенсируются, тогда, как в двухслойных системах происходит уменьшение встроенного заряда, за счет компенсации положительного заряда в SiO_2 , отрицательным зарядом, накопленным в Al_2O_3 .

Зависимость величины заряда от дозы при облучении структур SiO_2 -подложка электронами с энергией 4 МэВ), представлена на рис. 3. Установлено, что в результате облучения величина заряда возрастает и при дозах превышающих $2,5 \cdot 10^7$ рад, изменяется незначительно. Заряд в структуре SiO_2 -подложка при облучении возрастает оставаясь положительным. Это приводит к увеличению электрического поля у электрода с отрицательным потенциалом (катода), что улучшает эмиссионные свойства подложка-диэлектрик. Изменение проводимости объясняется одновременным действием двух эффектов, ионизацией и образованием структурных дефектов. Под влиянием ионизации в объеме диэлектрического слоя накапливается положительный заряд на ловушках, имеющих до облучения и возникших в результате него. Этот заряд

может стимулировать микропробой в наиболее тонких и дефектных участках диэлектрика. Образованные при облучении структурные дефекты являются дополнительными центрами захвата свободных носителей заряда, которые частично компенсируют электроактивные центры в объеме диэлектрических слоев.

В Al_2O_3 наряду с дырочными ловушками, имеются также ловушки для электронов, что обеспечивает одновременный захват обоих типов носителей. Так как сечение захвата электронов и дырок на соответствующих ловушках мало, по сравнению с сечением их рекомбинации, то значительная часть образованных радиацией носителей рекомбинирует до их захвата, и накопление объемного заряда не происходит.

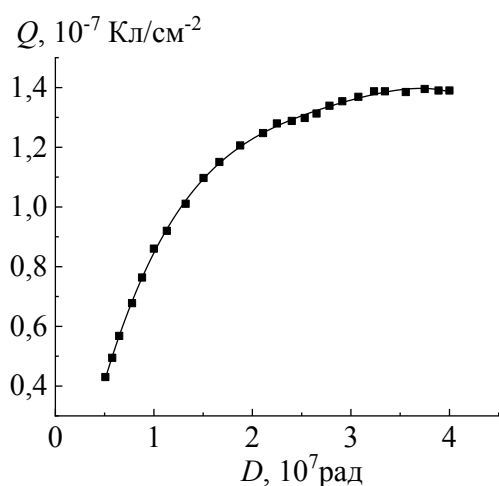


Рис. 3. Зависимость величины плотности заряда в структуре SiO_2 -подложка от дозы облучения.

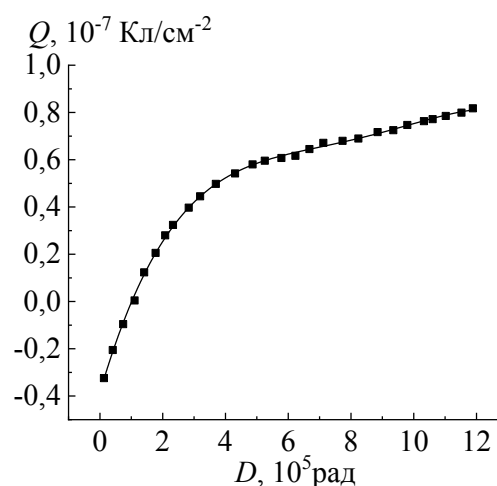


Рис. 4. Изменение плотности заряда в слоях Al_2O_3 от дозы γ -облучения.

Изменение плотности заряда в слоях Al_2O_3 в результате γ -облучения показано на рис. 4. Наблюдается образование положительного заряда, что свидетельствует о преимущественном захвате дырок, имеющимися в SiO_2 ловушками. Захват ловушками электронов с одной стороны, компенсирует заряд захваченных дырок, а с другой, уменьшает ток через Al_2O_3 . Установлено, что оксидные слои Al_2O_3 , практически не содержат ионы Na^+ (ионы натрия при воздействии поля приводят к образованию заряда подвижных ионов, влияющего через генерацию избыточных носителей на напряжение плоских зон и пороговое напряжение и в целом на стабильность электрофизических характеристик), и обладают низкой плотностью поверхностных состояний и стабильны к образованию дефектов обусловленных ионизирующей радиацией.

Для исследования были сформированы структуры с различной толщиной SiO_2 . Зависимость исходного заряда в Al_2O_3 от толщины подслоя SiO_2 при толщине слоя Al_2O_3 0,1 мкм, показана на рис. 5. Видно, что, при уменьшении толщины пленки SiO_2 , начальный эффективный заряд в Al_2O_3 изменяется от положительных значений к отрицательным. Как правило объемный заряд в Al_2O_3 имеет только положительное значение [10-12], поэтому естественно предположить, что в объеме Al_2O_3 существуют ловушки отрицательного заряда, а наличие отрицательного заряда до облучения обусловлено тем, что суммарный отрицательный заряд на электронных ловушках в Al_2O_3 превышает положительный заряд дырочных ловушек в SiO_2 или на границе раздела SiO_2 -подложка.

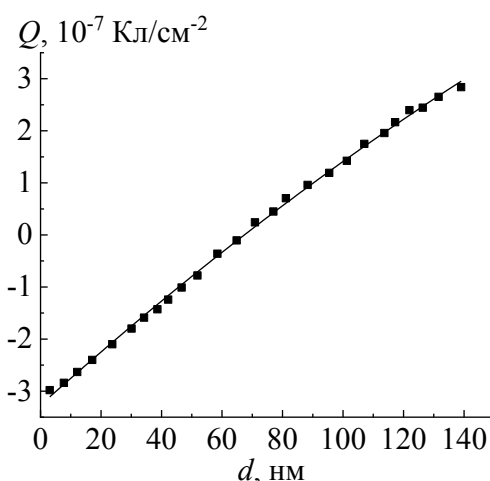


Рис. 5. Зависимость плотности заряда в системе $Al_2O_3 - SiO_2$ от толщины слоя SiO_2 .

3. Заключение

Исследованы зависимости поверхностных состояний и плотности заряда в диэлектрических слоях SiO_2 полученных по различной технологии и Al_2O_3 от дозы ионизирующего облучения. Показано что система $Al_2O_3 - SiO_2$ может быть использована в качестве комбинированного диэлектрика для МДП структур. Увеличение радиационной стойкости МДП структур достигается посредством снижения механических напряжений на границе раздела SiO_2 -подложка, и компенсацией образованных воздействием ионизирующего облучения, положительного заряда захваченного в SiO_2 , отрицательным зарядом захваченным в Al_2O_3 .

Библиографический список:

1. Gaillardin, M. Radiation effects in CMOS isolation oxides: differences and similarities with thermal oxides / M. Gaillardin, V. Goiffon, C. Marcandella et al. // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2013. – V. 60. – I. 4.

- P. 2623-2629. DOI: 10.1109/TNS.2013.2249094.
2. **Barnaby, H.J.** Modeling ionizing radiation effects in solid state materials and CMOS devices / H.J. Barnaby, M.L. McLain, I.S. Esqueda, X.J. Chen // *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. – 2009. – V. 56. – I. 8. – P. 1870-1883. DOI: 10.1109/TCSI.2009.2028411.
3. **Matsunaga, K.** First-principles calculations of intrinsic defects in Al_2O_3 / K. Matsunaga, T. Tanaka, T. Yamamoto, Y. Ikuhara / *Physical Review B*. – 2003. – V. 68. – I. 8. – P. 085110-1-085110-9. DOI: 10.1103/PhysRevB.68.085110.
4. **Shaw, C.** Total dose radiation hardening of MOS transistors by fluorine implantation / C. Shaw, K. Potter, K. Morgan et al. // 17th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), 2-6 October 2017, Geneva, Switzerland. – New York: IEEE Publ., 2017. – P. 1-3. DOI: 10.1109/RADECS.2017.8696125.
5. **Lee, C.** Evaluating the impact of thermal annealing on $Al_2O_3/c-Si$ interface properties by non-destructive measurements / C. Lee, X. Cui, T. Zhang et al. // *IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)*, 10-15 June 2018, Waikoloa, HI, USA. – New York: IEEE Publ., 2018. – P. 2788-2791. DOI: 10.1109/PVSC.2018.8547787.
6. **Мустафаев, Г.А.** Конструктивные приемы увеличения радиационной стойкости КНИ МОП-транзисторов к накопленной дозе ионизирующего излучения / Г.А. Мустафаев, Н.В. Черкесова, А.Г. Мустафаев, // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 10-12.
7. **Петухов, К.А.** Влияние электрического режима на образование поверхностных дефектов в МОП-транзисторе при длительном низкоинтенсивном воздействии гамма-излучения / К.А. Петухов, В.Д. Попов // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру*. – 2017. – №1. – С. 22-25.
8. **Пат. 2308785 Российская Федерация, МПК H01L 21/263.** Способ повышения радиационной стойкости полупроводниковых приборов / Мустафаев А.Г., Шаваев Х.Н., Мустафаев А.Г., Мустафаев Г.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова. – № 2006108679/28; заявл. 20.03.2006; опубл. 20.10.2007, Бюл. № 29. – 4 с.
9. **Bhandaru, S.** Accelerated oxidation of silicon due to x-ray irradiation / S. Bhandaru, E.X. Zhang, D.M. Fleetwood et al. // 12th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems, 19-23 September 2011, Seville, Spain. – New York: IEEE Publ., 2011. – P. 77-79. DOI: 10.1109/RADECS.2011.6131371.
10. **Dolzhenko, D.I.** The Dielectric properties and radiation resistance of aluminum oxide layers obtained by atomic layer deposition / D.I. Dolzhenko, V.M. Kapralova, N.T. Sudar // *IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech)*, 22-23 October 2018, St. Petersburg, Russia. – New York: IEEE Publ., 2018. – P. 182-185. DOI: 10.1109/EExPolytech.2018.8564381.
11. **Seo, M.Y.** Characterization of Al_2O_3 films grown by electron beam evaporator on *Si* substrates / M.Y. Seo, E.N. Cho, C.E. Kim, P. Moon, I. Yun // 3rd International Nanoelectronics Conference (INEC), 3-8 January 2010, Hong Kong, China. – New York: IEEE Publ., 2010. – P. 238-239. DOI: 10.1109/INEC.2010.5424657.
12. **Hoex, B.** On the *c-Si* surface passivation mechanism by the negative-charge-dielectric / B. Hoex, J.J.H. Gielis, M.C.M. van de Sanden, W.M.M. Kessels // *Journal of Applied Physics*. – 2008. – V. 104. – I. 11. – P. 113703-1-113703-7. DOI: 10.1063/1.3021091.

References:

1. Gaillardin M., Goiffon V., Marcandella C. et al. Radiation effects in CMOS isolation oxides: differences and similarities with thermal oxides, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2013, vol. 60, issue 4, pp. 2623-2629. DOI: 10.1109/TNS.2013.2249094.
2. Barnaby H.J., McLain M.L., Esqueda I.S., Chen X.J. Modeling ionizing radiation effects in solid state materials and CMOS devices, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2009, vol. 56, issue 8, pp. 1870-1883. DOI: 10.1109/TCSI.2009.2028411.
3. Matsunaga K., Tanaka T., Yamamoto T., Ikuhara Y. First-principles calculations of intrinsic defects in Al_2O_3 , *Physical Review B*, 2003, vol. 68, issue 8, pp. 085110-1-085110-9. DOI: 10.1103/PhysRevB.68.085110.
4. Shaw C., Potter K., Morgan K. et al. Total dose radiation hardening of MOS transistors by fluorine implantation, *17th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)*, 2-6 October 2017, Geneva, Switzerland. New York, IEEE Publ., 2017, pp. 1-3. DOI: 10.1109/RADECS.2017.8696125.

5. Lee C., Cui X., Zhang T. et al. Evaluating the impact of thermal annealing on $Al_2O_3/c-Si$ interface properties by non-destructive measurements, *IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)*, 10-15 June 2018, Waikoloa, HI, USA. New York, IEEE Publ., 2018, pp. 2788-2791. DOI: 10.1109/PVSC.2018.8547787.
6. Mustafaev G.A., Cherkesova N.V., Mustafaev A.G. Konstruktivnye priemy uvelicheniya radiatsionnoj stojkosti KNI MOP- tranzistorov k nakoplennoj doze ioniziruyushchego izlucheniya [Constructive methods of increasing the radiation resistance of SOI MOS transistors to the accumulated dose of ionizing radiation], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Kabardino-Balkarian State University]*, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 10-12. (In Russian).
7. Petuhov K.A., Popov V.D. Vliyanie elektricheskogo rezhima na obrazovanie poverkhnostnykh defektov v MOP-tranzistore pri dlitel'nom nizkointensivnom vozdejstvii gamma-izlucheniya [Influence of electric mode to the formation of surface defects in MOS transistor at low-intensity prolonged exposure to gamma radiation], *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Seriya: Fizika radiatsionnogo vozdejstviya na radioelektronnyyu apparaturu [Questions of atomic science and technics. Series: Physics of radiation effects on radio-electronic equipment]*, 2017, no. 1, pp. 22-25. (In Russian).
8. Mustafaev A.G., Shavaev Kh.N., Mustafaev A.G., Mustafaev G. A. *Sposob povysheniya radiatsionnoj stojkosti poluprovodnikovyx priborov* [Method for enhancing radiation stability of semiconductor devices]. Patent RF, no. 2308785, 2007. (In Russian).
9. Bhandaru S., Zhang E.X., Fleetwood D.M. et al. Accelerated oxidation of silicon due to x-ray irradiation, *12th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems*, 19-23 September 2011, Seville, Spain. New York, IEEE Publ., 2011, pp. 77-79. DOI: 10.1109/RADECS.2011.6131371.
10. Dolzhenko D.I., Kapralova V.M., Sudar N.T. The dielectric properties and radiation resistance of aluminum oxide layers obtained by atomic layer deposition, *IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech)*, 22-23 October 2018, St. Petersburg, Russia. New York, IEEE Publ., 2018, pp. 182-185. DOI: 10.1109/EExPolytech.2018.8564381.
11. Seo M.Y., Cho E.N., Kim C.E., Moon P., Yun I. Characterization of Al_2O_3 films grown by electron beam evaporator on Si substrates, *3rd International Nanoelectronics Conference (INEC)*, 3-8 January 2010, Hong Kong, China. New York, IEEE Publ., 2010, pp. 238-239. DOI: 10.1109/INEC.2010.5424657.
12. Hoex B., Gielis J.J.H., van de Sanden M.C.M., Kessels W.M.M. On the $c-Si$ surface passivation mechanism by the negative-charge-dielectric Al_2O_3 , *Journal of Applied Physics*, 2008, vol. 104, issue 11, pp. 113703-1-113703-7. DOI: 10.1063/1.3021091.

Original paper

CHARGE DISTRIBUTION IN THE $Al_2O_3-SiO_2$ SYSTEM EXPOSED TO IONIZING RADIATION

G.A. Mustafaev¹, A.G. Mustafaev², N.V. Cherkesova¹

¹*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia*

²*Dagestan State University of National Economy, Makhachkala, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.329

Abstract: Metal-insulator-semiconductor (MIS) structures are key elements of modern electronic technology, including devices operating under conditions of exposure to penetrating radiation. One of the possible approaches to reducing radiation effects in MIS structures is the use of dielectrics, which reduce the generation and accumulation of excess space charge in the bulk of the dielectric. We investigated the system of dielectrics $Al_2O_3-SiO_2$. The study shows the suitability of using MIS structures based on a system of dielectrics for formation of devices with high radiation resistance. Applying a Al_2O_3 layer on top of the SiO_2 layer improves the performance of MIS structures by increasing the uniformity of parameters. The main effect of the influence of the Al_2O_3 layer on the parameters of the structures is to reduce the mechanical stresses at the interface SiO_2 -substrate. The trapping of electrons in Al_2O_3 , compensates for the charge of the trapped holes in SiO_2 , and reduces the parasitic current through Al_2O_3 .

Keywords: *ionizing radiation, surface states, charge distribution, system of dielectrics, radiation resistance.*

*Мустафаев Гасан Абакарович – д.т.н., профессор кафедры электроники и информационных технологий
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»*

*Мустафаев Арслан Гасанович – д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и
информационной безопасности ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного
хозяйства»*

*Черкесова Наталья Васильевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры электроники и информационных технологий
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»*

*Gasan A. Mustafaev – Dr. Sc., Full Professor, Department of Electronics and Information Technologies,
Kabardino-Balkarian State University*

*Arslan G. Mustafaev – Dr. Sc., Full Professor, Department of Information Technologies and Information
Security, Dagestan State University of National Economy*

*Natalya V. Cherkesova – Ph. D., Docent, Department of Electronics and Information Technologies,
Kabardino-Balkarian State University*

Поступила в редакцию/received: 05.09.2021; после рецензирования/ revised: 04.10.2021; принята/accepted 09.10.2021.