

О.В. Александров^{1,2}, С.А. Мокрушина^{1,2}, В.Н. Фомин²

¹ ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

² ЗАО «Светлана-Полупроводники»

Влияние смещения на заряд в *n*- и *p*- МОП-транзисторах при ионизирующем облучении

*Представлены результаты исследования дозовых зависимостей сдвига объемной и поверхностной составляющих порогового напряжения при различных смещениях, приложенных к затвору в процессе γ -облучения. Исследовались *n*- и *p*-канальные МОП-транзисторы, изготовленные по стандартной планарной технологии с поликремниевым затвором. Полученные зависимости позволяют выбрать рабочие точки *n*- и *p*-канальных транзисторов, обеспечивающие наибольшую радиационную стойкость.*

Ключевые слова: МОП-транзистор, гамма-облучение, дозовые зависимости при смещении

Элементы интегральных микросхем со структурой метал-оксид-полупроводник (МОП) составляют в настоящее время основу современной микроэлектроники и имеют широкое применение в электронном оборудовании, предназначенном для использования в авиационной и космической технике. В этих условиях особое значение приобретают вопросы разработки и обеспечения надежного функционирования МОП-транзисторов особенно при воздействии дестабилизирующих факторов, таких как ионизирующее облучение.

Из многочисленных исследований [1-3] известно, что при воздействии ионизирующей радиации на МОП-структуру возникают два эффекта - накопление положительного заряда внутри слоя диэлектрика и рост плотности быстрых поверхностных состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Их совместное воздействие приводит к результирующему сдвигу порогового напряжения МОП-транзисторов. Изучая работу МОП-транзисторов при различных смещениях на затворе, приложенных во время облучения, можно прогнозировать их работу, варьировать режимы и положение рабочей точки для увеличения их радиационной стойкости и надежности.

Приложение потенциала во время облучения приводит к изменениям в величине сдвига порогового напряжения [4,5] в результате увеличения объемного и поверхностного заряда, накопленного в оксиде. В данной работе изучается изменение обеих составляющих порогового напряжения в зависимости от смещения на затворе во время облучения.

Исследовались *n*- и *p*-канальные МОП-транзисторы, изготовленные по стандартной планарной технологии с подзатворным оксидом толщиной 1200 Å и поликремниевым затвором. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) *n*- и *p*-канальных транзисторов измерялись до и после гамма-облучения при напряжении, приложенном к затвору в процессе облучения V_g в диапазоне от -10 до +10 В. Образцы подвергались облучению на гамма-облучателе твердотельных изделий (ГОТ) с дозами от 10^4 до 10^7 рад при мощности излучения 70 рад/с. Источником излучения служит радиоактивный изотоп Cs¹³⁷. Сдвиг

порогового напряжения разделялся на две составляющие, связанные с объемным ΔV_{ot} и поверхностным и ΔV_{it} зарядом, с помощью метода середины запрещенной зоны [6].

Дозовые зависимости сдвига двух составляющих порогового напряжения и ΔV_{ot} и ΔV_{it} при различных смещениях на затворе, приложенных в процессе облучения показаны на рис. 1, 2 для *n*-канального (а), для *p*-канального (б) транзисторов.

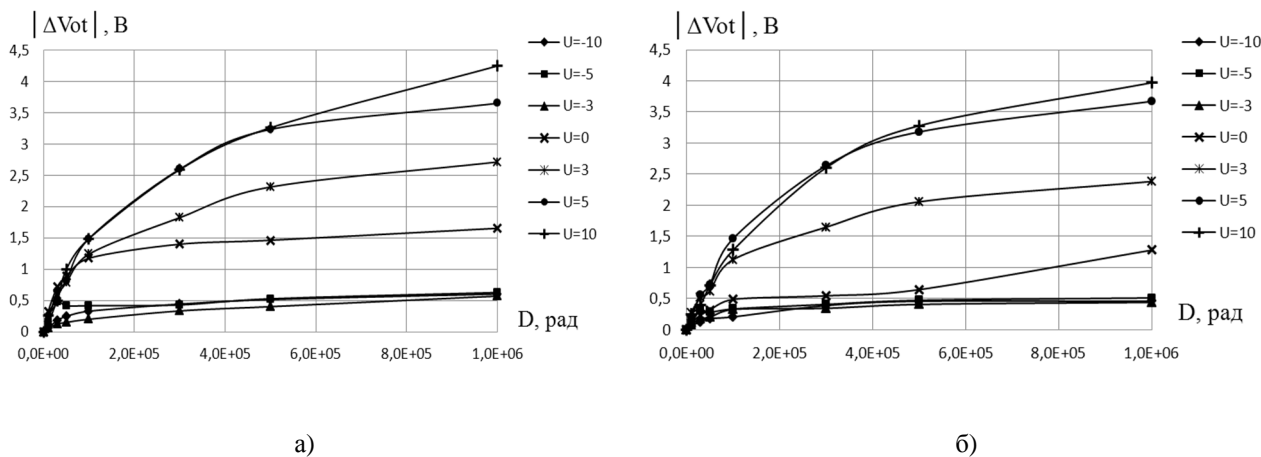


Рисунок 1

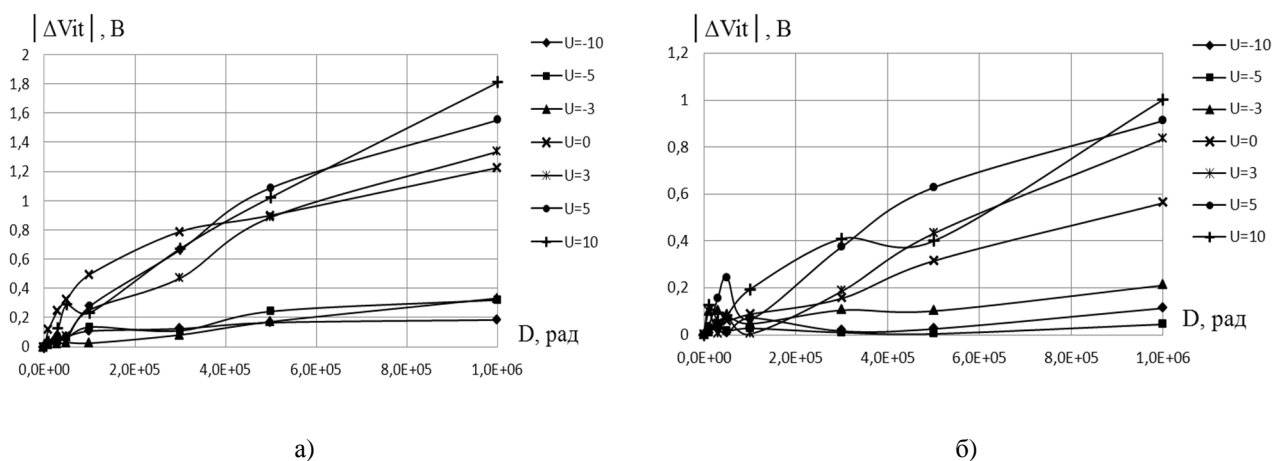


Рисунок 2

Как видно из рис. 1, 2, дозовые зависимости ΔV_{ot} и ΔV_{it} для *n*-канальных транзисторов близки к соответствующим зависимостям для *p*-канальных транзисторов. При отрицательном смещении на затворе значения объемной и поверхностной составляющих весьма малы, а при положительном смещении обе эти составляющие увеличиваются с ростом приложенного напряжения.

Зависимость объемной составляющей сдвига порогового напряжения от дозы $\Delta V_{ot}(D)$ может быть объяснена тем, что при положительном смещении затвора во время облучения дырки смещаются по направлению к границе раздела Si-SiO₂, где захватываются на дырочные ловушки и образуют объемный заряд. При отрицательном смещении на затворе во время облучения дырки двигаются к границе затвор-SiO₂, эффективный объемный заряд в этом случае будет значительно меньше, чем вблизи границы Si-SiO₂.

На рис. 1 видна тенденция к насыщению ΔV_{ot} с ростом дозы. Величина ΔV_{ot} в насыщении увеличивается с ростом положительного смещения. Насыщение происходит тогда, когда поле объемного заряда компенсирует потенциал, приложенный к затвору. При увеличении смещения затвора должно образоваться большее поле объемного заряда для его компенсации.

Сдвиг поверхностной составляющей (ΔV_{it}) на рис.2 при положительном смещении на затворе также оказывается больше, чем при отрицательном смещении и увеличивается с увеличением положительного напряжения на затворе. При отрицательных смещениях на затворе сдвиг ΔV_{it} практически отсутствует и не зависит от величины смещения. Этот результат можно объяснить тем, что при положительном смещении на затворе во время облучения происходит дрейф ионов водорода к границе раздела Si-SiO₂ и образование поверхностных состояний. При увеличении смещения на затворе дрейф ионов к границе усиливается и, следовательно, увеличивается ΔV_{it} . При отрицательном смещении на затворе дрейфа ионов водорода к границе раздела Si-SiO₂ не происходит и поэтому образование ПС подавляется.

На рис. 3 а, б построены зависимости ΔV_{ot} и ΔV_{it} , соответственно, от величины смещения на затворе при различных дозах облучения *n*-канальных транзисторов.

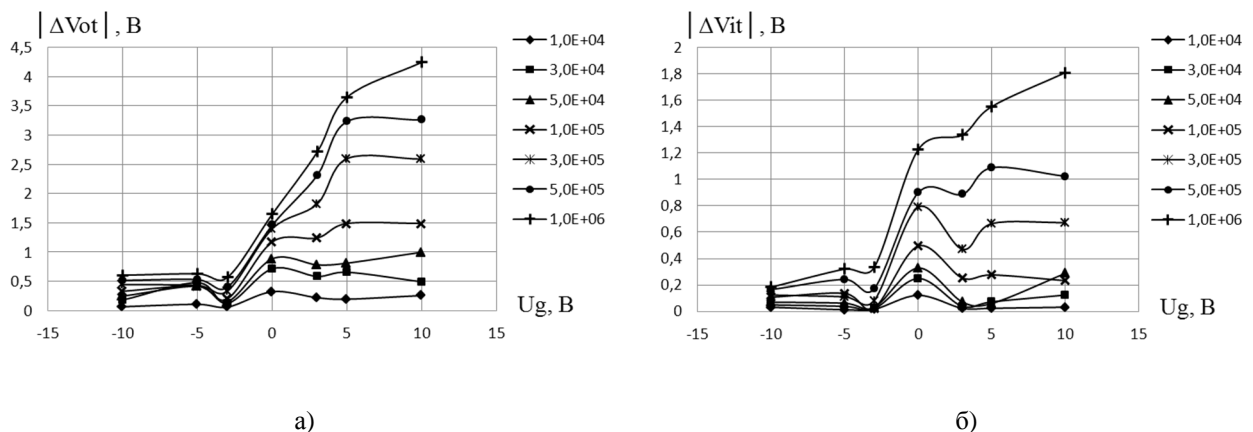


Рисунок 3

Как видно из рис. 3а при смещении на затворе $V_g \geq 0$ для малых доз (менее $5 \cdot 10^4$ рад) наблюдается тенденция к насыщению зависимости $\Delta V_{ot}(V_g)$. Для больших доз тенденция к насыщению наблюдается при смещениях на затворе $V_g > 5$ В. Наличие насыщения можно объяснить тем, что с увеличением напряжения на затворе разделение электронно-дырочных пар в диэлектрике происходит более эффективно, взаимная рекомбинация электронов и дырок уменьшается, выход излучения стремится к 1 [2]. С увеличением дозы происходит увеличение числа генерируемых излучением электронно-дырочных пар и требуется большее смещение на затворе во время облучения для достижения насыщения. Зависимость $\Delta V_{it}(V_g)$ на рис.3б похожа на зависимость $\Delta V_{ot}(V_g)$ и объясняется теми же причинами.

Отметим, что сдвиг как объемной, так и поверхностной составляющих оказывается минимальным при $V_g = -3$ В. Можно предположить, что это напряжение на затворе достаточно для компенсации как начального положительного фиксированного заряда в

диэлектрике, так и контактной разности потенциалов $\Delta\varphi_{ms} = 0,96$ В для n -канального транзистора и $\Delta\varphi_{ms} = 0,89$ В для p -канального транзисторов.

Таким образом, для повышения радиационной стойкости МОП-транзисторов к ионизирующему излучению рабочую точку для n -канальных МОП-транзисторов следует выбирать как можно ближе к 0 В, а для p -канальных транзисторов вблизи -3 В. При наличии в схеме n - и p -канальных МОП-транзисторов с противоположными потенциалами на затворах следует выбирать как можно меньшие значения рабочих напряжений V_g .

Библиографический список

1. Согоян А.В. Поверхностные радиационные эффекты в интегральных схемах / в кн. «Модель космоса» под ред. Л. И. Паносюка, Л. С. Новикова // – Москва – 2007. – гл. 1.18. – С. 466-493.
2. Oldham T.R. Total ionizing dose effects in MOS oxides and devices / T.R. Oldham, F.B. McLean // – IEEE Trans. Nuclear Physics. – 2003. – vol. 50 – № 3. – pp. 483-99.
3. Пекарчук Т.Н. Радиационная стойкость МДП-структур и приборов на их основе / Т.Н. Пекарчук, А.К. Хрулёв //– Обзоры по электронной технике. – 1979. – вып. 5. – №651. – С. 61.
4. Winokur P. S. Correlating the radiation response of MOS capacitors and transistors / P. S. Winokur, J. R. Schwank, P. J. McWhorter, P. V. Dressendorfer, D. C. Turpin // – IEEE Trans. Nuclear Science. – 1984. –NS-31. – № 6. – pp. 1453-1460.
5. Герасимов А. Б. Технологические аспекты создания радиационно стойких МОП ИС / А. Б. Герасимов, И. Р. Аигина, Л. И. Ушангишвили, А. Г. Шилло // – Зарубежная электронная техника. – 1979. – вып. 1. – №196. – С. 46.
6. McWhorter P.J. Simple technique for separating the effects of interface traps and trapped-oxide charge in metal-oxide-semiconductor Transistors. / P. J. McWhorter, P.S. Winokur // Applied Physics Letters. – 1986. – vol. 48. – №2. – pp. 133-134.