

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОРОВ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР

12, декабрь 2012

Андреев Д.В.

*Студент,
кафедра «Конструирование и производство электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: А.А. Столяров,
доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и производство
электронной аппаратуры»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Одним из перспективных методов исследования и регистрации радиационных излучений является использование сенсоров на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Обычно сенсоры радиационных излучений, активным элементом которых являются МДП-структуры, основаны на анализе ионизационных процессов, протекающих в области пространственного заряда полупроводника [1]. Не менее перспективным способом регистрации радиационных воздействий является изучение ионизационных процессов, протекающих в диэлектрической пленке [2]. Применение этих явлений наряду с пробоем позволяет более широко использовать возможности МДП-структур и создать многофункциональный сенсор, сочетающий в себе достоинства полупроводниковых сенсоров космических излучений и тонкопленочных пробойных счетчиков.

В данной работе проведено исследование воздействия ионизирующих излучений на МДП-структуры, являющиеся активным элементом сенсора радиационных излучений. Образцы во время исследований находились в режиме поддержания постоянного ёмкостного или туннельного тока, обусловленного сильнополевой по Фаулеру-Нордгейму инжекцией электронов в диэлектрик.

В качестве экспериментальных образцов использовались тестовые МДП-конденсаторы, изготовленные промышленным способом на пластинах КЭФ-4,5 диаметром 100 мм. Двоокись кремния толщиной 20÷100 нм получали термическим окислением кремния в сухом кислороде при температуре 1000°С с добавлением 3% HCl. Алюминиевую пленку толщиной 1,2 мкм напыляли магнетронным методом, после чего, используя фотолитографию, формировали Al электроды различной площади.

В процессе исследования к МДП-структуре прикладывался импульс постоянного тока, обеспечивающий заряд емкости структуры и установление режима сильнополевой по Фаулеру-Нордгейму туннельной инжекции электронов в диэлектрик. Исследование космического излучения проводится по изменению временной зависимости напряжения на структуре в режиме протекания постоянного сильнополевого инжекционного тока через диэлектрическую пленку, а также в режимах заряда и разряда емкости МДП-структуры [2,3]. Амплитуда импульса тока, прикладываемого к образцу, выбиралась

исходя из условия незначительной зарядовой деградации МДП-структуры, обусловленной инжекцией электронов в течение всего измерительного цикла, а также получением необходимой чувствительности.

Для исследования влияния α -частиц на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой инжекции носителей в диэлектрик, МДП-структуры подвергались воздействию излучения источника ^{239}Pu . Мощность потока α -частиц составляла $10^{10} \text{ c}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. Плотность инжекционного тока, пропускаемого через МДП-структуру во время регистрации облучения, составляла $7 \cdot 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ A/cm}^2$. МДП-структуры располагались на расстоянии нескольких миллиметров от источника облучения.

Ранее нами была предложена модель изменения зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой туннельной инжекции электронов в диэлектрик постоянным током, учитывающая действие ионизирующих излучений на образец [3].

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные данные, полученные в работе [2] на МДП-структурах с толщиной диэлектрика 100 нм и результаты моделирования, рассчитанные с использованием предложенной модели. Как видно из рис. 1 и 2, результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Возникновение ионизационного тока в диэлектрической пленке под действием α -частиц приводит к уменьшению или полному прекращению инжекционного тока и, как следствие, к снижению напряжения, падающего на диэлектрической пленке. Следовательно, при радиационном воздействии снижаются электрические поля, прикладываемые к диэлектрику, уменьшаются деградационные процессы, связанные с полевой инжекцией электронов, и, в основном, изменение зарядового состояния МДП-структур в этих условиях обусловлено ионизационными процессами.

С использованием предложенной модели была определена плотность тока ионизации в пленке двуокиси кремния под действием облучения α -частицами, которая составила 300 nA/cm^2 . После прекращения действия α -облучения напряжение на МДП-структуре возвращается к значениям, наблюдавшимся до облучения (рис. 1 и 2), что свидетельствует об отсутствии заметных деградационных процессов в диэлектрической пленке [2].

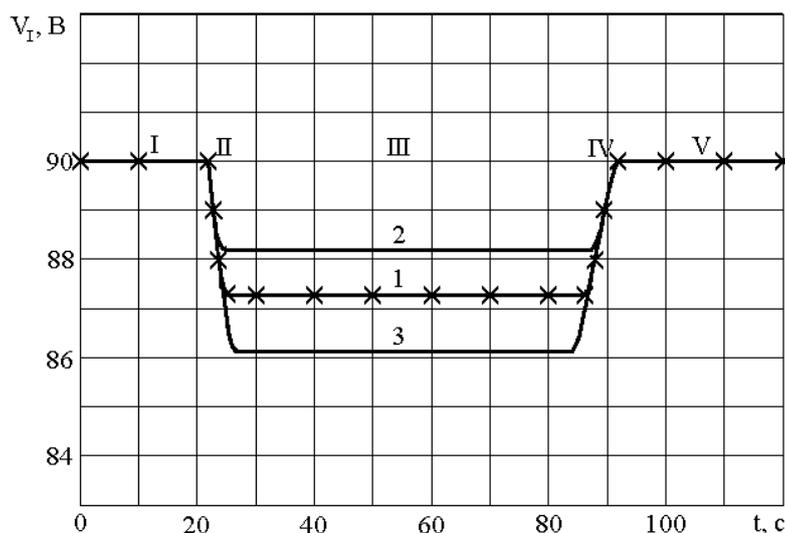


Рис. 1. Временные зависимости напряжения на МДП-структуре, находящейся в режиме сильнополевой инжекции электронов из кремния, при протекании через диэлектрик постоянного тока плотностью 1 мкА/см^2 . Участки II, III соответствуют облучению α -частицами. Кривая 1 (отмечена значками) – экспериментальная, кривые 2 и 3 получены моделированием для различных значений плотности тока ионизации: 2 – $J_{\text{ion}}=0,2 \text{ мкА/см}^2$; 3 – $J_{\text{ion}}=0,4 \text{ мкА/см}^2$.

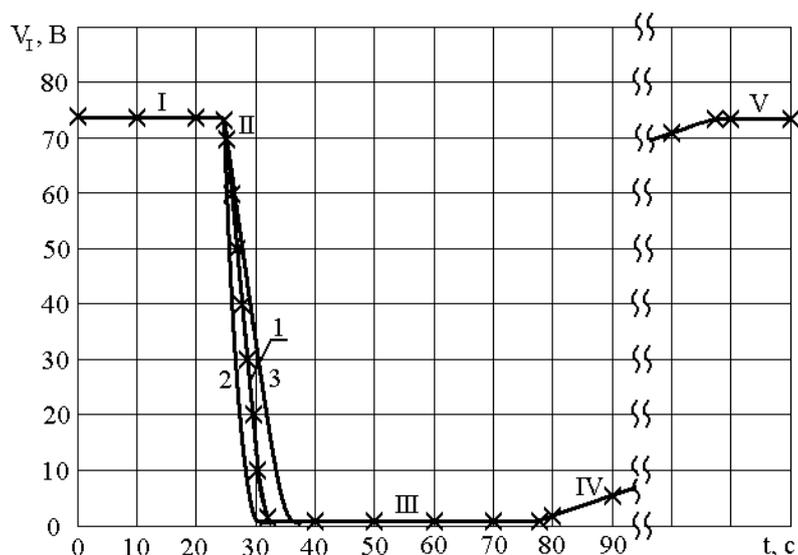


Рис. 2. Временные зависимости напряжения на МДП-структуре, находящейся в режиме сильнополевой инжекции электронов из кремния, при протекании через диэлектрик постоянного тока плотностью 7 нА/см^2 . Участки II, III соответствуют облучению α -частицами. Кривая 1 (отмечена значками) – экспериментальная, кривые 2 и 3 получены моделированием для различных значений плотности тока ионизации: 2 – $J_{\text{ion}} = 400 \text{ нА/см}^2$; 3 – $J_{\text{ion}} = 200 \text{ нА/см}^2$.

Важным параметром сенсоров радиационных излучений на основе МДП-структур является толщина диэлектрической пленки. Для комплексного исследования этого параметра с использованием модели, предложенной в [3], было рассчитано уменьшение напряжения на МДП-структуре, находящейся в режиме протекания постоянного инжекционного тока при различной интенсивности облучения α -частицами относительно режима при отсутствии облучения (рис. 3).

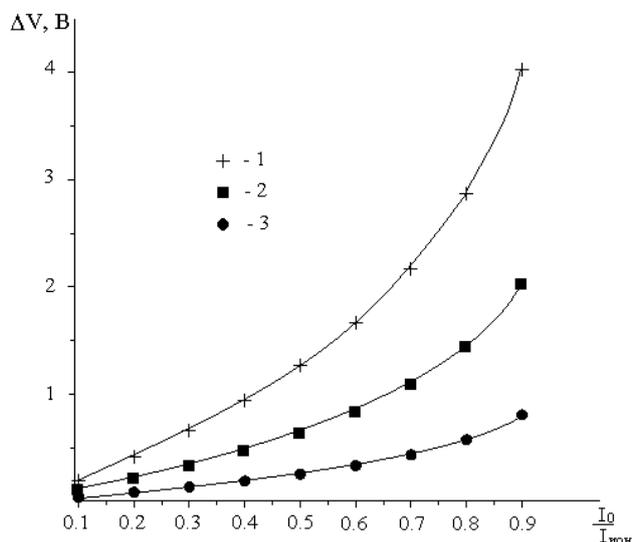


Рис. 3. Уменьшение напряжения на МДП-структуре, находящейся в режиме протекания постоянного инжекционного тока в зависимости от отношения плотности тока, протекающего через образец, к плотности ионизационного тока для различной толщины диэлектрической пленки: 1 – 100 нм; 2 – 50 нм; 3 – 20 нм.

Как видно из рис.3, увеличение толщины диэлектрической пленки приводит к более существенному изменению напряжения на МДП-структуре при одной и той же плотности ионизационного тока, однако для создания инжекционного режима в этом случае требуется более высоковольтный источник напряжения. Следовательно, при

использовании МДП-структуры в качестве активного элемента сенсора радиационных излучений, совместимого с изделиями микросистемной техники, толщину диэлектрической пленки следует выбирать исходя из требуемой чувствительности и максимальной величины напряжения, требуемой для создания инжекционного режима. Поскольку плотность тока ионизации возрастает с увеличением напряженности электрического поля [2], то для повышения точности регистрации измерение ионизационного тока желательно проводить при нескольких амплитудах импульса постоянного тока, как меньших, так и больших амплитуды ионизационного тока. В этом случае удастся учесть полевую зависимость ионизационного тока.

Таким образом, результаты исследований показали, что ионизационные процессы, протекающие в диэлектрических пленках мдп-структур, находящихся в режиме сильнополевой туннельной инжекции электронов импульсом постоянного тока, можно использовать для регистрации радиационных излучений. Установлено, что с возрастанием толщины диэлектрической пленки увеличивается чувствительность мдп-структуры к ионизирующему облучению, но при этом для поддержания инжекционного режима требуются более высокие напряжения. Для учета полевой зависимости ионизационного тока при регистрации радиационных излучений измерение ионизационного тока желательно проводить при нескольких амплитудах импульса постоянного тока, прикладываемого к мдп-структуре с целью создания инжекционного режима.

Литература

1. Oldhem T.R., mcgarrity J.M. Ionization of SiO_2 by Heavy Charged Particles/ IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. NS-28, No. 6. 1981. P 3975-3980.
2. 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.
3. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин М.С. Моделирование воздействия ионизирующх излучений на МДП-структуры с наноразмерными диэлектрическими плёнками// Труды 1-й Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых учёных «Функциональные наноматериалы для космической техники». 2010. С. 140-143.