

УДК 621.382 : 621.383.8 : 539.1.074.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНЫХ n^+p -ДИОДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ДОЗИМЕТРИИ В МЕДИЦИНЕ

К. ф.-м. н. В. Л. Перевертайло, А. В. Перевертайло, В. И. Коврыгин, Л. И. Тарасенко,
А. С. Крюков

НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАН Украины
Украина, г. Киев
detector@carrier.kiev.ua

Исследовано влияние рентгеновского излучения на характеристики тестовых монокристаллических n^+p - и эпитаксиальных n^+p-p^+ -диодов. Проведена оценка качества диодного массива MP512 для дозиметрии в радиационной терапии.

Ключевые слова: n^+p -диодный массив, МОП структура, Si-дозиметр, рентгеновское облучение.

Возможность использования в радиационной медицине двухкоординатных кремниевых дозиметрических детекторов зависит от точности и стабильности их характеристик при облучении как высокоэнергетическим (ВЭ), так и низкоэнергетическим (НЭ) гамма-излучением. В процессе облучения радиационные характеристики детекторов могут существенно изменяться, что недопустимо в медицинских применениях. Поэтому при разработке детекторов для мониторинга дозы в ВЭ гамма-пучках важным этапом являются радиационные испытания. Такие испытания требуют значительного удаления контрольно-измерительной аппаратуры от объекта исследования, больших затрат времени и других усложнений. В то же время исследования на НЭ-источнике позволяют прогнозировать изменение характеристик при облучении ВЭ-источником [1].

Исследовались электрофизические характеристики диодных элементов кремниевых детекторов при облучении НЭ рентгеновским источником (Cu-анод, 8 кэВ). Проведены исследования характеристик тестовых диодных элементов для оценки качества нового двухкоординатного детектора на основе диодного массива MP512 с 512 элементами, представленного в [2]. Тестовые диодные элементы и МДП-структуры, показанные на рис. 1, позволяют исследовать влияние встраиваемого в SiO_2 положительного заряда и конструктивно-технологических факторов на стабильность ионизационных токов, получать зависимости этих токов от дозы облучения и определять критичные дозы для функционирования прибора, проводить радиационные испытания с помощью НЭ рентгеновского источника с целью изучения и прогнозирования радиационного отклика дозиметрического массива.

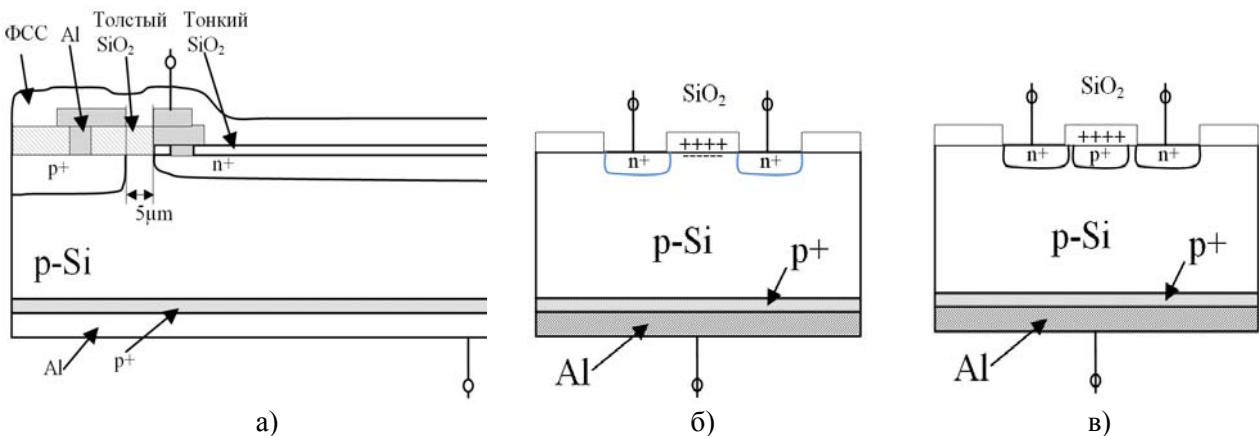


Рис. 1. Структура краевой области n^+p -диодного элемента с примыкающей МОП-структурой в диодном массиве MP512 (а); области толстого SiO_2 над нелегированной поверхностью между двумя n^+p -диодами (б) и области толстого SiO_2 над p^+ -областью (в)

Сравнение вольт-амперных характеристик (ВАХ) тестовых кремниевых n^+p -диодов с активной областью $0,6 \times 0,66$ мм (см. рис. 2) на монолитной p -Si-подложке ($\rho \approx 10$ Ом·см) и диодов на эпитаксиальном p^- -слое ($\rho \approx 100$ Ом·см, толщина 36 мкм, p^+ -Si-подложка) показывает, что ионизационные токи не изменяются с увеличением обратного напряжения смещения и близки для обеих структур. Это обусловлено тем, что для диодов на эпитаксиальной структуре сбор заряда осуществляется со всей толщины эпитаксиального слоя, а в монолитной подложке – преимущественно за счет диффузии носителей из обедненной области, так как глубина ОПЗ значительно меньше диффузионной длины.

Оба типа диодов имеют достаточно низкие темновые токи при $U \approx 0$ В ($< 5 \cdot 10^{-12}$ А/мм²), что свидетельствует о достаточно высокой чистоте технологических процессов.

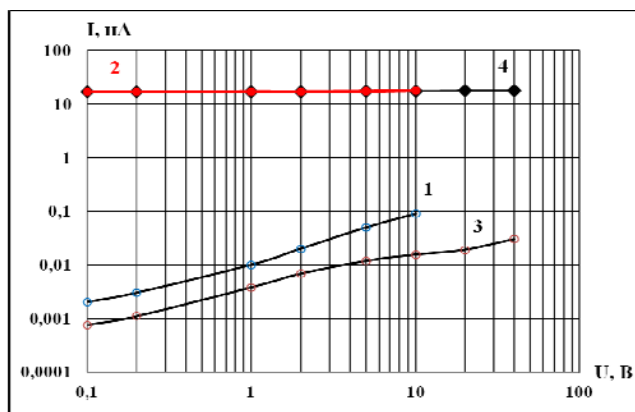


Рис. 2. ВАХ тестовых n^+p -диодов на монолитной (1, 2) и эпитаксиальной подложке (3, 4) без облучения (1, 3) и при облучении (2, 4) рентгеновским источником (Cu-анод, 30 кВ, расстояние до диода 1 см)

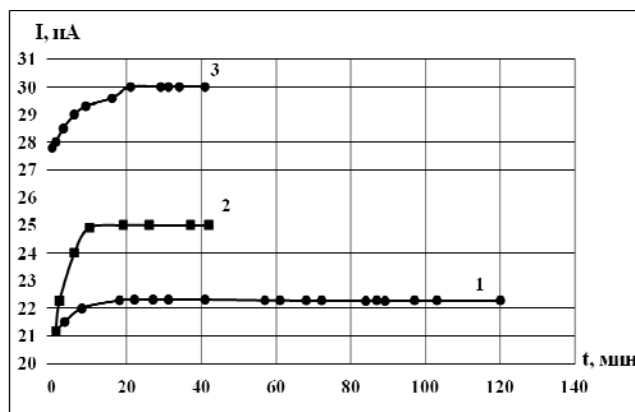


Рис. 3. Зависимость тока I тестового n^+p -диода на монолитной (1, 2) и эпитаксиальной (3) подложках от времени облучения рентгеновским источником (без предоблучения) t

Зависимости измеряемой дозы от величины накопленной дозы для пиксельных диодов в матрице MP512 на ВЭ медицинском линейном ускорителе Varian 2100EX ($V=6$ МВ) показывают высокую линейность [2] (с коэффициентом регрессии 0,9988 при подгонке и наклоном, соответствующим 175,2 пКл/сГр при пересчете). В то же время калибровка НЭ рентгеновского источника с помощью MOSFET-дозиметра с чувствительностью примерно 2 мВ/сГр дала оценку мощности экспозиционной дозы около 22,5 сГр/с, что с учетом величины измеряемого при этой мощности ионизационного тока 25 нА (рис. 2) дает накопление дозового заряда 4440 пКл/сГр, что в 25 раз превышает мощность ВЭ-источника. Из рис. 3 видно, что диод выходит в стабильный режим за время облучения около 20 мин, расчетная доза за это время составляет около 70 Гр, что согласуется с дозой, применяемой для стабилизации диодов с помощью предоблучения [2].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Перевертайло В. Л. Метод определения радиационной стойкости интегральных схем с помощью низкоэнергетического рентгеновского излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.– 2012.– № 1.– С. 30–34.
2. Aldosari A. H., Petasecca M., Espinoza A., Newall M., Fuduli I., Porumb C., Alshaikh S., Alrowaili Z. A., Weaver M., Metcalfe P., Carolan M., Lerch M. L. F., Perevertaylo V. L., Rosenfeld A. B. A two dimensional silicon detectors array for quality assurance in stereotactic radiotherapy: MagicPlate-512 // Medical Physics.– 2014.– Vol. 41, N 9, p.p. 091707-1- 091707-10; doi: 10.1118/1.4892384

V. L. Perevertaylo, A. V. Perevertaylo, V. I. Kovrigin, L. I. Tarasenko, A. S. Kryukov

Investigation of radiation characteristics of a planar n^+p diode detectors for medical dosimetry

The X-ray radiation influence on the characteristics of n^+p monolithic and $n^+p^-n^+$ epitaxial test diodes were studied. The quality of MP512 diode array for dosimetry in the radiation therapy was evaluated.

Keywords: n^+p diode array, MOS structure, Si-dosimeter, X-ray irradiation.