

УДК 621.382 : 621.383.8 : 539.1.074.5

## ДИОДНЫЙ МАССИВ НА *p*-КРЕМНИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОЗЫ В РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ

К. ф.-м. н. В. Л. Перевертайло

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

*Разработана технология, изготовлены и исследованы экспериментальные образцы двухкоординатного диодного массива для контроля качества радиационной обработки в лучевой терапии. Однородность отклика диодных элементов — в пределах 2%. Данные дозиметрии на пучках показали согласие с данными, полученными на дозиметрических пленках и с ионизационной камерой в пределах 1—1,5%. Применение разработанного диодного массива возможно в стереотактической радиотерапии и хирургии.*

*Ключевые слова: диодный массив, *p*-кремний, локальная дозиметрия, радиационная терапия*

Ранее нами были рассмотрены преимущества *p*-кремния перед *n*-кремнием в отношении радиационной стойкости и стабильности радиационной чувствительности [1], что особенно важно для применения в детекторах для мониторинга дозы высокоэнергетических (ВЭ) пучков в радиационной медицине. Однако при увеличении дозы облучения в детекторных элементах возникают радиационные нарушения, которые приводят к изменению исходных электрофизических параметров структуры (величины встроенного заряда, времени жизни *n. n. z.*, эффективности собирания заряда и др.), что ведет к изменению радиационной чувствительности. Особенное значение указанные радиационные эффекты приобретают при создании кремниевых матричных детекторов для дозиметрии в ВЭ-пучках большого размера (от 50×50 мм до 200×200 мм) и большим числом диодных элементов в массиве ( $5 \cdot 10^2$ — $10^4$ ), которые должны удовлетворять требованиям воспроизводимости характеристик с высокой точностью (погрешность измерения дозы 1—2%) в условиях облучения. Поэтому необходимы исследования указанных эффектов, в том числе исследование влияния полупроводникового материала и структуры, а также параметров конструкции на радиационные характеристики детекторов.

В данной работе рассмотрены результаты исследования электрофизических и радиационных характеристик 512-элементного двухкоординатного диодного массива MP512, разработанного для мониторинга дозы в ВЭ-пучках и контроля качества в стереотактической лучевой терапии тела (СТЛТ) и стереотактической радиохимирургии (СТРХ) [2]. Преимущества такого дозиметра: работа в реальном масштабе времени (по сравнению с пленками) и высокое пространственное разрешение, большой динамический диапазон и малый размер (по сравнению с ионизационной камерой).

На рис. 1, *a* показана в разрезе структура диодного элемента в матрице, представляющего собой ионно-имплантированный  $n^+p$ -переход на кремниевой подложке *p*-типа, и примыкающую к нему МДП-структуру с толстым оксидом кремния (толщина SiO<sub>2</sub> около 0,7 мкм). Для предотвращения инверсии на поверхности кремния вне диодов сформирована ионной имплантацией бора защитная  $p^+$ -область на расстоянии нескольких микрометров от активной  $n^+$ -области перехода. На рис. 1, *б* — вид диодов сверху, где показан фрагмент матрицы с диодами размером 600×600 мкм (топология). На рис. 1, *в* представлено фото кристалла 512-элементного двухкоординатного диодного массива MP512. Кристалл смонтирован на печатную плату из стеклотекстолита, контактные площадки от диодных элементов выведены на 4 стороны кристалла по 128 выводов на сторону и соединены с шинами печатной платы проволоочной ультразвуковой сваркой. Шаг контактных площадок — 200 мкм. Шины печатной платы выведены на разъемы для подключения диодов матричного массива к многоканальной считывающей электронике.

Исследовались технологические варианты изготовления приборов на объемном кремнии с различным значением удельного сопротивления  $\rho$  — (0,5—1) Ом·см, (10—20) Ом·см и стандартном КДБ-10.

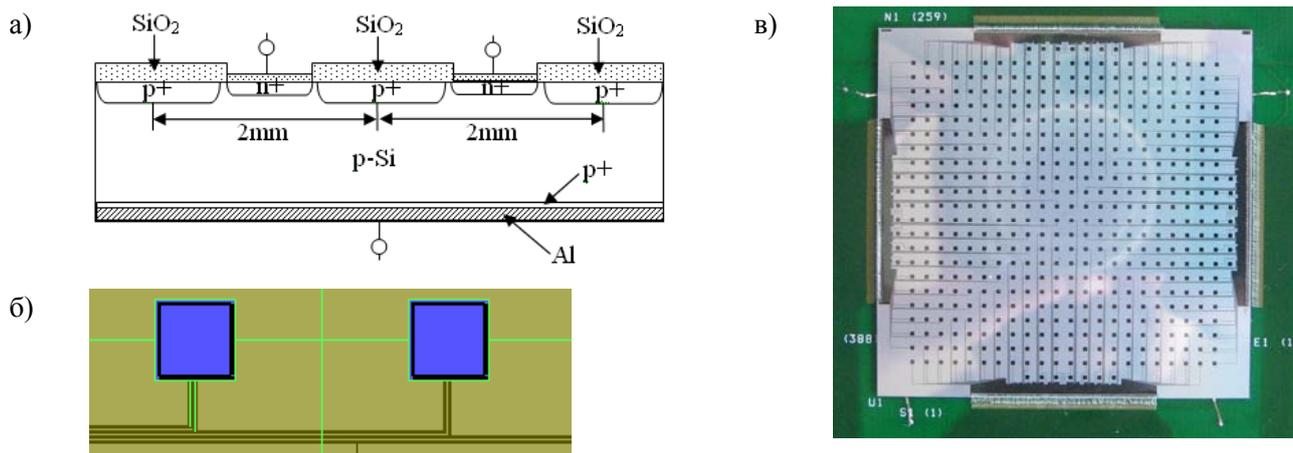


Рис. 1. Структура  $n^+—p$ -диодных элементов матрицы MP512 в разрезе (а), фрагмент топологии диодов (вид сверху) (б) и фото кристалла диодного массива, смонтированного на печатной плате, шаг диодов 2 мм (в)

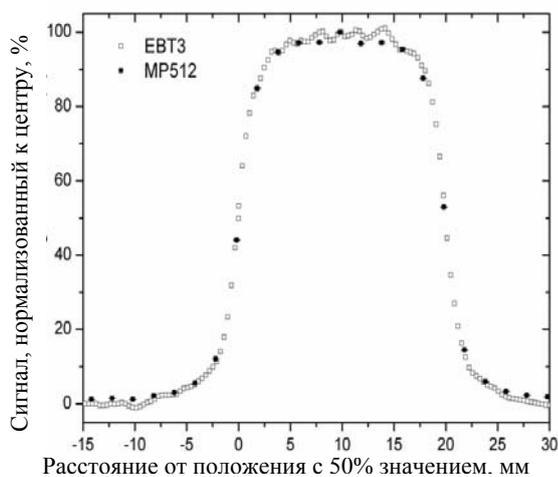


Рис. 2. Профиль пучка, измеренный MP512 и радиохромными пленками EBT3 с радиационным полем размером  $2 \times 2$  см

На рис. 2 показан профиль пучка медицинского линейного ускорителя Varian 2100EX ( $V=6$  МВ).

Профиль пучка (FWHM), измеренный MP512 соответствовал в пределах 2% данным, измеренным радиохромной пленкой EBT3.

Измерения на MP512 распределения дозы по глубине сравнивались с измерениями на ионизационной камере и согласовывались в пределах 1,5%.

Свойства массива продемонстрировали его пригодность для использования при измерении профиля пучка и в дозиметрии на фантоме для контроля качества радиационных обработок в лучевой терапии. Более предпочтительные результаты получены на стандартном материале КДБ-10 ( $p$ -тип,  $\rho \approx 10$  Ом·см).

Уменьшение шага диодов в детекторе до менее чем 2 мм позволит улучшить точность реконструкции краев пучка.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Перевертайло В. Л., Тарасенко, Л. И. Перевертайло А. В., Крюков А. С., Шкиренко Э. А. Разработка технологии и исследование характеристик  $p-i-n$ -приборов, изготовленных на высокоомном  $p$ -кремнии // Тезисы доповідей на IV Українській науковій конференції з фізики напівпровідників (УНКФН-4).— Україна, м. Запоріжжя.— 2009.— Т. 2.— С. 24.

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. 091707-1- 091707-10; doi: 10.1118/1.4892384

V. L. Perevertailo

#### Diode array based on $p$ -Silicon for dose monitoring in radiation medicine

The authors have developed, produced and studied  $x-y$  diode array samples for quality control of radiation treatment in radiotherapy. Response uniformity of diode elements is within 2%. Dosimetry of beams showed agreement with the data obtained on dosimetry films and with the ionization chamber in the range of 1—1.5%. The designed diode array can be applied in stereotactic radiotherapy and surgery.

Keywords:  $x-y$  diode array,  $p$ -silicon, local dosimetry, radiation therapy.