

УДК 539.1.074.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КРЕМНИЕВОГО ЛАВИННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ МРП-СТРУКТУРЫ

В. Л. Кашеваров, Л. Н. Павлюченко, Г. А. Сокол

Исследована радиационная стойкость кремниевых лавинных детекторов на основе МРП-структуры. При облучении детектора интенсивным пучком электронов с энергией 7 МэВ существенных изменений в характеристиках детектора не наблюдалось вплоть до дозы 6 Мрад.

Для экспериментов на будущих коллайдерах УНК, LHC, SSC необходимы внутренние координатные детекторы, обладающие радиационной стойкостью до 10 Мрад/год. Используемые в настоящее время кремниевые микростриповые детекторы на основе рpn-диодов характеризуются радиационной стойкостью < 1 Мрад, и это стимулирует поиски более устойчивых к радиационным воздействиям координатных детекторов.

В последнее время в литературе [1] обсуждается возможность применения в качестве внутреннего координатного (вершинного) детектора кремниевого лавинного детектора (КЛД). Это новый тип координатного детектора, обладающего внутренним умножением заряда (коэффициент умножения M до 10^5), в котором стабилизация лавинного процесса обеспечивается за счет отрицательной обратной связи (ООС) [2, 3].

Как отмечено в [1], КЛД имеет ряд преимуществ перед координатными детекторами на основе рpn-структуры: а) внутреннее усиление и отсутствие "кластеров", что позволяет существенно упростить и удешевить электронику; б) малая толщина, уменьшающая влияние многократного рассеяния частиц и радиационный фон; в) высокое быстродействие (время собирания ~ 1 нс); г) практическое отсутствие мертвого времени благодаря локальности ООС, а также другие привлекательные особенности. Среди последних немаловажным и возможно определяющим с точки зрения радиационной стойкости является то, что КЛД изготавливаются на основе низкоомного кремния с

удельным сопротивлением $\rho = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, с содержанием примесей $1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, и это означает, что заметного радиационного воздействия на детектор можно ожидать при создании в материале радиационных дефектов, составляющих заметную долю (несколько процентов) от концентрации примесных атомов в исходном материале. Для сравнения отметим, что рiп-диоды изготавливаются из кремния с удельным сопротивлением $\rho = (3 - 5) \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и, соответственно, имеют концентрацию примесных атомов на уровне $(3 - 5) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

В настоящей работе приводятся предварительные результаты исследования радиационной стойкости кремниевого лавинного детектора, изготовленного на основе МРП-структуры (металл – резистивный слой – полупроводник). В качестве резистивного слоя в данном детекторе использовался слой SiC [3].

Исследования радиационной стойкости КЛД проводилось на пучке электронов от микротрона ФИ РАН "Пахра" с энергией 7 МэВ и интенсивностью $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Измерения проводились с детектором, имеющим диаметр чувствительной поверхности 1,5 мм, толщину 300 мкм и глубину чувствительного слоя 2 мкм. Оптимальное рабочее напряжение для данной структуры лежит в диапазоне 39,2–39,8 В. Для этого диапазона рабочих напряжений энергетическое разрешение при регистрации потока световых квантов, источником которых является светодиод ($\lambda = 850 \text{ нм}$), составляет 5%. В табл. 1 приведена зависимость коэффициента умножения M структуры от напряжения U .

Т а б л и ц а 1

Зависимость коэффициента умножения M от напряжения U

$U, \text{ В}$	39,2	39,4	39,6	39,8	40,0
$M, 5 \cdot 10^3$	0,5	1,0	1,6	2,3	3,2

Из приведенной таблицы видно, что изменение рабочего напряжения на 0,01 В приводит к изменению M на 3–5%, что сравнимо с энергетическим разрешением детектора. В процессе измерений, напряжение на детекторе $U = 39\text{--}40 \text{ В}$ поддерживалось с точностью 0,01 В.

Методика измерения радиационной стойкости детектора состояла в следующем. До облучения детектора пучком электронов перед детектором помещался альфа-источник ^{239}Pu ($E_\alpha = 5,15 \text{ МэВ}$) и измерялся амплитудный спектр альфа-частиц. Затем детектор помещался в пучок и проводилось облучение определенной дозой. После облучения вновь измерялся амплитудный спектр альфа-частиц. При измерении альфа-спектра фиксировалась средняя амплитуда \bar{A}_α и ширина распределения на полувысоте ΔA_α , которая

до облучения составляла 15%. Во время облучения напряжение смещения на детектор не подавалось. Параметрами, по которым определялся результат радиационного воздействия, являлись средняя амплитуда и ширина альфа-спектра.

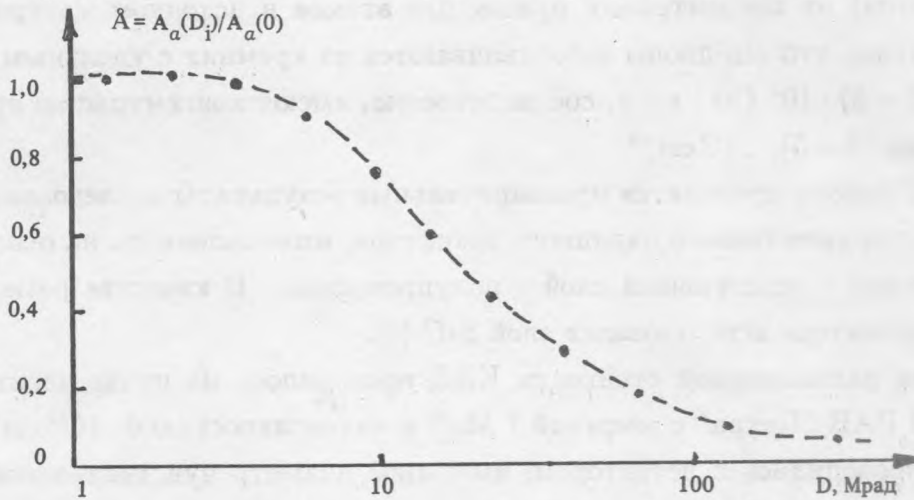


Рис. 1. Изменение средней амплитуды альфа-спектра $\bar{A} = A_\alpha(D)/A_\alpha(0)$ кремниевого лавинного детектора на основе МРП-структуры в зависимости от дозы облучения электронами с энергией 7 МэВ.

При облучении детектора электронами вплоть до дозы в 60 Мрад изменений в ширине альфа-спектра в пределах ошибок не наблюдалось. Однако происходило значительное уменьшение средней амплитуды альфа-спектра. На рис. 1 представлена зависимость отношения средней амплитуды до облучения $\bar{A}_\alpha(0)$ и после облучения $\bar{A}_\alpha(D)$ в зависимости от дозы облучения D .

Из рис. 1 видно, что вплоть до значения дозы $D = 6$ Мрад изменение средней амплитуды не превышает 10%. При дозах более 6 Мрад, наблюдается достаточно быстрое уменьшение средней амплитуды.

Коэффициент умножения (или положение средней амплитуды в альфа-спектре) облученного детектора можно было восстановить путем увеличения напряжения на детекторе выше стандартного, при котором производились измерения.

Возможно следующее объяснение этого факта. Оно сводится к предположению, что вследствие радиационного облучения происходит увеличение ρ кремния и, как следствие этого, уменьшение в нем напряженности электрического поля при $U = \text{Const}$. В этом случае увеличение U будет восстанавливать величину M детектора. Однако для окончательного выяснения физической природы наблюдаемого эффекта необходимы дополнительные измерения.

Таким образом, проведенные измерения и полученные предварительные результаты свидетельствуют о достаточно высокой радиационной стойкости кремниевого лавинного детектора, изготовленного на основе структуры $SiC - Si$. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что измерения были проведены при значительно бóльших (на несколько порядков) мощностях дозы облучения по сравнению с той, что ожидается на будущих коллайдерах.

Нами планируется проведение измерений радиационной стойкости в потоках рентгеновских и гамма-лучей, а также реакторных нейтронов.

Авторы выражают признательность В. Г. Субботину за содействие в проведении измерений на электронном пучке "Пахра" ФИРАН, а также З. Я. Садыгову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сокол Г. А., Шубин В. Э. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7, 3 (1991).
- [2] Гольбрайх Н. И., Плотников А. Ф., Шубин В. Э. Квантовая электроника, 2, 2624 (1975).
- [3] Гасанов А. Г. и др. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0673 (1990).

Поступила в редакцию 25 января 1993 г.