

02; 06.2

© 1992

## К ВОПРОСУ О РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАНАРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОМОМНОГО КРЕМНИЯ

Е.М. В е р б и ц к а я, В.К. Е р е м и н,  
А.М. И в а н о в, Н.Б. С т р о к а н, А.Н. Д ю м и н,  
В.М. Л е б е д е в

В последнее время в спектрометрии ионов полупроводниковыми детекторами удалось достичь уровня точности, близкого к теоретически возможному для используемого „ионизационного“ принципа регистрации [1, 2]. Действительно, для современных  $Si$  детекторов, выполненных по планарной технологии, разрешающая способность по энергии обусловлена в основном фундаментальными процессами взаимодействия ионов с веществом. Разрешение определяется флуктуациями энергии при упругом рассеянии ионов на ядрах  $Si$  и флуктуациями потерь энергии ионами в неизбежном входном окне детектора.

Применение прецизионных  $Si$  детекторов при анализе состава ядерного топлива [3] и в особенности в методиках микроанализа на пучках ускоренных ионов [4] связано со значительными интегральными нагрузками. В этой связи возникает вопрос о радиационной стойкости детекторов в целом и особенностях деградации их характеристик.

В работе [5] и последующих наблюдениях нами отмечалось, что наиболее чувствительным параметром детекторов является обратный ток. Этого и следовало ожидать, так как в планарных структурах исходные значения токов малы ( $\approx$  нА) и соответствуют временам жизни носителей заряда  $\tau \approx 10$  мс. Что касается амплитуды сигнала, то для ее формирования с дефицитом менее  $10^{-3}$  достаточно  $\tau \geq 10$  мкс.

В настоящем сообщении приводятся результаты воздействия на планарные детекторы монохроматических  $\alpha$ -частиц с энергией  $E_\alpha = 5.5$  МэВ ( $^{238}Pu$ ) и дейтронов. В последнем случае форма энергетического спектра соответствовала резерфордскому обратному рассеянию (РОР) дейтронов с  $E_d = 0.9$  МэВ от пленки Та. Тем самым воспроизводились условия микроанализа посредством техники РОР, либо мгновенных ядерных реакций на дейтронах (например,  $^{16}O(\alpha, \alpha)^{14}N$ , важной при измерениях распределения кислорода в ВТСП-пленках [6]).

1. По отношению к  $\alpha$ -частицам в дополнение к ранее полученным данным [5] была определена величина приращения обратного тока в расчете на одну падающую частицу. В этих опытах детектор тщательно диафрагмировался ( $\phi$  1 мм), чтобы исключить попадание частиц на периферию, защищенную стабилизирующего оксида. Таким образом, обеспечивались условия, в которых изменения

тока обуславливались объемными свойствами  $Si$ . Фиксировалось возрастание тока во времени в ходе облучения  $\alpha$ -частицами  $^{238}Pu$  с интенсивностью  $\approx 10^6 \alpha/cm^2 \cdot c$ . Скорость счета определялась непосредственно детектором. Типичная зависимость, демонстрирующая линейное приращение тока в зависимости от дозы  $\Delta I = k\Phi$  (где  $\Phi$  - доза облучения), приведена на рис. 1. Полученное значение коэффициента  $k = 4.52 \cdot 10^{-8} \text{ нА}/\alpha$  по порядку величины согласуется с [7], однако в [7] зависимость  $\Delta I(\Phi)$  имела степенной характер. Отметим также, что в наших опытах использовался  $n-Si$  как отечественного производства, так и фирмы *Wacker*, и различия обнаружено не было.

2. При облучении дейтронами, как отмечалось ранее, спектр был сплошным с плавным возрастанием интенсивности в области энергий, близких к нулю, в 2 раза по сравнению с  $E_\alpha \approx 0.9 \text{ МэВ}$ . В результате дефекты структуры создавались на всей глубине слоя  $Si$  протяженностью 10 мкм с преобладанием их концентрации в приповерхностных областях. В диапазоне доз ( $1.10^9 - 1.10^{11}$ )  $d/cm^2$  определялись токи и шумы, воздействие на них низкотемпературного отжига, а также результирующее разрешение по  $\alpha$ -частицам  $^{238}Pu$ .

На рис. 2, а приведено изменение характеристик при промежуточной дозе  $2 \cdot 10^{10} d/cm^2$ . Видно, что ток детектора возрос более чем в 2 раза<sup>1</sup>, но уровень шума  $\delta_N$  остался приемлемым и составил 5 кэВ при обратном напряжении  $V = 20 \text{ В}$ , т.е. возрос лишь на 25%. В этих условиях толщина рабочей зоны детектора была более 50 мкм, что достаточно для спектрометрии  $\alpha$ -частиц - продуктов реакций и рассеянных дейтронов. Разрешающая способность по  $\alpha$ -частицам за вычетом шума  $\delta_0$  оказалась равной 9.1 кэВ, что практически совпало с исходным значением. Особенностью является полная потеря структуры спектра при  $V < 8 \text{ В}$ . В дальнейшем с увеличением напряжения разрешающая способность  $\delta_\alpha$  быстро восстанавливалась и оставалась постоянной и близкой к исходной, несмотря на рост тока и шума детектора.

При больших дозах  $\approx 1 \cdot 10^{11} d/cm^2$  нами изучалась возможность восстановления характеристик детектора путем отжига. При этом использовались структуры большей площади, однако они имели "толстое" входное окно и, соответственно, разрешение  $\delta_\alpha$  на уровне 25 кэВ.

На рис. 2, б приведены зависимости величины шума от постоянной времени формирования сигнала  $\theta$  после двух стадий изохронного (30 мин) отжига. Следует отметить, что уже отжиг при  $T = 150^\circ C$  снижает токи примерно в 3 раза. При этом при напряжениях 20-30 В  $\delta_N(\theta)$  проходит через минимум, что отражает конкурентный характер емкостной (малые  $\theta$ ) и токовой (большие  $\theta$ )

<sup>1</sup> Отметим, что приращение тока составило при этом  $\approx 10^{-8} \text{ нА}/d$ , т.е. в  $\approx 5$  раз меньше, чем в случае  $\alpha$ -частиц. Последнее следует связать с большим дефектообразованием в  $Si$  под действием  $\alpha$ -частиц (большие энергия и масса).

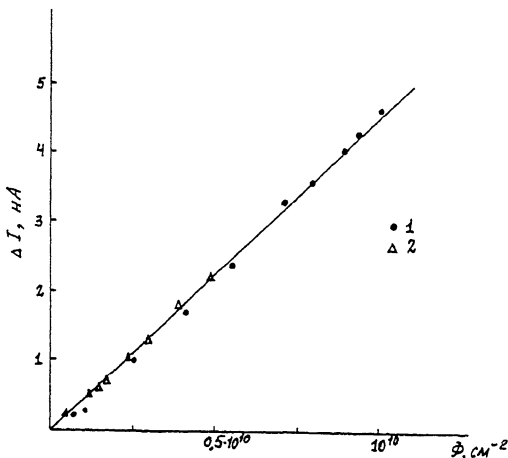


Рис. 1. Зависимость приращения обратного тока планарных детекторов от дозы облучения  $\alpha$ -частицами  $^{238}\text{Pu}$ . Исходный Si: 1 - фирмы Wacker, 2 - отечественный. Периферия детекторов защищена диафрагмой.

$\theta$ ), составляющих шума. Если же напряжением на детекторе развить большие токи (кривая 1'), то происходит линейное возрастание шума с  $\theta$ . Минимальная величина  $\delta_N \approx 7.5$  кэВ, достигнутая после отжига при  $300^\circ\text{C}$ , незначительно уступает исходному шуму 6.5 кэВ. Что касается разрешения, то его величина оставалась неизменной в ходе отжигов и совпадала с начальным значением  $\approx 25$  кэВ.

В итоге продемонстрирована радиационная стойкость детекторов из высокоомного кремния, достаточная для проведения на пучках ионов ( $\alpha$ -частиц и дейтронов) как минимум 10 циклов измерений по анализу элементного состава типовых твердотельных объектов.

Авторы приносят благодарность Ю.Г. Лукьянову за помощь в измерениях.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вербицкая Е.М., Еремин В.К., Маляренко А.М., Строкан Н.Б., Суханов В.Л., Барани И., Шмидт Б. // ПТЭ. 1991. № 3. С. 56-61.
- [2] Maisch T., Gunzler R., Weiser M., Kalbitzer S., Welser W., Kemmer J. // Nucl. Instr. and Meth. 1990. V. A288. P. 19-23.
- [3] Еремин В.К., Медведев Л.С., Родионов Ю.Ф., Строкан Н.Б., Яшин Ю.А. Препринт ИАЭ, № 4914/14, М., 1989, 12 с.

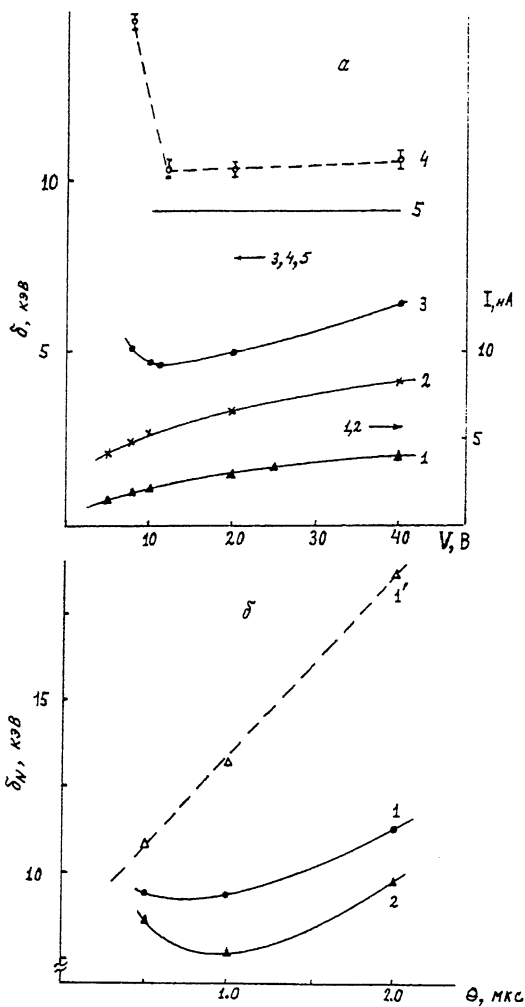


Рис. 2. Характеристики детекторов, облученных дейтронами.  
 а -  $\phi = 2 \cdot 10^{10} \text{ d/cm}^2$ . Площадь детектора  $10 \text{ мм}^2$ . Зависимости от обратного напряжения: 1, 2 - ток до и после облучения соответственно; 3 - шум; 4 - разрешение по  $\alpha$ -частицам; 5 - то же за вычетом шума,  $\theta = 1 \text{ мкс}$ .  
 б -  $\phi = 1 \cdot 10^{11} \text{ d/cm}^2$ . Площадь детектора  $25 \text{ мм}^2$ . Зависимость шума от постоянной времени формирования  $\theta$  после двух стадий отжига в течение 30 мин: 1 -  $I' - T = 150^\circ\text{C}$ ,  $I = 45 \text{ нА}$  при  $V = 25 \text{ В}$  и  $I = 220 \text{ нА}$  при  $V = 75 \text{ В}$  соответственно; 2 -  $T = 300^\circ\text{C}$ ,  $I = 15 \text{ нА}$  при  $V = 30 \text{ В}$ .

- [4] Еремин В.К., Вербицкая Е.М., Конников С.Г.,  
Медведев Л.С., Строкан Н.Б. // Письма в ЖТФ.  
1992. Т. 18. В. 6. С. 91-94.
- [5] Вербицкая Е.М., Еремин В.К., Иванов А.М.,  
Игнатенко Е.С., Строкан Н.Б., Туребе-  
ков У.Ш., Борани И., Шмидт Б. // ФТП. 1991.  
Т. 25. В. 5. С. 852-858.
- [6] Вербицкая Е.М., Грехов И.В., Еремин В.К.,  
Конников С.Г., Линийчук И.А., Разумов С.В.,  
Семчинова О.К., Строкан Н.Б., Дюмин А.Н.,  
Лебедев В.М. // Сверхпроводимость. ФХТ. 1992. № 9.  
С. 1673-1680.
- [7] Bischoff L., von Borany J., Mor-  
gendt H., Schmidt B., Schu-  
bert. Prepr. ZfK-579, Dresden, 1986. 34 p.

Физико-технически  
институт им. А.Ф. Иоффе  
РАН, С.-Петербург  
Институт ядерной физики  
им. Б.П. Константинова  
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
3 ноября 1992 г.