

УДК 53

## ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВУХБАРЬЕРНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Абасов Ф.П., Наджафов Б.А.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, Баку, e-mail: fpabasov@mail.ru*

Разработан фотоприёмник на основе кремния с повышенной интегральной чувствительностью в коротковолновой области спектра. Исследовано влияние гамма радиации на механизм токопрохождения как в структуре типа барьер Шоттки, так и в р-п-переходах. Показано, что двухбарьерные структуры позволяют улучшить фотоэлектрические параметры традиционных детекторов.

**Ключевые слова:** полупроводниковые фотоприемники, двухбарьерные структуры, металл-полупроводник, детекторы излучения

## EFFECTS OF GAMMA RADIATION ON THE ELECTROPHYSICAL AND PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF DOUBLE BARRIER STRUCTURE ON THE BASIS OF SILICON

Abasov F.P., Najafov B.A.

*Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, e-mail: fpabasov@mail.ru*

Developed silicon-based photodetector with high sensitivity integrated in the short range. The effect of gamma radiation on the mechanism of current transport in the structure type Schottky barrier, and in the p-n junctions. It is shown that the double-barrier structure can improve the photovoltaic parameters of conventional detectors.

**Keywords:** silicon based fotoreceiver, double barriers structures, photovoltaic conventional detectors

Кремниевые фотоприемники, до сих пор самый распространенный тип фотопреобразователей. Одним из основных направлений повышения быстродействия и увеличения спектральной чувствительности современных приемников излучения с одним переходом является создание многобарьерных структур, в которых благодаря внутреннему усилению и росту коэффициента собирания фотогенерированных носителей – удается существенно улучшить основные параметры, которые отвечают требованиям и нуждам оптоэлектроники. Надежность работы полученных структур при повышенных условиях радиации, в качестве детекторов ионизирующего излучения является актуальной задачей и составляет предмет наших исследований.

В последнее время для расширения области спектральной чувствительности широко используются методы [1, 2] приводящее к росту фототока в коротковолновой области спектра. Примером могут служить – варизонные структуры; тянущие поля и др., основанное на уменьшении скорости поверхностной рекомбинации. В нашем случае такую возможность, но в планарном исполнении можно создать за счет поля р-п- перехода включенного в обратном направлении.

Впервые получены и исследованы особенности двухбарьерных структур созданных на одной плоскости. Показано преимущества

перед традиционными структурами. Для создания фотоприемников планарного исполнения с внутренним усилением создан барьер Шоттки Au-Si. В качестве исходного материала использована структура р-п-типа на кремниевой подложке. Реализация управления током с помощью света осуществлялась подбором напряжения питания К-Э таким образом, что коллекторный переход закрыт, а эмиттерный – открыт, при свободной базе. Под воздействием света в ней генерируются электроны и дырки. У коллекторного перехода происходит разделение электронно-дырочных пар, достигших вследствие диффузии границы перехода. Дырки перебрасываются полем перехода в коллектор, увеличивая собственный ток, а электроны остаются в базе, понижая ее потенциал. При этом на эмиттерном переходе возникает дополнительное прямое напряжение, что усиливает инжекцию дырок из эмиттера в базу. Инжектированные дырки, достигая коллекторного перехода вызывают дополнительное увеличение тока коллектора. Так как полный коллекторный ток пропорционален коэффициенту внутреннего усиления, имеет место возрастание спектральной чувствительности – достигающее 0,5 А/Вт. Цель работы заключается в изучении влияния зарядового состояния неравновесных вакансий на процессы происходящие во время облучения и термообработки кремния с  $N_n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а также выяснение механизма увеличения ин-

тегральной чувствительности двухбарьерных структур относительно обычных фотодиодов.

показал, что первичные радиационные дефекты (РД) в кристаллах р-Si при 300 К заряжены положительно.

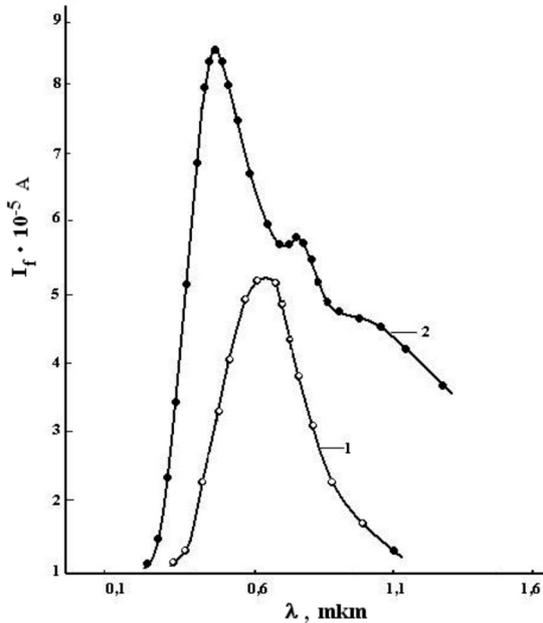


Рис. 1. Спектральная характеристика двухбарьерной структуры а) до облучения, 1. – при  $U_{обр.} = 0$  В; 2. –  $U_{обр.} = 0,5$  В.  $T = 300$  К

На рис. 1 показаны спектральные характеристики двухбарьерной структуры до облучения, при комнатной температуре при обратном напряжении  $U_{обр.} = 0$  В, и  $U_{обр.} = 0,5$  В. Из рисунка видно, что с ростом приложенного обратного смещения на р-п-переход фототок возрастает, что приводит к росту фоточувствительности, при оптимальном выборе обратного напряжения на р-п-переход структуры.

При дальнейшем увеличении  $U_{обр.}$  спектральная чувствительность падает. Такое поведение  $S_\lambda$  связано с ростом области объемного заряда и улучшением коэффициента сбора фотоносителей. При дальнейшем росте  $U_{обр.}$ , из-за перекрытия зон, блокируется фотойнжекция БШ и структура работает в режиме одного фотодиода (рис. 2).

Структура облучалась при  $T = 300$  К гамма-квантами  $Co^{60}$ . Изохронный (30 мин) отжиг радиационных дефектов проводился в диапазоне температур  $T_a = 200-450$  К.

Метод фотоэдс

$$V_{oc} = \frac{1}{1+b} \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{\langle G \rangle^2 \tau_1 \tau_2}{n_i^2} \right) + \frac{b}{1+b} \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{\langle G \rangle^2 \tau_2 P_{p0}}{n_i^2} \right) = V_j + V_B$$

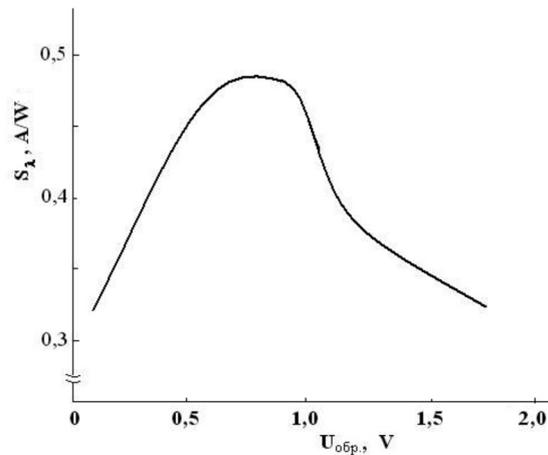


Рис. 2. Зависимость спектральной чувствительности структуры от приложенного обратного смещения р-п-перехода

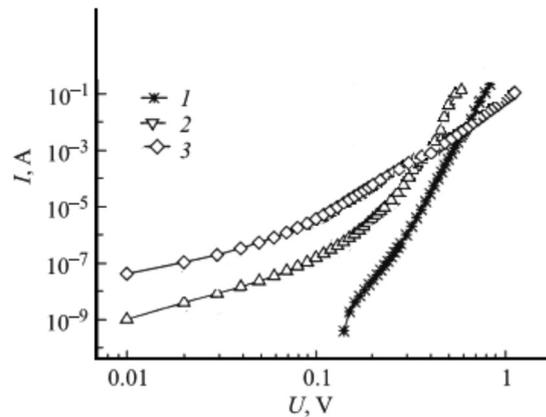


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода 1. исходный, 2.  $D_\gamma = 100$  krad. 3.  $D_\gamma = 200$  krad. Результаты отжига незначительны

Анализ ВАХ (рис. 3) и спектральных характеристик показал, что рекомбинационные токи возрастают по мере увеличения дозы облучения. Отжиг диодов приводит к снижению рекомбинационных токов. При температуре  $T_a \approx 300^\circ\text{C}$  происходит отжиг и перестройка дивакансий с образованием комплексов  $V_2 + O$ , а при  $T_a = 350^\circ\text{C}$  активно отжигаются А-центры ( $V + O$ ) и комплексы ( $V_2 + O$ ). Анализ изменения токопрохождения через БШ и р-п-переход показал различия влияния отжига вблизи поверхности и в глубине кристалла. Это можно объяснить ростом фотоотклика БШ, связанного с накоплением заряда и улучшением коэффициента сбора.

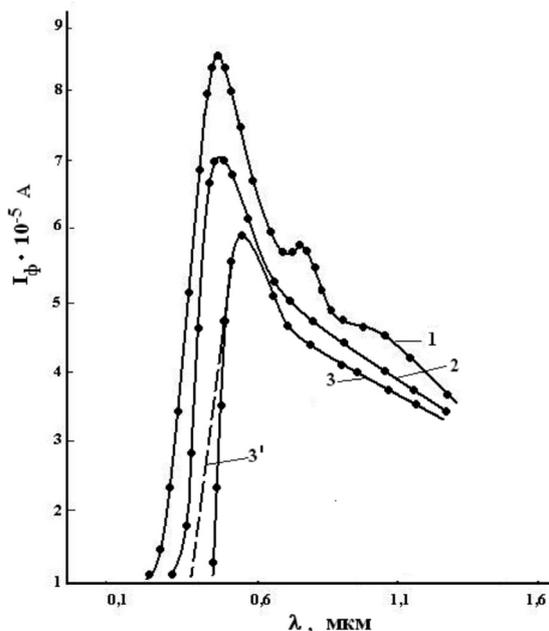


Рис. 4. Спектральная характеристика двухбарьерной структуры после облучения гамма квантами: 1) до облучения, 2) дозой 150 Крад., 3) дозой 200 Крад., 3') после отжига при  $T = 400^\circ\text{C}$  в течении 30 мин

На рис. 4 изображены кривые спектральной зависимости фототока до и после гамма облучения при различных дозах и после отжига при  $T = 400^\circ\text{C}$  в течении 30 мин. Отжиг влияет на спектральные характеристики незначительно. С повышением дозы гамма облучения рост фототока уменьшается.

### Выводы

Таким образом, можно утверждать, что основную роль в электрических потерях исследованных кремниевых структурах играют кислородсодержащие центры ( $V_2 + O$  и  $V + O$ ). При увеличении дозы облучения и увеличении температуры отжига, особенности ВАХ и спектральных характеристик обусловлены изменением сопротивления  $n$ -Si (базовой области структуры), вызванным накоплением (при увеличении дозы)

или исчезновением и перестройкой (при отжиге) радиационных дефектов. Известно, что скорость захвата дефектом электронов и(или) дырок в первую очередь зависит от сечения захвата и положения энергетического уровня в запрещенной зоне. Эти параметры по сути являются «индивидуальной» характеристикой дефекта [3, 4]. При отжиге структур происходит перестройка точечных радиационных дефектов и их исчезновение. При этом главным образом происходит накопление однотипных дефектов. Сопоставление с литературными данными показывает, что основную роль в фотоэлектрических потерях исследованных структур играют кислородсодержащие центры ( $V_2 + O$  и  $V + O$ ). При дальнейшем увеличении дозы облучения происходит необратимое уменьшение фоточувствительности за счет значительного роста сопротивления базы.

### Список литературы

1. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
2. Бакалейников Л.А., Флегонтова Е.Ю., Погребичкий К.Ю., Еремин И.В. Теоретические принципы работы полупроводникового детектора, основанного на  $p$ - $n$  переходе. // ЖТФ, т. 74, № 9. – с.74, 2004.
3. Савченко И.В. Теоретические основы дозиметрии. – 1985. – 388 с.
4. Косяченко Л.А., Масляничук Е.Л., Раренко И.М., Склярчук В.М. Исследование собирания носителей CdZnTe-детекторах рентгеновского и  $g$ - излучения фотоэлектрическим методом. //ФТП, т.38, №8, с. 1018, 2004.
5. Madatov R.S., M.A Mehrabova, F.P.Abasov, Fast acting detectors for  $g$ - quants on the Au-Si. The IV euroasian conference on nuclear science and its application. 2006, Baku, Azerbaijan, p. 145–14.
6. Мадагов Р.С., Абасов Ф.П., Мустафаев Ю.М. Влияние гамма облучения на фотоэлектрические параметры двухбарьерной структуры на основе кремния. Российская конференция по проблемам полупроводников Новосибирск 22–26 августа 2011 г.
7. Абасов Ф.П., Наджафов Б.А., Получение тонких пленок для создания солнечных элементов //«ФОТОНИКА» 2(44) 2014. с.72–90.
8. Абасов Ф.П. Influence of gamma radiation on electric propertien of silicon solar cells. Internatiolnal journal of Pure and Aplied Science and Technology 21(1) (2014). Pp.12–16.2.
9. Абасов Ф.П. Effect of gamma irradiation on electrophysical and photoelectric parameters of double-barrier structure based on silicon. Nuclear Science and its Application VII Eurasian Conference Baku 2014 pp. 233.