

УДК 621.376.234

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР α Si-Si(Li)

© 2013 г. Р. А. Муминов, А. К. Саймбетов, Е. К. Тошмуродов

Физико-технический институт НПО “Физика-Солнце” АН РУз

Узбекистан, 10008, Ташкент, ул. Бодомзор йули, 2Б

E-mail: detector@uzsci.net

Поступила в редакцию 08.02.2012 г.

После доработки 12.04.2012 г.

Рассмотрена технология получения детекторов ядерного излучения на основе гетероструктур α Si-Si(Li). Показано, что по сравнению с традиционными p - n -структурами такие детекторы более эффективны благодаря малой толщине приповерхностного (“мертвого”) слоя.

DOI: 10.7868/S0032816213010096

Прогресс техники ядерной спектроскопии в значительной мере обусловлен созданием полупроводниковых детекторов (п.п.д.) ядерного излучения [1, 2], в частности кремниевых детекторов на основе Si(Li) p - i - n -структур относительно малых размеров (с диаметром чувствительной поверхности $d < 50$ мм, толщиной $W = 1.5$ – 2 мм) [3–5]. Однако современные требования к таким детекторам приводят к необходимости увеличения их размеров до $d > 50$ – 100 мм и $W > 2$ мм. При этом физические, технологические и конструкционные решения должны учитывать свойства исходного кристалла больших размеров при стремлении удовлетворить требованиям обеспечения оптимальных электрических, радиометрических и спектрометрических характеристик детекторов [6–9].

В данной работе рассматриваются особенности технологии получения высокоэффективных полупроводниковых детекторов ядерного излучения больших размеров ($d > 50$ мм и $W = 1.5$ – 4 мм) на гетероструктурах аморфный кремний-кремний α Si-Si(Li). Особенностью такой гетероструктуры является высокий и резкий относительно диффузионного Si(Li) p - n -перехода потенциальный барьер гетероконтакта. Это важно для обеспечения в п.п.д. тонкого входного окна (“мертвого слоя”), оптимальных электрофизических и спектрометрических характеристик.

Гетероструктуры α Si-Si(Li) формировались на пластинах из монокристаллического кремния p -типа диаметром 50 мм и толщиной ≥ 2 мм. Удельное сопротивление исходного кристалла варьировалось в диапазоне $\rho = 1000$ – 5000 Ом · см при времени

жизни неравновесных носителей тока $\tau \geq 300$ мкс. После ряда механо-химических обработок кристаллов осуществлялась диффузия ионов лития, которая проводилась в вакууме на глубину ~ 300 мкм при температуре 450°C . Глубина диффузии контролировалась методом шар-шлифа.

После травления полирующим травителем в смеси кислот HF:HNO₃:CH₃COOH и в анилиновом травителе обратные токи образцов составляли ≤ 10 мкА. Далее проводили процесс дрейфа ионов лития сначала при температуре $T = 70$ – 80°C и напряжении $U = 100$ – 400 В, затем при $T = 60^\circ\text{C}$ и $U = 200$ В. Дополнительный низкотемпературный процесс дрейфа способствовал выравниванию степени компенсации по всему объему кристалла.

После окончания всех процессов дрейфа ионов лития диффузионную область полностью сошлифовывали и на эту поверхность со стороны выведенной полностью i -области (компенсированного литием кремния) проводили напыление α -Si (толщина слоя составляла ~ 500 Å). Для получения омических металлических контактов были использованы золотое и алюминиевое покрытия: алюминиевое – на чувствительной поверхности структуры с α -Si-слоем (куда падает ионизирующее излучение), золотое – на противоположной стороне (рис. 1).

Полученные по данной методике детекторы имели следующие параметры: при обратном напряжении смещения $U_{об} \sim 20$ – 300 В темновой ток был равен ~ 0.5 – 1.2 мкА, емкость ~ 40 – 200 пФ, энергетический шум $E_{ш} \sim 25$ – 60 кэВ.

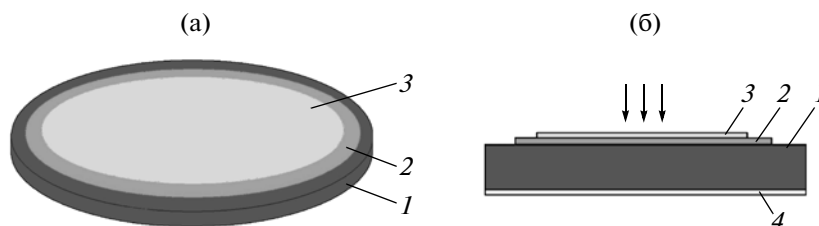


Рис. 1. Конструкция детектора на основе α Si-Si(Li): **а** – детектор, вид сверху; **б** – общий вид детектора. 1 – монокристаллический кремний, компенсированный методом дрейфа ионов лития; 2 – аморфный слой; 3 – алюминиевый контакт; 4 – контакт из золота.

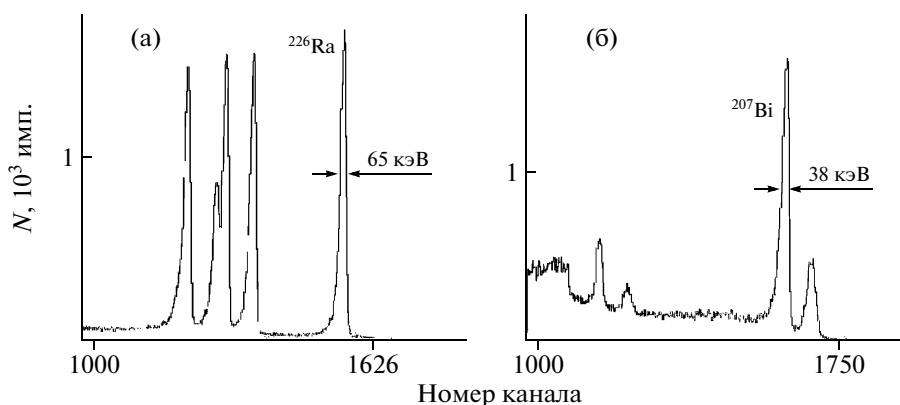


Рис. 2. Энергетические спектры гетероструктуры α Si-Si(Li): **а** – по α -частицам ^{226}Ra ($E_\alpha = 7.65$ МэВ); **б** – по β -частицам ^{207}Bi ($E_\beta = 1$ МэВ).

Энергетическое разрешение измеряли с помощью источников α -частиц ^{226}Ra и β -частиц ^{207}Bi . Регистрацию амплитудных спектров проводили с помощью обычного спектрометрического тракта. На рис. 2 показаны энергетические спектры детектора по α -частицам ^{226}Ra ($E_\alpha = 7.65$ МэВ) – $R_\alpha = 65$ кэВ и по β -частицам (электронам внутренней конверсии) ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1$ МэВ) – $R_\beta = 38$ кэВ. Как видно из энергетических спектров, для п.п.д. на основе гетероструктур α Si-Si(Li) в случае α -частиц влияние толщины слоя аморфного кремния на формирование энергетического спектра незначительно, так как глубина поглощения α -частиц очень мала (0.25 мкм). В случае β -частиц влияние толщины слоя аморфного кремния также невелико, но при этом проявляется влияние степени компенсации толщины чувствительной области кремния на формирование энергетического спектра β -частиц, так как глубина поглощения β -частиц доходит до 2 мм. В результате энергетическое разрешение п.п.д. для α -частиц составляет $R_\alpha < 1\%$, а для β -частиц – $R_\beta \geq 1\%$ и определяется полушириной энергетического спектра частиц.

Полученные результаты показали, что детекторы ядерного излучения на основе гетероструктур α Si-Si(Li) по сравнению с традиционными

Si(Li) $p-i-n$ -детекторами являются более эффективными на 0.5–1.5% по электрическим (токовым, емкостным), радиометрическим (шумовым, по толщине “мёртвого слоя”) и спектрометрическим (энергетическому разрешению, формированию амплитудного спектра) характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Дирнли Д., Нортрон Д. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. М.: Мир, 1966.
3. Строкан Н.Б., Тиснек Н.И., Афанасьев В.Ф. // ПТЭ. 1968. № 5. С. 211.
4. Афанасьев В.Ф., Строкан Н.Б., Тиснек Н.И. // ПТЭ. 1970. № 2. С. 66.
5. Азимов С.А., Муминов Р.А., Яфасов А.Я. и др. // В сб. Динамические характеристики неоднородных полупроводниковых структур. Ташкент: ФАН, 1975. С. 58.
6. Акимов Ю.К. // ПТЭ. 2007. № 1. С. 5.
7. Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. Ташкент: Фан, 1981.
8. Muminov R.A., Radzharov S.A., Sagyndikov N.A., Nurbaev K.M. // Atomic Energy, 2005. V. 98. № 1. P. 69.
9. Раджанов А.С. // ПТЭ. 2007. № 4. С. 29. (Radzharov S.A. // IET. 2007. V. 50. № 4. P. 452.)