

КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ТЕРМООХЛАЖДАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

С.А. Раджапов, Ё.К. Тошмуродов, Б.С. Раджапов, Ш. Рисалиева

Физико-технический институт АН РУз, 100084 Ташкент, Бодомзор йули 2Б, Узбекистан
detector@uzsci.net
(Получена 17.05.2016)

Ушбу ишда сезувчи ўлчамлари $50 \times 50 \times 4$ мм, 8, 16 ва 32 полосали ва термосовутиш қурилмаси билан ядровий нурланишли кремнийли яримўтказгичли координата сезувчан детекторлар шакллантириш жараёнлари тақдим этилган.

В данной работе представлены процессы формирования кремниевых полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения с размерами чувствительной области $50 \times 50 \times 4$ мм, с токосъёмными полосами 8, 16 и 32 и с термоохлаждающим устройством.

This paper presents the process of forming silicon semiconductor coordinate-sensitive detectors of nuclear radiation with sensitive area dimensions of $50 \times 50 \times 4$ mm, with current collector stripes of 8, 16 and 32, and with thermally-cooled device.

Полупроводниковые координатно-чувствительные детекторы (ПКЧД) на основе Si(Li) *p-i-n* детекторных структур в настоящее время являются одним из основных инструментов исследования в различных ядерно-физических экспериментах, а также находят широкое применение в медицине, геологии, энергетике, археологии, охране окружающей среды, космической аппаратуре и т.д.

Проблемы технологического характера для детекторов ядерного излучения вообще достаточно сложные, а для детекторов больших размеров тем более. В этой связи необходимы глубокие всесторонние исследования технологических процессов, обусловленных эффектами больших размеров полупроводниковых кристаллов, для формирования требуемых детекторных структур с переходами типа *p-n* или *p-i-n*. Известно, что для детекторных структур фронтальная чувствительная область состоит из *p-n*-перехода, который должен быть резким и расположенным близко к области объемного заряда, чтобы обеспечить необходимую толщину входного окна, то есть сформировать тонкий “мертвый слой”. Базовая *i*-область должна обладать очень высоким удельным сопротивлением, чтобы обеспечить полное её обеднение при напряжении обратного смещения, приложенного к *p-i-n*-структуре [1]. При формировании *p-i-n*-структур на монокристаллах кремния большого диаметра возникают особенности относительно малых диаметров физических процессов диффузии, дрейфа, а также контактных явлений, которые необходимо изучить, и с учётом полученных данных разработать новые технологические способы [2].

В данной работе ПКЧД для регистрации ядерного излучения изготовлены на монокристаллах кремния большого диаметра. На пластинах кремния большого диаметра трудно получить дрейф ионов лития, поэтому эта проблема была решена нами следующим образом. Разработана специальная дрейфовая установка [2] для

получения однородного, сильно компенсированного ионами лития объёма кремния большого размера (диаметр 100–120 мм, толщина 4 мм). ПКЧД изготавливали из готовых Si(Li) *p-i-n*-структур с диаметром чувствительной области 90 мм, толщиной 4 мм. После дрейфа ионов лития проводится механическая обработка и химическое травление. Затем методом вакуумного напыления при давлении 5×10^{-5} мм.рт.ст. на пластину наносили контакты из Al (0.1 мкм). Готовые кремниевые структуры помещали в корпус. С фронтальной стороны использовали специальную маску для получения контактов в виде полос из Au толщиной ~ 0.02 мкм (геометрические размеры активной полосы составляют 0.5×50 мм, неактивные полосы, т.е. зазоры между полосами, составляют 1% от общей площади). Детекторы имеют прямоугольную форму с общими размерами чувствительной области $50 \times 50 \times 4$ мм. Разработаны три варианта координатно-чувствительных структур — с 8, 16 и 32 полосами [3]. С увеличением количества полос разрешающая способность полученных структур увеличивается. В качестве примера на рис. 1 показана конструкция 8-ми полосного ПКЧД.

ПКЧД больших размеров состоит из Si(Li) *p-i-n*-структуры большой площади (1); металлического контакта (2), состоящего из золотых полос; сплошного металлического контакта круглой формы из алюминия (3); изолятора из гетинакса (4); термоохлаждающего устройства типа элемент Пельтье (5).

Принцип работы полученного полупроводникового детектора представлен на рис. 2.

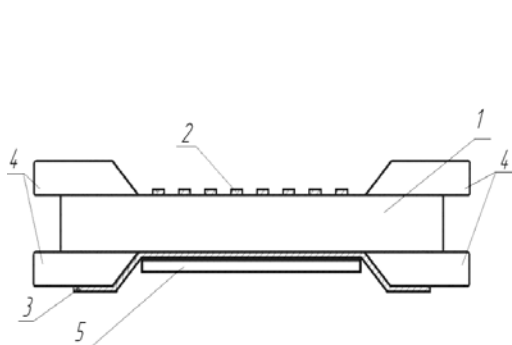


Рис. 1. Полупроводниковый координатно-чувствительный детектор в разрезе поперёк контактных полос.

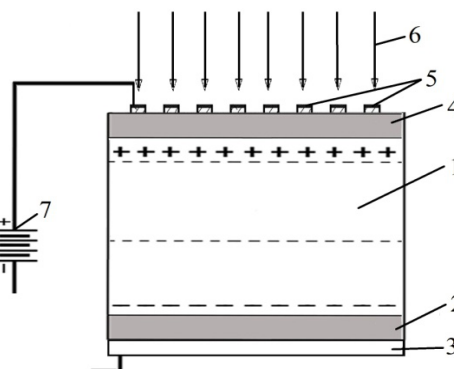


Рис. 2. Схема работы полупроводникового детектора: 1) обедненная область; 2) *n*-тип; 3) алюминиевый контакт; 4) *p*-тип; 5) металлический контакт, состоящий из золотых полос; 6) траектория частиц; 7) источник питания.

Любой полупроводниковой детектор характеризуется наличием области объемного заряда, которая препятствует протеканию тока при приложении к нему напряжения обратного смещения. При воздействии на такую структуру рентгеновским излучением в области объемного заряда рождаются электронно-дырочные пары, которые под действием приложенного напряжения обратного смещения разделяются, а затем разноимённые носители заряда собираются на электродах.

Однако малая ширина запрещенной зоны обуславливает заметную электропроводность полупроводников за счёт термоэмиссии электронов в зону проводимости (рис. 3). Статические флуктуации количества свободных носителей заряда в зоне проводимости при подаче напряжения обратного смещения на электроды детектора приводят к соответствующим статическим флуктуациям тока и появлению на выходе детектора шумового сигнала.

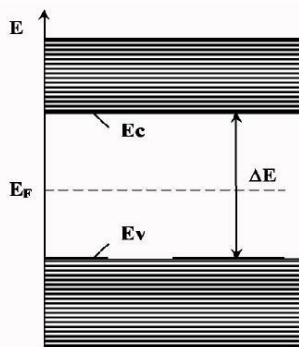


Рис. 3. Ширина запрещенной зоны ΔE полупроводникового кремния (E_c – зона проводимости, E_v – валентная зона, E_F – уровень Ферми).

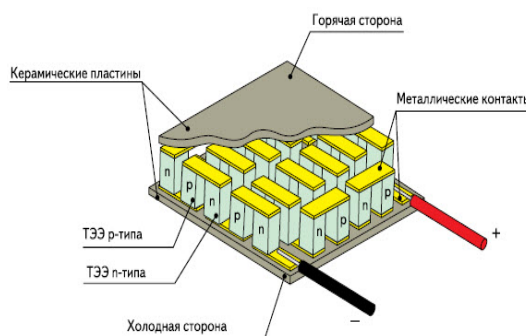


Рис. 4. Модуль охлаждения детекторной структуры на основе элемента Пельтье.

Типичная толщина кристалла детектора – 4 мм и её достаточно для полного поглощения излучения с энергией не выше 15 кэВ. Для стабильной работы детектора необходимо уменьшить его температурный режим работы. В современных детекторах для охлаждения используются элементы Пельтье.

В мировой практике, чтобы улучшить токовую характеристику детектора, используют различные методы охлаждения детекторов. Например, в одном из них для улучшения токовой характеристики использовались канавки на поверхности детектора, полученные сложным технологическим способом, включающим механический и химический методы [4]. В нашем случае использовано термоэлектрическое охлаждающее устройство (элемент Пельтье), которое охлаждает тыльную поверхность ПКЧД и таким образом улучшает токовые характеристики.

В изготовленных ПКЧД при температуре $T = 240$ К и рабочем напряжении обратного смещения $U_{обр} = 100-800$ В имеем темновой ток $I = 50-80$ нА, ёмкость $C = 220$ пФ и шумы $E_{ш} = 0.8-1$ кэВ. Энергетическое разрешение по ^{241}Am $R = 2.3-2.6$ кэВ (1 элемент); при рабочем напряжении $U_{обр} = 200$ В темновой ток равен $I = 2-4$ нА, ёмкость $C = 50$ пФ, шумы $E_{ш} = 0.3-0.5$ кэВ. Энергетическое разрешение по ^{241}Am $R = 1.1-1.3$ кэВ. [5].

Таким образом, по результатам исследований и проведенных технологических работ разработана и оптимизирована технология формирования полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов больших размеров на основе Si(Li) *p-i-n*-структур с термоохлаждающим устройством. Достигнуто улучшение электрофизических и радиометрических характеристик ПКЧД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.А. Муминов, С.А. Раджапов, Ё.К. Тошмуродов, Узбек. физич. журн. **16**, 234 (2014).
2. Р.А. Муминов, С.А. Раджапов и др. Способ изготовления Si(Li) *p-i-n*-структур. IAP 04073 патент на изобретение.
3. R.A. Muminov, S.A. Radzharov, Yo.K. Toshmurodov, Sh. Risaliev, S. Bekbaev, and A. Kurmantaev, Instruments and Experimental Techniques **57**, No 5, 564 (2014).
4. Г.И. Айзенштат, М.А. Лелеков, А.И. Ивановко, О.П. Толбанов. Патент RU 2306633 С1 от 20.09.2007 г., бюллетень № 26.
5. R.A. Muminov, S.A. Radzharov, and A.K. Saimbetov, Technical Physics Letters **35**, No 8, 768 (2009).