

# Особенности изготовления кремниевых поверхностно-барьерных детекторов для радиометров радона

В статье предложена усовершенствованная технология изготовления поверхностно-барьерных детекторов (ПБД) на кремнии *n*-типа проводимости, приспособленная для изготовления ПБД, используемых в радиометрах радона. Детекторы имеют светозащиту, стабильные в принятых условиях эксплуатации характеристики, оптимально отвечающие требованиям для работы в приборе. Технология позволяет обеспечить высокий выход годных счетчиков, что снижает их себестоимость. Показана возможность изготовления ПБД на тонких кремниевых пластинах, забракованных для дальнейшего применения в планарной технологии.

## **Ключевые слова:**

*поверхностно-барьерные детекторы (ПБД), кремний, краевой эффект, выпрямляющий контакт, вольт-амперные характеристики (ВАХ), альфа-спектрометрия, светозащита, пиридин, теорема Шокли-Рамо.*

**С.И.Лашаев, А.Р.Третьяков**

АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»,  
Санкт-Петербург

**В** АО «Радиевый институт» им. В.Г. Хлопина в течение более 25 лет занимались разработкой и изготовлением кремниевых поверхностно-барьерных детекторов (далее по тексту – ПБД) для радиометров радона на кремнии обоих типов проводимости. Опыт работы по изготовлению лабораторных образцов кремниевых ПБД в институте имеется с конца 60-х гг. Технология их изготовления в общих чертах описана в ранних обзорных работах [1,2]. Несмотря на более, чем полувековую историю развития технологии ПБД, она и сегодня не исчерпала свой потенциал, сохранив, в том числе, и научный интерес [3]. С начала 80-х гг. в институте активно велись работы по совершенствованию технологии с целью ее адаптации для мелкосерийного производства, что послужило успешным началом передачи технологии в Рижский научно-исследовательский институт радиоизотопного приборостроения (РНИИРП).

В конце 80-х гг. стало возможно изготовление детекторов с выпрямляющим контактом на основе имплантированного бора (для кремния n-типа проводимости) и с защитой края перехода термическим окислом кремния, что позволило получать структуры с лучшими электрическими и шумовыми характеристиками. Однако для счетчиков площадью более 10 см<sup>2</sup> эти преимущества нивелируются емкостными шумами (возникающими при использовании зарядочувствительных предусилителей), что приводит к отсутствию выигрыша по энергетическому разрешению, по сравнению с ПБД. Кроме того, описанная выше промышленная технология изготовления детекторов (планарная) требует дорогостоящего оборудования, что значительно повышает стоимость счетчиков, особенно в случаях небольших серий, что наблюдается при выпуске радиометров (из нашего опыта – около 100 шт. в год), поэтому поверхностно-барьерная (далее по тексту – ПБ) технология не потеряла свою актуальность и на сегодняшний день. Основная причина востребованности ПБД для радиометров – это их себестоимость по сравнению с планарной технологией, что дает существенный вклад в цену прибора.

В настоящее время в стране имеется дефицит детекторного кремния, что делает актуальным поиск альтернативных решений. Одним из таких решений может стать использование кремниевых пластин, отбракованных для дальнейшего применения в промышленной планарной технологии. Обычно такие пластины отбраковываются после химико-динамической полировки из-за наличия дефектов на поверхности. Однако их использование для детекторных целей могло бы решить проблему дефицита кремния при минимальных затратах, а также подтвердить актуальность и эффективность ПБ-технологии.

## Требования к счетчикам для радиометров

Специфическими требованиями к детекторам для радиометров являются: светозащищенность, стабильность характеристик и надежность работы в условиях естественной окружающей среды (влажность, состав атмосферы, температура и т. д.) [4]. Основные технологические приемы изготовления ПБД большой площади (более 10–20 см<sup>2</sup>) представлены в работе [5]. В последние годы достигнут определенный прогресс в изготовлении ПБД большой площади с высокими электрическими и спектрометрическими характеристиками [6,7], что во многом связано с использованием более качественных пластин кремния большого диаметра (более высокоомного, однородного, менее дефектного, с большими временами жизни носителей). Однако для радиометров приведенные в статьях характеристики счетчиков являются избыточными, при этом описанная авторами технология не приспособлена в полной мере к использованию для изготовления ПБД с перечисленными выше специфическими требованиями для мелкосерийного производства радиометров. Для выполнения этой задачи было предложено усовершенствование традиционной технологии изготовления ПБД.

## Материалы и оборудование

В качестве исходного материала для изготовления детекторов использовался монокристаллический кремний, произведенный в конце 80-х гг. на Запорожском титаномагниево-комбинате (ЗТМК) и на Подольском химико-металлургическом заводе (ПХМЗ), также, для сравнения, был опробован кремний фирмы Wacker. Существенных различий в параметрах счетчиков из кремния в зависимости от изготовителя не наблюдалось. Основными требованиями к характеристикам исходного материала являются: удельное сопротивление

от 1 до 2-х кОм/см (измерялось 4-зондовым методом), время жизни неосновных носителей не менее 200 мкс (метод измерения – модуляция электропроводности), отсутствие дислокаций (бездислокационный кремний), и, как правило, с ориентацией поверхности [5]. Все эти параметры зафиксированы заводом-изготовителем в паспорте на слиток кремния.

В дальнейшем контрольных измерений перед изготовлением счетчиков не проводилось.

Однако в кремнии присутствуют электрически неактивные примеси (кислород, углерод, водород и т. д.), концентрации которых, как правило, не отражаются в паспорте на материал, а также могут присутствовать несовершенства монокристаллической структуры (кроме дислокаций), например, микродефекты.

В редких случаях, когда характеристики счетчиков, выполненных по уже хотя бы частично отработанной технологии, не воспроизводились на выбранном материале – он подлежал замене, после чего продолжалось дальнейшее совершенствование технологии на другом подходящем слитке кремния.

При изготовлении счетчиков определяющее значение имеет чистота процессов, связанных с химической обработкой кремниевых пластин. Все используемые химические реагенты (концентрированные азотная, плавиковая кислоты, органические растворители и т. д.) должны иметь марку ОСЧ. Особое значение имеет качество водоподготовки для финишной промывки пластин. Нами использовалась вода после бидистиллятора с последующим пропусканием через кварцевую ионообменную колонку со смесью анионита и катионита.

Для создания на пластинах кремния металлических контактов использовалось термическое напыление в вакууме на промышленной установке УВР-3М (1972 г. выпуска) с обязательным использованием азотной ловушки для паромасляного насоса. Все применяемые металлы (золото, палладий, серебро, алюми-

ний) должны иметь максимально достижимую степень чистоты.

Все работы проводились в обычных лабораторных помещениях, но с приточно-вытяжной вентиляцией через фильтры. Этого было достаточно для изготовления счетчиков с высокими параметрами и воспроизводимыми характеристиками.

### Способы совершенствования технологии ПБД

В работе [5] впервые было показано, что в традиционной ПБ технологии токи утечки, как правило, практически полностью обусловлены краевым эффектом и более, чем на порядок, превышают остальные компоненты обратного тока, и в случае «устранения» краевого эффекта обратный ток ПБД будет иметь величину, характерную для планарной технологии, тем самым дана численная оценка вклада краевого эффекта в ток утечки, в отличие от более ранних работ, в которых отмечался лишь существенный вклад края ПБ структуры в обратный ток [8]. Другими словами, если удастся «преодолеть» краевой эффект, то ПБ технология по этому параметру может конкурировать с планарной (токи порядка 10 нА/см<sup>2</sup> при рабочих напряжениях несколько десятков вольт). Хотя к ПБД для радиометров не предъявляется жестких требований по токам утечки (приемлем ток 1–2 мкА, т. к. шумовые характеристики в большей степени будут определяться большей емкостью детектора), край выпрямляющего перехода будет влиять и на другие эксплуатационные характеристики (надежность, долговечность, стабильность параметров), в том числе и на выход годных детекторов, т. е. на их себестоимость. Поэтому основной упор в совершенствовании технологии ПБД делается на краевую область.

Прежде всего, из двух возможных вариантов защиты края перехода компаундом

(в нашем случае КЭН-2), один из которых выполняется до напыления выпрямляющего контакта, а второй – после напыления контакта. Нами был выбран второй вариант, несмотря на то, что первый вариант дает в несколько раз более низкие токи утечки. Преимущество второго варианта, во-первых, заключается в том, что при такой последовательности герметизации упакованный в стеклотекстолитовую оправку детектор менее восприимчив к механическим воздействиям, а главное – после напыления выпрямляющего контакта до защиты края перехода мы можем отбраковать структуры с неудовлетворительными электрическими характеристиками (ток,

напряжение, шумы), а затем специальным, предложенным нами воздействием на край перехода [9], улучшить характеристики ПБД до приемлемых для работы в радиометре. Тем самым, нам удалось повысить выход годных ПБД до 80–90%.

Указанный результат достигается добавлением в определенной пропорции перед защитой края перехода в компаунд КЭН-2 пиридина, являющегося органическим соединением нуклеофильного типа, а также дозированной обработкой поверхности кремниевых пластин перед защитой края перехода в парах пиридина.

Влияние пиридина в составе компаунда особенно показательны для счетчиков с аномальными ВАХ, наблюдаемыми после напыления выпрямляющего контакта, что показано на примере обратных токов детекторов площадью 10 и 12 см<sup>2</sup> (табл.1 и рис.1) до защиты и после защиты края перехода компаундом КЭН-2 с добавлением пиридина по предлагаемому способу.

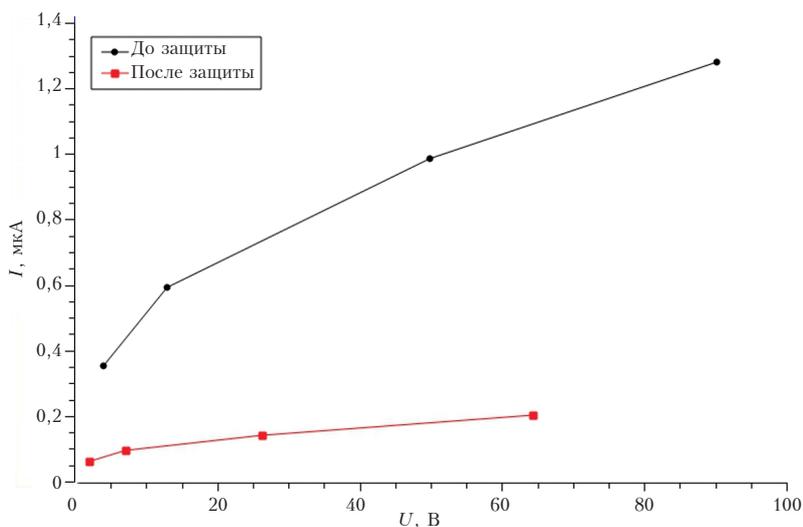
Улучшенные характеристики детекторов (токовые и шумовые) остаются стабильными в течение более 10 лет при хранении в комнатных условиях (в темноте) и при периодической работе в форвакууме и на воздухе, а также при их длительном использовании в радиометрах радона.

### Создание заднего контакта

В случае травления кремниевых пластин с двух сторон следует обратить внимание на создание «омического» контакта. Лучшим омическим контактом в традиционной ПБ технологии является шлифованная задняя сторона пластины с нанесенным на нее металлом (химическим нике-

**Табл.1.** Влияние защиты компаундом с пиридином на обратные ВАХ детекторов с аномально высокими токами.

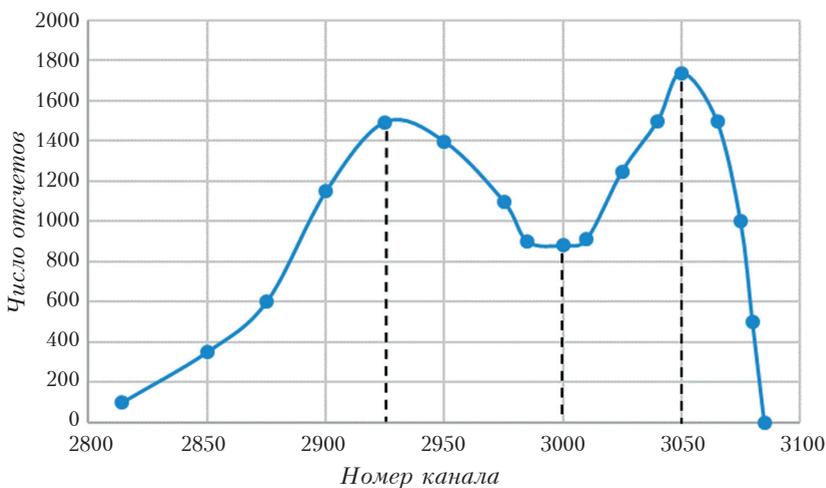
До защиты		После защиты	
U, В	I, мкА	U, В	I, мкА
0,6	0,86	2	0,5
3,6	5	6,8	0,6
13	15	26	0,8
50	33	64	1
		113	1,2



**Рис.1.** Улучшение обратных ВАХ после защиты компаундом с пиридином.

лированием, термическим напылением и др., и т. п.). Тип металла и способ нанесения слабо влияет на результат, обычно нами использовался для напыления алюминий.

Для упрощения технологии нами часто проводилось травление пластин с двух сторон (не требуется защита заднего контакта). В этом случае особенно тщательно, учитывая прогрев пластин после травления [10], следует относиться к промывке не только передней, но и задней стороны пластины после травления. Если это условие не выполняется, то на счетчиках с напыленным задним алюминиевым контактом, как правило, наблюдаются аномалии в виде сильного искажения альфа-спектра при облучении всей поверхности счетчиков альфа-частицами. Искажения, как правило, проявлялись в наличии интенсивных низкоэнергетических «хвостах», ухудшении энергетического разрешения (до 200 кэВ), либо в появлении ложных пиков, внешне напоминающих тонкую структуру плутония-238 (рис.2). То, что это контактное явление, доказывается улучшением формы спектра после стравливания алюминия и нанесения нового заднего контакта.



**Рис.2.** Искажение спектра альфа-частиц плутония-238 в случае алюминиевого заднего контакта, напыленного на травленную и прогретую поверхность кремния, при недостаточной промывке пластины.

В литературе не было найдено упоминаний о подобных спектральных искажениях, поэтому нами был предложен предполагаемый механизм наблюдаемого эффекта.

Предпосылкой для предполагаемого механизма является факт улучшения формы спектра при увеличении постоянной времени формирования в усилителе спектрометрического тракта (до 4 мкс и более). Визуально сигналы с детектора имеют передние фронты разной длительности в зависимости от места попадания альфа-частицы на чувствительные поверхности счетчика, что при дифференцировании сигнала после зарядочувствительного предусилителя в усилителе-формирователе приводит к разным амплитудам на входе амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП), т. е. к искажению альфа-спектра. Далее можно предположить, что контакт термически напыленного алюминия с химически травленной поверхностью кремния неоднороден по площади и имеет мозаичную структуру промежуточного слоя между поверхностью кремния и алюминиевым электродом, что приводит к разбросу по электрическому сопротивлению различных участков в промежуточном слое.

В зависимости от места попадания альфа-частицы ее регистрация будет проходить при разном постоянном времени RC-цепочки, где R – сопротивление поверхностного слоя ограниченной площади между кремнием и алюминием (сопротивление счетчика при прямом включении обычно составляло несколько десятков кОм, емкость детектора при рабочем напряжении около 10 В – порядка 1000 пФ). В этом случае постоянная времени счетчика будет того же порядка, что и

время формирования сигнала в усилителе, тем самым разброс амплитуд, в зависимости от места попадания альфа-частиц, находит свое объяснение. Однако такой вывод не согласуется с учетом величины времени релаксации Максвелла, которое применяется для индуцированного в области электрода заряда:

$$T_M = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – удельная электропроводность, диэлектрическая проницаемость среды (для кремния  $\varepsilon \approx 12$ ),  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14}$  Ф/см, для кремния с уд. сопротивлением порядка 1 кОм·см это время составляет около 1 нс, что на три порядка меньше постоянной формирования в усилителе и разброс амплитуд, в зависимости от места попадания частицы, наблюдаться не может.

Другой подход для объяснения механизма регистрации излучения в полупроводниковых детекторах формулируется в теореме Шокли-Рамо, согласно которой механизм формирования сигнала в полупроводниковых детекторах базируется на понятии мгновенного тока, индуцируемого на данном электроде из-за движения электронов в области пространственного заряда (ОПЗ). В рамках этой теоремы, на наш взгляд, возможно проявление неоднородности по сопротивлению промежуточного слоя на заднем контакте детектора. Настоящая работа имеет технологический характер, поэтому здесь мы только качественно обозначаем пути возможного объяснения наблюдаемых эффектов.

Улучшение качества «омического» контакта для травленной поверхности кремния возможно при изменении порядка технологических операций: например, прогрев пластины до напыления выпрямляющего контакта, но с уже напыленным алюминиевым задним контактом. Нами в работе использовался один из возможных вариантов создания контакта: не изменяя последовательности операций, в качестве за-

дного контакта использовался алюминий с подслоем германия (толщиной 15–20 мкг/см<sup>2</sup>).

### **ПБД из отбракованных пластин кремния для планарной технологии**

Из-за дефицита детекторного кремния большого диаметра возрастает интерес к использованию тонких кремниевых пластин (200–300 мкм), которые по своим параметрам соответствуют требованиям для детекторных материалов. Такие пластины, как правило, являются браком для применения в планарной технологии, например, из-за дефектов, возникающих на этапах производства или обработки. Это делает их значительно более доступными по цене, что, в свою очередь, снижает стоимость производства ПБД.

Для выяснения возможности изготовления ПБД на таких пластинах была сделана из них партия детекторов (10 шт.) площадью 10 см<sup>2</sup> (рис.3). Пластины кремния n-типа диаметром 42 мм вырезались из исходных пластин диаметром 100 мм и толщиной 200 мкм. Несмотря на то, что такие пластины подвергались химико-динамической обработке, для создания ПБ требуется дополнительное травление под барьер.

Счетчики после изготовления имели достаточно высокие электрические и спектрометрические характеристики (энергетическое разрешение не хуже 80 кэВ), которые вполне соответствовали требованиям для их применения в радиометрах. Однако после их хранения в комнатных условиях в течение месяца все счетчики показали аномально высокие шумы при смещениях менее 2-х вольт, при этом токи утечки остались без изменений до напряжения более 50 В. Вернуть шумы к величине, близкой к первоначальной, удалось за счет воздействия распределенного давления на обратную сторону пластины, величина которого была определена пошаговым подбором. Данный результат указывает на влияния

механических напряжений, возникающих при изгибе тонкой пластины, на шумовые характеристики перехода. Этот изгиб удалось компенсировать подобранной нагрузкой с обратной стороны пластины. Для предотвращения этого эффекта, возможно, требуется замена стеклотекстолитовых оправок на керамические, что используется в технологии западных фирм, либо изменение технологии герметизации края перехода и способа упаковки пластин в стеклотекстолит, включив операцию вклеивания пластины кремния по всей площади заднего контакта на стеклотекстолитовую подложку достаточной толщины.

### **Светозащита чувствительной поверхности детекторов**

Специфическим требованием к счетчикам для радиометров является их светозащищенность, которая достигалась за счет термического напыления толстого (до 100 нм) многослойного металлического покрытия на чувствительную поверхность детектора. Для создания выпрямляющего контакта на химически травленную «под барьер» поверхность кремниевой пластины n-типа проводимости напылялся подслои из палладия (толщиной 10–20 нм). В качестве второго слоя использовалось золото (толщиной 20–40 нм). Эти металлы необходимы для создания ПБ. Подслой из палладия обеспечивает хорошую адгезию к кремнию [11], иначе толстые слои металла могут отслаиваться от поверхности. Достигать светозащищенности ПБД за счет толстого слоя золота менее предпочтительно по сравнению с некоторыми другими металлами, прежде всего из-за слабой отражательной способности пленок золота и достаточно высокого коэффициента пропускания (около 23%, при толщине пленок 40 нм) в видимом световом диапазоне, а также из-за значительного увеличения мертвого окна детектора (большой атомный номер золота) и повышенного расхода драгметалла.

Первым кандидатом на светозащитный слой, напыляемый толщиной около 100 нм, был выбран алюминий, ввиду его высокой отражательной способности, дешевизны, технологического удобства из-за его низкой температуры плавления для термического напыления, а также естественной пассивации пленки окислом алюминия, что важно при работе счетчиков на атмосфере. Однако напыления пленок алюминия неожиданно приводило к аномальной форме альфа-спектра, что выражалось в аномально большом уширении альфа-линий (до 200 кэВ, при сохранении ширины линии генератора менее 60 кэВ), а также в появлении интенсивных низкоэнергетических «хвостов», что внешне похоже на описанные ранее искажения спектров из-за проблем с задним контактом.

Предположительно, этот эффект связан с механическими напряжениями на поверхности кремния, которые возникают после напыления и окисления алюминия [12]. Возможным механизмом наблюдаемого эффекта является неоднородное по площади изменение зарядового состояния приповерхностной области кремния, ее рекомбинационных и других параметров за счет поляризации (пьезоэффект) находящейся на ней пленки естественного окисла, возникающего в процессе технологии, с учетом применяемого нами прогрева кремниевой пластины после травления [10].

Следует отметить возникновение, в некоторых случаях, искажения альфа-спектра, полученного на ПБД из р-кремния с алюминиевым выпрямляющим контактом, что отмечалось уже в первых работах, но объяснялось неоднородностью исходного р-кремния [13]. В некоторых случаях удавалось улучшить вид альфа-спектра после отжига детекторов на воздухе при температуре 100–120 °С в течение 2–4-х часов с последующим медленным охлаждением вместе с термостатом. Однако для полного описания физики наблюдаемого

результата требуется более глубокое исследование, что выходит за рамки данной работы.

В дальнейшем, учитывая проблемы с алюминиевым покрытием, оно было заменено на пленку из серебра (с толщиной 80–100 нм), которая обладает высокой отражательной способностью в видимом диапазоне (близко к 100%). Это позволило устранить искажение альфа-спектра и обеспечило стабильность спектральных и электрических характеристик счетчиков в течение многих лет эксплуатации и хранения детекторов в комнатных условиях.



**Рис. 3.** Внешний вид детекторов площадью 10 см.кв. для установки в посадочные гнезда радиометров.

### Счетчики на р-кремнии

Для изготовления ПБД для радиометров также был опробован кремний р-типа проводимости, однако известная на сегодняшний день технология создания перехода с напылением алюминия на подслое из германия приводит к обратным токам в несколько раз выше, чем у счетчиков на п-кремнии, поэтому эта технология требует усовершенствования. Кроме этого, на отдельных образцах счетчиков из р-кремния периодически наблюдались аномалии альфа-спектров.

### Заключение

В работе предложена технология ПБД большой площади (более 10 см. кв.) на кремнии п-типа проводимости, оптимизированная под использование детекторов в радиометрах радона. Основные усилия были направлены на уменьшение себестоимости, повышение надежности, обеспечение высокого выхода годных детекторов (при общем количестве счетчиков не менее 100 шт., изготовленных по усовершенствованной технологии, выход годных счетчиков составил не менее 80%). Для решения задачи по светозащите детекторов был предложен простой вариант дополнительного термического напыления слоя серебра на чувствительную поверхность детектора. В целях упрощения технологии применялось двухстороннее химическое травление пластин, что потребовало дополнительного внимания к созданию заднего «омического» контакта, в частности, к более тщательной и однородной промывке пластины с задней стороны и использования для заднего контакта алюминия с подслоем из германия.

Показана возможность использования в качестве исходного материала для счетчиков тонких (до 200 мкм) кремниевых пластин, не пригодных для дальнейшего использования в промышленной планарной технологии, что важно на сегодняшний день в связи с дефицитом отечественного детекторного кремния. В этом варианте мы с неизбежностью имеем химически травленную с двух сторон кремниевую пластину, что требует особого внимания при создании заднего контакта по выше предложенному способу.

## Литература

1. Дирли Дж., Нортроп Д. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. Пер. с англ. Под ред. Вавилова В.С. М.: Мир. 1966.
2. Акимов Ю.К., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф., Юнгклауссен Х. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. Под ред. канд. физ.-мат. наук Акимова Ю.К. М.: Атомиздат, 1967. 255 с.
3. Салохина М.М. Исследование эффекта понижения высоты барьера в ПБД ядерных излучений на основе структуры золото–кремний. Диссертация на соискание канд. физ.-мат. наук. ИЯИ, 2005, Москва.
4. D. Torrieri. The radiometer and its practical implementation. 2010-MILCOM 2010 Military communications conference, ieee, 2010. pp. 304-310.
5. Лашаев С.И. Кремниевые ПБД большой площади и сложной конфигурации. Диссертация на соискание канд. техн. наук. Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, 1986, Ленинград.
6. S.A. Radzhapov, R.Kh. Rakhimov, B.S. Radzhapov et al. «Development of a radiometer based on silicon detectors with a large sensitive area», *Computational Nanotechnology*, 2019. no. 1, pp. 65-68. (In Rus.).
7. Раджапов С.А., Раджапов Б.С., Рахимов Р.Х. Особенности технологии изготовления кремниевых поверхностно-барьерных детекторов большой чувствительной рабочей площади для измерения активности естественных изотопов // *Computational Nanotechnology*. 2018. № 1. С. 151-154.
8. Зи. С. Физика полупроводниковых приборов в 2-х книгах. Перевод с английского: канд. физ.-мат. наук Гергеля В.А. и канд. техн. наук Ракитина В.В. под редакцией д-ра физ.-мат. наук Суриса Р.А. М.: Мир, 1984. Т. 1, 295 с.
9. Лашаев С.И. RU 2726994 С1, приоритет 2020.07.17.
10. Лашаев С.И. и др. Положительное решение по заявке № 3857078 от 29.12.1984.
11. Лашаев С.И., Соловьев С.М. А.с. №1.122.155, приоритет от 22.07.83.
12. Шугуров А.Р., Панин А.В. Механизмы возникновения напряжений в тонких пленках и покрытиях // *Журнал технической физики*. 2020. Том 90. Вып. 12. С. 1971-1994.
13. Кушнирук В.Ф., Никитина Р.А., Харитонов Ю.П. Поверхностно-барьерные детекторы из кремния р-типа: Способ изготовления и характеристики // *Объедин. ин-т ядерных исследований*. С. 13-6578. Дубна, 1972.

## Features of Fabrication of Silicon Surface-Barrier Detectors for Radon Radiometers

Lashaev Sergey, Tretyakov Alexey (Radium Institute named after V.G. Khlopin JSC. V.G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, Russia)

**Abstract.** In the article the improved technology of manufacturing of surface-barrier detectors (SBD) on silicon of n-type conductivity, adapted for manufacturing of SBDs used in radon radiometers, is proposed. The detectors have light protection, stable characteristics under the accepted operating conditions, optimally meeting the requirements for operation in the device. The technology makes it possible to provide a high yield of year-old counters, which reduces their cost price. The possibility of manufacturing PBDs on thin silicon wafers rejected for further use in planar technology is shown.

**Keywords:** surface barrier detectors (SBD), silicon, edge effect, rectifying contact, current-voltage characteristics (CVC), alpha spectrometry, light protection, pyridine, Shockley-Ramo theorem.

С.И.Лашаев (к.т.н., инж.), А.Р.Третьяков (инж.)

АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург

Контакты: [lashaev49@mail.ru](mailto:lashaev49@mail.ru), [trertyakov.a.r@khlopin.ru](mailto:trertyakov.a.r@khlopin.ru).