

Распределение потенциала в охранных структурах с плавающими кольцевыми $p-n$ -переходами кремниевых детекторов излучений

© Е.М. Вербицкая[¶], В.К. Еремин, Н.Н. Сафонова, И.В. Еремин, Ю.В. Тубольцев, С.А. Голубков*, К.А. Коньков*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

* НИИ Материаловедения, 124460 Зеленоград, Россия

(Получена 11 октября 2010 г. Принята к печати 22 октября 2010 г.)

Предложена модель распределения потенциала в охранных структурах (VTS — voltage terminating structure) кремниевых детекторов ядерных излучений, в которых VTS представляет собой систему плавающих кольцевых p^+-n -переходов. Модель базируется на экспериментальных вольт-амперных характеристиках межкольцевых промежутков, которые получены для детекторов, изготовленных на высокоомном кремнии с удельным сопротивлением от 1 до 25 кОм·см. Физической основой модели является инжекционный принцип протекания тока через межкольцевые промежутки VTS, что становится возможным при определенном распределении электрического поля в областях пространственного заряда p^+-n -переходов чувствительного контакта и колец. Показано, что протекание инжекционного тока является универсальным принципом работы VTS с плавающими кольцами и приводит к жесткой стабилизации потенциалов отдельных колец, в результате чего возможно осуществить требуемое деление потенциала независимо от удельного сопротивления полупроводникового материала.

1. Введение

Стабилизация характеристик кремниевых приборов, работающих при запирающем напряжении до нескольких киловольт, является актуальной задачей в связи с разработкой новых типов мощных приборов и детекторов ионизирующих излучений. Если в мощных полупроводниковых приборах одним из возможных способов реализации высоковольтного режима работы является использование глубоких диффузионных $p-n$ -переходов, то в таких приборах, как детекторы излучений, это невозможно в силу использования мелких имплантационных переходов, что необходимо для регистрации квантов низких энергий и короткопробежных частиц. Поэтому работа детекторов при высоком запирающем напряжении приводит к возникновению значительных электрических полей на периферии $p-n$ -перехода, имеющей малый радиус кривизны границы легированной p^+ -области.

Для подавления этих негативных эффектов в приборах, работающих при высоких напряжениях, существуют два основных метода: использование фасок с малыми углами наклона, пересекающих границу $p-n$ -перехода [1], и окружение активной области перехода делителями потенциала с изолированными кольцевыми $p-n$ -переходами, плавно снижающими потенциал от центральной активной части структуры прибора в сторону периферии [2,3]. Физика работы фасок и технология их изготовления хорошо разработаны, и конструирование этого элемента структуры основывается на электро-

статическом расчете электрических полей на границе полупроводник–вакуум с определенными граничными условиями.

Работа делителей потенциала с плавающими кольцевыми p^+-n -переходами (VTS — voltage terminating structure) также многократно исследовалась применительно к $p-n$ -переходам на кремнии с удельным сопротивлением ρ в десятки и сотни Ом·см и глубиной залегания $p-n$ -перехода в десятки мкм [4–8]. Существующие модели расчета VTS основаны на электростатическом подходе к задаче, в котором используется постулат о переносе электрического поля с данного элемента структуры на соседний при смыкании областей пространственного заряда (ОПЗ).

Принципиальный недостаток электростатической модели отчетливо прослеживается при применении ее к структурам на высокоомном кремнии, из которого изготавливаются детекторы ионизирующих излучений, что исключает ее использование для конструирования VTS. Так, при характерных расстояниях между элементами структуры в 10–30 мкм и удельном сопротивлении кремния n -типа проводимости в диапазоне 3–20 кОм·см смыкание ОПЗ колец происходит уже при контактной разности потенциалов. Согласно приведенному выше критерию электростатической модели, все кольца в таких структурах должны иметь близкий потенциал, т. е. структура VTS оказывается нерабочей. Это противоречит практике использования таких делителей напряжения в детекторах ядерных излучений и измерениям распределения потенциала по кольцам, показывающим, что разность потенциалов между соседними кольцами может достигать сотен вольт.

[¶] E-mail: elena.verbitskaya@mail.ioffe.ru
elena.verbitskaya@cern.ch

Обнаружившиеся проблемы электростатической модели стимулировали применение для расчета топологии VTS программ моделирования полупроводниковых структур, таких как пакет SILVACO-TCAD. Эти программы, построенные на итерационном решении полной системы уравнений, описывающей процессы в $p-n$ -переходах, в принципе позволяют получить распределение потенциалов в системе плавающих кольцевых $p-n$ -переходов. Однако в силу чисто математической формализации задачи это не позволяет прогнозировать поведение структуры при изменении условий ее работы или свойств материала без выполнения большого количества рутинных расчетов в системе многих свободных параметров. Данное обстоятельство явилось мотивацией исследования физики работы VTS как необходимого шага для конструирования детекторов.

В настоящей публикации рассматривается физическая модель работы делителей потенциала с плавающими кольцами, основанная на инжекционном механизме протекания тока через элементы VTS. Модель базируется на экспериментальных результатах, полученных на детекторах ядерных излучений, изготовленных на высокоомном кремнии с удельным сопротивлением до 25 кОм·см.

2. Образцы для исследования

В работе исследовались образцы детекторных структур на основе p^+-n -переходов, окруженных системой плавающих p^+ -колец. Структуры были изготовлены из кремния с удельным сопротивлением в интервале 1.3–25 кОм·см и имели одинаковую топологию VTS. Фрагмент структуры схематично приведен на рис. 1. Для всех детекторов площадь центрального чувствительного к излучению p^+ -контакта составляла 14 мм². Образцы имели 4 замкнутых плавающих кольца шириной 25 мкм каждое. Кольца представляли собой сильно легированные p^+ -слои, разделенные межкольцевыми промежутками, поверхность которых была пассивирована слоем SiO₂. Нижний омический контакт был выполнен в виде сплошного сильно легированного n^+ -слоя. Толщина

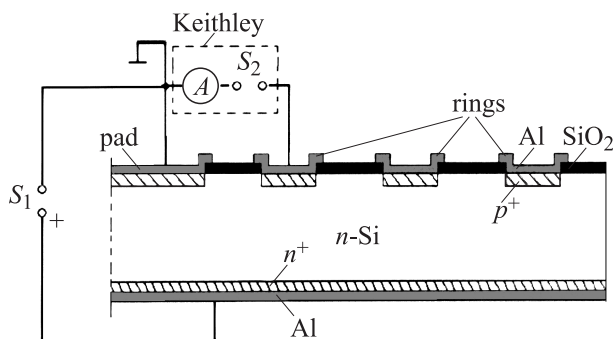


Рис. 1. Схематическое изображение фрагмента структуры детектора со схемой измерений вольт-амперных характеристик межкольцевых промежутков VTS.

Характеристики исследованных образцов

№ образца	V_{fd} , В	ρ , кОм·см
1	12	24.6
2	65	4.5
3	230	1.3

структур составляла 300 мкм. В таблице приведены значения удельного сопротивления кремния и напряжения полного обеднения детекторов V_{fd} , рассчитанные из вольт-фарадных характеристик. Образцы 1 и 2 были изготовлены из кремния, выращенного зонной плавкой. Для образца 3 использовался кремний, выращенный методом Чохральского в магнитном поле.

Измерения потенциалов и токов детекторов выполнялись на установке с микрозондами и пикоамперметром Keithley-487, имеющим встроенный источник питания. Чувствительный зонд прибора при измерении потенциалов колец имел сопротивление 10¹² Ом; чувствительный p^+-n -переход смещался в обратном направлении при заземленном n^+ -контакте. Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) межкольцевых промежутков проводились по схеме, представленной на рис. 1. Источник S_1 использовался для приложения к внутреннему p^+-n -переходу напряжения V_1 . В качестве внутреннего p^+-n -перехода выступал либо чувствительный контакт (так называемый пэд-овый электрод, pad) детектора, либо одно из колец системы VTS. Источник напряжения S_2 , встроенный в пикоамперметр, позволял измерять ВАХ межкольцевых промежутков. Все измерения были выполнены при температуре 20°С.

3. Экспериментальные результаты

На рис. 2 для детекторов 1–3 приведены зависимости потенциалов ϕ на охранных кольцах от обратного напряжения V_1 . На рисунках и далее в тексте приведены значения абсолютной величины отрицательного напряжения и потенциалов. Сплошной линией показано изменение потенциала центрального p^+ -контакта, номера кривых соответствуют номерам колец. Видно, что значение потенциала на каждом из охранных колец монотонно возрастает с увеличением напряжения, приложенного к центральному электроду. При этом рост потенциала отдельного кольца начинается при некотором критическом напряжении, существенно превышающем контактную разность потенциалов на p^+-n -переходе (~ 0.6 В), которой достаточно для смыкания ОПЗ соседних p^+-n -переходов в электростатической модели. Для аналогичных колец различных детекторов величина критического напряжения возрастает с уменьшением удельного сопротивления кремния. Соответственно при максимальном напряжении V_1 (300 В) потенциал периферийных колец VTS имеет тенденцию к увеличению при увеличении удельного сопротивления кремния.

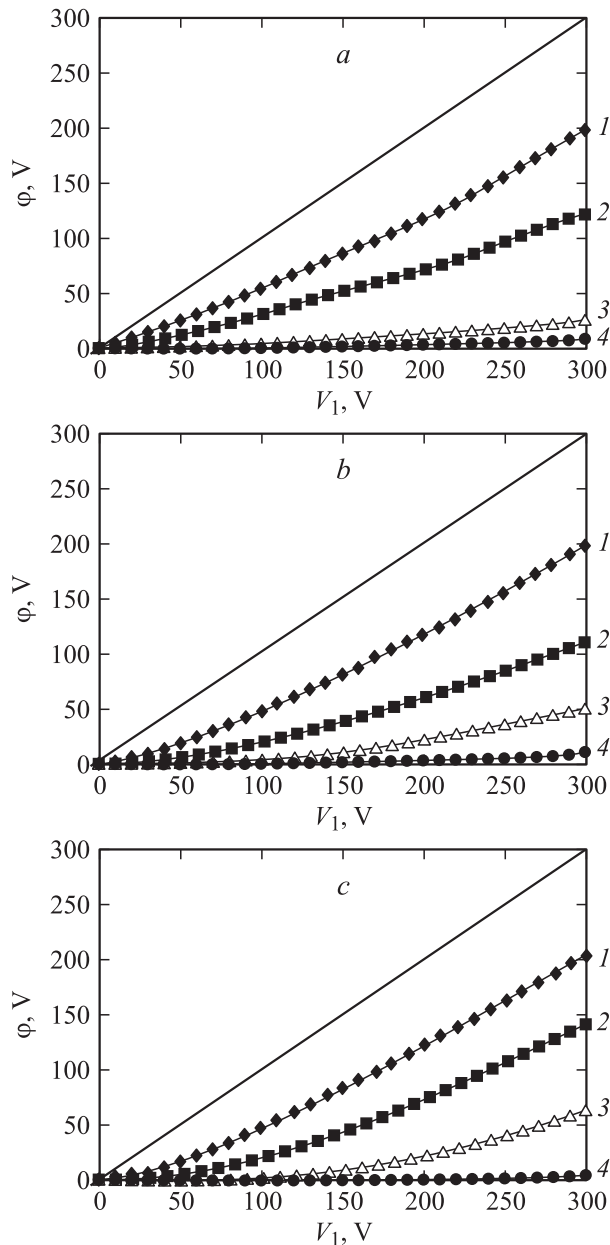


Рис. 2. Зависимости потенциалов на кольцах ϕ от напряжения V_1 , приложенного к центральному электроду для тестовых образцов 1 (a), 2 (b) и 3 (c). Номера кривых соответствуют номерам колец начиная с внутреннего. Сплошная линия — потенциал центрального электрода.

Приведенные результаты иллюстрируют основное противоречие электростатической модели, а именно то, что независимо от удельного сопротивления кремния разность потенциалов между соседними кольцами достигает десятков вольт, что в несколько раз выше напряжения смыкания ОПЗ соседних $p^+ - n$ -переходов. Во-первых, оценки распределения потенциала в VTS даже для детектора 3 ($\rho = 1.3 \text{ кОм} \cdot \text{см}$) показывают, что при контактной разности потенциалов 0.6 В толщина слоя ОПЗ уже составляет 15 мкм, т. е. при характерном

расстоянии между кольцами $\Delta = 20 \text{ мкм}$ ОПЗ всех колец должны быть сомкнуты. Во-вторых, электростатическая модель предполагает, что плавающее кольцо принимает потенциал, создаваемый активным (обратносмещенным) $p-n$ -переходом на расстоянии, где расположено плавающее кольцо. Тогда, например, при напряжении $V_1 = 50 \text{ В}$ разность потенциалов между центральным контактом и внутренним кольцом должна быть близка к 13 В. В то же время из рис. 2, c видно, что ее величина существенно больше и составляет $\sim 35 \text{ В}$. Расхождения с электростатической моделью становятся еще большими для детекторов 1 и 2 на кремнии с большим удельным сопротивлением.

На рис. 3 для образца 3 представлены зависимости тока промежутка между центральным электродом и 1-м кольцом, I_{p-r1} , от напряжения V_2 , приложенного к промежутку. Величины тока I_{p-r1} на рис. 3 представляют собой разность между измеренным значением тока промежутка по схеме, представленной на рис. 1, и его значением при $V_2 = 0$. Последнее определяется генерационным током под площадью, занимаемой VTS. Измерения были проведены для четырех различных значений напряжения V_1 на центральном $p^+ - n$ -переходе, равных 0, 50, 100 и 150 В (кривые 1–4 соответственно). В данном масштабе токов ВАХ этого промежутка при $V_1 = 0$ практически сливается с осью ординат, поскольку ток резко возрастает уже при близком к нулю напряжении V_2 . Приложение обратного напряжения V_1 приводит к тому, что в характеристиках проявляются два участка: участок со слабо возрастающим малым током ($< 0.1 \text{ нА}$) и участок резкого роста тока при пороговом напряжении V_{th} (кривые 2–4). Участок малых токов связан с „утечками“ межкольцевой изоляции, которая возникает в силу омической поверхностной проводимости и генерационно-рекомбинационных процессов на границе Si/SiO₂ [9]. Резкое возрастание тока при пороговом напряжении V_{th} не является пробоем и может быть многократно воспроизведено, что указывает на

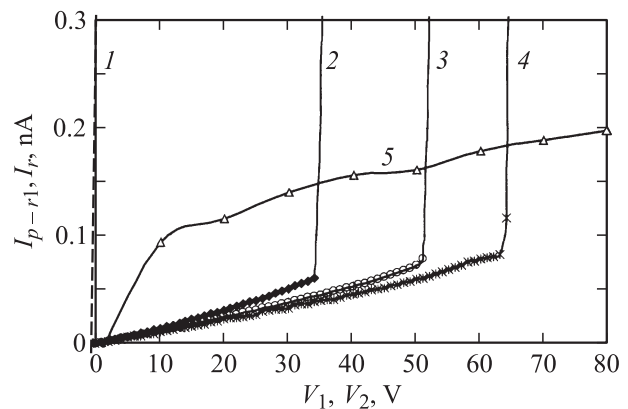


Рис. 3. Зависимости тока промежутка центральный электрод–первое кольцо (I_{p-r1}) от напряжения V_2 на этом промежутке для образца 3 при $V_1 = 0$ (1), 50 (2), 100 (3), 150 В (4) и ВАХ 1-го кольца $I_r(V_1)$ (5).

его инжекционную природу. Действительно, структура с межкольцевым промежутком является симметричной, и возрастание тока соответствует включению одного из $p^+ - n$ -переходов в прямом направлении (режим „прокола“). Однако если при отсутствии напряжения смещения ($V_1 = 0$) рост тока уже наблюдается при предельно малом значении напряжения на промежутке, что характерно для симметричных структур с близко расположенными переходами, то при V_1 , отличных от нуля, обнаруживается особенность этого режима — увеличение интервала напряжений V_2 , при которых промежутки заперты, с возрастанием напряжения V_1 .

4. Модель установления потенциала на кольцах VTS

На рис. 4 приведена зонная диаграмма межкольцевого промежутка VTS на высокоомном кремнии. При нулевом напряжении на центральном электроде (рис. 4, *a*) области пространственного заряда, соответствующие контактной разности потенциалов основного перехода и первого кольца, сомкнуты и на потенциальной диаграмме наблюдается минимум потенциала в средней части промежутка (показано толстой линией). С ростом напряжения V_1 , т.е. смещении центрального $p^+ - n$ -перехода в обратном направлении, ОПЗ этого перехода расширяется и вследствие суперпозиции электрических полей минимум потенциала смещается к кольцевому $p^+ - n$ -переходу, потенциал которого пока остается равным нулю (тонкие линии на рис. 4, *a*). Существующий потенциальный барьер для дырок не допускает их переноса между p^+ -областями, и кольцо остается изолированным от центрального p^+ -контакта, что соответствует диапазону $V_2 < V_{th}$. Следует отметить, что определение „плавающие кольца“ в этих условиях некорректно, поскольку их потенциал равен потенциалу n^+ -контакта (т.е. нулю), с которым кольца связаны через омическую проводимость слоя необходимого кремния и проводимость по диффузионно-дрейфовому механизму в ОПЗ $p^+ - n$ -перехода кольца. Это состояние сохранится до тех пор, пока интерференция возрастающего при увеличении V_1 электрического поля центрального контакта с полем в ОПЗ кольца не приведет к снижению потенциального барьера $p^+ - n$ -перехода кольца ϕ_g со стороны промежутка до величины, допускающей инжекцию дырок из кольца в промежуток (рис. 4, *b*). Спротивление промежутка резко упадет, и возникнет жесткая связь потенциала кольца ϕ с напряжением на центральном контакте. Дальнейшее повышение напряжения V_1 вызовет увеличение потенциала кольца и рост слоя пространственного заряда под ним. Кольцо становится „плавающим“, т.е. изолированным от n^+ -контакта, и его потенциал будет определяться условием возникновения инжекции дырок из кольца как

$$\phi_{r1} = V_1 - V_{th}. \quad (1)$$

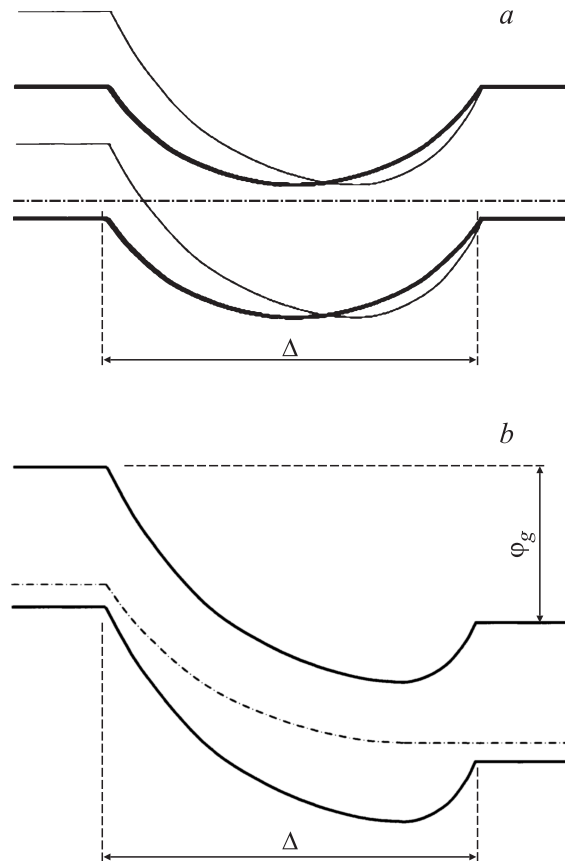


Рис. 4. Качественная картина распределения потенциала в межкольцевом промежутке: *a* — $V_1 = 0$ (толстая линия) и $V_1 > 0, V_2 < V_{th}$ (тонкая линия); *b* — $V_2 = V_{th}$.

Как следует из (1), ключевым вопросом описания работы делителей потенциала на плавающих кольцах является зависимость V_{th} от V_1 . В отсутствие такой зависимости сценарием изменения потенциала кольца при увеличении напряжения на центральном контакте является его линейный рост с тем же темпом, что и напряжение V_1 . Однако, как следует из рис. 3, при $V_1 = 0$ величина V_{th} также близка к нулю, что делает все кольца эквипотенциальными. Очевидно, это противоречит практике использования кольцевых делителей потенциала и результатам эксперимента (рис. 2).

Действительно, рис. 3 показывает, что величина V_{th} зависит от обратного напряжения, приложенного к структуре, и возрастает с увеличением V_1 . Влияние напряжения смещения структуры на условие „прокола“ межкольцевого промежутка обусловлено возрастающей нормальной компонентой электрического поля и ее влиянием на перенос дырок в межкольцевом промежутке. Воздействие нормальной компоненты препятствует переносу дырок между p^+ -контактами за счет увеличения соответствующего вектора скорости. В пределе при достаточно высоком V_1 траектория переноса дырок между кольцами может быть разорвана и инжекция прекратится. Ее восстановление возможно при большем V_{th} .

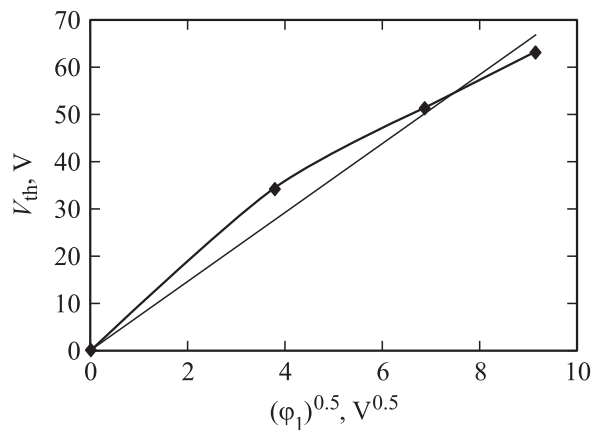


Рис. 5. Зависимость V_{th} для промежутка центральный электрод–первое кольцо от потенциала на первом кольце.

Поэтому увеличение V_{th} при росте напряжения смещения можно рассматривать как результат ухода дырок с траектории их инжекции, что эквивалентно увеличению высоты барьера φ_g . Характерно, что для рассматриваемых структур величины компоненты электрического поля, параллельной поверхности структуры, которая вызывает снижение потенциального барьера для инжекции дырок, и нормальной компоненты соизмеримы.

На рис. 5 представлена зависимость V_{th} от потенциала на кольце φ_1 , т.е. от потенциала на внутреннем радиусе плавающего кольцевого p^+ - n -перехода, где расположен потенциальный барьер и где влияние нормальной компоненты поля максимально. Масштаб $(\varphi_1)^{0.5}$ учитывает корневую зависимость напряженности электрического поля на границе резкого p^+ - n -перехода от приложенного напряжения. При потенциале $\varphi_1 = 0$ V_{th} минимально и в дальнейшем имеет близкую к корневой зависимость от φ_1 , что может быть использовано для целей расчета VTS.

Представленная на рис. 5 зависимость объясняет основную особенность изменения потенциалов колец в структуре VTS — рост напряжения, падающего на межкольцевых промежутках, с увеличением рабочего напряжения структуры и соответствующую нелинейность роста потенциалов на кольцах.

5. Обсуждение результатов

Рассмотренный инжекционный процесс в межкольцевом промежутке показывает, что стабилизация напряжения на плавающих кольцах происходит за счет протекания сквозного тока по цепи: ОПЗ кольца (объемный генерационный ток обратносмещенного p^+ - n -перехода)—межкольцевой промежуток (инжекционный ток)—центральный p^+ - n -электрод. Тогда напряжение V_2 , при котором происходит стабилизация потенциала кольца VTS, может быть определено из вольт-амперной характеристики межкольцевого промежутка (рис. 3) и

ВАХ отдельного кольца $I_r(V_1)$, измеренной при заземлении двух соседних p^+ -контактов (колец). В такой схеме измеряемое кольцо собирает только ток объемной генерации из ОПЗ, созданной данным кольцом. ВАХ кольца (показана для 1-го кольца на рис. 3 — кривая 5) имеет стандартный характер с тенденцией к насыщению тока, что указывает на доминирующий вклад в ток его объемной генерационной компоненты. Поскольку на линейном участке ВАХ промежутка ток связан с омической утечкой, а генерационный ток кольца превосходит его величину, то стационарное распределение потенциалов системы плавающее кольцо—межкольцевой промежуток будет находиться на инжекционном участке с резким возрастанием тока. Это обеспечит жесткую связь потенциала кольца с напряжением на центральном электроде и стабильность потенциала на кольце.

Следует отметить, что при значительной омической утечке изолирующего промежутка в силу поверхностного загрязнения или высокой скорости рекомбинации на границе Si/SiO₂ падение потенциалов на изолирующем промежутке может быть меньше чем $V_1 - V_{th}$. Это окажется возможным в том случае, когда генерационная компонента тока кольца будет меньше, чем ток утечки промежутка, в силу чего условие инжекции носителей будет недостижимо. Поскольку обычно ВАХ межкольцевого промежутка при омическом характере тока является менее резкой, чем при инжекционном механизме, потенциал на плавающем кольце при значительной проводимости межкольцевого промежутка будет чувствителен к состоянию поверхности и границы Si/SiO₂ в промежутке.

Рассмотренная модель установления потенциала на плавающем кольцевом p^+ - n -переходе легко проецируется на систему нескольких плавающих колец системы VTS. Согласно рассмотренной модели, критерием стабильного распределения потенциала по кольцам является протекание сквозного тока инжекционной природы по всей системе VTS. При этом условии инжекции будет индивидуально в каждом межкольцевом промежутке и будет сбалансированным с учетом распределения потенциалов по всей системе колец.

Ток, текущий в отдельном межкольцевом промежутке и являющийся объемным генерационным током, будет также индивидуален, возрастая при приближении к центральному p^+ - n -переходу за счет суммирования токов периферийных колец. Поэтому критерий малости тока утечки промежутка по сравнению с генерационным током кольца является наиболее жестким для периферийных колец VTS.

Развитая модель была использована для оптимизации системы VTS детекторов с увеличенной толщиной чувствительной области (до 1 мм) как одного из этапов создания кремниевых детекторов ионов высоких энергий толщиной в несколько миллиметров для калориметрических систем установки EXL эксперимента NuSTAR,

планируемого в рамках программы FAIR в исследовательском центре GSI, Германия. Среди совокупности параметров, влияющих на величину напряжения V_{th} , такие характеристики, как удельное сопротивление кремния и

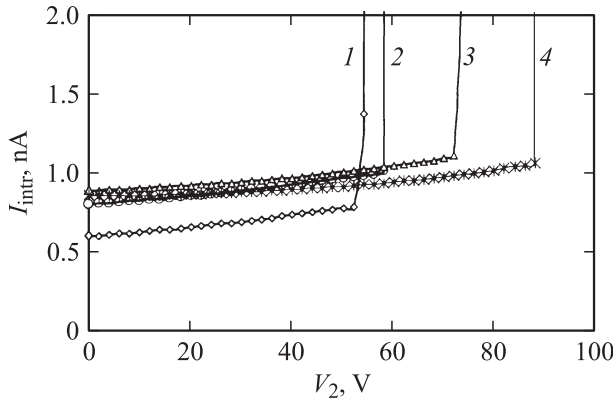


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики, $I_{intr}(V_2)$ межкольцевых промежутков образца 2 в зависимости от ширины промежутка. Ширина промежутка, мкм: (1, 2) — 20, 3 — 30, 4 — 50. $V_1 = 100$ В.

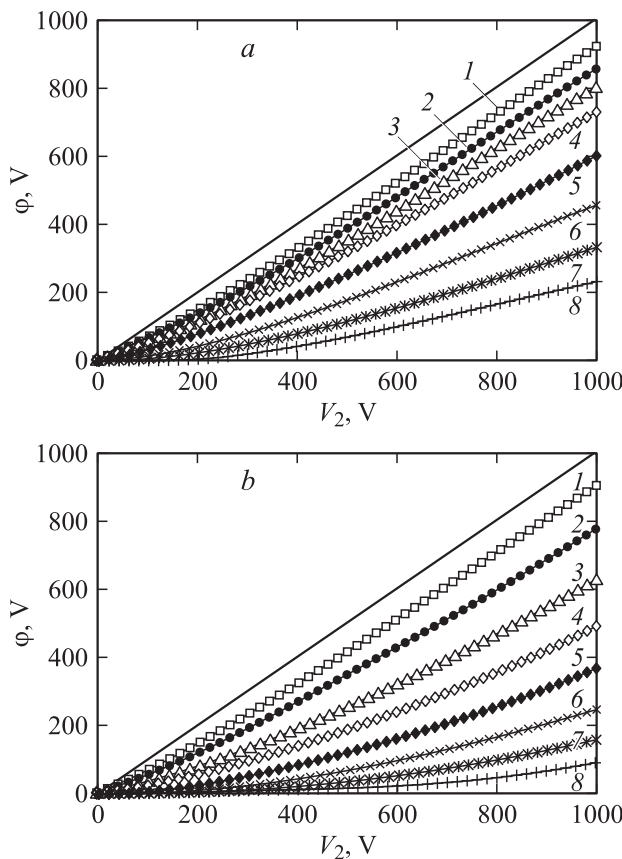


Рис. 7. Зависимости потенциалов на кольцах ϕ от напряжения V_1 , приложенного к центральному электроду, для двух тестовых образцов детекторов на основе кремния с удельным сопротивлением $20 \text{ кОм} \cdot \text{см}$ (a, b). Номера кривых соответствуют номерам колец начиная с внутреннего. Сплошная линия — потенциал центрального электрода.

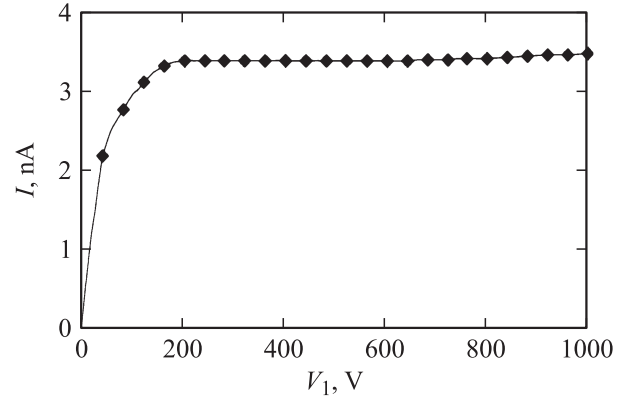


Рис. 8. Вольт-амперная характеристика, $I(V_1)$ тестового образца детектора толщиной 1 мм, для которого величины потенциалов в VTS приведены на рис. 7, b.

плотность заряда в окисле, пассивирующем промежутки между $p^+ - n$ -переходами, заданы требованиями к детектору и используемой технологией. Поэтому ширина зазора между кольцами Δ была использована для оптимизации распределения потенциалов в VTS. В качестве примера на рис. 6 представлены ВАХ для межкольцевых промежутков шириной 20, 30 и 50 мкм для детекторов на основе кремния с удельным сопротивлением $4.5 \text{ кОм} \cdot \text{см}$ и толщиной 300 мкм при напряжении $V_1 = 100$ В. Характерно, что они показывают аналогичные, имеющие два участка зависимости тока соответствующего промежутка I_{intr} от напряжения V_2 . Рост ширины промежутка приводит к уменьшению компоненты электрического поля, направленной вдоль поверхности, в результате чего потенциальный барьер для дырок сохраняется до большей разности потенциалов между кольцами, и соответственно инжекция возникает при большем напряжении.

На основе проведенных исследований и развитой модели были разработаны несколько вариантов VTS для детекторов на сверхчистом кремнии ($\rho \approx 20 \text{ кОм} \cdot \text{см}$), работающих при напряжении более 1 кВ, и изготовлены тестовые образцы на пластинах толщиной 1 мм. Результаты распределения потенциалов по 8 кольцам VTS с различной системой межкольцевых промежутков приведены на рис. 7, a, b. Видно, что потенциалы отдельных колец плавно возрастают во всем диапазоне рабочих напряжений, однако распределение потенциала при фиксированном напряжении смещения различно. Для первого образца (рис. 7, a) наблюдаются более мелкие шаги снижения потенциала в области внутренних колец по сравнению с периферийной частью. В результате на VTS падает не все приложенное к образцу напряжение, и его заметная доля приложена к периферии образца. Второй вариант VTS более оптимален с точки зрения однородности ступеней деления потенциала и обеспечивает его снижение до нескольких десятков вольт при напряжении смещения в 1000 В на центральном электроде. На рис. 8 показана ВАХ чувствительной

области второй структуры с жестким насыщением тока на уровне 10 нА/см^2 в диапазоне от напряжения полного обеднения до 1000 В.

6. Заключение

Развитая физическая модель распределения потенциала по элементам кольцевых делителей потенциала органически учитывает как протекание тока в области пространственного заряда структуры, так и электростатические аспекты. Модель не имеет ограничения по удельному сопротивлению материала и может быть применена к созданию плавающих кольцевых структур на высокочистых материалах или материалах с большой дебаевской длиной экранирования, таких как высокоомный кремний и CdTe.

Количественные расчеты и детальная экспериментальная проверка модели являются следующим этапом работы, что позволит разработать физически обоснованный алгоритм проектирования структуры VTS с необходимыми свойствами для создания специальных сегментированных детекторов ядерных излучений.

Работа выполнена при поддержке научной школы (грант президента РФ НШ-3306.2010.2) и программы президиума РАН „Экспериментальные и теоретические исследования фундаментальных взаимодействий, связанные с работами на ускорительном комплексе ЦЕРН“, а также в рамках научной программы коллаборации ЦЕРН-RD50.

Список литературы

- [1] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (М., Мир, 1984) т. 1.
- [2] M.S. Adler, V.A.K. Temple, A.P. Ferro, R.C. Rustay. IEEE Trans. Electron Dev., **ED-24** (2), 107 (1997).
- [3] V.J. Baliga. *Fundamentals of Power Semiconductor Devices* (N.Y., Springer Science, 2008).
- [4] K.P. Brieger, W. Gerlach, J. Pelka. Sol. St. Electron., **26** (8), 739 (1983).
- [5] K.D. Suh, S.W. Hong, K. Lee, C.-K. Kim. Sol. St. Electron., **33** (9), 1125 (1990).
- [6] V.J. Baliga. Sol. St. Electron., **33**, 485 (1990).
- [7] D.G. Bae, S.K. Chung. Sol. St. Electron., **42**, 349 (1998).
- [8] D.G. Bae, S.K. Chung. Sol. St. Electron., **44**, 2109 (2000).
- [9] В.К. Еремин, Е.М. Вербицкая, И.Н. Ильяшенко, И.В. Еремин, Н.Н. Сафонова, Ю.В. Тубольцев, Н.Н. Егоров, С.А. Голубков, К.А. Коньков. ФТП, **43** (6), 825 (2009).

Редактор Л.В. Шаронова

Potential distribution in voltage terminating structures with floating $p-n$ junction rings of silicon radiation detectors

E.V. Verbitskaya, V.K. Eremin, N.N. Safonova, I.V. Eremin, Yu.V. Tuboltsev, S.A. Golubkov*, K.A. Konkov*

Ioffe Physicotechnical Institute
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia
* Research Institute
of Materials Science and Technology,
124460 Zelenograd, Russia

Abstract The model of potential distribution in voltage terminating structures (VTS) with floating p^+-n junction rings in silicon radiation detectors is developed. The model is based on the experimental current-voltage characteristics of interring gaps of detectors which are processed on Si with a resistivity in the range $1-25 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$. The model considers an approach for injection current through the interring gaps of VTS that may occur under a certain distribution of the electric field in the space charge regions of the sensitive p^+-n junction and the ring junctions. It is demonstrated that injection current is an universal factor for operation of VTS with floating rings. This leads to a strict stabilization of the floating ring potentials and allows potential dividing irrespective to the semiconductor resistivity.