

КОМПАКТНАЯ МОДЕЛЬ КРЕМНИЕВОГО МИКРОСТРИПОВОГО ДЕТЕКТОРА

П.С. Рощенко, В.С. Волчѣк, Ю.П. Снитовский, И.Ю. Ловшенко
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, Минск 220013, Беларусь, lovshenko@bsuir.by

Проведено компьютерное моделирование электрических характеристик кремниевого микрострипового детектора, описываемого разработанной моделью в программном комплексе компании Cadence.

Ключевые слова: кремниевый микростриповый детектор; компьютерное моделирование; компактная модель; тяжелая заряженная частица.

A COMPACT MODEL OF A SILICON MICROSTRIP DETECTOR

Polina Roshchenko, Vladislav Volchek, Yuri Snitovsky, Ivan Lovshenko
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
6 P. Brovki Str., 220013 Minsk, Belarus, lovshenko@bsuir.by

A computer simulation of the electrical characteristics of a silicon microstrip detector described by the developed model in the Cadence software package has been carried out.

Keywords: silicon microstrip detector; computer modelling; compact model; heavy charged particle.

Введение

Для точной фиксации пространственных координат траектории тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) применяются кремниевые микростриповые детекторы (КМД), представляющие собой пластины кристаллического полупроводникового материала, на одну или обе поверхности которых наносятся тонкие электроды (стриповые контакты (СК)) [1]. В отличие от односторонних (ОКМД), позволяющих определить пространственные координаты траектории частицы в одном измерении, двухсторонние КМД (ДКМД) обеспечивают двухмерную фиксацию траектории пролета частицы [2, 3].

Применение языка описания аппаратуры Verilog-A позволяет разработчикам аналоговых систем и интегральных микросхем (ИМС) создавать и использовать модули, которые описывают высокоуровневые системы и компоненты. Поведение каждого модуля можно описать математически с точки зрения его разъемов и внешних параметров, применяемых к модулю. Структура каждого компонента может быть описана в терминах взаимосвязанных подкомпонентов [4].

Параметры модели

Модель КМД (рис. 1) описывает электрические характеристики с использованием трех (для ОКМД) или шести (ДКМД) источников тока. Омическое сопротивление областей СК и подложки задается резисторами RS11, RS12, RS13, RS21, RS22, RS23 и RSUB (рис. 2).

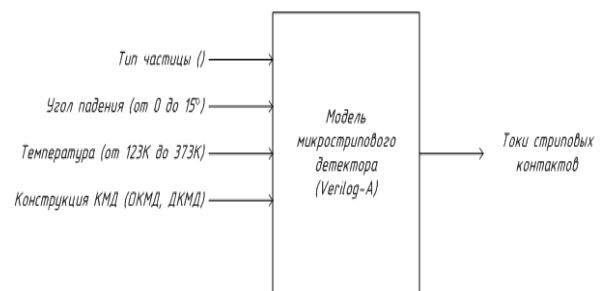


Рис. 1. Входные и выходные параметры модели КМД

Модель реализована на языке описания аппаратуры Verilog-A и включает в себя выражения, задающих ток СК, и дополнительный блок определения поправочных коэффициентов параметров наиболее подверженных изменениям при воздействии ТЗЧ.

Модель включает большое количество параметров, которые могут быть разбиты на группы: параметры геометрии (необхо-

димы для создания параметризованной ячейки и разработки топологических решений), основные параметры, параметры для учета воздействия ТЗЧ.

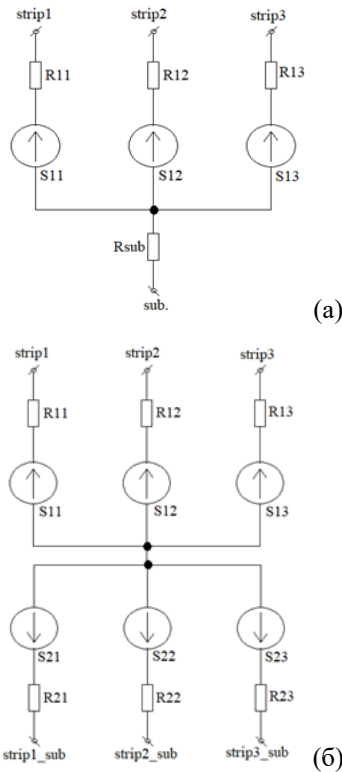


Рис. 2. Эквивалентные схемы: а – ОКМД; б – ДКМД

К параметрам геометрии могут быть отнесены размеры подложки, толщины слоев, размеры СК.

К основным параметрам относятся:

- тип конструктивного решения (параметр может принимать значение 1 или 2 и служит для выбора типа приборной структуры: 1 – ОКМД, 2 – ДКМД);

- параметры каждого из источников тока (к параметру добавляется индексы в виде S_{xy} , где x – указывает на сторону размещения контакта, y – порядковый номер контакта), соответствующие температуре 273 К, частице $^{15}\text{N}^{+4}$, нормальному углу падения: ток утечки I_{leak} (А); время t_0 , соответствующее моменту воздействия ТЗЧ, (нс); приращение времени, обусловленное распространением сгенерированных носителей заряда в структуре, Δt_{at} (нс); σ (б.р.в.); максимальное значение пикового тока I_{max} (А); коэффициент

ты $M1, M2, N1, N2$ выражений, описывающих снижение количества носителей заряда с течением времени в первый момент после воздействия ТЗЧ и через время $10 \cdot t_0$;

- значения паразитных сопротивлений RS_{xy} и $RSUB$.

К параметрам для учета воздействия ТЗЧ относятся тип частицы *nuclide* (параметр может принимать значение от 0 до 3 и служит для выбора типа воздействующих частиц: 0 – воздействие отсутствует, 1 – $^{15}\text{N}^{+4}$, 2 – $^{56}\text{Fe}^{+15}$, 3 – $^{131}\text{Xe}^{+35}$), угол падения частицы *lambda* (задает угол к нормали к поверхности КМД).

Кроме перечисленных параметров в разработанной модели применяются константы (такие как, константа Больцмана, электронный заряд, вакуумная диэлектрическая проницаемость, номинальная температура) и переменные (применяются как промежуточные значения во время моделирования или в качестве конечных переменных в конце моделирования).

Для учета влияния воздействия ТЗЧ на электрические характеристики КМД в модель введены дополнительные группы переменных:

- суперпозиция влияния угла падения ТЗЧ, типа частицы и температуры на параметры модели для всех источников тока;

- коэффициент изменения параметра, зависящий от величины угла падения;

- коэффициент изменения параметра, зависящий от типа частицы;

- коэффициент изменения параметра, зависящий от температуры.

Коэффициенты изменения параметров рассчитываются по аппроксимационным зависимостям, получаемым при анализе результатов компьютерного моделирования (или натурального эксперимента) приборных структур КМД, подверженным влиянию ТЗЧ. Полученные выражения достаточно точно описывают зависимость коэффициентов.

Проведено моделирование электрических характеристик КМД, описываемого

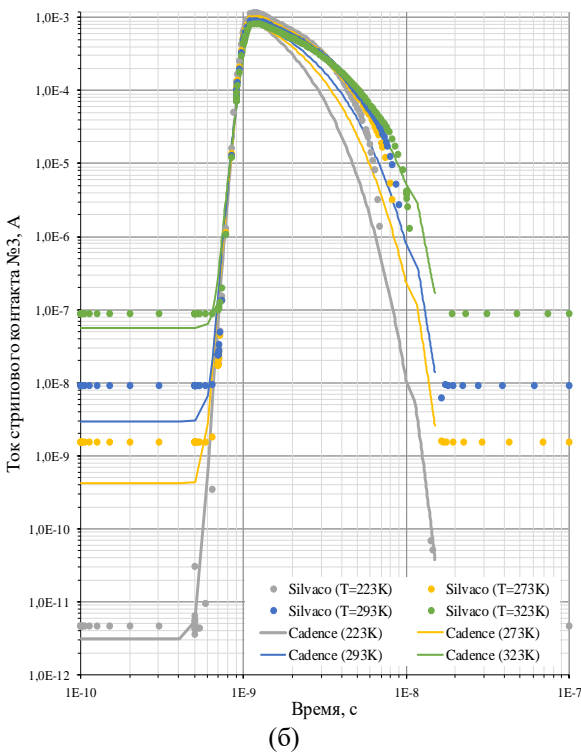
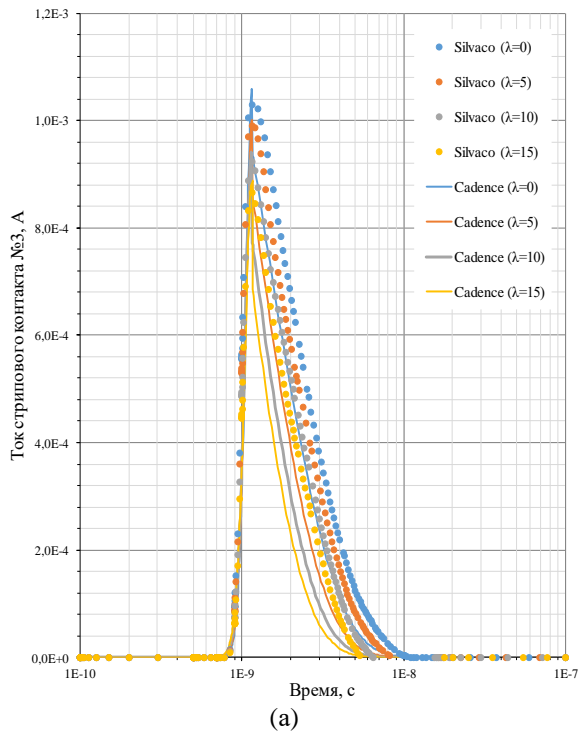


Рис. 3. Зависимости токов СК от времени, рассчитанные в Silvaco и Cadence ($^{15}\text{N}^{+4}$, $T = 273 \text{ K}$): а – изменение угла падения ТЗЧ; б – изменение температуры

разработанной моделью, в программном комплексе компании Cadence. Для тестирования разработанной модели проведено сравнение результатов моделирования эксплуатационных характеристик ОКМД при воздействии $^{15}\text{N}^{+4}$ в программных пакетах компаний Silvaco и Cadence (рис. 3).

Заключение

Разработана и реализована на языке описания аппаратуры Verilog-A компактная модель приборной структуры КМД, учитывающая изменение эксплуатационных характеристик в результате воздействия отдельной заряженной частицы. Показано, что разработанная модель несколько занижает токи утечки и величину тока СК через время $t = 2 \text{ нс}$ после фиксации частицы для рассматриваемых температур (от 223 К до 323 К). Данные особенности объясняются приоритетом при определении параметров модели в сторону совпадения результатов в момент воздействия частицы (максимальный пиковый ток), а также линейной аппроксимацией для большинства коэффициентов. Таким образом, для улучшения результатов необходимо проведение дополнительных расчетов и внесение корректировки в функции зависимости коэффициентов от угла падения частицы и температуры.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ (№ Т21М-121).

Библиографические ссылки

1. Родионов Ю.А. Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства. Минск: БГУИР; 2019. 300 с.
2. Перевертайло В.Л. Разработка и характеристики кремниевых координатно-чувствительных детекторов для физики высоких энергий и ядерной физики. *Ядерная физика и энергетика* 2008; 1(23): 88-95.
3. Перевертайло В.Л. Интегральные двухсторонние кремниевые микростриповые детекторы. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре* 2011; 5: 17-24.
4. Cadence Verilog-A Language Reference; version 6.1; 2006; Verilog-A [Электронный ресурс].