УДК 004.358, 004.942, 004.946

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПОНЕНТОВ САПР С ЭЛЕМЕНТАМИ СИНТЕЗА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Лавлинский В.В.[1], Жвад А.Х.[1], Савченко А.Л.[2]

[1]ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: vglta@vglta.vrn.ru;
[2]Открытое акционерное общество «Научно исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры «Прогресс» (ОАО «НИИМА «Прогресс»), Москва, Россия (109544, г. Москва, ул. Новорогожская, д. 32, стр. 1), e-mail: mri@mri-progress.ru

В данной работе предложены методы формализации процессов моделирования полупроводниковых элементов для разработки компонентов САПР на основе научных основ проектирования с использованием методов синтеза виртуальной реальности. Электронная компонентная база полупроводниковых элементов представляет собой математические модели, предложенные на основе компонентов SIMULINK пакета MATLAB. Сами полупроводниковые элементы представлены в виде кристаллических структур материалов, из которых они изготавливаются. Основы моделирования полупроводниковых материалов базируются на методах объектно-ориентированного программирования в среде C++Builder. Результаты работы представлены в виде различных типов транзисторов на уровне отдельных кристаллических решеток формирования базы, эмиттера и коллектора. Транзисторы представлены в виде отдельных слоев, каждый из которых отображается различным цветом.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования (САПР), синтез виртуальной реальности, полупроводниковые транзисторы.

FORMALIZATION MODELING TECHNIQUES TO THE DESIGN OF COMPONENTS CAD SYNTHESIS ELEMENTS VIRTUAL REALITY

Lavlinskiy V.V.[1], Zhvad A.K.[1], Savchenko A.L.[2]

[1]Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Voronezh State Academy of Forestry and Technologies", Voronezh, Russia (394087, Voronezh, street Timiryazeva, 8), e-mail: vglta@vglta.vrn.ru;
[2] The Open join-stock company "Scientifically exploratory institute of the micro electronic equipment "Progress" (OAO "NIIMA "Progress"), Moscow, Russia (109544, Moscow, str. Novorogozhskaya, 32, case 1)

In this paper, a method of formalizing processes modeling of semiconductor elements for the development of CAD components based on scientific bases of design using the methods of synthesis of virtual reality. Electronic component base of semiconductor elements is a mathematical model proposed based on the components SIMULINK package MATLAB. Semiconductor elements are themselves in the form of crystalline structures of the materials which they are made. Basics of modeling of semiconductor materials based on the methods of object-oriented programming in C++Builder.The results are presented in the form of different types of transistors on the level of individual lattices forming the base, emitter and collector. Transistors are presented in the form of separate layers, each of which displays a different color.

Keywords: CAD, synthesis of virtual reality, semiconductor transistors.

В настоящее время широкое применение систем автоматизированного проектирования (САПР) обусловлено необходимостью разработки новой электронной компонентной базы, формируемой на основе современных нанотехнологий, новых материалов для её формирования, оценки необходимых электрических, физических, химических и энергетических параметров в условиях различного рода внешних воздействий. Ввиду этого имеется постоянная необходимость в повышении эффективности САПР за счет разработки новых методов и средств формирования электронной компонентной базы. Поэтому **целью исследования** являются модели компонентов транзисторов для САПР на основе применения

методов синтеза виртуальной реальности в виде отдельных элементов электронной компонентной базы (ЭКБ).

Для достижения поставленной цели было предложено формирование кристаллических решеток материалов, из которых осуществляется технологическая сборка компонентов транзисторов. Это обусловлено тем, что особенностью транзистора является материал, из которого он изготовлен, то есть кроме полупроводниковых материалов (удельная электрическая проводимость которых находится в пределах от 10^{-4} до 10^{10} $Ом^{-1}см^{-1}$) имеются p- и n-добавки (легирующие добавки), металлические материалы (выводы), изолирующие материалы (диэлектрики). Часто учитываются материалы конкретных разновидностей (кремний на сапфире (КНС), металл-окисел-полупроводник (МОП), металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)). Наиболее частым материалом изготовления транзисторов в настоящее время является кремний (Si), германий (Ge), арсенид галлия (GaAs).

В зависимости от структуры транзисторов основными носителями зарядов могут являться как электроны, так и дырки (биполярные транзисторы) с прямой (p-n-p) и обратной (n-p-n) проводимостями.

Исходя из данных предпосылок, используя методы синтеза виртуальной реальности, необходимо в отдельности моделировать структуры биполярных транзисторов; транзисторы, выполненные по планарной технологии; транзисторы, выполненные по технологии кремний на изоляторе (КНИ) или кремний на сапфире (КНС), а также: полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом; полевые транзисторы с изолированным затвором с индуцированным каналом или со встроенным каналом. Рассматриваемые методы синтеза виртуальной реальности определяют необходимость в определении количества моделируемых слоёв для 3D-формируемых структур транзисторов (и отдельных компонентов для планарной технологии).

Результатами данных исследований являются формализованные модели для базовых n-МОП КНД – транзисторов в виде анализируемых структур с тестовыми параметрами, которые и определяют особенности формирования 3D-моделей. К такого рода параметрам относятся: толщина $d_{сл}$ [мкм] и уровни легирования приборного слоя [$см^{-3}$], ширина $W_к$ [мкм] и длина $L_к$ [мкм] канала, длины истока $L_и$ [мкм] и стока $L_с$ [мкм], длина контакта металлизации к истоку $L_{ми}$ [мкм] и к стоку $L_{мс}$ [мкм], уровни легирования областей стока и истока [$см^{-3}$], исходные подвижности электронов и дырок [$В/(см \cdot с^2)$], а также исходные времена жизни электронов и дырок [нс]. Основные обозначения для такого типа транзисторов представлены на рис. 1.

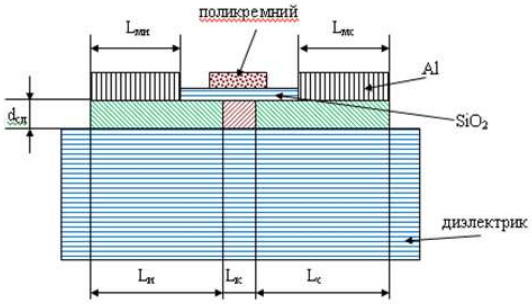

Рис. 1. Поперечное сечение n-МОП КНД – транзистора

Результаты формализации одного из транзисторов представлены в виде 3D-модели, созданной с использованием объектно-ориентированного языка CodeGear RAD Studio 2009, и показаны на рисунке 2.

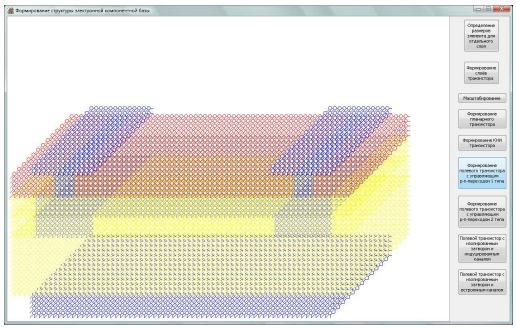

Рис. 2. Пример формирования модели полевого транзистора с управляющим p-n-переходом 1 типа из 6 слоёв моделирования

В ходе моделирования была разработана математическая модель, формирующая матрицу связности атомов в кристаллических решётках для отдельных слоёв материалов. Это позволит моделировать процессы изменения структуры кристаллических решёток в фиксированных координатах или задаваемых на основе формируемых закономерностей с целью определения напряжённых связей в соответствующих областях элементов электронной компонентной базы.

Если в напряженное состояние переходят связи соседних с образующейся вакансией атомов, то величина среднего числа напряженных связей, образующихся при смещении одного атома (K_{HC}), и величина среднего смещения атомов ($\overline{N}_d$) в единице объема оценивается согласно молекулярному или ионному строению кристаллической решётки материала. Исходя из этого, в ходе исследований была предложена модель var_konc_NS_v_dielectric.mdl, формирующая синтез виртуальной реальности описанной закономерности (рис. 3).

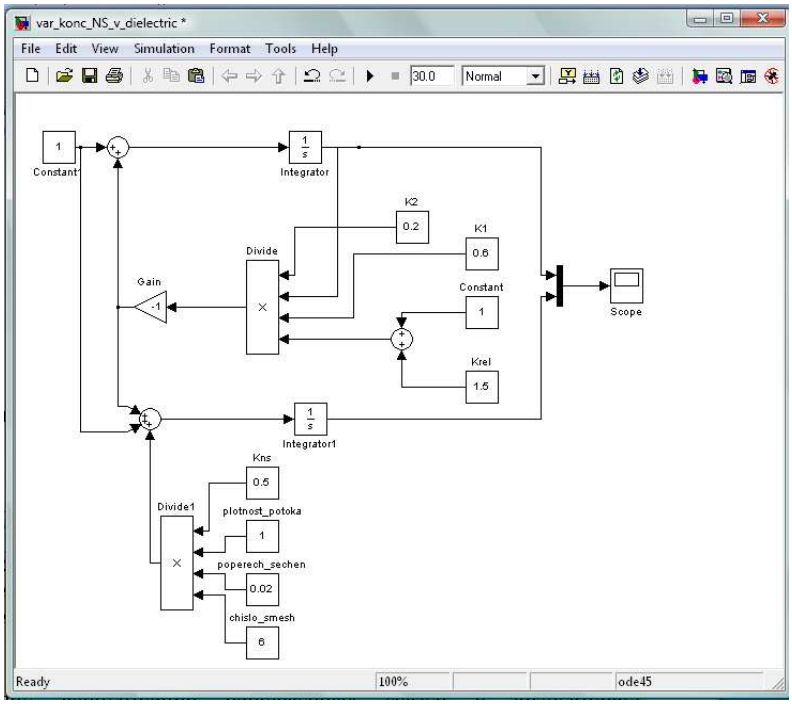

Рис. 3. Модель var_konc_NS_v_dielectric.mdl изменения концентраций напряженных связей в диэлектрике (без учёта и с учётом влияний смещений атомов)

Результаты функционирования предложенной модели представлены на рис. 4, где жёлтым цветом (на графике внизу) формируется зависимость ионизационного механизма накопления заряда, а фиолетовым (на графике вверху) - зависимость с учетом влияния смещений атомов.

Тем не менее для использования методов синтеза виртуальной реальности важно знать не только изменение концентрации напряженных связей в диэлектрике, но и их расположения в том или ином слое диэлектрика.

Поэтому в соответствии с изменением концентрации напряженных связей в диэлектрике должна быть определенная зависимость появления такого рода связей. С этой целью необходимо сформировать алгоритм процесса формирования напряжённых связей для его синтеза в виртуальной реальности, который будет описан по результатам дальнейших исследований.

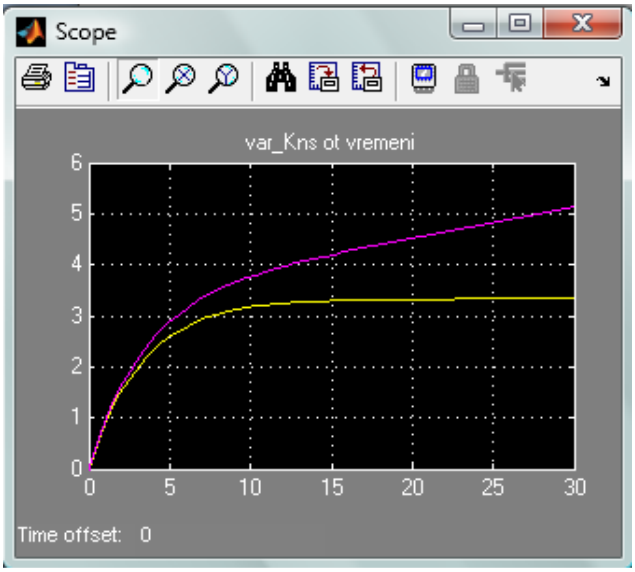

Рис. 4. Результаты функционирования модели var_konc_NS_v_dielectric.mdl (жёлтый цвет (нижний график) - зависимость ионизационного механизма накопления заряда, а фиолетовый (верхний график) - зависимость с учетом влияния смещений атомов)

Тем не менее, помимо необходимости построения модели 3D кристаллической структуры элементов для электронной компонентной базы, целесообразно определять связь между материалами, из которых формируется отдельный транзистор, и правилами построения решёток их кристаллических структур. Кроме того, необходимо оценивать методы 3D-построений для различных материалов транзисторов и, опираясь на это, определять количество моделируемых уровней для отдельного вида транзисторов. На рис. 2 приведён пример формирования модели для полевого транзистора с управляющим p-n-переходом 1 типа. В этом случае моделирование выполняется из 6 слоёв, причём каждый слой представляется в виде 3D-модели с учётом удобства и быстроты формирования физических слоёв транзистора, состоящих из различных пластов отдельных материалов.

Ввиду этого для 3D-моделирования компонентов САПР используются методы формализации синтеза виртуальной реальности применительно к различным структурам транзисторов и используемых материалов.

Используемые справочные данные для формирования кристаллических структур 3D-моделей транзисторов применяются с целью формализации методов синтеза виртуальной реальности для имитации различного рода воздействий на смоделированную структуру транзисторов с учётом физических, химических, электрических и других параметров электронной компонентной базы. Это позволяет автоматизировать процессы проектирования электронной компонентной базы с учётом специфических критериев оценки как отдельных параметров транзисторов, так и их совокупности.

Выводы

Таким образом, представленные модели демонстрируют возможность использования теоретических основ для формирования синтеза виртуальной реальности объектов проектирования с целью дальнейшей оценки электрических, физических, химических и энергетических параметров электронной компонентной базы.

Кроме того, данные модели подтверждают возможность 3D-моделирования структур в виде отдельных элементов электронной компонентной базы.

Список литературы

1. Лавлинский В.В. Анализ ячеек кристаллических решёток полупроводниковых материалов для синтеза виртуальной реальности при проектировании радиационно-стойких элементов электронной компонентной базы // Моделирование систем и процессов. — 2013. — № 4. — С. 44-53.
2. Лавлинский В.В. Информационное обеспечение синтеза виртуальной реальности в условиях нечёткого представления контролируемых параметров при проектировании информационных объектов АСТПП / В.В. Лавлинский, Е.Е. Обручникова, Ю.С. Сербулов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского гос. аграрного ун-та. — 2012. — № 76. — С. 410-421.
3. Лавлинский В.В. Основа метода проектирования информационных объектов автоматизации для систем технологической подготовки производства на основе синтеза виртуальной реальности в условиях нечёткого представления параметров / В.В. Лавлинский, Е.Е. Обручникова, Ю.С. Сербулов // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 6. — № 11. — С. 192-198.
4. Лавлинский В.В. Программная реализация моделей для синтеза виртуальной реальности АСТПП для условий нечёткого представления контролируемых параметров при проектировании систем / В.В. Лавлинский, Е.Е. Обручникова // Вестник Воронеж. ин-та высоких технологий. — 2009. — № 5. — С. 184-187.
5. Лавлинский В.В. Проектирование различных слоёв кристаллической решётки элементов с использованием методов объектно-ориентированного программирования / В.В. Лавлинский, С.И. Лыков, А.С. Аушра // Моделирование систем и процессов. — 2014. — № 2. — С. 16-19.
6. Лавлинский В.В. Синтез виртуальной реальности при проектировании информационных объектов условиях нечёткого представления контролируемых параметров / В.В. Лавлинский, Е.Е. Обручникова, Ю.С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. — 2011. — № 3. — С. 37-44.
7. Лавлинский В.В. Теоретические исследования моделирования проектируемых объектов электронной компонентной базы для синтеза виртуальной реальности при воздействии тяжёлыми

заряженными частицами // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. — 2014. — № 4. — С. 33-35.

8. Лавлинский В.В. Теоретические основы моделирования компонентов для систем автоматизации проектирования электронной базы на основе синтеза виртуальной реальности // Моделирование систем и процессов. — 2013. — № 3. — С. 16-20.

9. Лавлинский В.В. Теоретические основы моделирования проектируемых объектов электронной компонентной базы для синтеза виртуальной реальности в виде воздействий тяжёлыми заряженными частицами // Моделирование систем и процессов. — 2013. — № 3. — С. 20-25.

10. Лавлинский В.В. Теоретические основы моделирования проектируемых объектов электронной компонентной базы для синтеза виртуальной реальности в виде воздействий тяжёлыми ядерными частицами // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. — 2014. — № 4. — С. 24-32.

Рецензенты:

Стародубцев В.С., д.т.н., процессор, заведующий кафедрой туризма и естественно-математических наук, ФГБОУ ВПО «Российский государственный социальный университет» (Воронежский филиал), г. Воронеж;

Пастернак Ю.Г., д.т.н., процессор, профессор кафедры радиоэлектронных устройств и систем, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж.