



СИСТЕМА SENTAURUS TCAD КОМПАНИИ SYNOPSYS

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ САПР

В 2004 году компания Synopsys, один из мировых лидеров в области САПР СБИС, приобрела швейцарскую компанию ISE AG, занимавшую ведущие позиции в сфере приборно-технологического моделирования (TCAD). В октябре 2005 года появилась система Sentaurus TCAD, объединившая в себе преимущества средств приборно-технологического проектирования обеих компаний. Sentaurus TCAD сегодня – это динамично развивающийся продукт (периодичность обновления – девять месяцев). Основная задача системы – обеспечение разработчиков средствами приборно-технологического проектирования нового поколения, а также интеграция этих средств с САПР СБИС.

П.Тихомиров, П. Пфеффли,
М. Зорзи

ются требуемые характеристики прибора. Использование компактных моделей, основанных на аппроксимации результатов экспериментов полиномами до третьего порядка включительно, не требует от пользователя специальных знаний по физике работы прибора и TCAD-технологий. Это позволяет оптимизировать технологический маршрут в реальном времени даже без применения высокопроизводительных вычислительных средств.

Для ознакомления с возможностями нового консолидированного продукта **Sentaurus TCAD**, созданного на основе средств приборно-технологического проектирования компаний Synopsys и ISE AG (после их объединения в 2004 году), рассмотрим два примера из реальной жизни. Первый – трехмерное моделирование полевого транзистора, выполненного по технологии Omega FinFET с эффективной длиной канала 25 нм (современная технология, которая используется на крупнейшей кремниевой фабрике TSMC). Второй – оптимизация IGBT-тиристора (Insulated Gate Bipolar Transistor) с использованием TCAD и компактных моделей.

Представляем авторов статьи

Павел Тихомиров, к.ф.-м.н., ведущий TCAD-инженер компании Synopsys, Цюрих, Швейцария. E-mail: Pavel.Tikhomirov@synopsys.com. Основная специализация – электрофизическое моделирование приборов, физика полупроводников, оптоэлектроника.

Пол Пфеффли (Paul Pfäffli), Ph.D., TCAD-менеджер компании Synopsys, ответственный за регионы Западной и Восточной Европы.

Марко Зорзи (Marco Zorzi), инженер подразделения по разработке программного продукта компании Synopsys. Основная специализация – разработка и сопровождение компактных моделей для оптимизации технологического процесса на производстве.

Основной акцент в развитии средств приборно-технологического проектирования (TCAD) сегодня делается на следующих направлениях:

- трехмерное моделирование субмикронных приборов (Very Deep Sub Micron, VDSM), включающее моделирование технологического процесса формирования структуры прибора, механических напряжений внутри прибора и анализ трехмерного растекания носителей заряда;
- моделирование мощных кремниевых и гетероприборов (в том числе на основе SiC и GaN), приборов на основе материалов A^3B^5 , использующих гетеропереходы (HEMT, HBT), фотодетекторов, светоизлучающих диодов (LED) и полупроводниковых лазеров;
- возможность построения компактных моделей (на базе результатов моделирования или измерений конкретного прибора), отражающих зависимость выходных (электрических) параметров от разброса входных (технологических) параметров. С помощью таких моделей можно определить окно значений технологических параметров, в котором обеспечива-

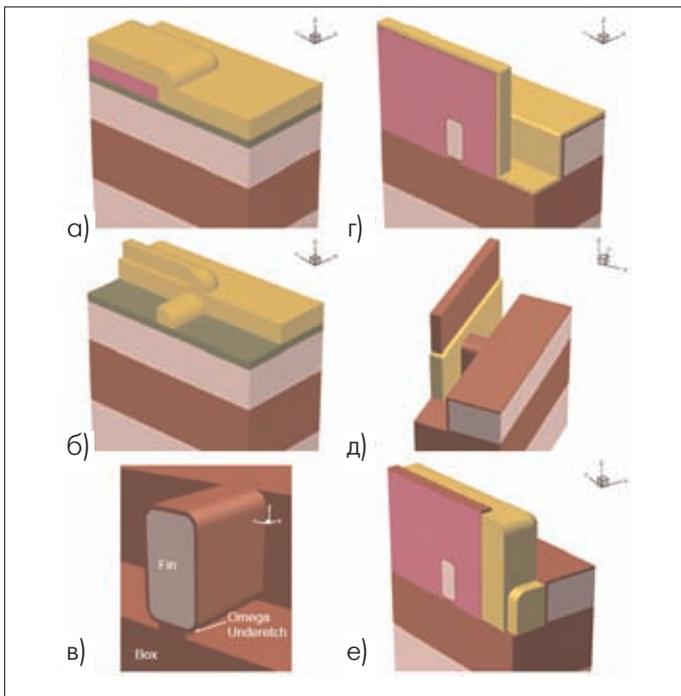


Рис. 1. Структура Omega FinFET на различных этапах моделирования: после эпитаксии и первой литографии (а); после литографии для формированием окон стока/истока (б); после формирования FinFET-канала (в); после анизотропного нанесения нитрида, до формирования LDD (г); после формирования LDD (д); после имплантации стока/истока(е)

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Потребность в трехмерном моделировании (3D-моделировании) современных субмикронных приборов обусловлена необходимостью анализа тонких физических эффектов в полупроводниковых структурах, для которых точности методов двумерного моделирования оказывается недостаточно. На современном уровне развития микроэлектронного производства подобные эффекты оказывают значительное влияние на функционирование полупроводниковых приборов, а при существующих темпах совершенствования технологии, их учет уже в ближайшем будущем должен играть определяющую роль. Решение задач трехмерного моделирования в системе Sentaurus TCAD, включая задачи моделирования формирования структуры прибора (имплантация, диффузия, травление, осаждение), построение трехмерной адаптивной сетки и расчета электрических характеристик прибора, рассмотрим на примере полевого транзистора, выполненного по технологии Omega FinFET с эффективной длиной канала 25 нм.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИБОРА

В современной VDSM-технологии используется комбинация как относительно простых технологических процедур (травление, осаждение, химико-механическая полировка и др.), так и крайне сложных технологических операций (имплантация с низкими энергиями, быстрый тепловой отжиг, окисление в многокомпонентных средах). Для проведения 3D-моделирования процесса формирования структуры прибора в системе Sentaurus TCAD

используется так называемый "гибридный" подход. Моделирование "простых" операций выполняется на геометрическом уровне, трехмерная структура прибора при этом представляется в виде набора геометрических объектов. Процесс формирования и эволюции геометрии этих объектов эмулируется с помощью встроенного трехмерного генератора структур **Sentaurus Structure Editor (SSE)**.

"Сложные" операции, такие как имплантация и диффузия примесей, моделируются численно программой **Sentaurus Process**, позволяющей рассчитать распределение легирующих примесей и механических напряжений в приборе путем решения системы уравнений в узлах пространственной конечно-элементной сетки.

Процесс формирования структуры Omega FinFET включает следующие этапы [1, 2]:

- 1) формирование стока/истока;
- 2) формирование канала FinFET;
- 3) формирование Omega-затвора;
- 4) формирование слаболегированных областей (LDD – Lightly Doped Drain) стока/истока;
- 5) формирование высоколегированных областей стока/истока;
- 6) быстрый тепловой отжиг (Rapid Thermal Annealing, RTA);
- 7) формирование контактов.

На рис.1 показана структура прибора на различных стадиях его формирования (после этапа формирования FinFET-канала отчетливо виден подтрав окисла под Fin-каналом). Поскольку прибор симметричен, моделирование проводилось только для половины структуры FinFET. При электрофизическом моделировании учитывалась полная (отраженная и трансформированная) структура прибора.

Результаты процесса формирования структуры прибора, полученные в генераторе структур SSE, могут быть непосредственно переданы в программу Sentaurus Process. Для обеспечения автоматической связи между этими программами используется "paint-by-numbers"-схема, позволяющая при необходимости выделять определенные области прибора и проводить в них моделирование какого-либо процесса, например имплантации.

Для моделирования имплантации в процессе формирования FinFET-структуры была задействована аналитическая модель, использующая один из известных методов аппроксимации (двойной Пирсон – double Pearson) и начальное распределения точечных дефектов на основе "+1" модели. Для моделирования влияния неравновесной концентрации точечных дефектов на диффузию применялась модель, учитывающая особенности VDSM-технологии. Численное моделирование перераспределения примеси в процессе отжига проводилось на конечно-элементной сетке, сформированной генератором сетки **MGOALS**, встроенным в систему Sentaurus Process. Полное число узлов MGOALS-сетки составляло порядка сорока пяти тысяч, фрагмент сетки в канале приведен на рис.2.

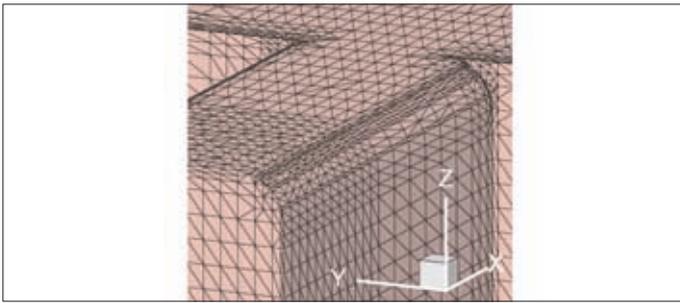


Рис.2. MGOALS-сетка, используемая для моделирования имплантации и диффузии примеси программой Sentaurus Process

Расчет 3D-структуры прибора, учитывающий имплантацию трех примесей (бор, фосфор, мышьяк) и их последующий RTA-отжиг (1с, 1025K), занял порядка пяти часов на процессоре AMD Opteron с частотой 2,2 ГГц, работающем под контролем Linux RHE3 ОС.

Результаты расчетов проиллюстрированы на рис.3. Отчетливо видна трехмерная неоднородность примеси на стенках канала ближе к пристоековой области, возникающая за счет взаимодействия примеси и дефектов, а также примесей между собой. Трехмерный характер распределений подтверждает необходимость 3D-моделирования перераспределения примесей для субмикронных приборов типа Omega FinFET.

ПРИБОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ГЕНЕРАЦИЯ СЕТКИ

Для моделирования процесса переноса заряда в полевом Omega FinFET транзисторе использовалась программа **Sentaurus Device** (развитие программы приборного моделирования **DESSIS** компании ISE AG).

Моделирование приборов типа Omega FinFET проводилось с учетом особенностей этой технологии. Во-первых, вследст-

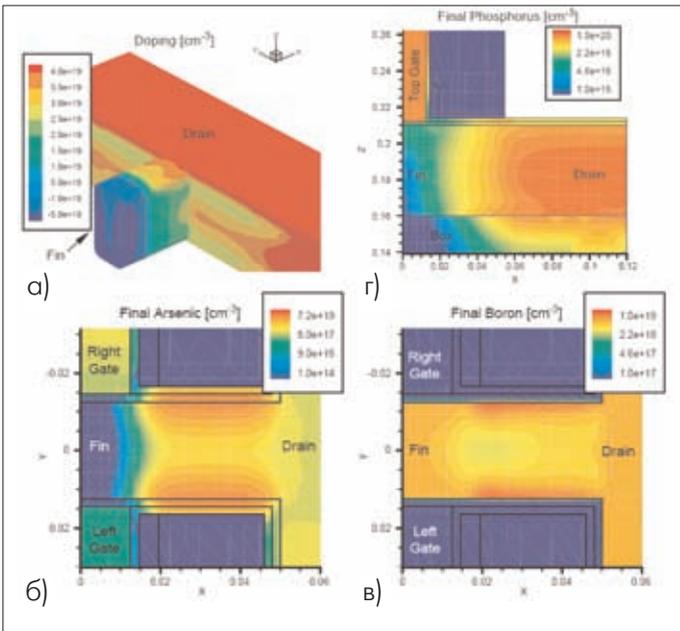


Рис.3. Распределение примесей в структуре FinFET: распределение примеси в области кремния (а); распределение мышьяка в пристоековой области канала на уровне трех четвертей высоты канала в XY-плане (б); распределение бора в канале в той же плоскости (в); распределение фосфора в стоке для продольного сечения (г)

вие не полностью обедненной подложки задачу переноса электронов и дырок необходимо решать самосогласованно. Кроме того, тонкий подзатворный диэлектрик (2 нм) и относительно высокая концентрация примеси в канале ($\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ 1/см}^3$) делают необходимым учет эффекта квантования носителей в канале транзистора. Таким образом, при электрофизическом моделировании должна решаться система из пяти согласованных уравнений, включающих уравнение Пуассона, уравнения непрерывности для электронов и дырок, уравнение переноса энергии для электронов и дополнительное уравнение для учета квантования носителей.

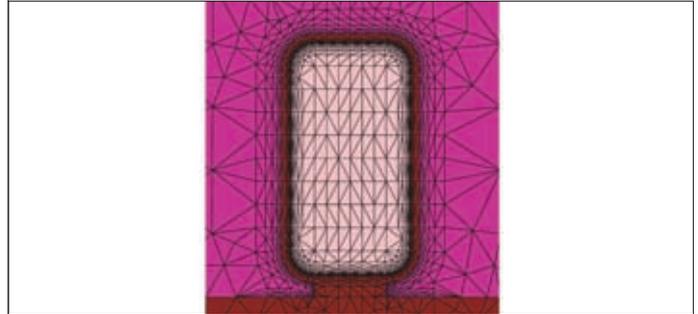


Рис.4. Фрагмент трехмерной сетки, сгенерированной программой Noffset3D (показано поперечное сечение канала)

Поскольку для решения подобных систем уравнений используется метод конечных элементов, важную роль в обеспечении эффективного решения задачи играет способ генерации сетки, который должен учитывать такие особенности современных полевых приборов, как высокие градиенты концентраций носителей в инверсионном слое канала. Непланарность канала в случае FinFET также требует использования специальных методов генерации конечно-элементной сетки. Необходимость учета эффектов квантования носителей в канале ограничивает минимальный шаг сетки на границе "кремний-диэлектрик" в пределах 0,1–0,2 нм.

В идеальном случае элементы сетки на границе должны быть конформны с границей раздела материалов, т.е. грани элементов сетки должны быть параллельны или перпендикулярны границе раздела. Для непланарных областей, таких как канал FinFET, имеющий форму параллелепипеда, задача построения конформной сетки нетривиальна, поскольку помимо требований по конформности и минимальному шагу в канале элементы сетки должны удовлетворять условию Делоне, соблюдение которого позволяет использовать эффективные численные методы, реализованные в Sentaurus Device. Для решения такого рода задач в системе Sentaurus TCAD предусмотрен генератор сетки **Noffset3D**. На рис.4 приведен фрагмент трехмерной сетки, сгенерированный программой Noffset3D для структуры Omega FinFET. Показано поперечное сечение Омегаканала. Величина начального шага сетки в канале – 0,1 нм, общее число узлов сетки – около пятидесяти тысяч.

Решение систем уравнений на сетке в несколько десятков или даже сотен тысяч узлов – экстремально сложная задача.

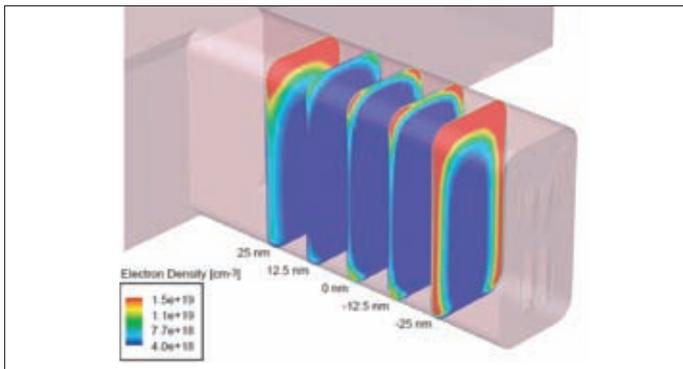


Рис. 5. Концентрация электронов в четырех различных сечениях канала FinFET

Основной объем вычислений приходится на решение систем линейных алгебраических уравнений (ЛАУ) с разреженными матрицами. Практическое решение такой задачи на доступной вычислительной технике возможно при использовании итерационных методов для систем ЛАУ, которые обеспечивают достаточное быстродействие и разумное потребление памяти. Используемые в системе Sentaurus Device итерационные методы решения систем ЛАУ интегрированы в программный пакет **ILS** (доступный также в программе Sentaurus Process). Пакет ILS позволяет эффективно решать задачи большой размерности с достаточной точностью и за приемлемое время. Например, расчет переходной I_dV_{gs} характеристики Omega FinFET (сорок точек BAX) на сетке в пятьдесят тысяч узлов занимает 3–4 часа на компьютере с процессором AMD Opteron 2,2 ГГц. При этом размер требуемой памяти не превышает четырех гигабайт.

Приведенные на рис.5 результаты расчета распределения концентрации электронов в различных поперечных сечениях канала FinFET для режима $V_{зи} = V_{си} = 1$ В иллюстрируют трехмерный характер процесса растекания заряда. Сечения сделаны в середине канала (0 нм), в крайних точках расположения затвора (12,5 нм) и внутри LDD-областей (25 нм). Отчетливо видно, насколько неоднородно распределение электронов вдоль периметра канала. Наибольшая концентрация отмеча-

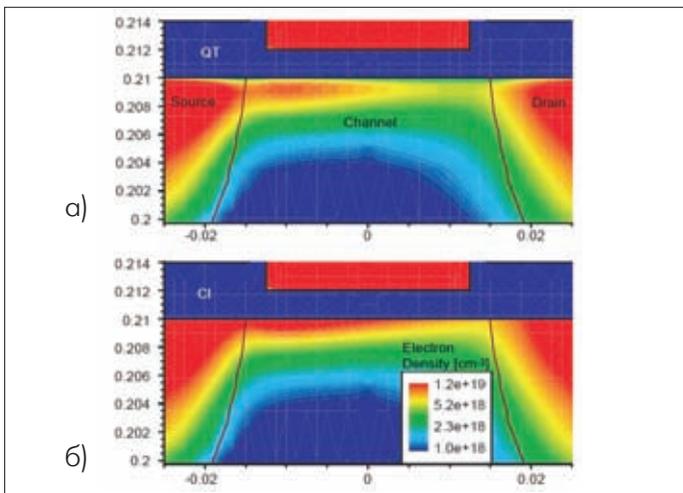


Рис. 6. Распределение электронов в продольном сечении канала FinFET (от истока к стоку): с учетом квантования носителей (а); классический подход без учета квантования носителей (б)

ся в углах канала, что подтверждает необходимость аккуратного построения конформной сетки вдоль границы "канал–подзатворный диэлектрик". Сечение на стороне стока (12,5 нм) демонстрирует обеднение носителей в области отсечки канала.

Необходимость учета эффекта квантования носителей в канале иллюстрирует рис. 6, где показано распределение электронов в продольном сечении канала FinFET (от истока к стоку) для середины канала в режиме $V_{зи} = V_{си} = 1$ В. Учет квантования носителей в области высокого поперечного поля в канале вызывает смещение пика концентрации электронов в глубину канала на расстояние порядка 0,7 нм по сравнению с результатами классического подхода, где максимум концентрации электронов расположен точно на поверхности границы канал-окисел.

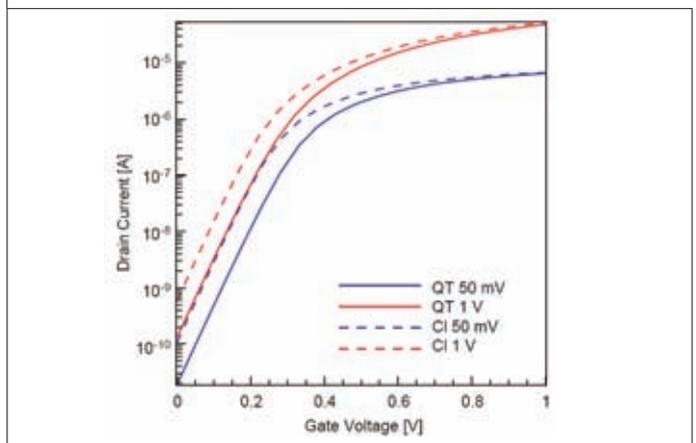


Рис. 7. Переходные BAX FinFET для $V_{си}=50$ мВ (синие) и $V_{си}=1$ В (красные): с учетом квантования (сплошная линия); без учета квантования (пунктир)

Расчетные переходные характеристики FinFET (зависимость тока стока I_c от напряжения на затворе $V_{зи}$) с учетом и без учета эффекта квантования электронов приведены на рис.7. Существенный сдвиг порогового напряжения (до 20%) хорошо согласуется с экспериментальными характеристиками и подтверждает необходимость учета эффекта квантования носителей для современных приборов Omega FinFET.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПАКТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Проведение численного физико-технологического моделирования приборов, основанного на точных физических моделях, требует значительных временных затрат даже при наличии высокопроизводительных вычислительных средств. Пользователь должен обладать достаточным уровнем знаний не только в области приборно-технологического моделирования, но и в смежных областях. Новый продукт компании Synopsys **PCMStudio** не требует от пользователя специальных знаний TCAD-технологий и физики работы приборов. Он позволяет проводить оптимизацию технологического маршрута в реальном времени без наличия высокопроизводительных вычислительных средств непосредственно на рабочем месте инженера-технолога.

Технологические параметры IGBT-прибора и диапазоны их варьирования

Параметр	Имя параметра	Диапазон вариации значения
Толщина подзатворного диэлектрика, мкм	Goх	±6%
Доза легирования канала, 1/см ²	ChanDose	±8%
Концентрация примеси в n-epi слое, 1/см ³	EpiDoping	±20%
Доза легирования N+ буферного слоя, 1/см ²	Nbuffer	±20%
Толщина эпитаксиальной пленки, мкм	EpiThick	±20%

Система PCMStudio использует концепцию компактных моделей (**Process Compact Modeling, PCM**), которые строятся на основе аппроксимации результатов численных экспериментов или физических измерений полиномиальными функциями [3]. Причем использование результатов моделирования часто предпочтительнее, поскольку они не содержат шумов, свойственных измерениям. Кроме того, в этом случае есть возможность варьировать различные параметры процессов и моделей. Готовая компактная модель может быть использована для анализа зависимости разброса электрических параметров прибора от технологических параметров с целью определения окна технологических параметров, необходимого для обеспечения заданных характеристик прибора.

Последовательность этапов построения и использования PCM следующая:

- 1) параметризация маршрута моделирования;
- 2) анализ чувствительности;
- 3) построение вычислительной модели эксперимента (Design-of-Experiment, DoE);
- 4) создание и верификация PCM;
- 5) оптимизация прибора с помощью PCM.

На примере IGBT-прибора рассмотрим, как эти этапы реализуются в системе Sentaurus TCAD с применением программы PCMStudio.

СОЗДАНИЕ КОМПАКТНОЙ МОДЕЛИ

В таблице приведены технологические параметры, которые могут варьироваться в зависимости от особенностей конкретного технологического процесса изготовления IGBT-прибора (рис.8). Набор исследуемых выходных характеристик включает пороговое напряжение (V_T), рабочий ток (I_{on}), пробивное

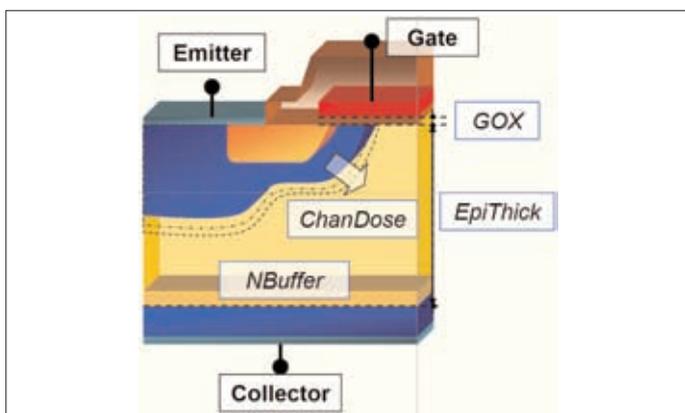


Рис. 8. Структура IGBT-прибора и варьируемые входные параметры

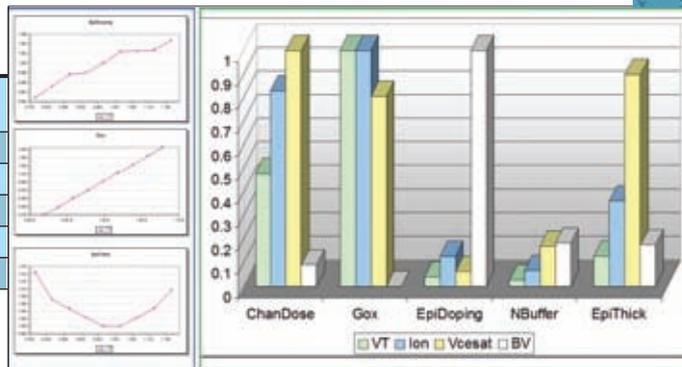


Рис. 9. Результаты анализа чувствительности для IGBT-прибора

напряжение (BV) и падение напряжения на приборе в рабочей точке (V_{cesat}).

На первой стадии построения PCM рекомендуется проводить анализ чувствительности выходных характеристик прибора к изменению входных параметров. Для этого в заданном диапазоне варьируют значения выбранного входного параметра при номинальных значениях остальных входных параметров. Для каждого набора параметров проводится полное сквозное TCAD-моделирование (от моделирования процесса до моделирования прибора). Анализ чувствительности позволяет определить, как различные входные параметры влияют на работу прибора. Это дает возможность выбрать более подходящую вычислительную модель эксперимента. На рис.9 показаны результаты анализа чувствительности для IGBT-прибора. Значения по осям координат графиков чувствительности (слева) нормированы относительно номинальных значений соответствующих параметров. На гистограммах (справа) значения по Y-оси нормированы относительно максимального значения рассматриваемого выходного параметра. Видно, что пробивное напряжение в основном зависит от трех параметров — концентрации примеси в эпитаксиальной пленке (EpiDoping), концентрации примеси в буферном слое (NBuffer) и толщины эпитаксиального слоя (EpiThick). Как и ожидалось, основное влияние на напряжение V_{cesat} оказывает толщина эпитаксиального слоя, тогда как пороговое напряжение в основном зависит от дозы легирования канала и толщины подзатворного диэлектрика.

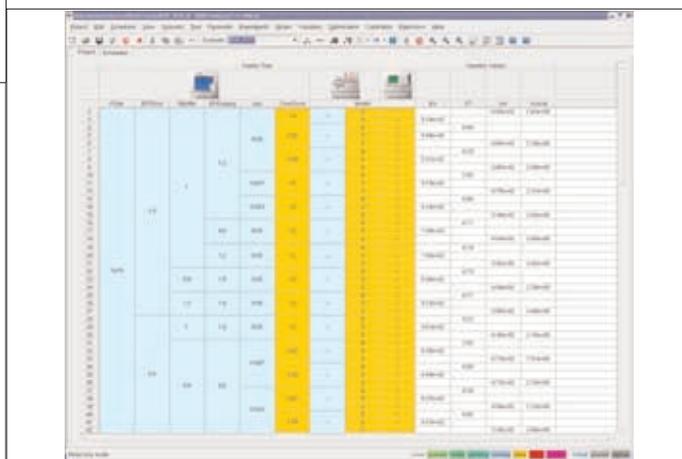


Рис. 10. Вычислительная модель эксперимента для построения компактной модели IGBT-прибора

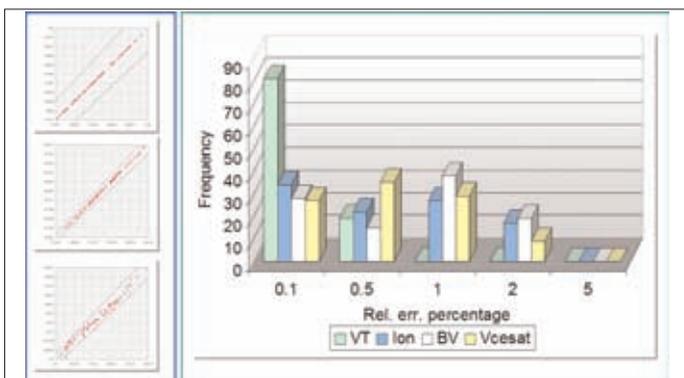


Рис. 11. Результаты верификации компактной модели

Следующий шаг формирования РСМ – построение вычислительной модели эксперимента. На этом этапе необходимо сформировать множество наборов значений входных параметров и для каждого набора определить (путем моделирования) значения выходных характеристик прибора. Рабочая среда **Sentaurus Workbench** (рис. 10) поддерживает организацию построения DoE. Поскольку в нашем случае для построения РСМ использовались полиномы второго порядка, рассматривалось по три значения для каждого из пяти входных параметров. Всего было проведено 243 (3^5) численных эксперимента. Моделирование проводилось на кластере из шестидесяти компьютеров, работающем под контролем планировщика задач SunGridEngine. Каждая ветка проекта (слева направо) представляет один из численных экспериментов. В узлах, отмеченных желтым цветом, представлены результаты численного моделирования.

Генерация РСМ осуществляется программой PCMStudio. Результаты моделирования передаются в PCMStudio непосредственно из Sentaurus Workbench. Верификация компактной модели производится путем сравнения результатов, полученных с помощью РСМ и после TCAD-моделирования. В нашем случае для верификации было проведено сто численных экспериментов, в которых входные параметры варьировались случайным образом. Рис. 11 демонстрирует характер отклонений результатов, полученных с помощью РСМ от результатов TCAD-моделирования. Данные результатов TCAD-моделирования и соответствующие им значения, полученные с помощью компактной модели, представлены слева. Гистограммы построены для различных значений отклонений (значения отклонений выражены в процентах относительно результатов TCAD-моделирования) и отражают частоту появления таких отклонений. Наихудшее совпадение (очевидно, из-за существенно нелинейной зависимости от входных параметров) получено для пробивного напряжения BV.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПАКТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Компактная модель может быть использована для оптимизации технологического маршрута как дизайнером прибора, так и технологом на фабрике. В режиме "визуальной" оптимизации про-

граммы PCMStudio точки, соответствующие набору значений входных параметров и значениям выходных параметров, полученных с помощью РСМ-модели, объединяются одной ломаной. Результаты, полученные для различных наборов, размещаются на одной картинке, при этом цвет кривых различен – в зависимости от заданных пользователем ограничений на выходные характеристики. Это позволяет интуитивно оценить влияние вариации входных параметров на результирующие характеристики.

На рис. 12 приведены результаты четырех сценариев анализа IGBT-прибора. Всего было проанализировано десять тысяч наборов входных параметров (линии, удовлетворяющие заданным критериям показаны красным цветом, остальные – серым). В сценарии А все результаты объединены на одной картинке. В сценарии С – только те, которые удовлетворяли заданным ограничениям на результирующие значения пробивного напряжения (BV) и напряжения в точке насыщения (V_{cesat}). Влияние уменьшения диапазона входного параметра EpiDoping, которое привело к сужению диапазона V_{cesat} , показано в сценарии В. Сценарий D отображает результат конечной оптимизации, в результате которой характеристики прибора по сравнению с номинальными были улучшены на 10% по V_{cesat} и на 18% по рабочему току (I_{on}).

На рис. 13 приведены результаты оптимизации IGBT-прибора в программе PCMStudio с точки зрения обеспечения выхода годных. Рассматривалась задача минимизации разброса выходных параметров прибора при заданном разбросе входных технологических параметров. Использовались те же ограниче-

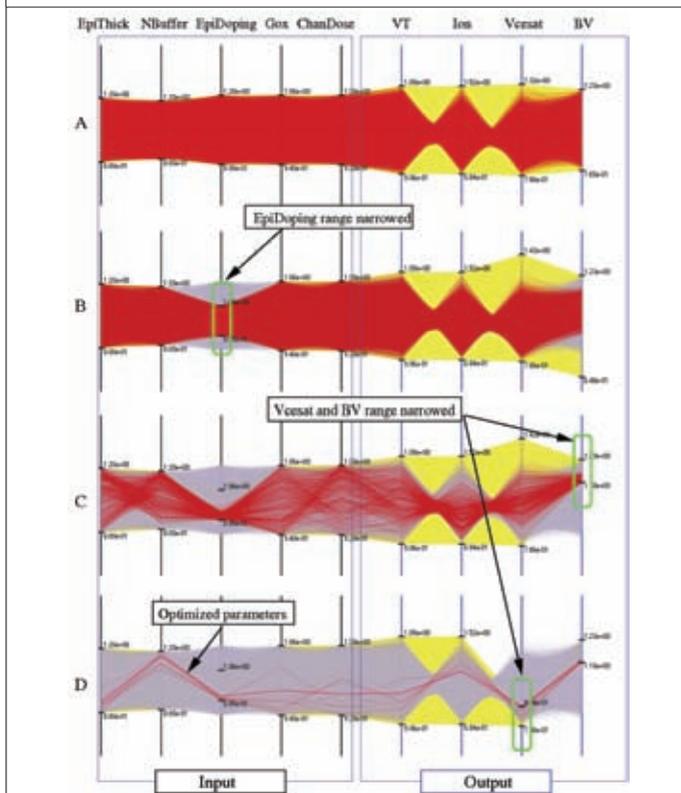


Рис. 12. Процедура оптимизации выходных характеристик IGBT-прибора

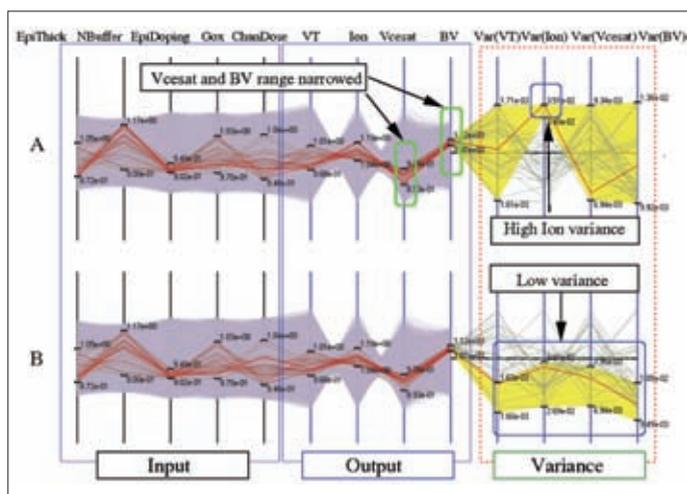


Рис. 13. Оптимизация IGBT-прибора с точки зрения увеличения выхода годных

ния на значения BV и V_{cesat} , что и в предыдущем примере. Сценарий А иллюстрирует набор параметров, обеспечивающий наилучший результат в отношении производительности прибора (произведение $BV \cdot I_{on}$), однако при этом велик разброс значений I_{on} . Сценарий В демонстрирует новую конфигурацию параметров. Разброс значений как I_{on} , так и остальных выходных параметров значительно снижен, поэтому, несмотря на то, что производительность прибора несколько ниже, чем в сценарии А, сценарий В можно рекомендовать как более оптимальный с точки зрения выхода годных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье не ставилась задача описания всех функций системы Sentaurus TCAD компании Synopsys. Для ознакомления с ними можно обратиться к соответствующему руководству [4]. Нам было важно на реальных примерах показать возможности системы физико-технологического моделирования нового поколения, в рамках которой компанией Synopsys реализован широкий набор инструментов для решения приборно-технологических задач. Для инженера-физика, занимающегося разработкой современной элементной базы, предусмотрены средства точного физико-технологического моделирования. Инженер-технолог на производстве может воспользоваться инструментами на базе компактных моделей. Оба подхода, взаимно дополняя друг друга, позволяют ускорить разработку, улучшить параметры приборов и, как результат, снизить стоимость конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Synopsys TCAD News, December 2005.
2. Yang F. et al. 25nm CMOS Omega FinFETs, IEDM Technical Digest, San Francisco, CA, USA, December 2002, p.255–258.
3. Synopsys TCAD News, May 2006.
4. Sentaurus-Process & Sentaurus-Device User Guide X-2005.10, Synopsys, 2005.



Осенний семинар компании Mentor Graphics

По сложившейся традиции, американская фирма Mentor Graphics, один из лидеров в области средств автоматизированного проектирования изделий электронной техники, и ее российский дистрибьютор компания Megratec два раза в год проводят встречи представителей Mentor Graphics с российскими разработчиками электронной техники. На весенних семинарах рассматриваются вопросы проектирования печатных плат, на осенних – решения для интегральных микросхем и систем на кристалле.

Восемнадцатого октября в Москве состоялась очередная такая встреча. Она вызвала интерес со стороны большинства организаций, занимающихся разработкой СБИС в России (семинар посетило около восьмидесяти человек из тридцати двух компаний). Технический директор южно-европейского отделения компании Mentor Graphics Бенуа Гретере (Benoit Gretere), сотрудники компании Марк Крофт (Mark Croft), Жак Гуи (Jacques Gouit) и Люк Тиссо (Luc Tissot) постарались за время семинара представить российским разработчикам весь спектр продуктов Mentor Graphics, ориентированных на проектирование заказных СБИС и систем на кристалле.

В ходе семинара были рассмотрены вопросы организации проектирования и верификации на системном уровне (системы Perspecta, Platform Express, Catapult C Synthesis). Большое внимание было уделено методологии расширенной функциональной верификации (Advanced Verification Methodology, AVM), включающей как традиционные методы верификации HDL-описаний, так и поддержку модели-

рования на уровне транзакций, использование встроенных проверок на основе утверждений, методы статической и динамической формальной верификации, учет IP-блоков, а также вопросы программно-аппаратной верификации (системы Questa, ModelSim, Seamless). Отдельный доклад был посвящен средствам проектирования для ПЛИС (системы Precision, Leonardo). Что касается средств проектирования топологии субмикронных аналого-цифровых СБИС (IC Station/IC Studio), то было подчеркнуто, что эти средства могут работать в тесной взаимосвязи со средствами функциональной верификации смешанных проектов (ADMS) и комплексной физической верификации (система Calibre).

В заключительном выступлении директор компании Megratec Андрей Лохов рассказал о планах по продвижению продукции Mentor Graphics и текущей ситуации на российском рынке. Он отметил, что решения компании Mentor Graphics обладают большой гибкостью и масштабируемостью. Заказчик всегда может подобрать необходимую начальную конфигурацию в рамках своего бюджета и расширять ее по мере надобности. А ориентация компании Mentor Graphics на поддержку всех основных промышленных стандартов позволяет встраивать ее продукты практически в любые существующие маршруты проектирования. Были приведены примеры относительно недорогих базовых решений для отечественных дизайн-центров, оптимальных по критерию стоимость/функциональные возможности.