

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**ОСНОВЫ РАБОТЫ В СРЕДЕ  
ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ САПР  
SENTAURUS**

*Учебно-методическое пособие*

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2017

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Состав пакета САПР SENTAURUS и назначение компонентов .....	5
2. Программа-оболочка Workbench .....	9
3. Модуль технологического моделирования SENTAURUS Process ....	19
3.1. Назначение модуля SProcess .....	19
3.2. Структура командного файла модуля SProcess .....	20
3.3. Основные команды модуля SProcess и их параметры .....	20
3.3.1. Подраздел определения переменных .....	21
3.3.2. Подраздел настройки используемых моделей .....	21
3.3.3. Подраздел настройки сетки .....	25
3.3.4. Подраздел определения фоторезистивных масок .....	28
3.3.5. Подраздел последовательности технологических операций .	29
3.3.6. Подраздел преобразования и сохранения структуры .....	35
3.4. Пример командного файла модуля SProcess .....	37
4. Модуль структурного проектирования SENTAURUS Structure Editor	44
4.1. Назначение модуля SDE .....	44
4.2. Структура командного файла модуля SDE .....	44
4.3. Основные команды модуля SDE и их параметры .....	45
4.3.1. Определение переменных .....	46
4.3.2. Определение геометрических размеров и координат Областей .....	47
4.3.3. Задание профилей распределения примесей .....	48
4.3.4. Определение контактов .....	49
4.3.5. Построение расчетной сетки .....	50
4.4. Пример командного файла модуля SDE .....	51
5. Оптимизатор расчетной сетки SNMesh .....	57
5.1. Назначение программного модуля SNMesh .....	57
5.2. Запуск и использование модуля SNMesh .....	57
5.3. Структура командного файла модуля SNMesh .....	60
5.4. Пример командного файла модуля SNMesh .....	61

электрофизических параметров от разброса входных технологических параметров.

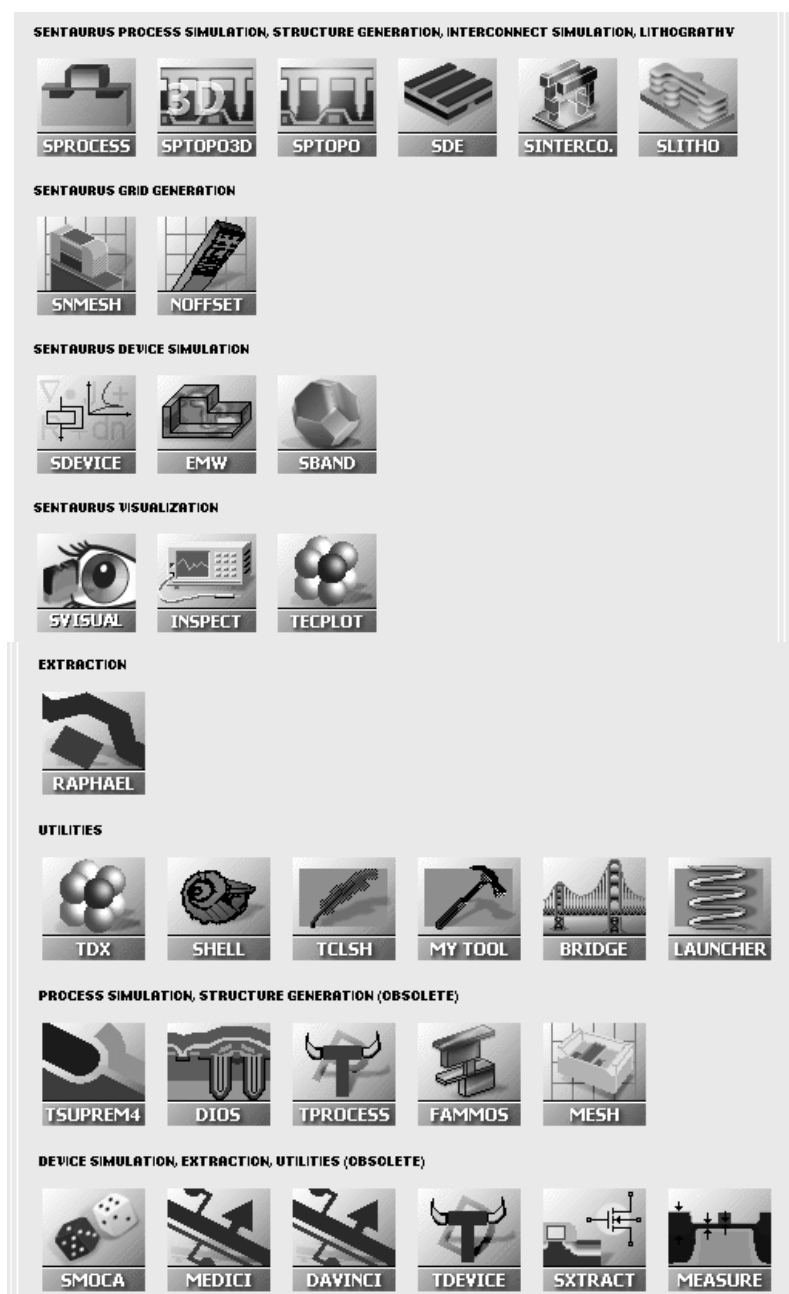
В современные версии добавлены новые модели технологических процессов, такие, как модели лазерного и импульсного отжига примесей, улучшенные модели диффузии примесей и др. .

В новых версиях TCAD реализована полная поддержка моделирования технологии и электрических характеристик приборов на широкозонных полупроводниках – SiC, GaN и др. , а также существенно переработан математический блок решения систем дифференциальных уравнений. Это позволило значительно улучшить сходимость уравнений при решении таких сложных в вычислительном плане задач, как, например, расчет выходной вольт-амперной характеристики транзисторов и диодов, а также моделирование электрофизических характеристик приборов на основе широкозонных полупроводников.

В настоящее время в **SENTAURUS TCAD** реализовано распараллеливание и многопоточность расчета, что позволяет полностью использовать возможности современных многоядерных процессоров и существенно сокращать затраты машинного времени на моделирование. Разработан новый генератор высококачественной расчетной сетки, адаптирующейся под конструктивные особенности прибора и профили распределения примесей. Использование этого генератора взамен устаревших позволяет существенно увеличить точность и скорость расчета, а также улучшить сходимость систем уравнений.

В последние версии включены средства разработки технологических SPICE-моделей, а также программы для анализа влияния разброса технологических параметров на электрические характеристики. Добавлены средства моделирования, позволяющие определять оптимальные технологические параметры для снижения чувствительности электрических характеристик приборов к технологическим разбросам.

В состав приборно-технологической САПР **SENTAURUS** входят более 30 программных модулей для моделирования технологии и топологии, структур, сеток и электрофизических параметров полупроводниковых приборов (рис. 1.1).



*Рис. 1.1. Состав приборно-технологической САПР SENTAURUS*

Организацию процесса моделирования обеспечивает графическая управляющая оболочка **SENTAURUS Workbench (SWB)**, интегрирующая программные модули, внутренний интерфейс между ними и конечным пользователем.

Основной программный модуль **SENTAURUS Process (SPprocess)** предназначен для одно-, двух- и трёхмерного сквозного моделирования технологических маршрутов при проектировании и изготовлении полупроводниковых структур различного функционального назначения. Наряду

с **SProcess** в **SENTAURUS** есть еще три дополнительных модуля приборно-технологического моделирования: **Dios**, **Suprem-IV** и **Taurus Process**.

Генерацию высококачественных одно-, двух- и трёхмерных конечно-элементных сеток для последующего моделирования приборов обеспечивает следующий набор модулей: модуль **Mesh** генерирует одно-, двух- и трёхмерную сетку, параллельную координатным осям; модуль **Noffset3D** создаёт триангулярную сетку для двумерных задач, и тетраэдральную – для трёхмерных; новый устойчивый генератор сеток **SENTAURUS Mesh (SNMesh)** позволяет создавать сетки, параллельные осям, а также сетки тензорного типа.

Модуль **SENTAURUS Structure Editor (SDE)** для графического проектирования (конструирования) двумерных и трехмерных полупроводниковых структур исключает применение программ технологического моделирования. Формирование структуры при этом включает в себя генерацию геометрической модели по слоям структуры вместе с контактами, задание аппроксимирующих профилей легирования и определение процесса построения вычислительной конечно-элементной сетки.

Основной модуль **SENTAURUS Device (SDevice)** предназначен для двумерного и трехмерного моделирования полупроводниковых приборов с учетом различных электрофизических приближений: диффузионно-дрейфового, гидродинамического, с учетом квантовых поправок, механических напряжений и т. д. Обеспечивает расчет, анализ и оптимизацию различного рода параметров и характеристик (электрофизических, тепловых, оптических и т. д.) для широкого ряда полупроводниковых структур от кремниевых MOS-нанотранзисторов и мощных биполярных транзисторов до гомо- и гетероструктур на основе сложных материалах типа  $A^3B^5$ , карбиде кремния и т. д. Кроме модуля **SDevice** в блок модулей электрофизического моделирования приборов **SENTAURUS** входят также: **SMoca** и **Sparta** – для моделирования субмикронных приборов методом Монте-Карло; **SDevice Electromagnetic Wave** – для моделирования электромагнитных процессов электродинамики.

Программные модули **Tecplot SV**, **Inspect**, **Measure**, **SVisual** предназначены для визуального отображения результатов моделирования, расчета параметров и характеристик моделируемых полупроводниковых приборов.

Этих программных модулей и программ достаточно для решения многих задач, связанных с исследованием и разработкой полупроводниковых приборов.

## 2. ПРОГРАММА-ОБОЛОЧКА WORKBENCH

Проект в САПР **SENTAURUS** создается в программе-оболочке **Workbench** (SWB), запуск которой осуществляется щелчком мыши на соответствующем значке панели задач рабочего стола, либо командной строкой **swb**.

Главное окно программы **Workbench** (рис. 2.1) содержит строку меню, строку кнопок управления, менеджер проектов, рабочую область с двумя вкладками отображение структуры проекта **Project** и управления работающими программами **Scheduler**, а также строку состояния, на которой показаны условные цветовые обозначения статуса узлов.

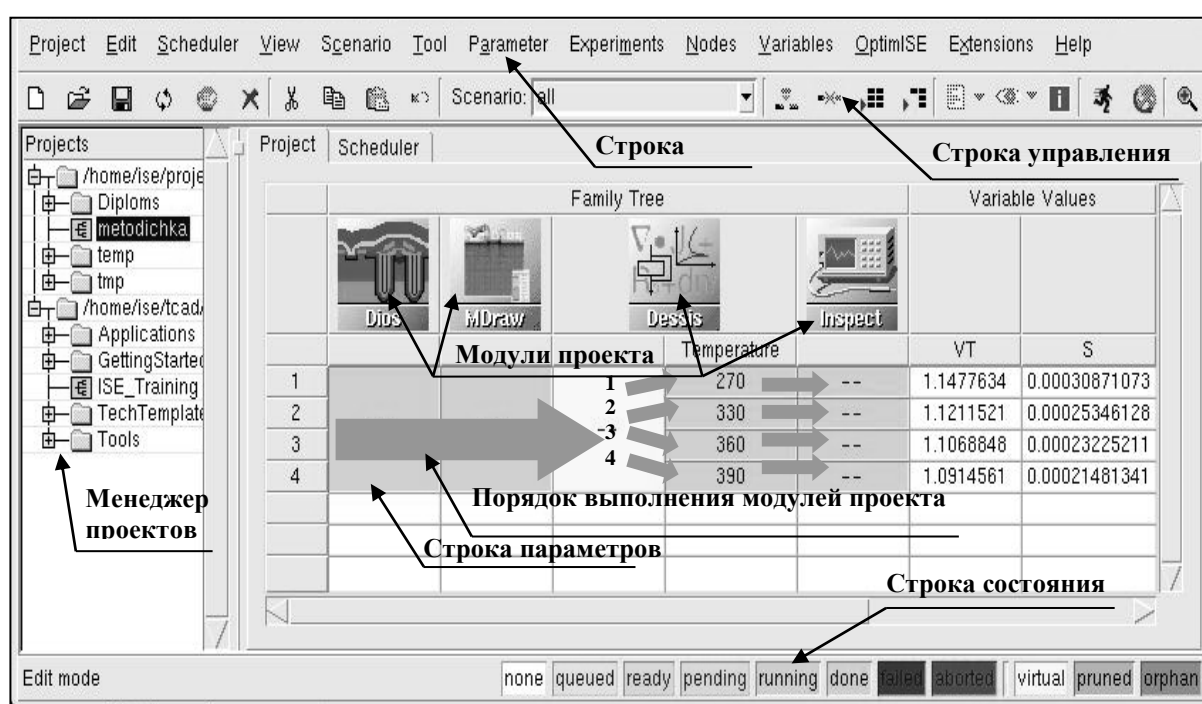


Рис. 2.1. Главное окно **SENTAURUS Workbench**



















Проект представляет собой последовательность модулей и программ САПР **SENTAURUS**, управляемых командными файлами, и имеет структуру дерева, в простейшем случае представляющего собой всего одну ветвь. Программы в проекте выполняются последовательно слева направо вдоль каждой ветви, используя результаты моделирования предыдущих программ.

Строки меню и кнопок управления имеют стандартный вид и общепринятое назначение компонентов. Наиболее часто из них используются следующие элементы:

- пункты строки меню:

- **Project** – работа с проектом в целом: позволяет открыть, создать, сохранить проект и др.;
- **View** – настройка вида окна;
- **Tool** – работа с модулями: добавление, удаление, блокировка и др.;
- **Experiments** – работа с экспериментами: добавление, удаление и др.;
- **Nodes** – работа с узлами: выделение, блокировка, запуск и др.;
- **Variables** – работа с параметрами: добавление, формат и др.;
- **Extensions** – позволяет запускать модули и программы **SENTAURUS**;
- **Help -> Manuals** – вызов Руководства пользователя с подробным описанием всех модулей и поддерживаемых ими команд;

- кнопки строки управления:

-  – создание нового проекта;
-  – открытие сохраненного ранее проекта;
-  – сохранение текущего проекта;
-  – обновление рабочей области;
-  – закрыть проект;
-  – вырезать выбранный эксперимент;
-  – копировать выбранный проект;
-  – отмена предыдущего действия;
-  – вставить новый эксперимент (по сути эквивалентно добавлению);
-  – удалить выбранный эксперимент;
-  – добавить новый эксперимент;
-  – добавить диапазон значений параметров (серию экспериментов);
-  – визуализация результатов расчета выбранного узла;
-  – запуск расчета выделенного проекта или узла/узлов;
-  – прерывание расчета текущего проекта или узла/узлов;
-  – меняет способ отображения дерева – эксперименты располагаются по столбцам, а программные модули – строкам;
-  – вызов командной строки;
-  – вызов Руководства пользователя;