

Система приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD (Synopsys)



TCAD Sentaurus™

Framework	Process Simulation	Device Creation	Device Simulation
Sentaurus Workbench	Sentaurus Process	Sentaurus Structure Editor	Sentaurus Device
Calibration Kit	Advanced Calibration for Process Simulation	Sentaurus Mesh	Advanced Calibration for Device Simulation
Inspect	Sentaurus Interconnect		Compact Models
Ligament	Sentaurus Topography		Sentaurus Device
Optimizer	Sentaurus Topography 3D		Electromagnetic Wave Solver
Sentaurus Data Explorer			Sentaurus Device Monte Carlo Solvers
Sentaurus Visual			
Tecplot SV			
Utilities			

Tutorials

TCAD Sentaurus Tutorial
Tips & Tricks

References and Examples

Tecplot 360™ User's Manual
Tecplot 360™ Scripting Guide

Release Notes
SolvNet® Application Notes

Version J-2014.09

Основные этапы моделирования в TCAD:

реализуются из специальной оболочки управления проектом

==> ==> **Sentaurus Work Bench (SWB)**

1. Создание модели прибора

- расположение элементов конструкции
- задание материалов и их свойств

2. Технологическое моделирование

- моделирование (симуляция) технологических процессов изготовления заданной конструкции

3. Определение физических процессов и их математических описаний

- выбор методов решения уравнений
- задание сетки для моделирования

4. Визуализация и анализ результатов расчетов

Интерфейс программы SWB - оболочки управления проектом

The screenshot shows the SWB software interface. On the left is a project tree with the following structure:

- /home/DC/is09/tcad_work/STDB
 - 1DGS
 - andrew
 - cmos_inv_Pt
 - Ex_1
 - GaN1
 - GaN2
 - GavrilovFadeev_EEMO-0115
 - hydro
 - Kop_hydro
 - My_dir
 - tmp
- /grid/tools/synopsys/install/tcad_s
 - Analog
 - Backend
 - Bipolar
 - CMOS
 - FinFET
 - FTPApplicationNotes
 - GettingStarted
 - Hetero
 - HEMT_InGaAs
 - HFET_GaN_DC**
 - Memory
 - Opto
 - Power
 - Sensors
 - Solar
 - Templates
 - Variability

The main window displays a simulation table with the following data:

Step	Component	Parameter	Value	Component	Parameter	Value	Component	Parameter	Value	Component	Parameter	Value	Component	Parameter	Value	Component	Parameter	Value						
1	SDE	sde		SDEVICE	IdVg_ramp		SDEVICE	IdVd_0		SDEVICE	IdVd_1		SDEVICE	IdVd_2		SDEVICE	IdVd_3		SYISUAL	plot_IdVd		SDEVICE	IdVg_1	
		tAlGaN			xAlGaN																			
		[n1]: --		[n2]: 0.020		[n3]: 0.25		[n4]: --		[n5]: --		[n6]: --		[n7]: --		[n8]: --		[n9]: --		[n10]: --				

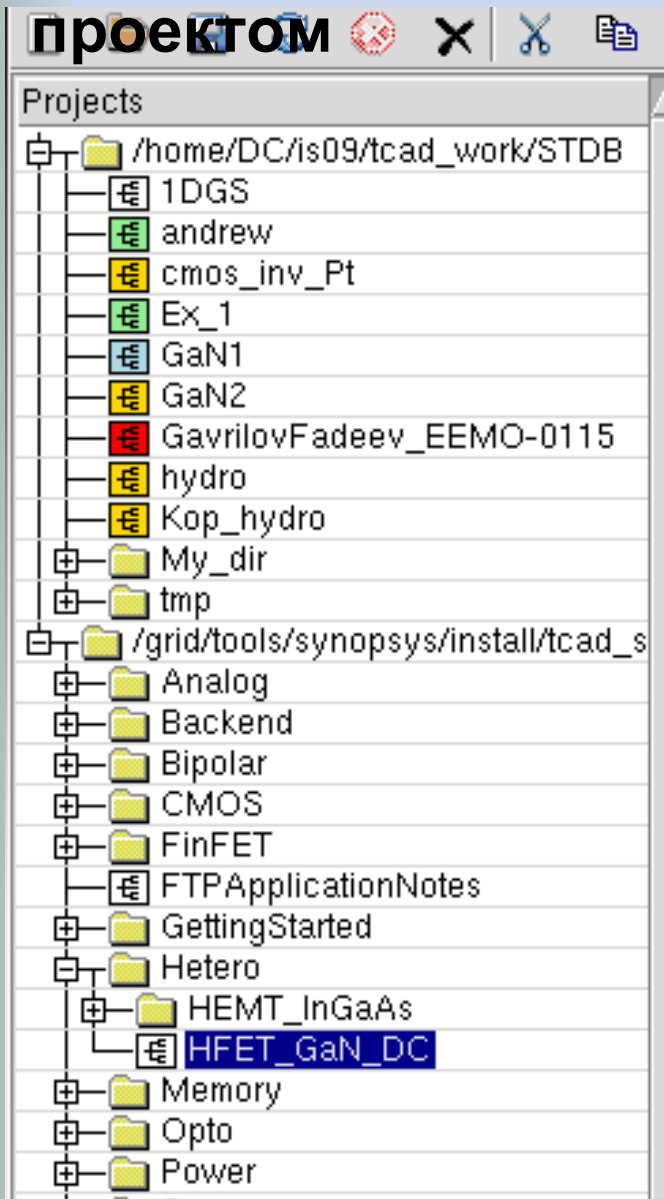
At the bottom of the interface, there is a status bar with the following labels: none, queued, ready, pending, running, done, failed, aborted, v.

NB. Весь проект моделирования представляет собой совокупность файлов, формирующих пакет потока моделирования образованного из:

- исполняемых командных файлов инструментов моделирования,
- исходных данных для командных файлов
- файлов с результатами моделирования

SWB – это графический интерфейс управления проектом

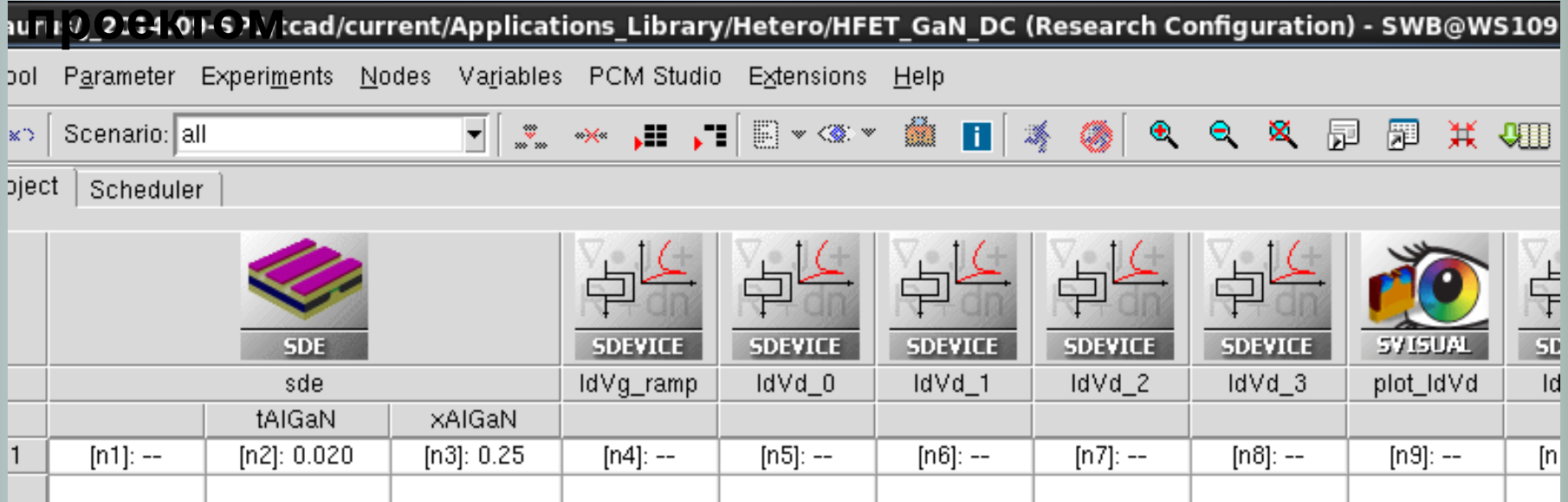
Интерфейс программы SWB - оболочки управления проектом



Элементы управления SWB:

- Проводник проектов и каталог библиотеки примеров проектов (вкладка слева Project)

Интерфейс программы SWB - оболочки управления



Элементы управления SWB:

- **Окно редактора проектов** (вкладки Prolect и Scheduler)

Редактор проекта - таблица, содержащая:

- имена командных файлов, содержащих макросы выполнения процедур инструментов

Интерфейс программы SWB - оболочки управления проектом

		
	SDE	SDEVICE
	sde	IdVg_ramp
	tAlGaN	xAlGaN

Элементы управления SWB:

Редактор проекта - таблица, содержащая:

- имена параметров, служащих входными и выходными данными для командных файлов.

Параметры, относящиеся к конкретному инструменту, образуют группу параметров данного инструмента:

в данном случае: – толщина **tAlGaN**

- молярная доля алюминия **xAlGaN**

Project Scheduler										
SDE			SDEVICE	SDEVICE	SDEVICE	SDEVICE	SDEVICE	SDEVICE	SVISUAL	SDEVICE
sde			IdVg_ramp	IdVd_0	IdVd_1	IdVd_2	IdVd_3	plot_IdVd	IdVg_1	
		tAlGaN	xAlGaN							
1	[n1]: --	[n2]: 0.020	[n3]: 0.25	[n4]: --	[n5]: --	[n6]: --	[n7]: --	[n8]: --	[n9]: --	[n10]: --

- строки таблицы составляют нумерованные ячейки, соответствующие каждому шагу маршрута (программного потока) моделирования, причем ячейки, расположенные в одной строке и принадлежащие группе параметров какого-либо инструмента содержат набор параметров данного инструмента

В ячейках указываются:

- значения параметров ,
- имена параметров

NB: варьирование результатов моделирования осуществляется как последовательным выполнением разных командных файлов так и одинаковых командных файлов с разными значениями входных параметров

- оригинальные коды командных файлов содержат **имена** (ссылки на значения) параметров
- каждый **выполняемый** командный файл должен содержать **значения** параметров

	sde		ldVg_ramp	ldVd_0	ldVd_1	ldVd_2	ldVd_3	
	tAlGaN	xAlGaN						
1	[n1]: --	[n2]: 0.020	[n3]: 0.25	[n4]: --	[n5]: --	[n6]: --	[n7]: --	[n8]: --

NB: варьирование результатов моделирования осуществляется как последовательным выполнением разных командных файлов так и одинаковых командных файлов с разными значениями входных параметров

-оригинальные коды командных файлов содержат **имена** (ссылки на значения) параметров

-каждый **выполняемый** командный файл должен содержать **значения** параметров, SWB на стадии предварительной подготовки (Preprosseeing) для каждой группы параметров создает свой командный файл, в котором имена параметров заменены их значениями. Соответственно, в названии этих командных файлов добавляется префикс вида **ppn**<номер_ячейки>.

Последняя ячейка в строке группы параметров инструмента – является выполняемой, остальные - виртуальными, поскольку их выполнение опирается на значения параметров, полученные ранее.

-ячейки одной строки формируют поток моделирования для определенного набора значений параметров, т.е. образуют в совокупности конкретный **эксперимент**

-каждый инструмент, у которого есть параметры может вызвать **ветвление** потока моделирования, подобное структуре генеалогического дерева

Создание потока инструментов моделирования **НОВОГО** проекта:

-Project >New>New Project

формирование служебных файлов проекта в папке проекта (по умолчанию в папке **STDB/tmp**).

Project >Save As

сохраняет предварительно выделенный проект с новым именем. Во всплывающем окне в поле **Selection** следует ввести новое имя как дополнение полного пути. После нажатия кнопки ОК в каталоге проектов должна появиться новая папка и откроется проект без инструментов моделирования

Обновление – команда **Refresh** из контекстного меню проводника проекта.

-Tool>Add

включение в проект инструментов моделирования.

В открывшемся окне **Add Tool** в списке **Name** выбрать требуемый инструмент, в строке **Run As** отметить режим работы (интерактивный или пакетный=Batch).

После щелчка на кнопке **Apply** в окне **SWB** в заголовке таблицы потоков инструментов появится пиктограмма выбранного инструмента и откроется новая вкладка **Add Tool**, в которой содержится информация о входных и выходных файлах инструмента. Нажатие на кнопку **OK** возвращает в главное окно проекта.

Add Tool [X]

Tool Properties | Input Files | Output Files

Name: sde [Tools...]

Label: sde_1

Binary: sde

Command Line:

Run As: batch interactive

Comment:

OK Apply Cancel

Создание потока инструментов моделирования **НОВОГО** проекта:

-Project >New>New Project

формирование служебных фалов проекта в папке проекта (по умолчанию в папке **STDB/tmp**).

Project >Save As

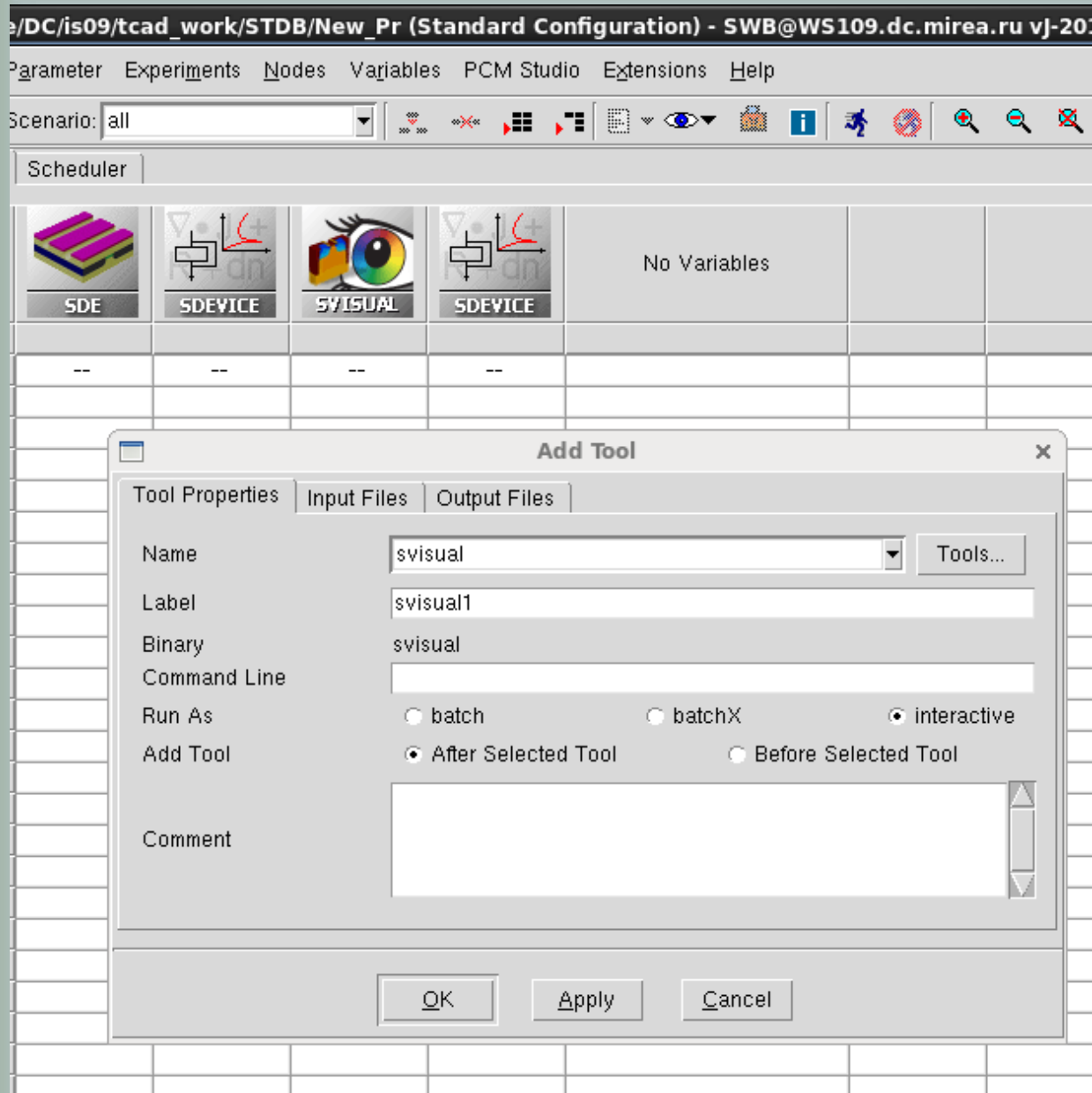
сохраняет предварительно выделенный проект с новым именем. Во всплывающем окне в поле **Selection** следует ввести новое имя как дополнение полного пути. После нажатия кнопки ОК в каталоге проектов должна появиться новая папка и откроется проект без инструментов моделирования

Обновление – команда **Refresh** из контекстного меню проводника проекта.

-Tool>Add

включение в проект инструментов моделирования.

В открывшемся окне **Add Tool** в списке **Name** выбрать требуемый инструмент, в строке **Run As** отметить режим работы (интерактивный или пакетный=Batch). После щелчка на кнопке **Apply** в окне **SWB** в заголовке таблицы потоков инструментов появится пиктограмма выбранного инструмента и откроется новая вкладка Add Tool, в которой содержится информация о входных и выходных фалах инструмента. Нажатие на кнопку **OK** возвращает в главное окно проекта.



включение в проект инструментов моделирования. В открывшемся окне **Add Tool** в списке **Name** выбрать требуемый инструмент, в строке **Run As** отметить режим работы (интерактивный или пакетный=Batch). После щелчка на кнопке **Apply** в окне **SWB** появится пиктограмма инструмента и откроется новая вкладка Add Tool, в которой содержится информация о входных и выходных фалах инструмента. Нажатие на кнопку **OK** возвращает в главное окно проекта

Основные файлы проекта:

-.log – ход выполнения инструментов

-.cmd –

-.plt –

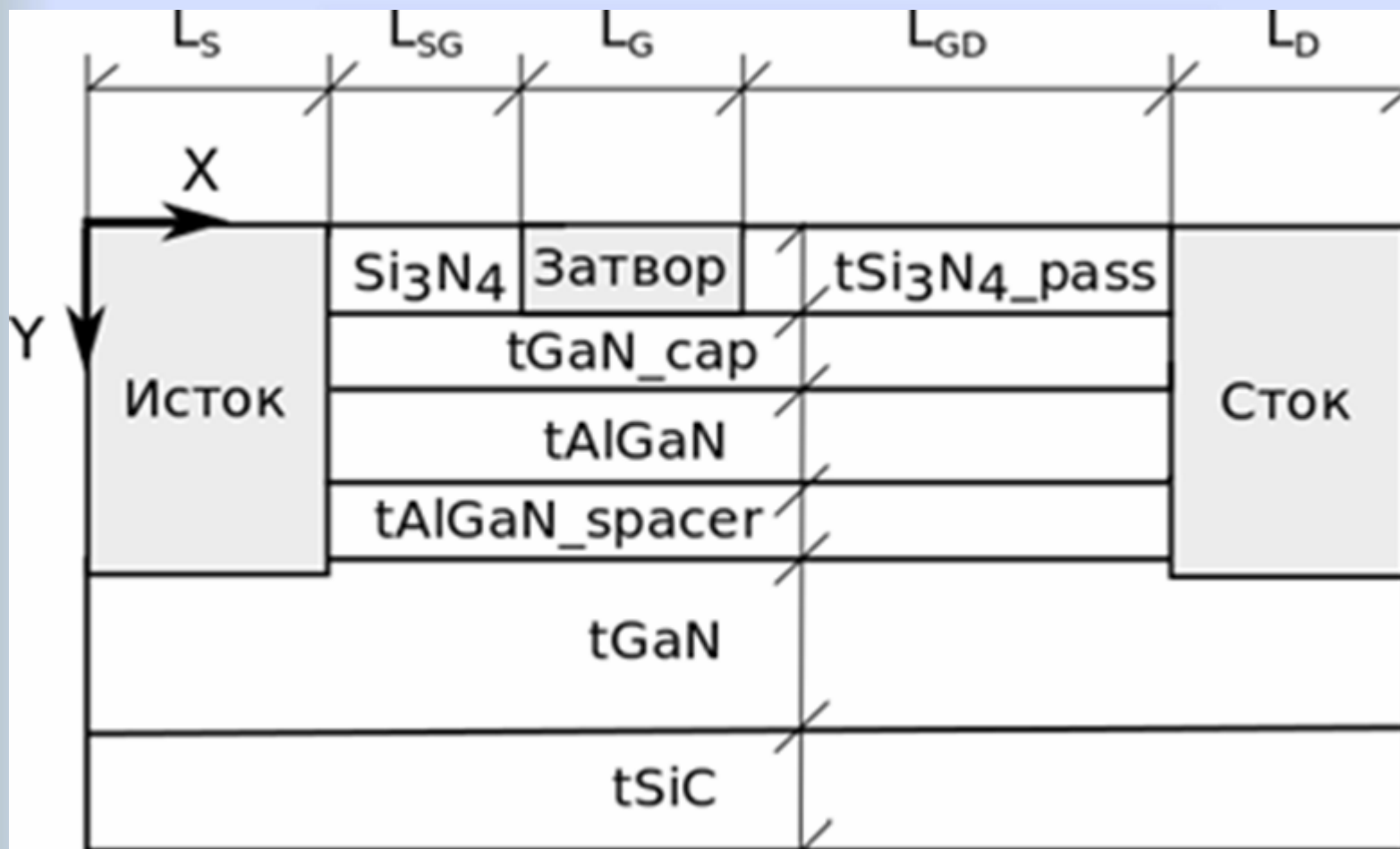
-.err-

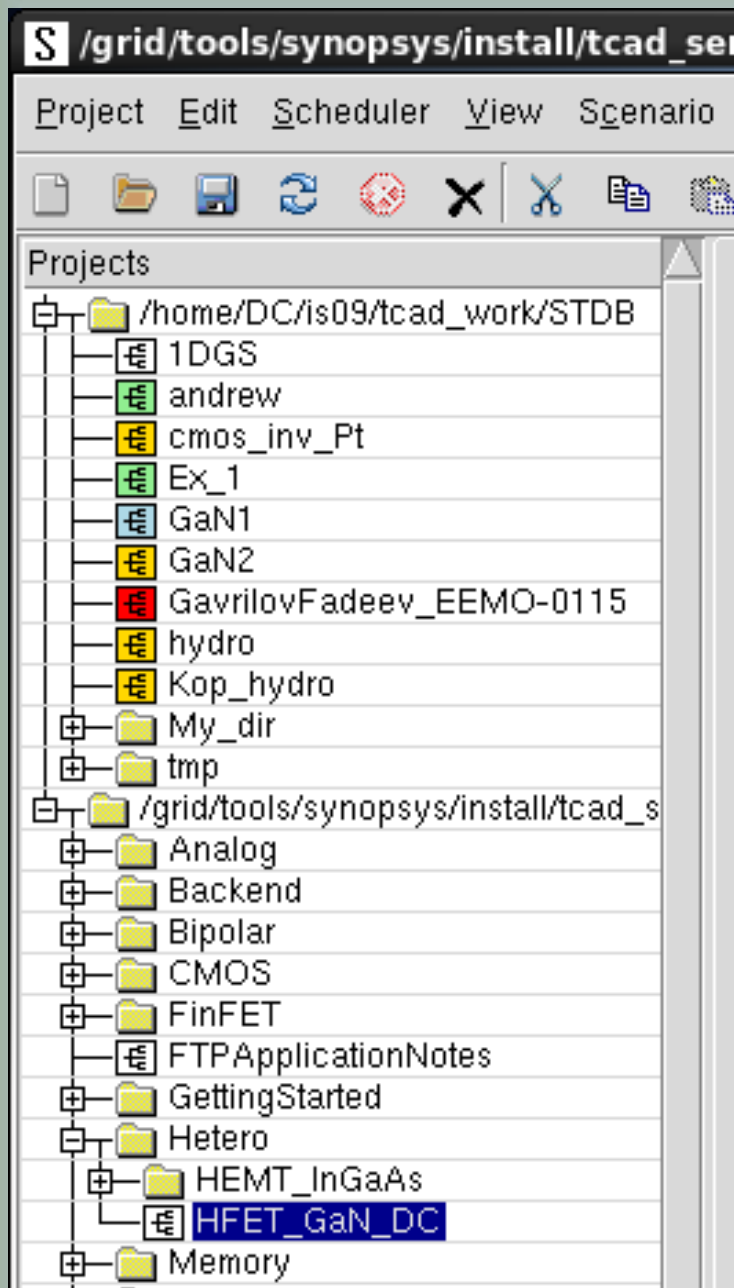
-.*

Name	Size	Type
n4_1_des.tdr	2.9 MB	unknown
n4_2_circuit_des.sav	306 bytes	SPSS Data File
n4_2_des.tdr	3.3 MB	unknown
n4_3_circuit_des.sav	306 bytes	SPSS Data File
n4_3_des.tdr	3.3 MB	unknown
n4_des.err	4.6 KB	plain text document
n4_des.job	3.6 KB	plain text document
n4_des.log	138.4 KB	application log
n4_des.out	138.5 KB	plain text document
n4_des.sta	56 bytes	plain text document
n4_des.tdr	3.3 MB	unknown
n4_local.err	0 bytes	plain text document
n4_n_n4_des.plt	8.6 KB	plain text document
n4_np_min_0_des.tdr	429.4 KB	unknown
n4_np_min_1_des.tdr	427.6 KB	unknown
n4_np_min_2_des.tdr	949.1 KB	unknown
n4_np_min_3_des.tdr	949.2 KB	unknown
n4_np_min_15_des.tdr	948.3 KB	unknown
n4_p_n4_des.plt	9.1 KB	plain text document

Пример проекта (основа для выполнения практического задания)

Модель конструкции полевого транзистора с каналом двумерного электронного газа на границе барьерного AlGaN и буферного GaN слоев





Скопировать в свою папку проектов проект из библиотеки примеров:

Выделить проект
Hetero/HFET_GaN_DC:

В контекстном меню выбрать

Project>Save As>Clean Project

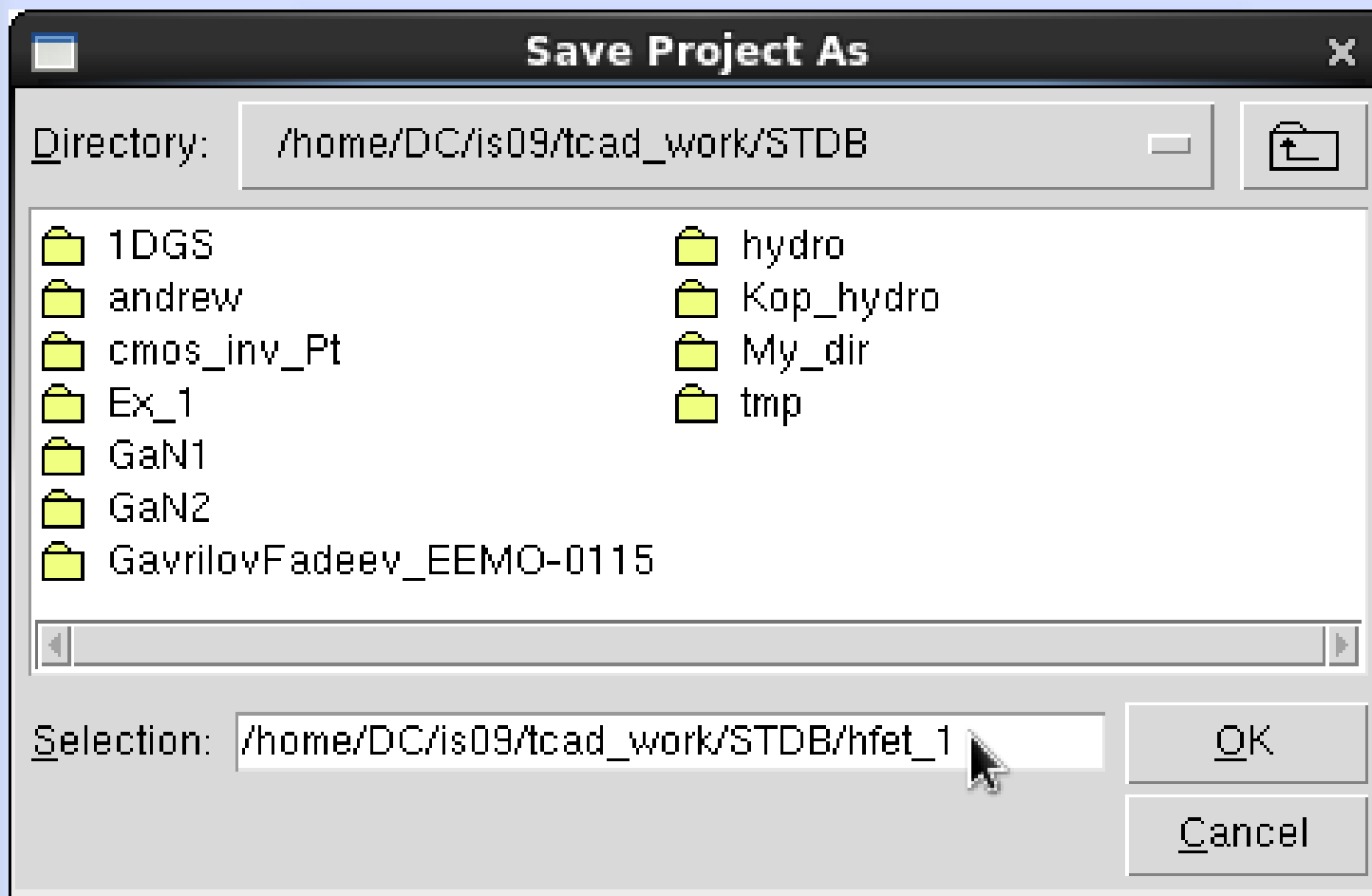
В поле **Selection** ввести новое имя проекта
пусть это будет

hfet_1,

полный путь к папке проекта должен иметь вид:

/home/DC/is.../tcad_work/STDB/h_fet_1

Нажать OK и убедиться, что в папке и в редакторе открылся сохраненный проект (возможно, потребуется функция **Refresh**)



Открытый проект запускается из главного меню **SWB** командой

Project>Operation>Run

при этом началу выполнения предшествует этап предварительной подготовки выполняемых файлов (Preprocess), который может вызываться явно:

Project>Operation> Preprocess

иначе из контекстного меню:

Project => Preprocess => Run

О выполнении предварительной подготовки сообщает открывшееся окно **Preprocessor Log**

```
Preprocessor Log /home/DC/is09/tcad_work/STDB/hfet_1
/home/DC/is09/tcad_work/STDB/hfet_1/preprocessor.log
-Parameter substitution: '@tAlGaN@' has been replaced by 'U.U2U'
-Parameter substitution: '@node|IdVg_2@' has been replaced by '11'
-Parameter substitution: '@node|IdVg_1@' has been replaced by '10'
+++Preprocessed file written to /home/home_export_xlmg/is1/is09/tcad_work/STDB/hfet_1/pp12_vis.cmd
-Parameter substitution: '@commands@' has been replaced by 'pp12_vis.cmd'
-Parameter substitution: '@node@' has been replaced by '12'
-Parameter substitution: '@pwd@' has been replaced by '/home/home_export_xlmg/is1/is09/tcad_work/STDB/hfet_1'
-Parameter substitution: '@node@' has been replaced by '12'
cmd_line:n12_vis.tcl
-Parameter substitution: '@stdout@' has been replaced by 'n12_vis.out'
-Parameter substitution: '@node@' has been replaced by '12'
post_tcl_cmd: extract_vars "$wdir" n12_vis.out 12
The node '12' has dependencies to the node(s) '10 11'
Writing 'gexec.cmd'
saving variables
PREPROCESSING FINISHED, Sat Mar 26 16:21:01 2016
STATUS: Ok
Processing time = 0 s
```

О выполнении предварительной подготовки сообщает окно **Preprocessor Log**

Close

Ход процесса моделирования отображает:

-цветовая окраска ячеек таблицы проекта

-дополняемый новыми записями по ходу выполнения проекта файл *.log

The screenshot shows a software window titled "me/DC/is09/tcad_work/STDB/hfet_1 (Research Configuration) - SWB@WS109.dc.mirea.ru vj-2014.09". The interface includes a menu bar (Parameter, Experiments, Nodes, Variables, PCM Studio, Extensions, Help) and a toolbar with various icons. Below the toolbar is a "Scheduler" section containing a table of tasks and their status.

sde		IdVg_ramp	IdVd_0	IdVd_1	IdVd_2	IdVd_3	plot_IdVd	IdVg_1	IdVg_2	plot_IdVg	
tAlGaN	xAlGaN										
[n1]: --	[n2]: 0.020	[n3]: 0.25	[n4]: --	[n5]: --	[n6]: --	[n7]: --	[n8]: --	[n9]: --	[n10]: --	[n11]: --	[n12]: --

Below the table is a legend for task statuses:

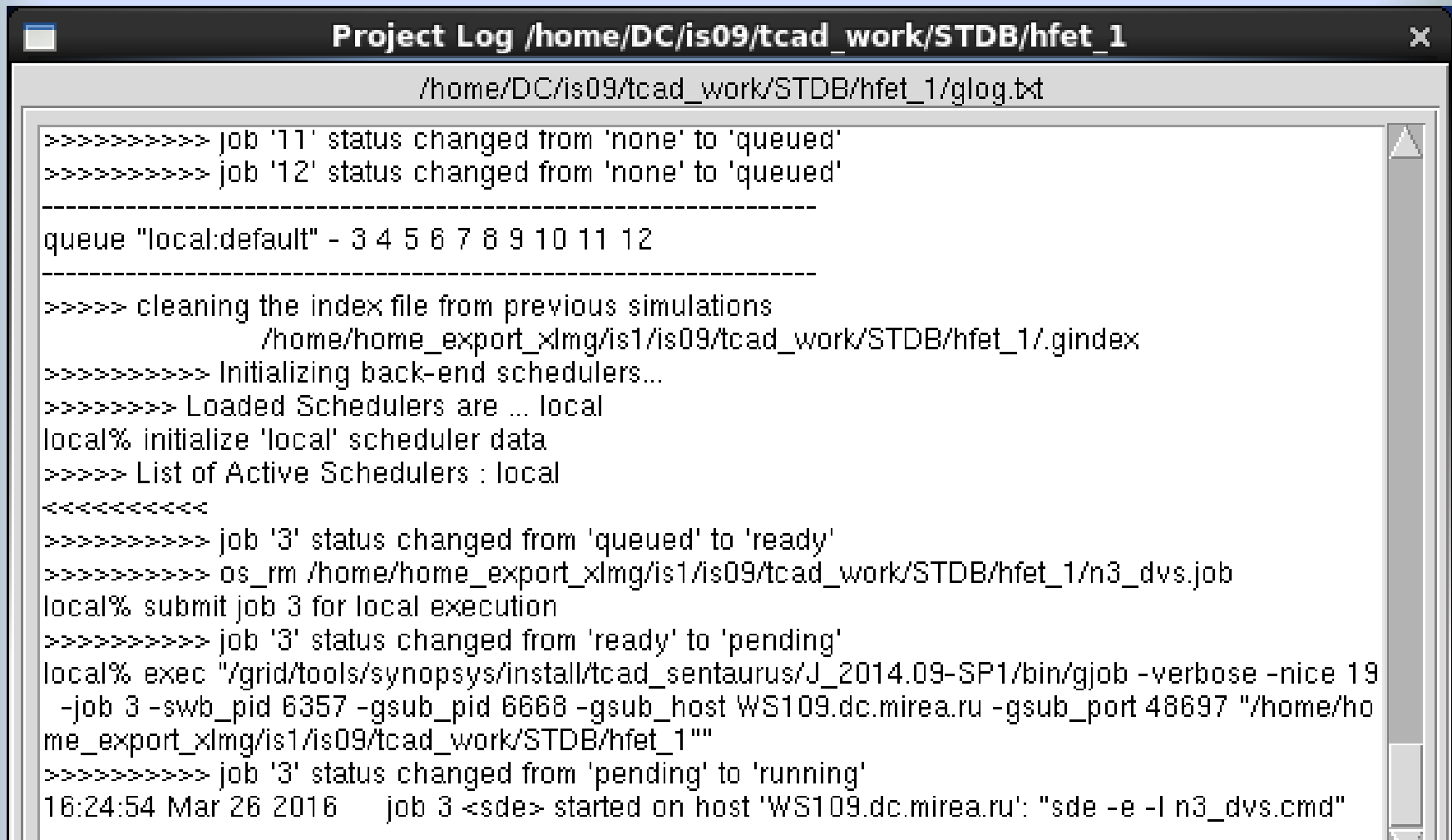
none	queued	ready	pending	running	done	failed	aborted	virtual	pruned	orphan	folded
------	--------	-------	---------	---------	------	--------	---------	---------	--------	--------	--------

Ход процесса моделирования отображает:

-цветовая окраска ячеек таблицы проекта

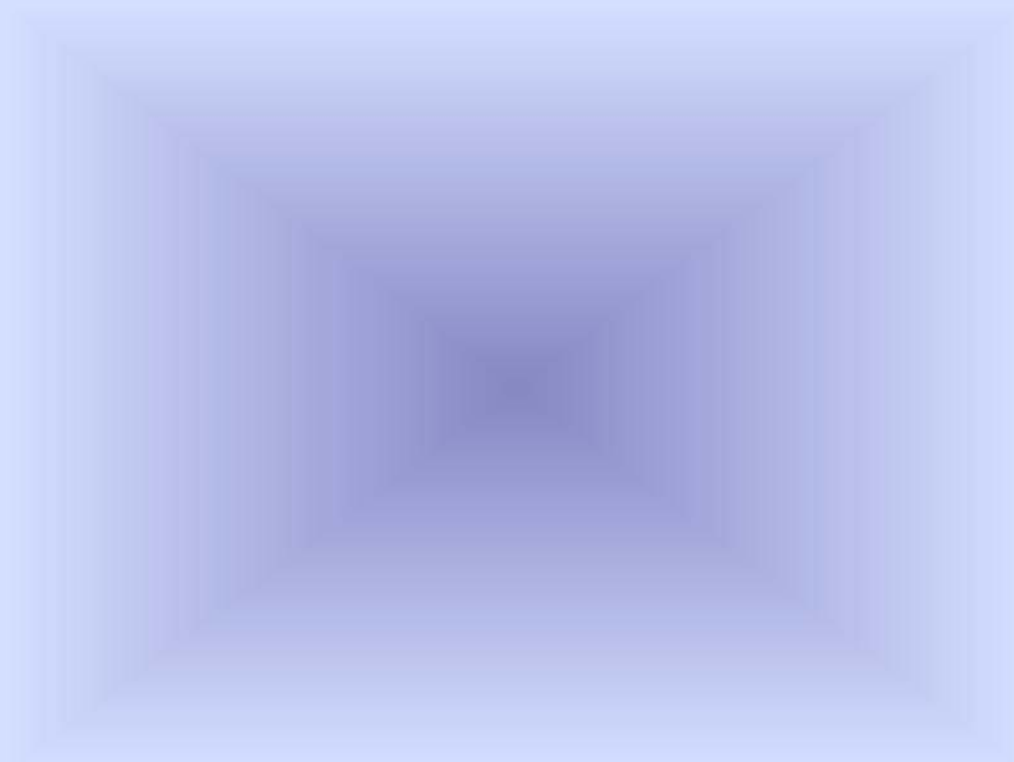
-дополняемый новыми записями по ходу выполнения проекта файл

glog.log



```
Project Log /home/DC/is09/tcad_work/STDB/hfet_1
/home/DC/is09/tcad_work/STDB/hfet_1/glog.txt
>>>>>>>> job '11' status changed from 'none' to 'queued'
>>>>>>>> job '12' status changed from 'none' to 'queued'
-----
queue "local:default" - 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
-----
>>>>> cleaning the index file from previous simulations
        /home/home_export_xlmg/is1/is09/tcad_work/STDB/hfet_1/gindex
>>>>>>>> Initializing back-end schedulers...
>>>>>>>> Loaded Schedulers are ... local
local% initialize 'local' scheduler data
>>>>> List of Active Schedulers : local
<<<<<<<<<
>>>>>>>> job '3' status changed from 'queued' to 'ready'
>>>>>>>> os_rm /home/home_export_xlmg/is1/is09/tcad_work/STDB/hfet_1/n3_dvs.job
local% submit job 3 for local execution
>>>>>>>> job '3' status changed from 'ready' to 'pending'
local% exec "/grid/tools/synopsys/install/tcad_sentauros/J_2014.09-SP1/bin/gjob -verbose -nice 19
        -job 3 -swb_pid 6357 -gsub_pid 6668 -gsub_host WS109.dc.mirea.ru -gsub_port 48697 "/home/home_export_xlmg/is1/is09/tcad_work/STDB/hfet_1""
>>>>>>>> job '3' status changed from 'pending' to 'running'
16:24:54 Mar 26 2016    job 3 <sde> started on host 'WS109.dc.mirea.ru': "sde -e -l n3_dvs.cmd"
```

Основные файлы проекта:



Основные файлы проекта

1. Командный файл для редактора структуры SDE:

- расположения областей элементов конструкции и их материалы
- профиль легирования
- электроды
- правила формирования расчетной сетки

Пример из данного проекта:

Файл

sde_dvs.cmd

см. папку

/home/DC/is.../tcad_work/STDB/h_fet_1


```

;Definitions --- Это комментарий
; геометрические размеры - в микрометрах
; концентрации - в 1/см3

(define tSiN_passivation 0.05)
(define tGaN_cap 0.003)
(define NGaN_cap 5E18)
(define tAlGaN_spacer 0.002)
(define tAlGaN @tAlGaN@)
(define NAlGaN 2E18)
(define xAlGaN @xAlGaN@)
(define tGaN_channel 2.0)
(define NGaN_channel 1E15)
(define tSiC 0.01)
(define Lsg 1.0)
(define Lgd 3.0)
(define Lg 0.8)
(define Ls 0.5)
(define Ld 0.5)
; NAlGaN - концентрация легирующей примеси
; xAlGaN - мольная доля Al в барьерном слое

```

Фрагмент 1

имена и значения параметров

Запись @tAlGaN@ означает @-ссылку, т.е. ссылку на имя параметра, который при генерации выполняемого файла будет заменен значением

Фрагмент 2 имена элементов структуры моделируемого прибора и координаты характерных точек для задания областей элементов

конструкции

```
(define Ytop 0.0)
(define Y0_SiN_passivation Ytop)
(define Y0_GaN_cap (+ Y0_SiN_passivation tSiN_passivation))
(define Y0_AlGaN_barrier (+ Y0_GaN_cap tGaN_cap))
(define Y0_GaN_channel (+ Y0_AlGaN_barrier tAlGaN))
(define Y0_AlGaN_spacer (- Y0_GaN_channel tAlGaN_spacer))
(define Y0_SiC_substrate (+ Y0_GaN_channel tGaN_channel))
(define Ybot (+ Y0_SiC_substrate tSiC))
(define Xmin 0)
(define Xmax (+ Ls Lsg Lg Lgd Ld))
(define Xsrc Ls)
(define Xgt.l (+ Xsrc Lsg))
(define Xgt.r (+ Xgt.l Lg))
(define Xdrn (+ Xgt.r Lgd))
```

В описании исп-ся предварительно определенные операнды (например, **Y0_AlGaN_barrier**) и префиксная форма записи арифметических выражений

Ytop, Ybot, Xmin, Xmax – определяют границы области моделирования

Различаются три типа областей:

- Region – область для которой заданы расположение, размер и материал
- Material – область, из нескольких Region, с одинаковым материалом
- Refinement/EvaluationWindow – область построения сетки для расчетов

Команда, определяющая область с именем **Y0_AlGaN_barrier**:

```
( sdegeo: create-rectangle ; прямоугольная область
  (position 0 Y0_AlGaN_barrier 0) ; координаты диагональных
  (position Xmax Y0_AlGaN_spacer 0) ; углов
  "AlGaN" ; материал области
  ; название материала д.б. выбрано из встроенной в Sentaurus
  ; базы данных DATEXMAT
  "AlGaN_barrier" ) ; присваиваемое имя
```

Команда, определяющая профиль однородного легирования:

```
(sdedr:define-constant-profile  
"ndop_AlGaN_barrier_const" ; имя области  
"ArsenicActiveConcentration" ; тип примеси, ключевое  
                                ; слово, обозначает примесь  
                                ; донорного типа (As)  
NAlGaN) ; определенная выше константа, задающая  
          ; значение концентрации
```

Команда, формирующая профиль легирования в области типа Region:

```
(sdedr:define-constant-profile-region  
"ndop_AlGaN_barrier_const" ; имя размещения  
"ndop_AlGaN_barrier_const" ; профиль легирования  
"AlGaN_barrier") ; тип области
```

Команды, определяющая профиль мольного состава и его размещение (аналогичны предыдущим)

```
(sdedr:define-constant-profile  
"xmole_AlGaN_barrier_const"  
"xMoleFraction"  
xAlGaN)
```

```
(sdedr:define-constant-profile-region  
"xmole_AlGaN_barrier_const"  
"xmole_AlGaN_barrier_const"  
"AlGaN_barrier")
```

Команды установки контактов:

```
(sdegeo:define-contact-set "drain")  
; объявление имени контакта, здесь - drain  
(sdegeo:set-current-contact-set "drain")  
; объявление контакта активным, т.е. к нему м.б.  
; приложено напряжение  
(sdegeo:set-contact-boundary-edges drn.metal)  
; определение положения электрода на поверхности  
; ранее определенной области здесь - drn.metal  
(sdegeo:delete-region drn.metal)  
; удаляет объем контактной области
```

Команды установки контактов заменяют объемную контактную область участками поверхности полупроводниковой структуры, граничащими с контактной областью

Команда, задающая имя области разбиения и максимальные минимальные размеры ячеек сетки для расчетов по координатным осям :

```
(sdedr:define-refinement-size  
"Ref.AlGaN_barrier"  
99 0.002 66 0.001)
```

Команда размещает область разбиения (второй аргумент) в области типа Region (третий аргумент).

Имя размещения (первый аргумент) здесь совпадает с именем области разбиения

```
(sdedr:define-refinement-region  
"Ref.AlGaN_barrier" ; имя размещения  
"Ref.AlGaN_barrier" ; область разбиения  
"AlGaN_barrier" ) ; имя области
```

Команды, задающие области разбиения и параметры расчетных сеток
Refinement/EvaluationWindow:

```
(sdedr:define-refinement-window  
"Pl.global" ; имя глобальной сетки  
"Rectangle" ; тип разбиения  
(position 0 Ytop 0) ; геометрические размеры  
(position Xmax Ybot 0))
```

```
(sdedr:define-refinement-size  
"Ref.global" ; имя  
(/ Xmax 16) ; параметры сетки: начальный шаг разбиения по X  
(/ Ybot 16) ; начальный шаг разбиения по Y  
0.002 ; минимальный шаг разбиения по X при измельчении сетки  
0.002) ; минимальный шаг разбиения по Y при измельчении сетки
```

```
sdedr:define-refinement-placement  
"Ref.global" ; имя расположения  
"Ref.global" ; используемая сетка  
"Pl.global") ; область, в которой сетка размещена
```


Команды, задающие области разбиения и параметры расчетных сеток
Refinement/EvaluationWindow:

```
(sdedr:define-refinement-function  
"Ref.global"  
"DopingConcentration" ; критерий измельчения сетки:  
"MaxTransDiff" 1) ; различие концентрации примеси  
; в соседних ячейках сетки на 1
```

```
(sdedr:define-refinement-function  
"Ref.global"  
"MaxLenInt" ; в нормальном направлении к границе  
"GaN" ; в материале GaN  
"Nitride" ; возле границы материалов GaN/Nitride  
0.0005 ; первый шаг сетки (0.0005)  
1.8) ; коэффициент увеличения следующего шага
```

```
(sdedr:define-refinement-function "Ref.global" "MaxLenInt"  
"GaN" "AlGaN" 0.0004 1.8 "DoubleSide")  
; аналогично предыдущей, но сетка создается по обе  
; стороны границы GaN/AlGaN.
```

В областях, оказывающих существенное влияние на характеристики прибора, требуется мелкая сетка. Поэтому кроме глобальной определяются дополнительные области Refinement/Evaluation Window.

Примером может служить область, расположенная на части буферного слоя, в которой находится двумерный канал транзистора.

```
(sdedr:define-refinement-window
"Pl.channel" ; размер рассматриваемой области "Rectangle"
(position Xgt.l Ytop 0) ; по вертикальной оси Y
(position Xgt.r (+ Y0_GaN_channel 0.1) 0)); равен 0,1 мкм

(sdedr:define-refinement-size
"Ref.channel" (/ Lg 8) 99 0.004 66); большие числа,
; определяющие шаги разбиения по оси Y
; предполагают отсутствие разбиения по вертикали

(sdedr:define-refinement-placement "Ref.channel" "Ref.channel"
"Pl.channel")

(sdedr:define-refinement-function "Ref.channel" "MaxLenInt"
"GaN" "" 0.0005 1.8); мелкий шаг по Y.
```

Команды определения и размещения областей с помощью автоматически вызываемого модуля генерации сетки **Smesh** обеспечивают:

- построение сетки,
- вычисление распределения легирующей примеси во всех областях домена.

Вызов генерации сетки **Smesh** производится командой

```
;-----  
(sde:build-mesh "snmesh" "-H" "n@node@")  
;-----
```

которой заканчивается командный файл (см. файл **sde_dvs.txt**).

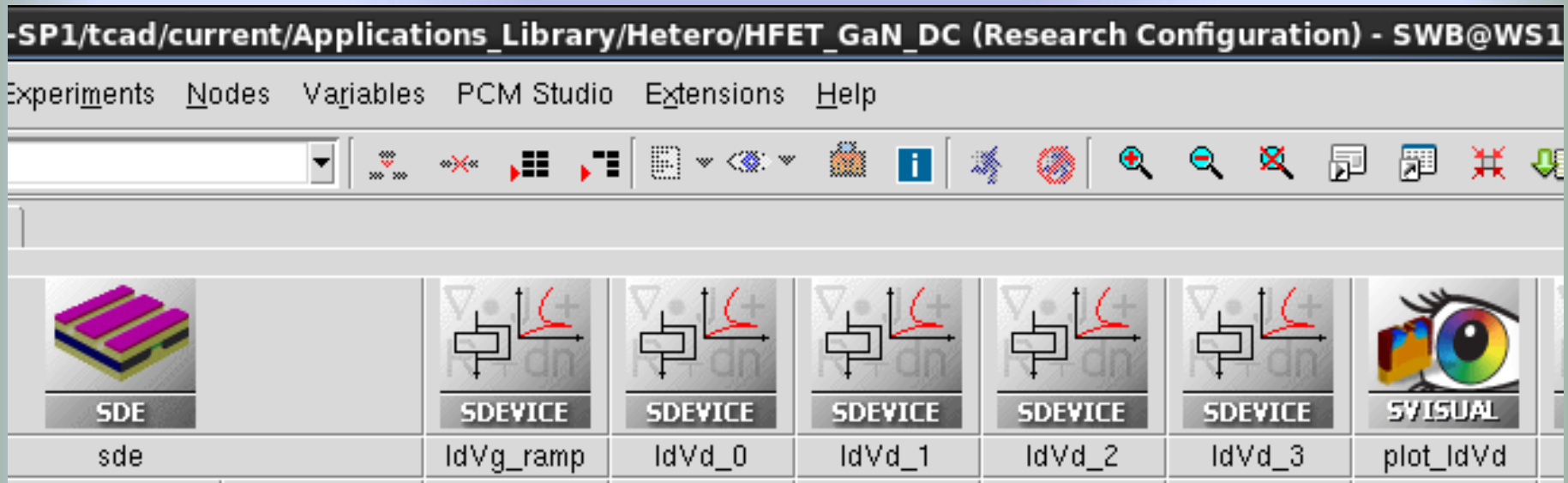
В результате работы **SDE** создается двоичный файл с именем

***_msh.tdr,**

являющийся **входным** файлом данных для приборного моделирования в **SDevice**.

Командные файлы для моделирования характеристик прибора в **Sdevice**

NB: Каждому обращению (вызову) инструмента Sdevice должен соответствовать *свой* подготовленный пользователем командный файл с именем, показываемом в строке под строкой со значками инструментов (см. рис..



Языком программирования этих файлов является расширенный интерпретационный язык **Tools Control Language (Tcl)**.

Командные файлы **SDevice** могут содержать общую часть, которая выделяется в отдельный файл, загружаемый при запуске инструмента.

Общая часть командных файлов

Пример: содержание секций общей части командных файлов (**common_des.cmd**).

Командный файл должен содержать команды, сгруппированные в ряд predetermined секций. В секции **Electrode** для каждого контакта указывается его имя; переменная, определяющая граничное условие на контакте; начальное значение этой переменной; тип контакта и дополнительные параметры.

```
Electrode      {  
    { Name="gate"      Voltage= 0 Schottky Workfunction= 4.4 }  
; на контакте затвора задается потенциал с нулевым начальным значением,  
; тип контакта – барьер Шоттки с высотой барьера, определяемой величинами  
; работ выхода полупроводника и материала контакта к нему  
    { Name="source" Voltage= 0 EqOhmic }  
; тип контакта определен как эквивалентный омическому контакту  
    { Name="drain"   Voltage= 0 EqOhmic }  
; это контакт Шоттки с высокой туннельной прозрачностью барьера  
}
```

В секции **File** указываются используемые входные и создаваемые выходные файлы данных. Параметры команд - @-ссылки, распознаваемые в **SWB**:

```
File {
  Grid= "@tdr@"
  Parameter= "@parameter@"
  Current= "@plot@"
  Plot= "@tdrdat@"
  Output= "@log@"
  NewtonPlot= "n@node@_np_%d_%d_des.tdr"
}
```

"@tdr@" - указывает на файл данных, созданный в предыдущей ячейке (или другой адресуемой ячейке), и уже находящийся в рабочей папке.

"@parameter@" - указывает на автоматически создаваемый файл параметров материалов, названных в файле входных данных.

Current "@plot@" команда создания файлов данных *.**plt** для двумерных зависимостей (например, **VAX**), если это предусмотрено в командном файле;

По команде **Plot** создаются файлы данных типа ..._**des.tdr**, содержащие значения всех переменных в системе уравнений задачи во всех узлах расчетной сетки. В случае двумерной модели прибора данные *.**tdr** – файлов представляют поверхности рассчитываемых переменных.

Команды секции **Physics**:

вызывают модули программ, описывающих модели физических процессов, которые дополняют или уточняют принятые по умолчанию описания.

Physics {

AreaFactor= 1000

Mobility (DopingDependence Highfieldsaturation)

; модель подвижности носителей зарядов должна учитывать её зависимость от концентрации примеси,

EffectiveIntrinsicDensity (Nobandgapnarrowing)

; эффективная плотность электронных состояний не учитывает эффект уменьшения ширины запрещенной зоны

Fermi

; применяется статистика Ферми

Recombination(SRH)

; рекомбинация описывается моделью Шокли-Рида-Холла

Piezoelectric_Polarization (strain(GateDependent))

; вызывает модуль физической модели поляризации в материалах AlGa_N и GaN с кристаллической структурой типа вюрцита

Aniso(Poisson direction=(0, 0, 1))

; направление оси поляризации по нормали к слоям структуры

Thermionic

; термоэмиссионный перенос электронов через потенциальный барьер

DefaultParametersFromFile

} 2016 - Моделирование микро- и наносистем. Лекция 4. Кафедра нанозлектроники . Доц. Е.Ф.Певцов

Дополнительные секции Physics:

```
Physics (MaterialInterface="GaN/Nitride")
{
Traps (
(Donor Level Conc= 5e13 EnergyMid= 0.4 FromMidBandGap)
)
}
```

характеризует границу раздела слоев из материалов GaN и Nitride. Команда **Traps** указывает на присутствие на границе глубоких электронных ловушек донорного типа с высокой поверхностной концентрацией. Такие ловушки фиксируют положение энергии Ферми на границе, делая задачу более определенной.

```
Physics (MaterialInterface="GaN/Oxide")
{
PiezoElectric_Polarization(activation= 0)
}
```

деактивирует (делает нулевым) поляризационный заряд на границе буферного слоя GaN с подложкой, которая была объявлена как **Oxide** в командном файле **SDE**.

В секции **Plot** указываются имена переменных, значения которых, вычисленные в каждом узле сетки, записываются в выходной файл данных для последующего анализа:

```
Plot {
    Electricfield/Vector
    eCurrent/Vector hCurrent/Vector TotalCurrent/Vector
    .
    .; ДРУГИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ
    .
    PE_Polarization/Vector
    PE_Charge
}
```

NB: Моделирование приборов на основе широкозонных полупроводников предъявляет повышенные требования к точности вычислений. Точность и достоверность получаемых результатов достигаются за счет увеличения разрядности числовых данных, а также контроля ошибок и сходимости решения. Параметры вычислительных процедур устанавливаются в секции **Math** командного файла (см. **common_des.txt**). Команды

```
CNormPrint
NewtonPlot (Error MinError Residual)
```

записывают файл с данными контроля ошибок вычислений, открытый в секции **File**.