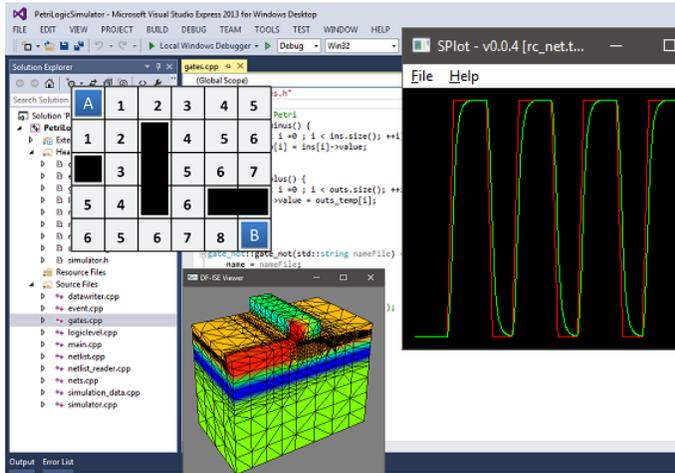




Программные средства САПР



Лекция 6

Этап проектирования топологии

Часть 1

Топологический этап проектирования

Системный



Микросхемный



Регистровый



Логический



Схемотехнический



Топологический



Компонентный

Компонентный



Схемотехнический



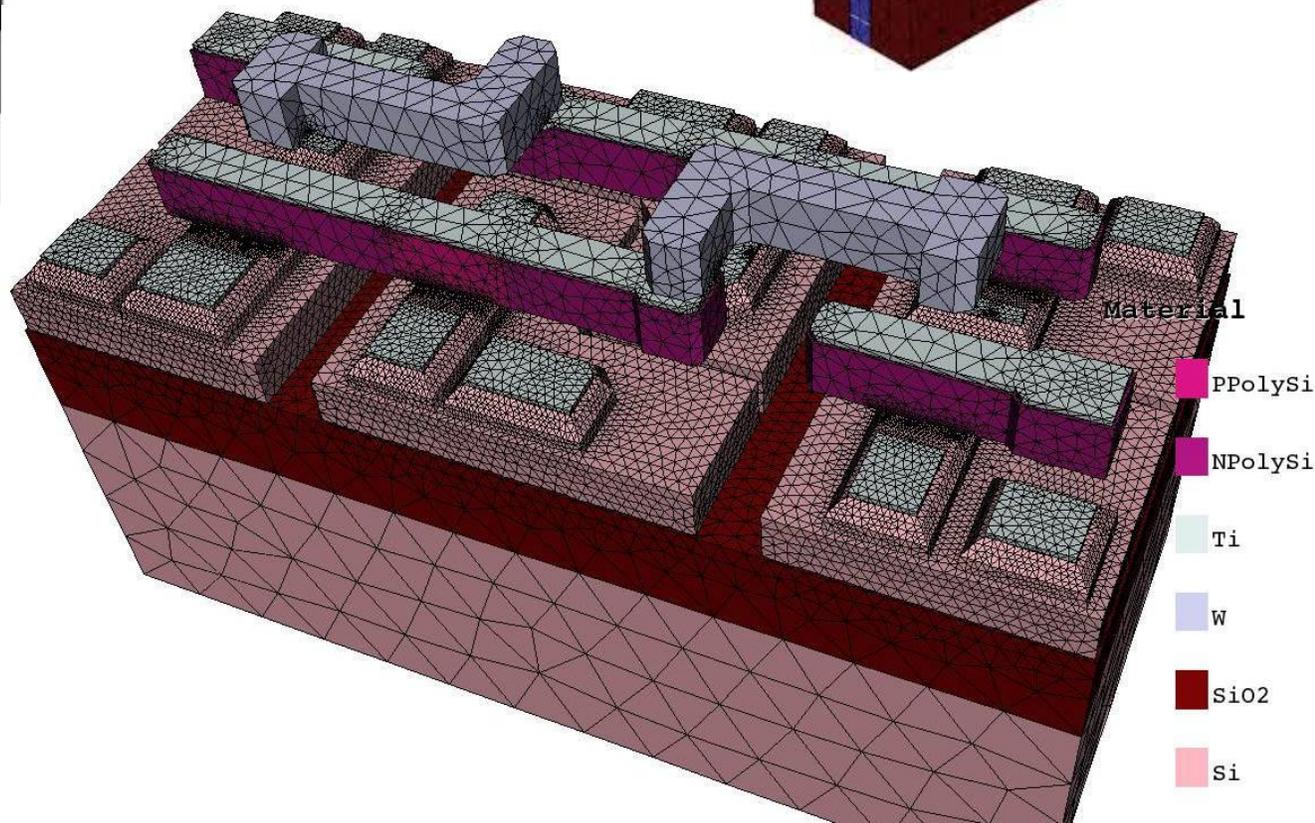
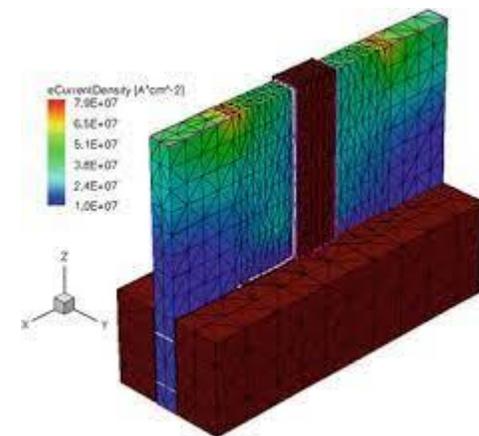
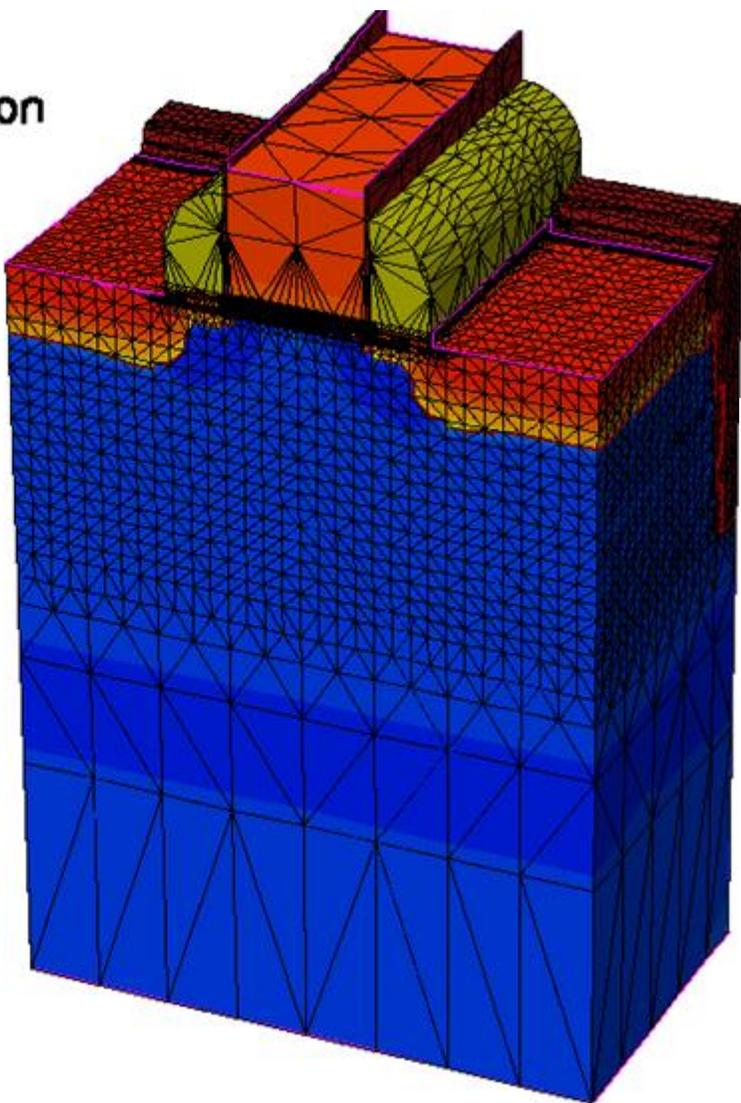
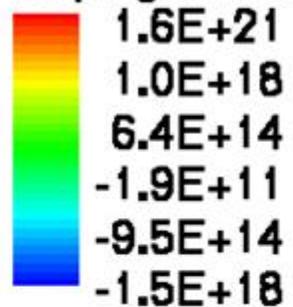
Логический



Топологический

Технологическая САПР (TCAD)

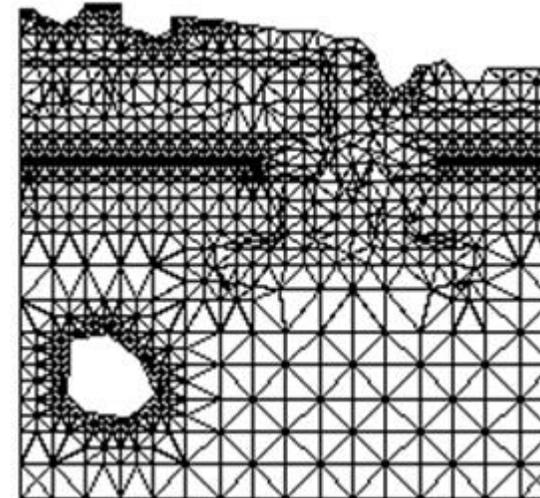
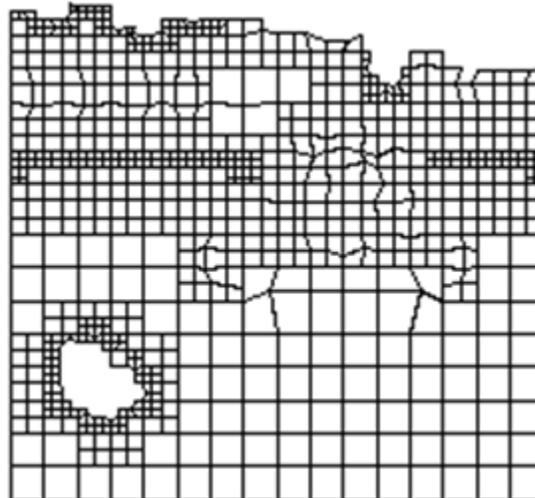
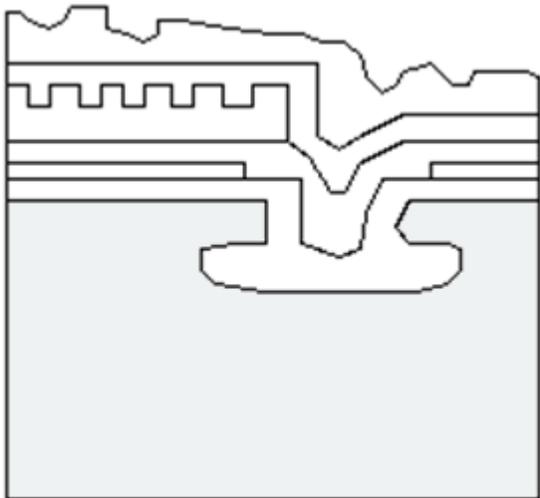
Doping Concentration



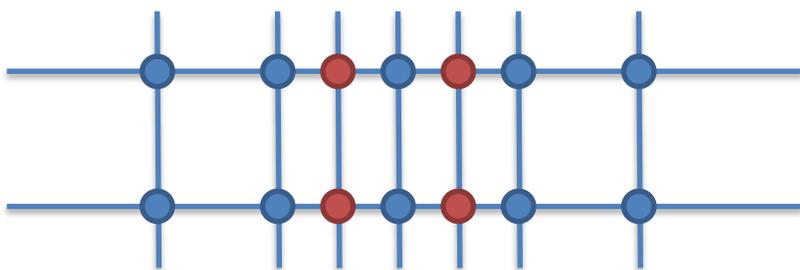
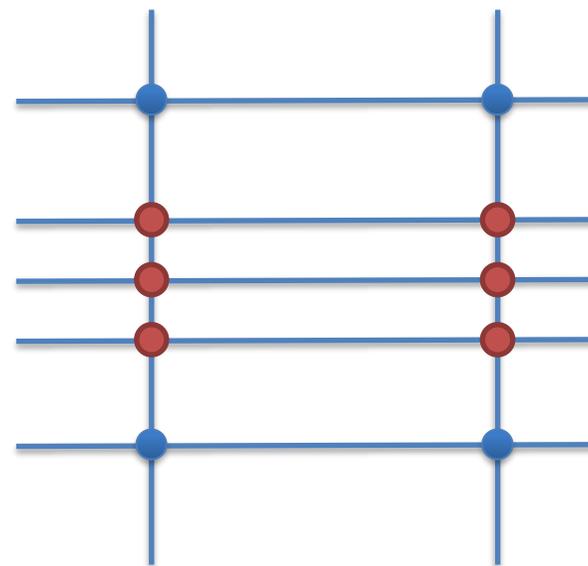
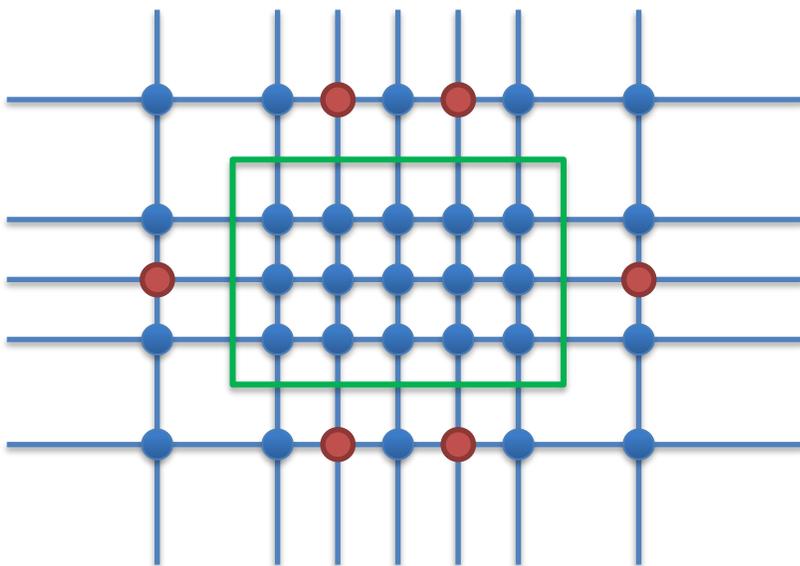
Компонентное проектирование: ввод данных (2)

Ввод данных:

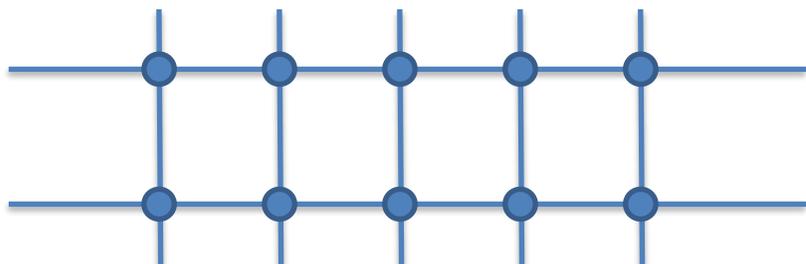
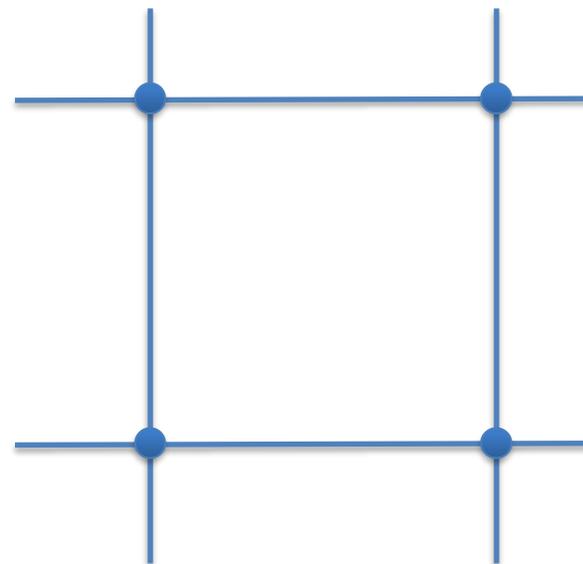
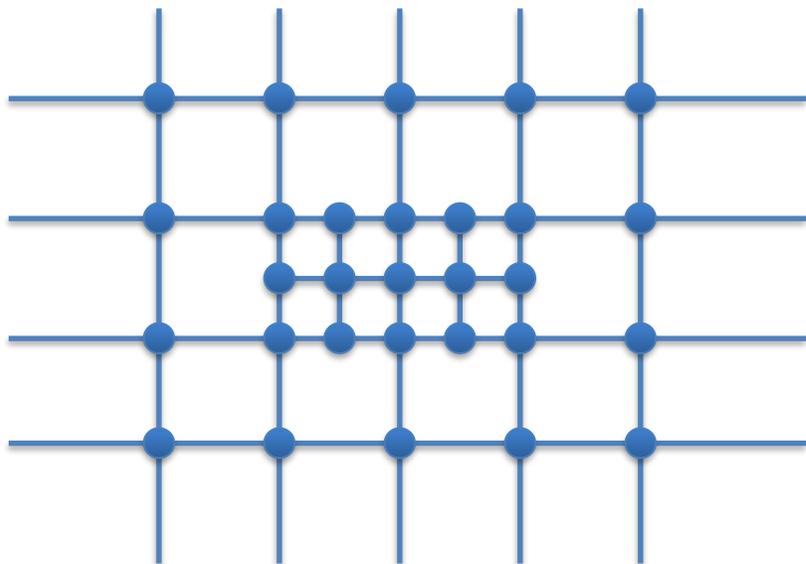
1. создание п/п структур в «конструкторе»
2. генерация сетки (grid, mesh) устройства



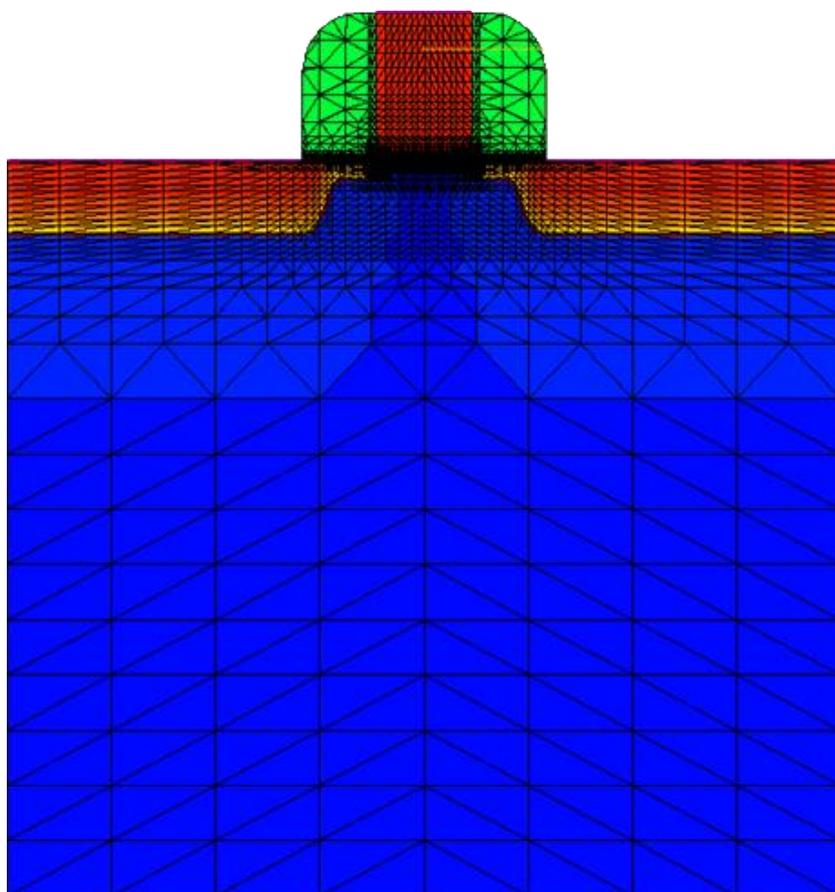
Построение регулярной сетки



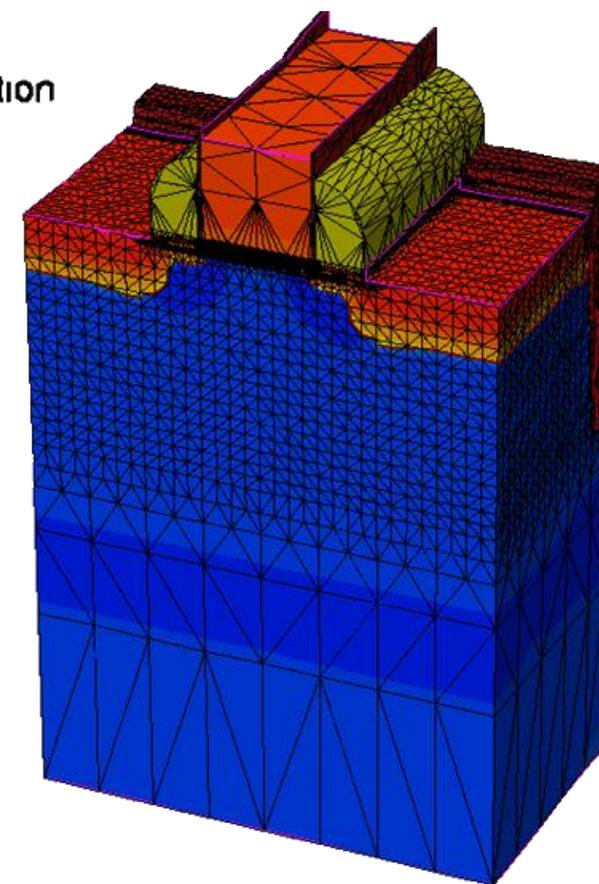
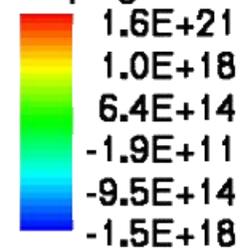
Построение квазирегулярной сетки



Результат триангуляции



DopingConcentration



TCAD: входные и выходные файлы, формат DF-ISE

```
C:\Users\Дмитрий Булах\Documents\cub_msh.grd - ...
Файл Правка Поиск Вид Кодировки Синтаксисы Опции
Инструменты Макросы Запуск Плагины Вкладки ?
cub_msh.grd x cub_msh.dat x
1 DF-ISE text
2
3 # filename: cub_msh.grd
4 # written by the library Delaunay
5 Info {
6 version      = 1.1
7 type         = grid
8 dimension    = 3
9 nb_vertices  = 8
10 nb_edges     = 19
11 nb_faces    = 18
12 nb_elements = 6
13 nb_regions  = 1
14 regions     = [ "region_4" ]
15 materials   = [ Silicon ]
16 }
17 Data {
18 CoordSystem {
19 translate = [ 0 0 0 ]
20 transform = [ 1 0 0 0 1 0 0 0 1 ]
21 }
22 Vertices ( 8) {
23 0 0 0
24 1 0 0
25 1 1 0
26 0 1 0
27 0 0 1
28 1 0 1
29 0 1 1
30 1 1 1
31 }
```

Ln : 37 Col : 5 Pos : 488 Unix (LF) UTF-8 INS

```
C:\Users\Дмитрий Булах\Documents\cub_msh.dat - Notepad++
Файл Правка Поиск Вид Кодировки Синтаксисы Опции Инструменты Макросы
Запуск Плагины Вкладки ?
cub_msh.grd x cub_msh.dat x
1 DF-ISE text
2
3 # filename: cub_msh.dat
4 # written by the library Delaunay
5 Info {
6 version      = 1
7 type         = dataset
8 dimension    = 3
9 nb_vertices  = 8
10 nb_edges     = 19
11 nb_faces    = 18
12 nb_elements = 6
13 nb_regions  = 1
14 datasets     = [ "DopingConcentration" "BoronActiveConcent
15 functions    = [ DopingConcentration BoronActiveConcentra
16 }
17 Data {
18 Dataset ("DopingConcentration") {
19 function = DopingConcentration
20 type = scalar
21 dimension = 1
22 location = vertex
23 validity = ["region_4"]
24 Values ( 8) {
25 -10000000000000000000
26 -10000000000000000000
27 -10000000000000000000
28 -10000000000000000000
29 -10000000000000000000
30 -10000000000000000000
```

Ln : 1 Col : 1 Pos : 1 Unix (LF) UTF-8 INS

Формат DF-ISE: входные данные (1)

Заголовок

Данные

```
DF-ISE text
# filename: cub_msh.grd
# written by the library Delaunay
Info {
  version      = 1.1
  type         = grid
  dimension    = 3
  nb_vertices  = 8
  nb_edges     = 19
  nb_faces     = 18
  nb_elements  = 6
  nb_regions   = 1
  regions      = [ "region_4" ]
  materials    = [ Silicon ]
}
```

Формат DF-ISE: входные данные (2)

Заголовок

Данные

Преобразования

Вершины

Рёбра

Поверхности

Расположение

Элементы

Data {

CoordSystem {

translate = [0 0 0]

transform = [1 0 0 0 1 0 0 0 1]

}

Vertices (8) {

0 0 0 ...

}

Edges (19) {

0 1 ...

}

Faces (18) {

3 13 9 10 ...

}

Locations (18) {

e i f ...

}

}

Формат DF-ISE: входные данные (3)

Заголовок

Данные

Преобразования

Вершины

Рёбра

Поверхности

Расположение

Элементы

Области

```
Vertices ( 8) { }
```

```
Edges ( 19) { }
```

```
Faces ( 18) { }
```

```
Locations ( 18) { }
```

```
Elements ( 6) {  
  5 -2 -4 -13 -10 ...  
}
```

```
Region ("region_4") {  
  material =Silicon  
  Elements ( 6) {  
    5 3 4 1 0 2  
  }  
}
```

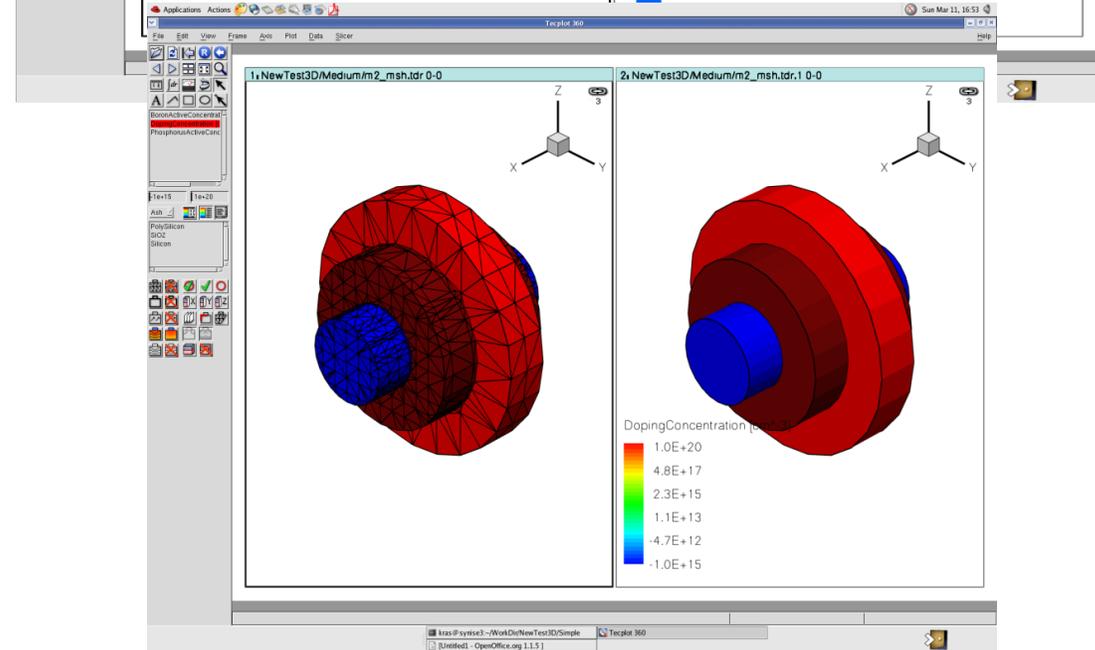
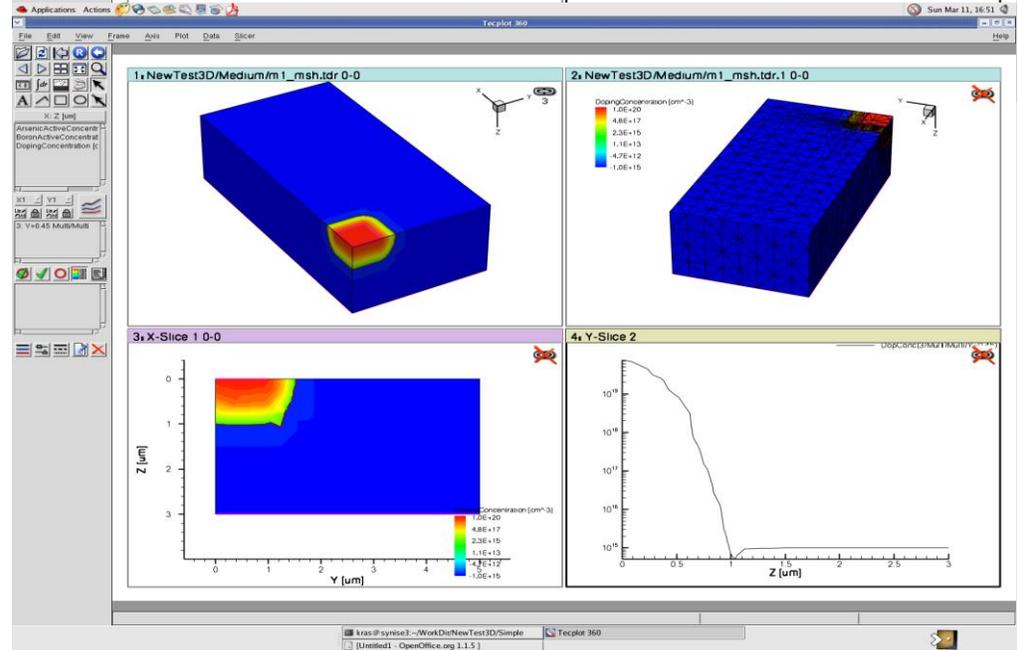
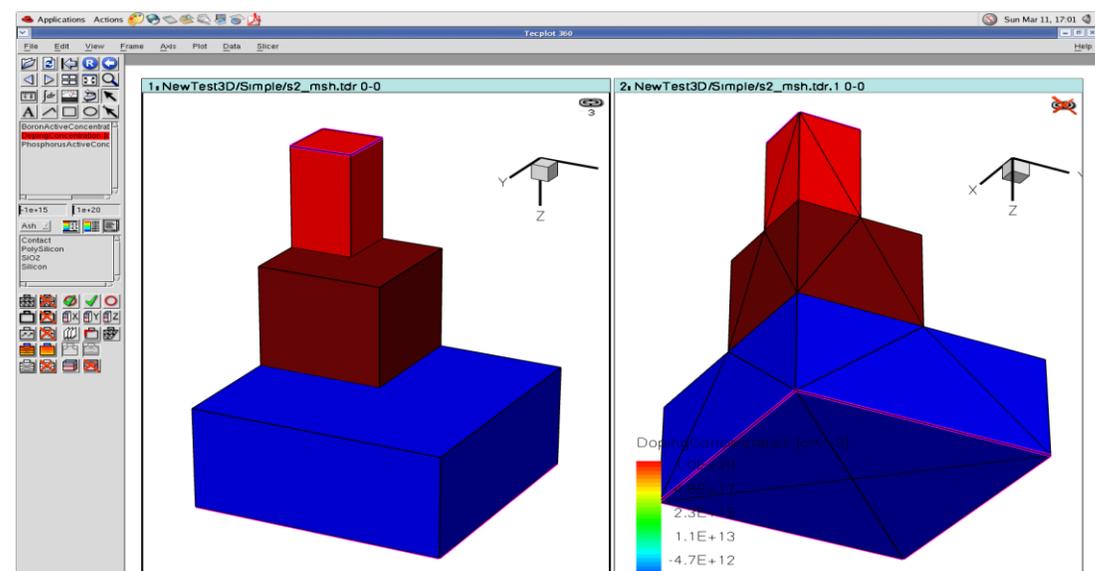
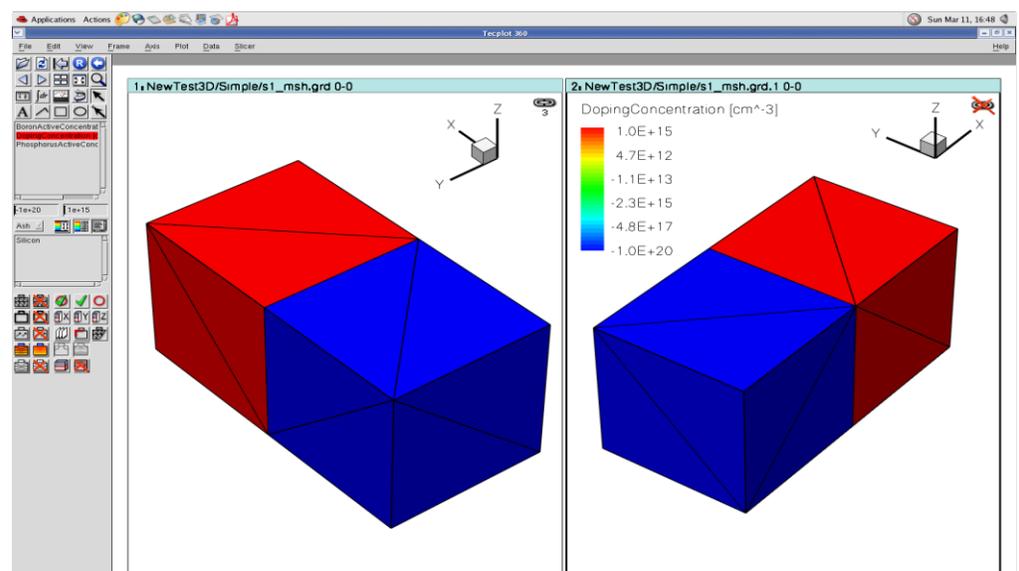
Формат DF-ISE: выходные данные (1)

Заголовок

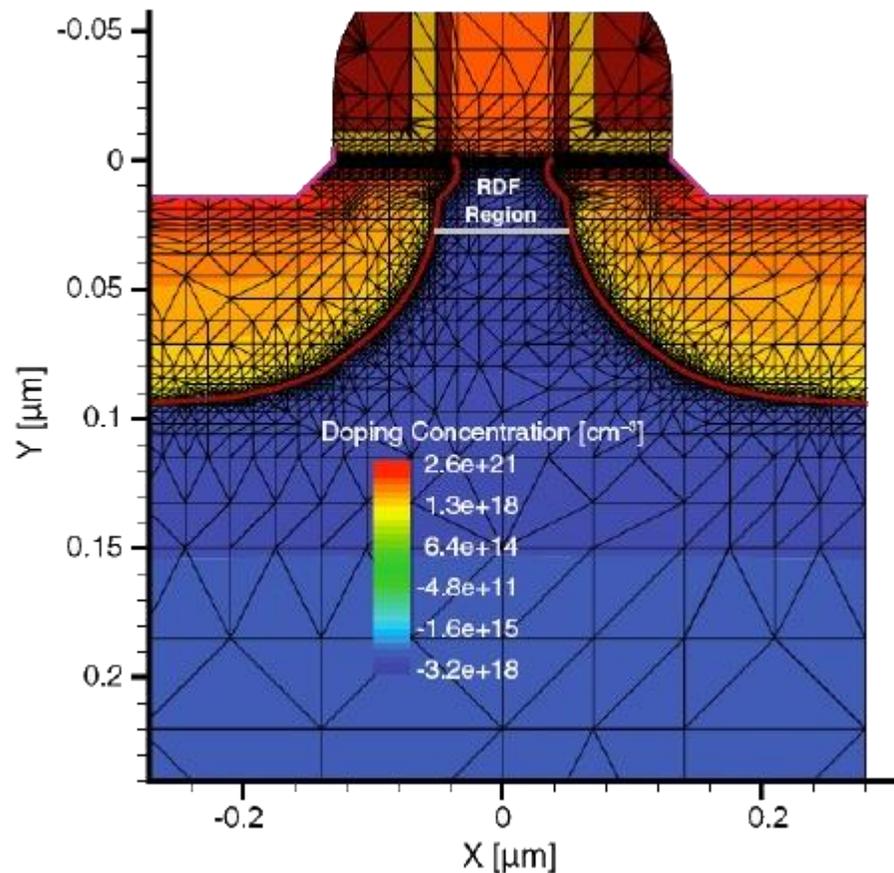
Данные

```
DF-ISE text
# filename: cub_msh.dat
# written by the library Delaunay
Info {
  version      = 1
  type         = dataset
  dimension    = 3
  nb_vertices  = 8
  nb_edges     = 19
  nb_faces     = 18
  nb_elements  = 6
  nb_regions   = 1
  datasets     = [
    "DopingConcentration"
    "BoronActiveConcentration" ]
  functions    = [
    DopingConcentration
    BoronActiveConcentration ]
}
```

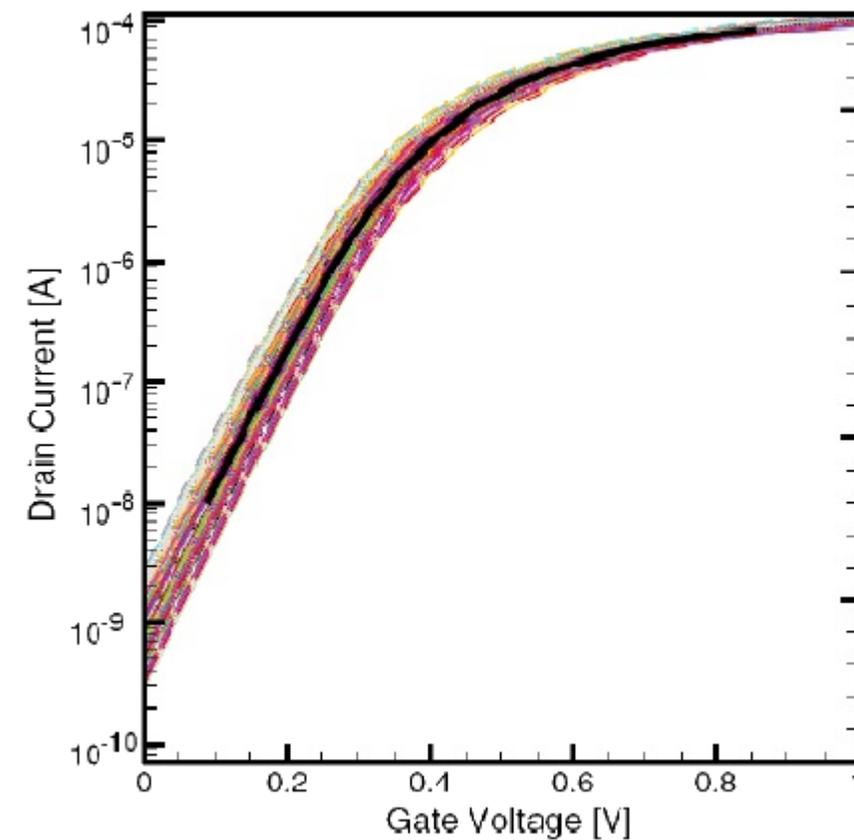

Примеры структур данных из ЛР №7



Представление результатов 2D моделирования

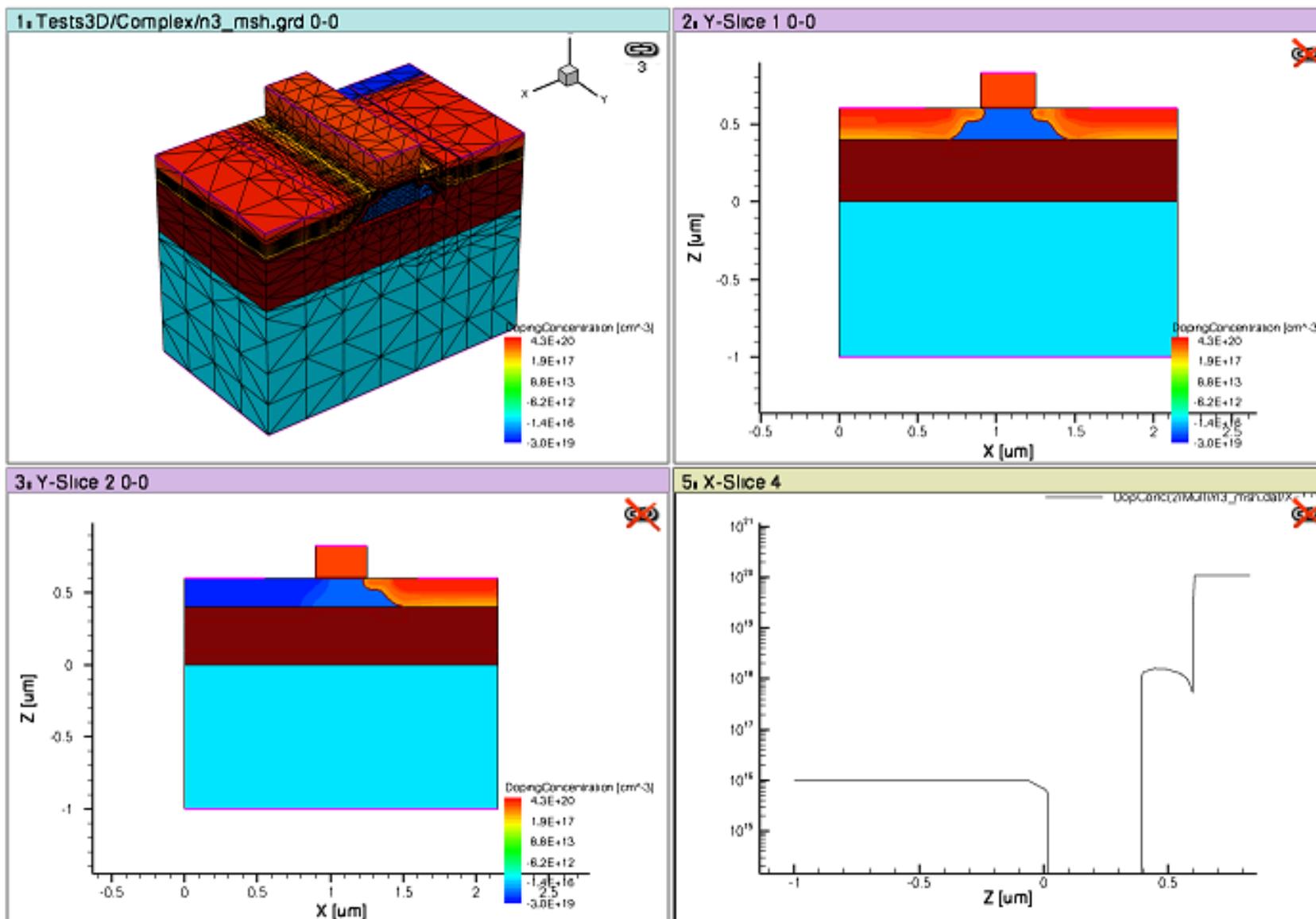


Визуализация результатов моделирования:
1. просмотр 2D;
2. просмотр 1D.

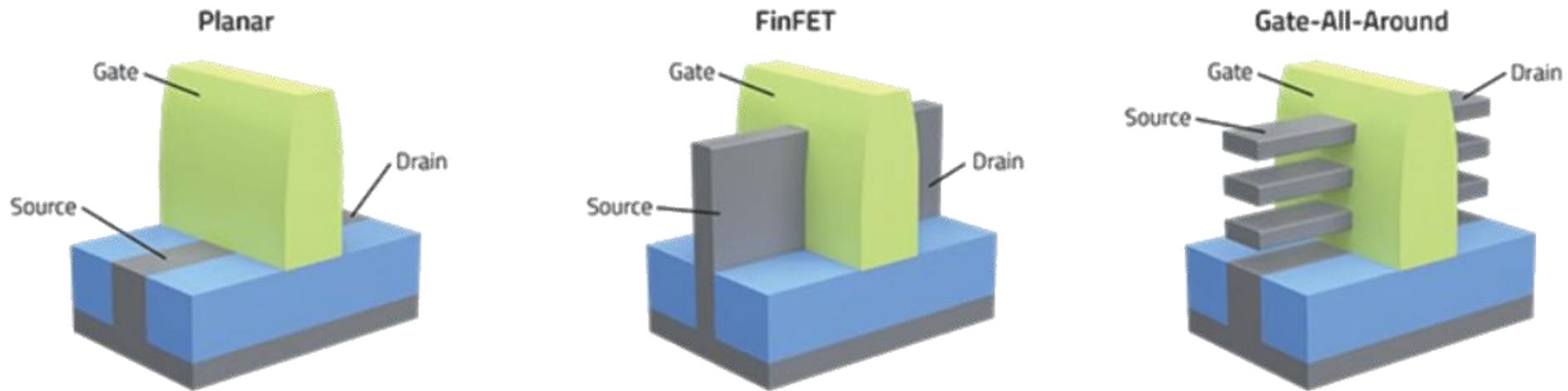




Представление результатов 3D моделирования

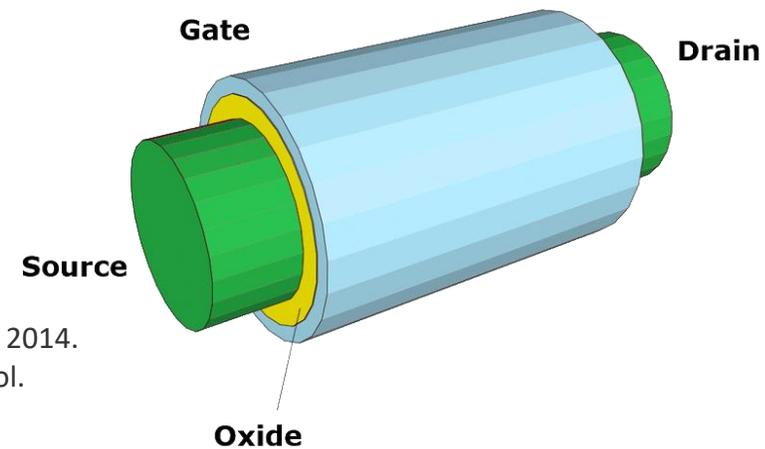


Компонентное проектирование (2)



Impact Of GAA Transistors At 3/2nm

*<https://semiengineering.com/impact-of-gaa-transistors-at-3-2nm/>

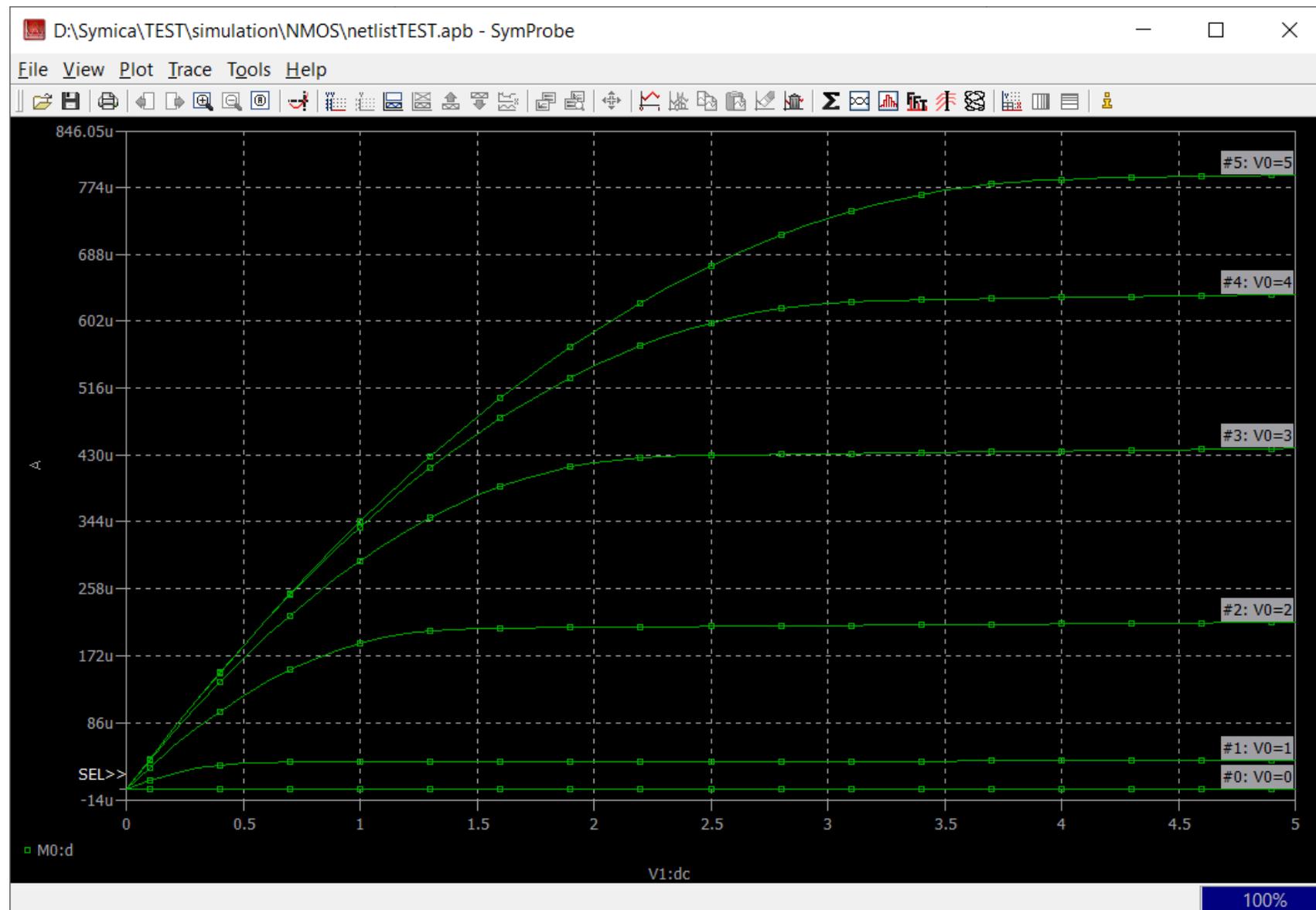


*Stefano Frache, Mariagrazia Graziano, and Maurizio Zamboni. 2014. Nanoarray architectures multilevel simulation. J. Emerg. Technol. Comput. Syst. 10, 1, Article 6 (January 2014), 20 pages. <https://doi.org/10.1145/2541882>

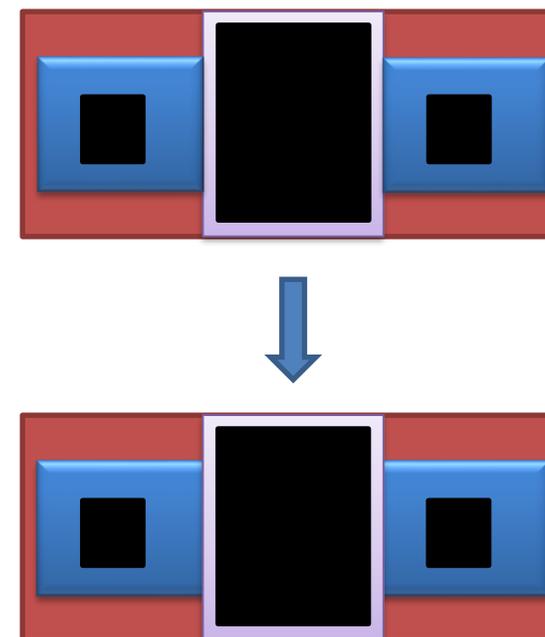
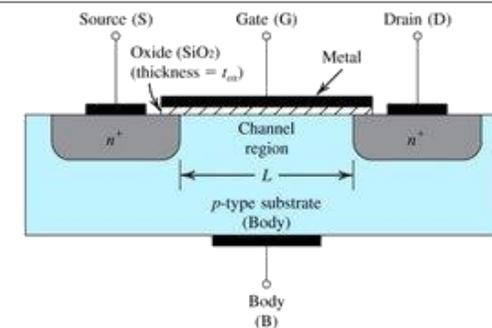
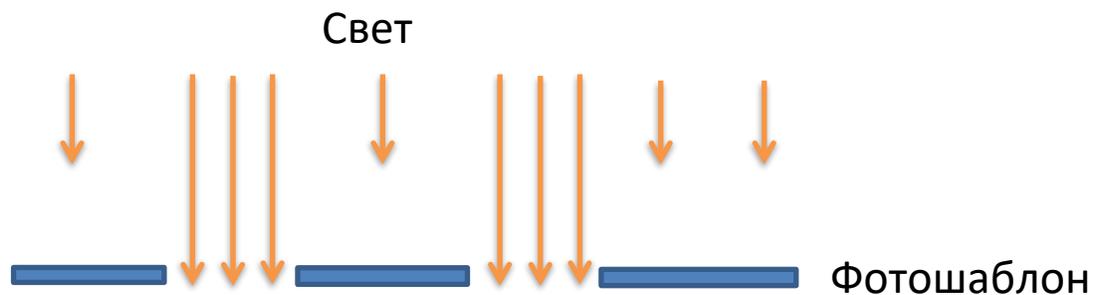
Экстракция SPICE-параметров

$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

здесь $k'_n = \mu_n C_{ox} = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{t_{ox}}$



Топологическое представление транзистора



Представление топологии: формат GDSII

KLayout 0.26.8 - inv.gds [inv1]

File Edit View Bookmarks Display Tools Macros Help

Back Forward Select Move Ruler (Default)

Cells inv1 via

Layers

- 2/0
- 3/0
- 41/0
- 42/0
- 43/0
- 44/0
- 45/0
- 46/0
- 47/0
- 48/0
- 49/0
- 50/0
- 51/0
- 149/0
- 162/0

Layer Toolbox

- Color
- Frame color
- Stipple
- Animation
- Style
- Visibility

T (Default) G w: 0.22040 h: 5.06919 xy -7.81240 121.99364

C:\Users\Дмитрий Булах\source\repos\LayoutTools\bin\tests\inv.txt...

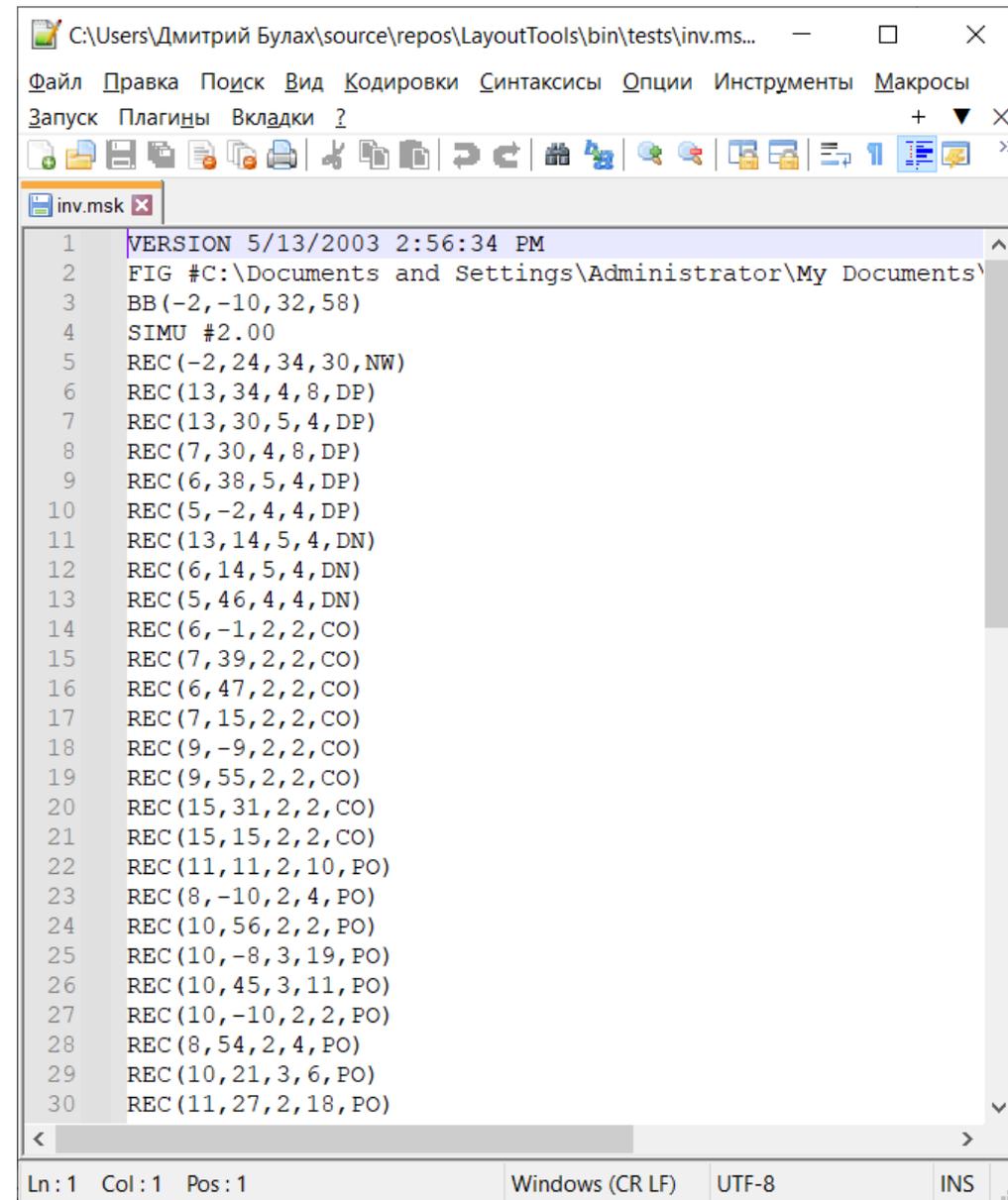
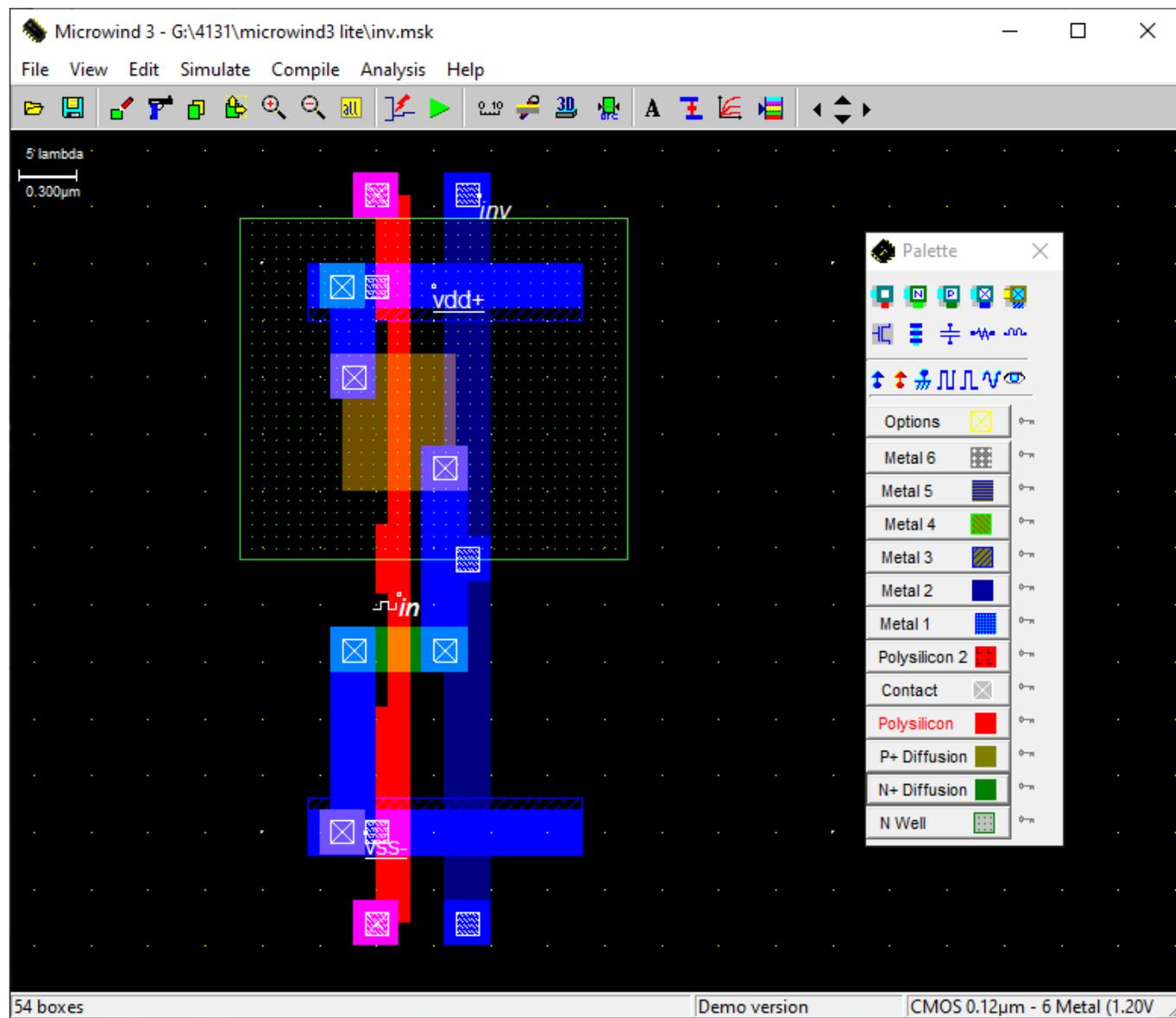
Файл Правка Поиск Вид Кодировки Синтаксисы Опции Инструменты Макросы

Запуск Плагины Вкладки ?

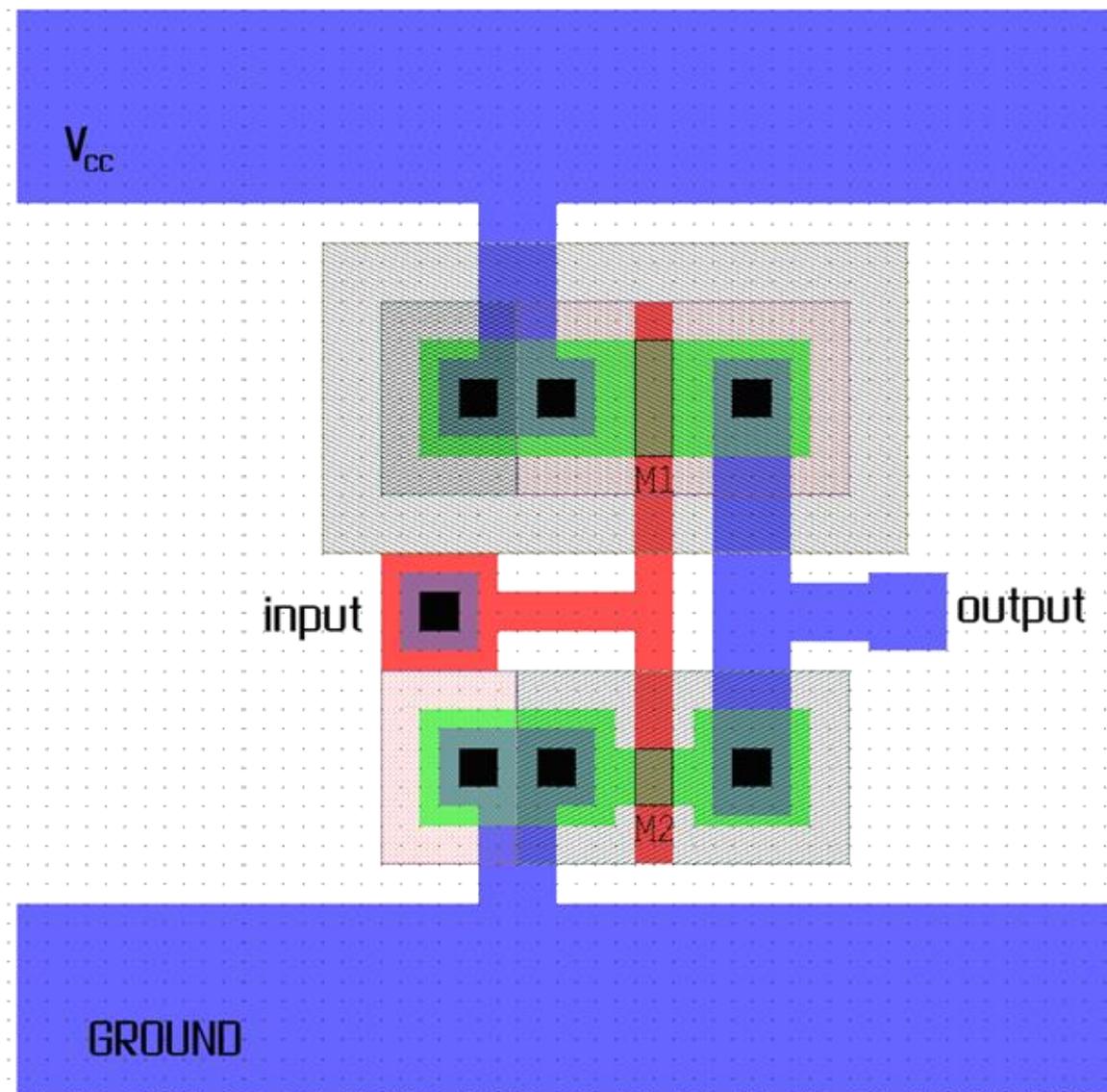
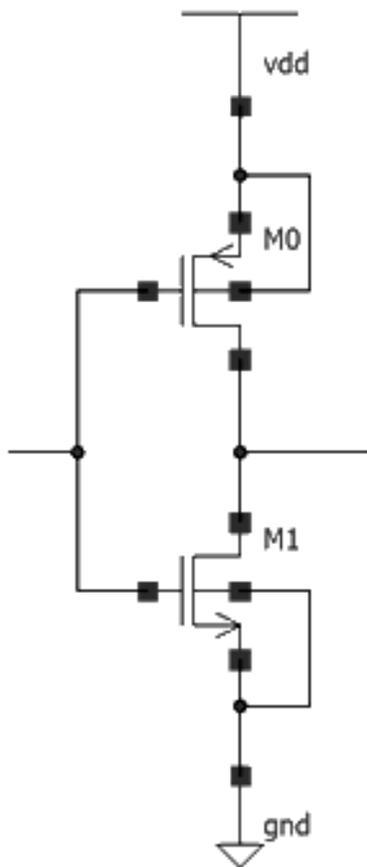
```
1 HEADER 600
2 BGNLIB 3/30/2020 20:02:43 3/30/2020 20:02:43
3 LIBNAME owlvision.db
4 UNITS 0.001 1e-009
5
6 BGNSTR 3/30/2020 20:02:43 3/30/2020 20:02:43
7 STRNAME via
8
9 BOUNDARY
10 LAYER 49
11 DATATYPE 0
12 XY -2000: -2000
13 -2000: 2000
14 2000: 2000
15 2000: -2000
16 -2000: -2000
17 ENDEL
18
19 BOUNDARY
20 LAYER 51
21 DATATYPE 0
22 XY -2000: -2000
23 -2000: 2000
24 2000: 2000
25 2000: -2000
26 -2000: -2000
27 ENDEL
28
29 BOUNDARY
30 LAYER 50
31 DATATYPE 0
```

Ln: 1 Col: 1 Pos: 1 Windows (CR LF) UTF-8 INS

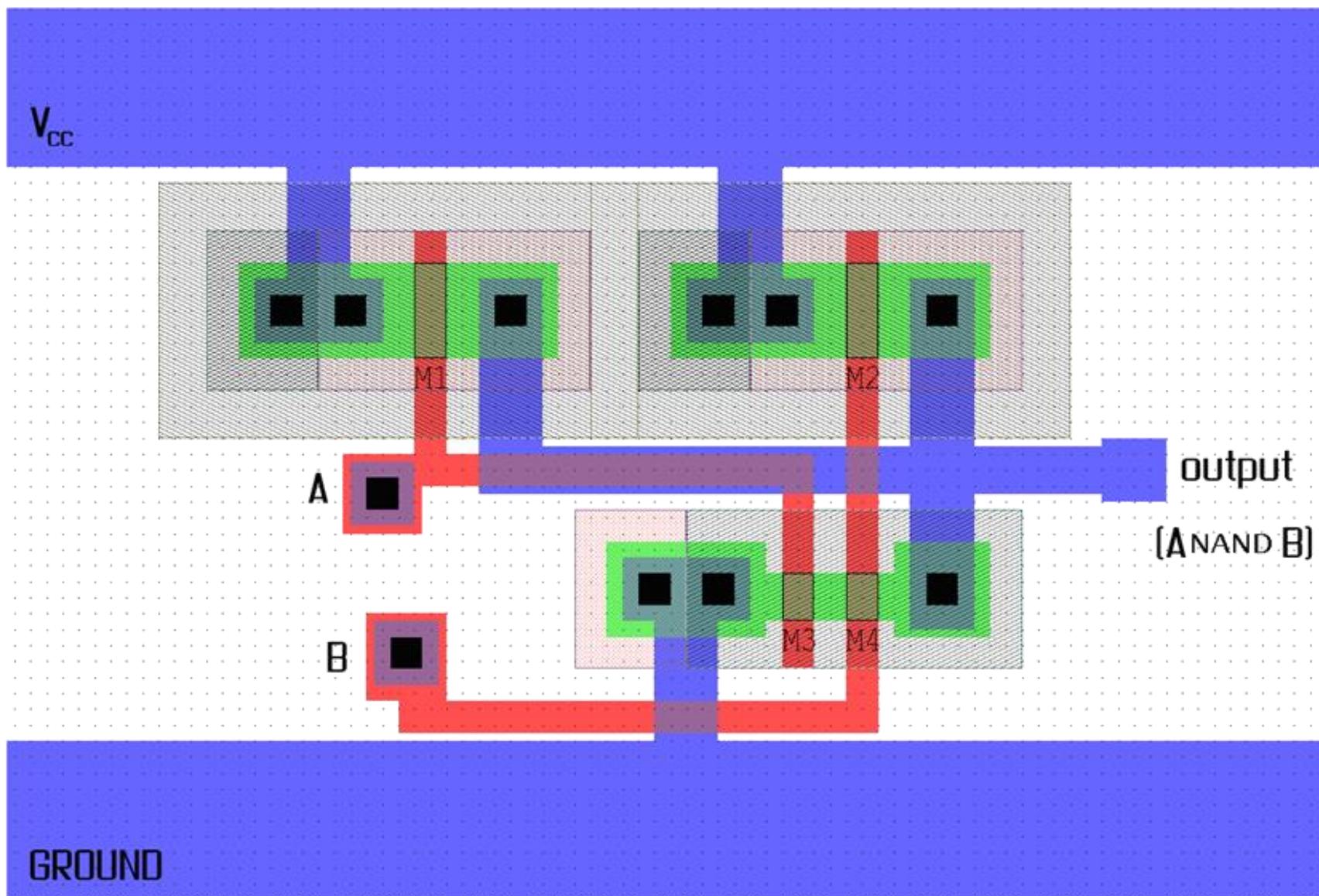
Представление топологии: формат MSK



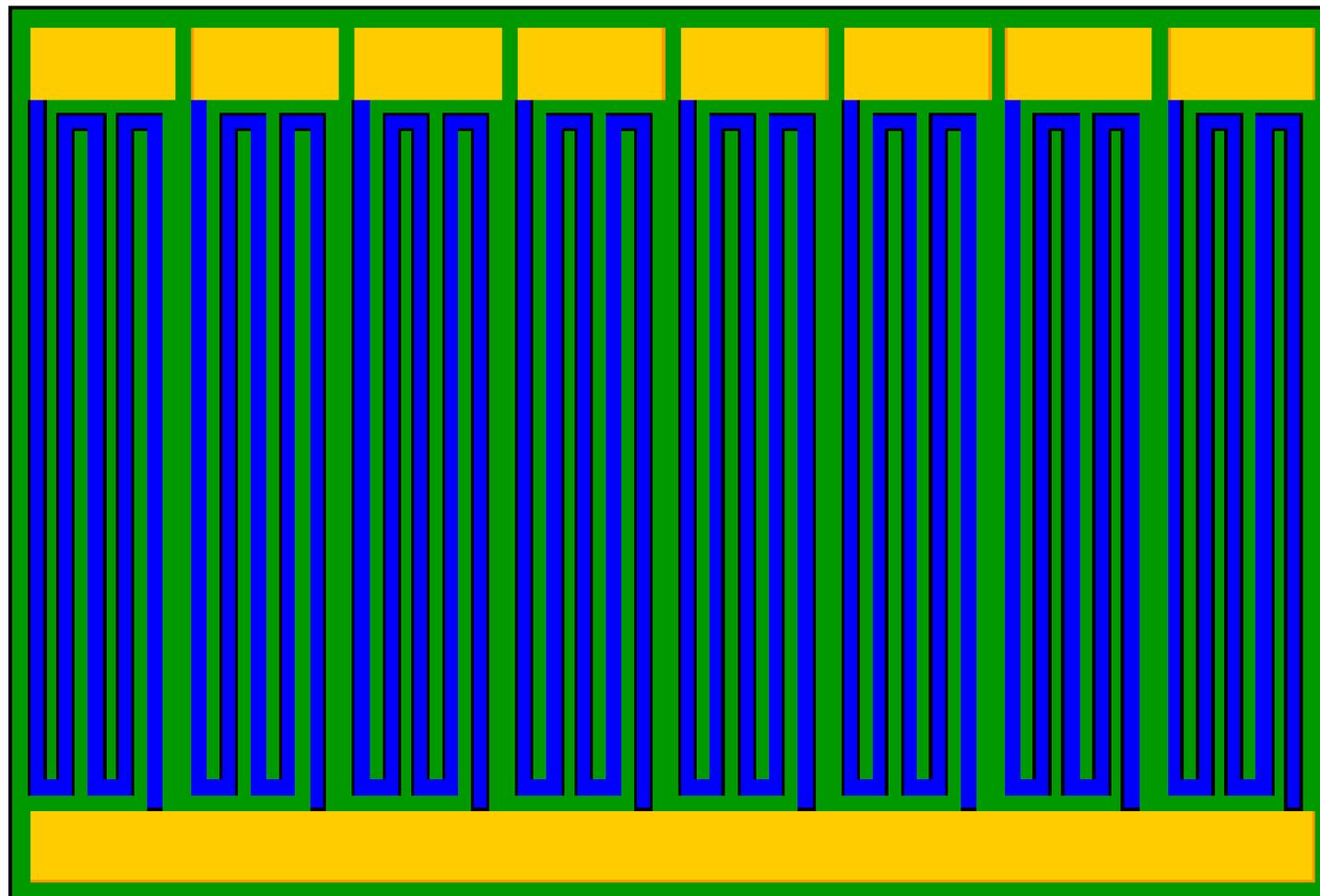
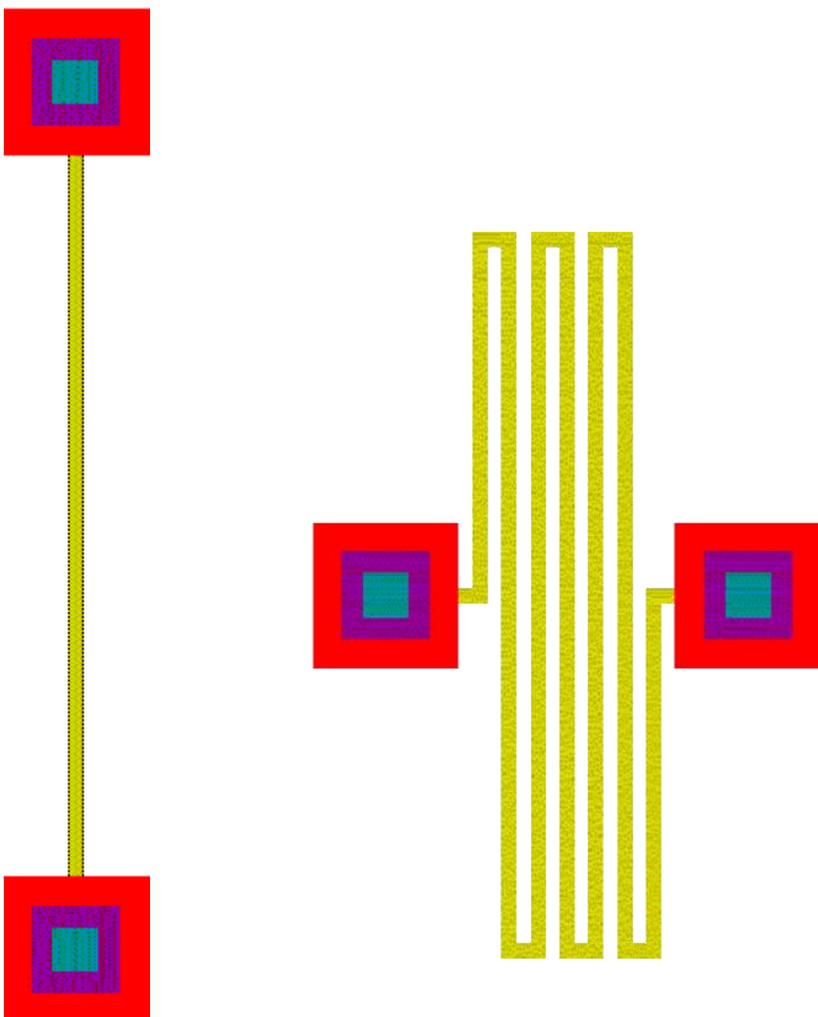
Топология транзисторных схем (1)



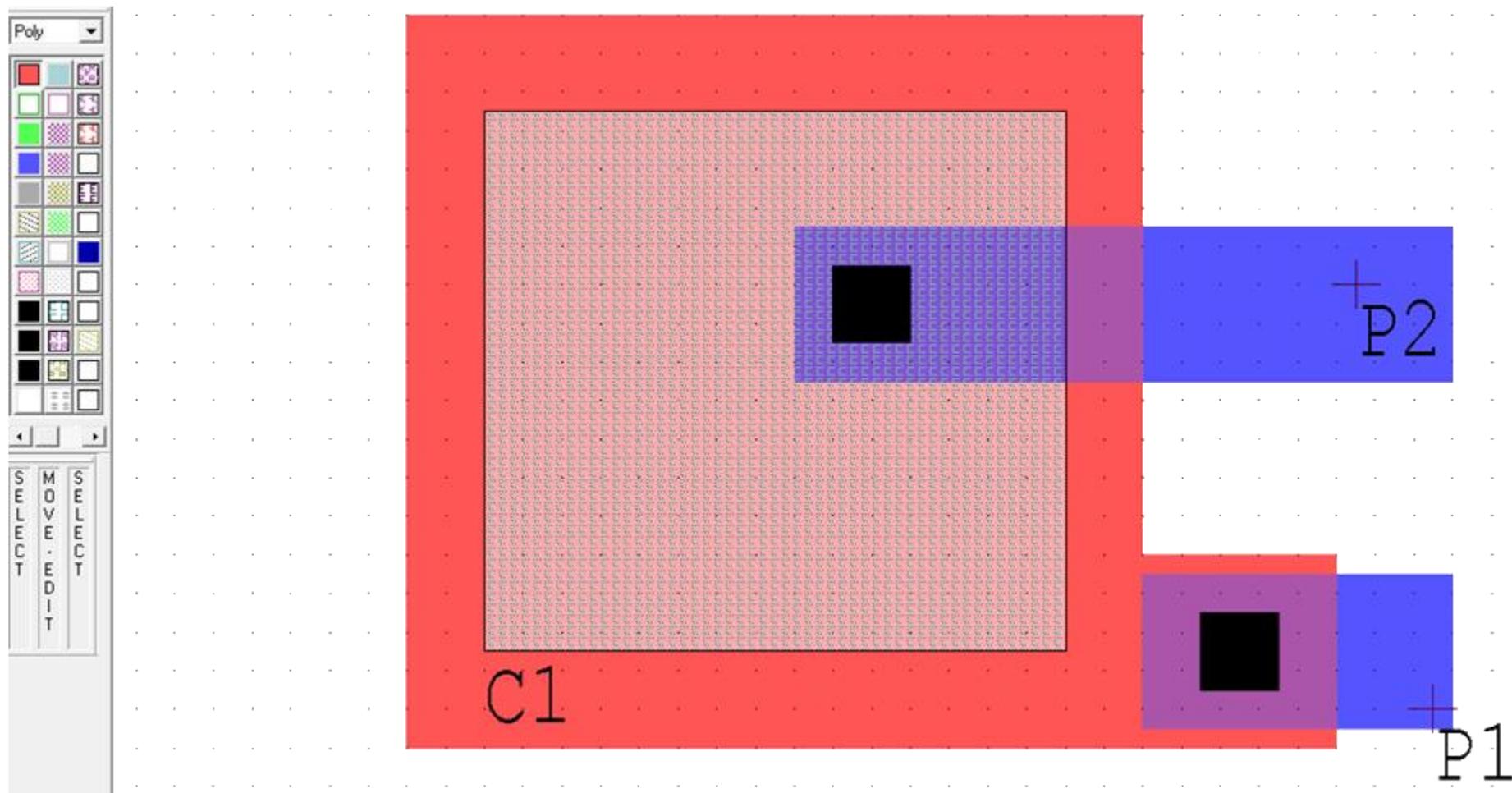
Топология транзисторных схем (2)



Топология пассивных элементов: резистор



Топология пассивных элементов: конденсатор



Задачи этапа топологического проектирования

Декомпозиция:

площадь;
быстродействие;
энергоэффективность;

Размещение:

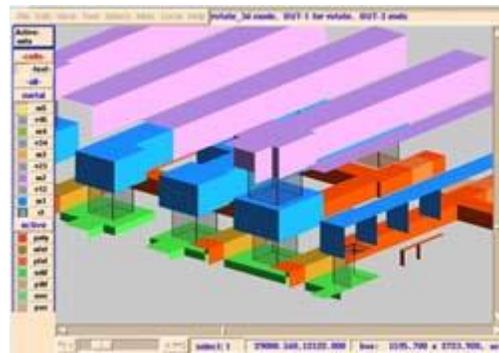
площадь;
быстродействие;
энергоэффективность;

Трассировка:

площадь;
число слоёв;
тайминг;

+ DRC, LVS, RC-extraction

Подготовка фотошаблонов



Декомпозиция: алгоритм Кодреса

Критерии декомпозиции:

1. внутренняя связанность блоков должна быть максимальной
2. есть ограничение на размер блоков

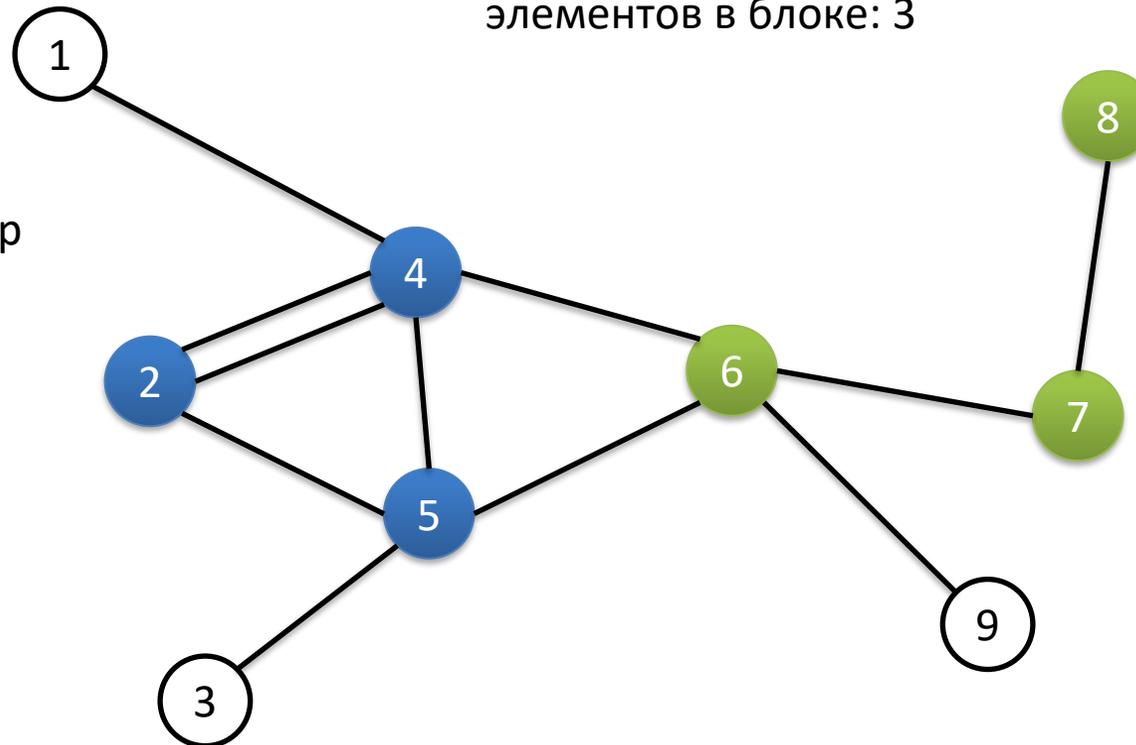
Шаг 1.

Находим лексикографически элемент с максимальным количеством связей

Шаг 2.

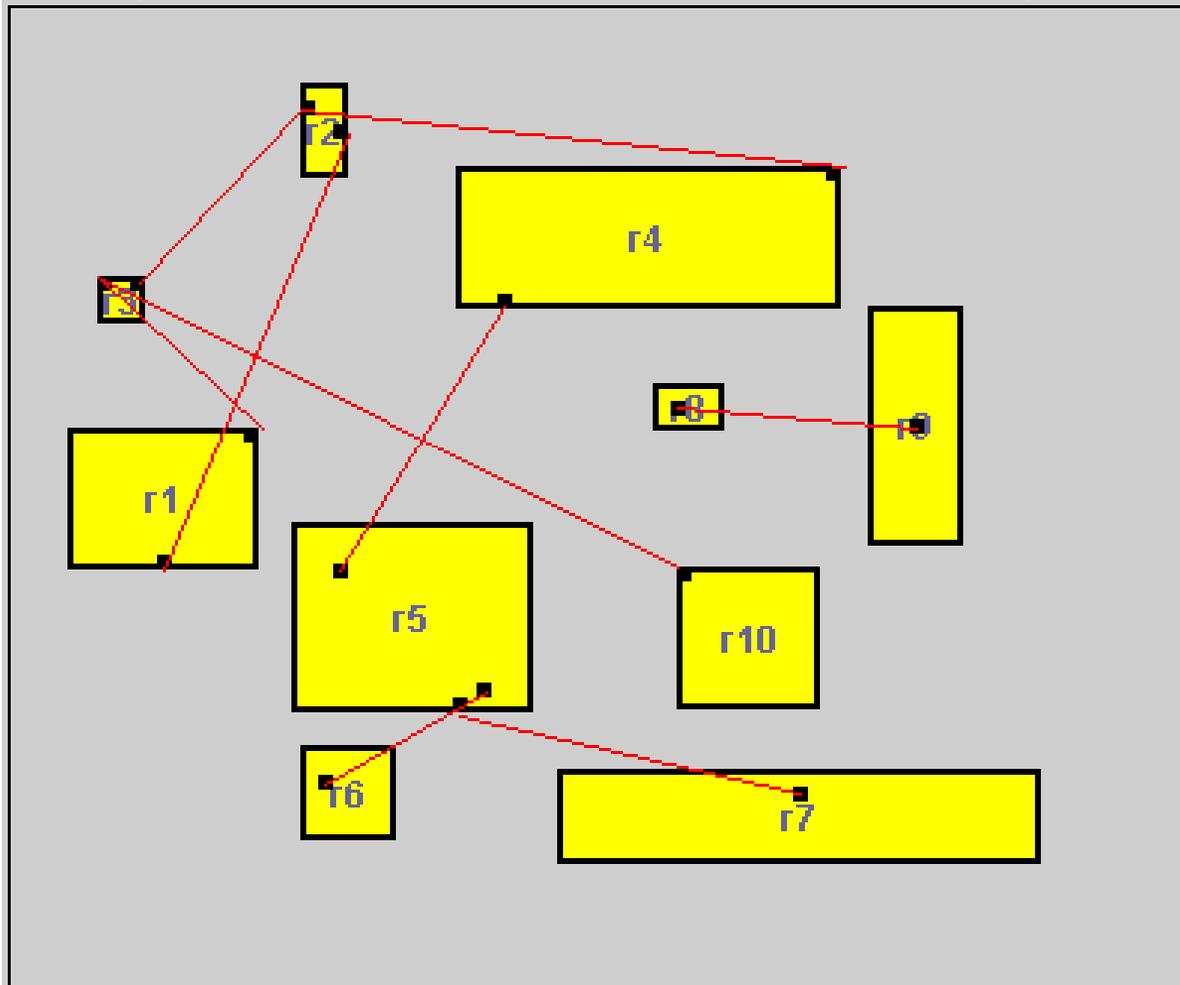
Находим лексикографически элемент, максимально связанный с формируемым блоком

Ограничение на размер элементов в блоке: 3

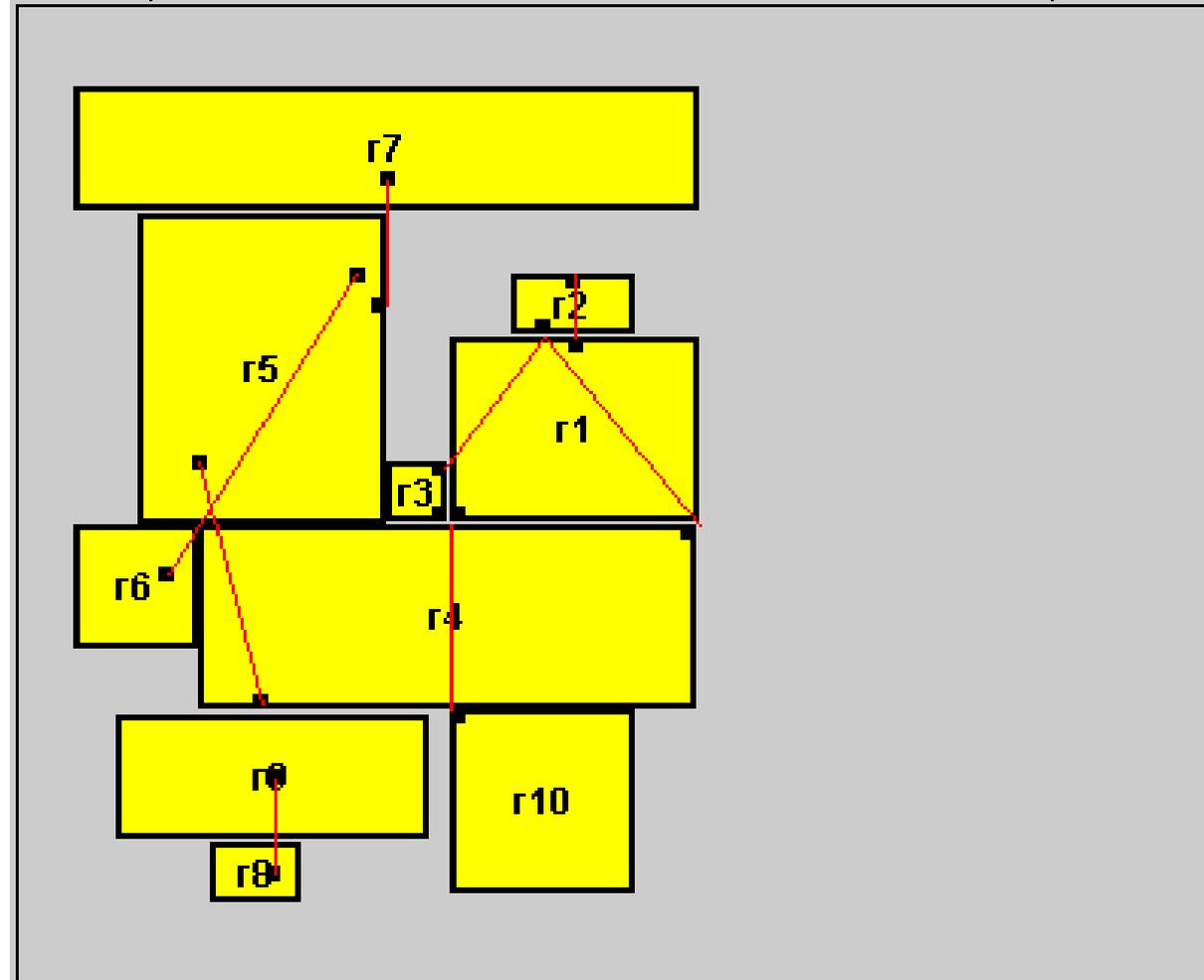


Задача размещения

Area	Overlap	Wirelength	Cost
32,562	0	835	40,912



Area	Overlap	Wirelength	Cost
13,100	0	273	15,830



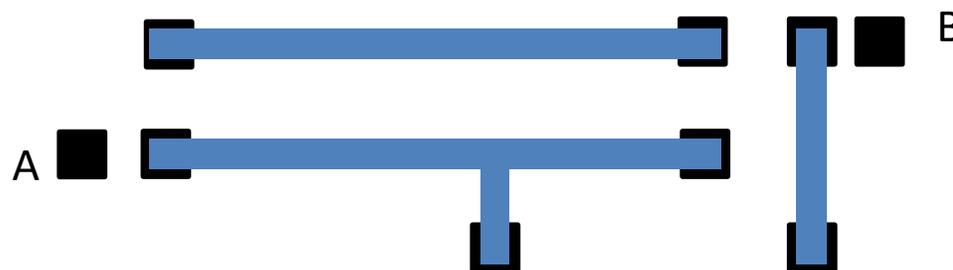
Трассировка

Алгоритм Ли (волновой алгоритм)

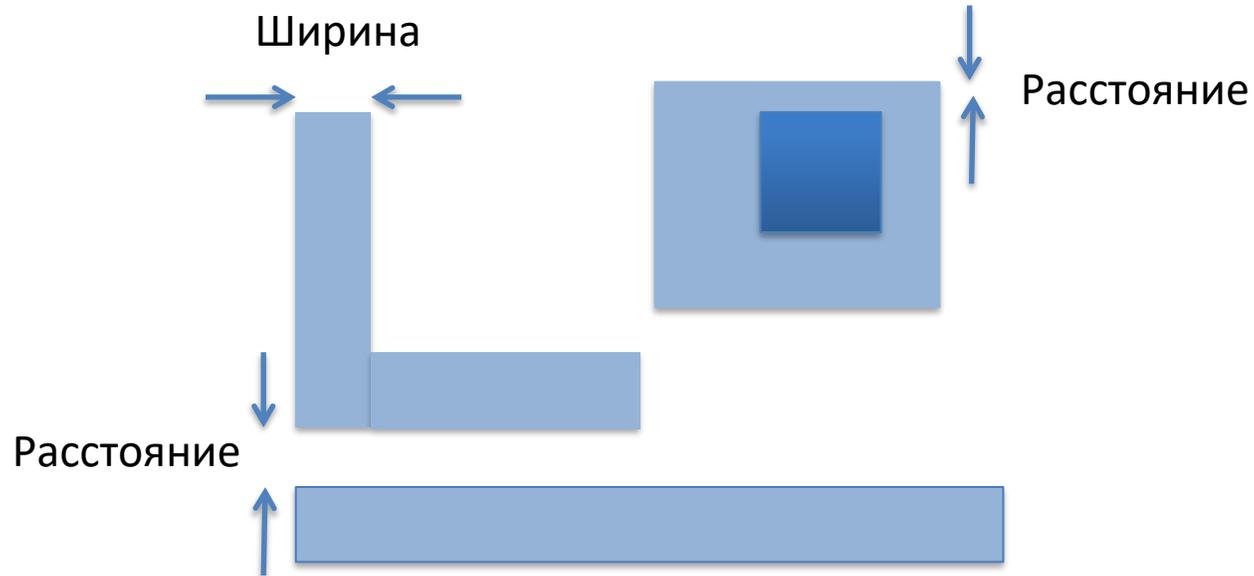
1	A	1	2	3
2	1	2	3	
3	2	3		
	3			
			B	

Модификации:

- Алгоритм A*
- Алгоритмы с приоритетом
- Разделяй и властвуй
- Алгоритм Креша



DRC-анализ : Design Rule Check



```
icfb - Log: /home6/s/sameers/CDS.log
File Tools Options Technology File
executing: saveDerived(geomAndNot(pbase nwell) errMsg)
executing: drc(npnCollectorEdge pbaseEdge (sep < (lambda * 4.0)) errMsg)
executing: drc(npnCollectorEdge npnCollectorContactEdge (enc < (lambda * 2.0)) errMsg)
executing: drc(nwellEdge npnCollectorEdge (enc < (lambda * 3.0)) errMsg)
executing: saveDerived(geomAndNot(cactive nwell) errMsg)
executing: drc(nselectEdge npnCollectorEdge (enc < (lambda * 2.0)) errMsg)
executing: saveDerived(geomAndNot(cactive nselect) errMsg)
DRC started.....Wed Mar 29 13:31:27 2000
completed ...Wed Mar 29 13:31:32 2000
CPU TIME = 00:00:03 TOTAL TIME = 00:00:05
***** Summary of rule violation for cell "inverter layout" *****
# errors  Violated Rules
2          (SCMOS Rule 6.4) active contact to transistor gate spacing:...
2          (SCMOS Rule 7.3) metall enclosure of contact: 0.80 um
1          (SCMOS Rule 4.2) select overlap of active: 1.60 um
1          (SCMOS Rule 7.2.a) metall spacing: 2.40 um
2          (SCMOS Rule 2.3) source/drain active to well edge: 4.00 um
8          Total errors found
```

