

# Автоматизация конструкторско-технологического проектирования БИС

Лектор: Заглядин Глеб Георгиевич

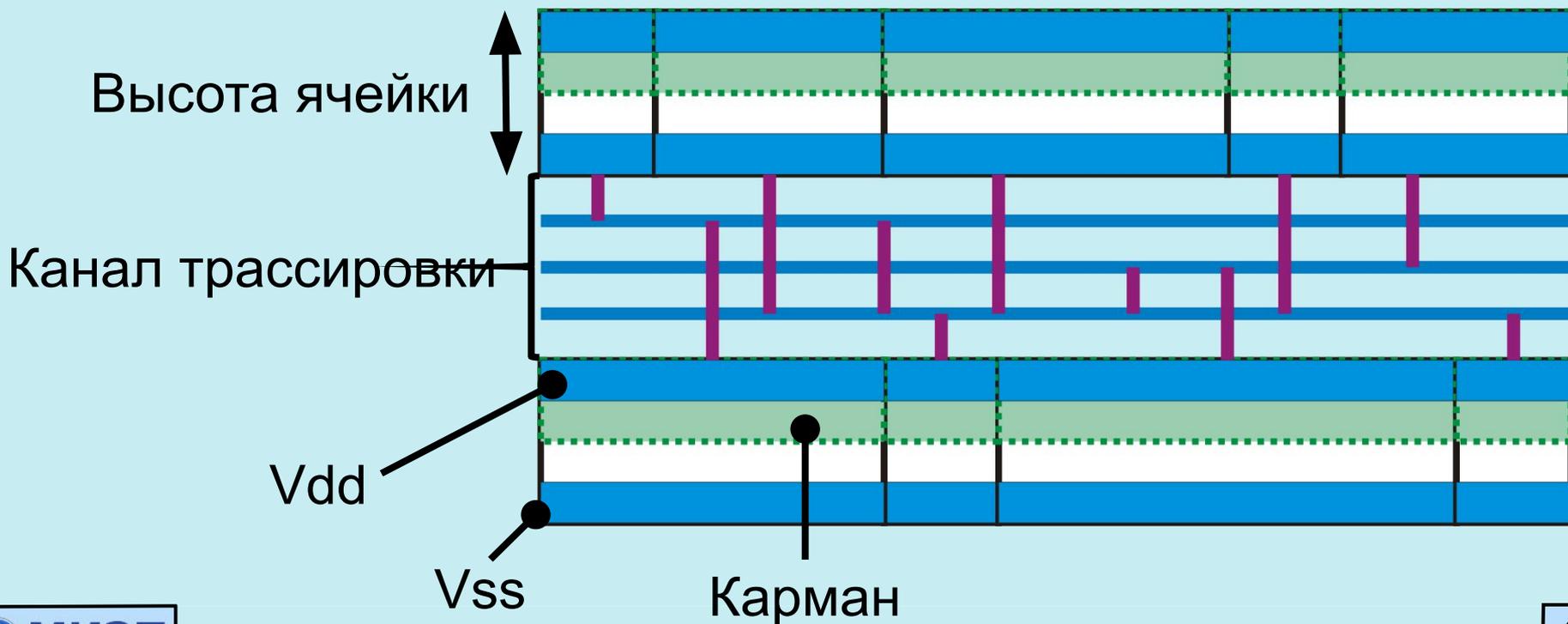
Лекция 02

*Дизайн топологии, синтез комбинационной КМОП-логики*

# Стандартные ячейки

Имеют фиксированную высоту и положение шин земли/питания и кармана.

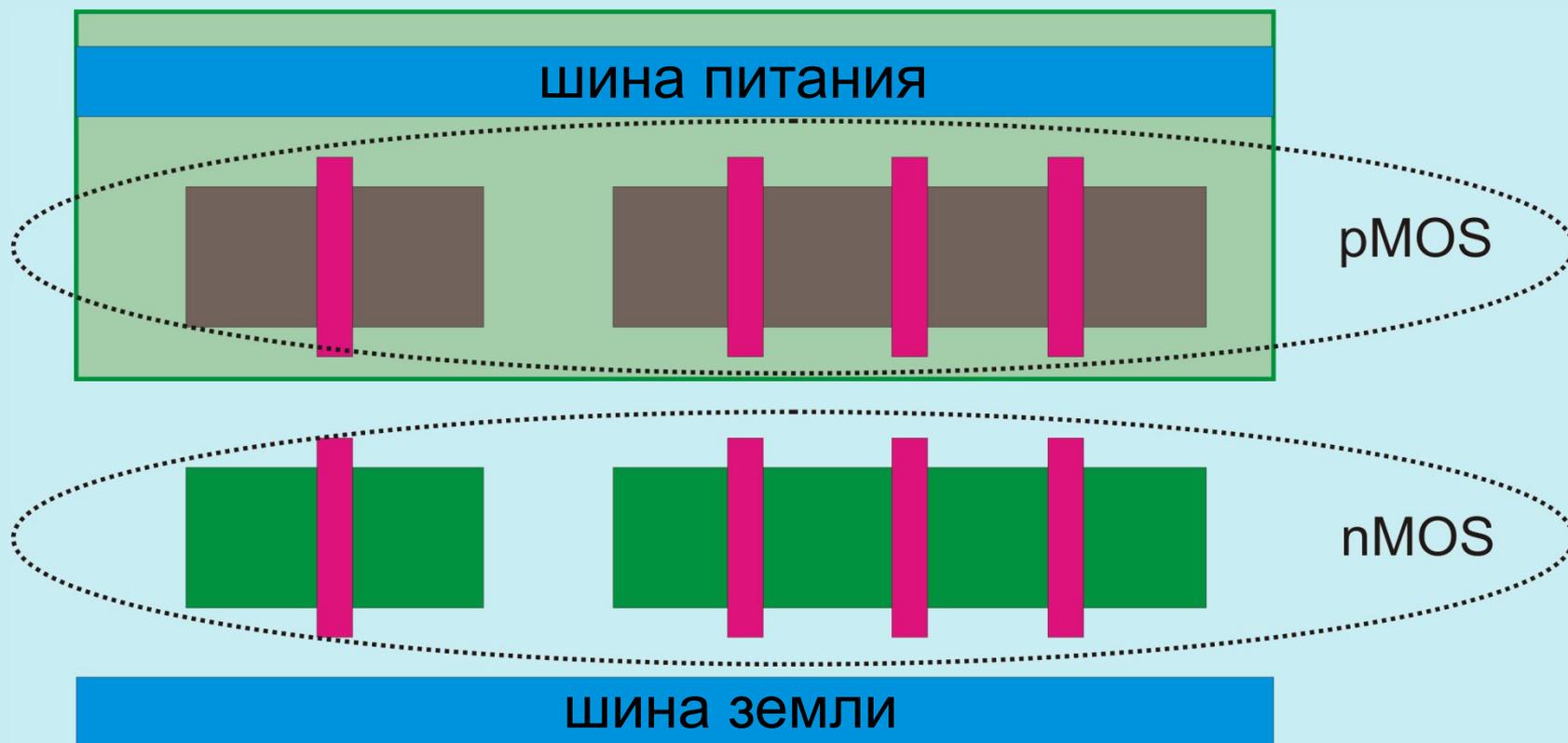
Располагаются в виде строк



# Конструкция стандартной ячейки

Карман и pMOS располагаются сверху

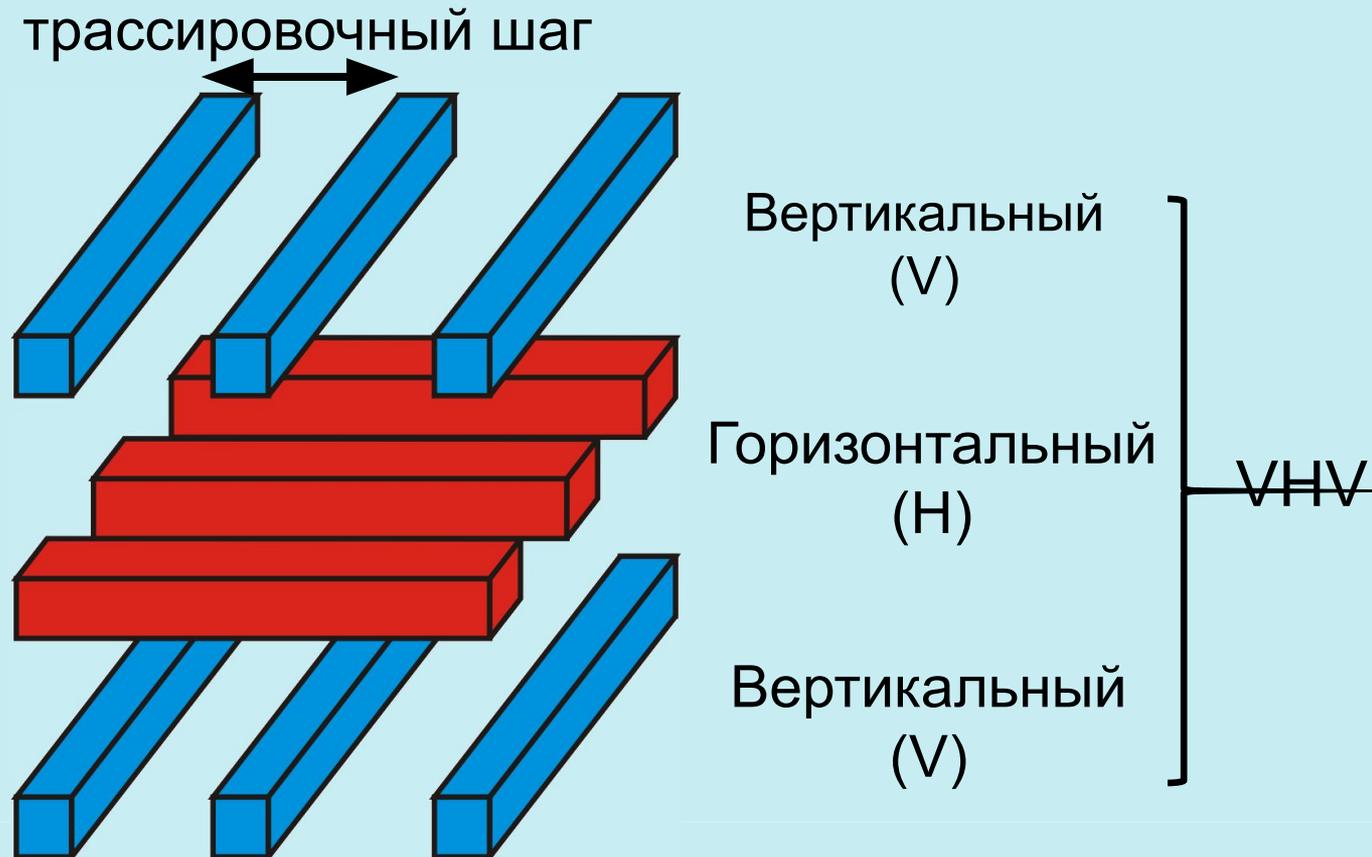
nMOS располагаются снизу



# Трассировочная сетка

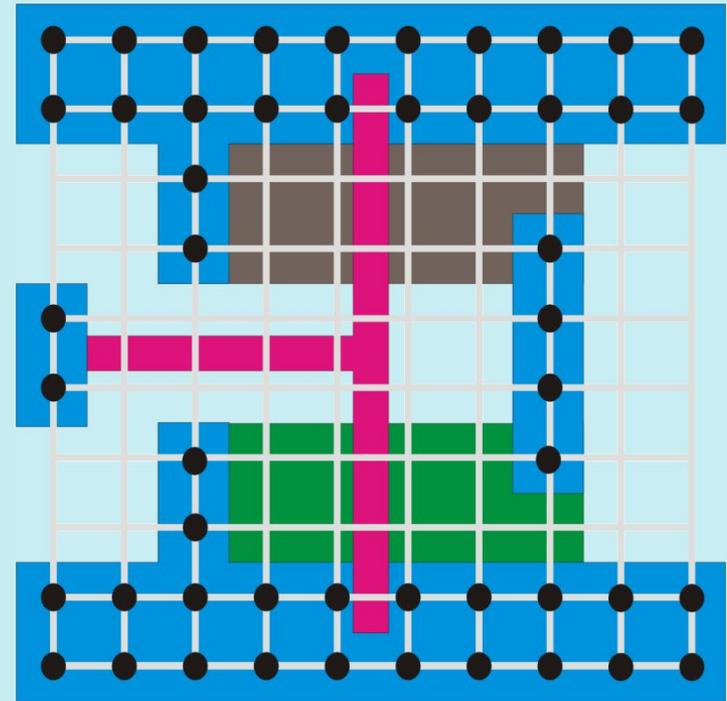
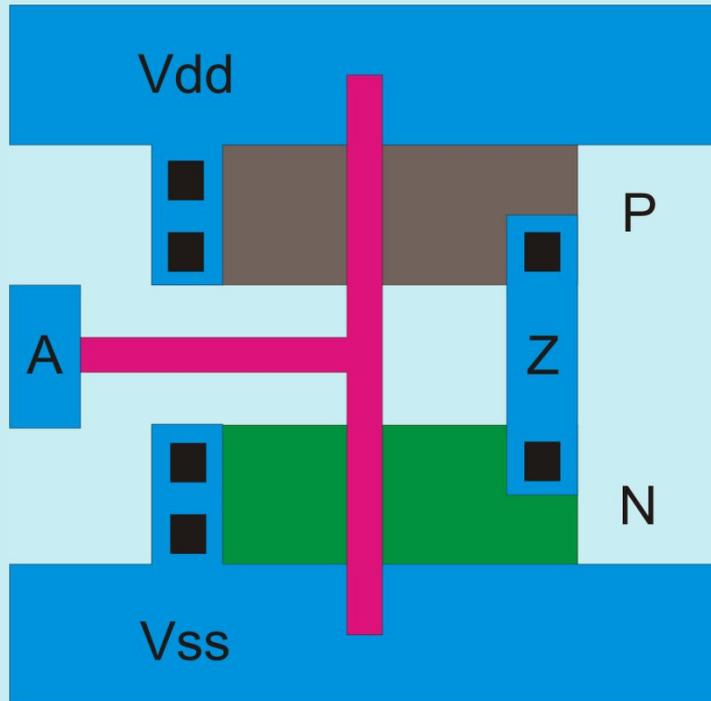
Слои металлизации имеют сменяющиеся направления (VHV или HVH)

Формируется регулярная сетка трассировки



# Конструкция стандартной ячейки

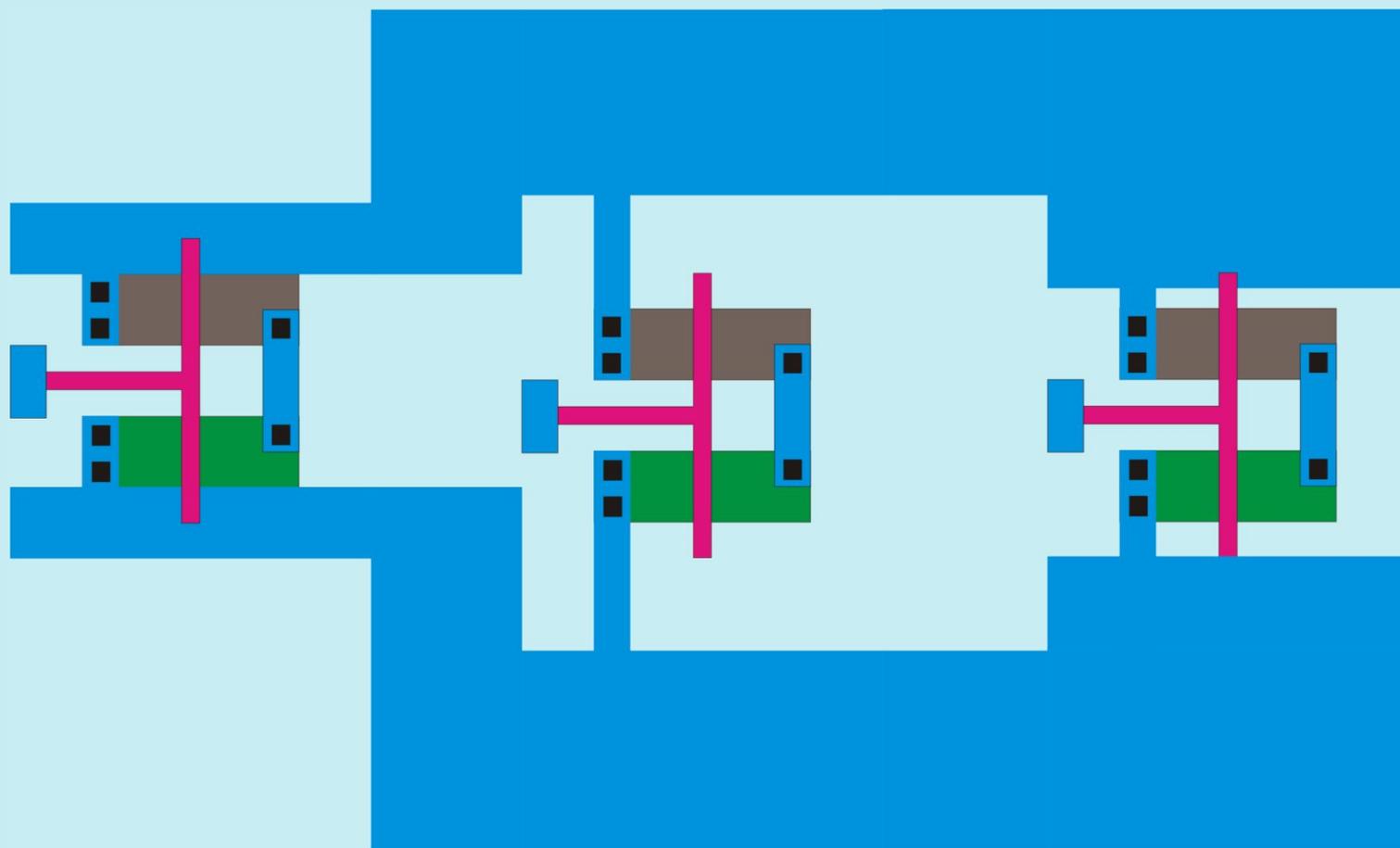
Все контакты должны иметь точку подключения на пересечении линий в трассировочной сетке



При отсутствии точек подключения терминал не сможет быть подключен при автоматической трассировке

# Конструкция стандартной ячейки

При различной ширине шин земли/питания возникнут проблемы при трассировке

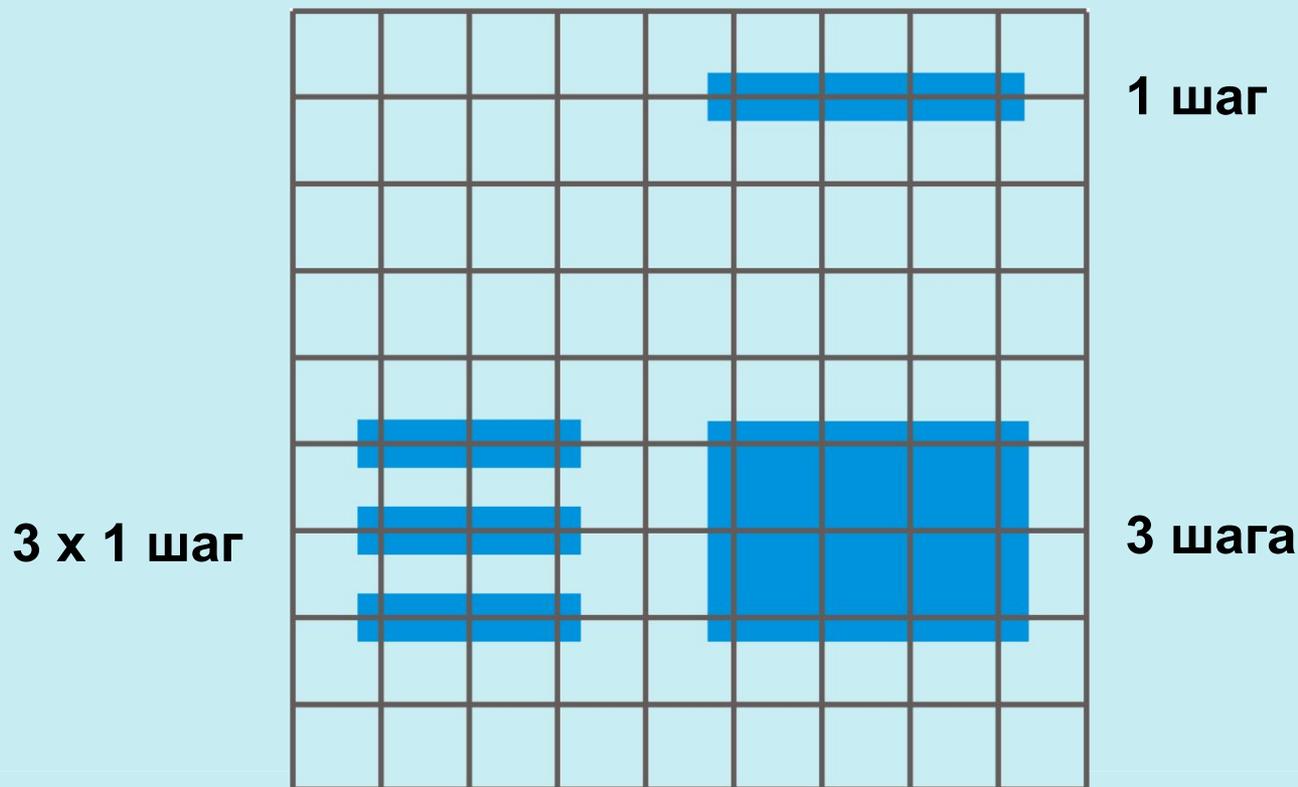


# Конструкция стандартной ячейки

Шины земли/питания имеют фиксированную ширину

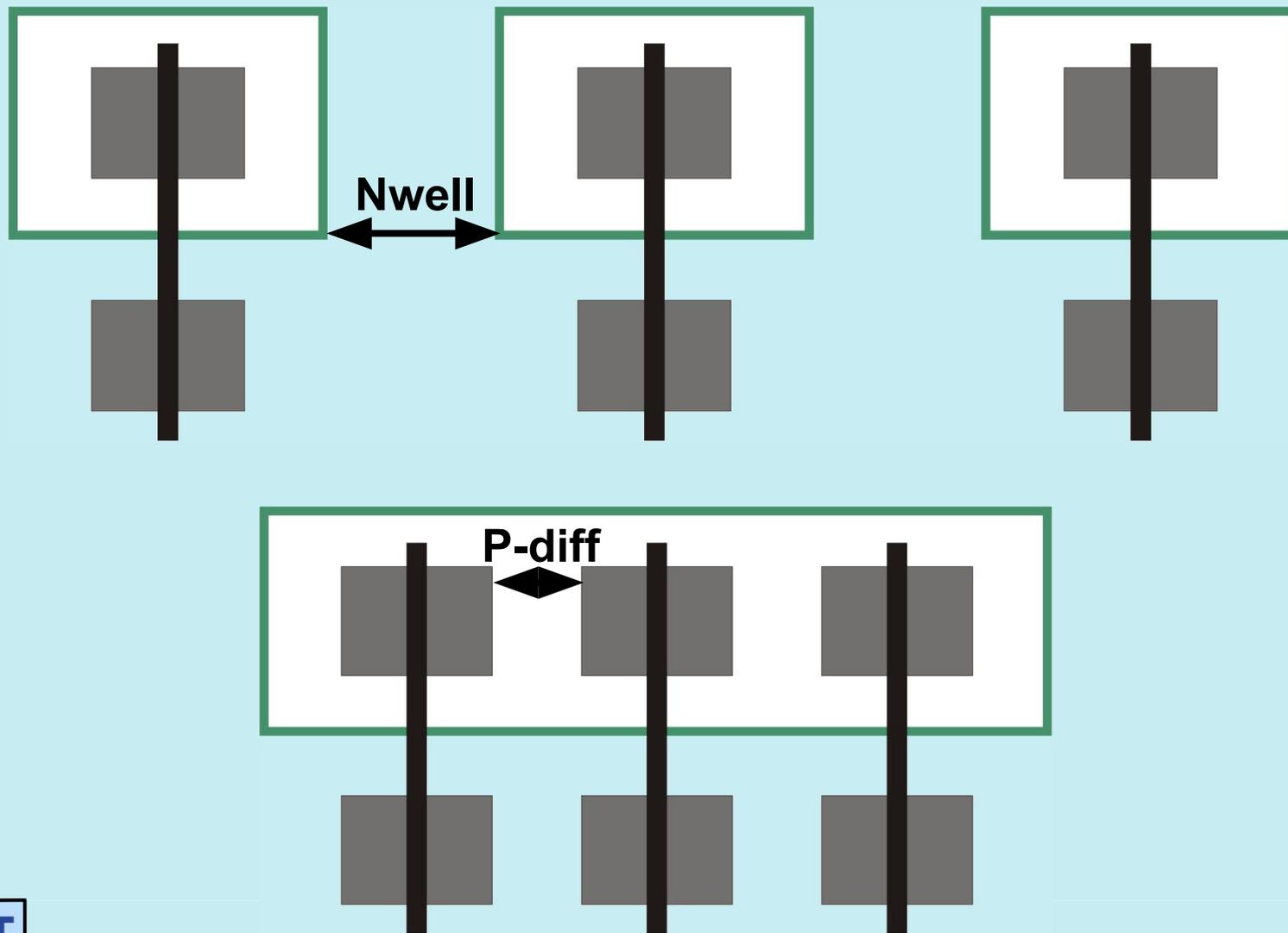
Через шины питания протекает много тока, они должны быть более широкими

Обычно шина питания занимает 2-3 трассировочных шага



# Конструкция стандартной ячейки

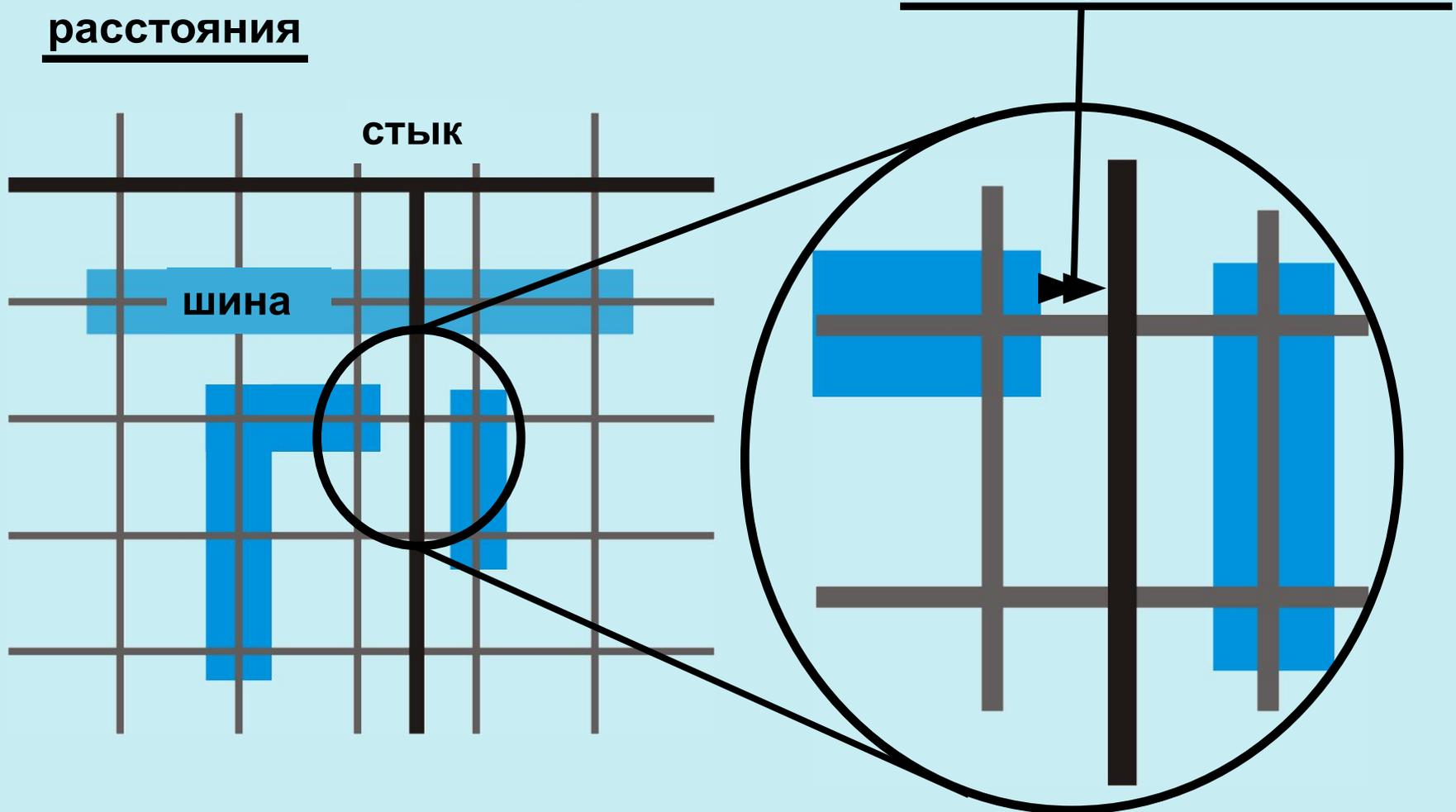
При общем кармане в строке возможно более плотное расположение транзисторов



# Конструкция стандартной ячейки

Металл в стыкуемых ячейках должен лежать на сетке

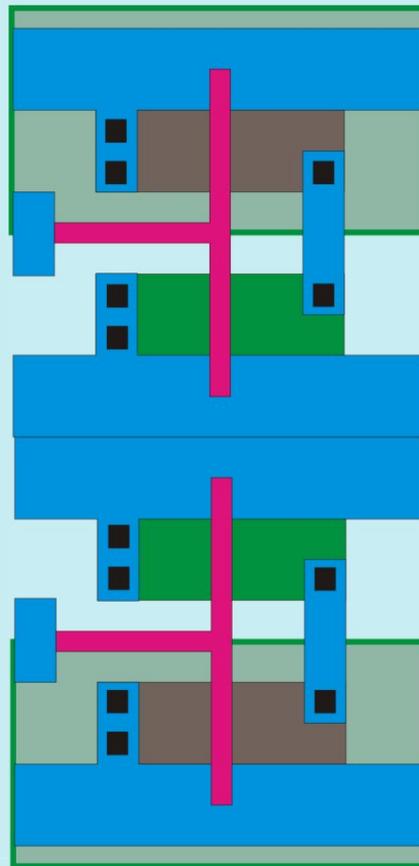
Объекты отстоят от сторон ячейки на половину минимального расстояния



# Размещение стандартных ячеек

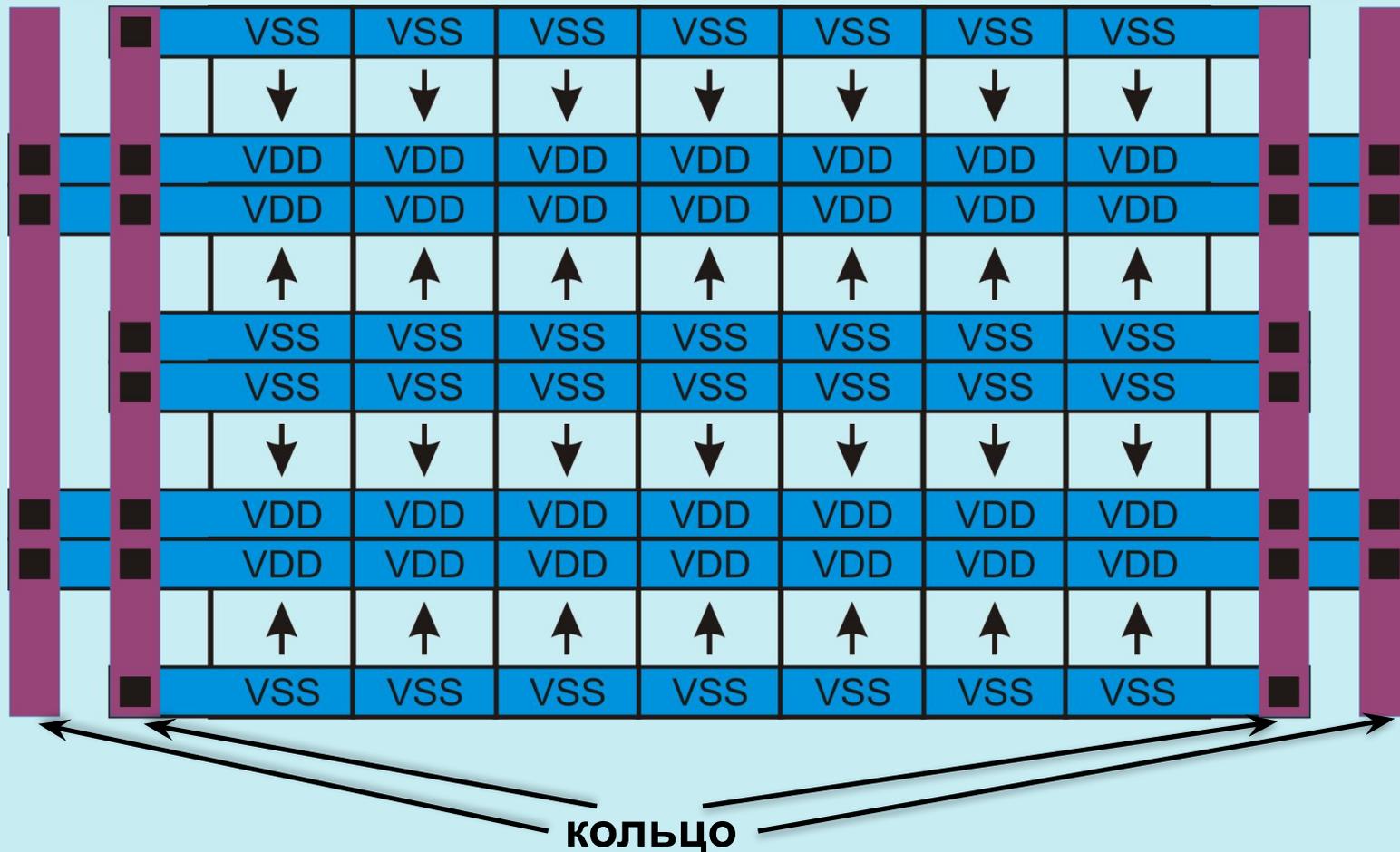
При большом количестве слоев трассировки строки из ячеек могут стыковаться «спина к спине»

стыковка  
зеркальным отображением



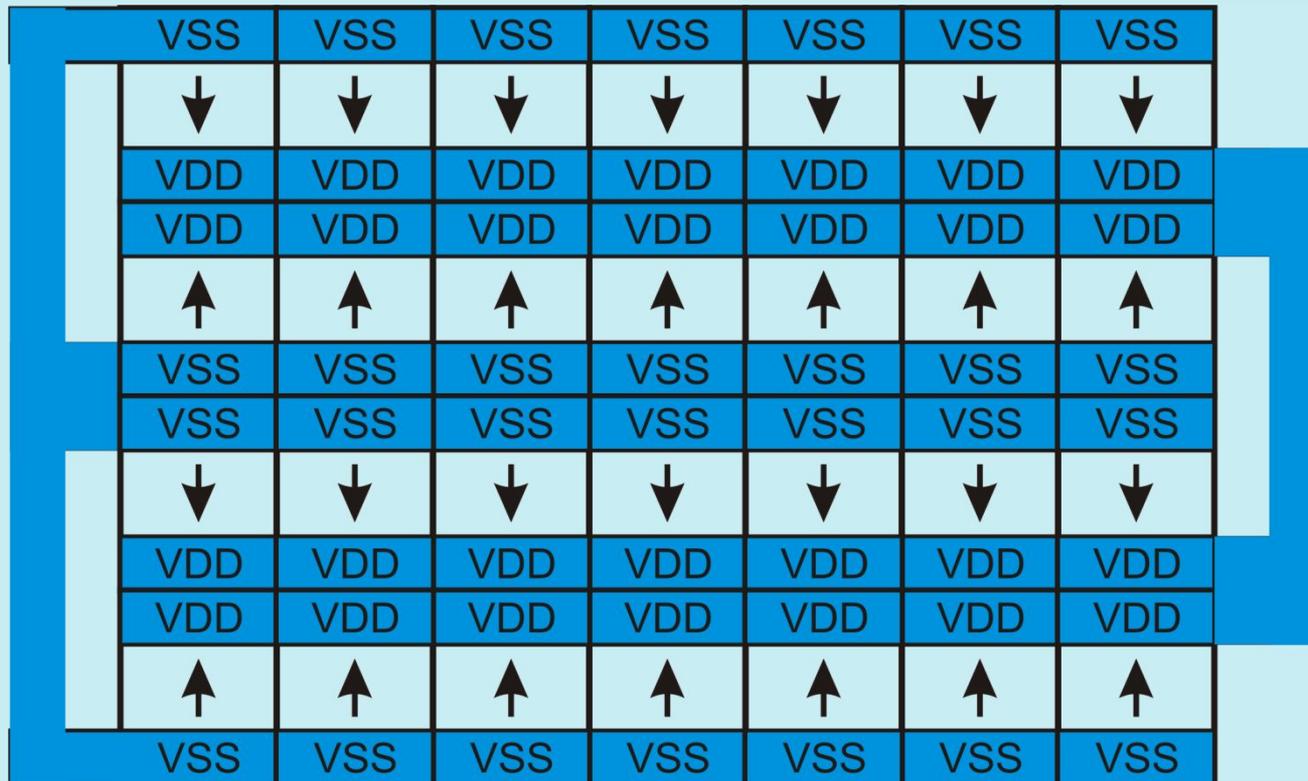
# Размещение стандартных ячеек

Если слоев металлизации много, то вокруг ячеек формируют кольца



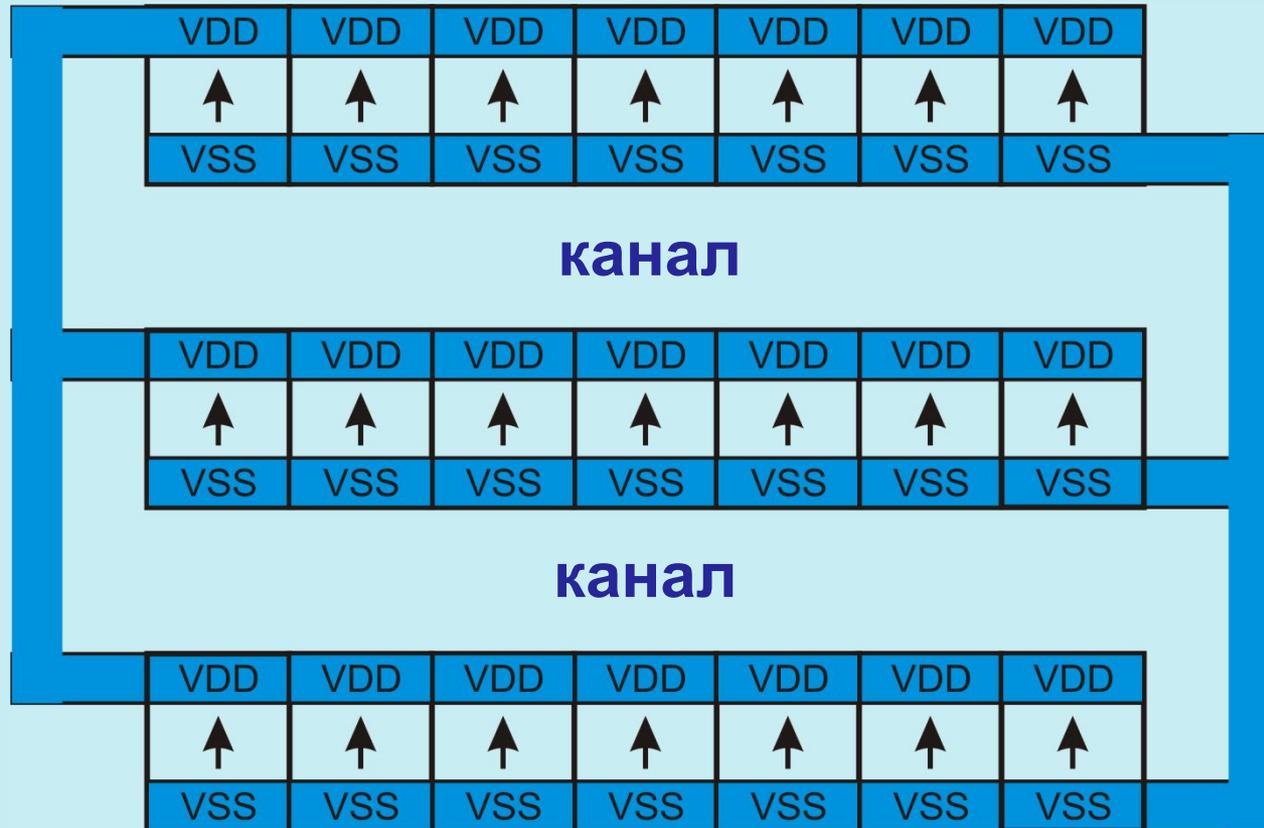
# Размещение стандартных ячеек

Для экономии слоев подсоединение земли/питания можно производить одним металлом



# Размещение стандартных ячеек

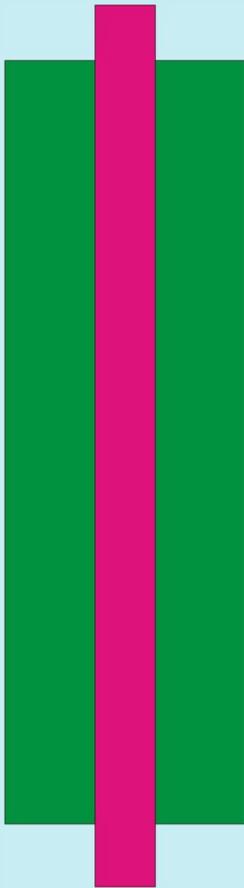
При особых ограничениях на количество слоев трассировки (типично 2) между строками вводят пустое пространство – канал.



**Плотность компоновки значительно ниже**

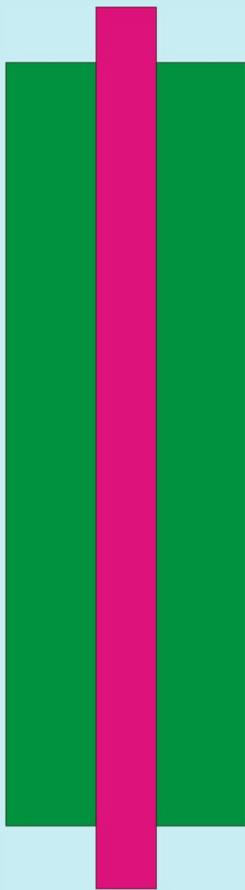
# Дизайн топологии

В ситуации, когда требуется разместить транзистор больше ячейки

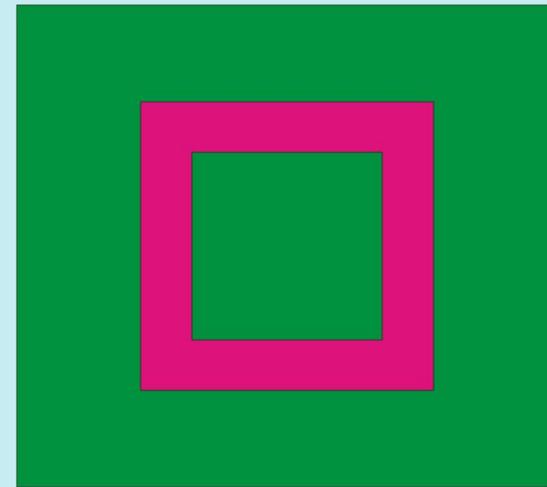


# Дизайн топологии

В ситуации, когда требуется разместить транзистор больше ячейки

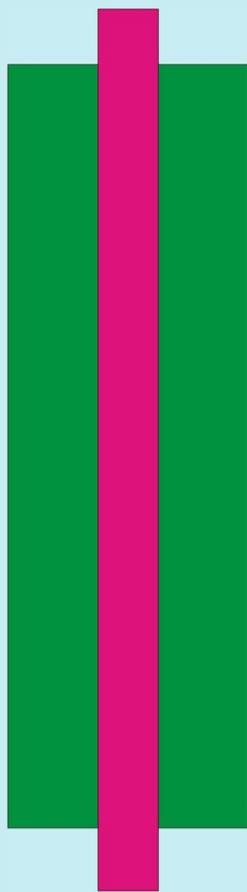


Затвор можно разместить  
кольцом

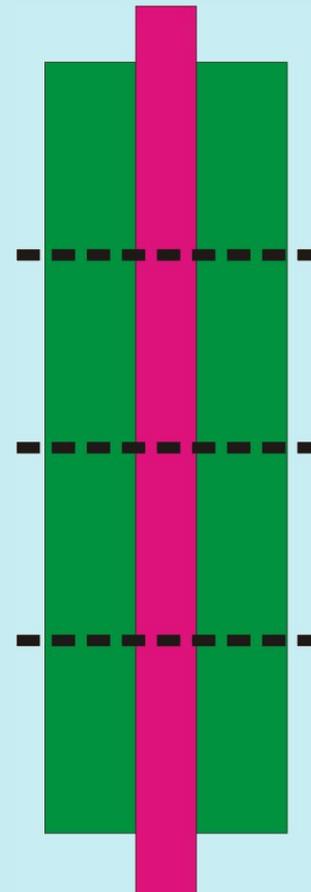


# Дизайн топологии

В ситуации, когда требуется разместить транзистор больше ячейки

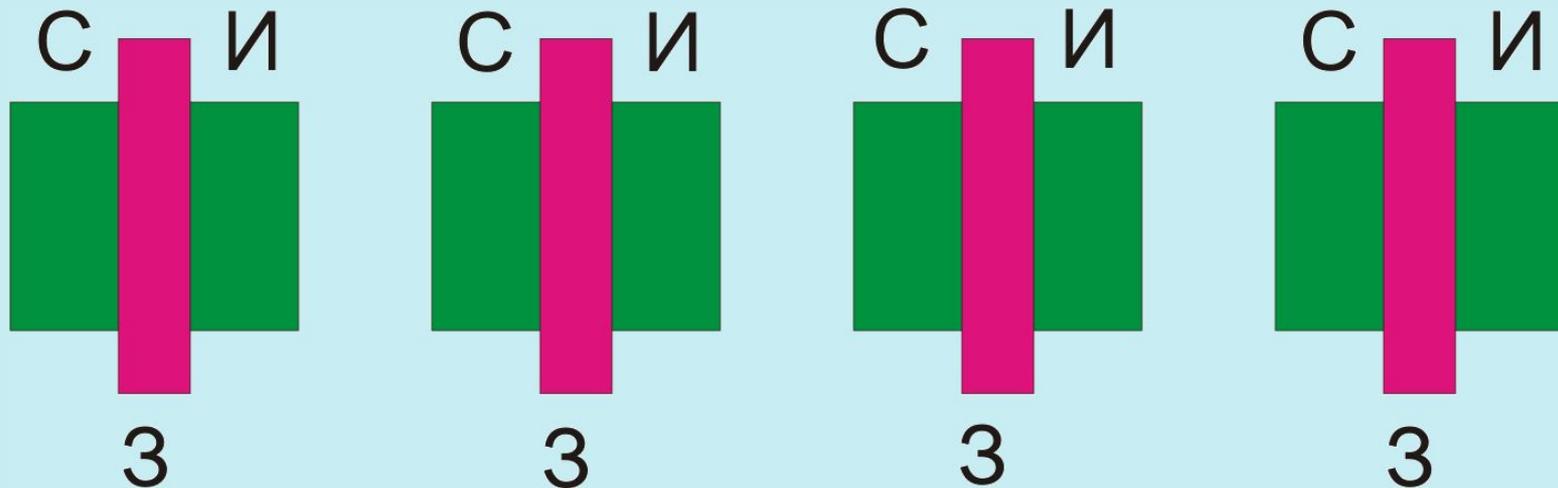


Или разделить транзистор на части



# Дизайн топологии

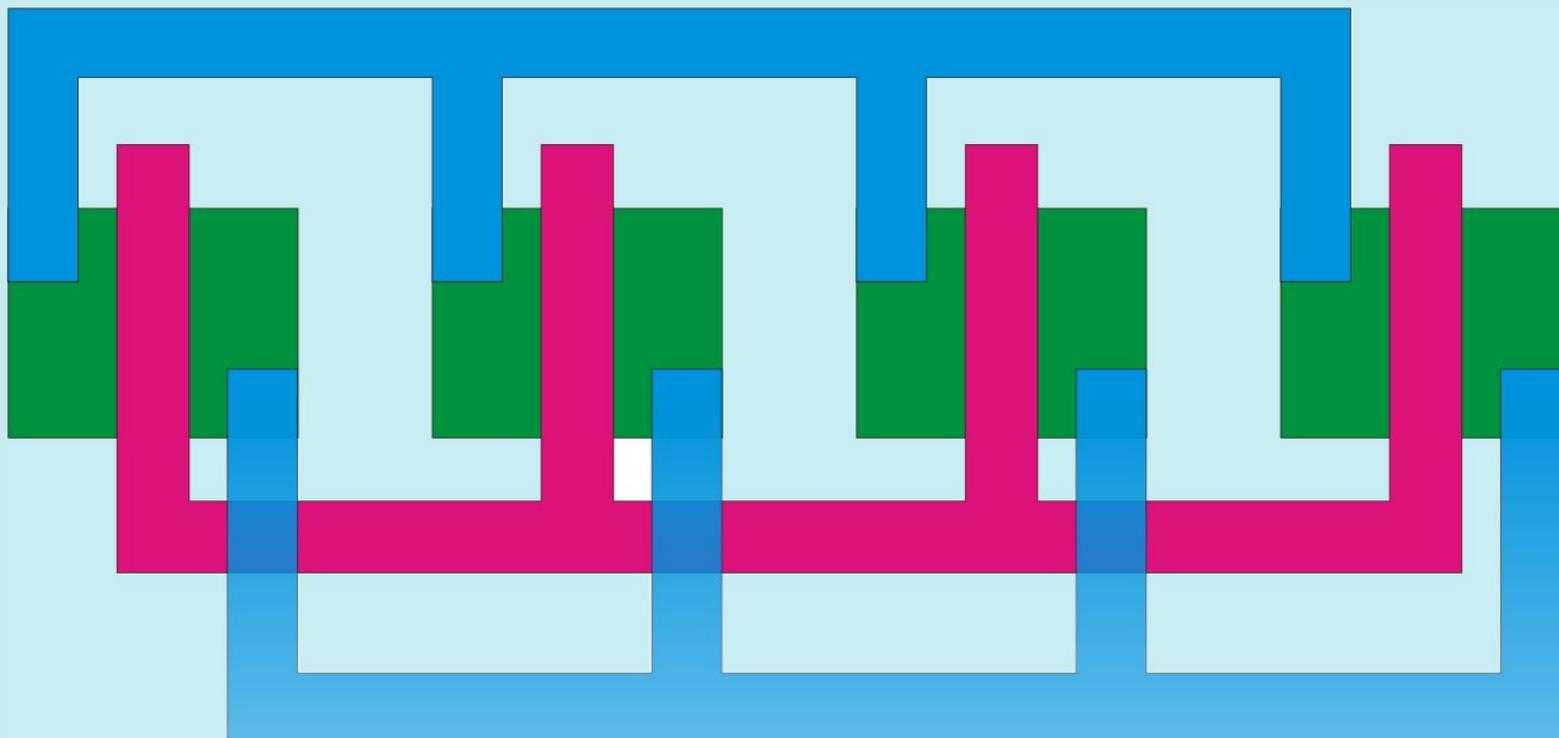
Ток от четырех транзисторов можно складывать при параллельном включении



Соединяются стоки, истоки и затворы

# Дизайн топологии

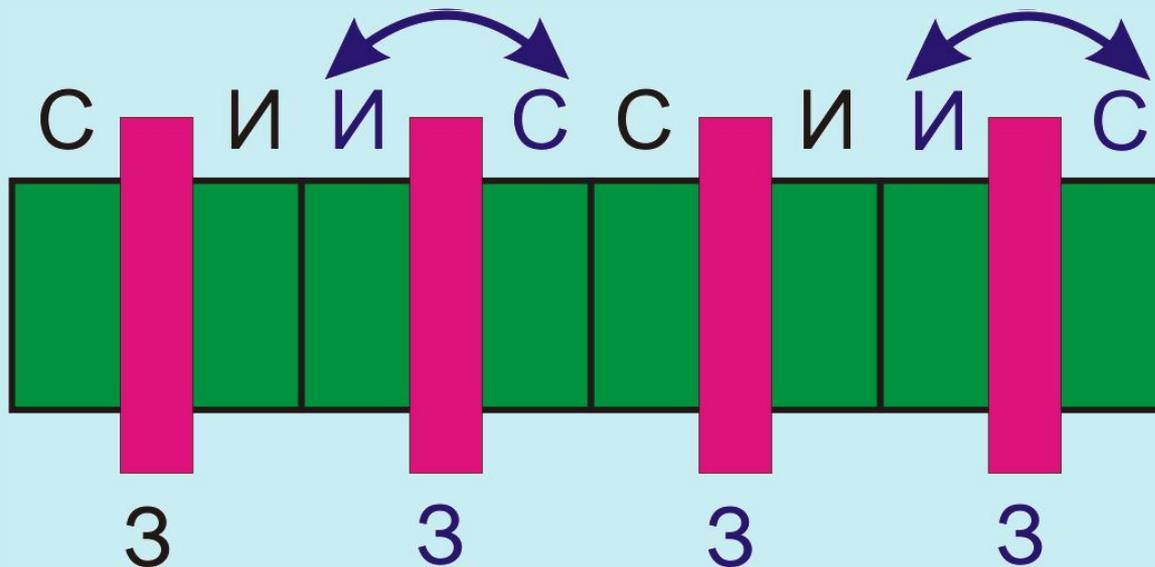
Подобная топология неэффективна по площади



Соединяются стоки, истоки и затворы

# Дизайн топологии

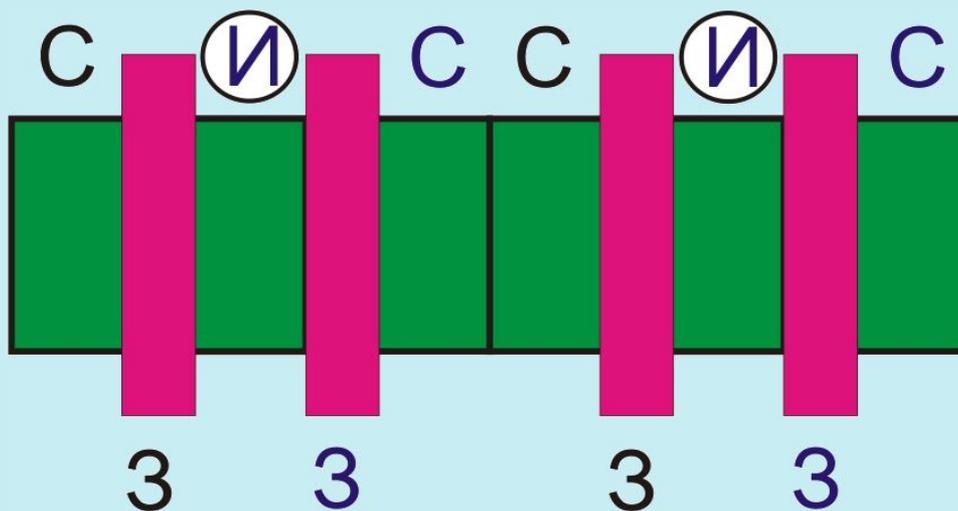
Для более плотной упаковки необходимо разместить транзисторы ближе



При зеркальном отображении истоки и стоки окажутся рядом

# Дизайн топологии

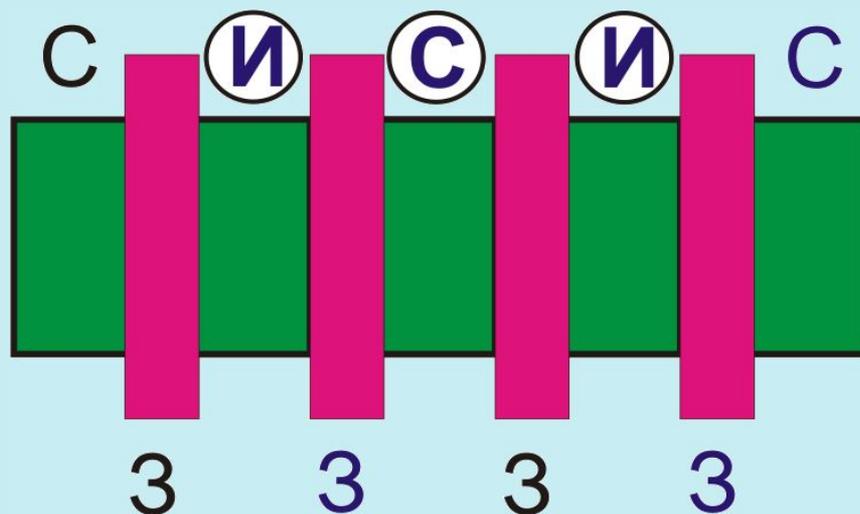
Еще большей экономии можно достичь слиянием стоков и истоков



Два истока объединены

# Дизайн топологии

Еще большей экономии можно достичь слиянием стоков и истоков

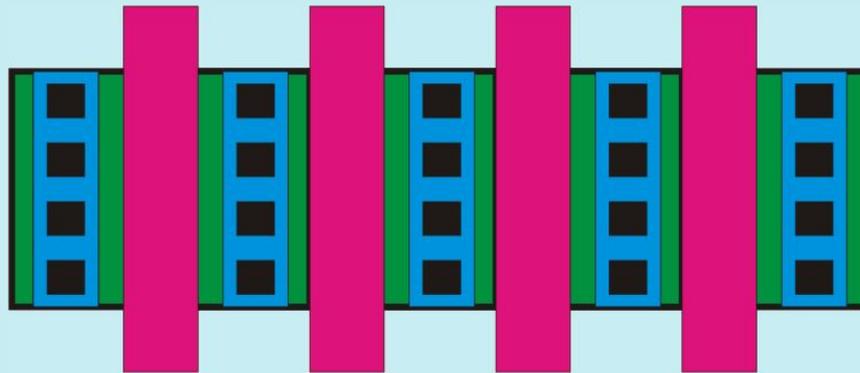


Еще компактнее при слиянии стоков

# Дизайн топологии

Для соединения используются межслойные переходы

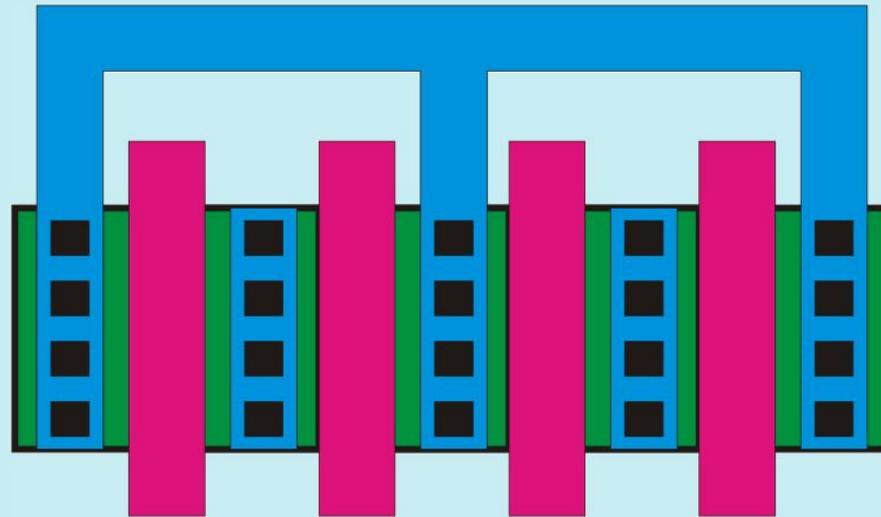
От их числа зависит сопротивление



Чем больше контактов, тем лучше

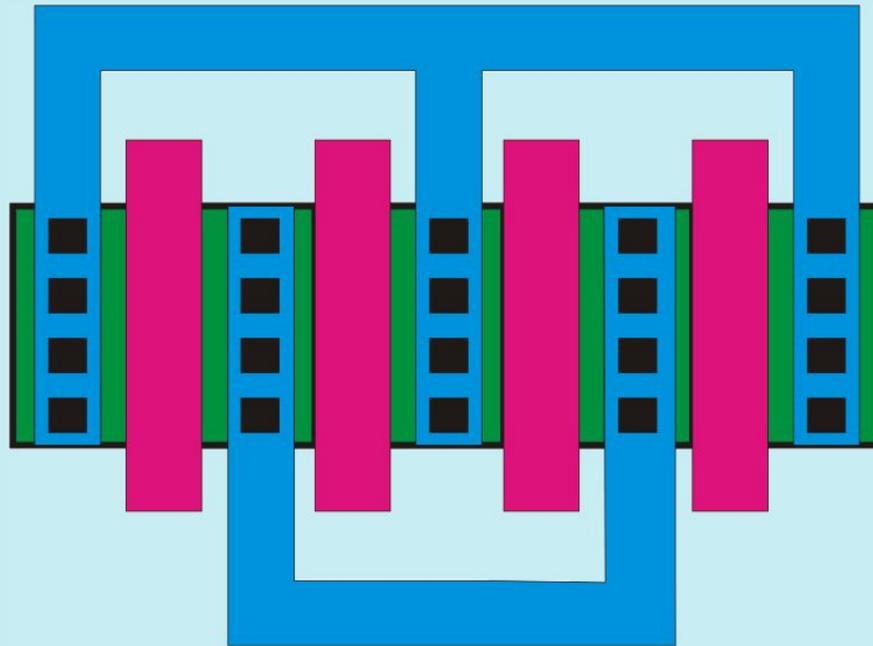
# Дизайн топологии

Стоки соединяются со стоками



# Дизайн топологии

**Истоки соединяются со истоками**

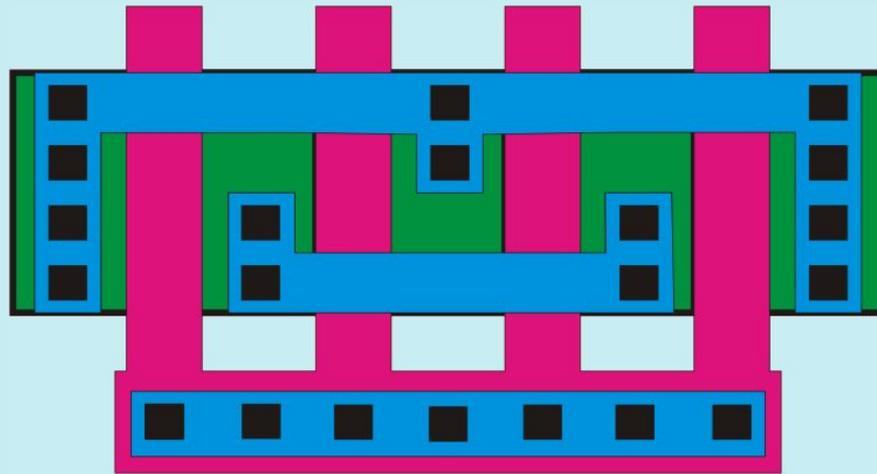




# Дизайн топологии

Для экономии площади излишки контактов могут быть удалены

Удаляются так, чтобы паразитное сопротивление было невелико

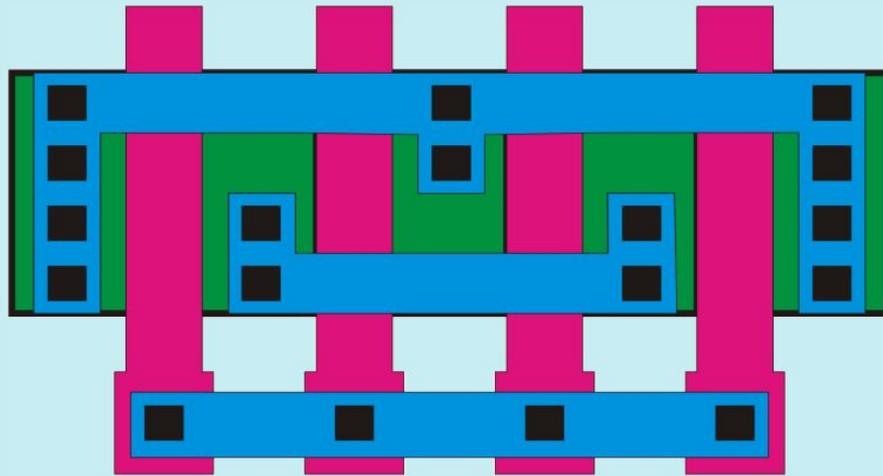


Единовременно используется не менее 2х контактов

# Дизайн топологии

Для экономии площади излишки контактов могут быть удалены

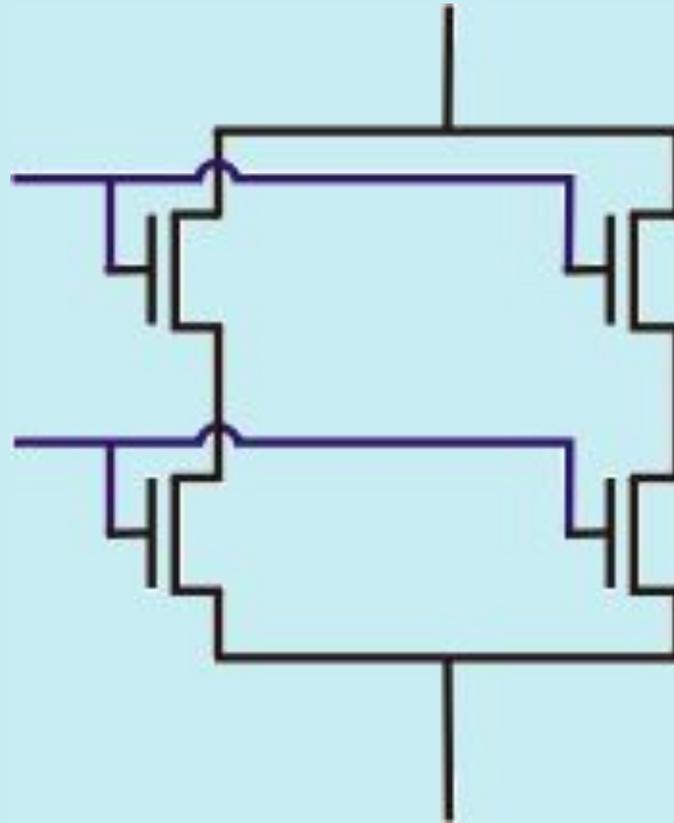
Удаляются так, чтобы паразитное сопротивление было невелико



При рассоединении затворов можно ослабить антенна-эффект

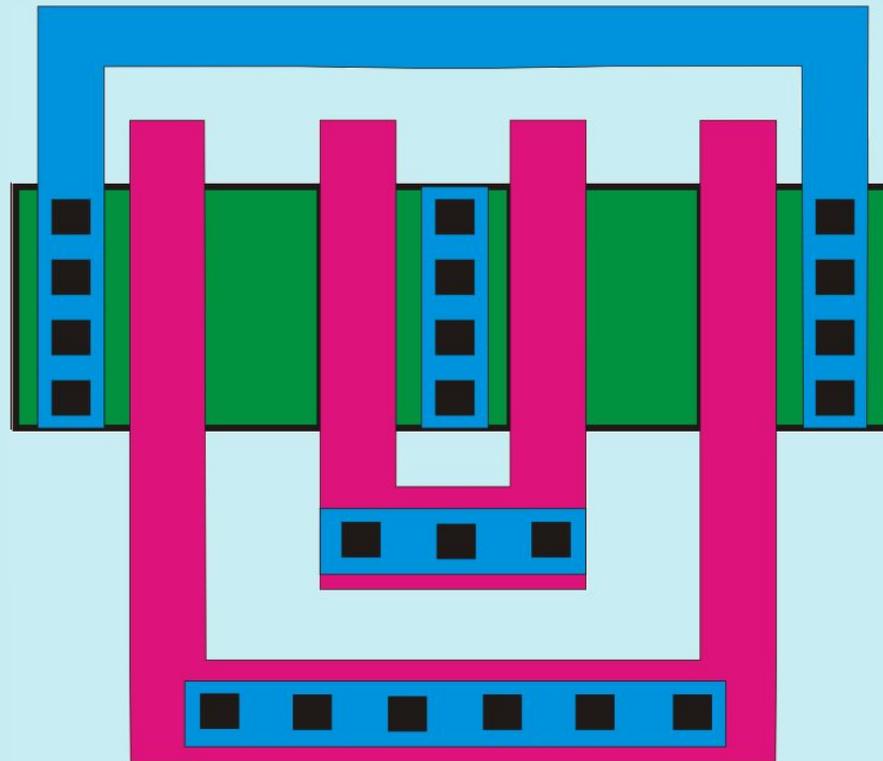
# Дизайн топологии

Как тогда будет выглядеть топология схемы при слиянии транзисторов?



# Дизайн топологии

**Слияние стоков/истоков возможно и при последовательном включении**



# Контакты к карману/подложке

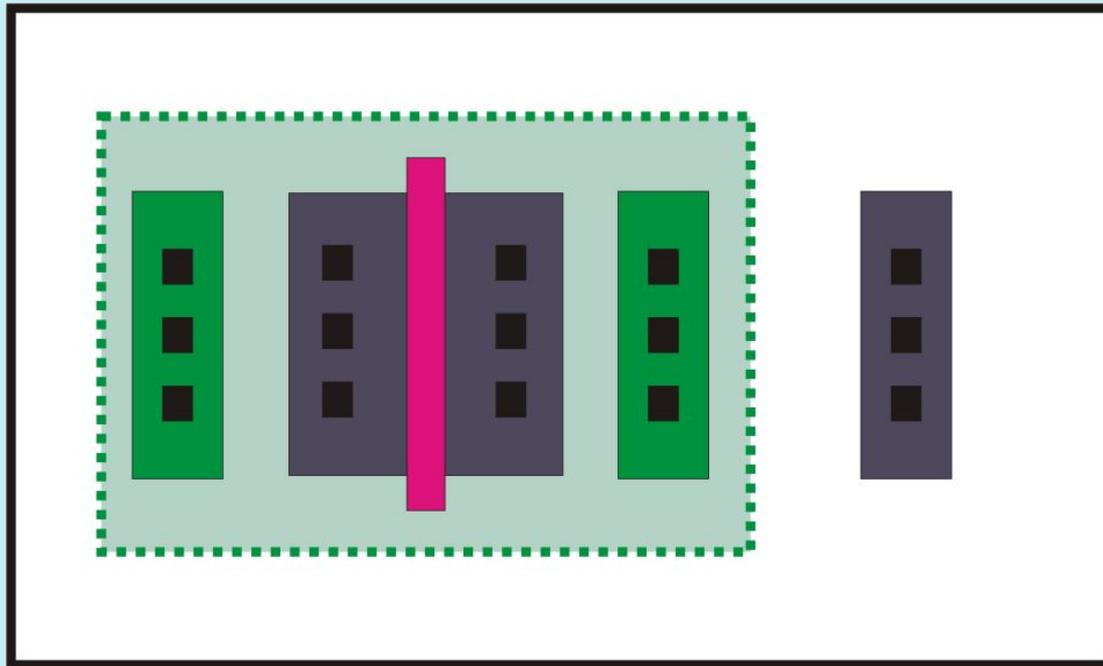
При отсутствии обратного напряжения на диоде может возникать утечка или некорректно работать транзистор



# Контакты к карману/подложке

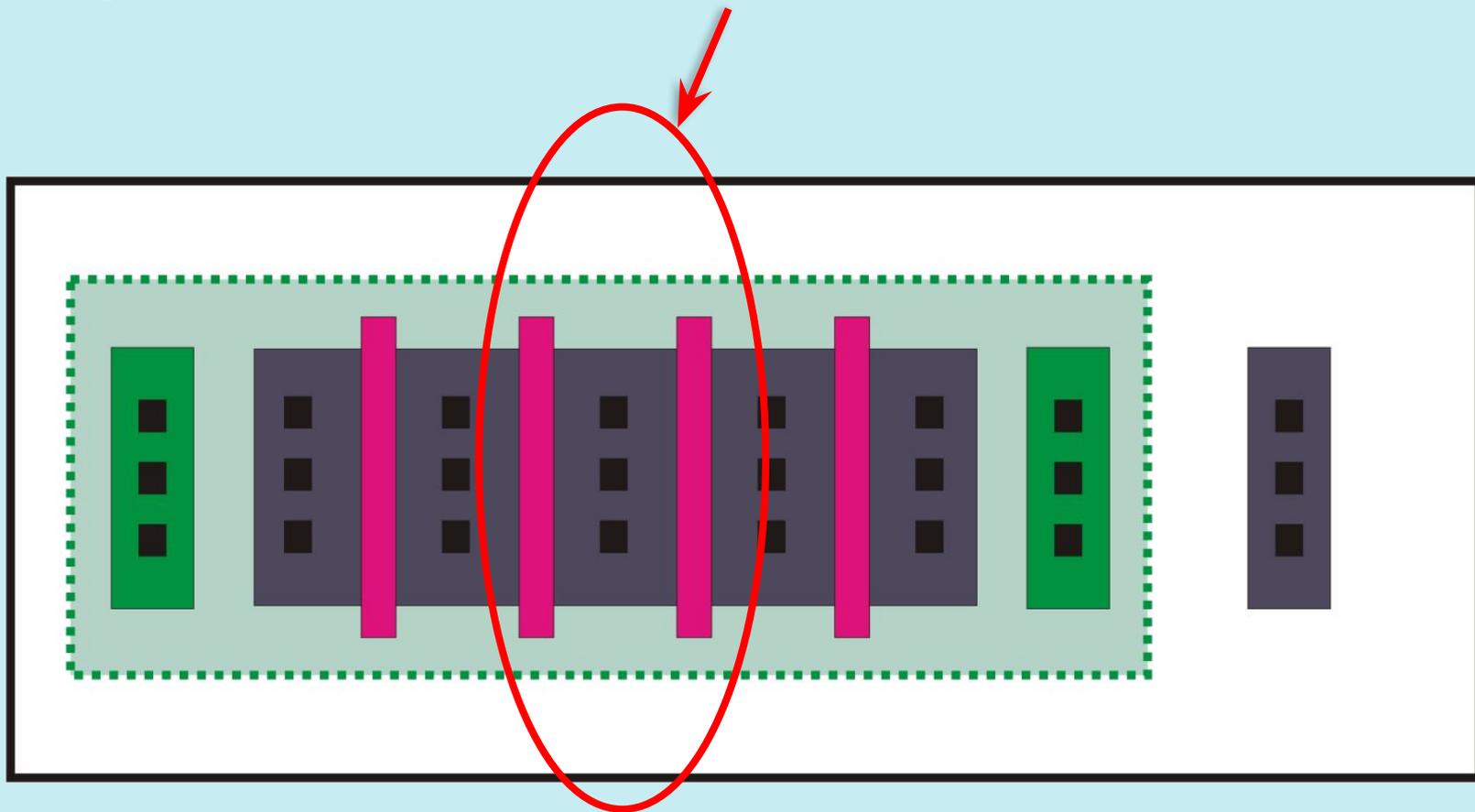
Поэтому на карман подают питание, подложку заземляют

Используются контакты n+ диффузии для кармана  
p+ диффузии для подложки



# Контакты к карману/подложке

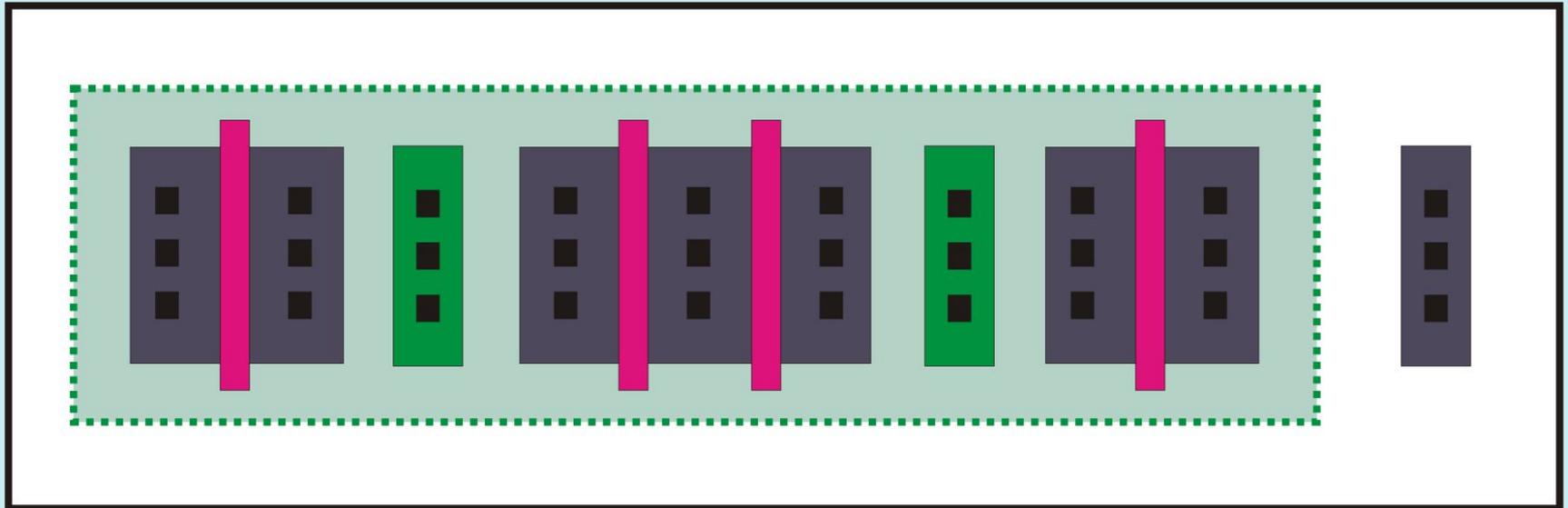
При неравномерном распределении контактов могут оставаться **плавающие области**



# Контакты к карману/подложке

Для равномерного подключения:

Контакты могут располагаться среди транзисторов

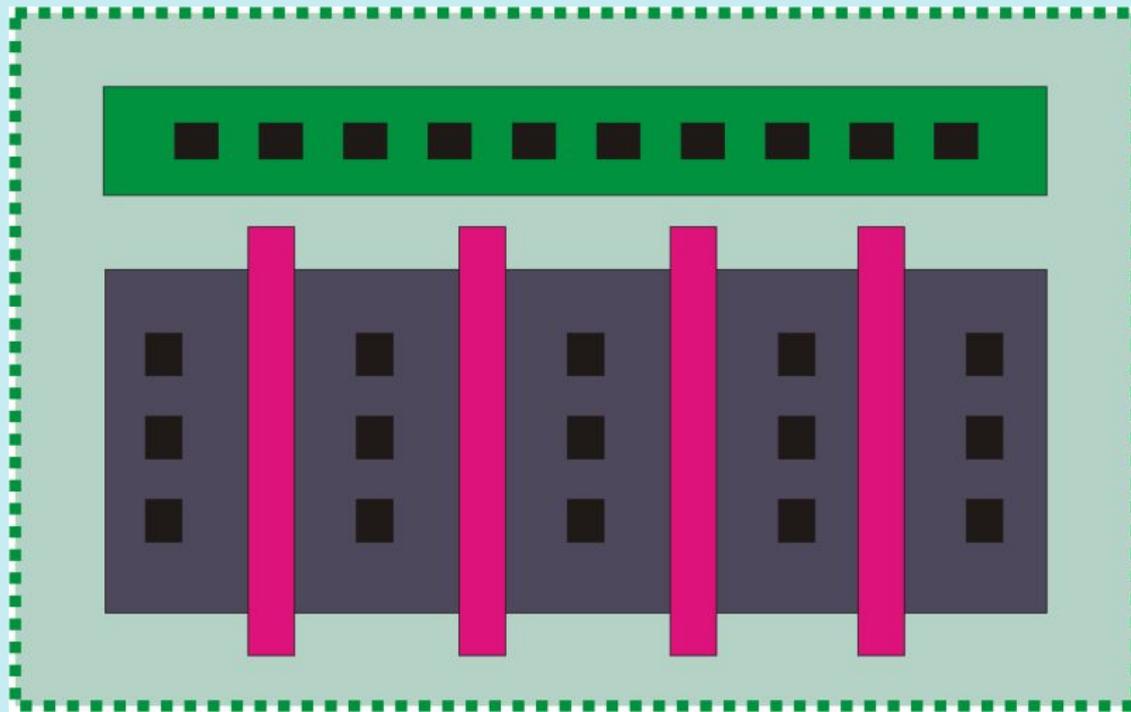


Получается громоздкая топология

# Контакты к карману/подложке

Для равномерного подключения:

Контакты могут располагаться сверху транзисторов

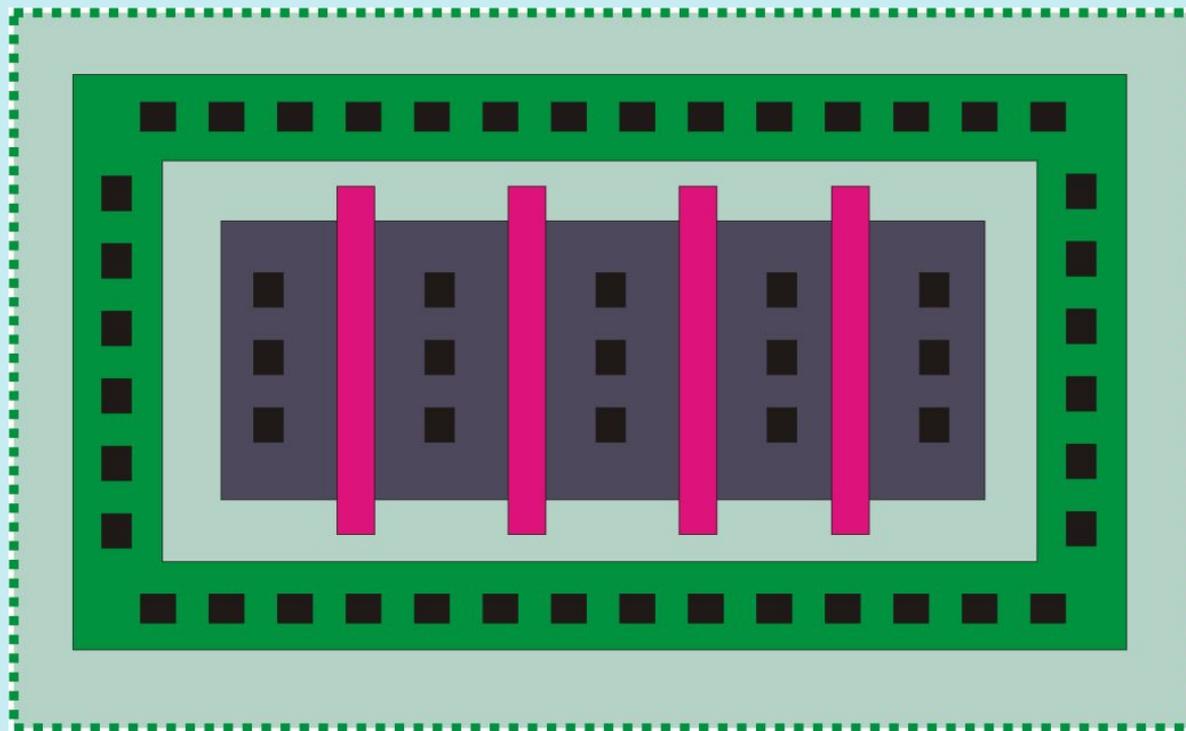


Обычно поверх идет шина земли/питания  
Шина сразу запитывает карман/подложку

# Контакты к карману/подложке

Для равномерного подключения:

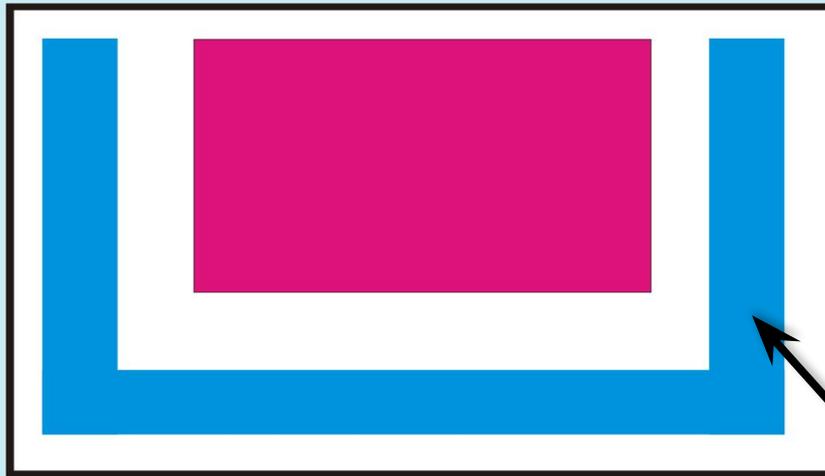
Контакты могут располагаться вокруг транзисторов



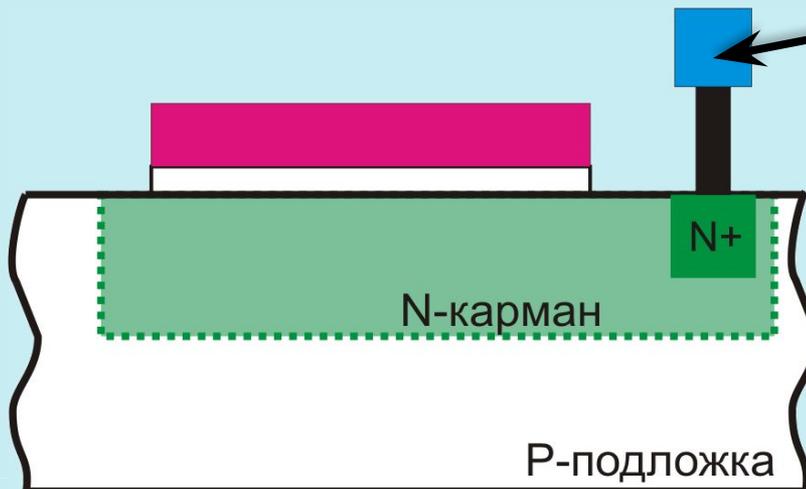
Наиболее надежный способ подключения

# Топология конденсатора

Часто формируется между поликремнием и диффузией (карманом)



Подключение кармана производится по периметру



# Топология конденсатора

Также возможно сделать при помощи металла



# Топология конденсатора

Также возможно сделать при помощи металла



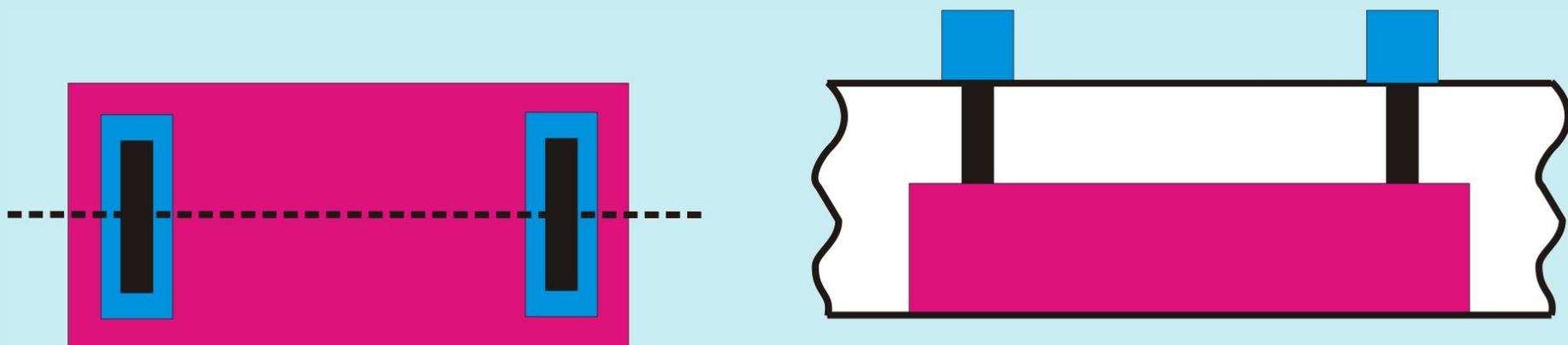
Для большей емкости возможно многоуровневое подключение для миниатюризации



# Топология резистора

Может формироваться с помощью поликремния

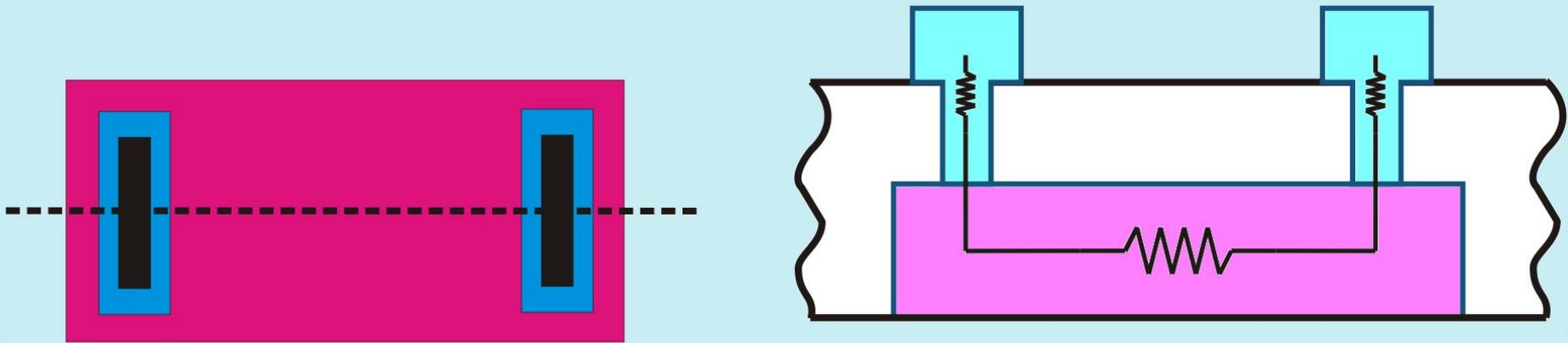
Величина сопротивления зависит от длины и ширины области



# Топология резистора

Может формироваться с помощью поликремния

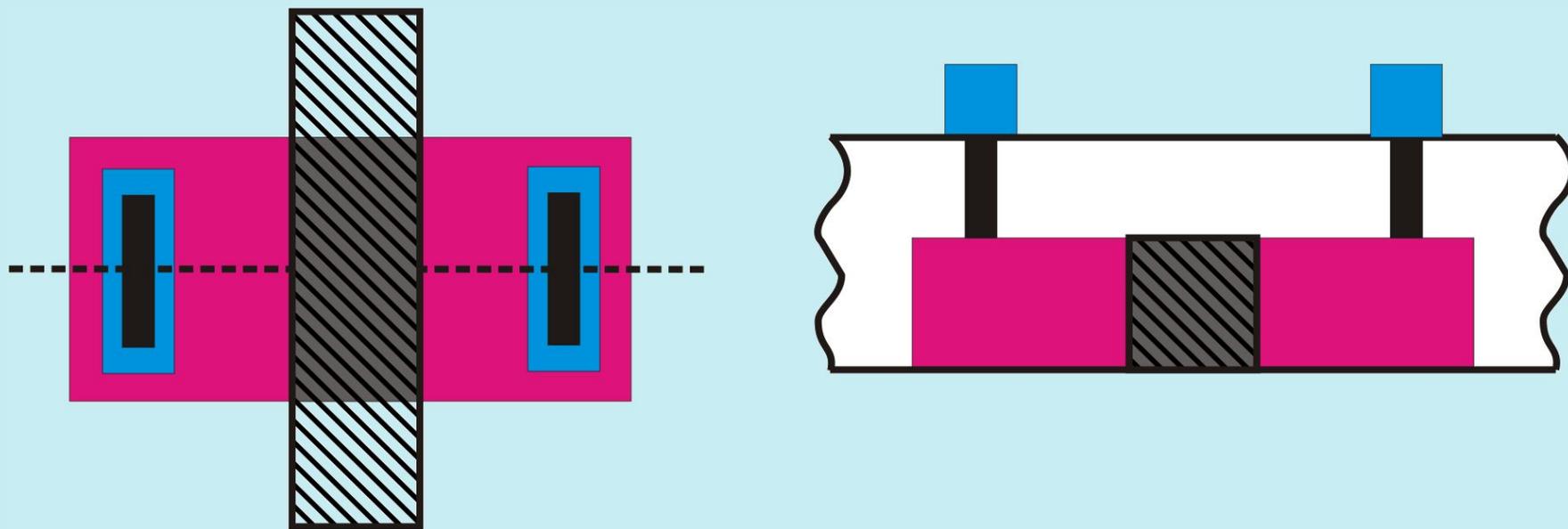
Величина сопротивления зависит от длины и ширины области



Общее сопротивление складывается из сопротивлений контактов и области

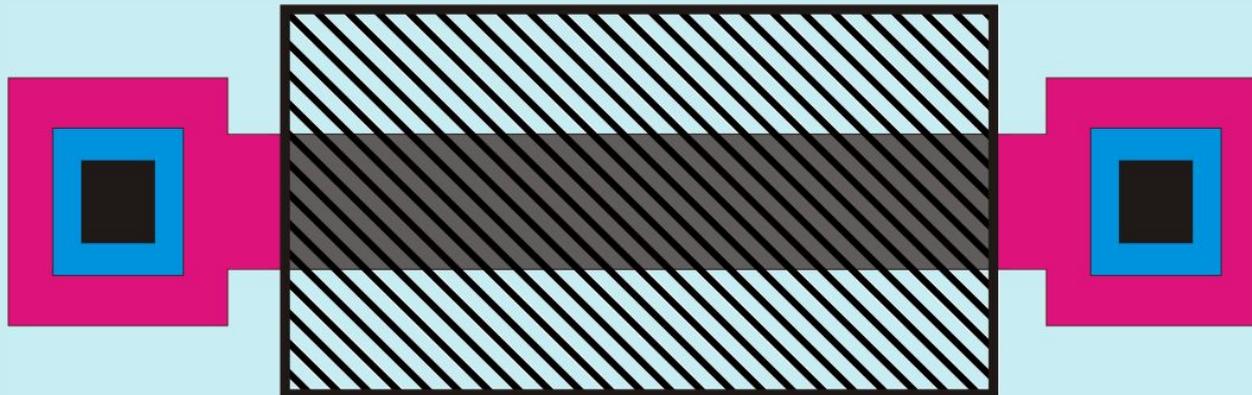
# Топология резистора

Для большого сопротивления поликремний можно дополнительно легировать другими примесями



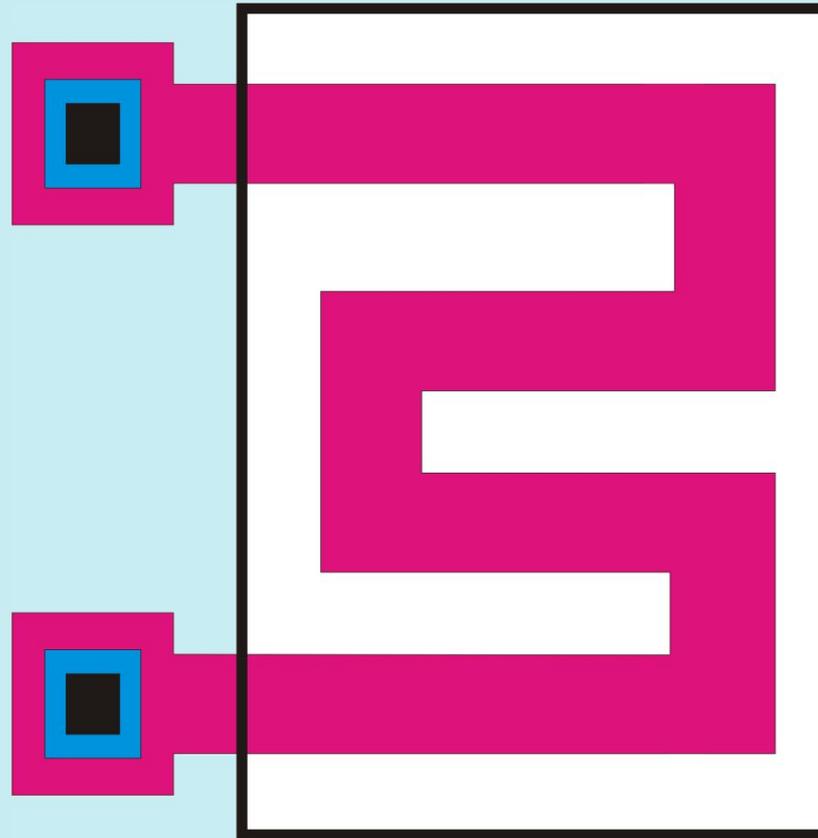
# Топология резистора

Если требуется большое сопротивление, а прецизионность не требуется, то подойдет топология в виде «собачьей кости»



# Топология резистора

Или в виде змейки

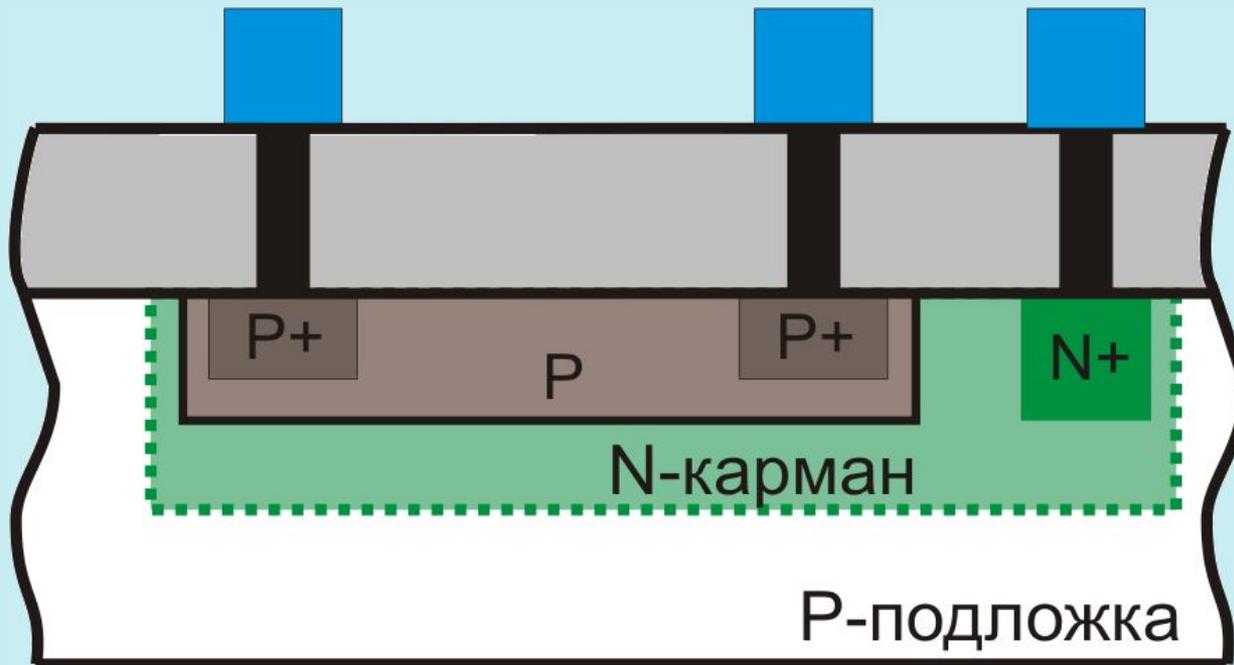




# Топология резистора

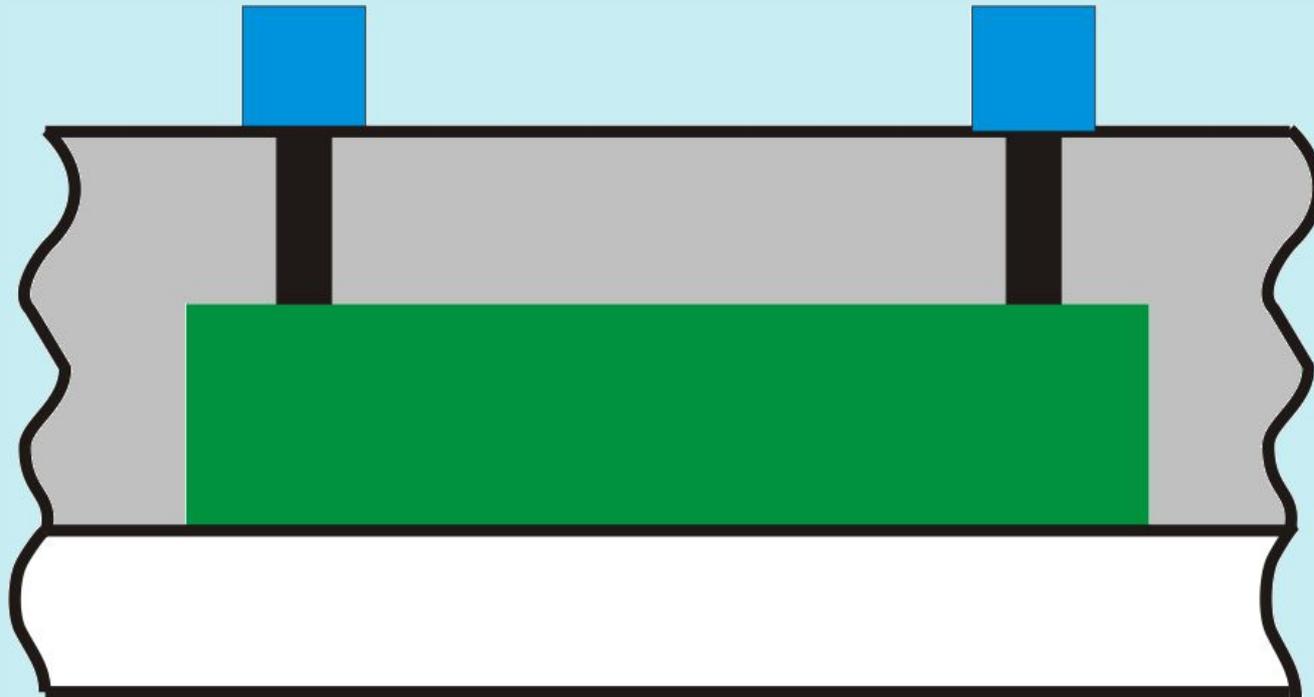
Дополнительно резисторы можно сформировать из МОП-транзистора

Если убрать затвор, то топология станет проще



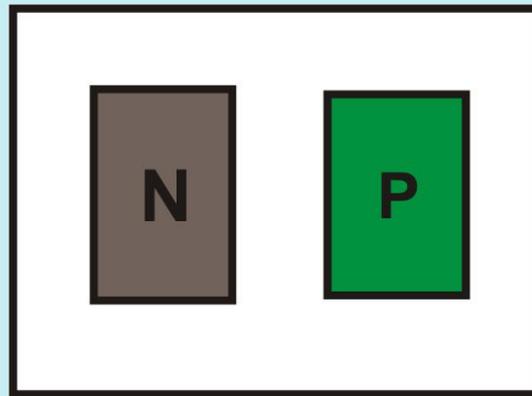
# Топология резистора

Еще альтернатива: использовать n-диффузию в качестве тела резистора



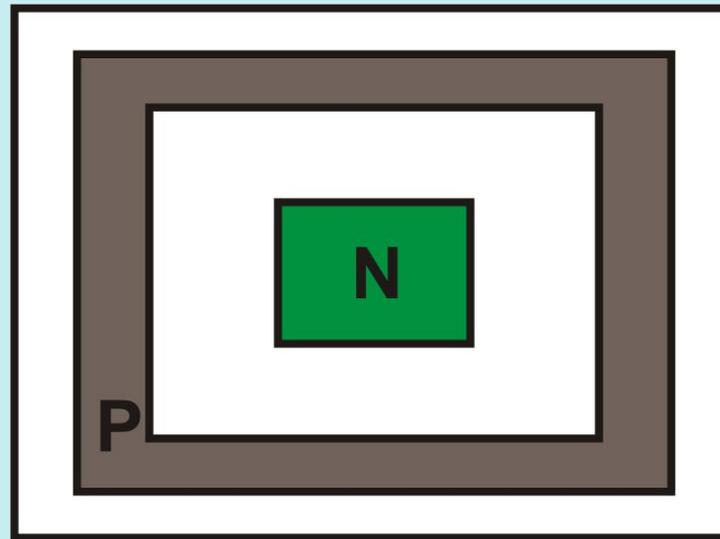
# Топология диода

В простейшем случае формируется из n- и p-диффузии на подложке



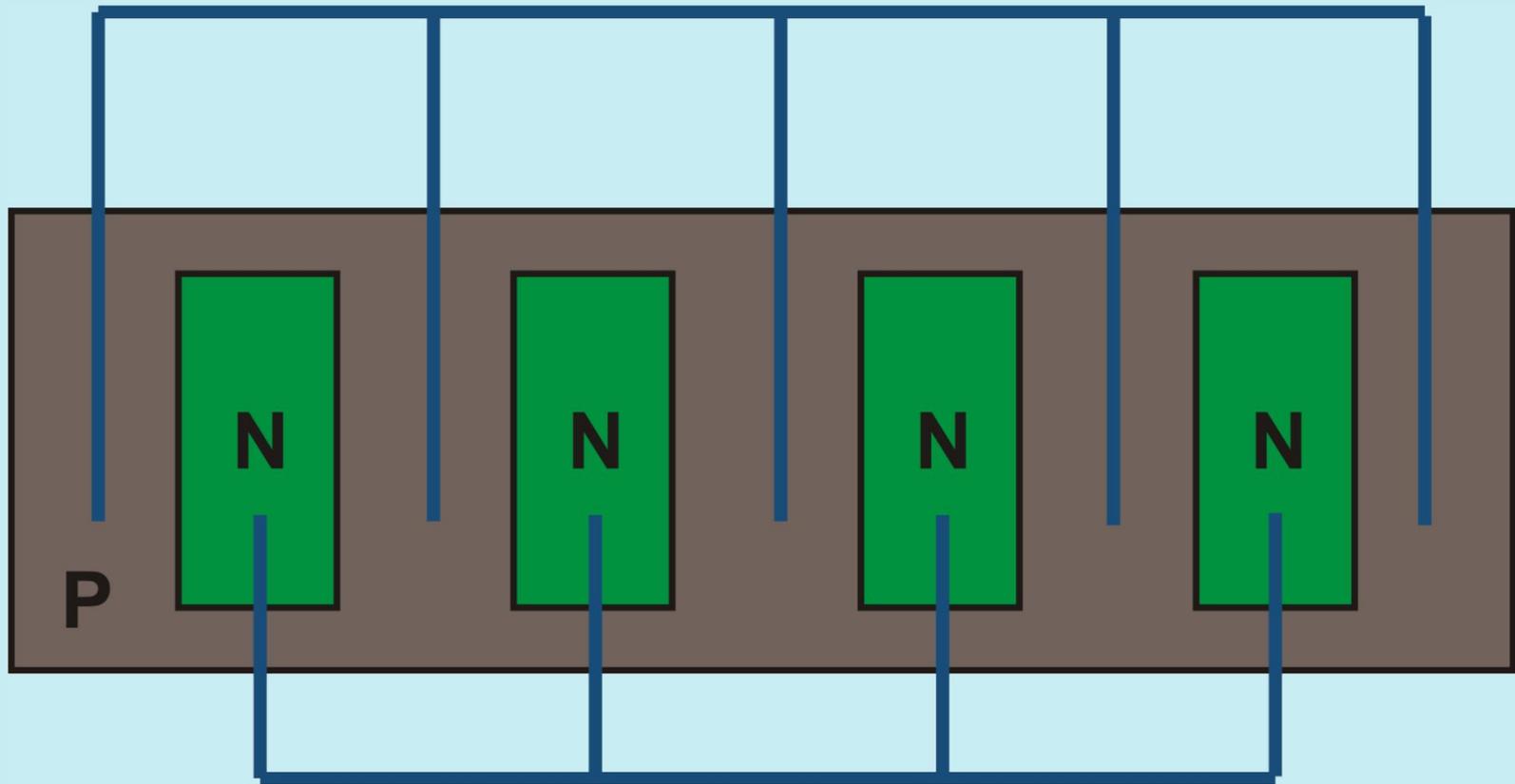
# Топология диода

Для повышения площади перехода области диффузии располагают кольцом



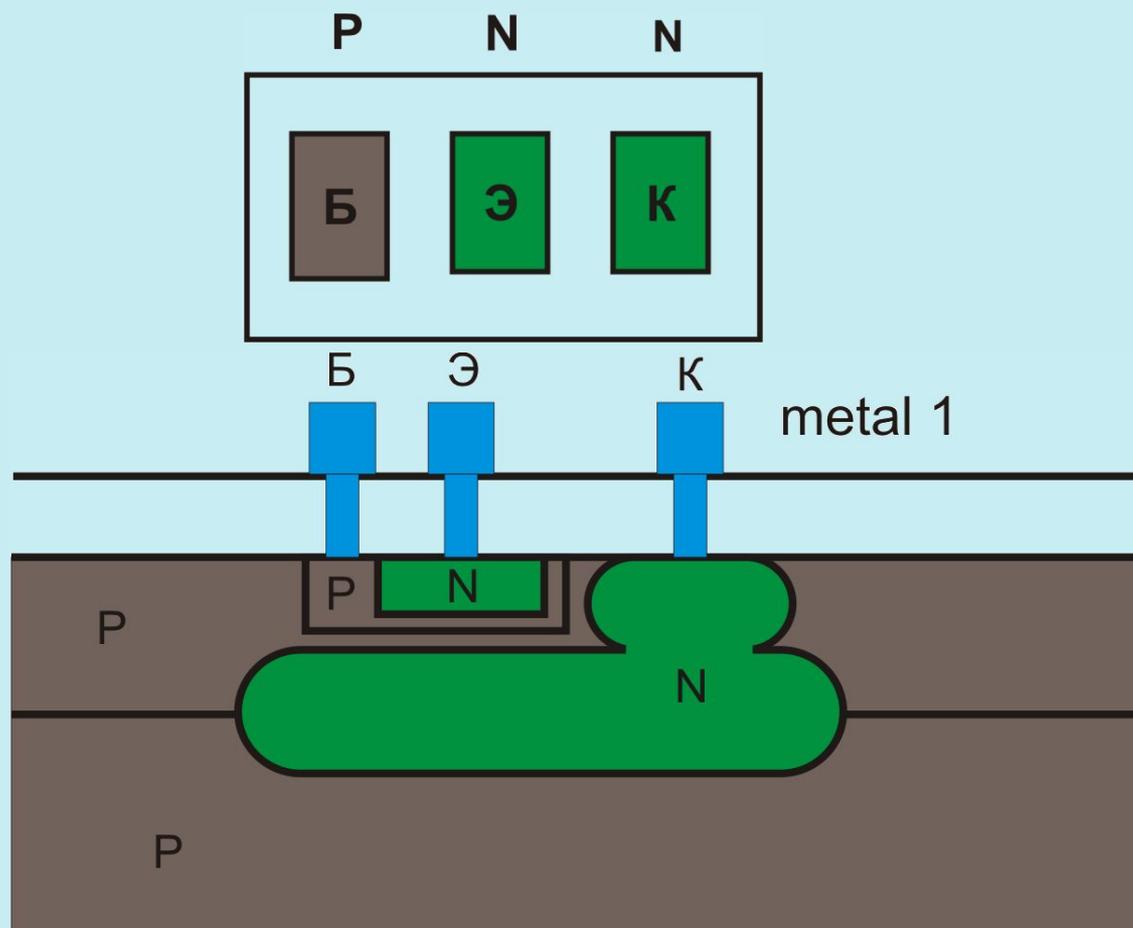
# Топология диода

Или также, как и с транзисторами формируют «пальцы»



# Топология биполярного транзистора

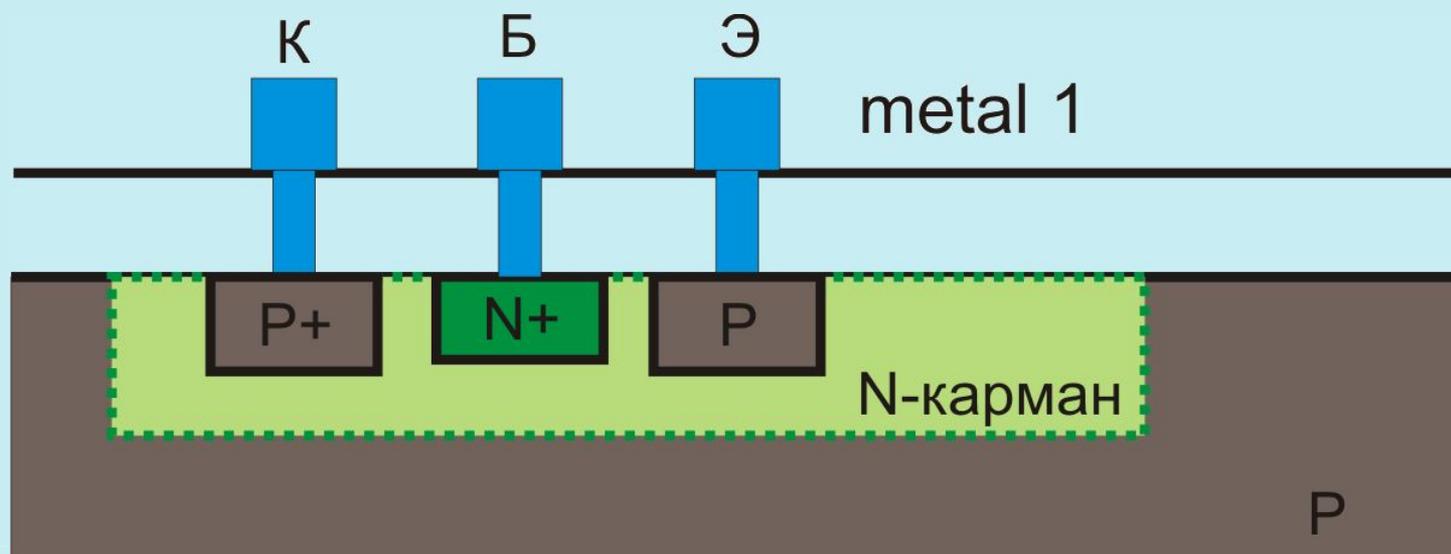
Последовательно формируются коллектор, база, затем эмиттер



# Топология биполярного транзистора

PNP формируется в N-кармане

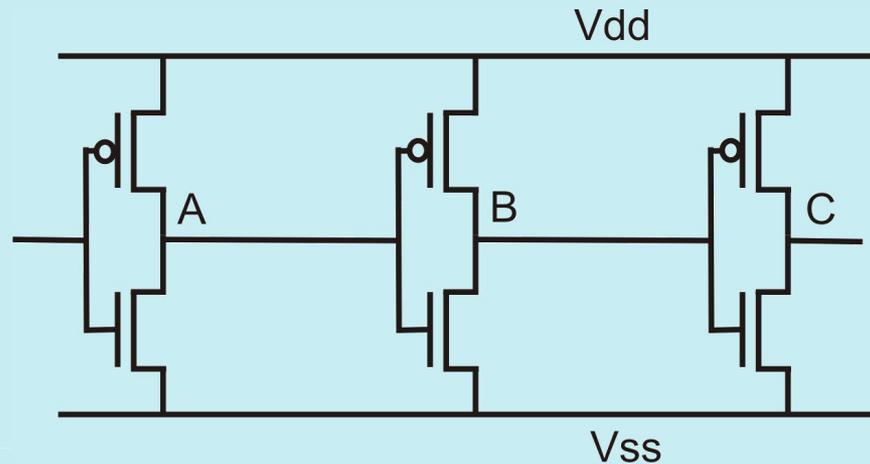
Как будет выглядеть сверху?





# Палочная диаграмма

Диффузия, затворы, металл обозначаются схематически линиями

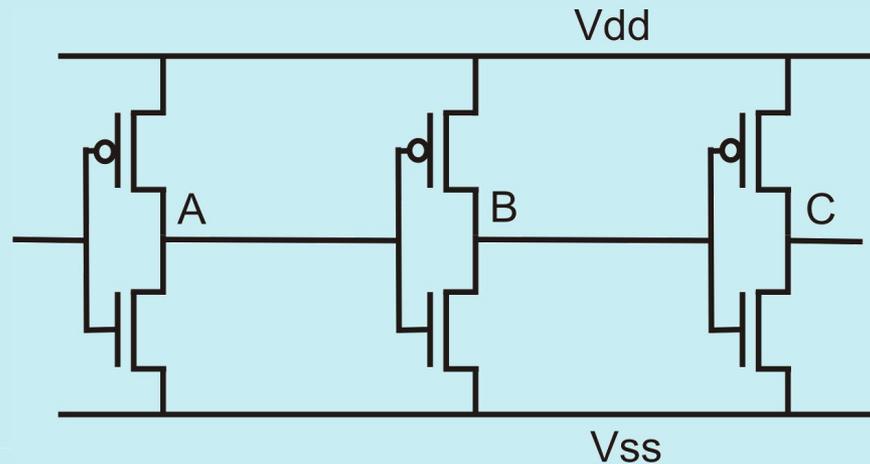


# Палочная диаграмма

Сформируем области диффузии

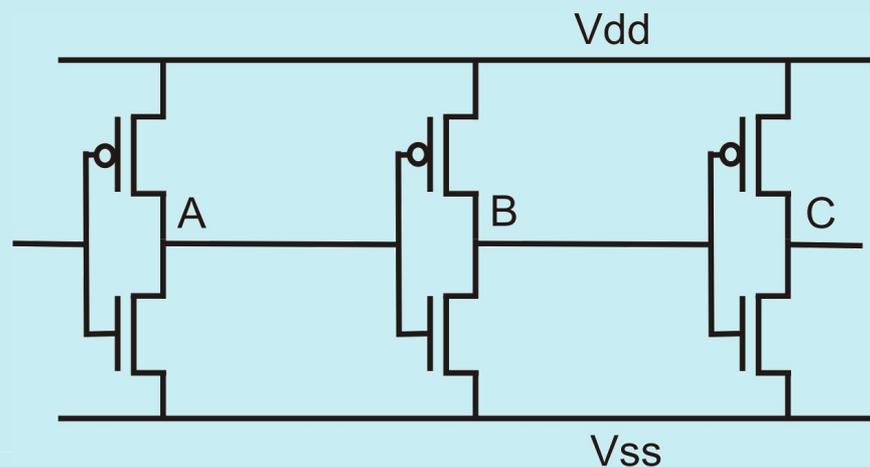
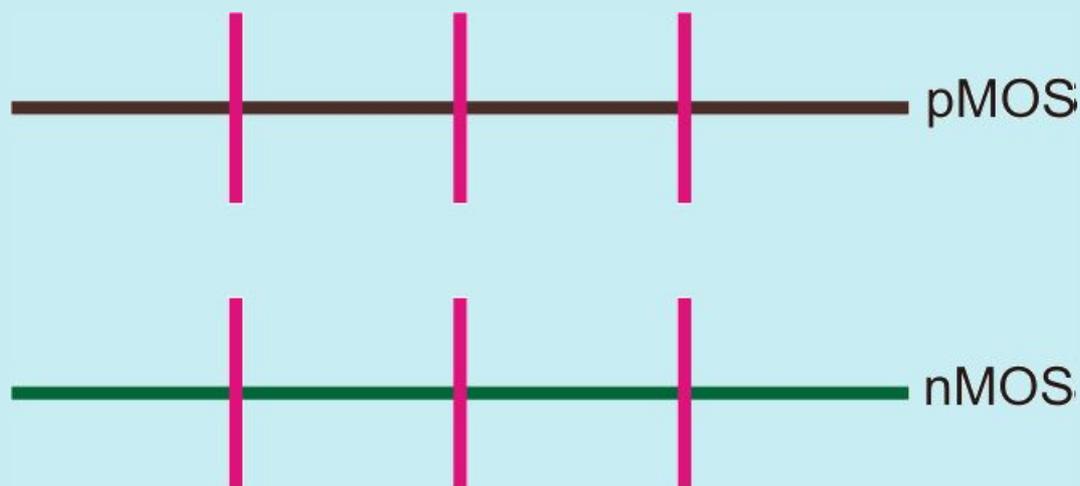
————— pMOS

————— nMOS



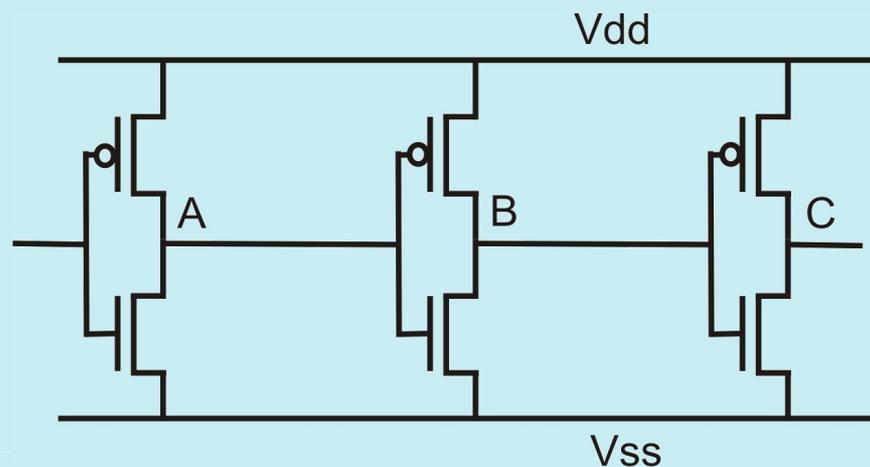
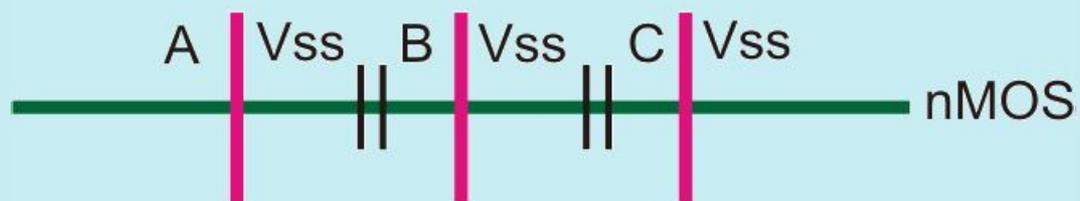
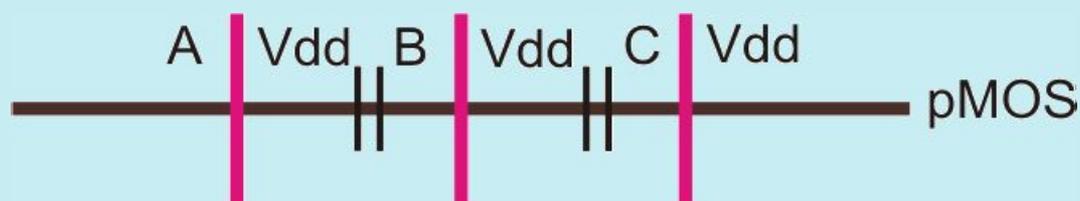
# Палочная диаграмма

Добавляются затворы, формируются 6 транзисторов



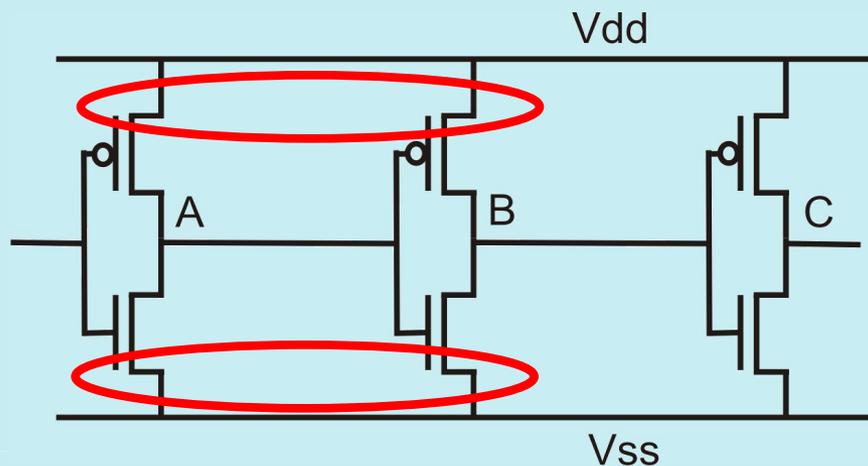
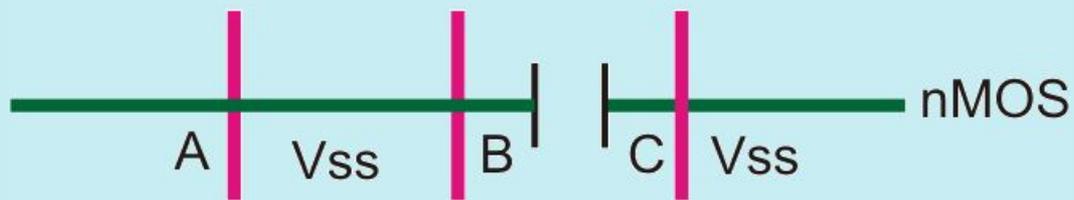
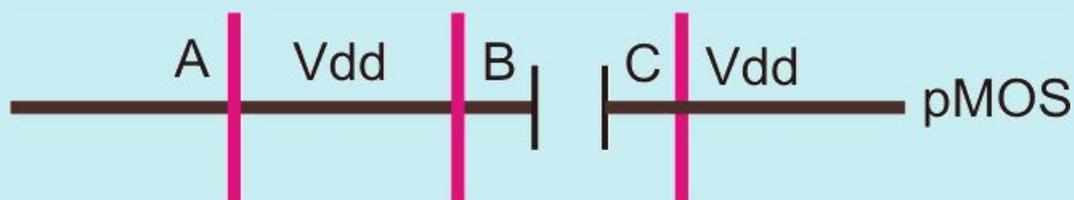
# Палочная диаграмма

Назначаются выводы схемы, диффузия разделяется



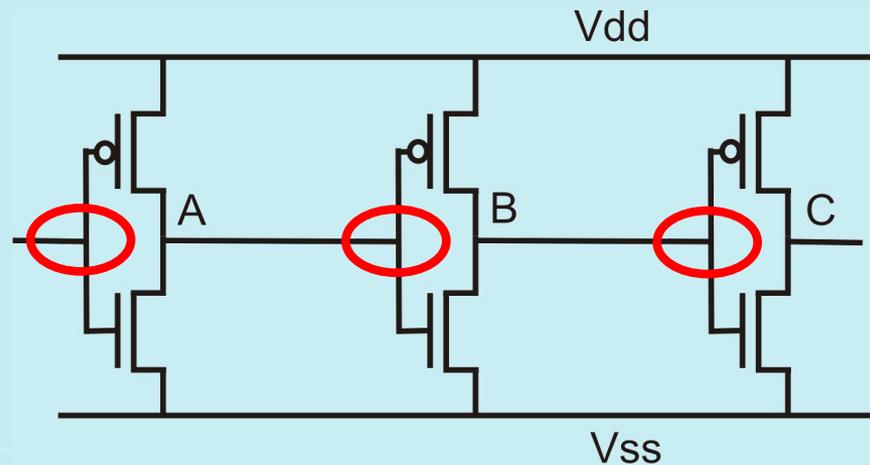
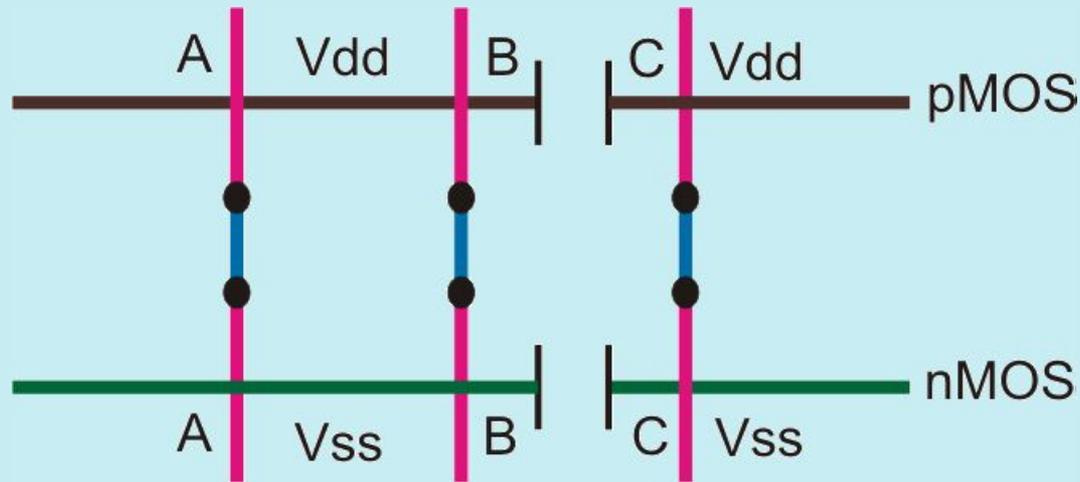
# Палочная диаграмма

Области диффузии объединяются

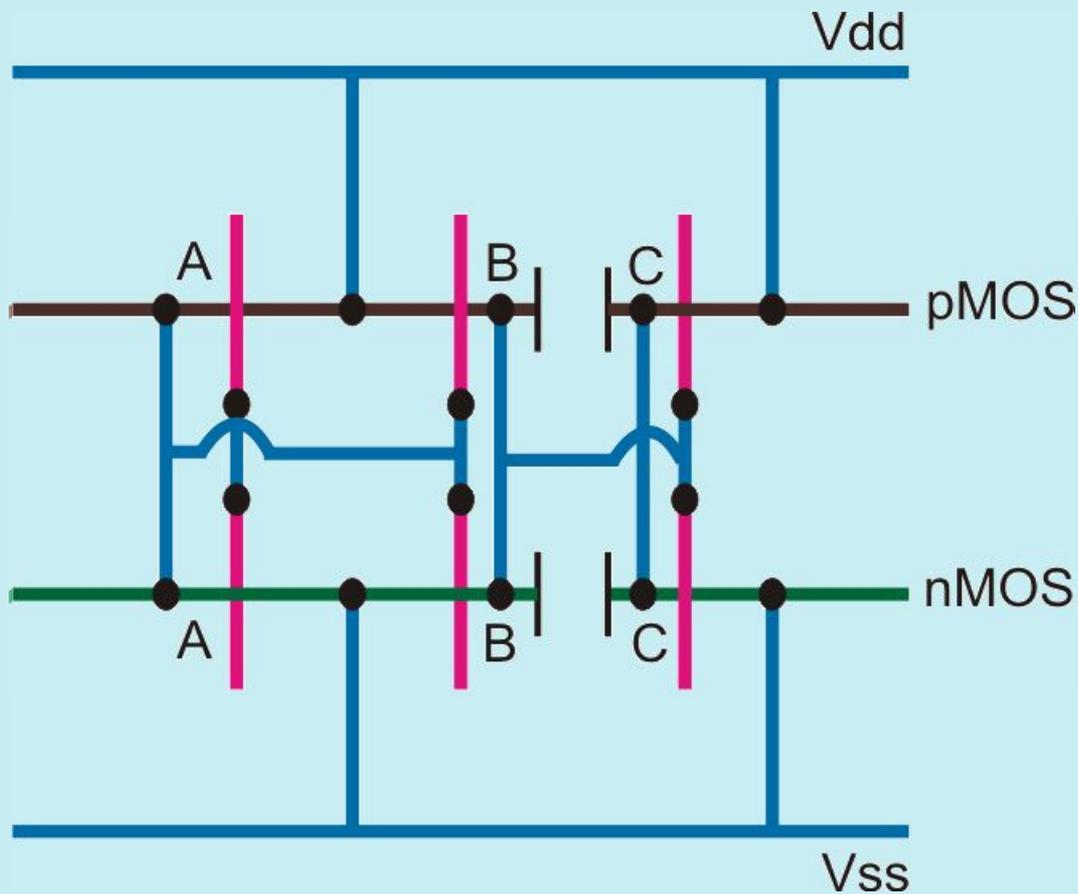


# Палочная диаграмма

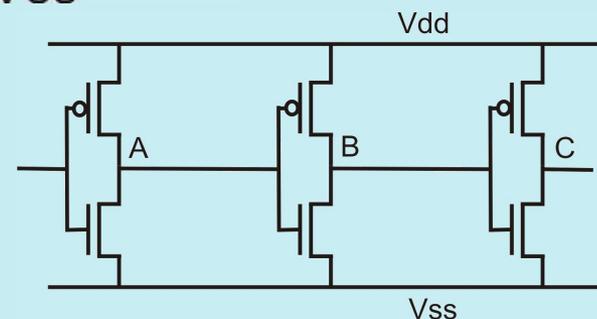
Затворы соединяются



# Палочная диаграмма



Проводятся остальные соединения

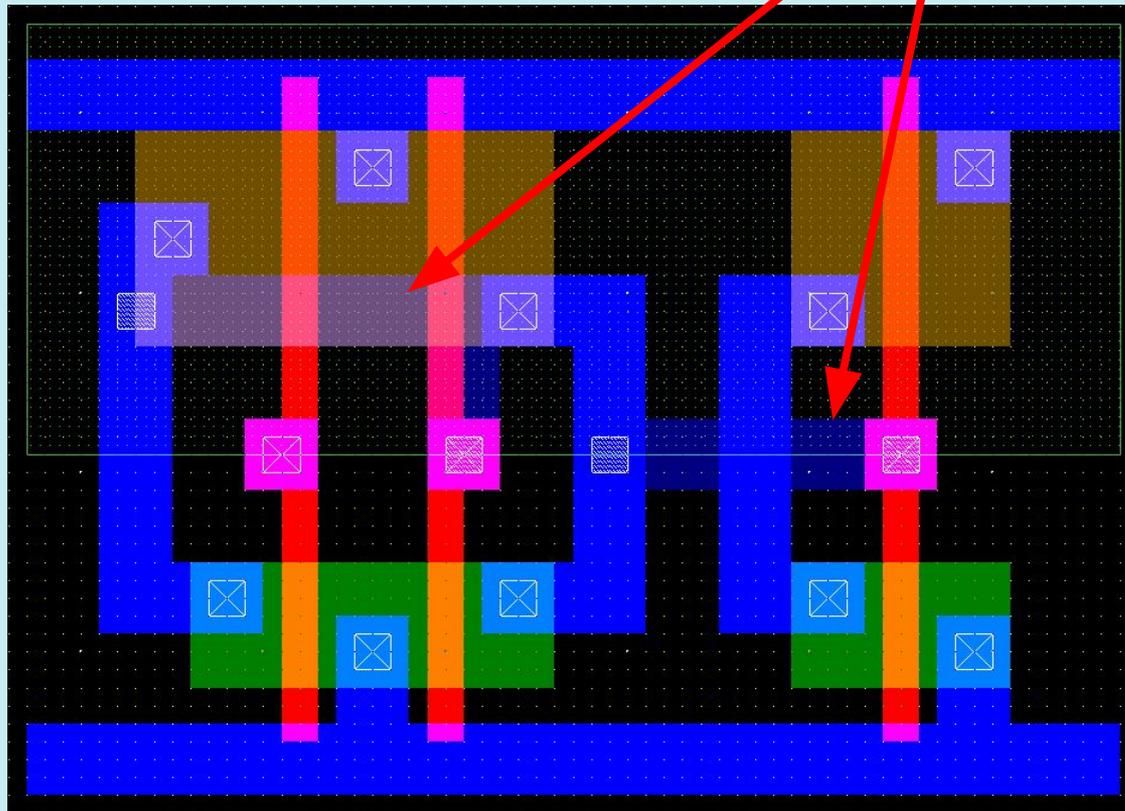


# Палочная диаграмма

Реализация в Microwind:

2 металла

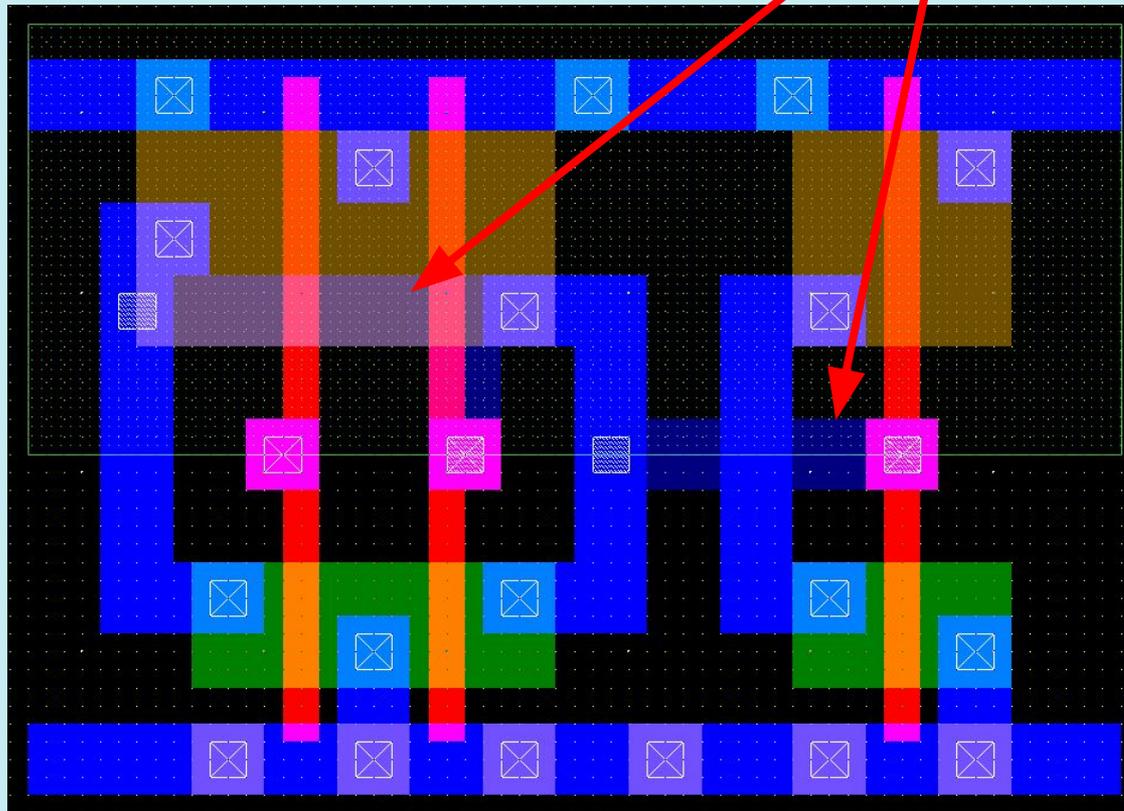
использование metal 2



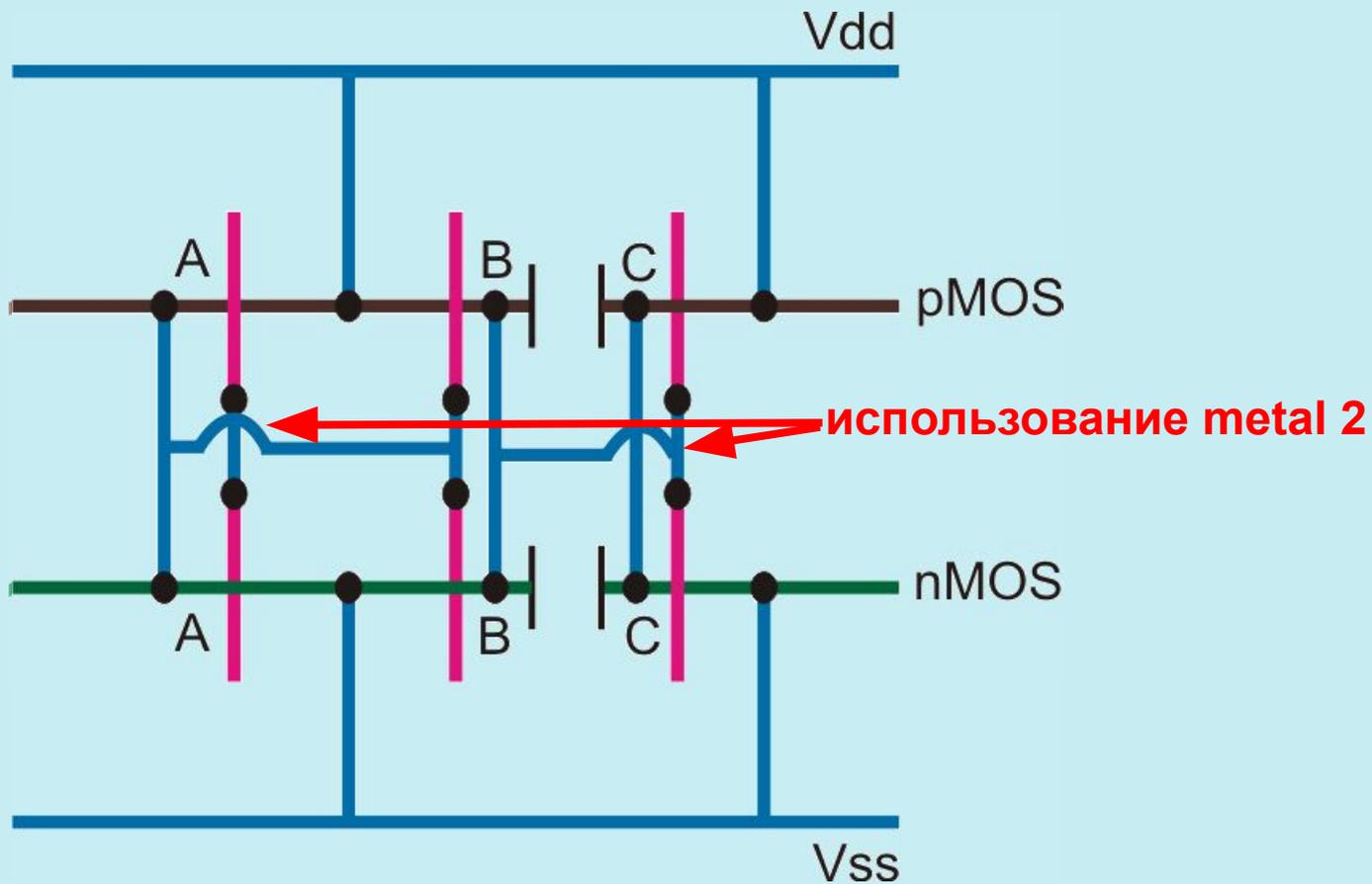
# Палочная диаграмма

Для завершения топологии необходимо добавить контакты на карман и подложку

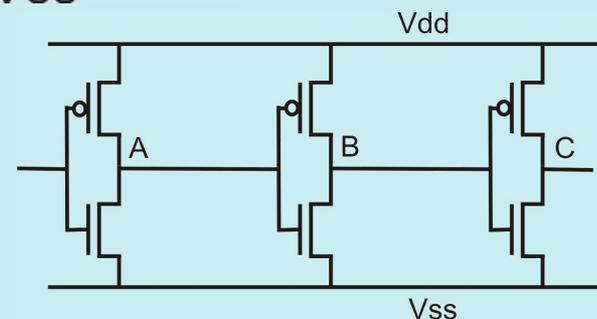
использование metal 2



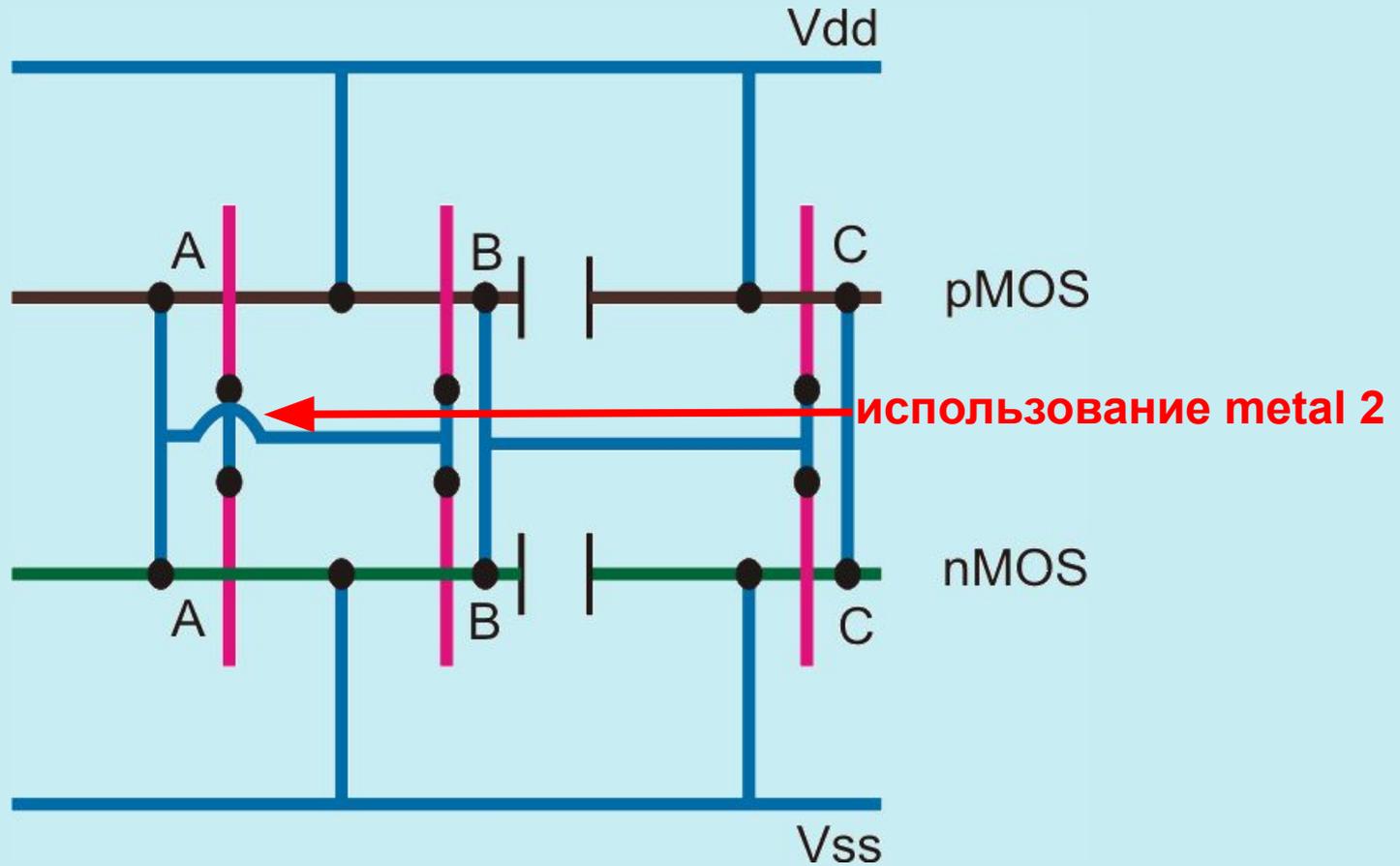
# Палочная диаграмма



Возможно поменять C и  $V_{dd}$  местами

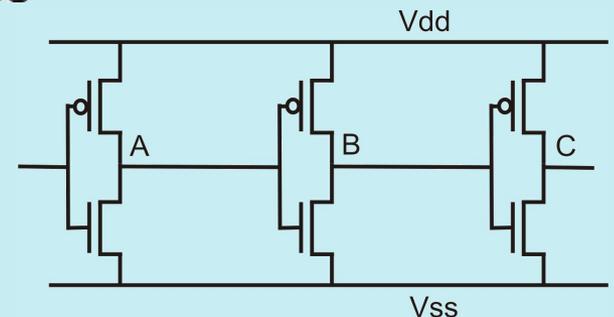


# Палочная диаграмма



Картина улучшилась

Как быть с оставшимся metal2?

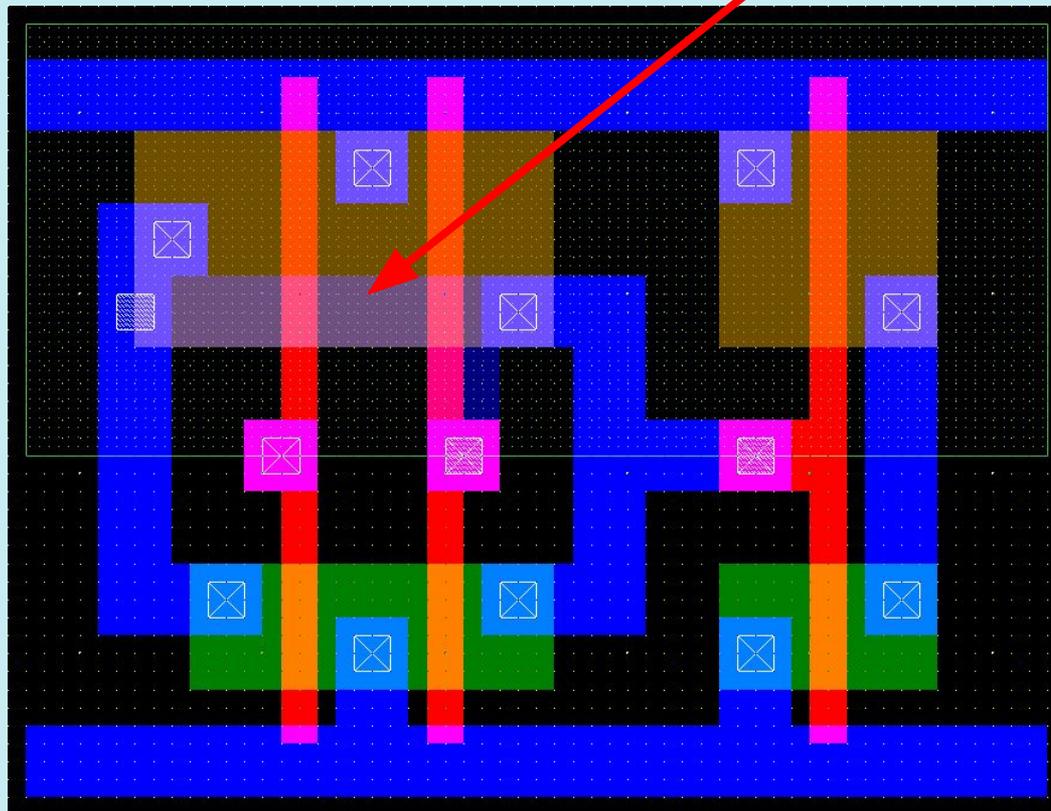


# Палочная диаграмма

Реализация в Microwind:

2 металла

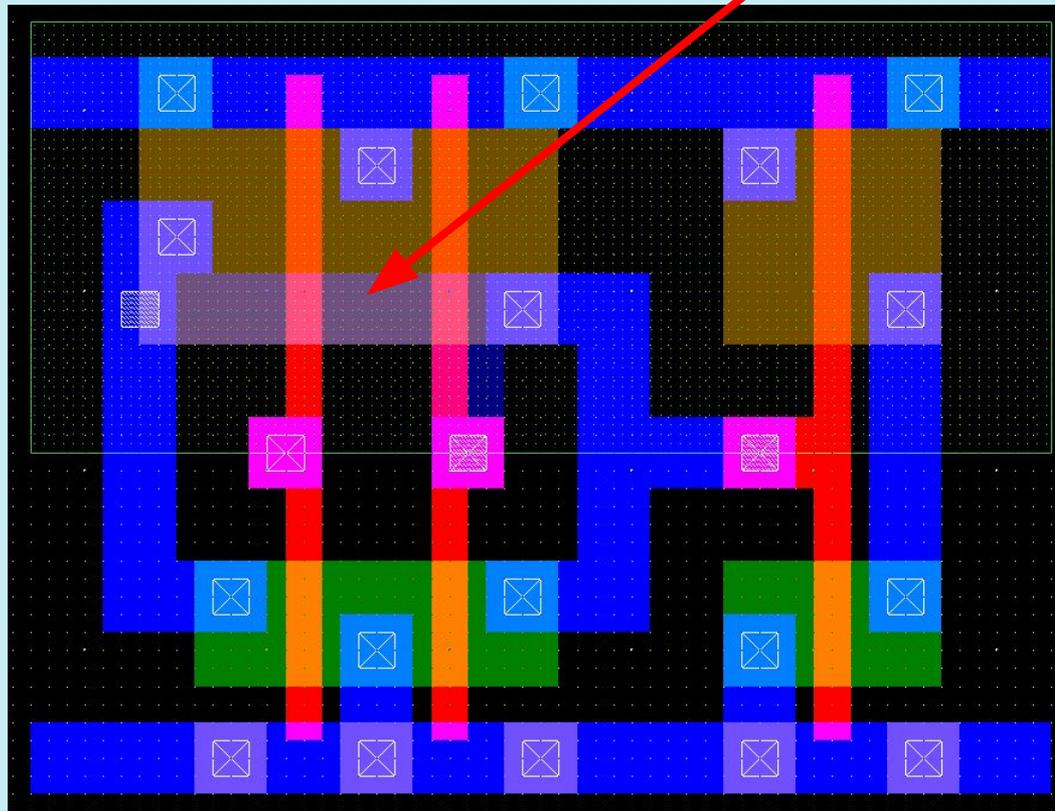
использование metal 2



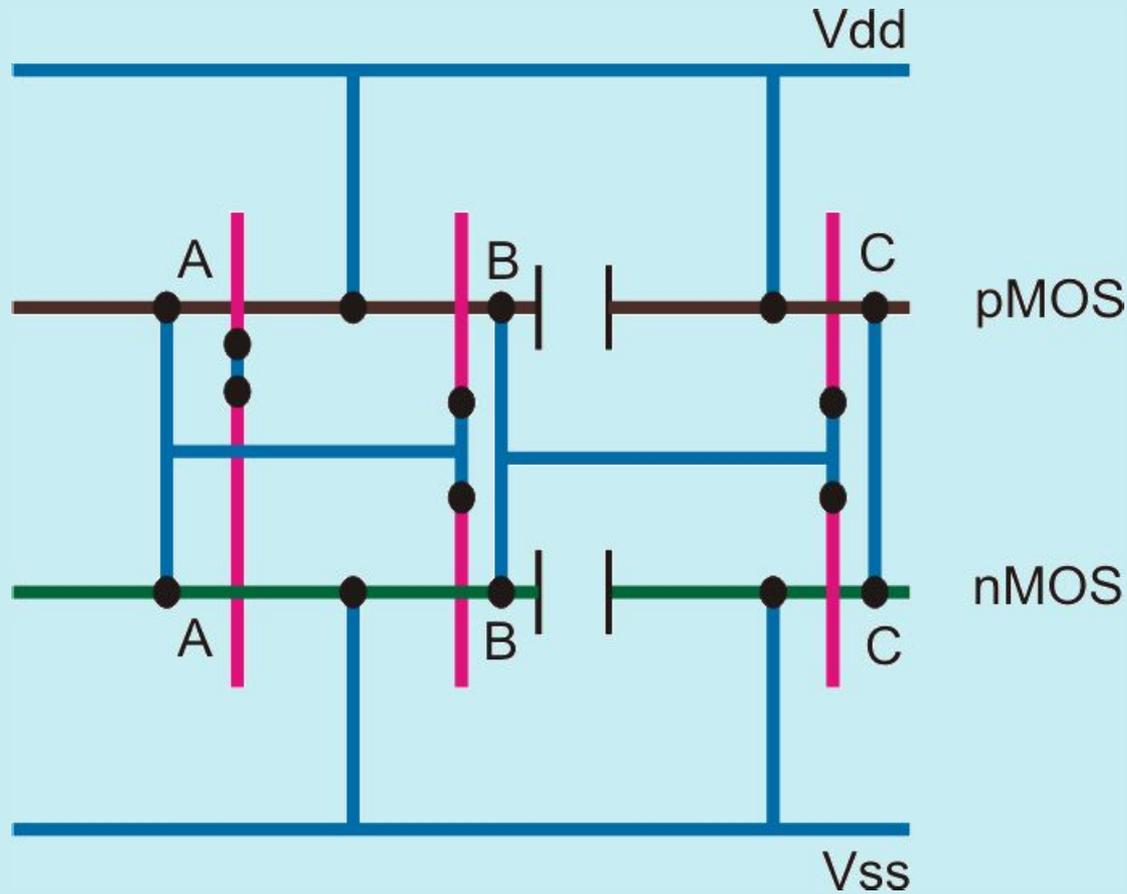
# Палочная диаграмма

Для завершения необходимо добавить контакты на карман и подложку

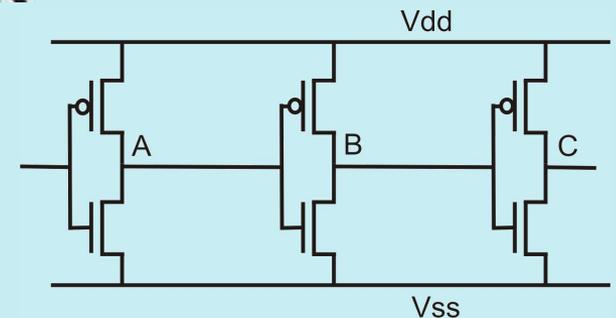
использование metal 2



# Палочная диаграмма



**Контакт передвинут выше**

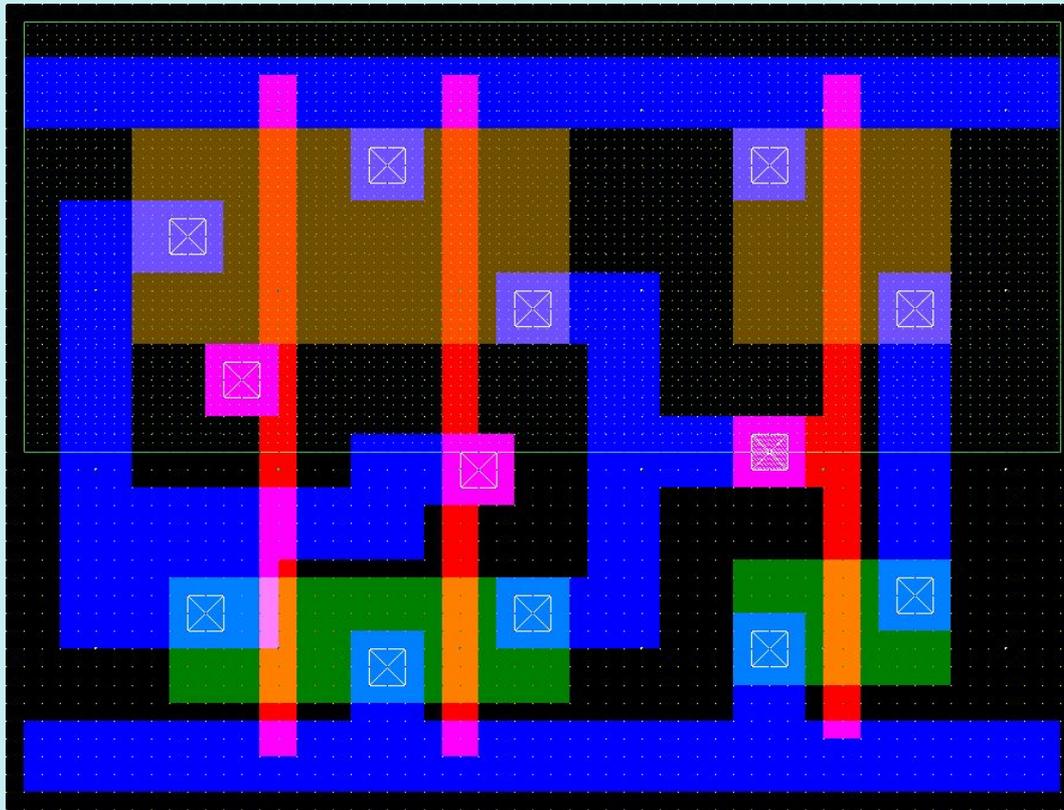


# Палочная диаграмма

Реализация в Microwind:

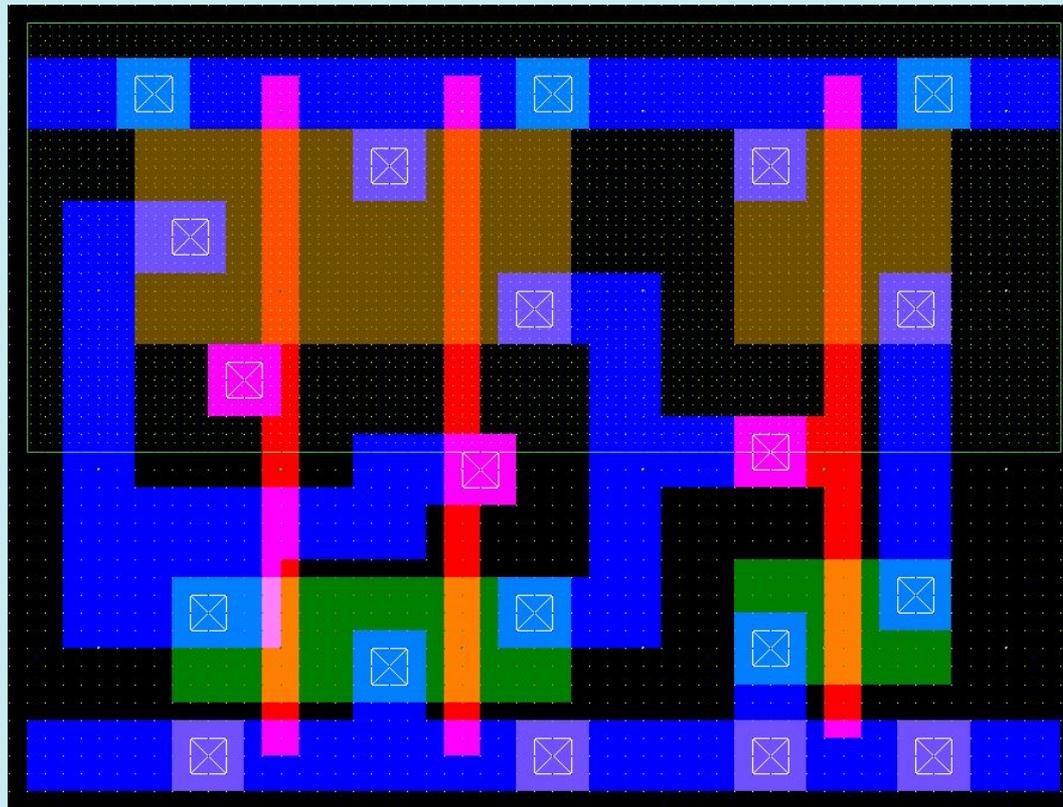
1 металл

metal 2 исчез!



# Палочная диаграмма

Для завершения необходимо добавить контакты на карман и подложку



# Резюме по дизайну топологии

**Планируйте трассировку до проектирования**

- используйте приоритетные направления
- объединяйте диффузию
- правильно располагайте порты ввода/вывода
- земля, питание, цепь синхросигнала должны быть широкими

**Для строк из ячеек определяется шаг:**

- зависит от максимальной высоты ячеек
- зависит от длины цепей и количества шагов трассировочной сетки

**Для трассировки вне ячеек используется только металл:**

- поликремнием трассируют только внутри ячеек
- диффузия используется только для соединения транзисторов

# Резюме по дизайну топологии

**Размещайте p-МОП рядом с p-МОП и n-МОП рядом с n-МОП:**

- между p-МОП и n-МОП всегда большое расстояние
- при необходимости можно зеркально отразить ячейку

**Цепи земли и питания должны быть широкими:**

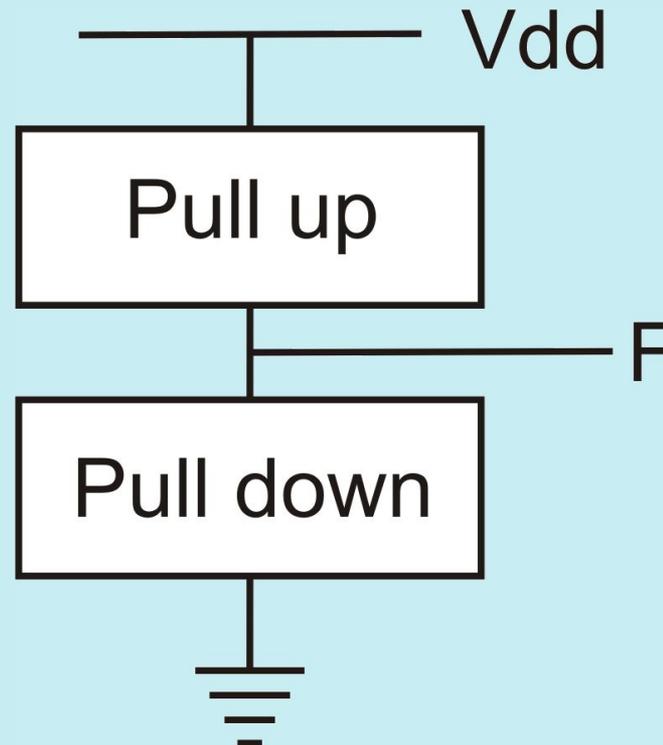
- $V_{dd}$  располагается рядом с p-МОП
- $V_{ss}$  располагается рядом с n-МОП

**Первый и второй металл желательно трассировать в ортогональном направлении**

# КМОП логика

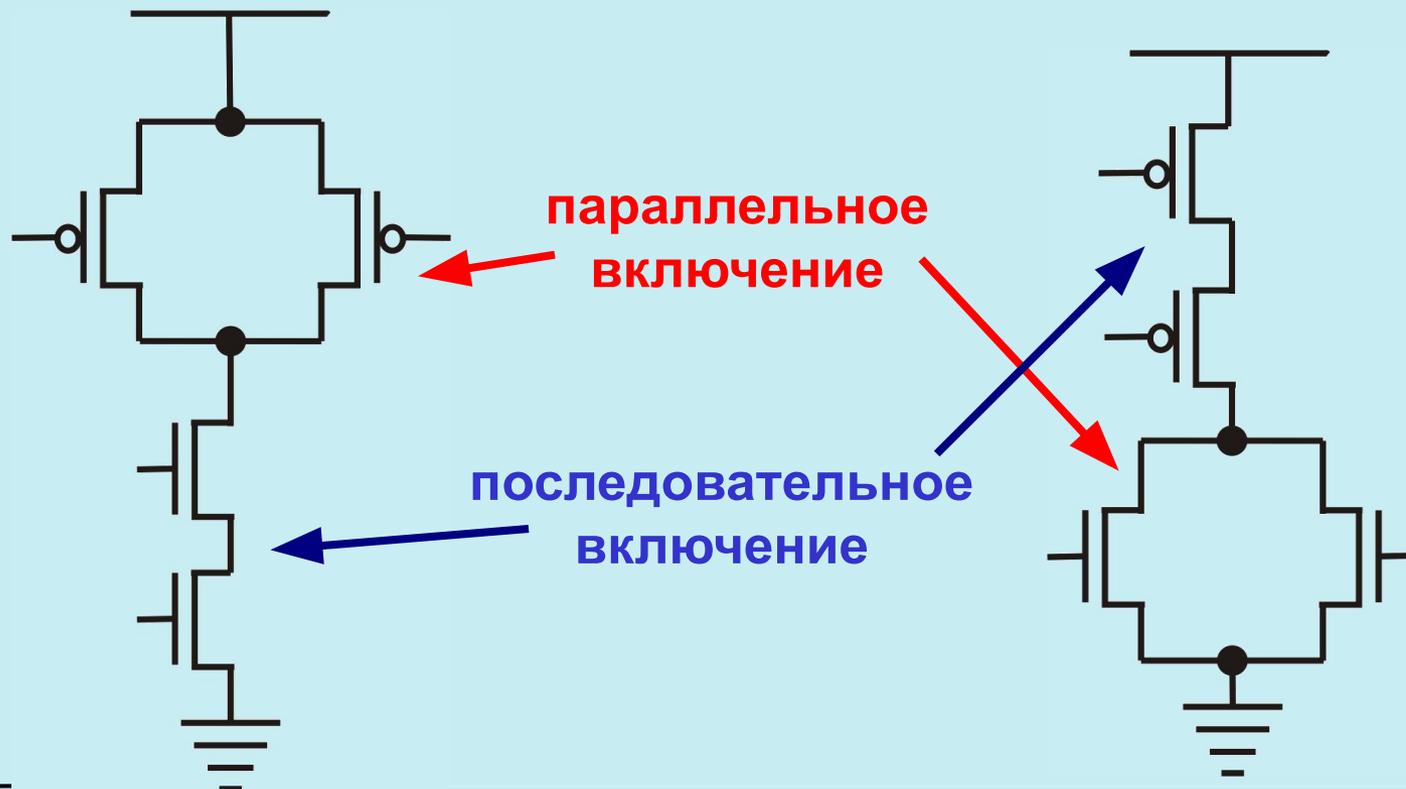
**p-MOП используется для подачи питания на выход (pull up)**

**n-MOП используется для подачи земли на выход (pull down)**

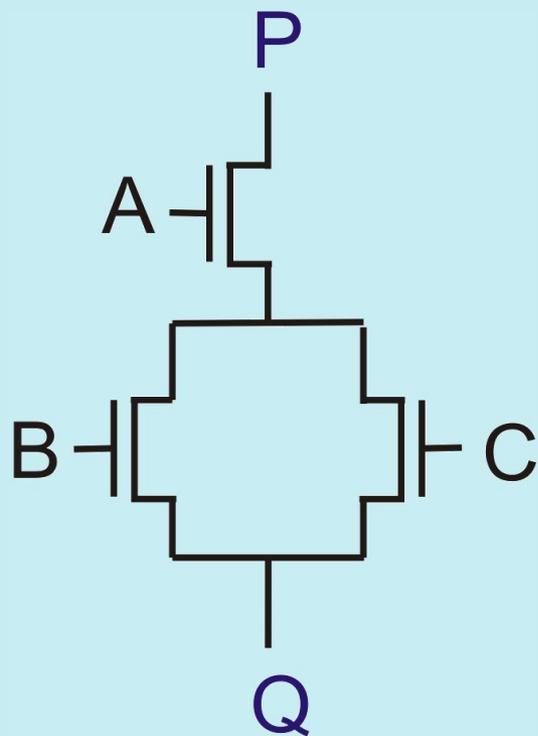


# КМОП логика

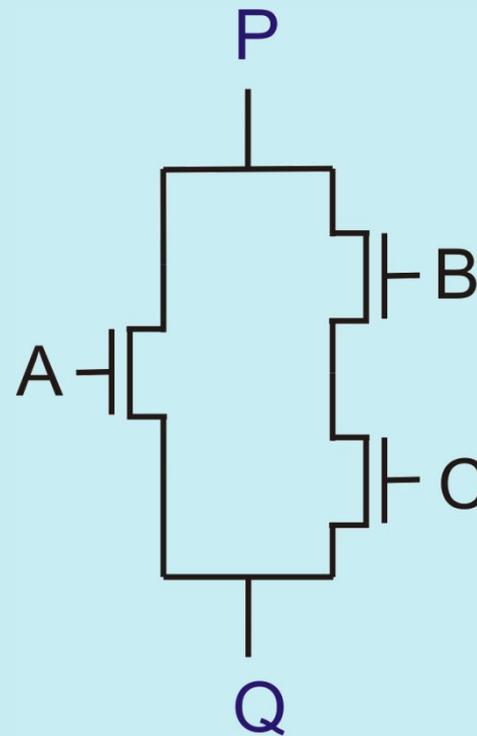
Значение на выходе определяется способом включения транзисторов



# КМОП логика



$$A \cdot (B + C)$$



$$A + B \cdot C$$

# КМОП логика

Дана функция:  $F = \overline{(A \cdot B) + (C \cdot D)}$

1. Взять функцию без инверсии  $F = (A \cdot B) + (C \cdot D)$

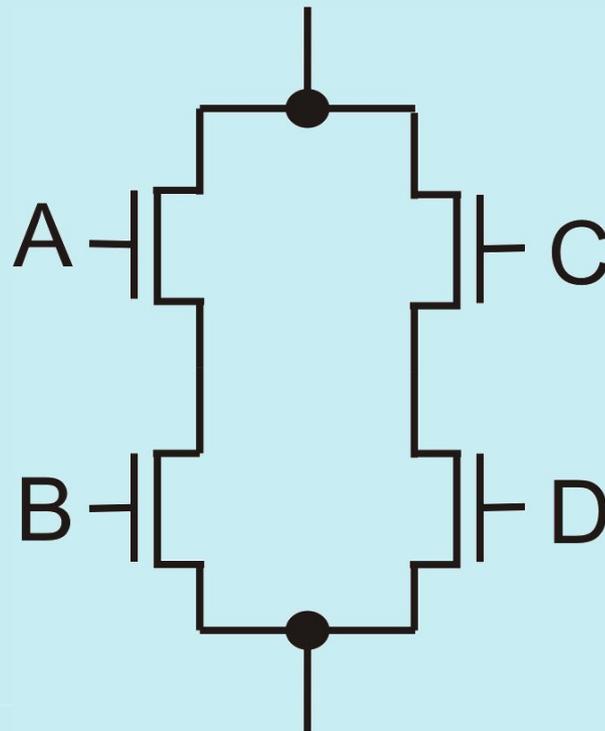
и реализовать подсхему на n-МОП

2. Определить способ соединения:

**(A последовательно B) параллельно (C последовательно D)**

3. Соединить между собой

Результат:



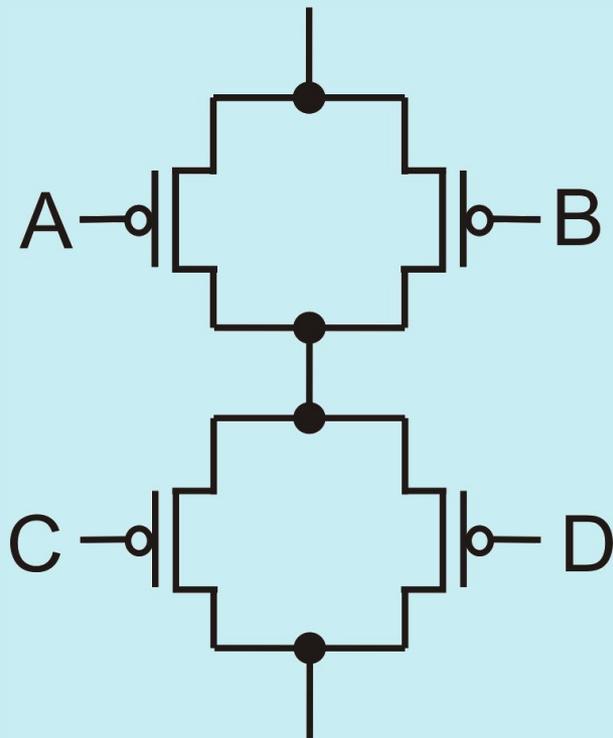
# КМОП логика

4. Найти комPLEMENTАРную функцию от  $(A \cdot B) + (C \cdot D)$

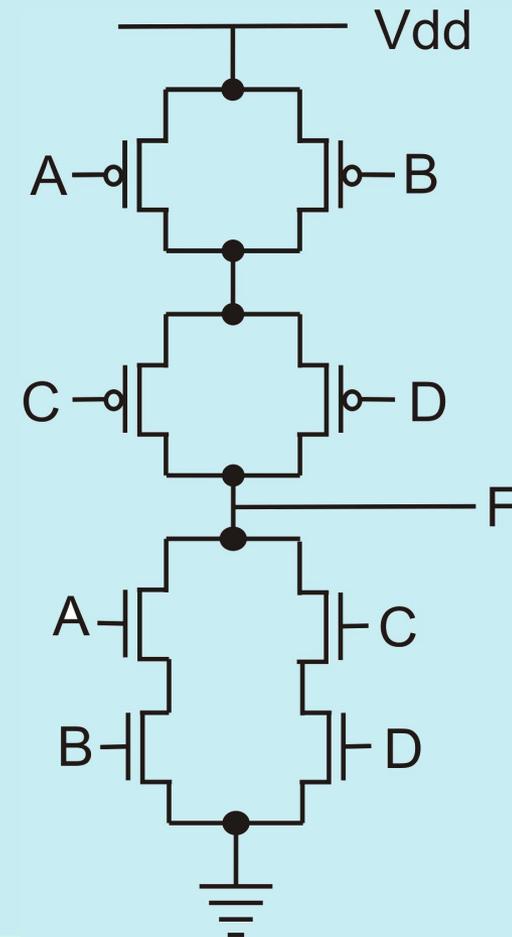
$$F = \overline{(A \cdot B) \cdot (C \cdot D)} = \overline{(A \cdot B)} \cdot \overline{(C \cdot D)}$$

Реализовать подcхему на р-МОП

5. Соединить n-МОП и р-МОП



Результат:



Лекция окончена