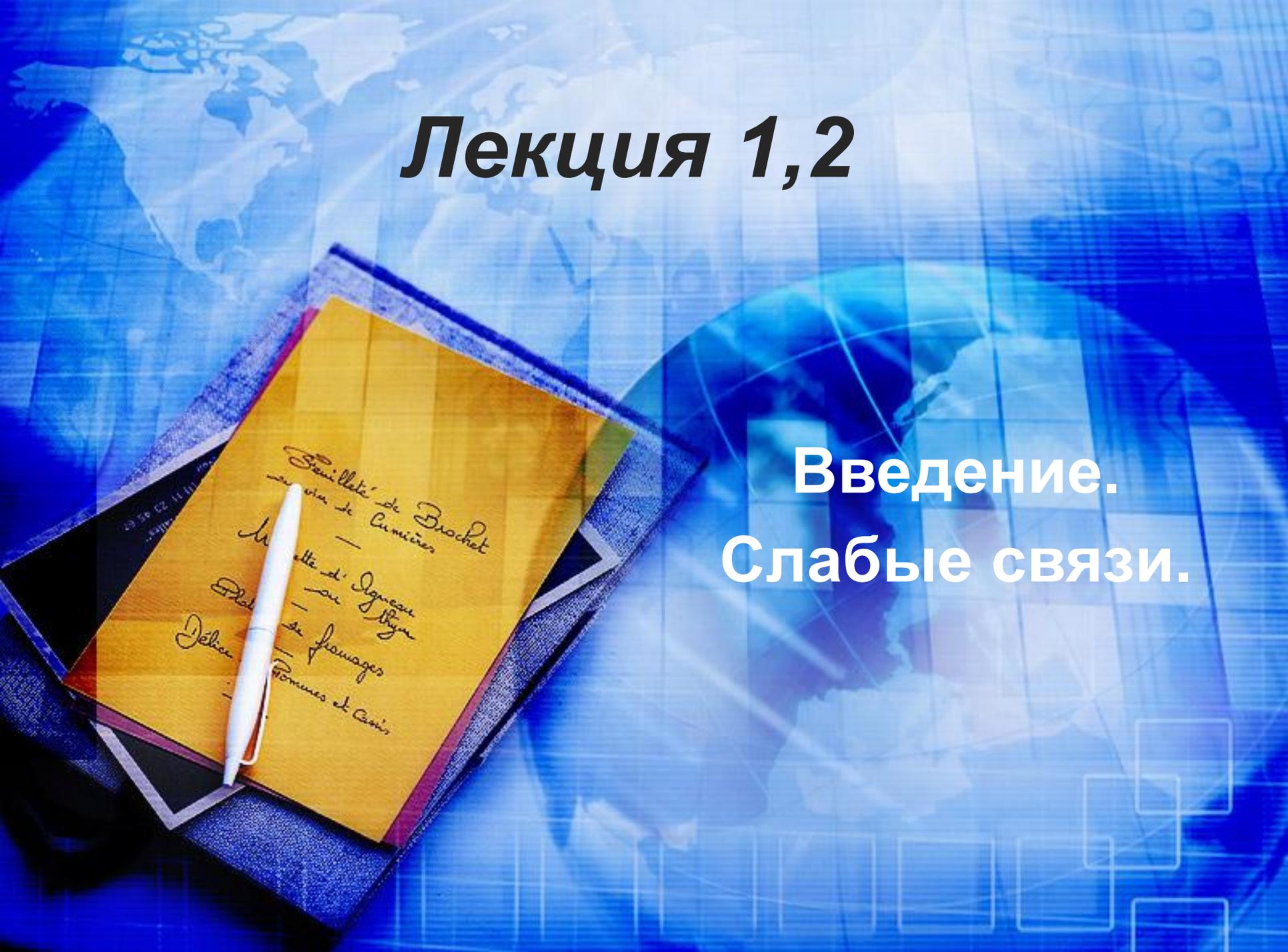
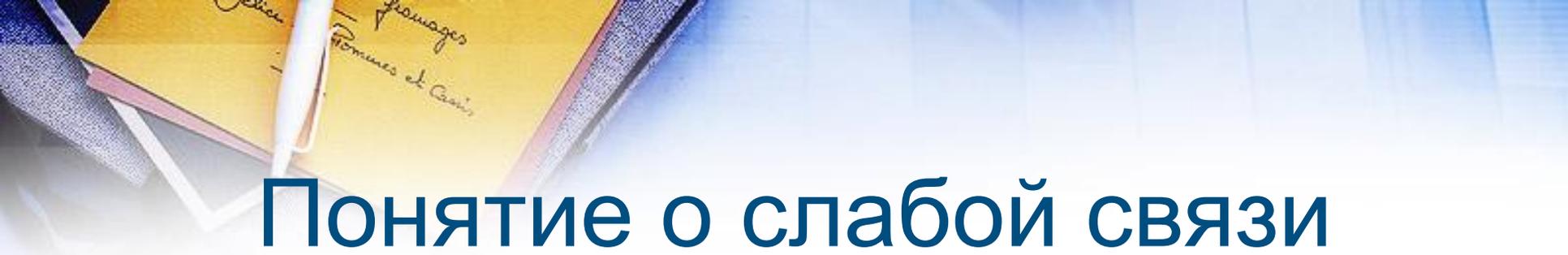


Лекция 1,2

Введение.
Слабые связи.



Feuille de Brochet
au vin de Cuvées
—
Mette et Ignace
de
—
de fromages
—
Hommes et Casis



Понятие о слабой связи

Определение:

Слабая сверхпроводящая связь – это проводящее соединение между массивными сверхпроводниками (электродами), критический ток которого значительно меньше критического тока электродов и размер которого порядка длины когерентности

Слабые связи грубо делятся на 2 класса:

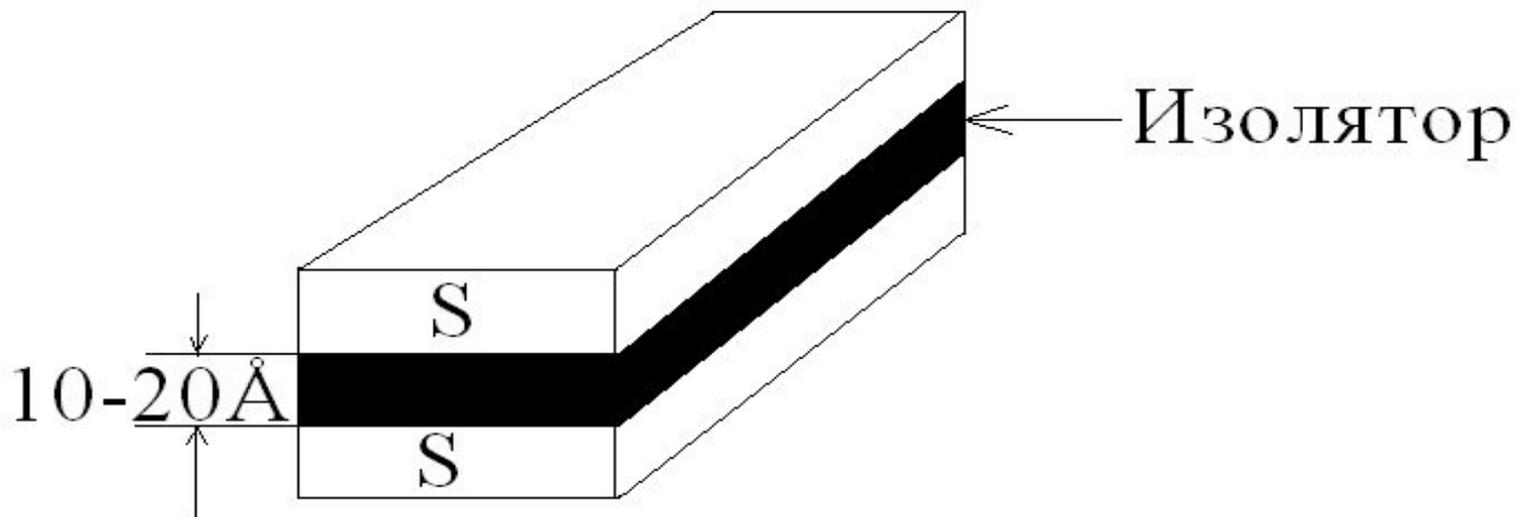
- туннельные переходы (переходы туннельного типа)

- структуры с непосредственной (нетуннельной) проводимостью (например, мостики)



Types of weak ties and
methodology of their
preparation

Туннельные структуры



1) S-I-S-туннельная структура

Отличие от туннельного контакта в толщине изолятора (l): $d_I = 10-20 \text{ \AA} = 1-2 \text{ нм} \ll d_{IT}$ толщины изолятора в туннеле



Туннельные структуры

2) S-I-S'-туннельная структура. Аналогична 1-ой, только разные сверхпроводники.

3) S-п/п-S-структура. Прослойка из полупроводника. Появляется уже и нетуннельная (а непосредственная) проводимость.

4) S-N-S-структура. Это «туннельная» структура с непосредственной проводимостью.

Из-за эффекта близости куперовские пары проникают в нормальный металл на длину когерентности $\xi_N \sim \hbar v_F / kT \sim 10^3 - 10^4 \text{ \AA}$ (зависит от температуры).

Приведенная формула – это просто соотношение неопределенности:

$$\Delta E \cdot \Delta t = \Delta E \cdot \xi / v_F \sim \hbar$$

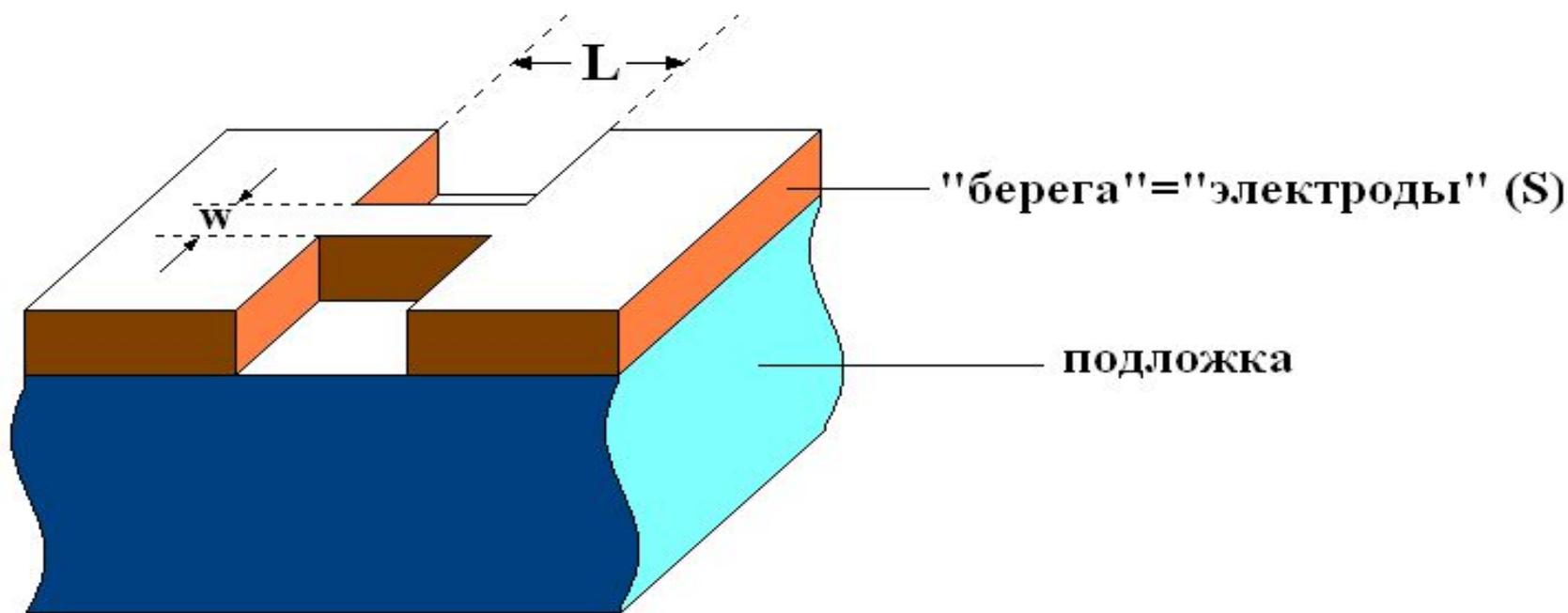
Т.е. здесь d_N ($\sim 10^3 \text{ \AA}$) может быть значительно больше d_I . Чтобы связь была слабой (т.е. чтобы I_c был мал), надо $d_N \geq \xi_N$.

5) S-S'-S-структура. Причем $T_c' < T_c$. Т.е. здесь слабость связи за счет малости криттока у S'

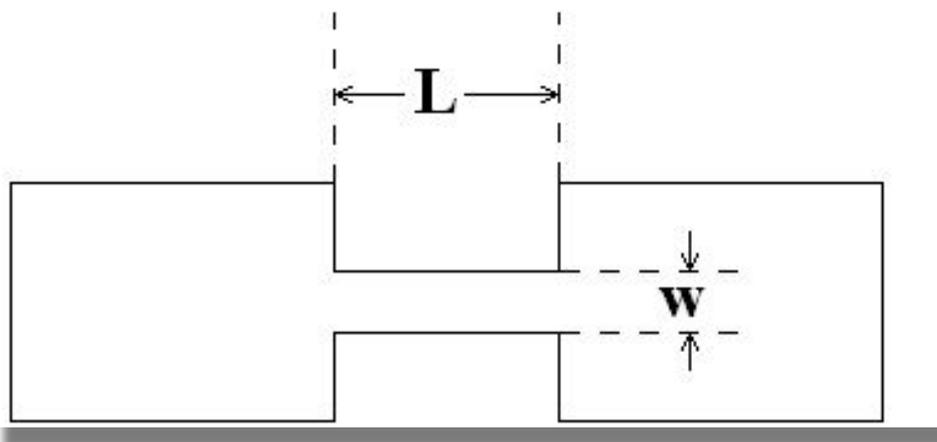
Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Мостик Дайема

Обозначается как S-c-S, c=constriction=сужение



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)



$L \sim \xi$ — длина мостика
 $\xi = \nabla v_F / (\pi \Delta) \sim 10^3 \text{ \AA}$ в обычных
металлах

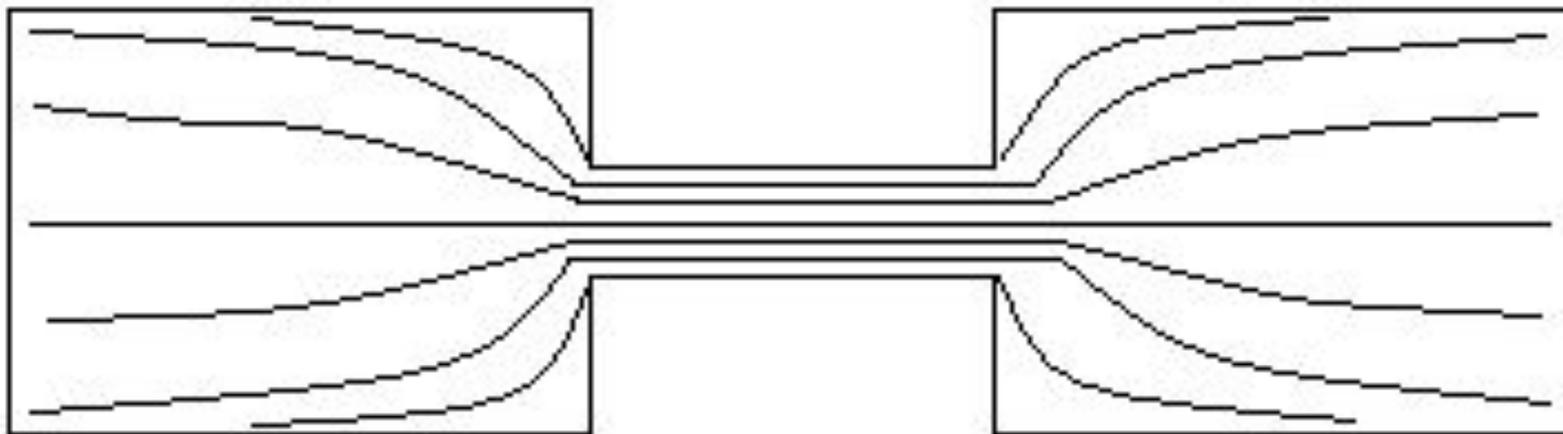
w — ширина мостика,
 $L, w \sim 0.1-1 \text{ мкм}$

Типичная толщина пленки
 $d_{\text{пленки}} \sim 2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3 \text{ \AA}$

Типичная толщина пленки $d_{\text{пленки}} \sim 2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3 \text{ \AA}$

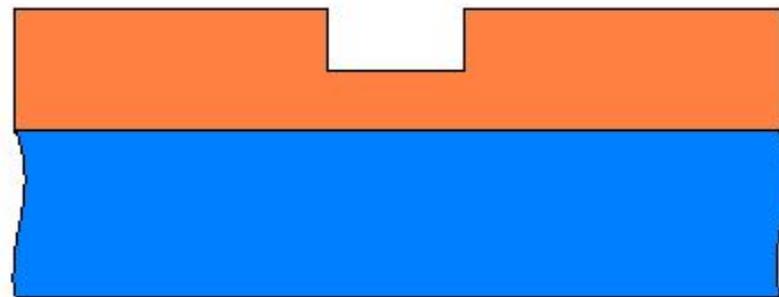
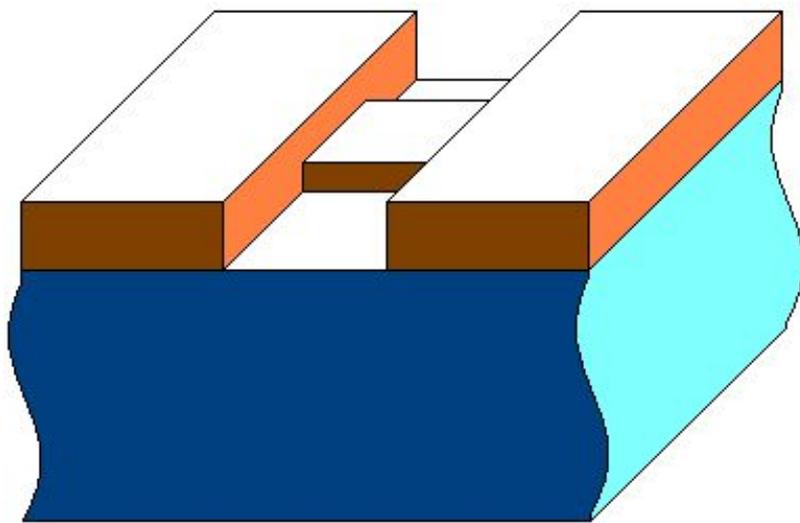
Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Слабость I_c из-за сужения, j_c – тот же.
Называют: **структура с концентрацией тока**



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Мостик переменной толщины (Лихарева)

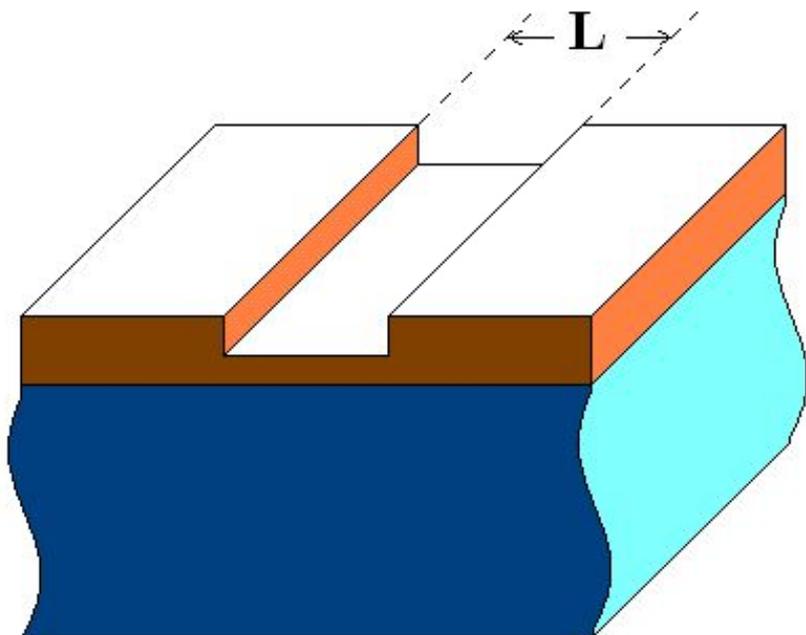


$$d_{\text{мост}} = 3 \cdot 10^3 - 10^3 \text{ \AA} < d_{\text{пленка}} = 10^3 - 3 \cdot 10^3 \text{ \AA}$$

$L, w \sim 0.1 - 1 \text{ мкм}$

Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Мостик переменной толщины (Лихарева)

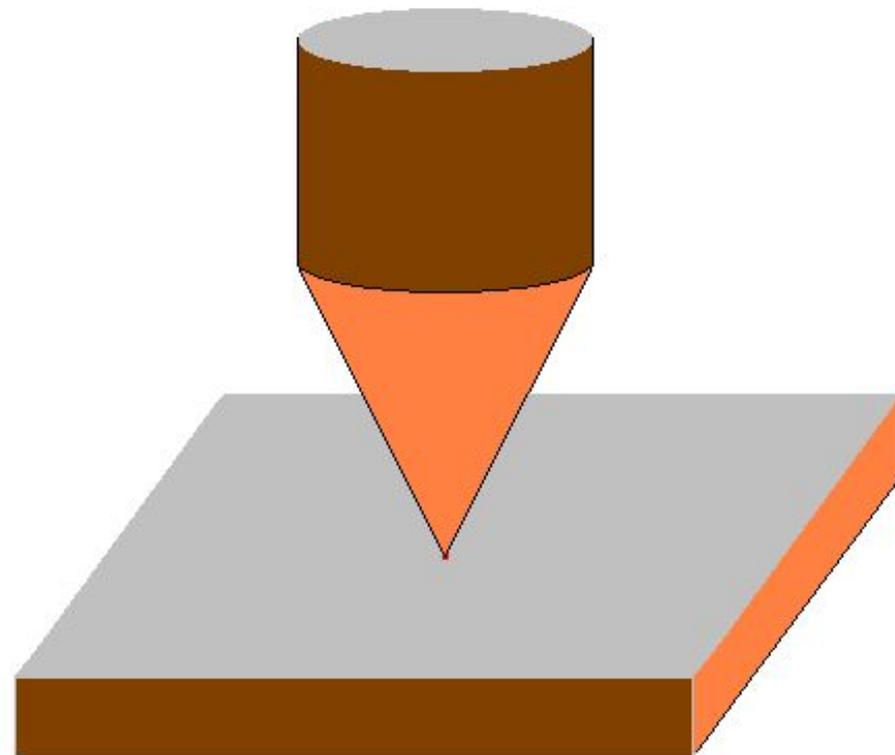


$L \sim 0.1-1$ мкм, $w \sim 100$ мкм (во всю
ширину)

Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

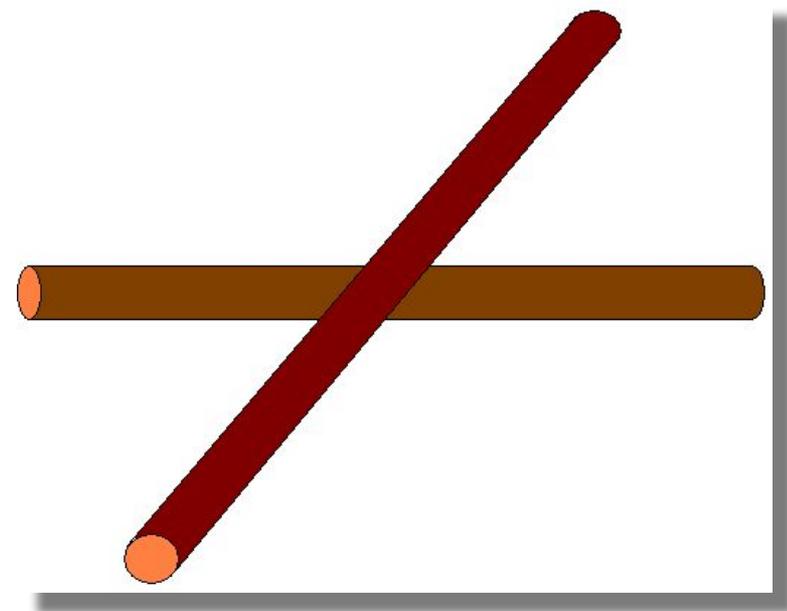
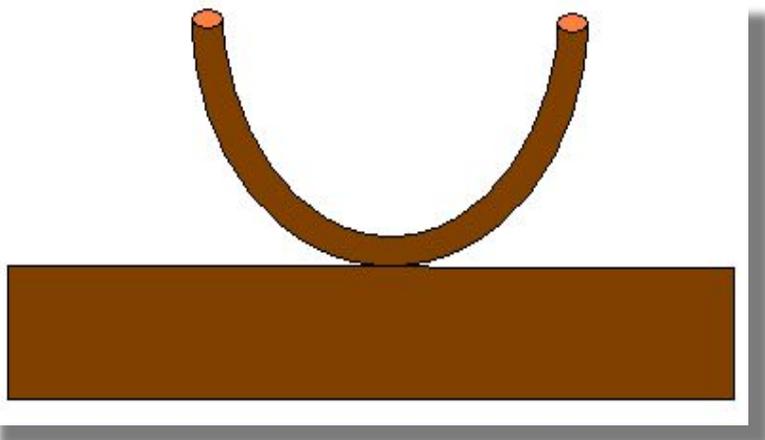
Точечный контакт

$r_{\text{иглы}} \sim 1 \text{ мкм}$



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

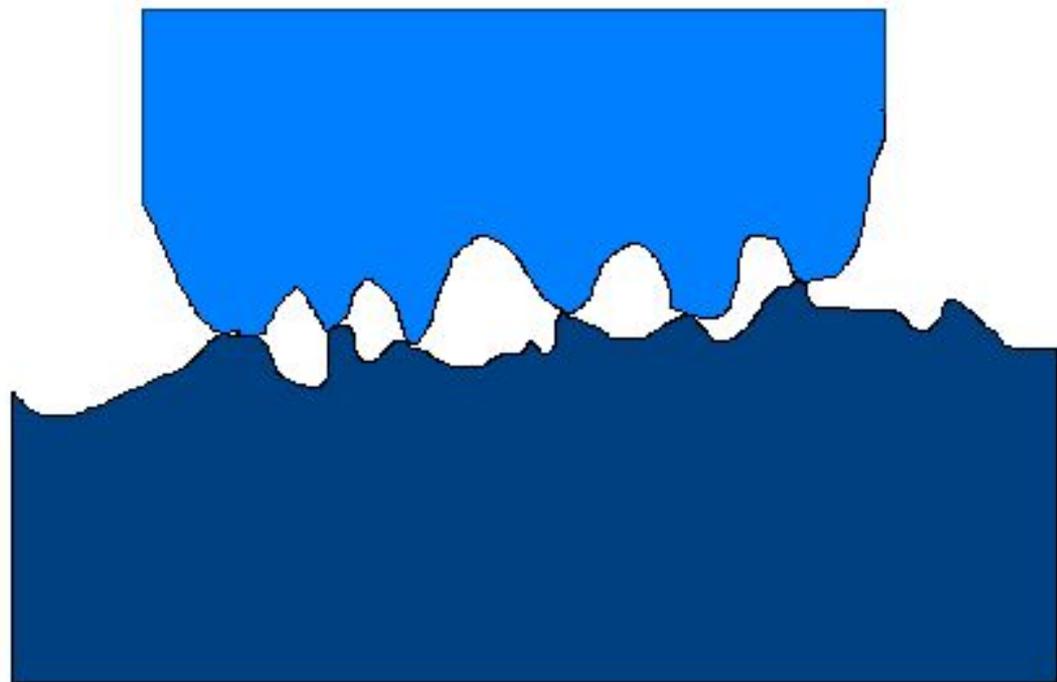
«Прижимной контакт»



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

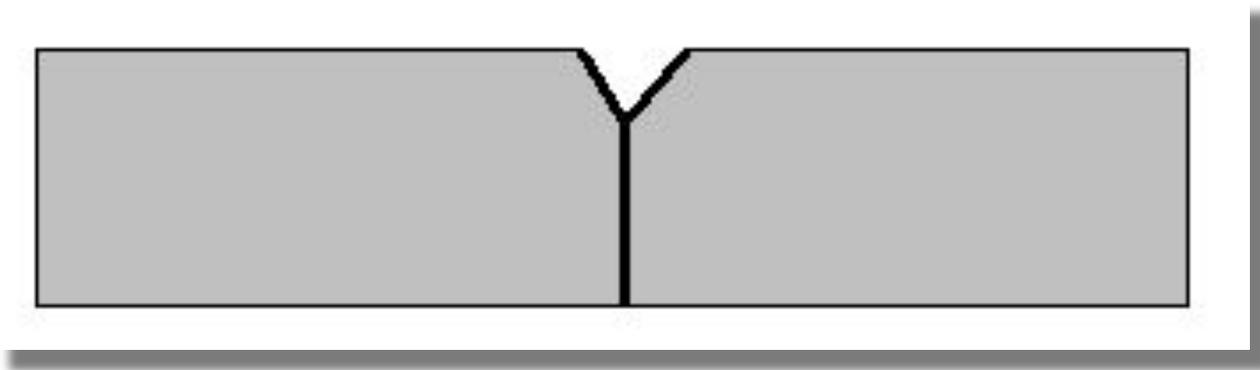
Микроструктура контакта

Типичный размер
закороток 1-10 нм
Расположены
хаотично



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

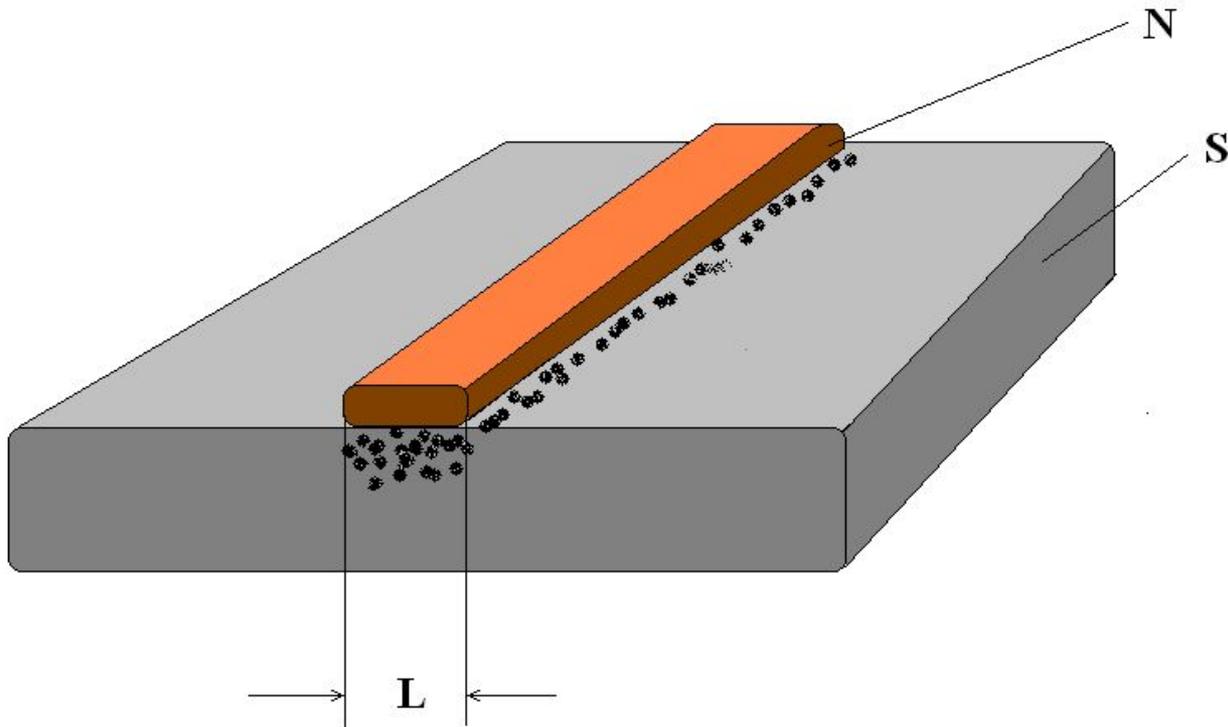
Break-контакт



Примерно равно точечному. Ломают в гелии, но не раздвигают

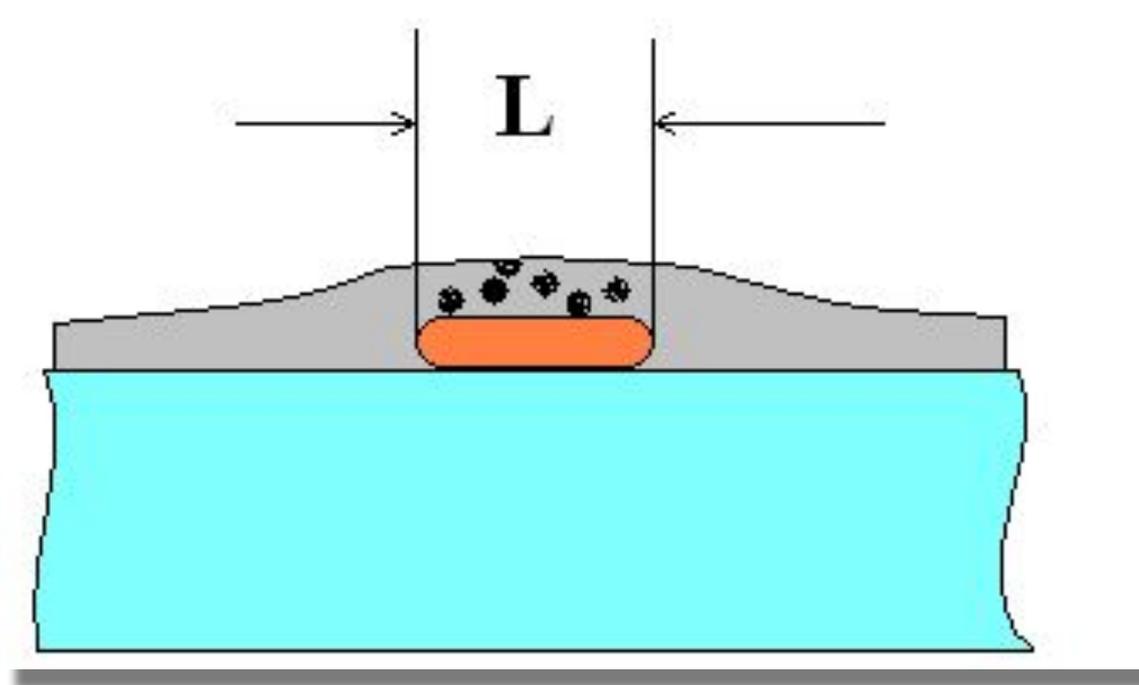
Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Мостик на эффекте близости (мостик Нотариса)



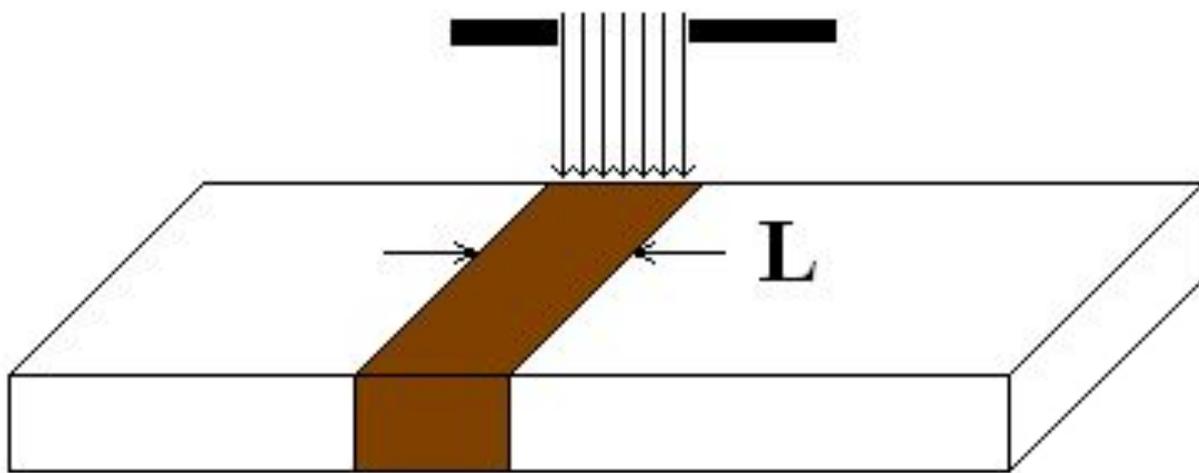
Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Мостик на эффекте близости (мостик Нотариса)



Структуры с непосредственной проводимостью (нетуннельные)

Ионно-имплантированный мостик



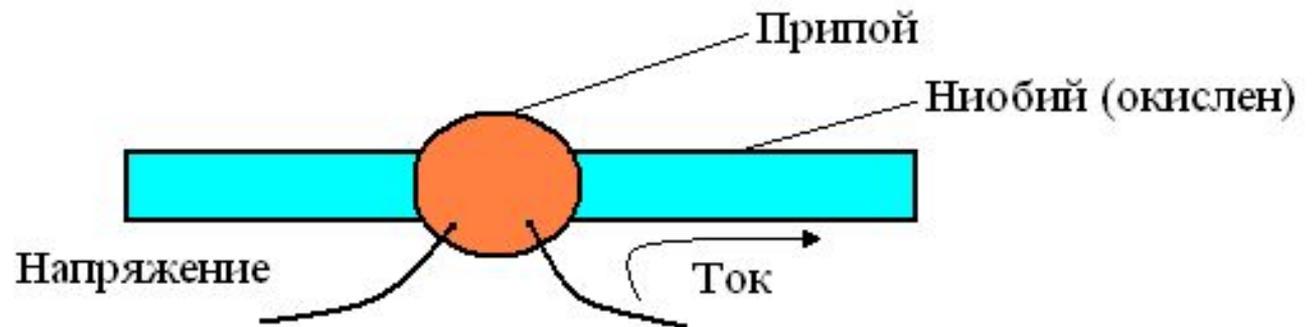
Имплантация ионов в СП. В поврежденной области может быть N, п/п, S'-тип

Размеры: $L \leq 1$ мкм, $w \approx 100$ мкм

Другие типы

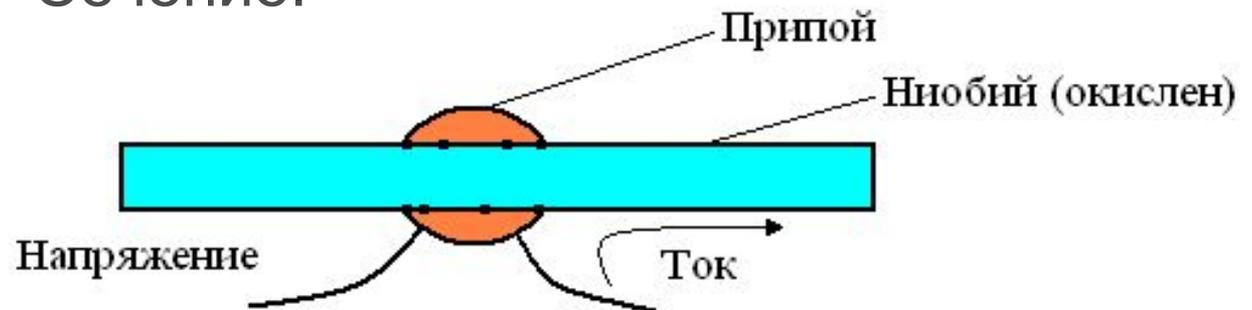
Капля Кларка

В окисном слое
($d \sim 10$ нм)
микрзакоротки



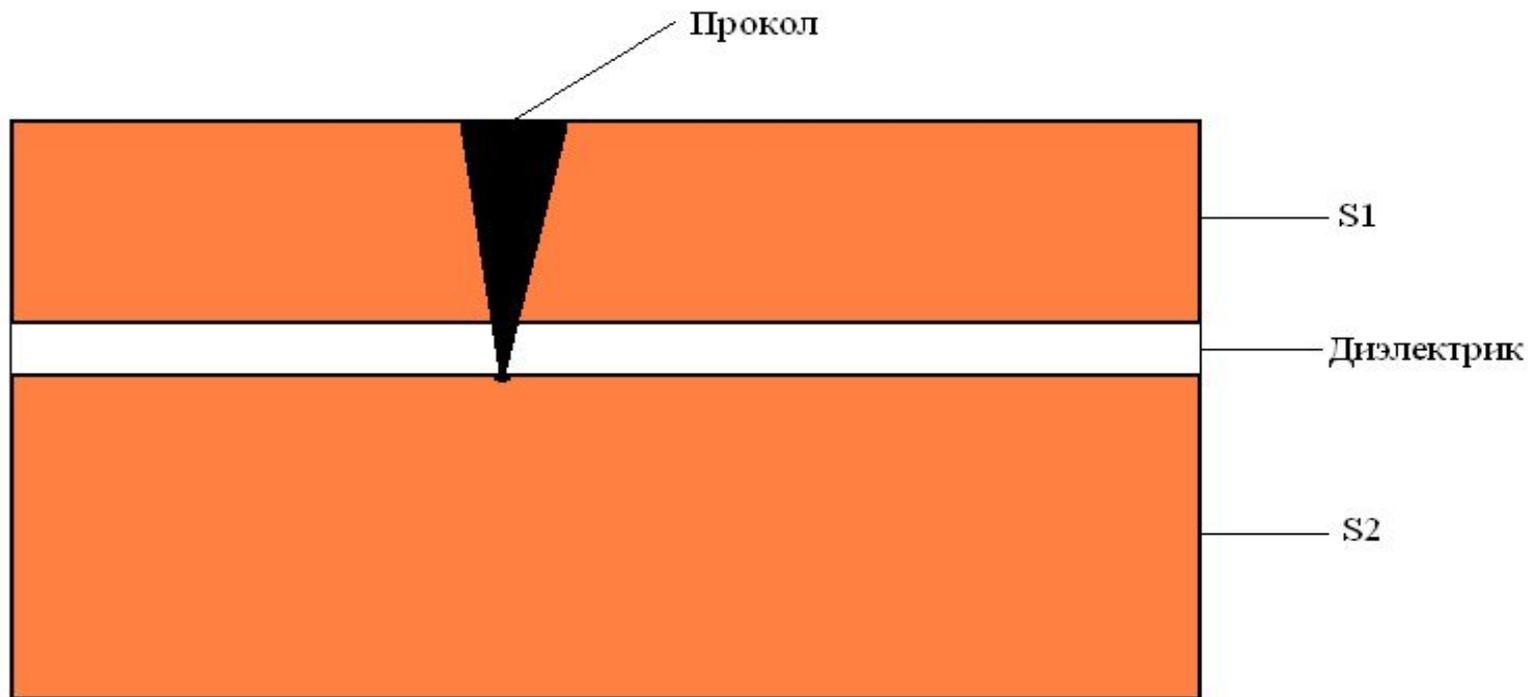
Слабость связи
за счет
сильной
концентрации
тока
(как в точечном
контакте)

Сечение:



Другие типы

Микроконтакт Янсона (микропрокол)



Закоротка диаметром $\sim 10-100$ нм.
Диэлектрик толстый (≥ 10 нм), не слабая связь

Другие типы

Мостик на торце пленки

1 этап: подготовка торца



Пленка: окись или Si. Толщина $d \sim 30$ нм.

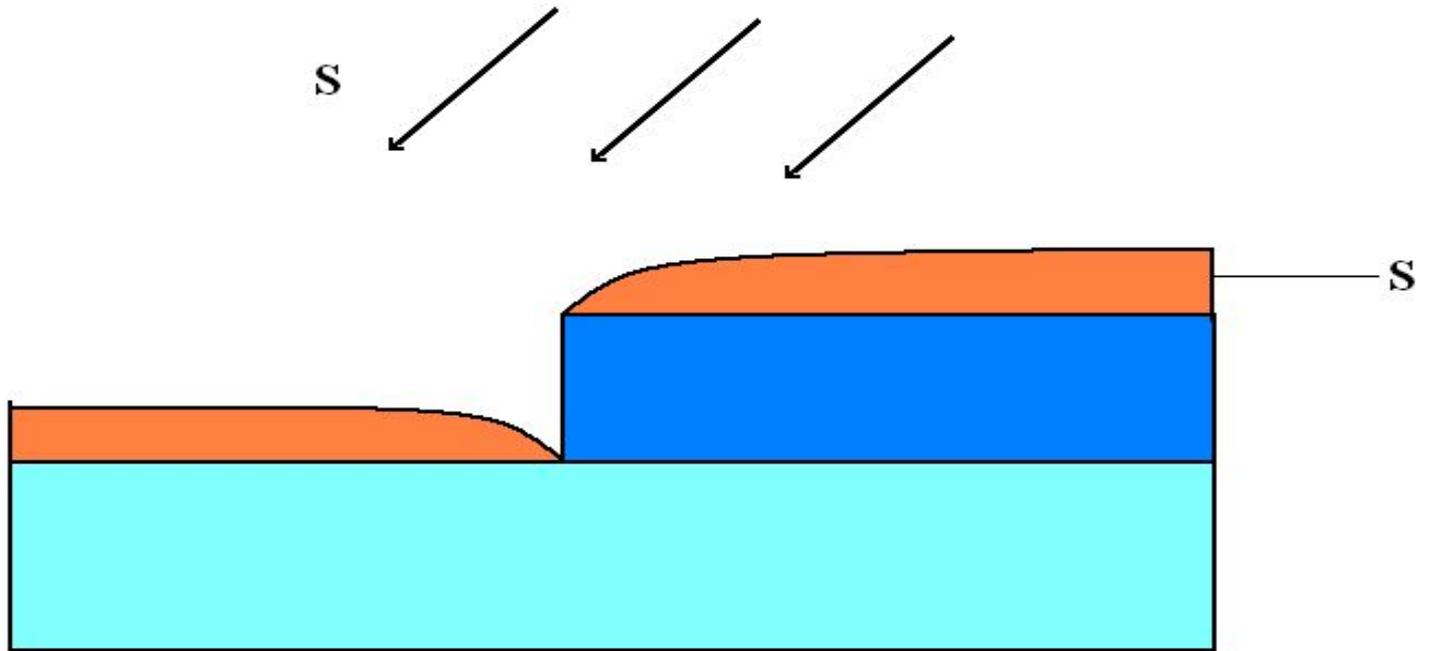
Подложка: сапфир.

Край резкий (это важно), литографией

Другие типы

Мостик на торце пленки

2 этап: напыление сверхпроводника



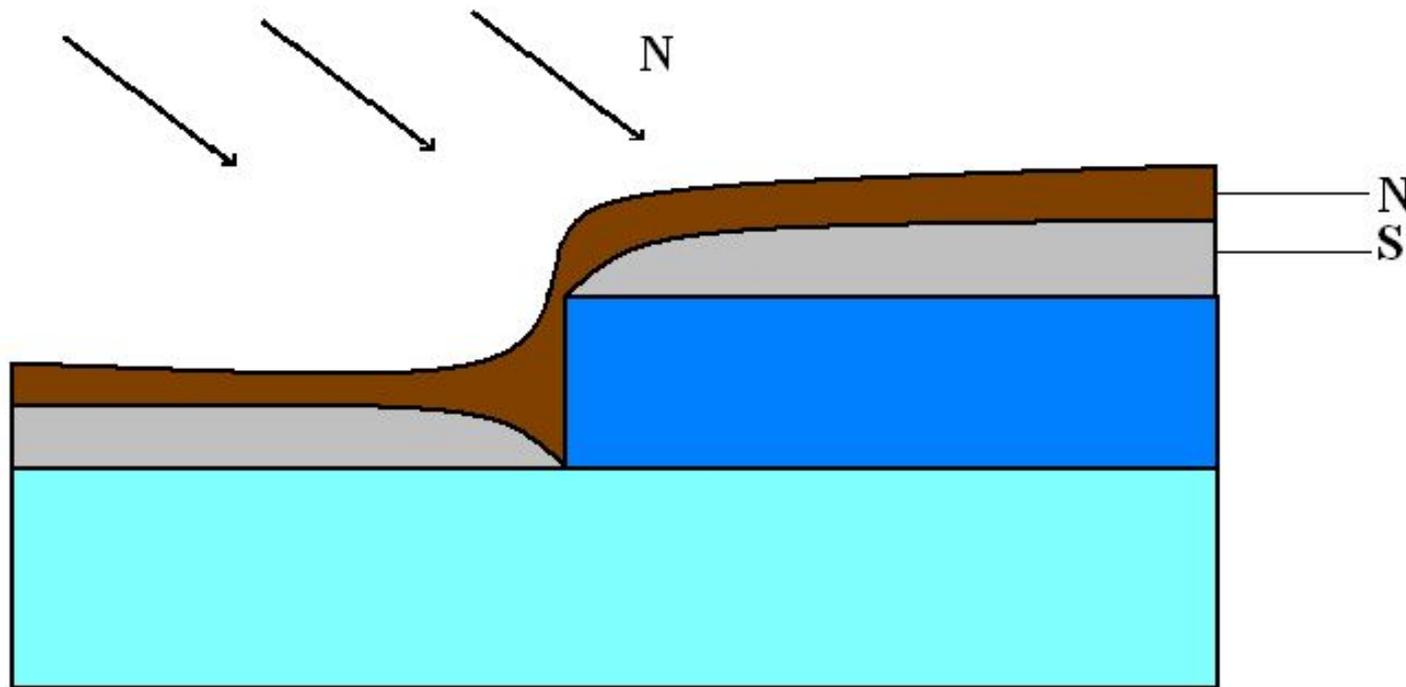
S-сверхпроводник (Nb , Nb_3Sn , ВТСП)

Нет контакта между двумя половинками СП пленки

Другие типы

Мостик на торце пленки

3 этап: напыление мостика

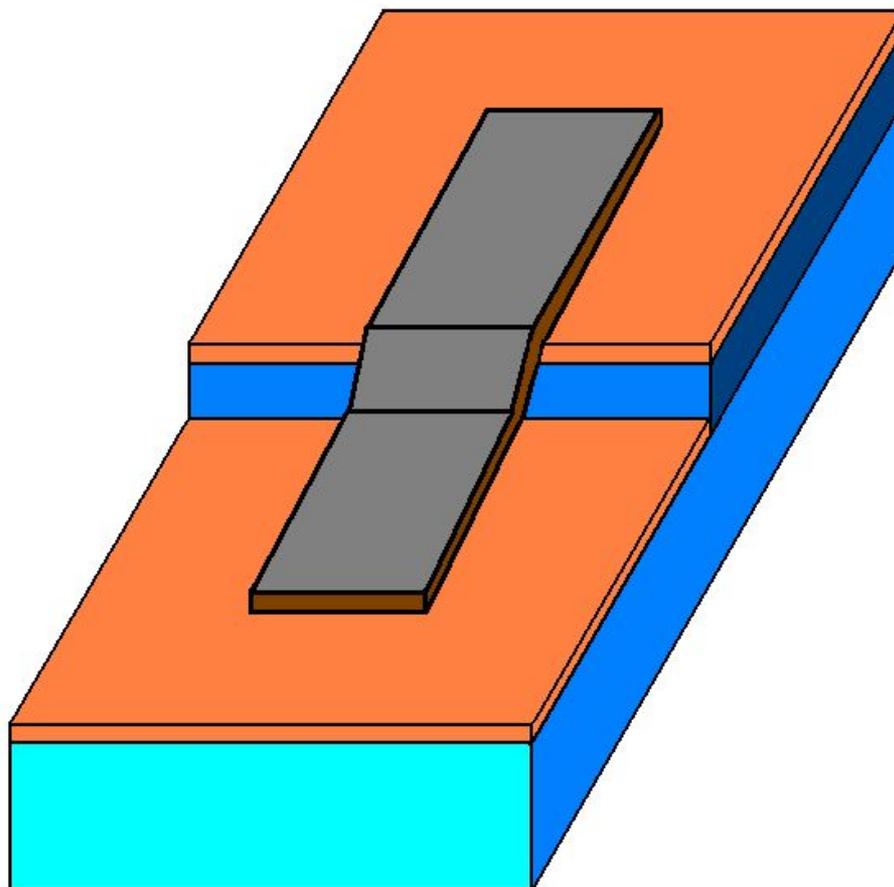


По горизонтали ширина мостика $w \sim 0.1-1$ мкм

Другие типы

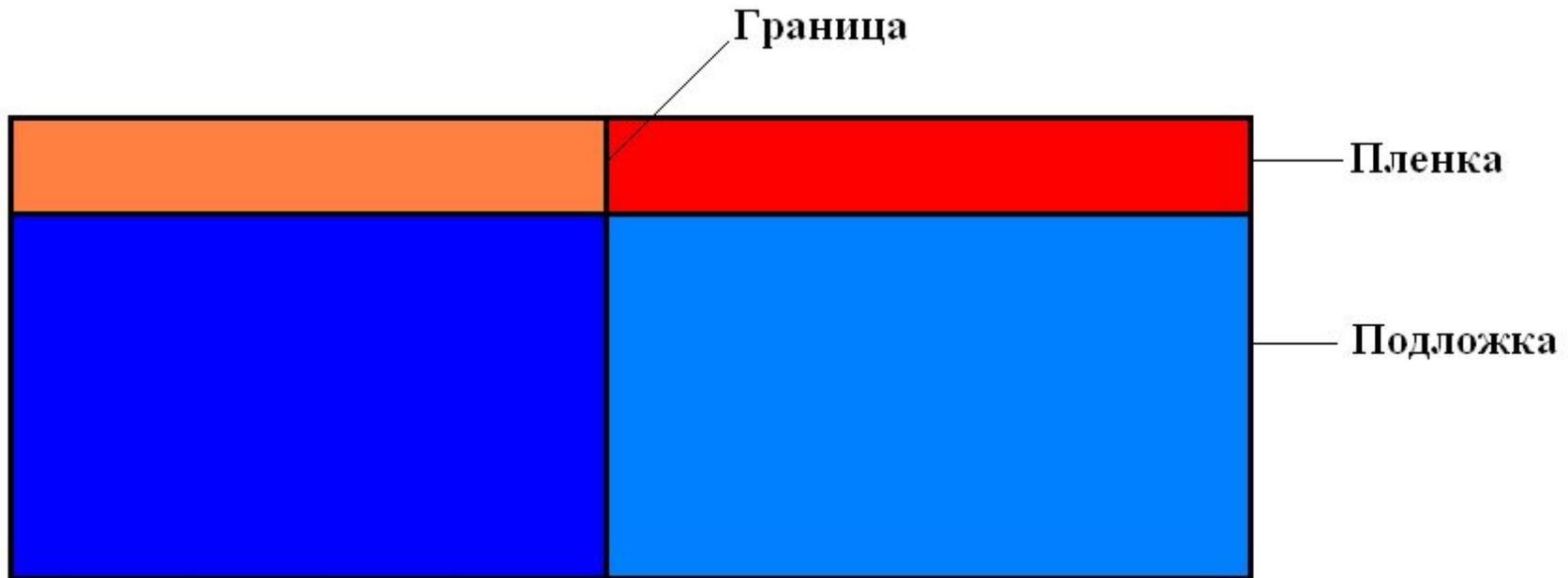
Мостик на торце пленки

Вид сверху:



Другие типы

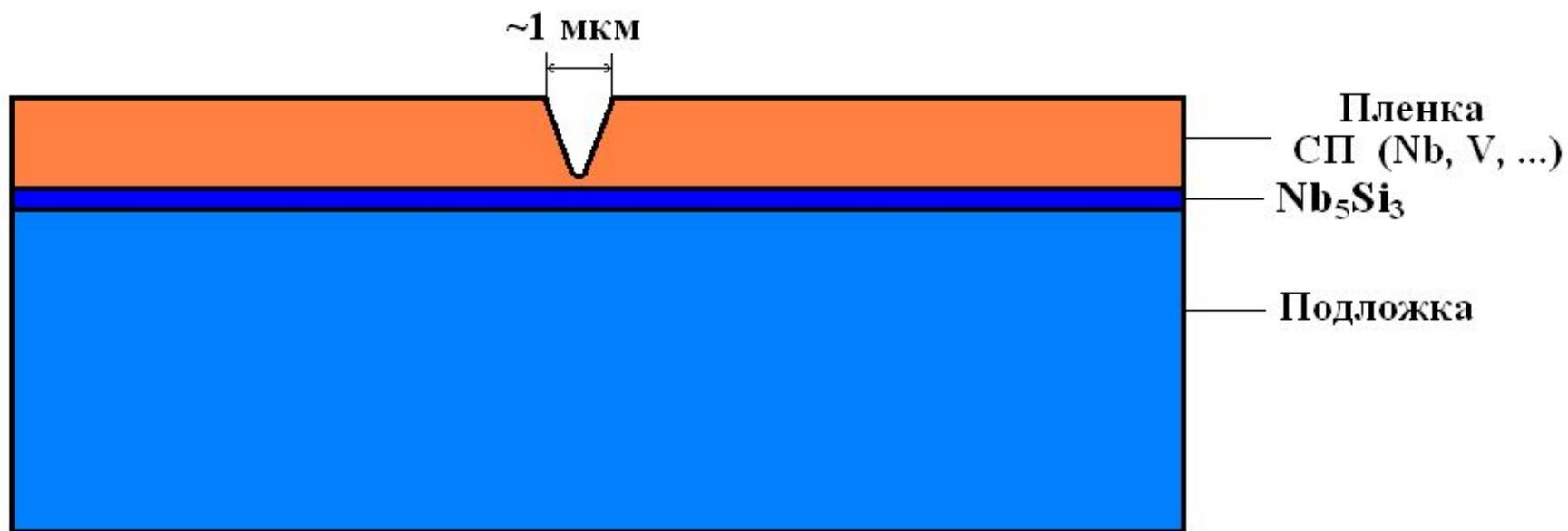
Мостик на бикристаллической подложке (ВТСП)



Граница = слабая связь в ВТСП. Подложка = бикристалл (разные оси).
Пленка «чувствует» разницу и на стыке появляется слабая связь.
Мостик – литографией

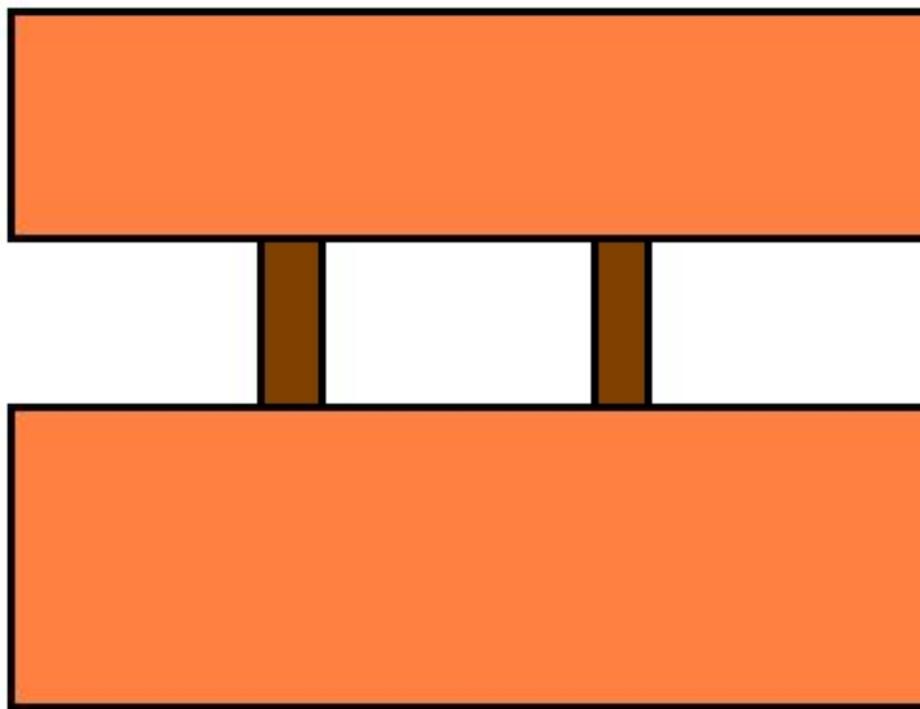
Другие типы

«Разрез»



Системы слабых связей

Параллельное соединение двух слабых связей приводит к интерференции токов. Это интерферометр



Системы слабых связей

Множественные слабые связи

1. Гранулированная пленка с Джозефсоновскими (слабыми) связями между гранулами



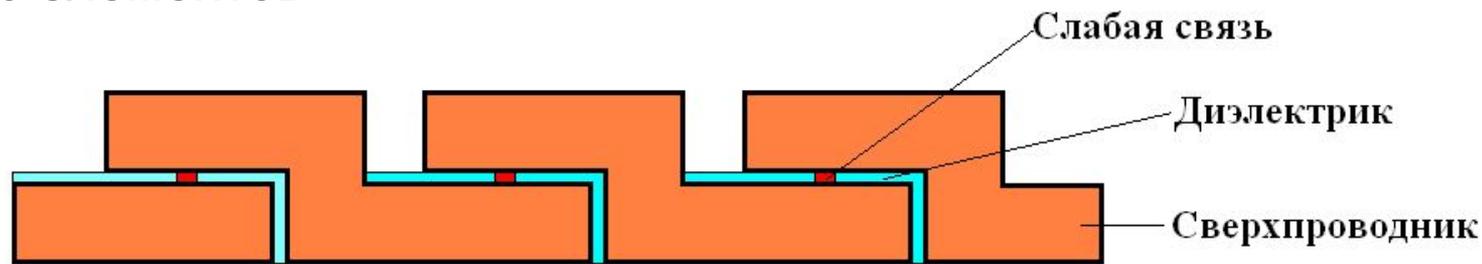
2. Набор шариков (поверхность окислена)

3. ВТСП керамика часто является Дж-системой

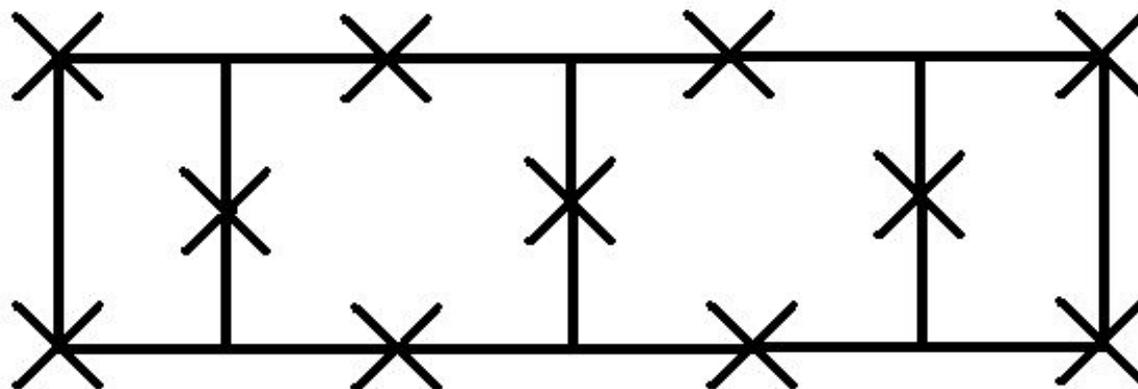
Системы слабых связей

Множественные слабые связи

4. Делают специальные двумерные цепи (цепочки) слабых связей. До 100 000 элементов



5. Сетки слабых связей (14 x 2000)



Методики изготовления слабых связей

Лабораторные методики

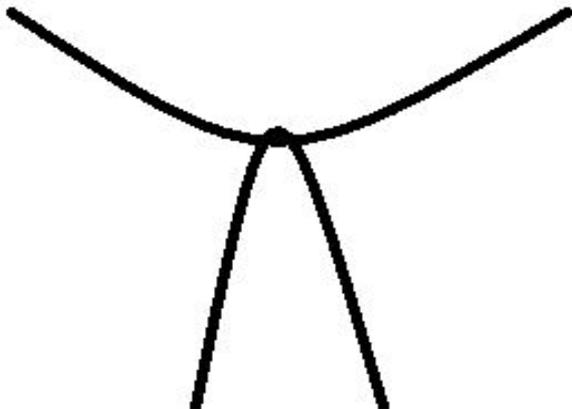
1. Осаждение в вакууме. Для слабых связей туннельного типа (например, S-I-S).

Делаются, как и туннельные переходы, но толщина диэлектрика 10-20 Å.

2. Точечные и прижимные контакты.

-Иголка из СП (Nb). Диаметр на конце ~1 мкм (станок, спец. травление, отжиг).

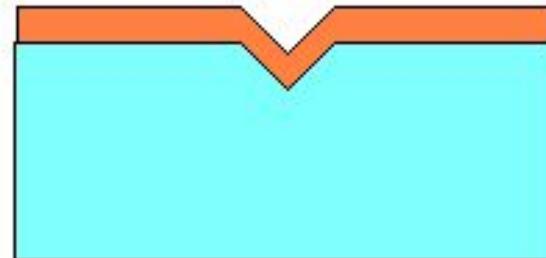
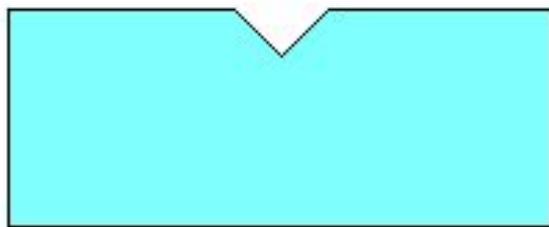
-Две проволоочки:



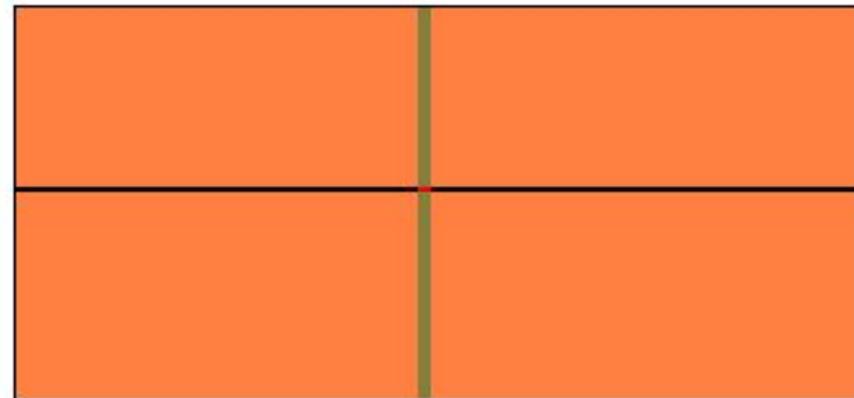
Методики изготовления слабых связей

Лабораторные методики

3. Скрайбирование (процарапывание). Для мостиков



Перерезание пленки поперек
(алмазная игла, микроподача)



Методики изготовления слабых связей

Литография

Пусть мы хотим сделать такую структуру:

Из металла на диэлектрической подложке



Операция №1: Наносим на подложку пленку металла нужной толщины, затем слой резиста

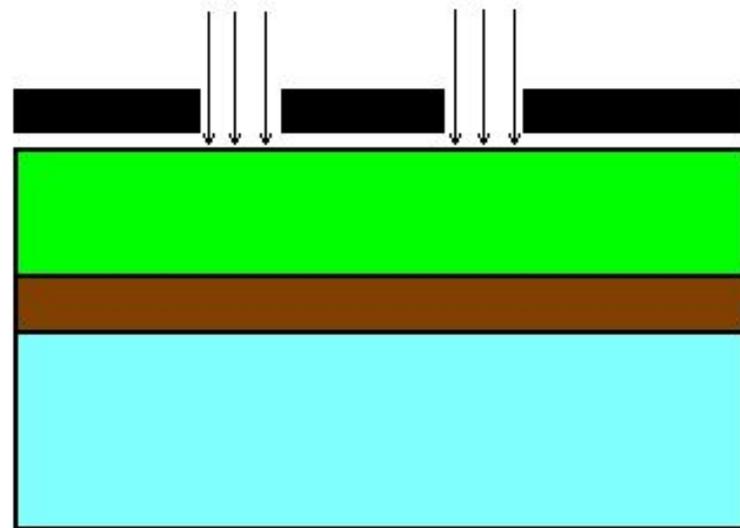


Методики изготовления слабых связей

Литография

Операция №2: Через маску экспонируют фоторезист

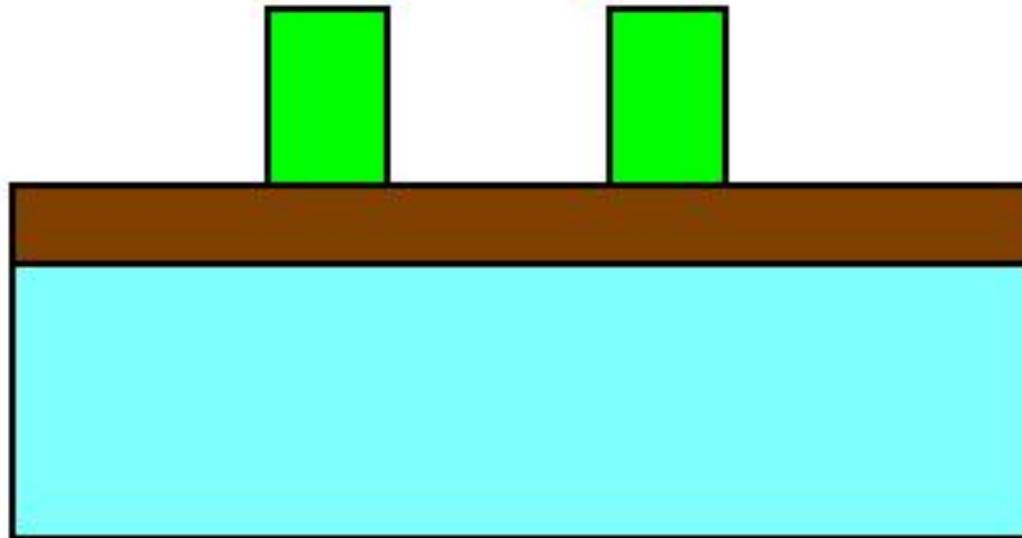
Маска



Методики изготовления слабых связей

Литография

Операция №3: Проявляют и удаляют неосвещенные участки фоторезиста. Это т.н. **негативный** фоторезист



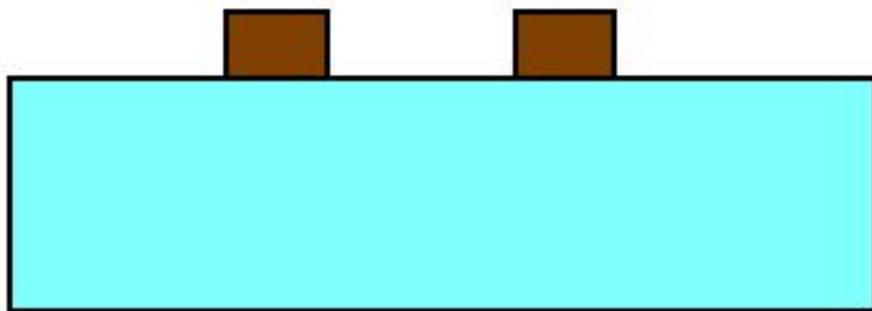
Может быть и **позитивный** фоторезист.
Тогда удаляются освещенные участки

Методики изготовления слабых связей

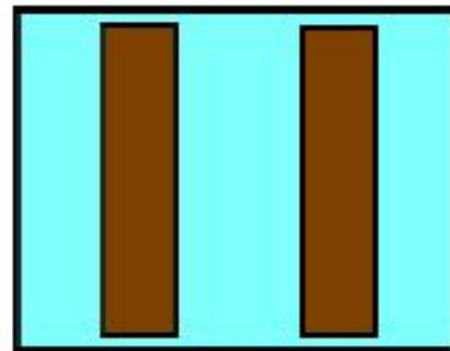
Литография

Операция №5: Удаляют весь фоторезист растворителем

Вид сбоку

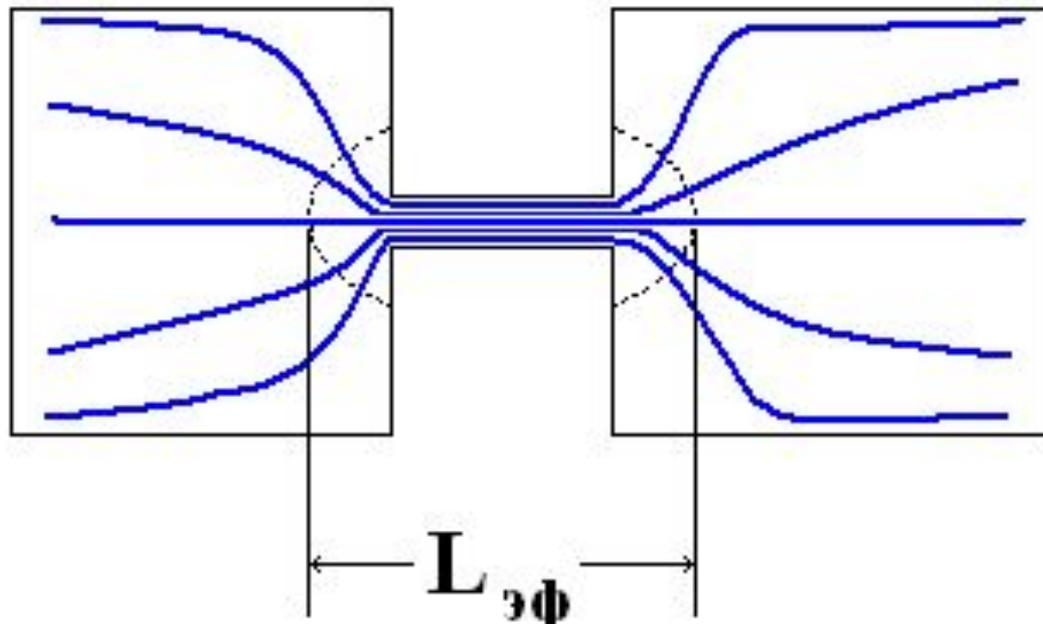


Вид сверху

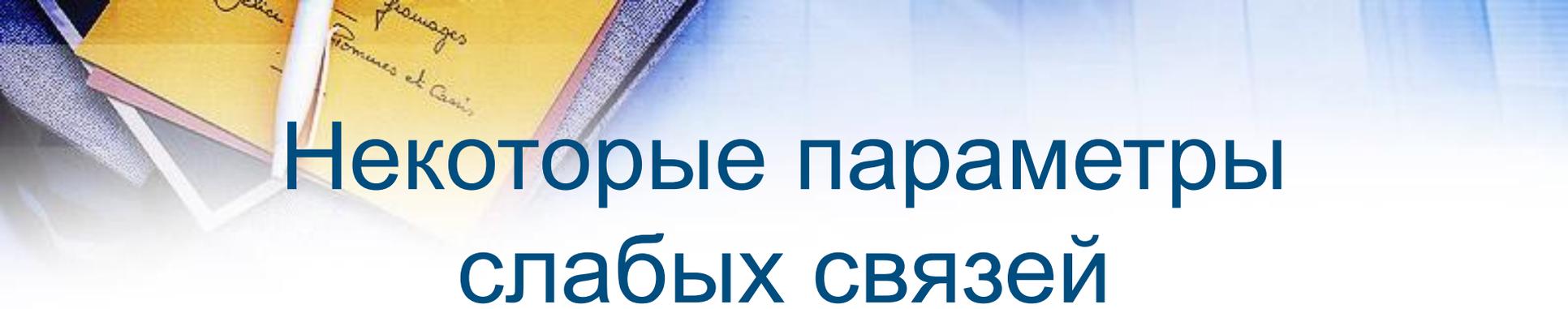


Некоторые параметры слабых связей

1. Эффективная длина $L_{\text{эф}}$



Та, где заметно меняется щель Δ



Некоторые параметры слабых связей

2. Грязная (чистая) слабая связь

$$L_{\text{эф}} \gg l \quad (L_{\text{эф}} \ll l)$$

Здесь l – длина свободного пробега электронов в металле

3. Короткая (длинная) слабая связь

$$L < \xi \quad (L > \xi)$$