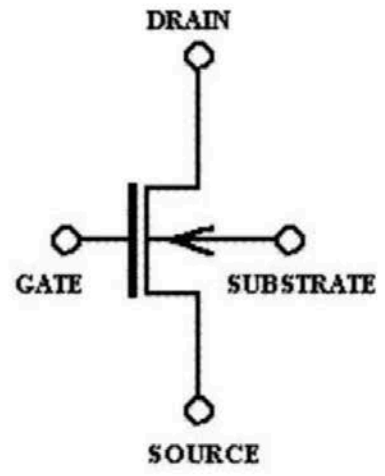
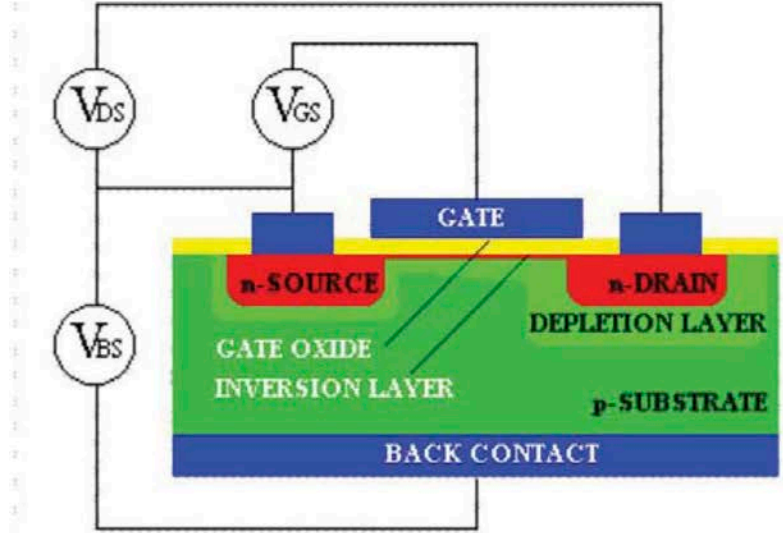


# Лекция 2.

## Как сделать низкоразмерную систему

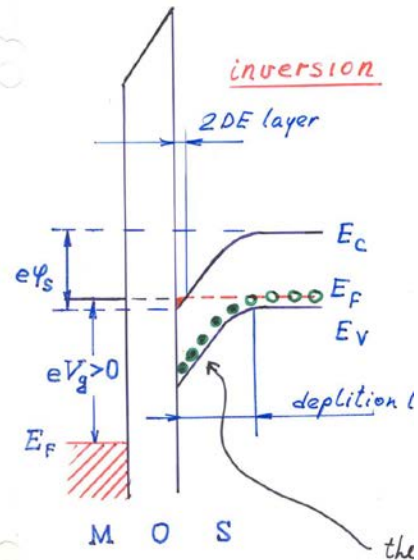
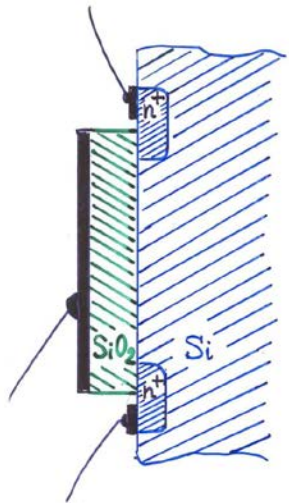
Si-МДП структура  
GaAs-гетеропереход

Структура МДП (полевой транзистор) предложена и даже запатентована, независимо Лилиенфельдом (в 1926г.) и Хэйлом (в 1934). Шокли (Bell Lab.) переизобрел его в 1947г. выждав время когда закончил действовать патент Лилиенфельда. Работающий прибор был создан в лаборатории Шокли только в 1947г., вначале как JFET. [MOSFET](#), который получил намного более широкое применение чем JFET, был изобретен [D. Kahng](#) и M. Atalla in 1960 (Bell Lab).

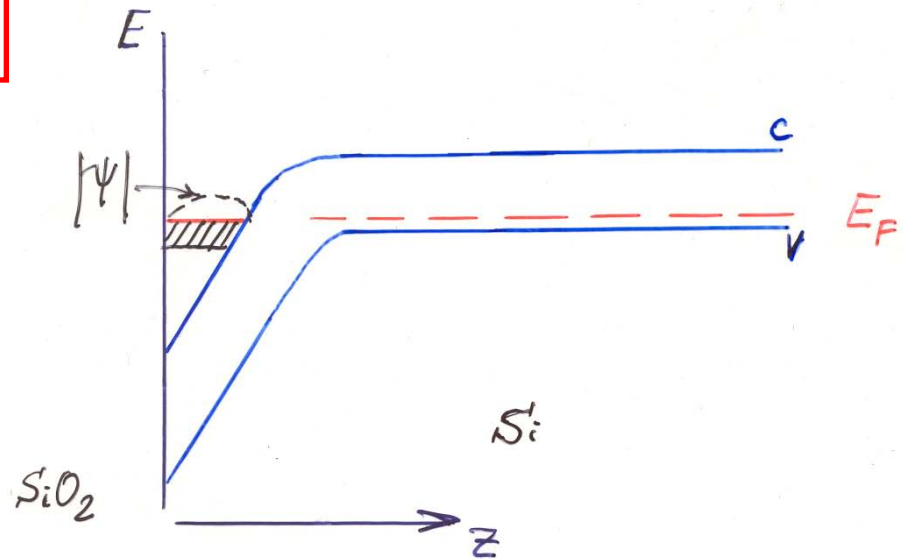
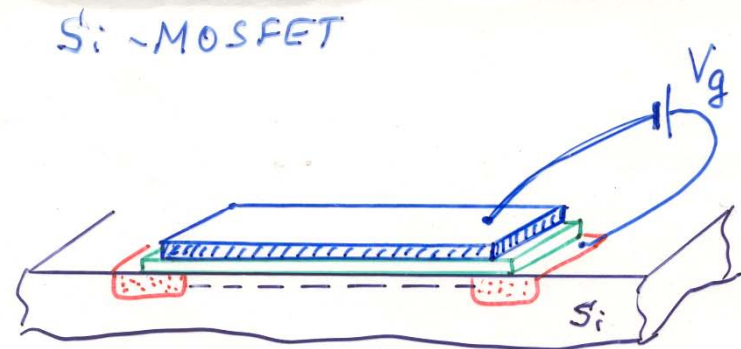


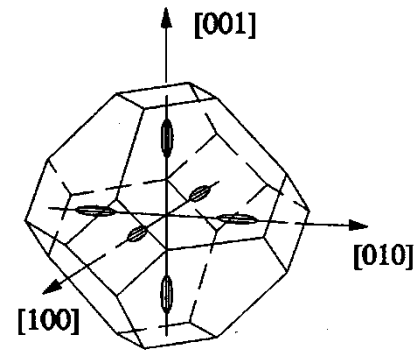
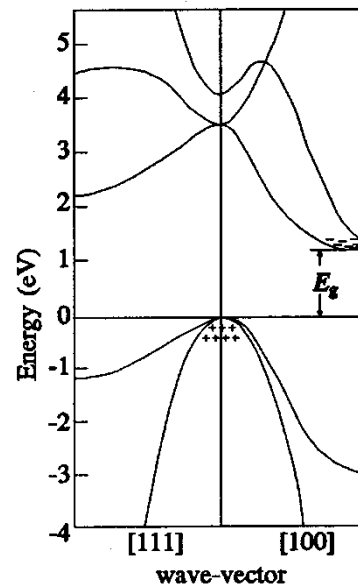
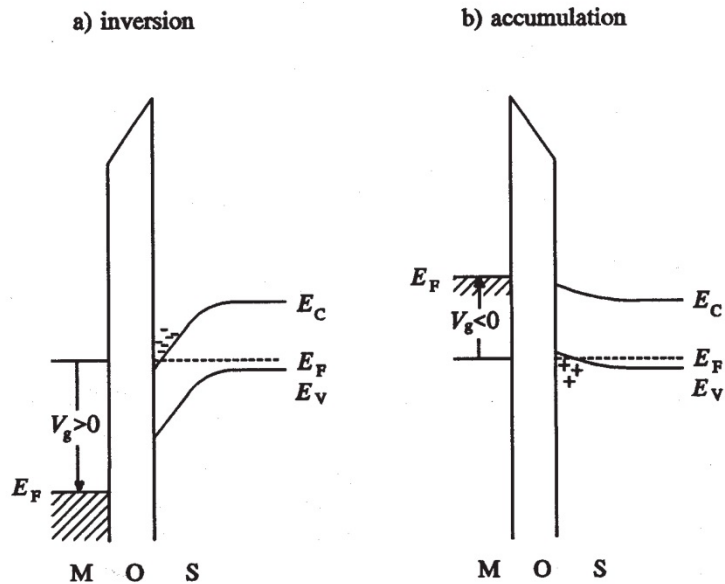
# Как приготовить 2D электронную систему

## Кремниевая МДП структура



$$Q_{inv} = en$$
$$n = C(V_g - V_t)/e$$

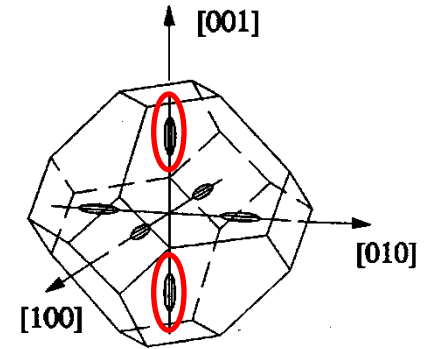
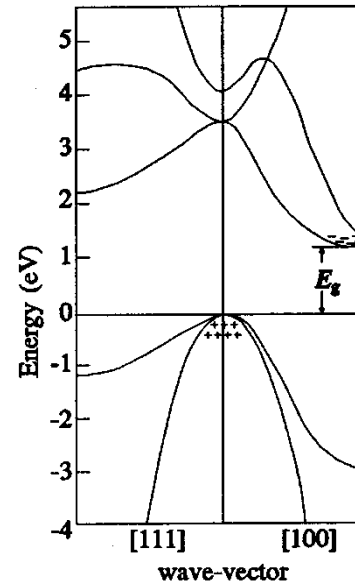
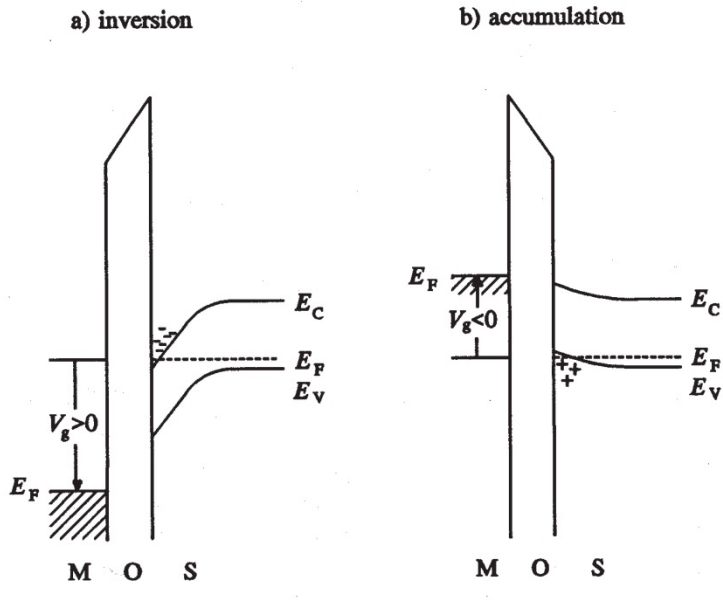




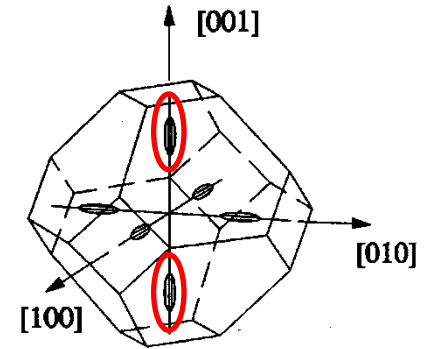
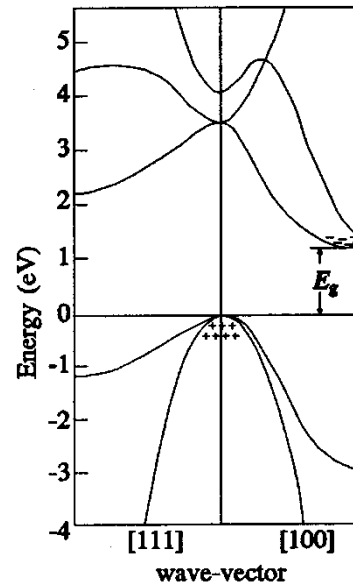
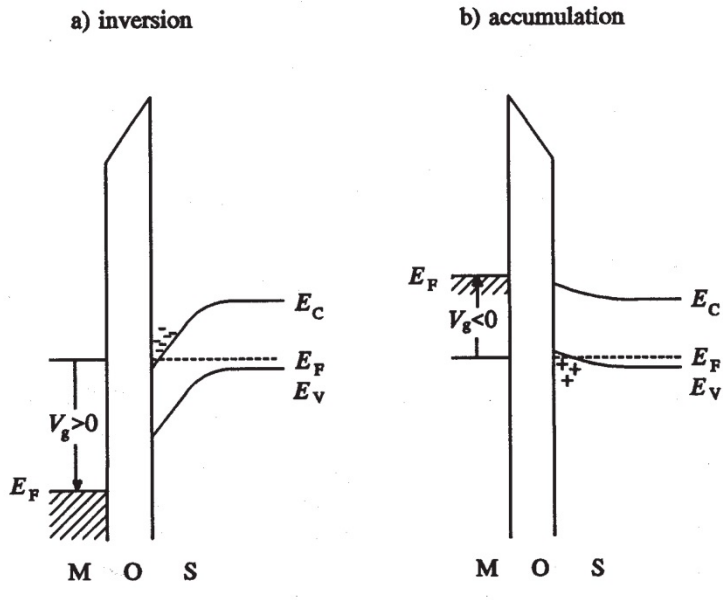
Уровни энергии в МДП структуре в режимах инверсии (электроны) и обогащения (дырки)

Зона Бриллюэна Si и зонная диаграмма уровней энергии в 3D кремнии

**Q:** Какое отношение имеют эти электроны или дырки, налившиеся в 2D потенциальную яму к носителям заряда в объемном Si ?



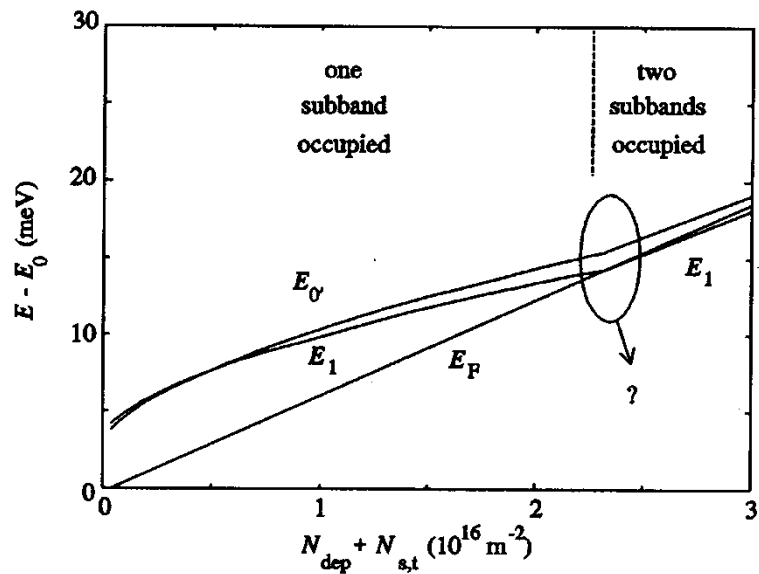
**Q:** Какое отношение имеют эти электроны или дырки, налившиеся в 2D потенциальную яму к носителям заряда в объемном Si ?

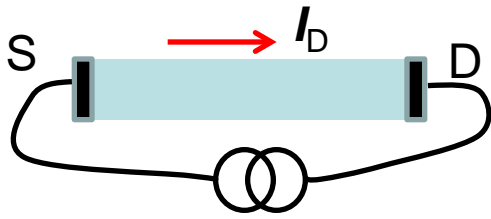


**Q:** Какое отношение имеют эти электроны или дырки, налившиеся в 2D потенциальную яму к носителям заряда в объемном Si ?

**A:**  $E_0 = p^2/2m_z$  - две “долины” имеющие наибольшую массу по  $p_z$  получают наименьшую энергию размерного квантования

# Уровни энергии размерного квантования в Si-MOSFET





## Как это работает с точки зрения электротехники

$$I_D = Q_{inv} \frac{WL}{t_{tr}}$$

$$v = \mu E = \mu \frac{V_{DS}}{L}$$

$$I_D = -\mu Q_{inv} \frac{W}{L} V_{DS}$$

$Q_{inv}$  – плотность заряда инв. слоя

$W$  - ширина канала,

$L$  - длина канала

$$t_{tr} = L / v$$

$\mu$  - подвижность

$v$  - дрейфовая скорость

$E$  - электрическое поле

$V_{DS}$  - напряжение “сток-исток”

$c_{ox}$  - емкость на единицу площади

$$Q_{inv} = -c_{ox} (V_g - V_T), \quad \text{для } V_g > V_T,$$

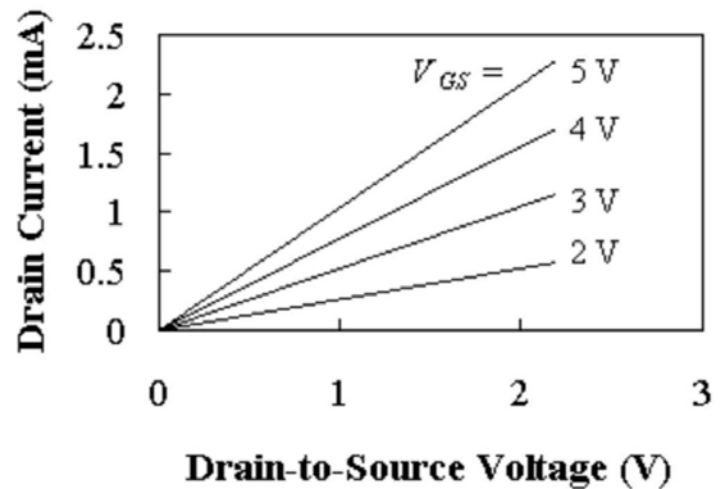
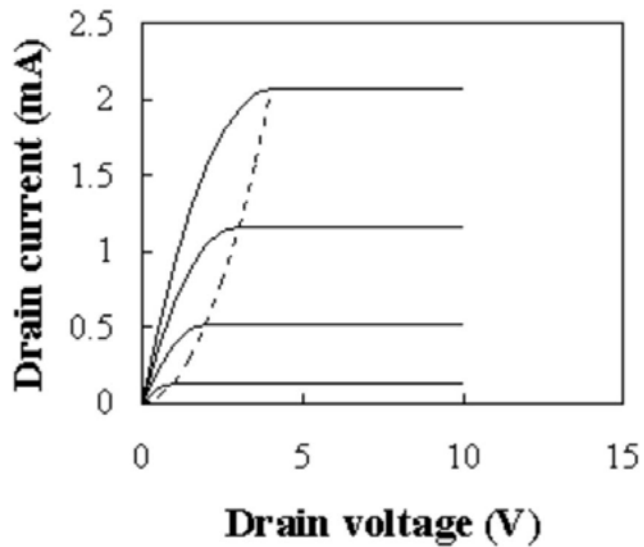
$$I_D = \mu c_{ox} \frac{W}{L} (V_g - V_T) V_{DS}, \quad \text{для } |V_{DS}| \ll (V_g - V_T)$$

Управляемый  
резистор



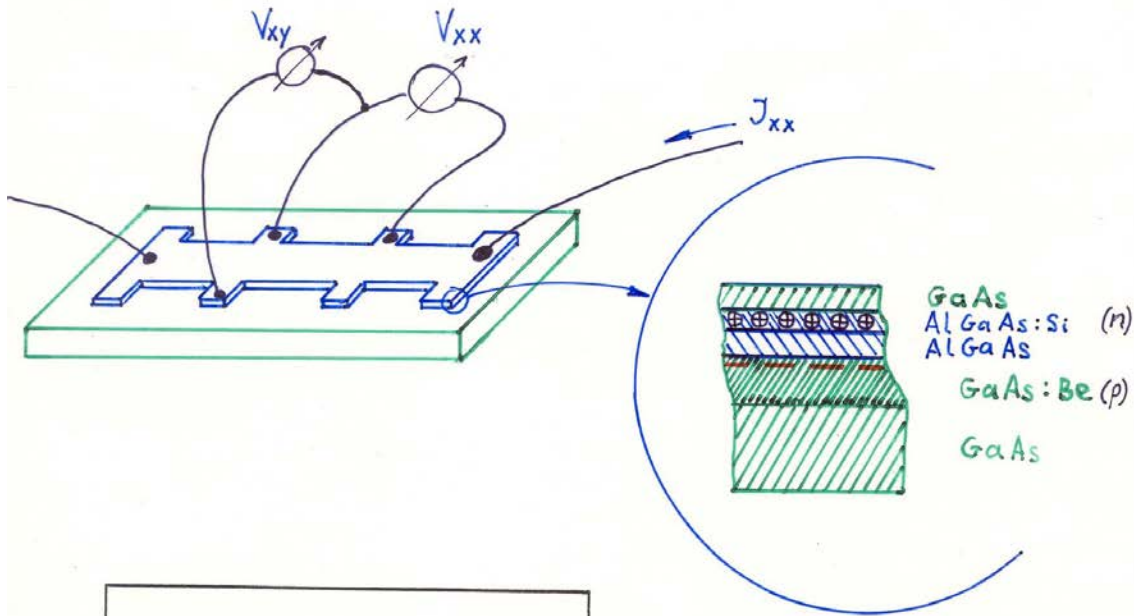
## Как проводит ток МДП структура

Электрические характеристики МДП структуры  
(полевой транзистор)



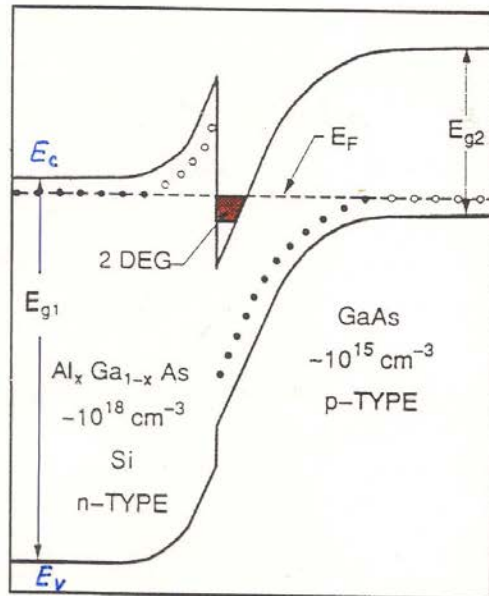
Линейная часть ВАХ

# Как приготовить 2D электронную систему



Гетероструктура

GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$



for  $x = 0.3$   
 $E_{g1} - E_{g2} \approx 400 \text{ meV}$

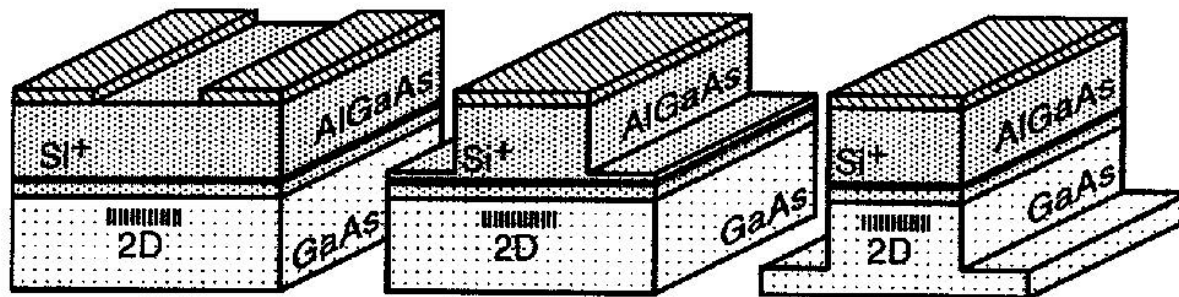
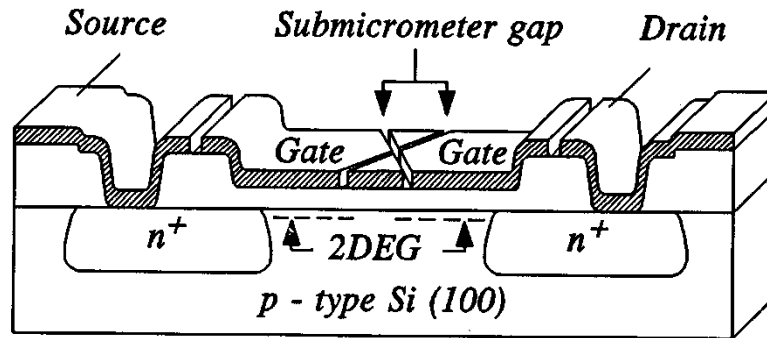


Рис. 2.17: Схематическое изображение QW изготовленных техникой (а) с расщепленным затвором, (b) неглубокого меза-травления, (c) глубокого меза-травления



Вариант более продвинутой МДП-структуры, в которой варьируя потенциалы затворов можно сделать субмикронный зазор (барьер) или квантовую точку.

Седловая точка - на перекрестии двух разрезов

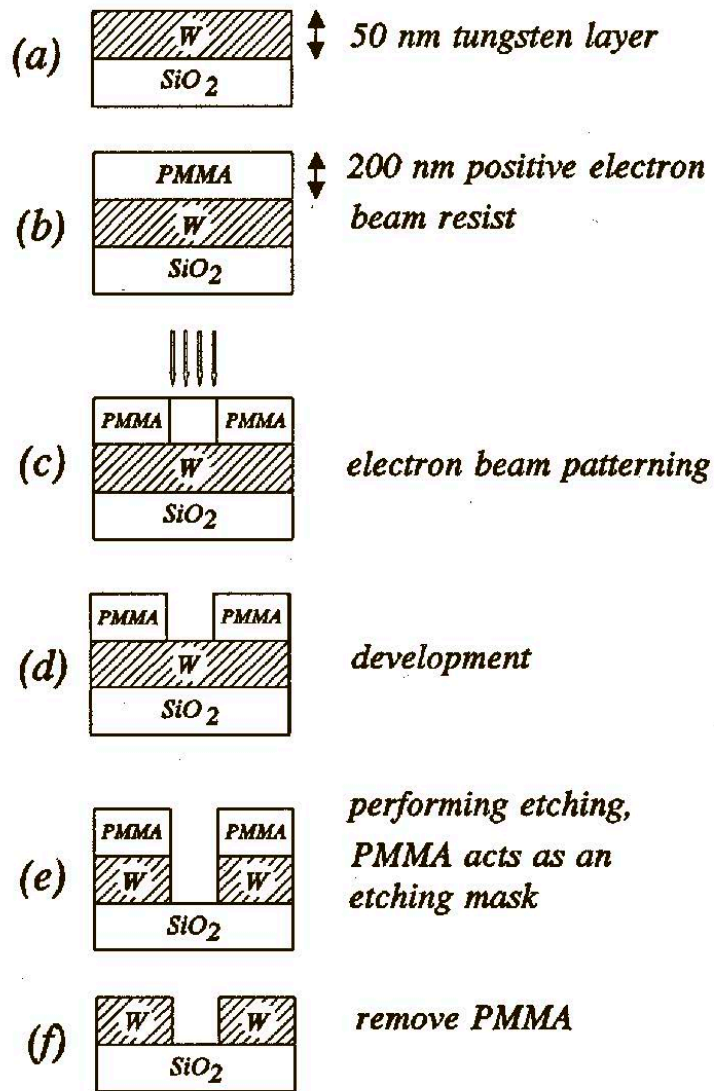


Рис. 2.16: Изготовление 1D и 0D структур