

Поруваті наноструктури.
Одноелектронні прилади.

Поруватий кремній

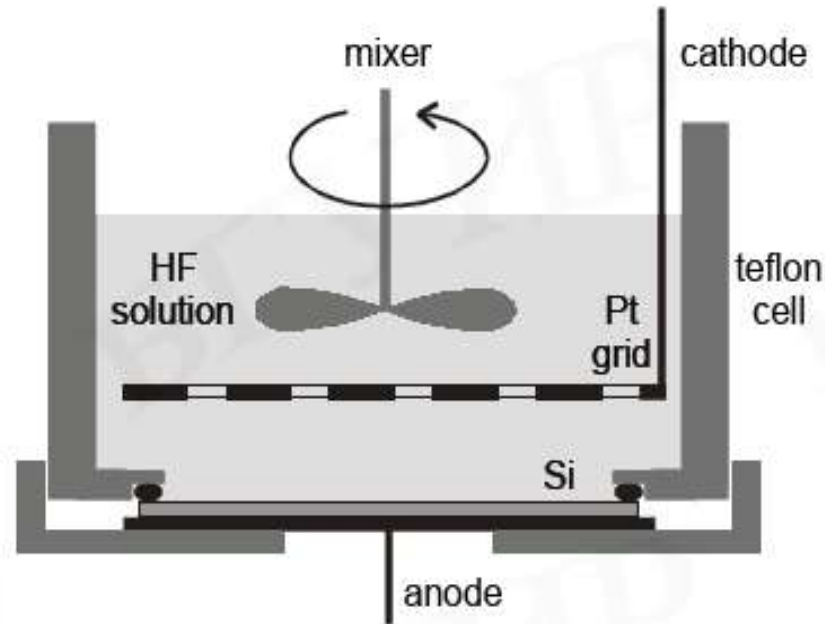
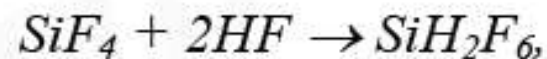
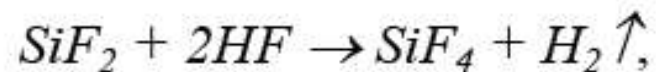
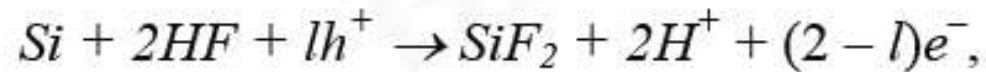
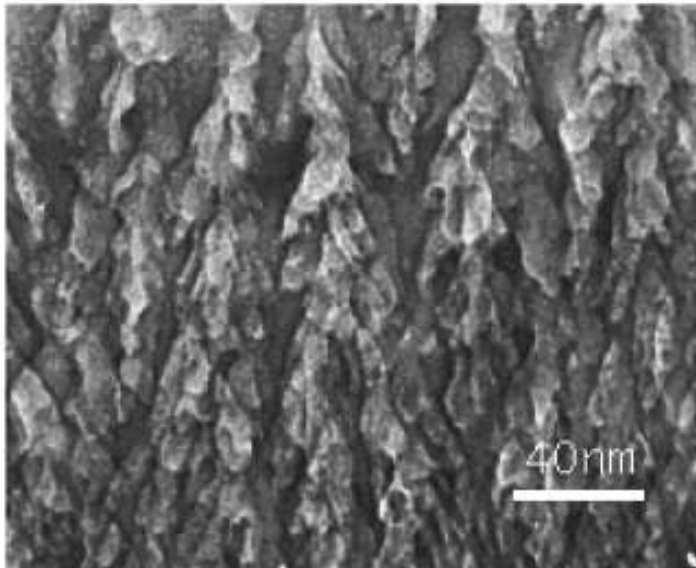


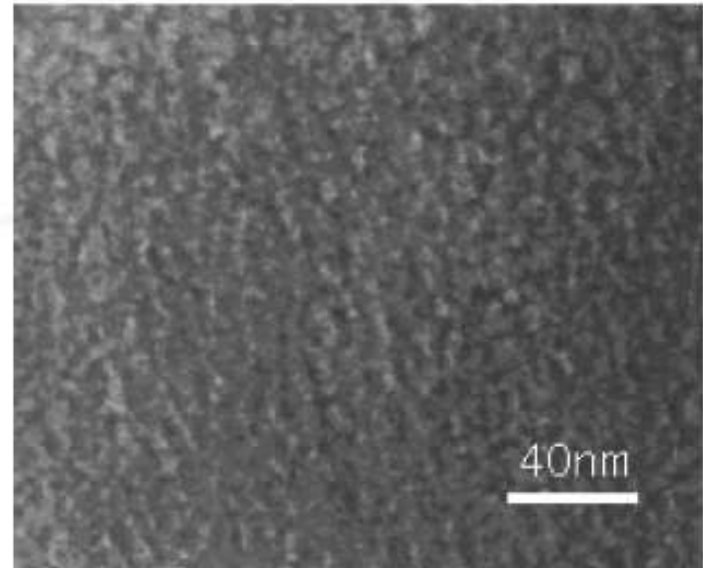
Рис. 5.1. Принципиальное устройство однокамерной ячейки для электрохимического анодирования



Морфологія поруватого кремнію



а



б

Типова морфологія шарів пористого кремнію:
а-монокристал, анодований в водному розчині плавикової кислоти,
б-монокристал, анодований в концентрованій плавиковій кислоті.

Особливості поруватої структури

Слой пористого кремния может иметь один из двух принципиальных типов структуры.

В одном из них каналы пор имеют более – менее упорядоченную древообразную структуру, прорастающую от поверхности в объем. Такие поры обычно формируются в монокристаллическом кремнии с *n*-типом проводимости.

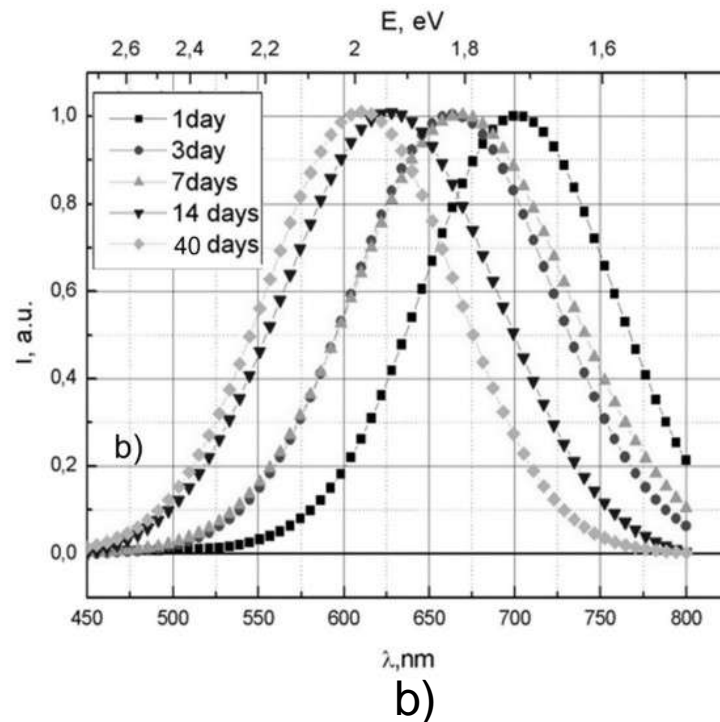
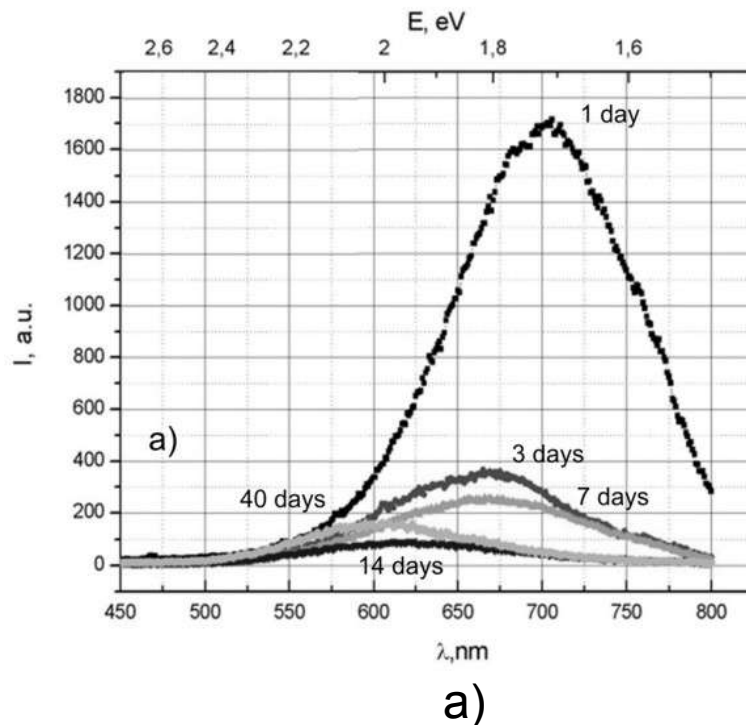
Другой тип структуры пористого слоя характеризуется хаотическим расположением пересекающихся пор, что типично для пористых слоев в *p*-типе монокристаллического кремния.

Кроме того, в **сильнолегированном кремнии** (удельное сопротивление материала ниже 0,05 Ом·см) обоих типов проводимости поры представляют собой каналы диаметром порядка 10 нм, идущие практически перпендикулярно поверхности. В них пористость может достигать 60 %.

В слаболегированном кремнии ситуация несколько иная.

Пористый слой, сформированный в *p*-кремнии и в *n*-кремнии при подсветке, состоит из сети хаотично расположенных пор диаметром 2–4 нм. Достижимая пористость в этом случае выше. Поры в *n*-кремнии, протравленном в темноте, выглядят как параллельно расположенные цилиндры. Пористость таких слоев обычно ниже 10 %.

Люмінесцентні властивості поруватого кремнію



Спектри фотолюмінесценції образців пористого кремнію n-типа, выдержаних на атмосфері від 1 до 35 днів: а) без норміровки, б) норміровані на одиницю.

Фізико-хімічні властивості сапфіра

Сапфир - Драгоценная разновидность корунда.

Класс минерала: Оксиды.

Формула химически чистого [корунда](#) - Al_2O_3 .

Цвет: синий, голубой, розовый, желтый, зелёный, бесцветный, красно-оранжевый, фиолетовый.

Цвет обусловлен примесями металлов: титана, хрома, марганца, железа, ванадия.

Блеск: стеклянный.

Прозрачность: прозрачный до непрозрачного.

Светопреломление: 1,766-1,774.

Твёрдость по шкале Мооса - 9.

Плотность - 4,0 г/см.

Минерал хрупкий?: Нет.

Спайность: отсутствует.

Сингония: тригональная.

Излом: раковистый.



Фізико-хімічні властивості рубіна

Рубин - разновидность [корунда](#).

Химическая формула рубина - Al_2O_3 .

Спайность - мнимая, кажущаяся или отсутствует.

Сингония - тригональная.

Габитус кристаллов в виде шестигранных уплощенных табличек, также столбчатый.

Цвет рубина обусловлен примесями, изоморфно замещающими алюминий (хром, железо, титан): красный, розово-красный, пурпурно-красный насыщенность разная - менее яркие, более яркие.

Прозрачность - просвечивающийся, прозрачный.

Блеск - стеклянный.

Твёрдость по шкале Мооса - 9.

Плотность - 3,97 - 4,05.

Светопреломление или период рефракции - 1,766-1,774.

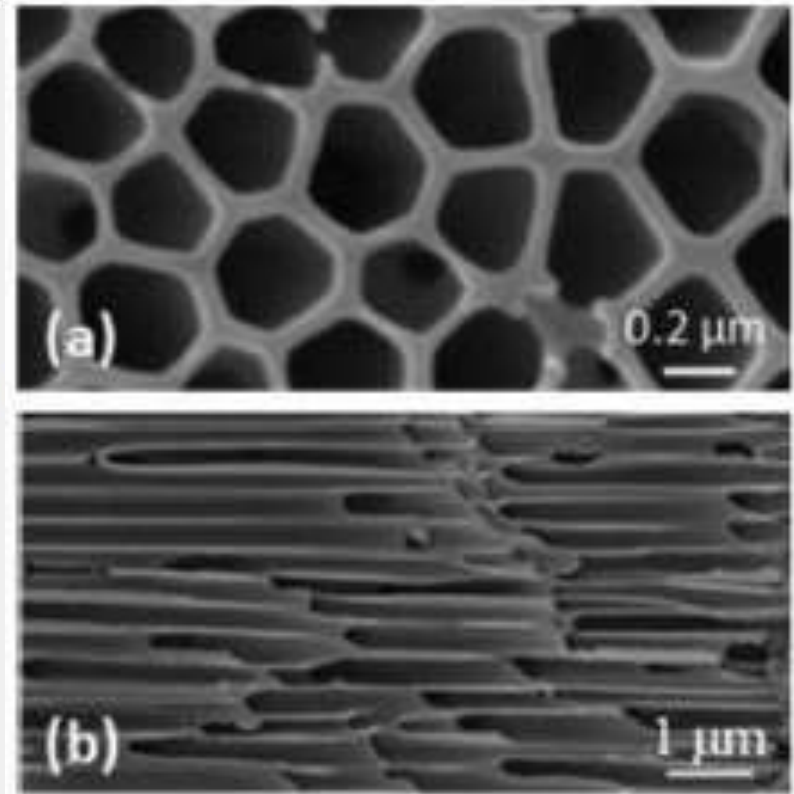
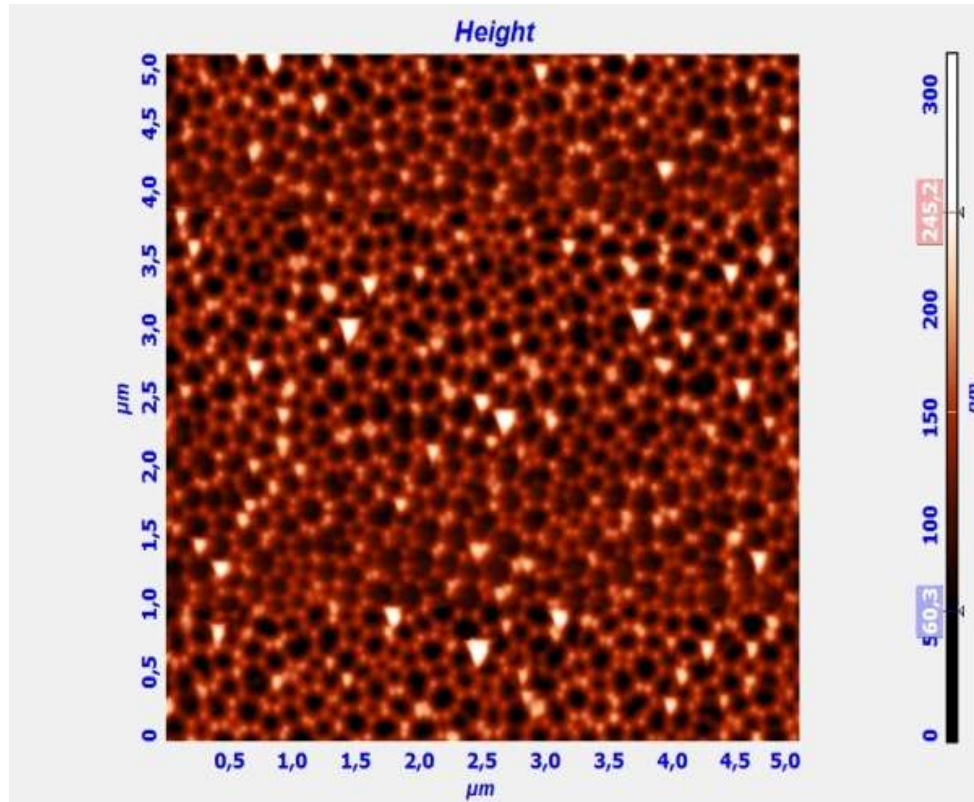
Излом - раковистый, неровный, кристалл хрупкий.

Плотные образцы устойчивы к механическим воздействиям.

Натуральный рубин - самый дорогой драгоценный камень в мире. Рубин идеального качества из Бирмы будет стоить дороже бриллианта, при таком же качестве и весе.



Поруватий оксид алюмінія (Al_2O_3)



Образование анодных оксидов из тонких пленок или массивного алюминия в жидких электролитах при электрохимическом анодном окислении (оксидировании) происходит в результате встречной миграции ионов Al^{3+} и O^{2-} в электрическом поле большой напряженности.

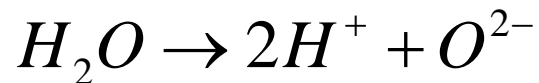
Процес формування пор

Сложный процесс пористого анодного окисления алюминия целесообразно разделить на три стадии: 1) протекание реакции передачи кислорода от анионов или молекул раствора на анодируемый металл и возникновение первичного соединения алюминия с кислородом; 2) формирование сплошной тонкой оксидной пленки барьерного типа; 3) рост утолщенной пленки пористого типа.

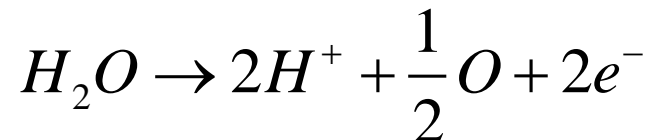
Донорами кислорода могут быть все кислородсодержащие ионы электролита (SO_4^{2-} , HSO_4^- , PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, OH^-), а также недиссоциированные молекулы раствора и, прежде всего, молекулы воды.



відбувається



замість



Плівки з впорядкованими порами

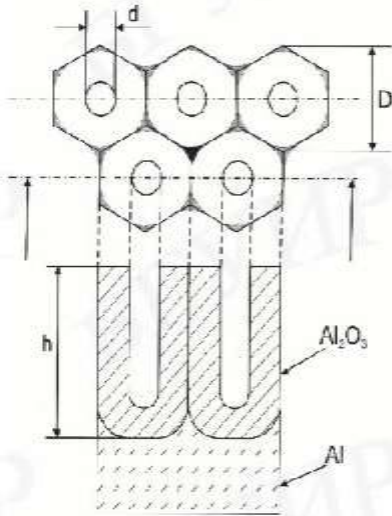


Рис. 5.3. Схематическое изображение фрагмента пористого оксида с плотно упакованными гексагональными ячейками в центре с порой (d – диаметр поры, D – диаметр ячейки, h – высота поры (и пористого оксида))

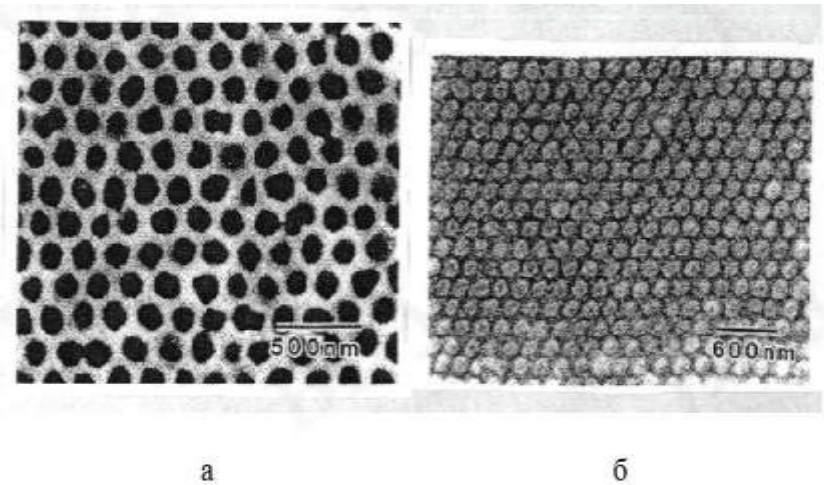
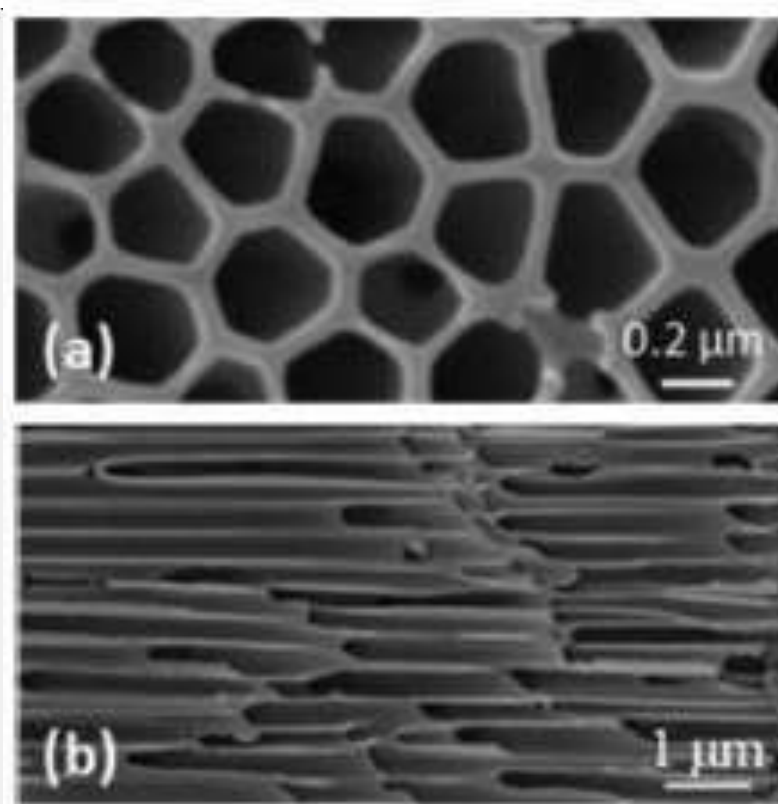
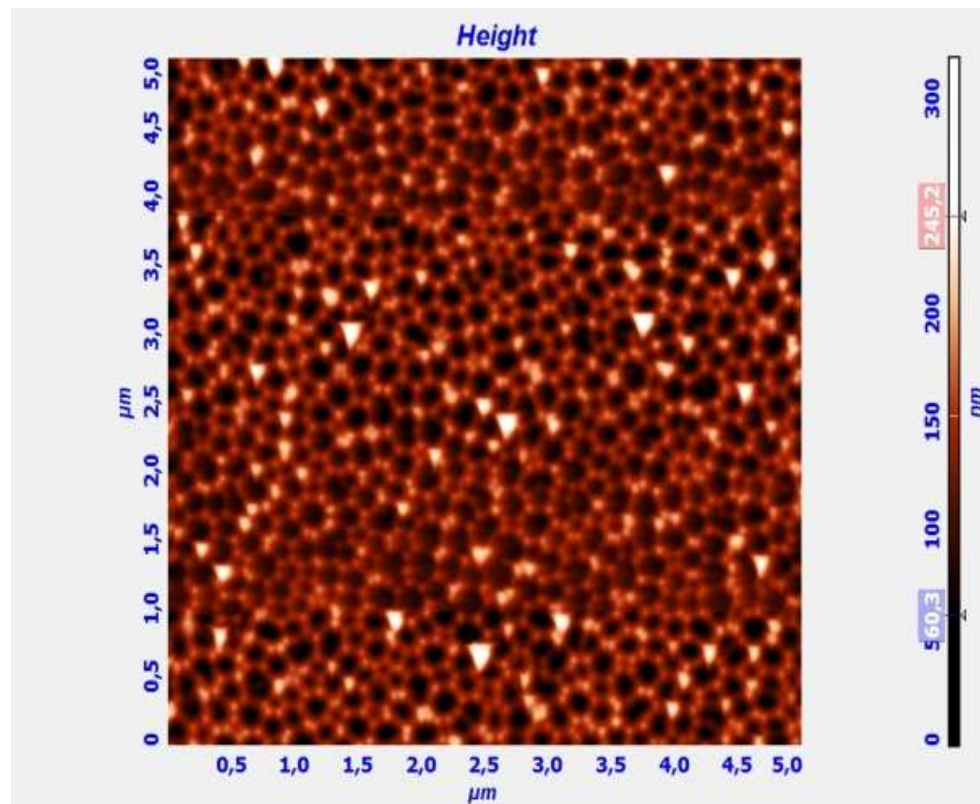


Рис. 5.6. РЭМ-фотографии сетки из пористого оксида алюминия (а) и Ag-точек на поверхности кремниевой подложки, сформированных осаждением пленки серебра через маску из пористого оксида алюминия (б) [6]

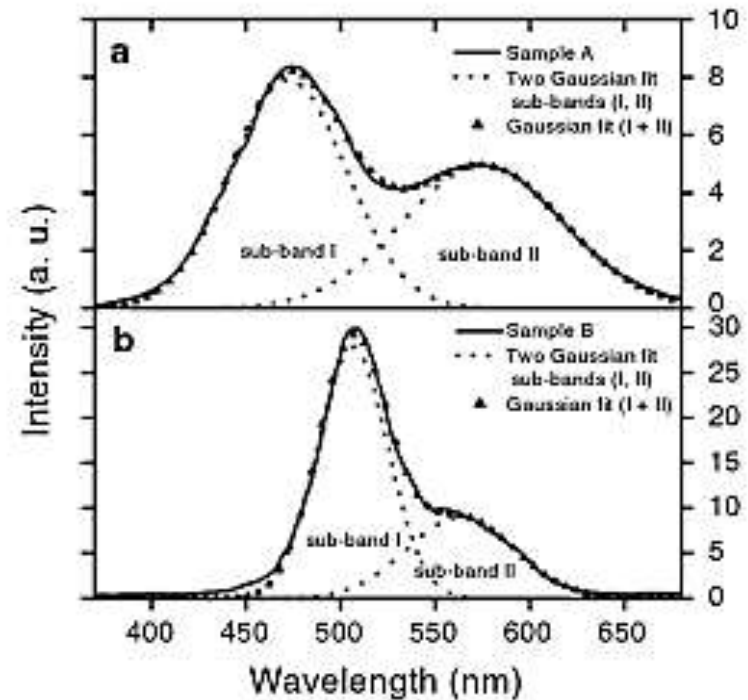
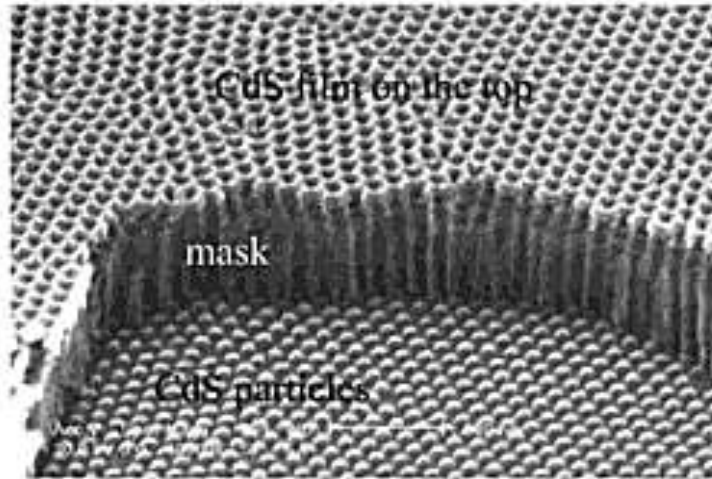
Исследования показали, что и барьерные и пористые пленки развивают ячеистую структуру только по истечении некоторого времени t_{\min} , при котором ток имеет минимальное значение в режиме постоянного напряжения. В порообразующих электролитах это время равно примерно 2 с, в 3%-ном растворе тартрата аммония ($\text{pH} = 5,5$) $t_{\min} = 12$ мин, а в том же электролите ($\text{pH} = 7,0$) – 90 мин.

Поруватий оксид алюмінія (Al_2O_3)



Образование анодных оксидов из тонких пленок или массивного алюминия в жидких электролитах при электрохимическом анодном окислении (оксидировании) происходит в результате встречной миграции ионов Al^{3+} и O^{2-} в электрическом поле большой напряженности.

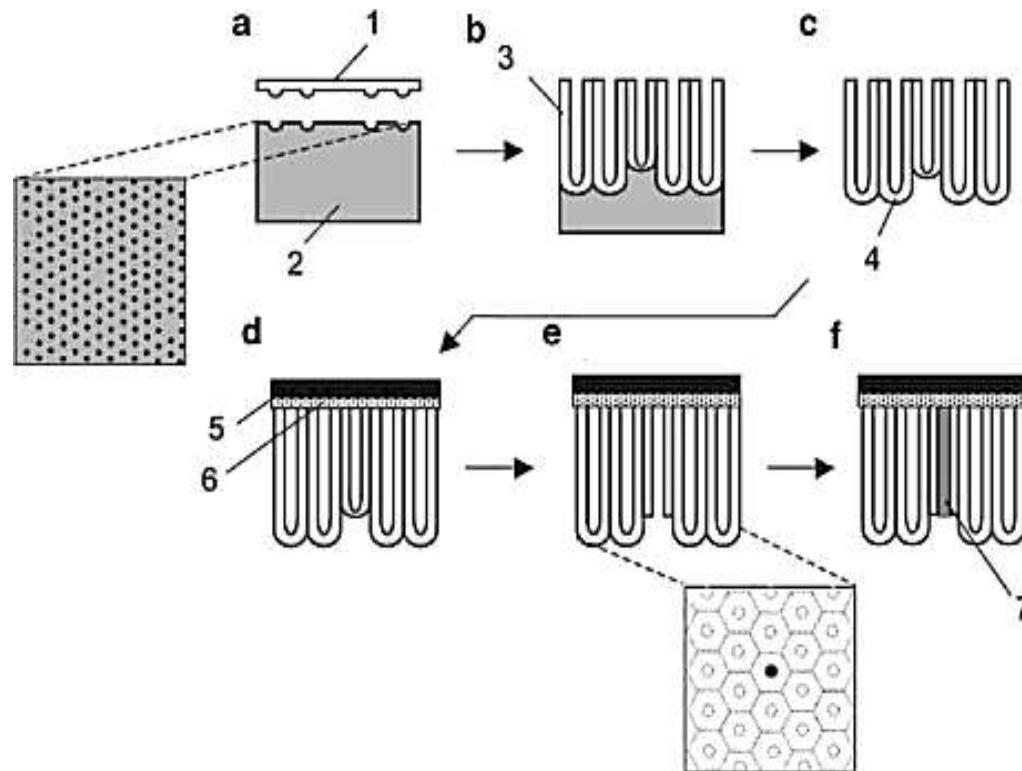
Вирощування масивів квантових точок з використанням плівок ААО



Left, CMS nanodots arrays with an average diameter and spacing of 80 nm and 105 nm respectively, formed on Si substrates using an AAO mask;

Right, photoluminescence spectra of CdS nanodot arrays of (a) 10 nm height and (b) 50 nm height and their two Gaussian fit subbands. The excitation wavelength is 350 nm. The peak positions of the subbands I and II are located at about 473 and 575 nm in sad and 506 and 563 nm in sbd, respectively.

Схема вирощування нанодисків із Au з використанням плівок ААО



Schematic of the preparation process for a pore-differentiated Au-nanodisk array: (a) imprinting the aluminum with a SiC mold; (b) anodization of the Al; (c) removal of the Al; (d) formation of an electrode on the top-surface of the AAO membrane; (e) selective etching of the barrier layer at shallow sites to form selectively opened holes; (f) deposition of Au. (ICP) etching through the template.

Застосування пористих плівок Al_2O_3

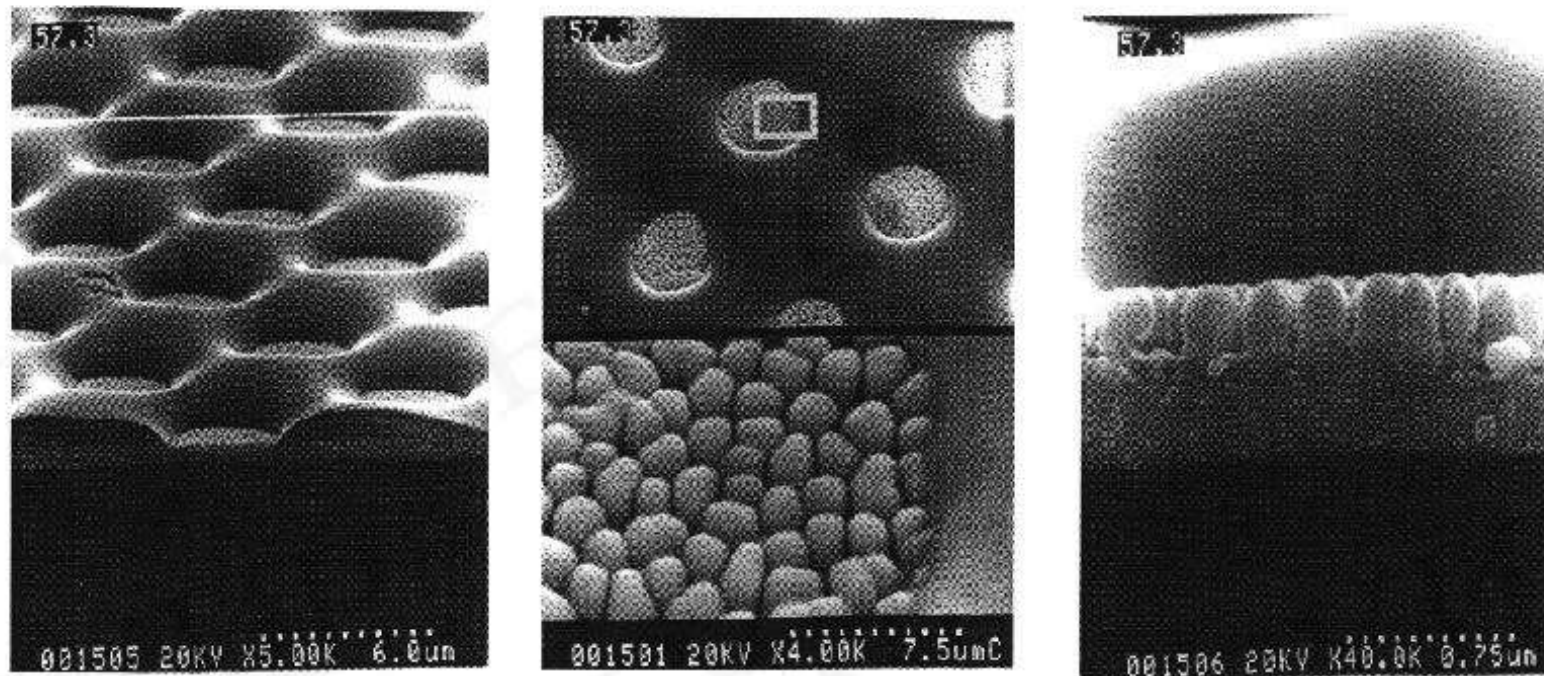


Рис. 5.8. РЕМ-фотографії столбикових мікроструктур, локально сформованих в отвeрстиях фоторезистивної маски через пористий оксид алюмінія [8]

Цеоліти

Термин "цеолит" (в переводе с греческого — кипящий камень) был предложен Ф. Кронштедтом, который в 1756 году обнаружил, что минерал стильбита (семейство гидратированных силикатов алюминия) при нагревании вспучивается, т.е. увеличивается в объеме с выделением воды. Подразделяют содалиты, мордениты, фожазиты, шобазиты, пентасилы и т.д.

$\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{22}\text{O}_{48}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$ цеоліт типу А (содалит)

$\text{Na}_{86}[\text{Al}_{86}\text{Si}_{106}\text{O}_{384}]\cdot 264\text{H}_2\text{O}$ цеоліт типу Х (фожазит)

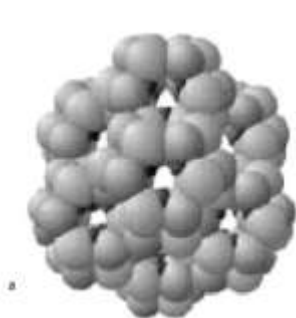
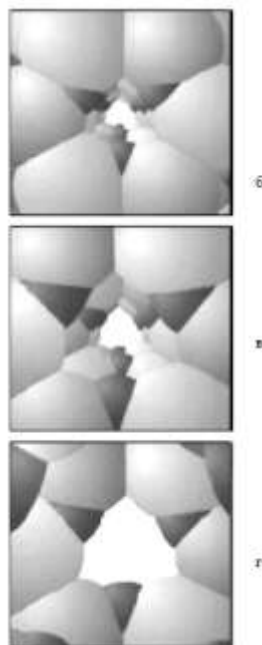


Рис. 7.27. Схема прохождения молекул воды через структуру цеолита содалит [27]

а – общий вид модели.

б – у отверстия поры, в – в середине канала, г – у выхода из поры.

Атомы Si и Al (ионные радиусы 0,039 и 0,057 нм) экранированы атомами О (светлого цвета) и натрия (темного цвета) (ионные радиусы 0,139 и 0,098 нм) и поэтому не видны.



Размеры пор могут быть несколько различными в пределах одного структурного типа цеолитов, поскольку они зависят от соотношения кремния к алюминию – Si/Al, типа катионов, адсорбции различных молекул, прежде всего, воды. Например, для цеолитов КА диаметр кольца равен 0,3 нм, NaA – 0,42 нм, СаА – 0,5 нм.

Соотношение Si/Al в составе кристаллической структуры

Структури цеолітів

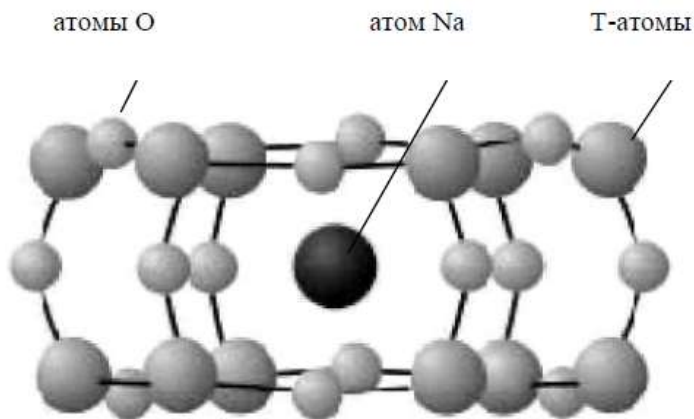


Рис. 7.28. Вторичная структура единица фожазита – гексагональная призма [27]

Размеры атомов условны

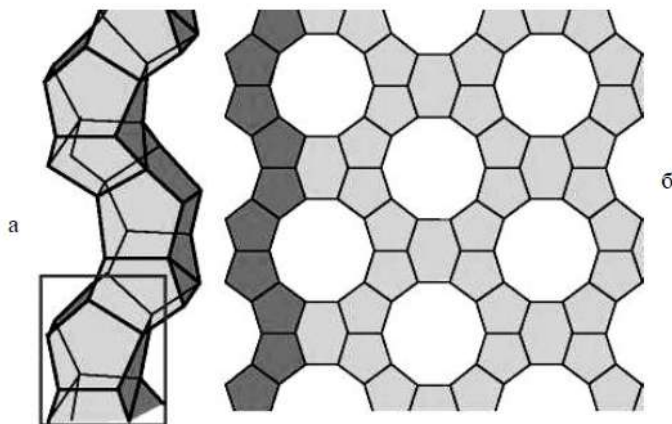


Рис. 7.29. Структура цеолита типа пентасила [27]

а – цепочка, б – слой

Основной структурный элемент выделен рамкой

Основным структурным элементом цеолитов указанных типов является почти правильный тетраэдр, в котором угол связи О–Т–О (где Т – атомы Al и Si) немного ($\pm 2-3^\circ$) отличается от тетраэдрического ($109^\circ 28'$).

Соединение тетраэдров посредством атомов кислорода приводит к образованию различных вторичных структур: колец (из 4, 5, 6, 8, 10, 12 Т-атомов), призм и более сложных многогранников.

Наноаэрогелі

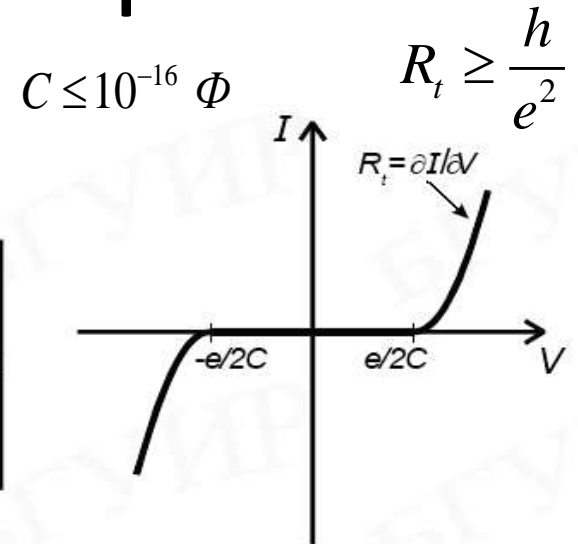
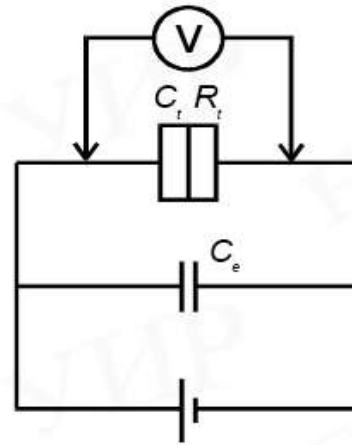
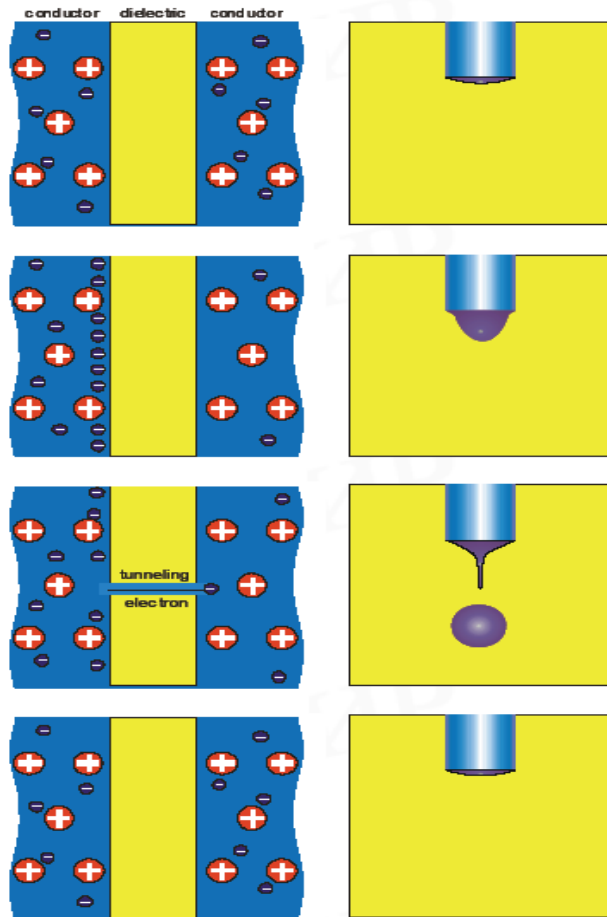


Аэрогели – это пористые твердотельные материалы, структура которых представляет жесткий каркас с большим объемом внутренних пор, который в десятки раз превышает объем, занятый каркасом, т.е. самим материалом. Известны аэрогели на основе Li_2O , B_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Fe_3O_4 , Cu_2O , ZrO_2 . Аэрогели состоят из фрактальных агрегатов, которые образуются в процессе фрактального роста отдельных частиц.

В процессе образования аэрогелей фракталы по мере разрастания соприкасаются друг с другом и срастаются, формируя жесткий каркас. С ростом фрактальных агрегатов в объеме аэрогеля возникают дополнительные пустоты и уменьшается объем, занятый веществом. Наноаэрогели содержат каркасные прослойки нанометровой толщины. Среди аэрогелей большее распространение получил наноаэрогель SiO_2 .

Одноелектронні прилади з одним Кулонівським бар'єром

Д. Аверін та К.Ліхарєв 1985-1986 р.



$$\Delta E = \frac{e^2}{2C} - eV$$

$$V_{\text{порог}} = \frac{e}{2C}$$

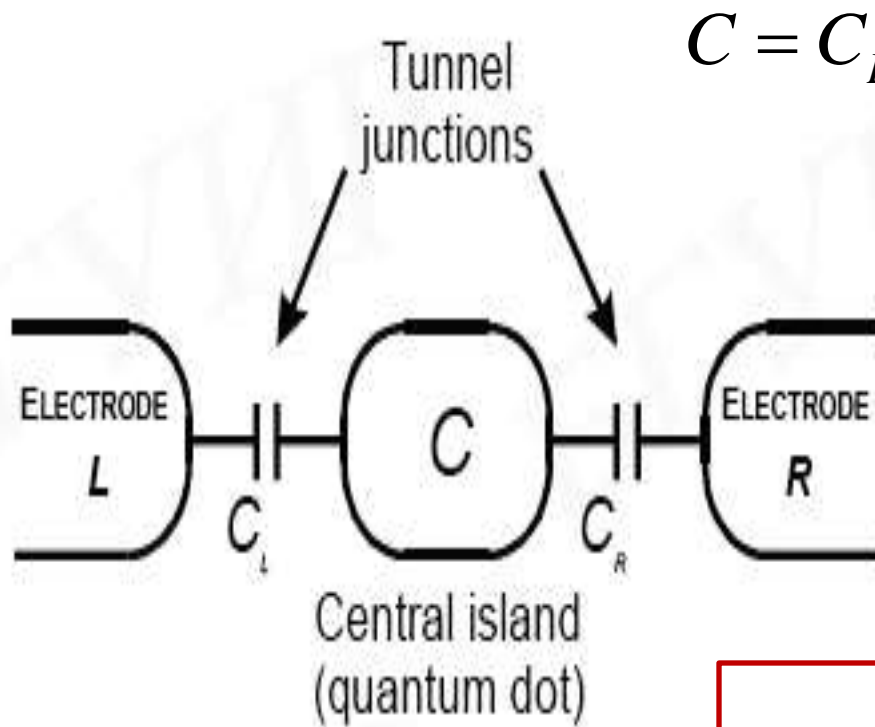
$$\Delta E \leq 0$$

$$C = C_e + C_t$$

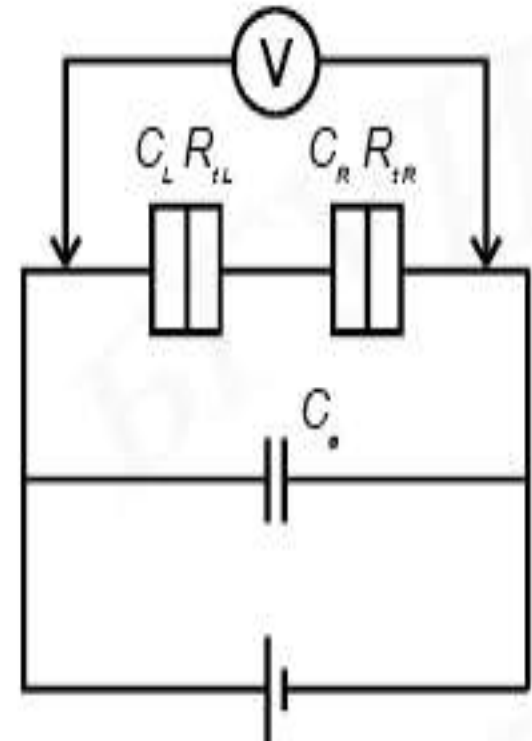
$$k_B T \ll e^2 / 2C$$

$$T = 4K$$

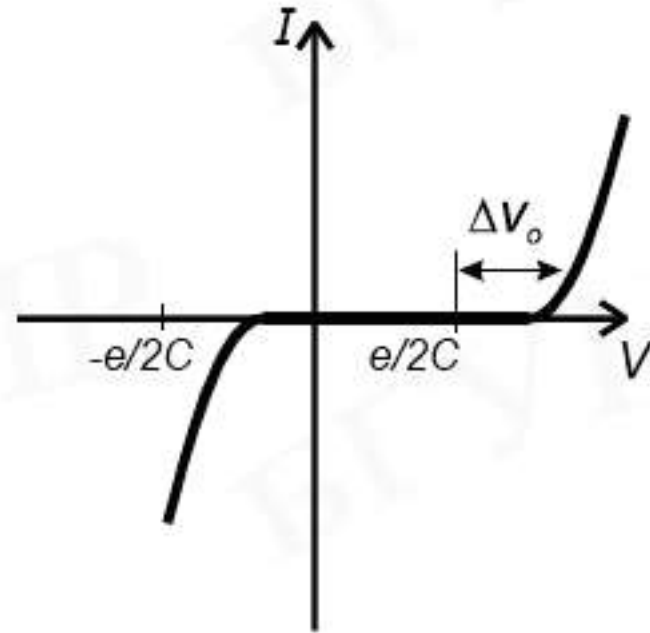
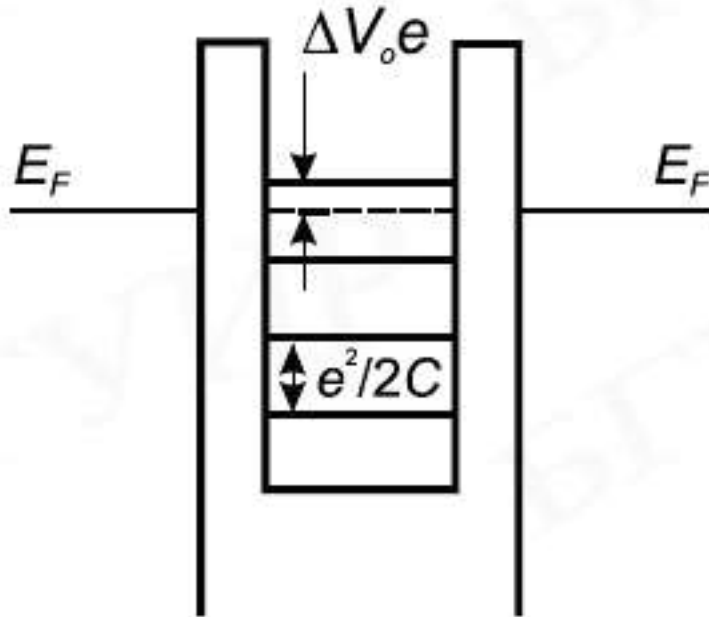
Одноелектронні прилади з двома Кулонівськими бар'єрами



$$f = \frac{I}{e}$$



Зонна діаграма та ВАХ приладу з двома Кулонівськими бар'єрами



$$\Delta\mu = \mu_I - \mu_L = \mu_I - \mu_R = e\Delta V_0$$

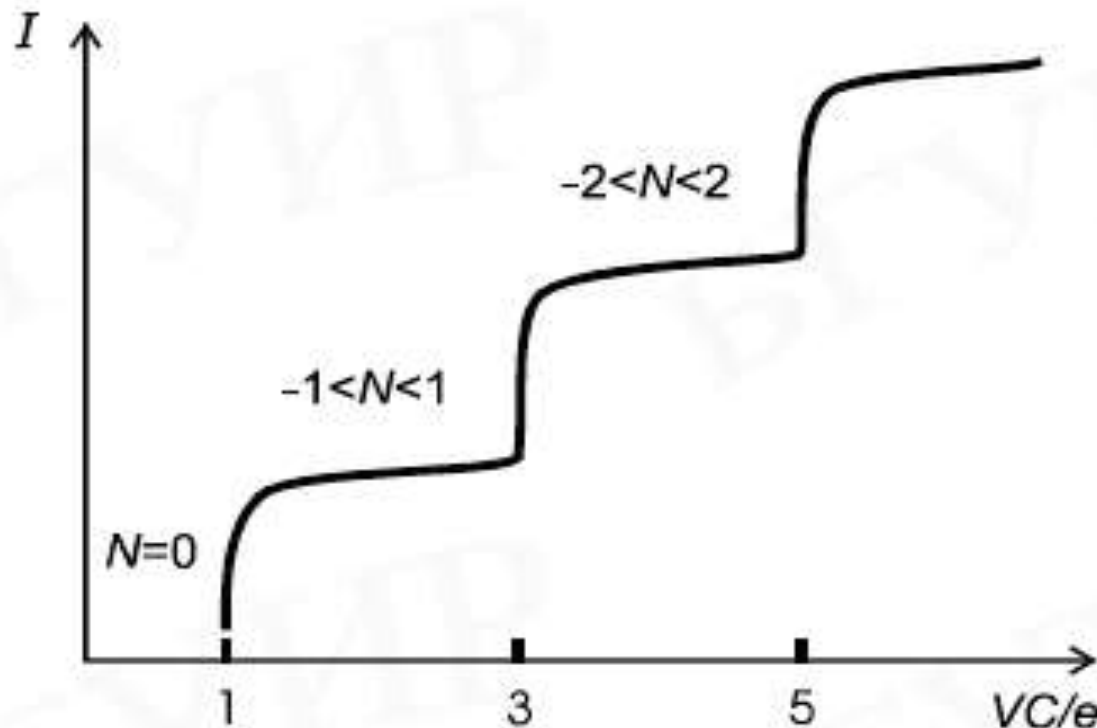
$$\Delta E = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{e}{C} + \Delta V_0 \right)^2 C - \Delta V_0^2 C \right]$$

$$\Delta V_0 < e / 2C$$

$$C \approx C_R \gg C_L$$

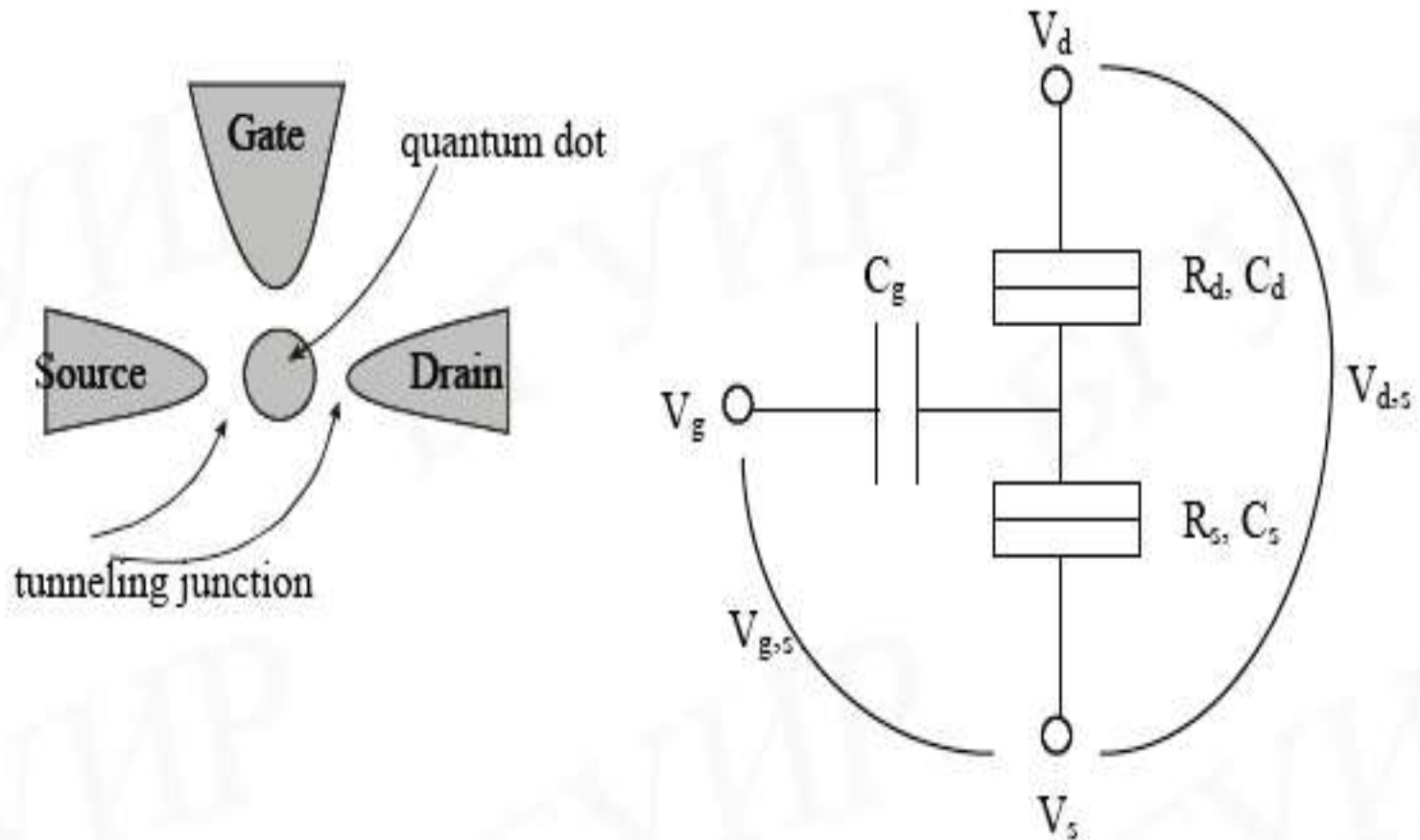
$$V \geq C(e / 2C + \Delta V_0) / C_R$$

ВАХ приладу з двома різними показниками прозорості бар'єрів



Кулонівська драбинка

Одноэлектронный транзистор (single-electron transistor)



Характеристики одноэлектронного транзистора

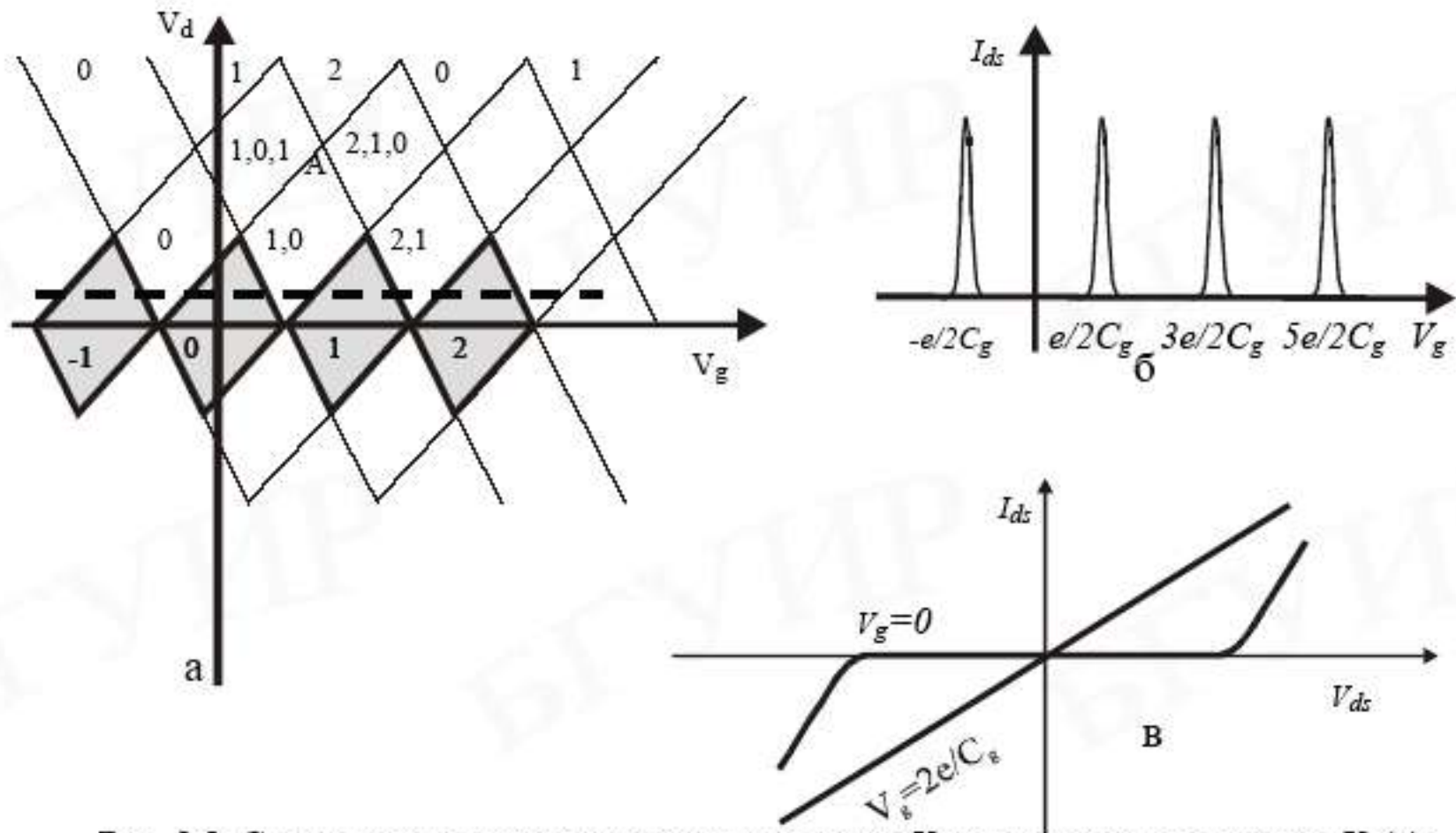


Рис. 2.8. Соотношение между напряжением стока V_d и напряжением затвора V_g (а); характеристики одноэлектронных транзисторов: зависимости I_{ds} от V_g (б) и I_{ds} от V_{ds} (в)

Одноэлектронна пастка (single-electron turnstile)

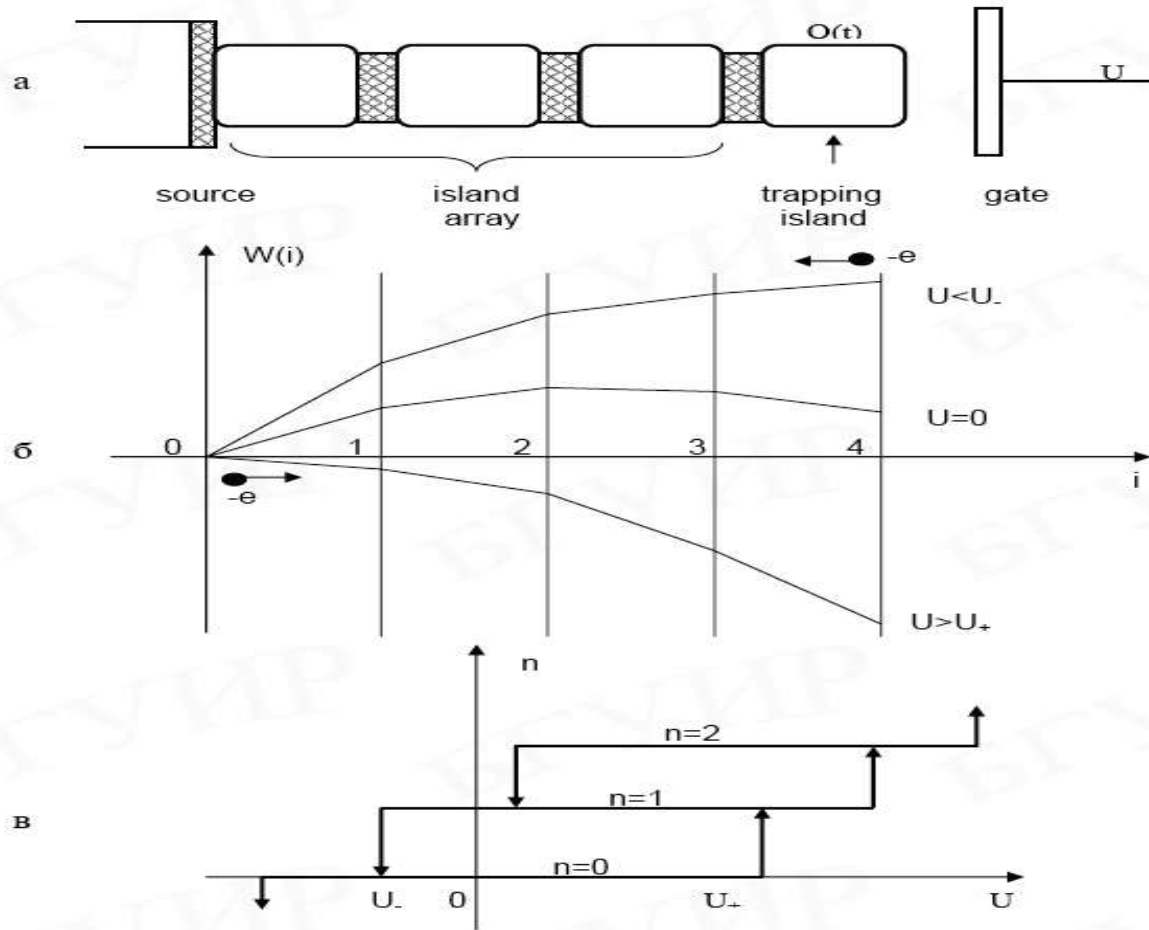
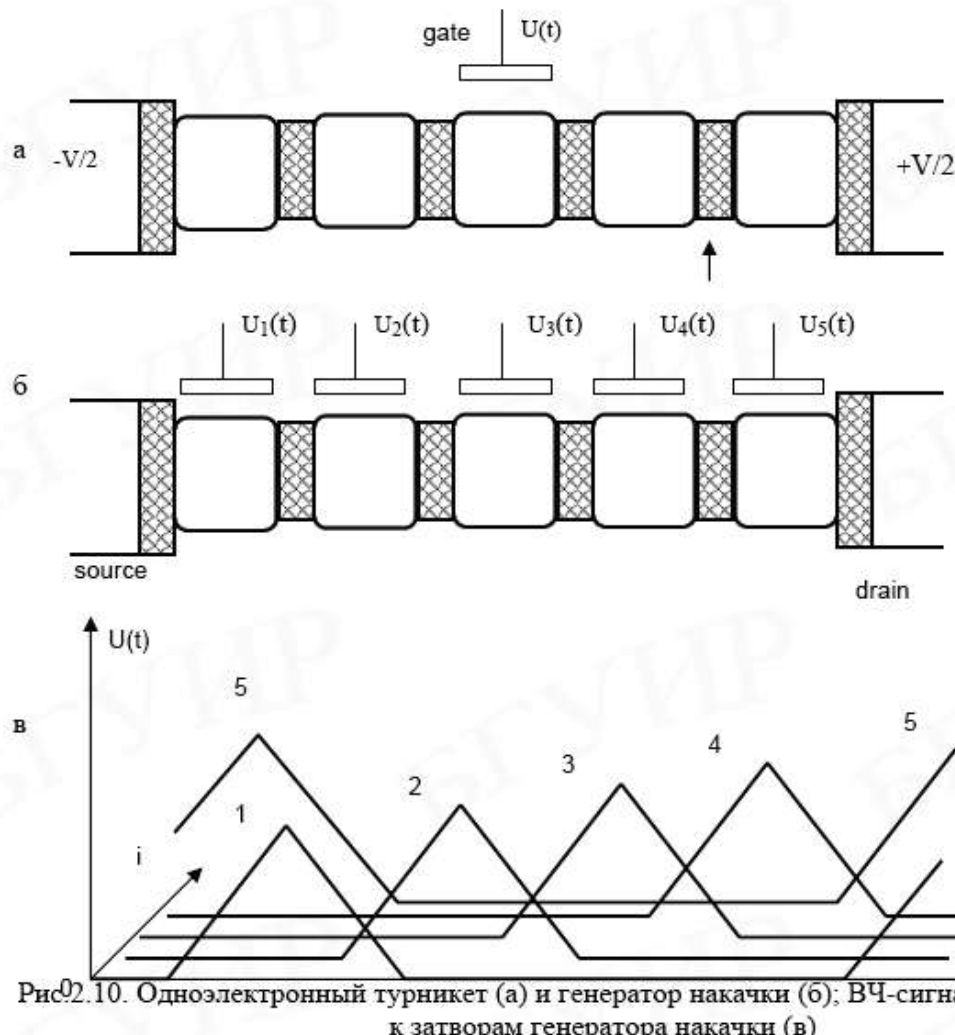
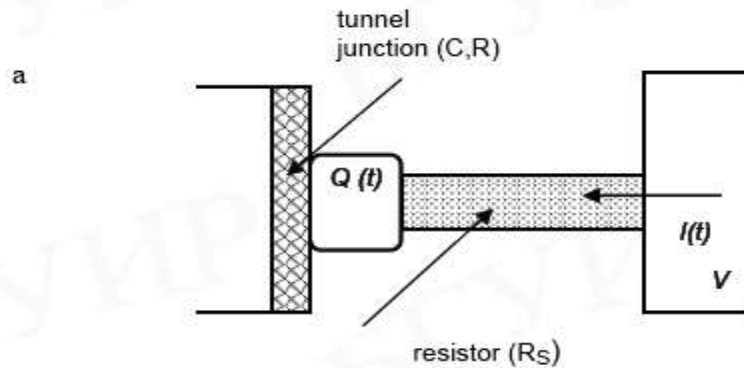


Рис.2.9. Схематическое изображение одноэлектронной ловушки (а), профили распределения энергии (б) и зарядовое состояние ловушки (в)

Одноэлектронный турникет, генератор накачки (single-electron pump)



Стандарти постійного струму (DC current standard)



$$I = enf$$

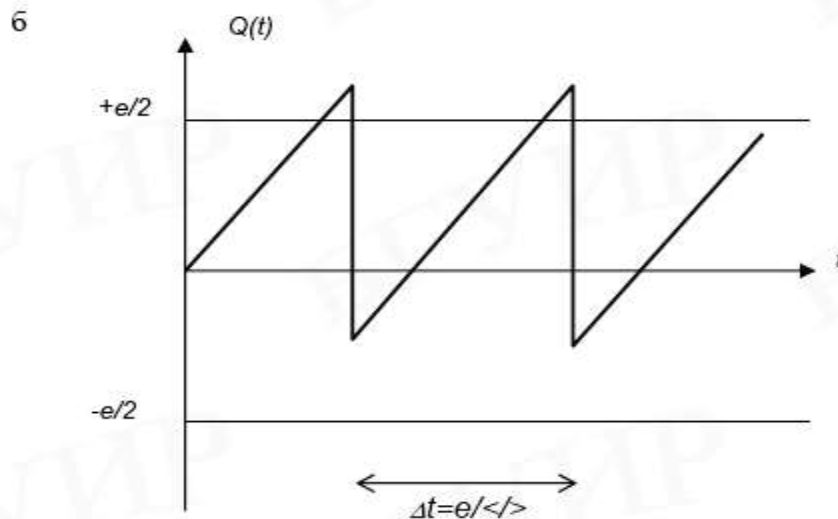


Рис.2.11. Структура простейшего одноэлектронного генератора (а) и его динамические свойства (б)

Одноэлектронна логіка (single-electron parametron)

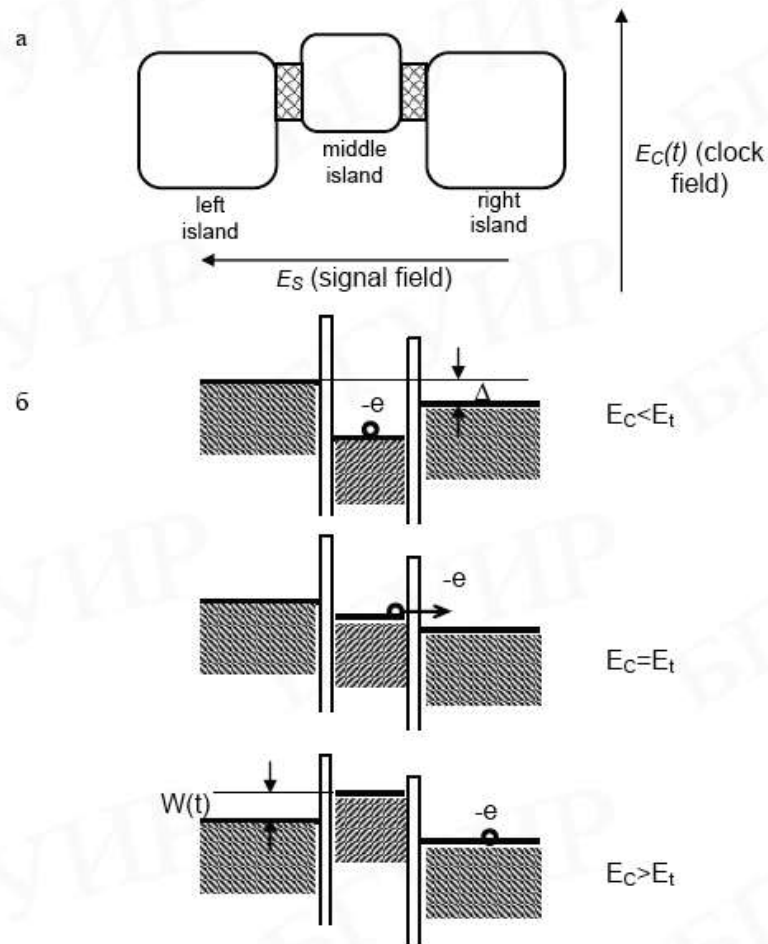


Рис.2.13. Принципиальная структура одноэлектронного параметрона (а) и потенциальные диаграммы электронных процессов в нем (б)

На сьогодні все!
ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!