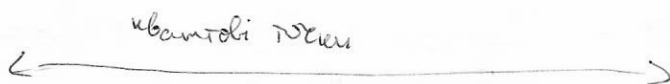


Встаю



напогана го
сметана стана; 2
книгу

- 1661 - Родерік Вольф критикує Арістотеля та вказує на потенційну важливість найменших частинок
- 1803 - Джон Давсон - основа сучасної атомістичної теорії
- 1857 - М. Фарадей, сирода підсилює колоїдне фарбування скла - це не перша сирода дослідження розмірних ефектів
- 1928 - запропонована принципова схема скануючого мікрокопю бачення довжину хвилі світла (перший пристрій, де використовувався цей принцип) - 1972, реальний мікрокопю - 1982, Пітер Помпе
- 1931 - Макс Кнопп та Ернст Руска, створили електронний мікрокопю
- 29.12.1959 - Річард Фейнман лекція "Там знизу, багато місця"
- ("There's Plenty of Room at the Bottom") - різдвяна вісіть в каліфорнійському технологічному інституті
- 1966 - андр. Рассел Інз припустив ідею про те, що можна використовувати в скануючій мікрокопії
- 1974 - Норіо Танігучі, термін "нанотехнологія" - створення та використання матеріалів, пристроїв, функціонування яких визначається наноструктурою, тобто спеменими від 1 до 100 нм
- 1975 - теоретично розглянута можливість створення квантових дотів
- 1982 - Терез Біллінг та Генріт Роберт - СТМ
- 1985 - андр. Р. Сполкі, Родерік Вольф, Гарольд Кроу - відкриття фулерену
- 1986 - АСТМ, що дозволяв візуалізувати атоми та матеріалів, а не тільки пробірки, та напішувати ними
- 1986 - нанотехнологія стала відомою широкому загалу завдяки книзі Ерика Дрекслера "Нашини створення", де була висунута концепція універсальних молекулярних роботоців, здатних збирати будь-що з мікроскопичних деталей.

- 1987 - Фунтон та Долан створили перший ермоелевський транзистор
- 1991 - Суніо підняв - синтезувати нанотрубки
Долопович - створення фотонних кристалів
- 1998 голландець Сиз Деккер створив транзистор на основі нанотрубок
- 2002 він же поєднав вуглецеву трубку з ДНК, створивши єдиний наноматеріал

Етапи розвитку електроніки

а) лампові

Томас А Edison

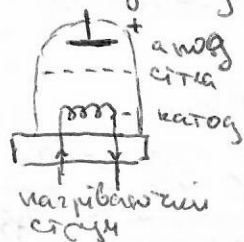
в основі - ермоелевська лампа, відкрита Едісоном (1889)

та досліджена Річардсоном (Дуан Уїлліамс) (нобелівський лауреат, 1928)

Томас А Edison

до 50-х рр. XX ст. виникли необхідності:

- підвищити надійність
- зменшити напруги, енергоспоживання
- зменшити розмірність
- збільшити швидкість



б) напівпровідникові

використовують властивості напівпровідникових структур, щоб пристрої, де існує границя розділу між властивостями напівпровідника з різними властивостями

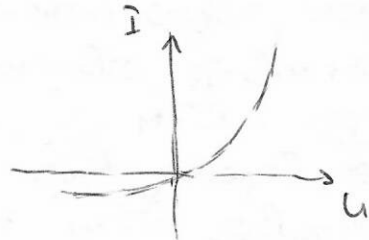
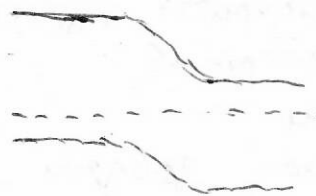
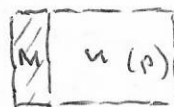
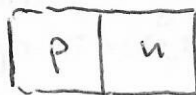
1874 - відкриття К.Ф. Брауном ефекту односторонньої провідності контакту метал-напівпровідник (Карл Фердинанд, німець)

1948 - Бардін, Браттейн - створення стабільного кристалічного триоду (Джон Бардін, Джон Браттейн, Джон Хатчер)

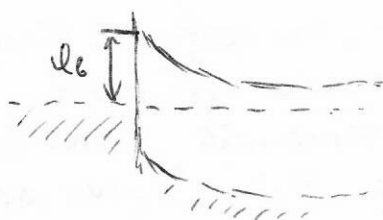
1951 - У. Шоклі розробка сучасної конструкції та теорії транзистора.

Джон Бардін

Бардін - єдиний вчений, що отримав дві нобелівські премії з фізики (одна - транзистор 1956, друга - напівпровідники 1981)

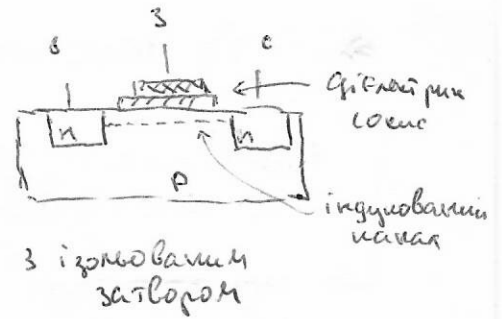
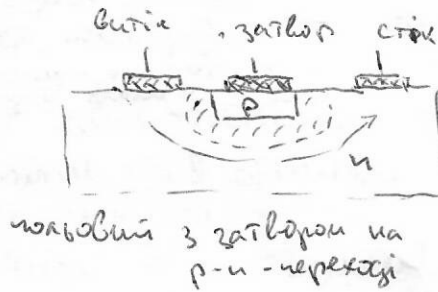
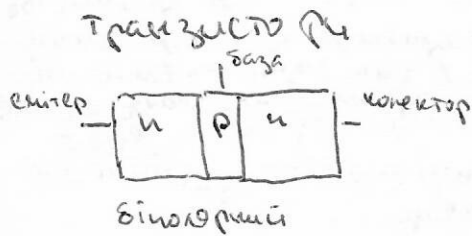


$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right]$$



$$I_s = q \left(\frac{L_n n_p}{\tau_n} + \frac{L_p p_n}{\tau_p} \right) S$$

$$I_s = S A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right)$$



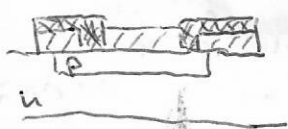
використання дискретних ч/п пристроїв:

- надійність ↑
- габарити, енергопоживання ↓
- "тиранія з'єднань" зберігається
- щільність мінімальна високою

⇒ кінець 1960 - третій етап

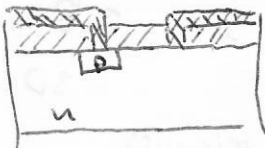
в) інтегральна напівпровідникова (мікроселектроніка)
основний елемент - інтегральна мікросхема (вузол електронної апаратури, у якому активні, пасивні та з'єднувальні елементи викотформовані у єдиному технологічному процесі і мають спільну оболонку)

Діод
структурна схема

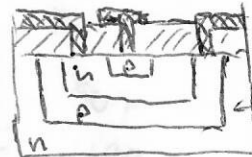
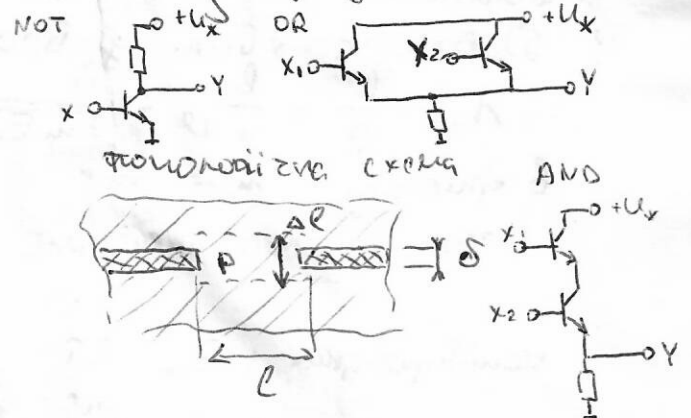


//// - діелектрик
XX - метал

Діод



транзистор



ізоляційний перехід для поєднання вихідів сусідніх елементів

параметр кодової технології -
технологічна (технологічна, процесна) норма,
характеризує мінімальний розмір елементів маски, що виступає - δ

довжина каналу $L \approx \frac{\delta}{1.5 \div 2}$

товщина підзатворного шару $d \approx \frac{\delta}{4.5} \left(\text{нм} \right)$

максимальна частота $f_{max} \sim \frac{v_{th}}{L}$ тис. Гц

до моменту
введення
технології
2019
CMOS транзистори
14 нм
протягом двох років
виробляються 7 нм
процесори

рік	1960	70	1993	1995	1999	2001	2005	2007	2009
δ	~100 мкм	10 мкм	0.5 мкм	0.35 мкм	0.18 мкм	130 нм	65 нм	45 нм	30 нм

3-й етап (супертехнології) - кількість транзисторів на чіпі досягає мільярдів
12 мільярдів

1-3 (оптимальный): об'єм простору, що займає транзисторна структура

в тити, зменшено вбачи через 12 місяців

в т.ч. зменшувати вартість через 12 місяців

1980-1990-тг - нэгдүгээр жил

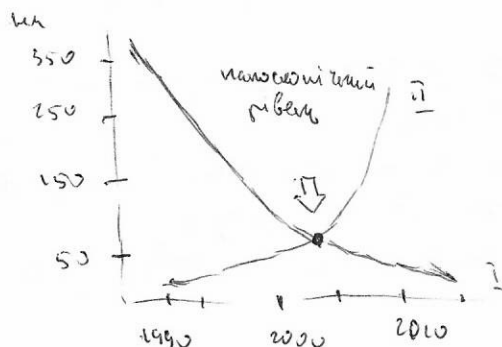
4/10/3 - ~ 36 mi April

Суттєві кониски спектральної аналізу
мають $10^3 \div 10^{12}$ елементів.

2-3. (неисчисленные) : baptist zavozov no voprosy i imb

содержит 93 з. и 1000 ил. (3 р.)

Восмин
Куганов
Мейераном
6 1992



	Year	Price (\$)
-50	1976	2300
-30	1982	2500
-10	1988	25000
-	1988	120 tur.
	Intel 486 1989	1,18 MM
	Intel Pentium 1995	3,1 MM
	Pentium IV 2000	42 MM
	Celeron 2003	410 MM
	i7 2010	777 MM

φαιδριον
- φαιδριον 2 κ. 1000 - φαιδριον (A)

Рент.им. 0,6 м - 82 млрд

процесори по 45 мк
технології - \$3 млрд

Фадрика 130и - 1,5 марз
27и - 6 марз.

Фундаментальні явища в низькорозмірних структурах

* нашеструтки - хоча в одній з розмірів в наш. діапазоні ($1 \text{ нм} \div 100 \text{ нм}$)
між розмірами — — — горілого м'яса ($10^4 \div 10^{10} \text{ нм}$)

поведінка рухомих іонів заряду визначає в напівпровідникових структурах визначається 3-ма групами фундаментальних явищ

квантовые измерения

- Випадок, коли рух носія хоча б в одному напрямі обмежується потенціальними бар'єрами \Rightarrow зніжиться спектр дозволених ст.в.
Наприклад, для довг. ширини d_x

$$\Delta \epsilon = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m} n^2 - \text{дисперсія}$$

$$E_{x,n} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^* d_x^2} n^2 \quad \text{— гуреперни рибри —}$$

$$F_{x1} = \frac{\epsilon^2 \pi^2}{2m^2 d_x^2} \quad (\text{and } \epsilon_{\text{max}} = \epsilon_{\text{min}} = 0)$$

+ мінімальна енергія не нульова
немає міні енергія виповняє

і з сивірюченням невизначеності

$$\Delta p, \Delta x \approx \frac{h}{2} \quad ; \quad \Delta x = d,$$

$$\Delta p, \Delta x \geq \frac{h}{2}$$

$$\Delta x = dx$$

~~$$\Rightarrow \rho_+ \geq \frac{t_1}{2d_r}$$~~

$$\Rightarrow \text{minimizing energy} \quad \Delta E = \frac{(\Delta p)^2}{2m^*} = \frac{\hbar^2}{8m^* d_x^2}$$

Загалом вираз для дозволених рівнів залежить від потенційного
рельєфу ґрунту. Змк. = дов. дани

квантовые одне термины ψ наз. quantum confinement

Для створення двох підходів:

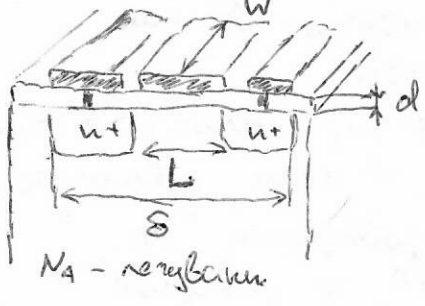
кометричний - формування об'єктів з певн розмірами

спектральний - крування розмірами донасії з подієм
за допомогою Е.П.

C-1 роду

Зможовості неможливо виміряти

Селекція



Залежність родотих параметрів від розміру

d - товщина окису, L - довжина каналу

V_x - напруга живлення

V_n - порогова напруга (для утворення каналу)

Раніше вже зазначали про технологічну норму (δ). Ще в 70-х рр. ХХ ст. було

показано, що зменшення розмірів покращує як функціональні, так і економічні + -и пристроїв \Rightarrow масштабно мініатюризація (селекція) - зменшення геометричних розмірів зі збережен. деяких певних інваріантів напруженості. Таким інваріантом може бути електричне поле в транзисторі (при цьому V_{ox} не міняється)

Коефіцієнт δ селекції - δ ($\delta > 1$) на практиці $\delta \approx 5$ до 10 разів

розміри $\left\{ \begin{array}{l} \delta \rightarrow \delta / \delta \\ L \rightarrow L / \delta \\ d \rightarrow d / \delta \end{array} \right.$ $V_x \rightarrow V_x / \delta$ $N_A \rightarrow N_A \cdot \delta$ (щоб зменшити товщину перехідних шарів) $C_g \rightarrow C_g / \delta$

напруж $S \rightarrow S / \delta^2$

щільність інтеграції $N_{int} \rightarrow N_{int} \cdot \delta^2$

максимальна швидкість

$$t_{min} \approx 2 \frac{C_{tot} \cdot V_x}{I_{max}} - \text{час перемикання}$$

C_{tot} - повна ємність транзистора

$$C_{tot} = C_g + C_{par}$$

I_{max} - макс. струм транзистора

$$I_{max} = \frac{C_g (V_x - V_n)}{t_f}$$

ємність р-н перехо-
дів струм та виток
та ємність
з'єднання

де $C_g (V_x - V_n)$ - заряд в каналі від з'єднання, t_f - час проходження носія через канал, $t_f = \frac{L}{v_{th}}$ (в сучасних транзисторах

реалізують режим насичення дрейфової швидкості, коли $v_{dr} \approx v_{th}$ - дрейдова $v_{dr} = \mu \cdot E$ співпадає з тепловим)

Записавши $C_{tot} = C_g (1 + \frac{C_{par}}{C_g}) = C_g (1 + \eta)$

$$t_{min} = 2 \frac{C_g (1 + \eta) \cdot V_x \cdot L}{C_g (V_x - V_n) v_{th}} = 2 \frac{(1 + \eta) V_x L}{(V_x - V_{nор}) v_{th}}$$

$$f_{max} \sim \frac{1}{t_{min}} = \frac{(1 - V_{nор}/V_x) v_{th}}{2 (1 + \eta) L}$$

$$\Rightarrow f_{max} = f_{max} \cdot \delta$$

тобто для збільшення f_{max} потріб

- а) з $L \downarrow$
- б) $V_{nор} \downarrow$ (але це призводить до зрост. струмів "утічки")
- в) $\eta \downarrow$ (але C_{par} зменшувати важко, дов. дротів, габ. дротів)

для кремнієвих і GaAs мікропроцесорів мікросхем
 допустимі щільності потужностей, що розсіюються
 на одній площині, не перевищують 5 Вт/см².

C-3

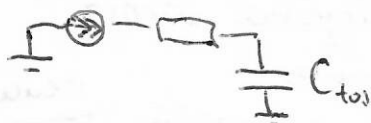
Використання біполярних тр-ів неможливе
 зрозуміло керування.

На практиці C_{tot} весь час зменшувати як $C_{tot} \rightarrow C_{tot,0}$
 неможливо (фін. розміри - контакти). Крім того V_x зменшується
 повільніше, ніж характерні розміри (якщо V_x/d). Одна
 з причин - при підвищенні напруги зростає
 максимальна швидкість тобто тобто для збільшення
 тактової частоти треба збільшувати макс. струми, а отже
 і енергоспоживання \Rightarrow

Тепловий потік від цукрасного мікропроцесора зростає \Rightarrow
 для нормальної роботи потрібно все більше тепловідведення
 (що, загалом, є одним з основних проблем селі мілімет.

Проблеми контролю якості швидкості та енергетичними витратами
 можна уникнути шляхом так званої асимптотичної
 логіки - організація обчислень, при яких дисипація енергії мин.

Динко на стелі окремо EPC замінити цукрасом струму

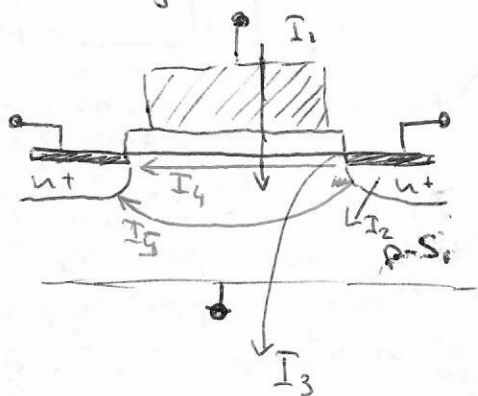


$$\text{то } E_{dis} = I^2 R t_0 = \left(\frac{Q}{t_0}\right)^2 \cdot R t_0 = C_{tot}^2 \cdot V_x^2 \cdot \frac{R}{t_0} =$$

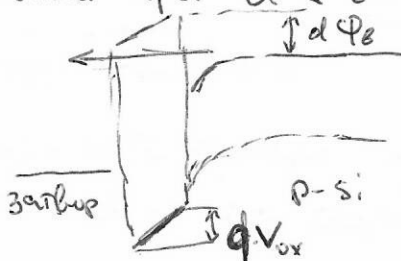
$$= \frac{R C_{tot}}{t_0} \cdot E_{tot} V_x^2$$

і при зменшенні $t_0 (>> R C_{tot})$ дисипація може зменшити

це один з важливих проблемових селі мілімет є струми "утічки"



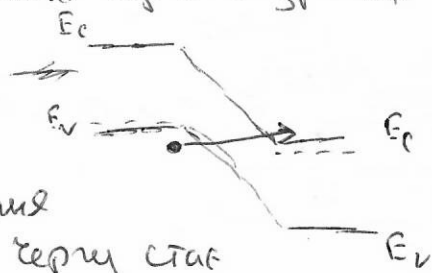
I_1 - тунельний струм з затвору
 суттєвий при $d < 2-3 \text{ нм}$



емпірично $I \sim \exp(-const \cdot d)$

так можна обійти як тунелювання через траншеєвидний бар'єр
 (або траншеї у сильному полі) - що зменшить тунелювання -
 дисипація в окисі є дозволена стаття - тунелювання суттєво зростає

I_2 - через p-n перехід сток. Загалом,
 при зворотньому зніженні через p-n
 перехід проходить струм, щоб його
 зменшити підвищують рівень легування



p-області (підкладки). а це, в свою чергу стає
 причиною того, що при зворотньому зніженні створюються
 умови для прямого тунелювання між зонами сток; підняття
 цей струм допоможе верхню межу легування підкладки