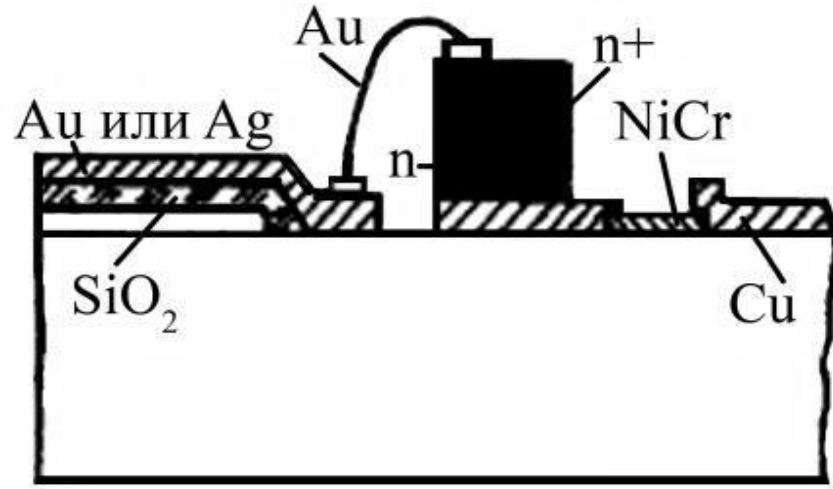


# МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

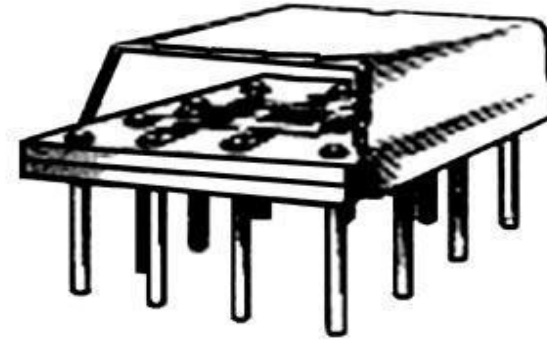
---

Лекція 4. Плівкові та гібридні інтегральні  
мікросхеми

## Конструкція плівкових та гібридних ІМС



а



б

Структура гібридної ІМС (а), загальний вигляд товстоплівкової ІМС (б)

**Основні переваги** товстоплівкових мікросхем - невеликі витрати при експлуатації обладнання та можливість виготовлення резисторів великих номіналів.

**Недоліком** мікросхем на товстих плівках є труднощі при одержанні конденсаторів великої ємності ( $0,2 \text{ мкмФ/см}^2$  і більше).

# Підкладки плівкових інтегральних мікросхем

## Матеріал підкладки повинен мати:

- високий питомий електричний опір ізоляції, низьку діелектричну проникливість та малий тангенс кута діелектричних втрат, високу електричну міцність для забезпечення якості електричної ізоляції елементів та компонентів як на постійному струмі, так і в широкому діапазоні частот;
- високу механічну міцність в малих товщинах;
- високий коефіцієнт теплопровідності для ефективної передачі теплоти від тепловиділяючих елементів та компонентів до корпусу (для ІМС) або елементам конструкції блока (для мікрозборок);
- високу хімічну інертність до осаджених матеріалів для зменшення нестабільності параметрів плівкових елементів, зумовленої фізико-хімічними процесами на границі плівка - підкладка;
- високу фізичну та хімічну стійкість до високої температури в процесі нанесення тонких плівок, термообробки при формуванні товстих плівок та зборки ІМС;
- стійкість до хімічних реактивів при електрохімічних та хімічних методах обробки та формування плівкових елементів;
- мінімальне газовиділення у вакуумі з метою уникнення забруднення плівок, які наносяться;
- здатність до хорошої механічної обробки;
- (поліруванню поверхні, різки).

## Підкладки плівкових інтегральних мікросхем

**Підкладка** - це заготовка для нанесення елементів гібридних та плівкових ІМС, міжелементних або міжкомпонентних з'єднань, а також контактних площадок.

**Скло.** Боросилікатні та алюмосилікатні сорти скла. Шляхом листового прокату одержують досить гладку поверхню без полірування.

Недолік підкладок із скла - мала теплопровідність, що не дозволяє застосовувати їх при підвищеному нагріві. При інтенсивному нагріві використовують скло «Пирекс», кварц та кварцове скло.

**Кераміка** на основі окисі алюмінію, кераміка «Поликор» та берилієва кераміка.

Перевага - висока теплопровідність.

Недолік - значну шорсткість поверхні (декілька тисяч ангстрем) Зниження шорсткості досягається глазуруванням поверхні кераміки тонким шаром спеціального скла або тонким шаром окисі танталу. При цьому висока теплопровідність керамічної основи поєднується з гладкою поверхнею скляної глазури.

## Підкладки плівкових інтегральних мікросхем

**Ситал** - склокерамічний матеріал, який одержують шляхом термообробки (кристалізації) скла. Його можна пресувати, витягувати, прокатувати та відливати центробіжним способом.

Видержує в повітряному середовищі різкі перепади температури від -60 до +700°C.

Має високий електричний опір, який зменшується з підвищенням температури.

По електричній міцності не поступається вакуумній кераміці, а по механічній міцності в два-три рази перевищує скло.

Має високу хімічну стійкість до кислот, не пористий, дає незначну усадку, газонепроникний і має малу газовіддачу при високих температурах.

**Фотоситал**- склокристалічний матеріал, який одержують шляхом кристалізації світлочутливого скла. Складається з окислу кремнію (75%), окислу літію (11,5%), окислу алюмінію (10%) та окислу калію (3,5%) з невеликими добавками азотнокислого срібла та двоокису церію.

Стійкий до кислот, має високу механічну та термічну стійкість, його теплопровідність в декілька разів більша, ніж у ситалу.

## Конструктивно-технологічні особливості і робочі характеристики плівкових елементів ГІМС

У мікроелектроніці на основі тонких металевих плівок виконують наступні конструктивні елементи:

- плівкові резистори;
- електроди і струмопроводи (електроди плівкових конденсаторів, струмопроводи спіральних індуктивностей, монтажні провідники, контактні площадки, затвори МДН - транзисторів);
- допоміжні елементи (підшари струмопровідних плівок, масок і ін.).
- **Основні вимоги до плівок:**
- висока питома провідність;
- висока адгезія з поверхнею підкладки або з плівкою яка лежить нижче;
- малий коефіцієнт теплового розширення.

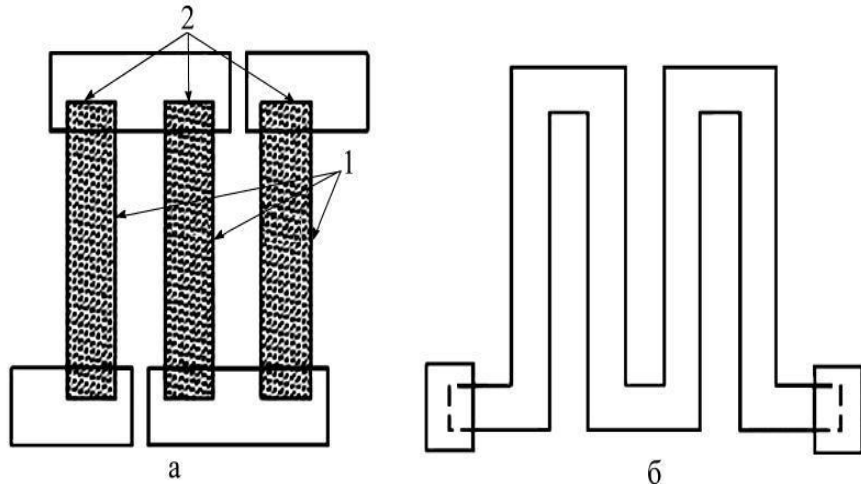
Товщина металевих плівок змінюється в межах 2000 – 10000 Å. Мінімальна ширина провідників обмежується розрізнявальною здатністю процесів фотолітографії і складає 4 - 20 мкм.

# Конструктивно-технологічні особливості і робочі характеристики плівкових елементів ГІМС

Електрофізичні параметри плівкових матеріалів

Матеріал плівки	$\rho \cdot 10^8, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$b \cdot 10^3, \text{ K}^{-1}$
Al	2,8	4,2
Au	2,4	3,8
Ag	1,6	4,0
Cu	1,7	4,3
Ni	7,3	6,5
Cd	10,0	4,0
Ni-Cr	100,0	1,7
Pd	10,7	3,8
In	9,0	4,7

# Плівкові резистори



Види резисторів мікросхем

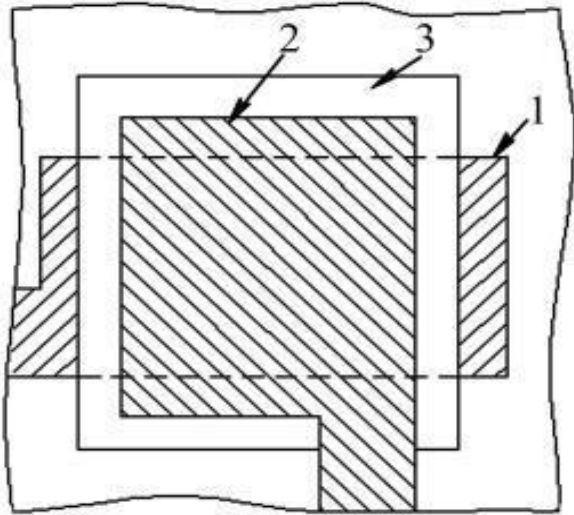
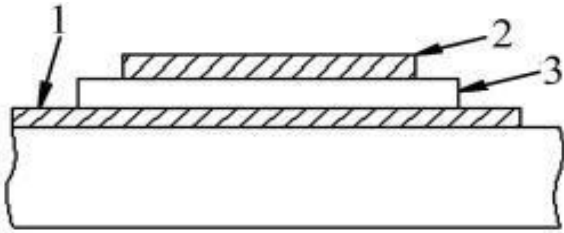
$$R = \rho \frac{l}{db} = \left( \frac{\rho}{d} \right) \left( \frac{l}{b} \right) = R' k_{\phi}$$

$$R = R_0 k_{\phi} + 2R_k$$

Матеріал резистора	Матеріал контактних площадок	R, Ом/	$\beta \times 10^4$ град <sup>-1</sup>
Хром	Cu	500 <sup>□</sup>	0,6
Ніхром	Cu	300	1,0
Тантал ТВЧ	Al з підшаром V (Ni-Cr)	100	-2,0
Сплав РС-3001	Au з підшаром Cr (Ni-Cr)	1000-2000	-0,2
Полісиліцій p-типу	Алюміній	50 - 250	+0,5.-25
Полісиліцій n <sup>+</sup> -типу	Алюміній	2 - 5	+1,0

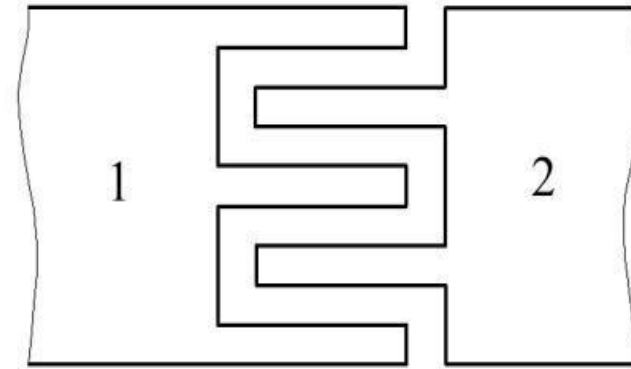


# Плівкові конденсатори



Конденсатори ІМС

$$C = C_0 S + C_p P = (\epsilon \epsilon_0 / d) S + C_p P, \quad C = C_0 S = (\epsilon \epsilon_0 / d) S.$$



Гребінчата структура конденсатора

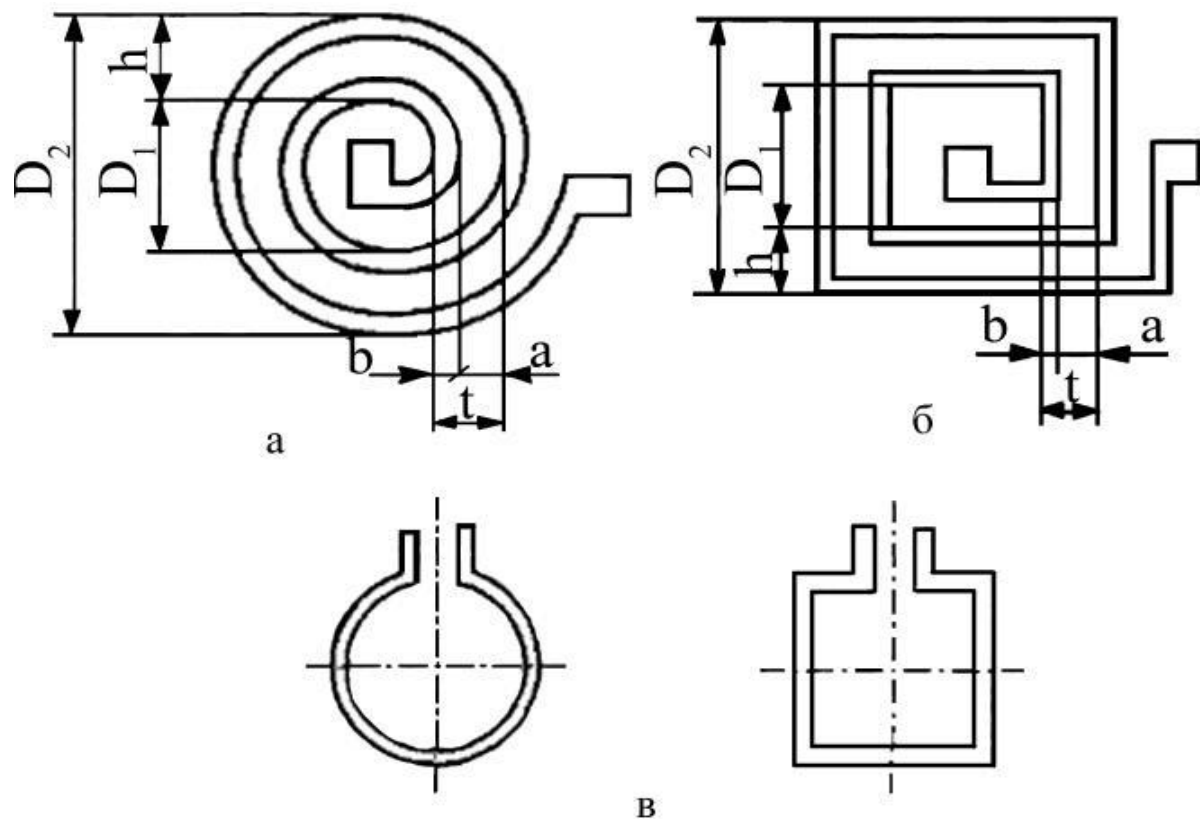
$$C = b_C \epsilon_t L,$$

$$d = \frac{U_k}{\zeta_{\max}}$$

## Плівкові конденсатори

Матеріал	$\varepsilon$	$\xi_{\max} 10^{-5},$ В/мм	$C_0,$ пФ/мм <sup>2</sup>	U, В
Монооксид Si	5 - 6	2,0 – 3,0	50	60
			100	30
Монооксид Ge	11 - 12	1,0	50	10
			100	7
			1500	5
Боросилікатне скло	4	3,0 – 4,0	25	24
			50	15
			100	10
Трисульфід Sb	14	2,0	50	10
			100	5
Пентаоксид Ta	23	2,0	600	15
			1000	10
Діоксид Si	4	1,5 - 10,0	50	
			100	

# Індуктивні елементи



Індуктивні елементи ІМС

$$L \approx 5 \frac{(D_2 + D_1)^2 W^2}{15D_2 - 7D_1}$$

$$L \approx 6 \frac{(D_2 + D_1)^2 W^2}{15D_2 - 7D_1}$$

$$Q = 2 \cdot 10^3 \frac{Wb(D_2 + D_1)\sqrt{f}}{15D_2 - 7D_1}$$

$$Q = 1,6 \cdot 10^3 \frac{Wb(D_2 + D_1)\sqrt{f}}{15D_2 - 7D_1}$$

$$L = 0.2l \left[ \ln \left( \frac{l}{b} + d \right) + 1.9 + 0.22 \frac{b+d}{l} \right]$$

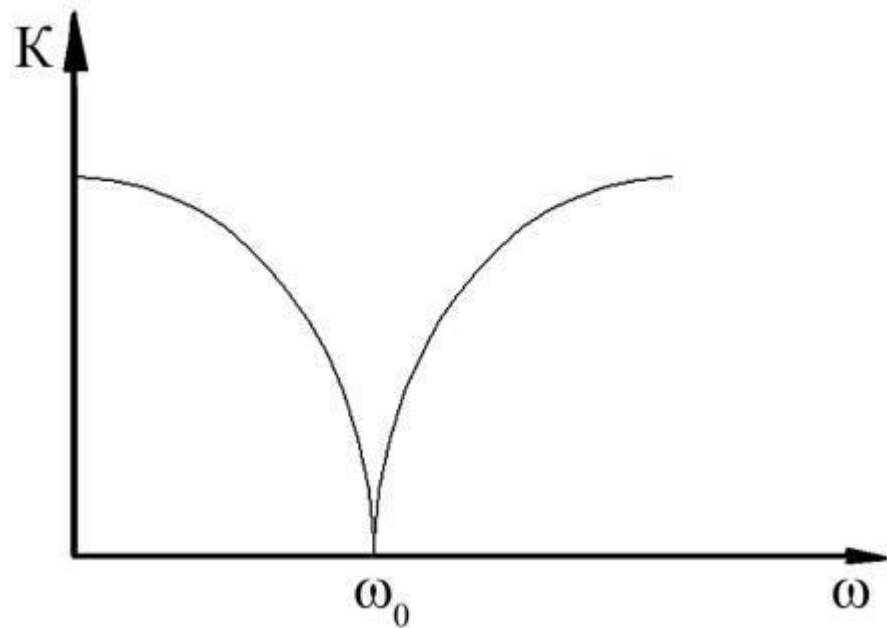
$$L = 0.2l \left[ \ln \left( \frac{2l}{b+d} \right) - 2,451 \right]$$

$$L = 0.2l \left[ \ln \left( \frac{2l}{b+d} \right) - 2,853 \right]$$

$$L = 0.2l \left[ \ln \left( \frac{l}{d} \right) + 0,386 \right]$$

## R - C структури

Застосовують два типи RC-структур:  $R-C-nR$  і  $C-R-nC$ . За виконанням структура  $R-C-nR$  подібна до плівкового конденсатора з високоомними обкладинками з опорами  $R$  і  $nR$  ( $n$  - сталий коефіцієнт). Структура  $C-R-nC$  складається з двох конденсаторів ємністю  $C$  і  $nC$ , які мають спільну обкладку з високоомного матеріалу з опором  $R$ . Якщо  $n = 0$ , то обидві структури перетворюються на просту конструкцію RC-типу.



Характеристика RC-нульового фільтру IMC

$$\tau = RC = R'C_0l^2$$

- $R'$  - питомий поверхневий опір резистивної смужки;
- $C_0$  - питома ємність конденсатора;
- $l$  - довжина резистивної смужки.

# Характеристики плівкових матеріалів провідників та контактних площадок

У гібридних інтегральних мікросхемах з'єднання між елементами виготовляють з металевих плівок, яким необхідно мати наступні властивості:

- високу електропровідність (низький питомий опір);
- достатньо високу адгезію до діелектричної підкладки;
- корозійну стійкість;
- забезпечувати можливість приєднання контактів з дроту.

Матеріал	Товщина, нм	Питомий опір, Ом·м	Спосіб приєднання зовнішніх виводів
Шар 1 Ni-Cr Шар 2 Cu Шар 3 Ni	10 - 30 400 - 1000 50 - 70	0,02 - 0,04	Зварювання непрямым імпульсним нагрівом
Шар 1 Ni-Cr Шар 2 Cu Шар 3 Ag	10- 30 400 - 1000 80 - 100	0,02 - 0,04	Пайка мікропаяльником; зварювання непрямым імпульсним нагрівом
Шар 1 Ni-Cr Шар 2 Cu Шар 3 Au	10 - 30 600 - 800 50 - 60	0,02 - 0,04	Пайка мікропаяльником; зварювання непрямым імпульсним нагрівом
Шар 1 Ni-Cr Шар 2 Al Шар 3 Ni	40- 50 250- 350 50 - 70	0,10 - 0,20	Зварювання подвійним електродом

# МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

---

Лекція 5. Великі інтегральні схеми

Збільшення числа елементів і зростання функціональної густини обумовили створення мікросхем з високим ступенем інтеграції - **великих інтегральних схем (ВІС)**.

Основними параметрами, що характеризують конструктивно-технологічні і схематичні особливості ВІС, є:

- ступінь інтеграції;
- функціональна складність;
- інтегральна густина;
- функціональна густина;
- інформаційна складність.

**Функціональна складність** - середнє число перетворень у мікросхемі, що припадають на одну змінну:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=p} B_i \cdot N_i}{n}$$

$\sum_{i=1}^{i=p} B_i$  - кількість однокаскадних логічних елементів в інтегральній мікросхемі;

$N_i$  - кількість розгалужень на виході кожного  $i$ -го каскаду;

$n$  - кількість змінних, поданих на входи інтегральної мікросхеми.

**Інтегральна густина** - кількість елементів, які припадають на одиницю площі ВІС:

$$\varpi = \frac{N}{S} = \frac{10^k}{S}$$

**Функціональна густина** - кількість перетворень з однією змінною, які припадають на одиницю площі ВІС:

$$\tau = \frac{F}{S}$$



**Інформаційна складність** - середня кількість елементів у ВІС, які припадають на перетворення однієї змінної:

$$H = \frac{N}{F} = \frac{10^k \cdot n}{\sum_{i=1}^{i=p} B_i \cdot N_i}$$

За видом інформації, яка оброблюється, ВІС можна класифікувати **на цифрові й аналогові**.

**Цифрові ВІС** використовують у пристроях обробки інформації, до яких відносяться напівпровідникові запам'ятовуючі пристрої, багаторозрядні регістри, лічильники, суматори .

Прикладами **аналогових ВІС** є перетворювачі напруга - код і код - напруга, блоки апаратури зв'язку (тракти високої і проміжної частот, формувачі сигналів, багатокаскадні схеми радіопристроїв і т.д.).

За ступенем застосованості в розробках апаратури розрізняють ВІС загального і спеціального призначення.

**Цифрові ВІС загального призначення:** напівпровідникові запам'ятовуючі пристрої, реєстри, дешифратори.

**Аналогові ВІС загального призначення** - це системи взаємного перетворення напруги в код, прецизійні операційні підсилювачі вищого класу, підсилювачі для високоякісного відтворення звуку та інші пристрої.

**Аналогові ВІС спеціального призначення:** підсилювальні тракти радіоприймальних і радіопередаючих пристроїв на фіксовані частоти.

**Цифрові ВІС спеціального призначення:** мікропроцесори комп'ютерів.

# МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

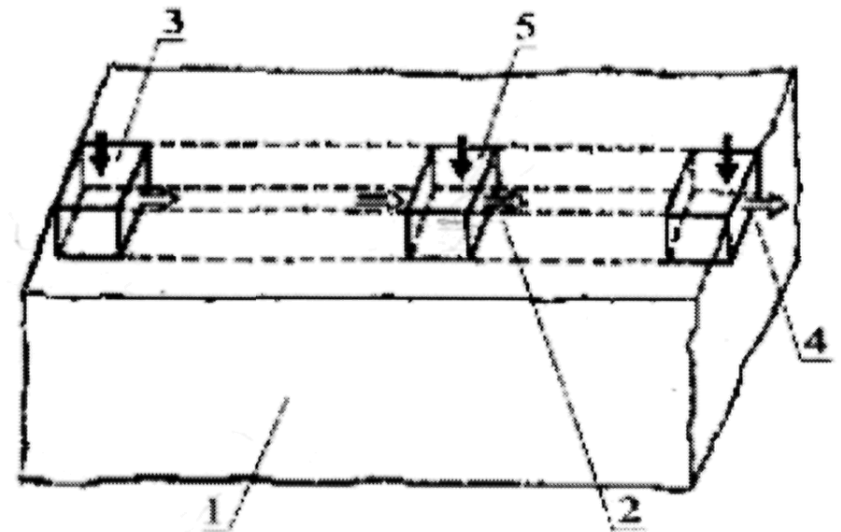
---

Лекція 6. Сучасні напрямки розвитку  
електроніки

**Функціональна мікроелектроніка** - це галузь електроніки, яка дозволяє реалізувати певну функцію апаратури без застосування стандартних базових елементів на основі фізичних явищ у твердих тілах.

**Динамічна неоднорідність** представляє собою локальний об'єм на поверхні або всередині середовища зі специфічними властивостями, який не має всередині себе статичних неоднорідностей та генерується не в процесі виготовлення функціонального пристрою, а в процесі експлуатації або під дією зовнішніх факторів.

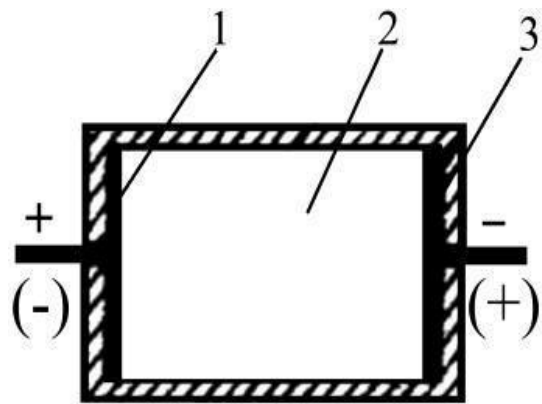
- 1- континуальне середовище;
- 2-динамічна неоднорідність;
- 3-генератор динамічних неоднорідностей;
- 4- детектор динамічних неоднорідностей;
- 5 – пристрій керування.



**Хемотроніка** (іоніка) - розділ електроніки, змістом якого є теорія і практика електрохімічних перетворювачів для нових типів керуючих, інформаційних, обчислювальних і вимірювальних пристроїв.

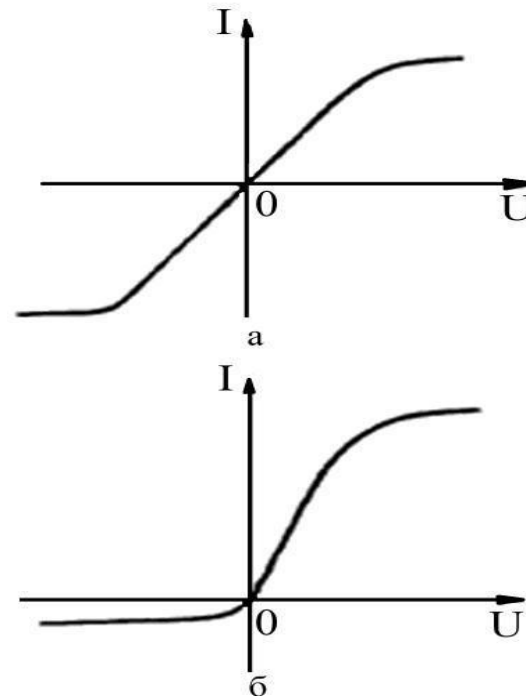
- **Дифузія** - це поширення іонів унаслідок різниці концентрацій.
- **Конвекція** - переміщення самого розчину за рахунок різниці густини.
- **Міграція** (аналог дрейфу носіїв заряду) - переміщення іонів під дією електричного поля або поля, створеного різницею потенціалів на електродах.

**Найпростіша електрохімічна комірка**



1,3 – електроди;

2- електроліт.



**ВАХ симетричної та несиметричної комірок.**

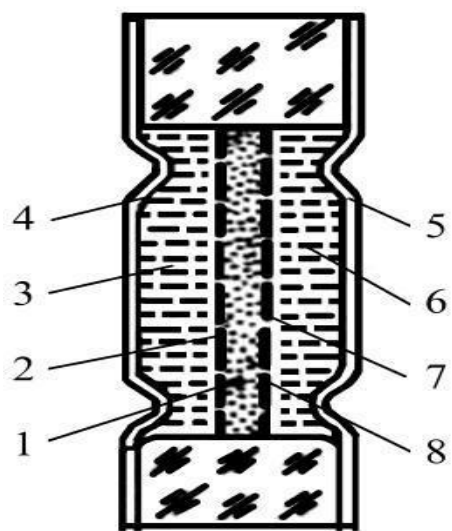


Схема будови  
електрокінетичної комірки

2, 8 - пориста перегородка;  
1, 7 – електроди у вигляді металевих сіток;  
3, 6 - камери, заповнені електролітом;  
4 і 5 - гнучкі мембрани.

**Магнітоелектроніка** - галузь електроніки, яка присвячена теорії і практиці створення пристроїв, що ґрунтуються на явищах електромагнетизму та магнітної індукції, таких, як намагнічування, перемагнічування, розмагнічування осердь імпульсним або безперервним струмом, виникнення ЕРС в провіднику, який рухається, під дією магнітного поля.

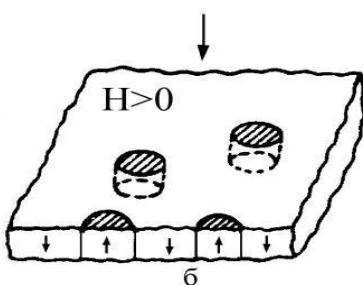
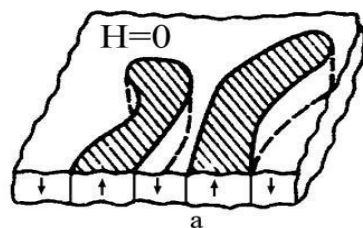
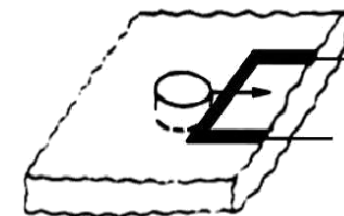
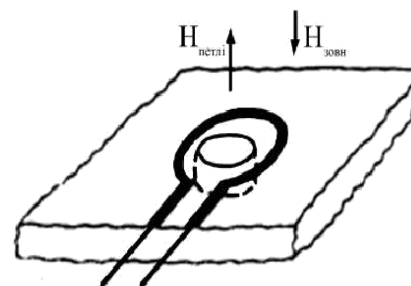
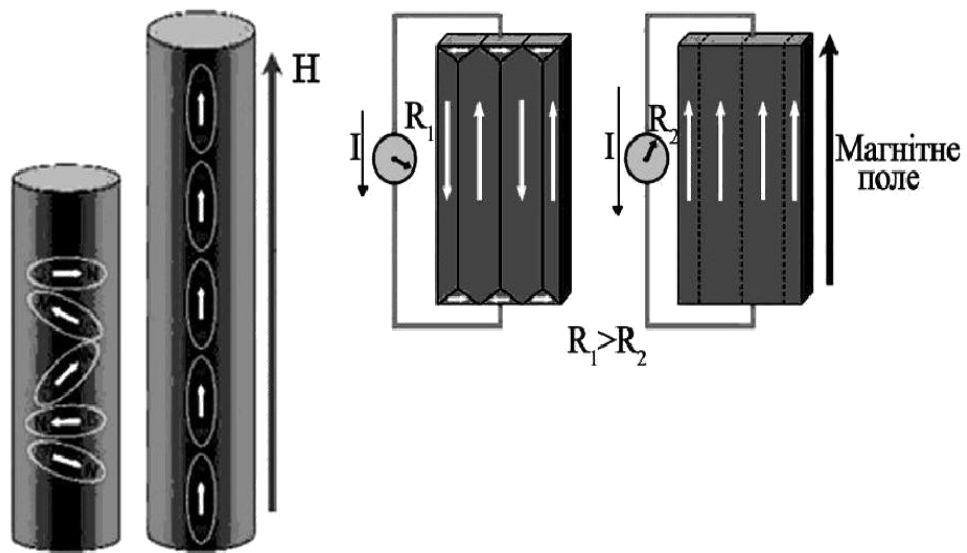


Схема утворення ЦМД: а - домени за відсутності магнітного поля, б - ЦМД, які утворилися під дією зовнішнього магнітного поля.

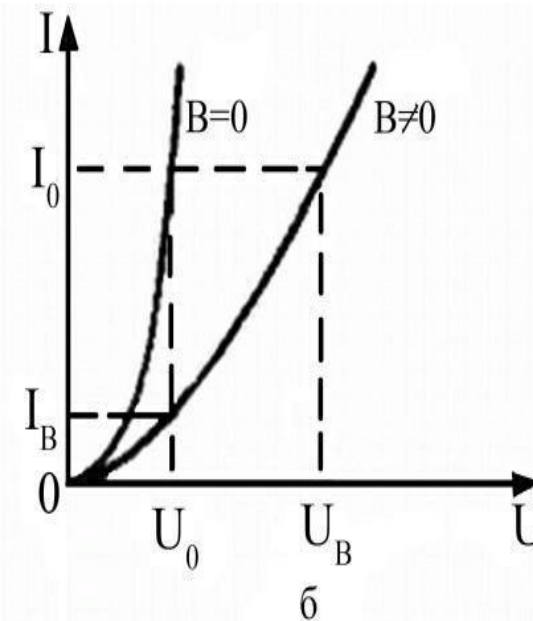
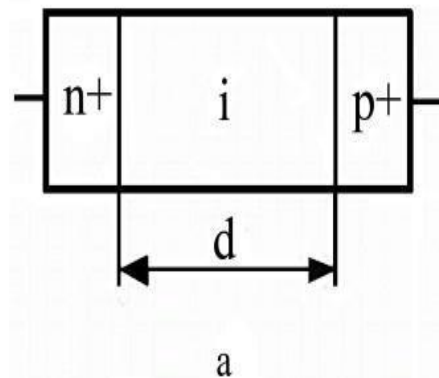


Генератор доменів      Магніторезистивна петля  
для зчитування інформації.



Схематичне пояснення магніторезистивного ефекту

**Магнітодіоди** - це напівпровідникові діоди з р-п – переходом, в яких вольт-амперна характеристика змінюється під дією магнітного поля.

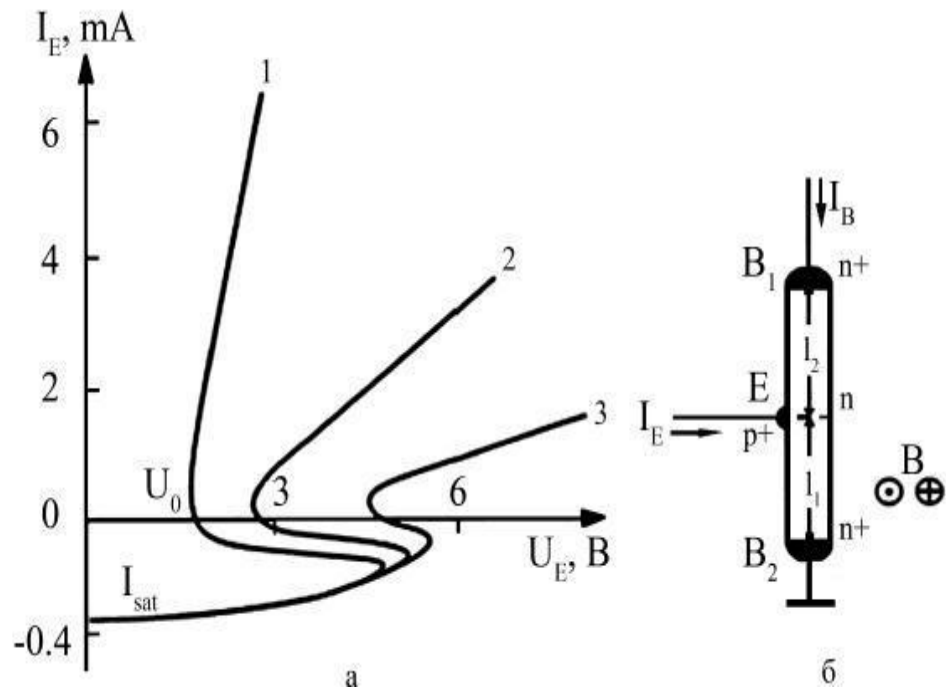


Конструкція (а) і вольт-амперна характеристика (б) магнітодіода.

**Магнітотранзистори** - це транзистори, в яких вихідний струм визначається магнітним потоком, що проходить через нього, а інші характеристики та параметри змінюються під впливом магнітного поля.

Магнітотранзистори класифікують на чотири типи: одноперехідні (ОПТ), одноколекторні (ОКТ), двоколекторні (ДМТ) та польові (ПМТ).

- 1. Одноперехідні** – магнітотранзистори, що діють на основі модуляції опору бази носіїв заряду, які інжектуються із емітера та мають S-подібну вхідну характеристику.



Вхідна характеристика ОПТ:

крива 1 –  $B=0$ ;

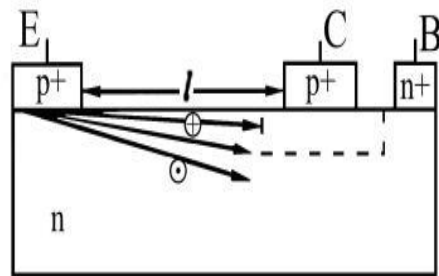
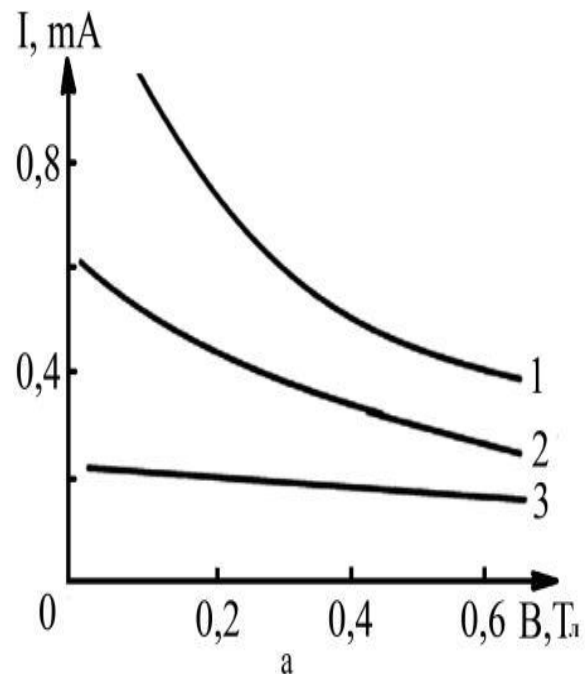
крива 2 –  $B = 0,3$  Тл;

крива 3 –  $B = 0,6$  Тл

$$\gamma_b = 2 \cdot 10^3 \text{ В/АТл.}$$



**2. Одноколекторні** – вертикальні біполярні транзистори (області емітера, бази та колектора розташовані один за одним в напрямку від поверхні в глибину напівпровідника), в яких під дією магнітного поля відбувається викривлення траєкторії носіїв заряду емітера, що приводить до збільшення ефективної довжини бази та відхиленню частини носіїв від колектора.



Вхідна характеристика (а) та схематичне зображення руху носіїв заряду (б) в одноколекторному магнітотранзисторі:

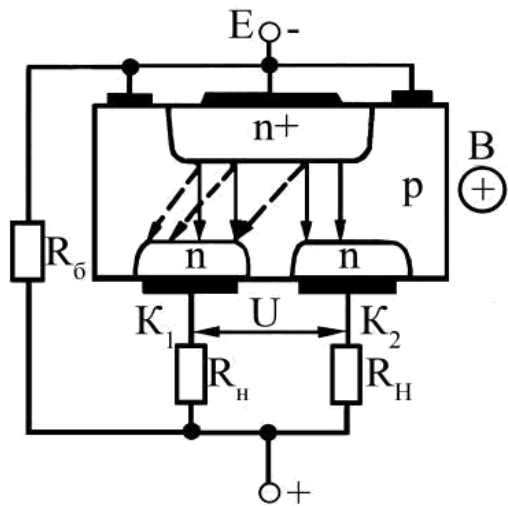
крива 1 – 25 В;

крива 2 – 20 В,

крива 3 – 15 В

$$\gamma = 2 \cdot 10^4 \text{ В/АТл.}$$

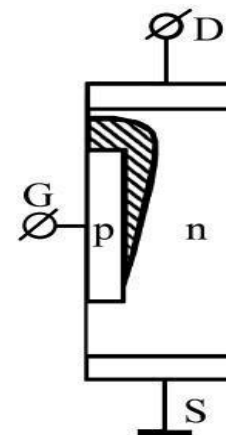
3. **Двохколекторні магнітотранзистори** – біполярні транзистори, в яких колектори  $K_1$  і  $K_2$  розміщуються симетрично відносно емітера. За відсутності магнітного поля струм емітера поділяють на дві рівні частини, які потрапляють на колектори.



Структура та схема ввімкнення ДКТ

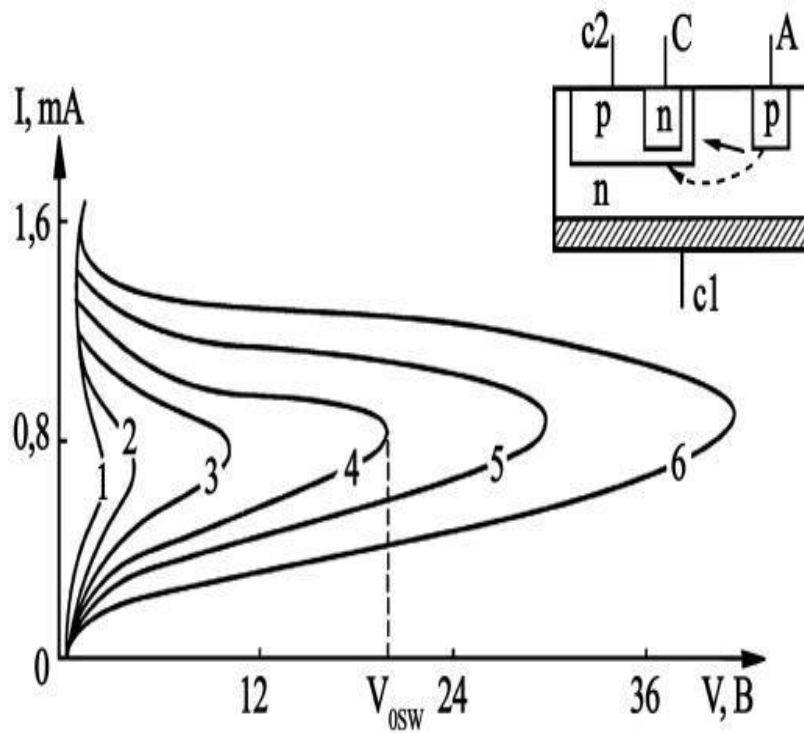
**Ефект Холла** – це гальвано-магнітний ефект, який полягає у тому, що при протіканні струму в напівпровіднику виникає поперечна різниця потенціалів, якщо на цей напівпровідник діє магнітне поле, вектор якого перпендикулярний до напрямку струму.

4. **Польові магнітотранзистори** – польові транзистори, в яких опір каналу (вбудованого або індукованого) змінюється під дією магнітного поля.



Структура ПМТ з р-n-переходом:  
D – сток, S – витік, G - джерело

**Магнітотиристор** – це напівпровідникові тиристори типу  $p-n-p-n$ , в яких напругу ввімкнення можна змінювати, впливаючи зовнішнім магнітним полем.

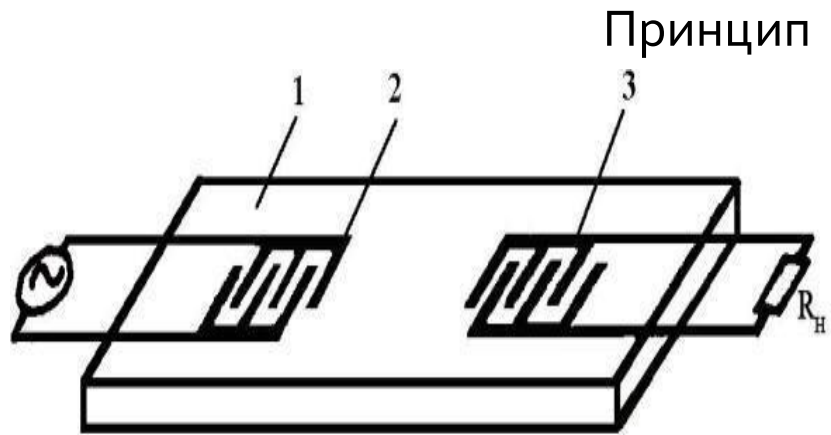


Емітер виконує роль аноду (А), керуючі і електроди (с1, с2)

ВАХ Si- магнітотиристора, відстань між р-областями 100 мкм:

- 1 –  $B = -1$  Тл;
- 2 –  $B = -0,8$  Тл;
- 3 –  $B = -0,4$  Тл;
- 4 –  $B = 0$ ;
- 5 –  $B = 0,4$  Тл;
- 6 –  $B = 0,8$  Тл

**Акустоелектроніка** - галузь електроніки, яка присвячена теорії і практиці створення пристроїв, заснованих на акустоелектронній взаємодії, які служать для перетворення та обробки сигналів.



Принцип будови акустоелектронного пристрою на поверхневих акустичних хвилях

Основними параметрами перетворювачів на поверхневих акустичних хвилях є: внесене загасання, вхідний та вихідний опір, частотна вибірковість, смуга частот, що пропускаються.

- Лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях звичайно вносять загасання 0,5 - 1,5 дБ.
- Верхня частота, на якій працюють такі лінії, досягає 2 ГГц.
- Відносна смуга пропущення від часток відсотка до 100%.
- Тривалість затримки складає одиниці - сотні мікросекунд.
- Затримка може бути фіксованою чи регульованою.
- Динамічний діапазон ліній затримки 80 - 120 дБ.

**Оптоелектроніка** - це галузь електроніки, яка присвячена теорії і практиці створення приладів та пристроїв, заснованих на перетворенні електричних сигналів в оптичні та навпаки.

**Оптичний напрям** базується на ефектах взаємодії твердого тіла з електромагнітним випромінюванням (голографія, фотохімія, електрооптика).

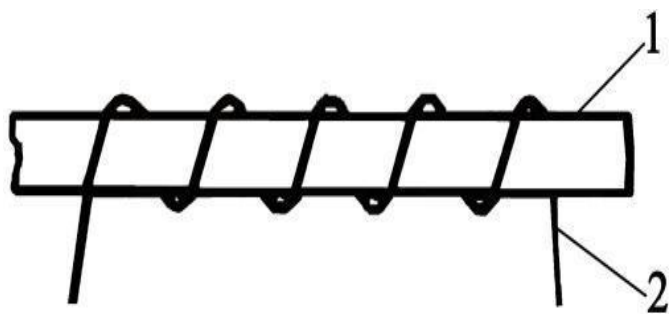
**Електронно-оптичний** використовує принцип фотоелектричного перетворення при внутрішньому фотоелекті з одного боку, та фотолюмінесценції - з іншого (волоконні лінії зв'язку).

**Головна проблема оптоелектроніки** - суттєве зменшення паразитних зв'язків між елементами однієї мікросхеми та між мікросхемами.

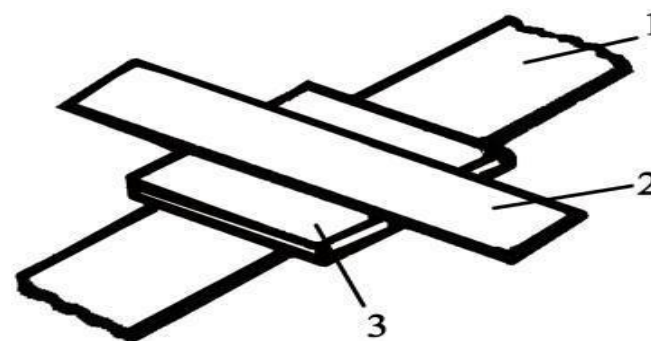
**Найважливішими матеріалами оптоелектроніки** є такі речовини, як: GaAs, BaF<sub>2</sub>, CdTe (для виготовлення підкладок); структури GaAlAs/GaAs/GaAlAs (електрооптичні модулятори); SiO<sub>2</sub> (матеріал для ізоляції), Si, CdHgTe, PbSnSe (фотодіоди, фототранзистори).

У деяких ІМС використовуються Ni, Cr, та Ag.

**Кріогенна електроніка (кріотроніка)** - галузь електроніки, що займається питаннями застосування електронних явищ, що відбуваються в різних речовинах при низьких температурах.



Дротовий кріотрон



Плівковий кріотрон

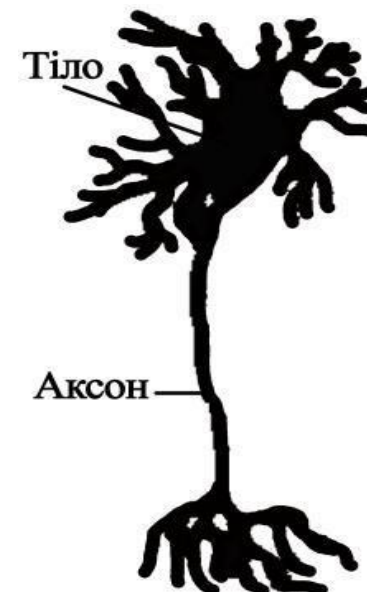


Схема нейрона

**Біоелектроніка (біоніка)** - це один з напрямів біоніки, який вирішує задачі електроніки на основі аналізу структури та життєдіяльності живих організмів.