

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ІМС

В напівпровідникових інтегральних мікросхемах переважно використовуються транзисторні елементи.

Залежно від типу інтегральних елементів розрізняють

- біполярні ІМС,
- уніполярні МДН ІМС.

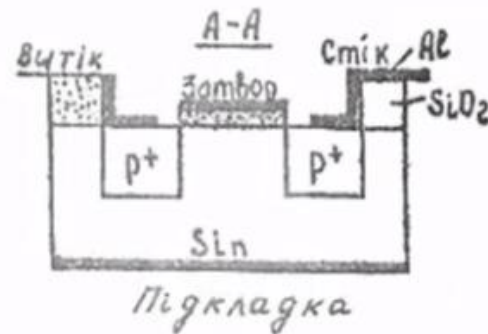
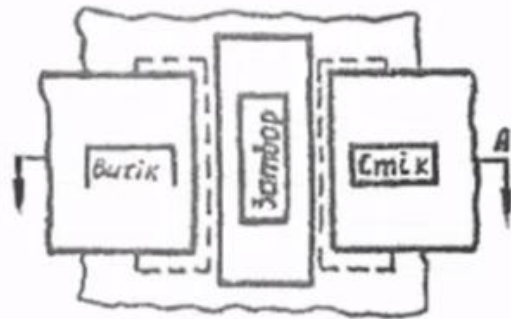
Структура МДН-транзисторів.

1. МДН-транзистор з індукованим каналом
2. МДН-транзистор з вбудованим каналом

За типом носіїв, що рухаються в каналі МДН-транзисторів розрізняють

1. МДН-тр-р з р-каналом, виконані на n- підкладці.
2. МДН-тр-р з n-каналом, виконані на p- підкладці.

МДН-транзистор з індукованим каналом



МДН-транзистор має чотири електроди:

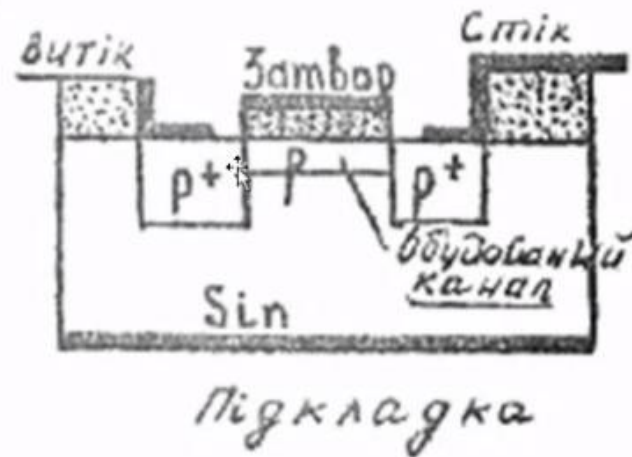
- стік
- витік
- затвор
- підкладка

Стік і витік являє собою високолегований шар (p^+) протилежної провідності щодо матеріалу підкладки.

Затвор відділений від н/п тонким діелектричним шаром (наприклад, SiO_2) ($\sim 0,1$ мкм). Електричне поле діелектрика, яке прикладається до затвора модулює провідність поверхневого шару н/п (каналу), розташованого між стоком і витоком.

"-" напруга для індукування р каналу (п-підкладка) і "+" для п-каналу, щоб досягти інверсії типу провідності для збагачення н/п під затвором.

МДН-транзистор з вбудованим каналом



Електричним полем затвора збагачуючи або збіднюючи носіями заряду вбудований канал, відбувається зміна струму в каналі.

До електродів стоку і витоку прикладається така різниця потенціалу, що викликає дрейф носіїв заряду від витоку до стоку.

Зауваження

Для виготовлення дискретних МДН-транзисторів найбільш поширеною є планарна з р-каналом.

Для н/п ІМС стандартним є МДН-транзистор з n-каналом

(тому що рухливість їх в поверхневому шарі майже в два рази вище рухливості дірок)



спрощена
послідовність операцій в технології виготовлення
МДП - транзистора



В якості **вихідної підкладки** для напівпровідникових структур використовується

➤ **монокристалічних кремній.**

пластини після різання злитка

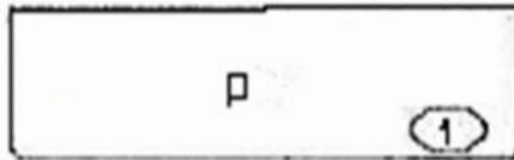
- шліфують

- полірують для отримання необхідних розміру, товщини і класу чистоти поверхні

- остаточне доведення пластин здійснюють хімічною обробкою.



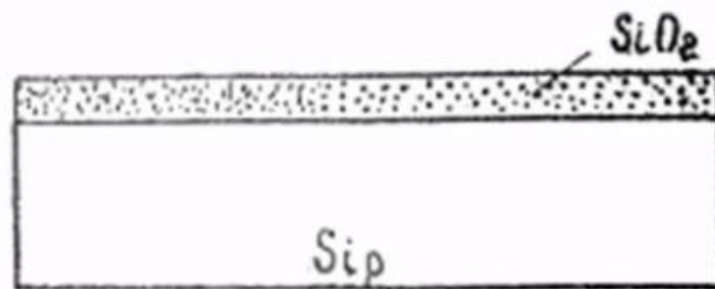
Очистка пластин



Вихідна пластина р-типа.

- Робоча поверхня підкладки повинна відповідати 14 класу точності, а неробоча — 12 класу
- Орієнтація поверхні підкладки вибирається паралельно до кристалографічної площини (111) з допустимим відхиленням $\pm 2^\circ$.
- ❖ Пошарове очищення видаляє забруднення.
- ❖ Пошарове очищення проводиться між багатьма етапами ТП.
- ❖ **наприклад** рідинна очистка.
 - триває близько години
 - пластини занурюються в різні хімічні розчини
 - промиваються в деіонізованій воді.

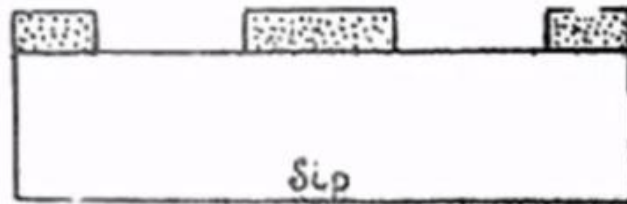
Перше термічне окислення поверхні Si пластини



Вирощування оксидного шару

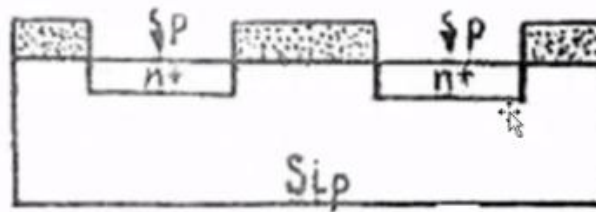
- при пропусканні кисню над поверхнею пластини при температурі 1000 - 1200 °C.
- товщина шару оксиду становить 0,5 ... 1 мкм.
- контроль наявності пор і товщини оксиду.

перша фотолітографія



створення вікон в оксиді
для формування області стоку і витоку

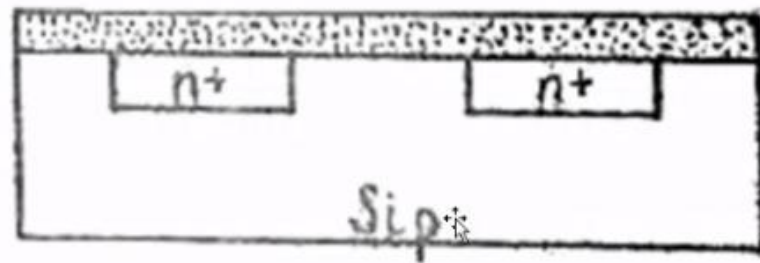
Перша дифузія



Дифузанти – фосфор.

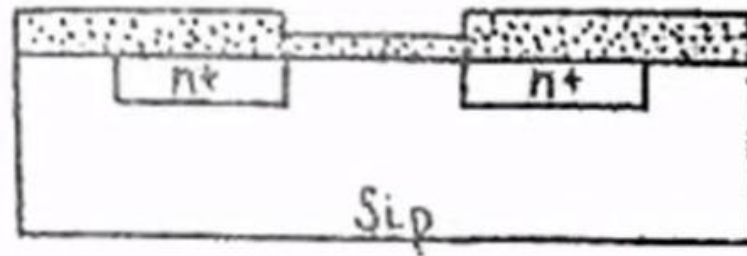
формування областей стоку і витоку

Друге термічне окислення



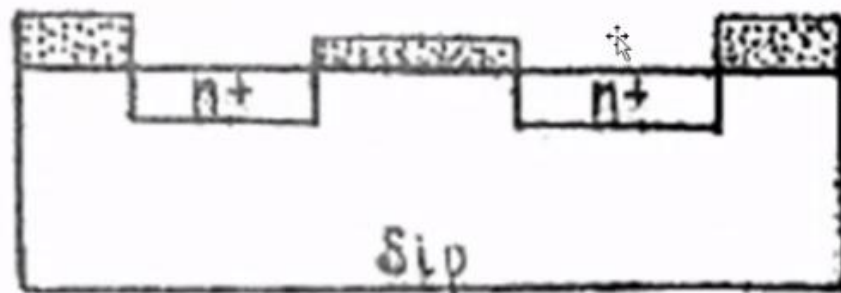
вирощування шару оксиду на всій поверхні пластини.

Друга фотолітографія



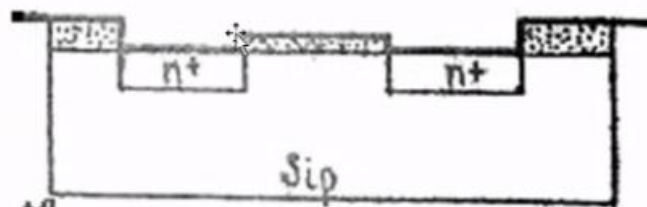
- ❖ друга фотолітографія
- ❖ травлення шару оксиду під затвором

Третя фотолітографія



- ❖ третя фотолітографія
- ❖ травлення оксиду під контакти стоку і витоку

Металізація



напилення алюмінію на пластину

особливості

❖ Для осадження алюмінію зазвичай застосовують **методи**:

- резистивне
- електронно-променеве випаровування,
- магнетронне розпилення.

I

❖ Вибір методу напилення набуває значення у зв'язку з ростом застосування **подвійних або потрійних сплавів** типу Al / Cu / Si.

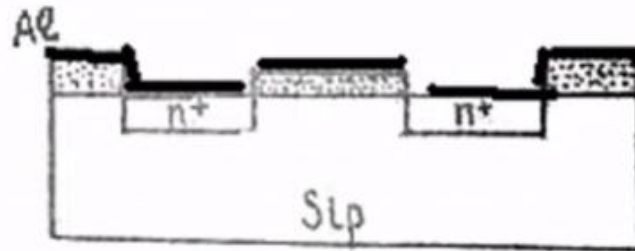
❖ Товщина шару алюмінію, що наноситься від **0,1 до 1,0 мкм**.

❖ Для контакту між ними застосовується дифузія мікросплаву. Хоча евтектична температура сплаву кремнію з алюмінієм дорівнює 577 °С, в точках контакту відбувається локальне плавлення і при значно нижчих температурах. Тому бажано не користуватися температурою вище необхідної через великій швидкості дифузії алюмінію в кремній.

Тому **дифузію мікросплаву** проводять в дифузійних печах при температурі **450 – 500 °С** за час від **5 до 60 хвилин**.

четверта фотолітографія –

отримання конфігурації контактів стоку і витоку, затвора.

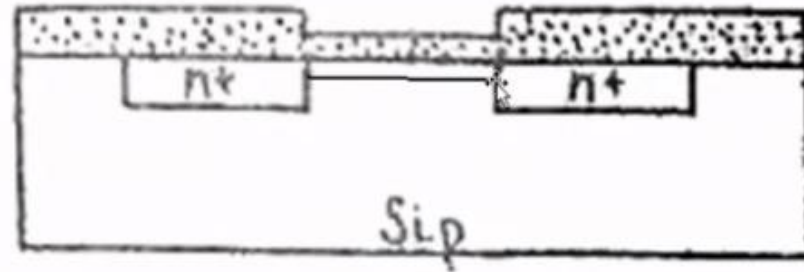


- ❖ Травлення алюмінію через фоторезистивну маску, зняття фоторезисту.
- ❖ Термічна **обробка для впалювання алюмінію** в кремній.
- ❖ **Металізація і фотолітографія для створення міжз'єднань.**



спрощена
послідовність операцій в технології виготовлення
МДН-транзистора з вбудованим каналом



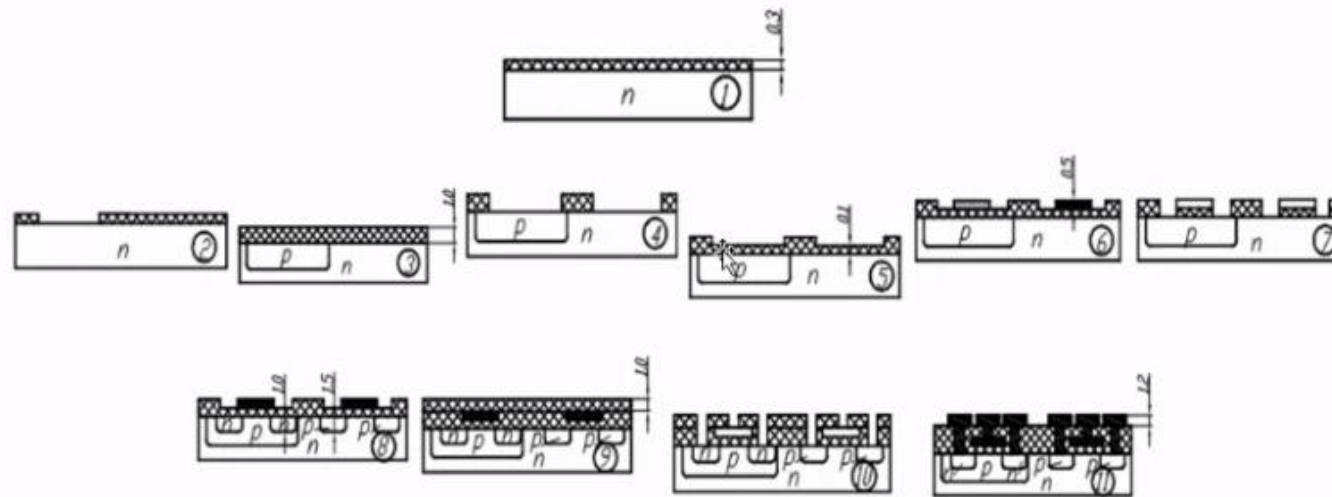


Для отримання МДН-транзистора з вбудованим n-каналом після другої фотолітографії методом іонного легування через тонкий шар SiO_2 в область між стоком і витокom вводяться іони фосфору.

Зауваження

іонне впровадження застосовується при створенні емітерів і баз у випадках виготовлення біполярних приладів з неглибокою структурою, розташованою в тонких епітаксійних шарах.

Послідовність технологічних операцій при виробництві КМДН-ІМС



1 – окислення кремнієвої пластини р-типу; 2 – фотолітографія для відкриття вікон під дифузію домішки р-типу і формування областей розміщення п-канальних транзисторів; 3 – іонне впровадження бору в розкриті області, окислення і одночасна розгонка бору; 4 – фотолітографія для відкриття вікон під області п-канальних транзисторів, дифузійних шин і охоронних кілець; 5 – формування підзатворного оксиду кремнію; 6 – нанесення плівки полікристалічного кремнію і фотолітографія по полікристалічному кремнії для формування кремнієвих затворів і шин; 7 – фотолітографія для відкриття вікон під легування областей стоків, витоків р-канальних транзисторів, р-шин і р-охоронних кілець і проведення загонки бору іонним легуванням, потім фотолітографія для відкриття вікон під легування областей стоків, витоків п-канальних транзисторів, п-шин і п-охоронних кілець і проведення загонки фосфору іонним легуванням; 8 – окислення і одночасна розгонка домішок в іонно-легованих шарах; 9 – нанесення фосфоросілікатного скла (міжшарова ізоляція); 10 – відкриття вікон під контакти методом фотолітографії; 11 – напilenня алюмінію і фотолітографія для формування металевих провідних доріжок, перемичок на затвори і контактних майданчиків.

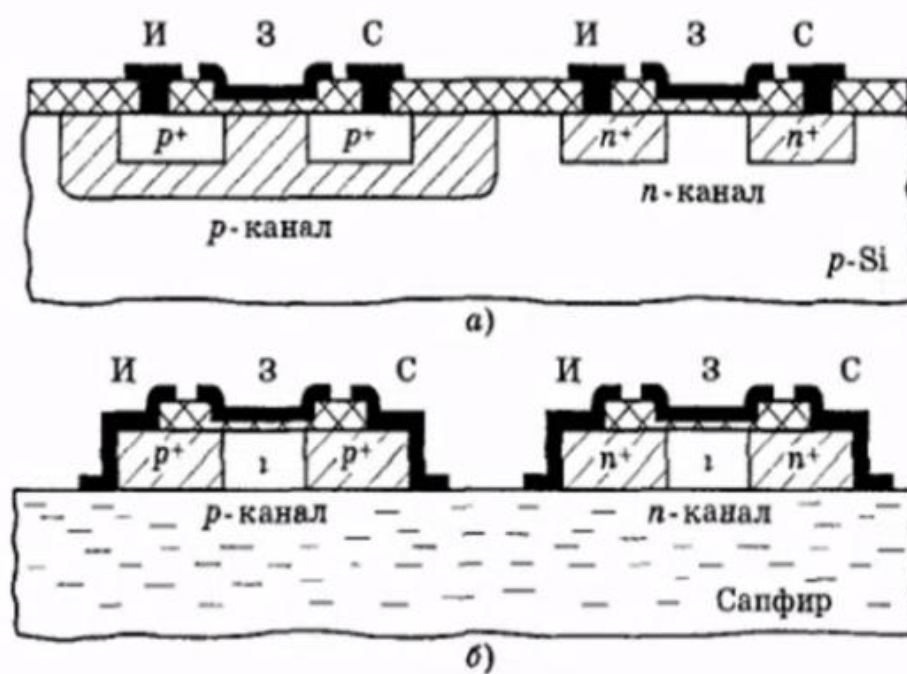
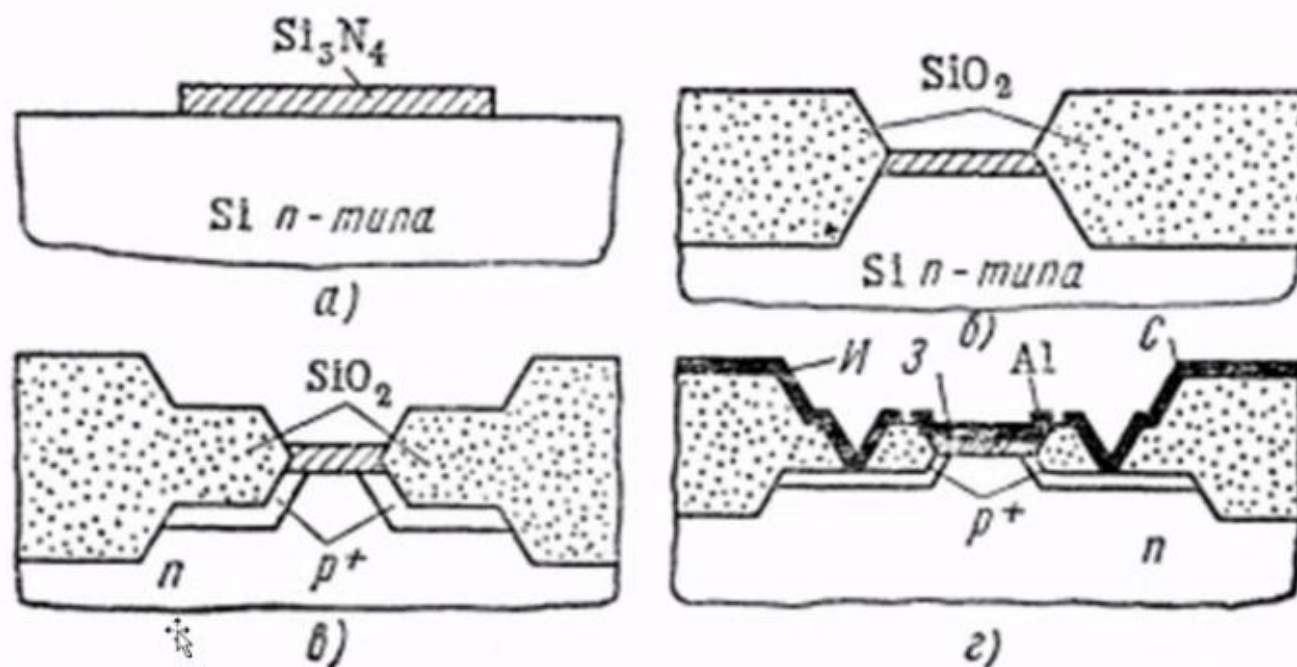


Рис. 7.28. Комплементарные МОП-транзисторы:
 а — использование изолирующего n -кармана;
 б — использование воздушной изоляции (технология КНС)

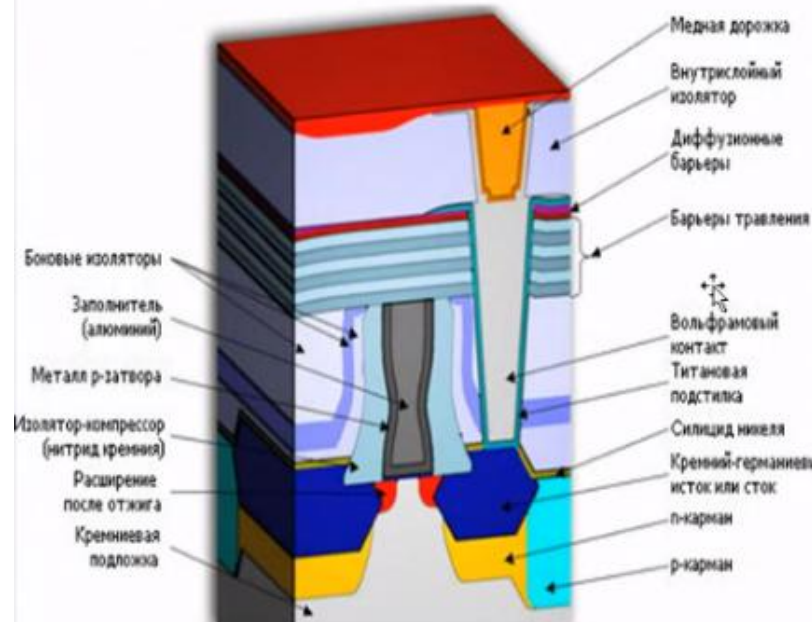


- послідовність технологічних операцій при формуванні МДН-ІМС по ізопланарній технології

Приклад сучасного техпроцесса

45-нм p-канальний транзистор в мікросхемах Intel.

Тут не вказана присутність в затворі шару металу для n-канального транзистора



- пластина кремнію і суха літографія на 193 нм з подвійною структуризацією;
- довжина затвора - 35 нм (як і в 65-нанометровому процесі);
- крок затвора - 160 нм без ізоляторів (на 27% менше, ніж в 65-нанометровому) і 200 нм з ними (на 9% менше);
- осадження металевого "затвора останнім";
- випрямлення кутів затвора за допомогою покриття другим видом фоторезиста;
- еквівалентна товщина підзатвора ізолятор - 1 нм;
- для поліпшення рухливості дірок у р- кан. транзисторів легування германієм витоку і стоку збільшене з 23 до 30%, що в сукупності збільшило частоту на 51%;
- по усьому чіпу канали співнапрямів;
- 10-слойные межсоединения (починаючи з 2-го шару - мідні) з ізолятором з легованого вуглецем діоксиду кремнію, включаючи розміщений на витоках і стоках "нульовий" шар вольфраму, що також служить дифузійним бар'єром; майже скрізь парні шари металу паралельні каналам, непарні - перпендикулярні;
- останній, найбільш товстий шар металу працює як термо- і енергорозподільник для усього кристала;
- використання фіктивних структур (доріжок і затворів) для вирівнювання локальної щільності і теплопровідності;
- безсвинцеве паяння кристала в корпус.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА МДП-ІМС

Особливості МДН технології ІМС:

- **Кількість основних операцій** при формуванні МДН ІС (приблизно на 30%) **менше** в порівнянні з кількістю операцій для біполярної технології. Менша кількість високотемпературних процесів, які в значній мірі впливають на відсоток виходу придатних ІМС.
- Процес виготовлення МДН ІС зводиться до **формування МДН транзистора** і з'єднань між ними.

Так як МДН транзистори і виконують функцію резисторів та конденсаторів.

- У МДН технології **немає необхідності** застосовувати додаткові області для **ізоляції елементів**.

Проте, і в МДН ІС використовується бічна ізоляція елементів діелектриком для зменшення паразитних зв'язків. У ряді випадків застосовується повна діелектрична ізоляція, наприклад, МДН ІС на сапфірі або на підкладці $\text{SiO}_2\text{-Si}$.

- Внутрішньосхемні з'єднання виконуються за допомогою металевих шарів, а також високолегованих дифузійних шарів, що дозволяє вирішувати завдання багатошарової розводки.
- У МДН технології легко реалізувати елементи або транзистори з різним каналом провідності, що дозволяє формувати ІС на **комплементарних структурах**.
- Для їх реалізації МДН-елемента необхідна менша площа підкладки. (Наприклад, якщо для біполярного транзистора потрібно на підкладці площа $0,015 \text{ мм}^2$, то для реалізації польового МДН-транзистора лише $0,0006 \text{ мм}^2$)
- **Ступінь інтеграції МДП-ІМС вище**, ніж ступінь інтеграції ІМС на біполярних транзисторах, що вимагає прецизійних операцій фотолітографії і т.д.

Сравнительная характеристика ИМС по числу основных процессов

Процессы	Число основных процессов	
	для МДП-ИМС	для бипо- лярных ИМС
Высокотемпературные	2	10(8)
Диффузия	1	4(3)
Фотолитография	4	6(5)

Нова Тема - не встиг
Виготовлення мікроелектронних приладів

1. При виготовленні мікроелектронних приладів застосовуються різні фізико-хімічних процеси.

Приклади.

2. Правильна класифікація цих процесів дає можливість
 - об'єднувати їх в групи,
 - визначити відповідну взаємозв'язок між ними.
3. Для класифікації необхідно визначити критерії або класифікаційні ознаки

Найбільш вдала класифікація фізико-хімічних процесів технології мікроелектроніки дана в [13]

Чистяков Ю. Д., Районова Ю. П.

Физико-химические основы технологии микроэлектроники. М.: Металлургия, 1979г.

Відповідно до цієї класифікації всі фізико-хімічні процеси в технології підрозділяються на наступні групи:

ПРИКЛАДИ

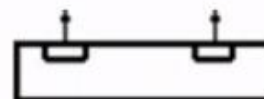
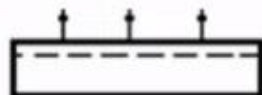
1. **Процеси нанесення речовини** у вигляді плівок на поверхню твердої фази – підкладки

- епітаксія – нанесення мікроскопічного речовини;
- нарощування плівки SiO_2 – ізоляція;
- нанесення металевої плівки Al, Cu, Ni, Cr.

методи - фізичне осадження шарів (термічне випаровування, іонне розпилення, термічне окислення, гальванічне осадження) і т.д.

2. **процеси видалення речовини** з поверхні твердої фази – підкладки;

- тотально (все) ^I – локально (селективно)
пластини, замасковані фоторезистом SiO_2 та ін.



методи

- рідинне хімічне травлення;
- плазмо-хімічне травлення;
- іонне травлення (іонним променем);
- механічне видалення

3. **процеси перерозподілу** атомів (іонів) домішок між зовнішнім середовищем і твердою фазою або в об'ємі твердої фази – підкладки.

- дифузія;
- іонна імплантація (іонне легування)
зміна типу і рівня легування $n \rightarrow p$; $n \rightarrow n^+$; $p \rightarrow p^+$; $p \rightarrow n$.

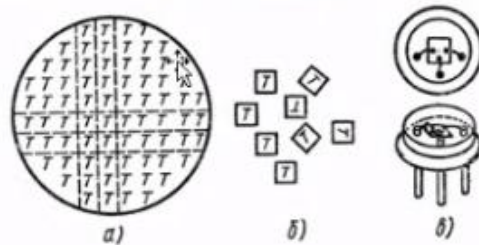
додаткові процеси

4. **розділення пластин на кристали:**

- алмазне скрайбування

(наносимо подряпину, сітку на пластину, а потім ламаємо)

- лазерне скрайбування і різання



Руд. $>10^4 - 10^5$ Вт/см²

5. операції пов'язанні зі **збіркою**.

- пайка, зварка, ультразвукова зварка і т.д.

ВИСНОВОК

- ❖ У перших двох класах процесів змінюється геометрія підкладки, в третьому класі – склад, властивості і структура внутрішніх областей без істотної зміни геометричних розмірів.
- ❖ Технологія виробництва напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем безперервно удосконалюється на основі розробки нових фізико-хімічних процесів.
- ❖ Представлена класифікація є умовною.

