

**Технологічний процес формування
біполярних структур на прикладі
планарно-епітаксіальної технології.
Особливості вибору матеріалів та
режимів**

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

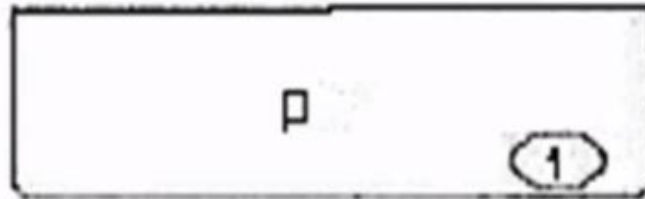
➤ **монокристалічний кремній.**

Пластини після різки злитку

- шліфують
- полірують для отримання необхідного розміру, товщини та класу чистоти поверхні.
- Кінцеву доводку пластин здійснюють хімічною обробкою.

- ❖ Загальне число операцій виготовлення біполярних структур (без урахування заготовчого етапу отримання пластин) приблизно становить 200-150,
- ❖ тривалість повного циклу складає порядку 100 год.

Очистка пластин



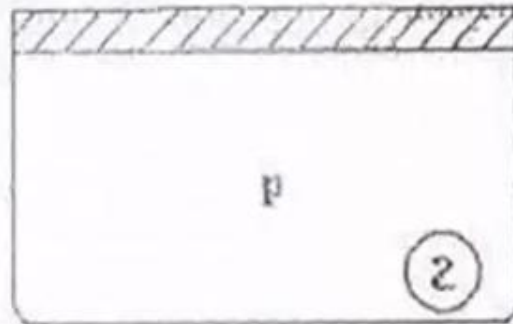
Вихідна пластина р-типу.

- 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

Термічне окислення

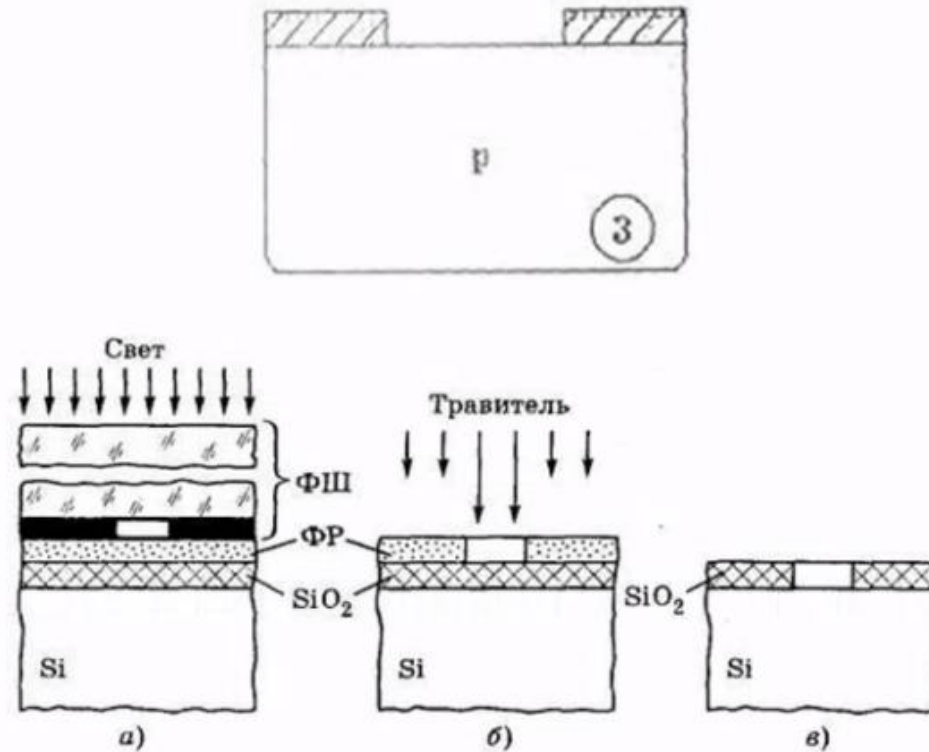


Вирощування оксидного шару

- 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

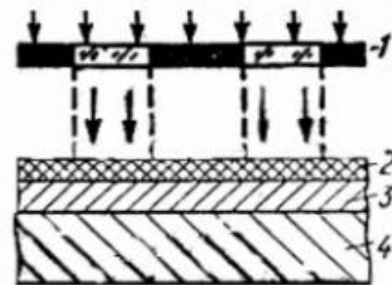
створення вікон в оксиді для формування області прихованого шару p^+ колектора



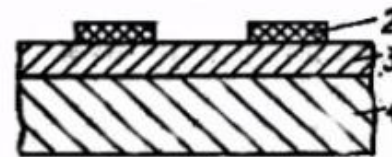
Етапи процесу фотолітографії:

- а - експозиція фоторезисту через фотошаблон;
- б - локальне травлення двоокису кремнію через фоторезистивну маску;
- в - окисна маска після видалення фоторезисту

схема фотолітографічного процесу



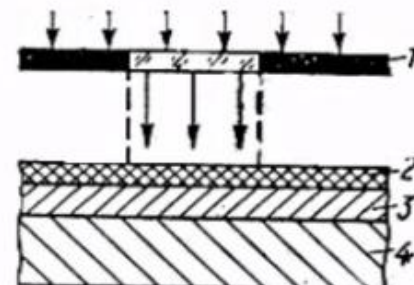
а)



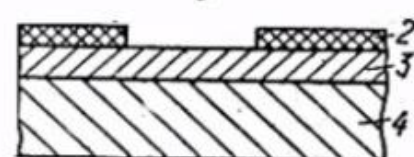
б)



в)



а)



б)



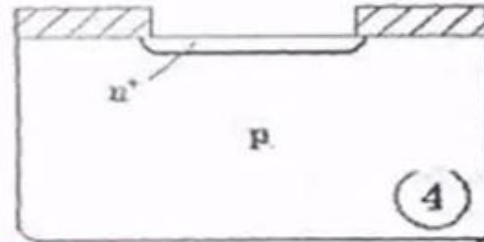
з використанням **негативного** фоторезиста.

а - засвічування фотошару;
б - рельєф шару фоторезисту після проявки;
в - рельєф покриття після його травлення

з використанням **позитивного** фоторезиста

1 - фотошаблон;
2 - шар фоторезисту;
3 - шар, що підлягає травленню;
4 - підкладка.

Перша дифузія (створення приховано n^+ шару)



❖ Дифузанти – миш'як або сурма.

Особливості

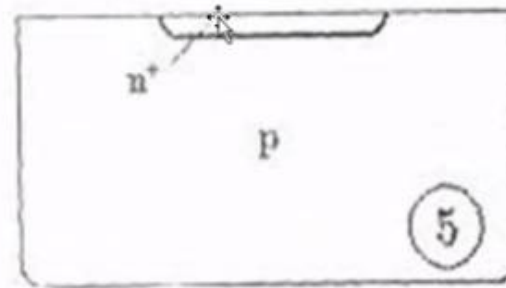
- **миш'як та сурма** дифундують крізь шар SiO_2 значно повільніше, ніж крізь кремній. Тому дифузія відбувається там, де є вікна.
- Під час дифузії миш'як та сурма вирощується шар окиду.
- **миш'як** або **сурма** використовуються частіше **фосфору** через малу швидкість їх дифузії.

задача : Під час наступних етапів дифузії необхідно звести до мінімуму дифузію з прихованого шару в епітаксіальний шар.

❖ Дифузія прихованого шару

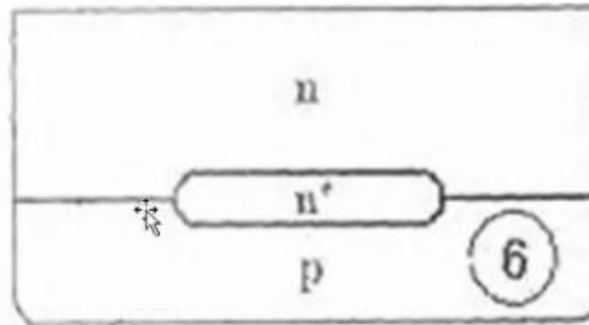
- значення опору шару від 10 до 30 Ом
- при товщині шару від 2 до 5 мкм.

Зтравлювання оксиду по всій поверхні



Шар SiO_2 , вирощений під час дифузії прихованого шару, видаляється травленням в розбавленій плавиковій кислоті.

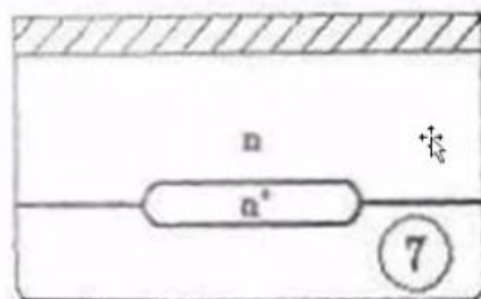
Осадження епітаксіального шару кремнію n-типу



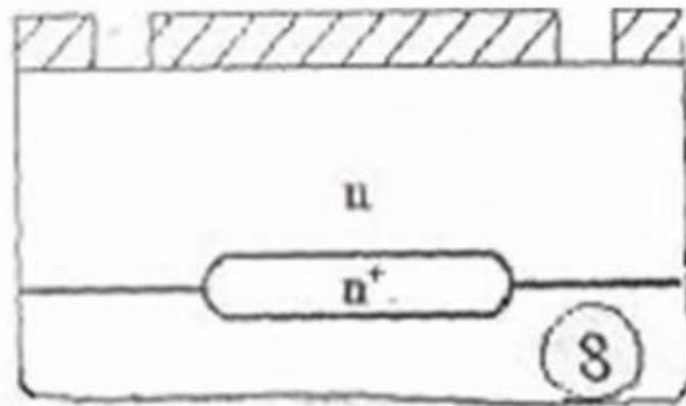
особливості

- ❖ В якості легуючих домішок n-типу використовуються **миш'як** або **сурма** **через** їх низьку дифузійну здатність.
- ❖ Прихований шар дещо дифундує як в підкладку, так і в епітаксіальний шар.
- ❖ **Товщина** епітаксіального шару від 0,2 до 10 мкм в залежності від типу приладу.
- ❖ **Питомий опір** лежить в інтервалі від 0,1 до 5,0 Ом·см.

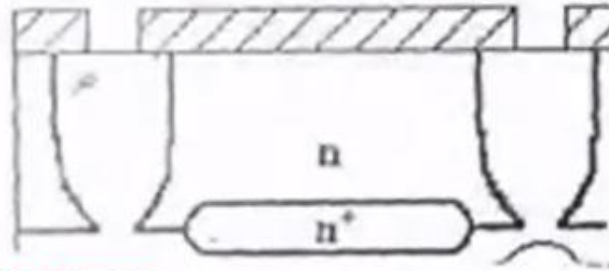
Термічне вирощування шару оксиду



Друга фотолітографія:
створення вікон в оксиді
“під роздільну дифузію”



Друга дифузія. Створення роздільних р-шарів і відповідно ізолюваних n-карманів в епітаксiальному шарі



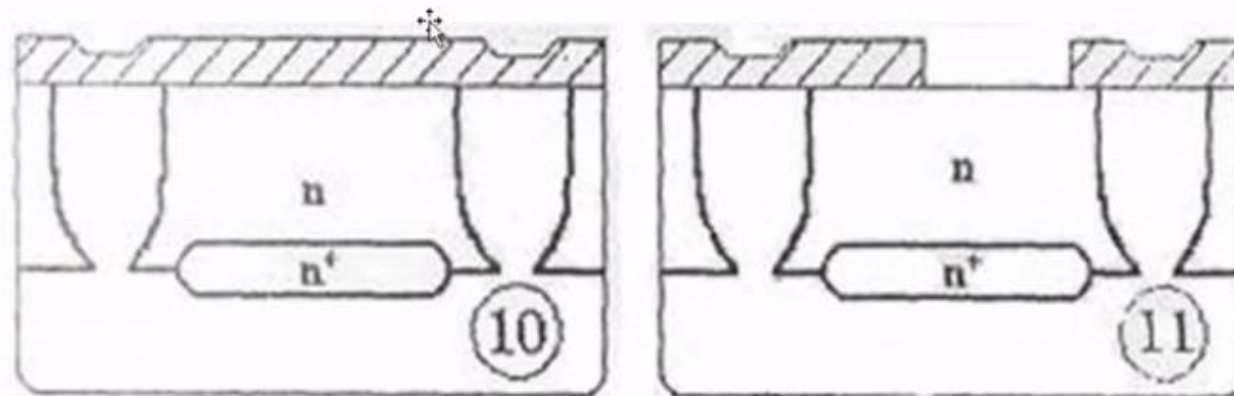
- ❖ Двостадійна загонка, розгонка.
- ❖ Домішками р-типа можуть служити елементи **індій, галій, алюміній, бор**.

Аналіз можливості використання матеріалів домішки

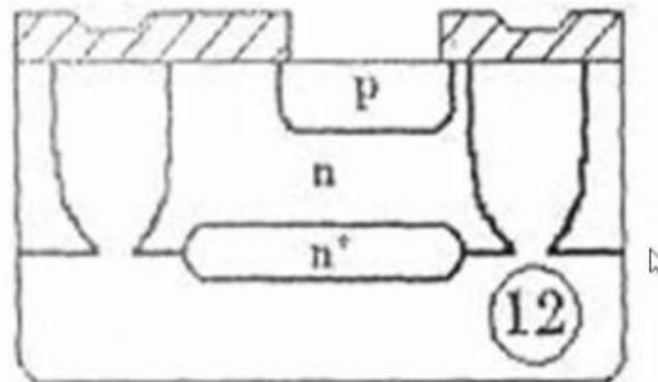
- Енергія іонізації атомів **індію** в кремнії 0,16 eV (для порівняння у бора 0,045 eV). В нормальних умовах роботи теплової енергії не вистачає для іонізації індію, тому **індій не використовується**.
- **Галій** дифундує через SiO_2 значно швидше, ніж через чистий кремній. Оксид в якості захисної маски працювати не буде.
- **Алюміній** дифундує в кремній і SiO_2 дуже швидко, контролювати його дифузію дуже важко, і в якості легуючої добавки, як правило, **не використовується**.
- **Бор** має більшу величину твердої розчинності в кремнії та значно повільніше дифундує через SiO_2 , ніж через кремній.

Тому єдиний вибір домішки р-типу – бор.

Третя фотолітографія:
створення вікон в оксиді “під базову дифузію”



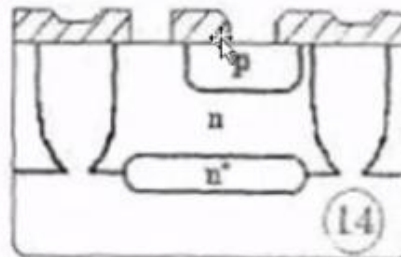
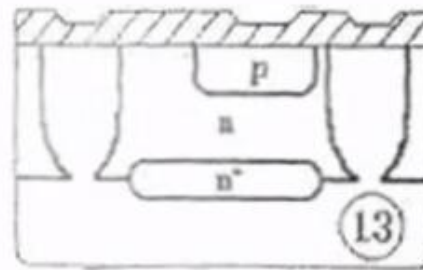
Третя дифузія створення базових р-шарів



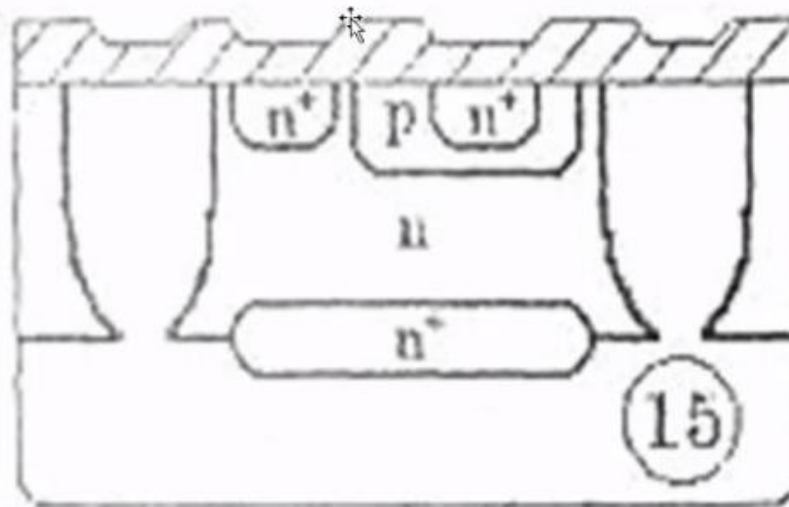
Особливості

- ❖ Дифузант – бор.
- ❖ Дифузія двостадійна (“загонка” и “раогонка”) та вирощування оксиду.
- ❖ Глибина переходу 1,2...2 мкм.

Четверта фотолітографія:
створення вікон під “емітерну дифузію та
омічні контакти колекторів”



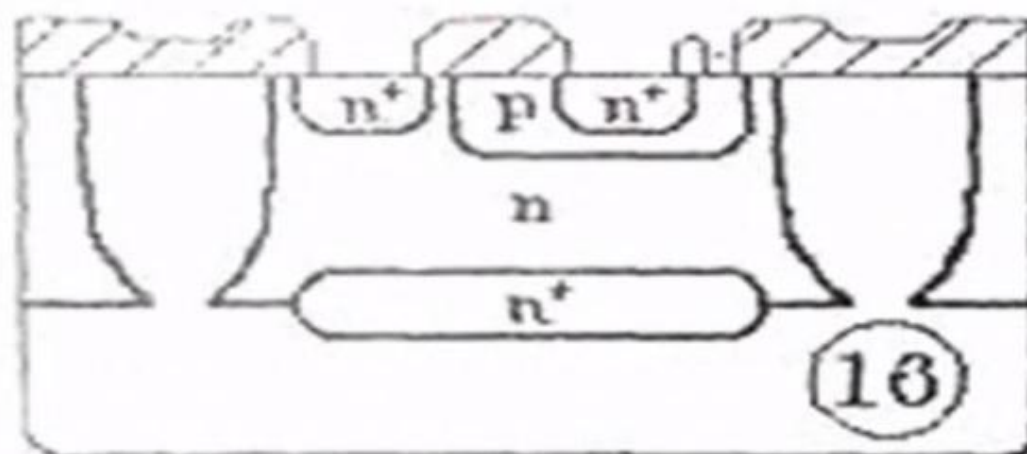
Дифузія – створення n^+



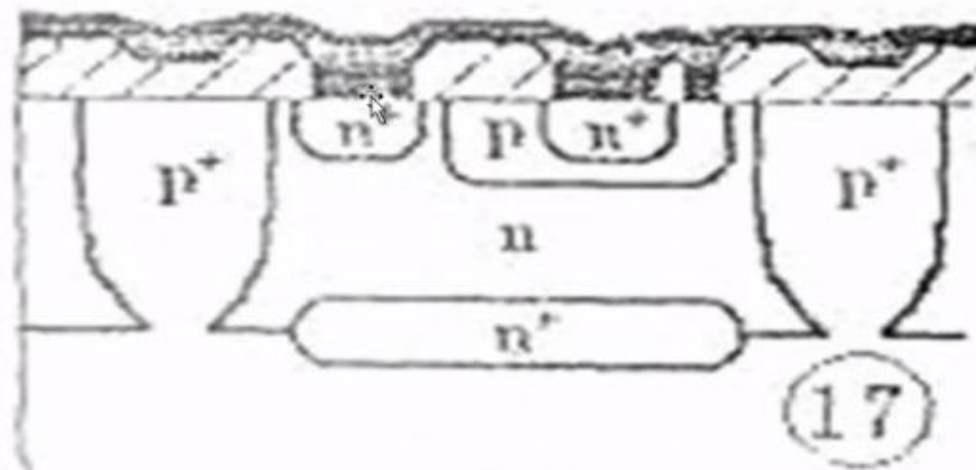
Викор фосфор для легування і створ n^+

- ❖ Для внутрішніх і зовнішніх з'єднань в інтегральних структурах **застосовується алюміній**.
 - ❖ Проте якщо не вжити заходи, то в місцях з'єднання алюмінію з колекторними областями можуть утворитися діоди типу метал-напівпровідник (**діоди Шотткі**).
В даному випадку **утворення діодів небажано**.
 - ❖ Якщо ж область контакту кремнію з алюмінієм сильно легувати по типу n^+ , то в утвореного діода Шотткі буде дуже низький або вироджений бар'єр. Діоди Шотткі з низьким або виродженим бар'єром ведуть себе як омічні контакти.
 - ❖ Легуючими добавками n^+ -типа можуть служити елементи: миш'як, сурма, фосфор.
 - Під час дифузії по мірі руху емітерного переходу вниз, колекторний перехід теж зміщується вниз.
 - Для зменшення товщини бази потрібно, щоб емітерний перехід зміщувався швидше. Так буде, якщо коефіцієнт дифузії домішки достатньо великий і градієнт концентрації домішки більше, ніж аналогічна величина для колекторного переходу.
- Коефіцієнти дифузії у **бора та фосфору приблизно однакові**,
а у миш'яку та сурми **менше**.
- ❖ Тому, в якості домішки використовується **фосфор**.

**П'ята фотолітографія:
створення вікон в оксиді "під омічні контакти"**



**Металізація
напилення алюмінію на пластину**

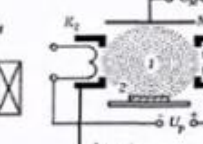
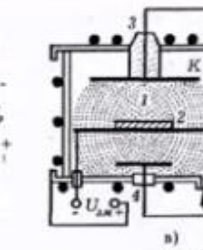
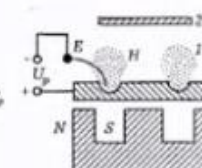
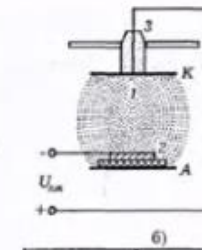
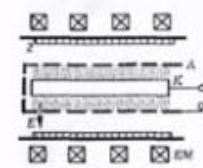
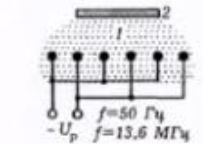
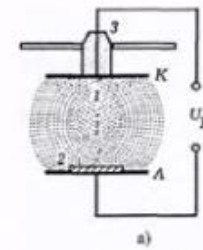
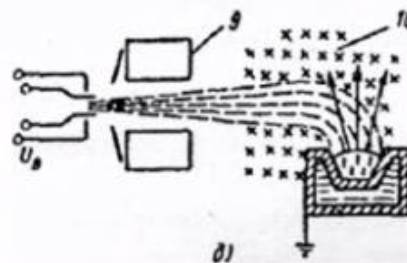
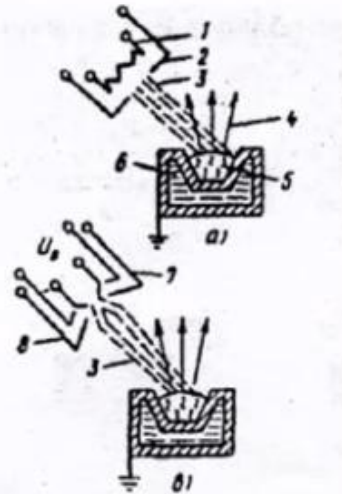
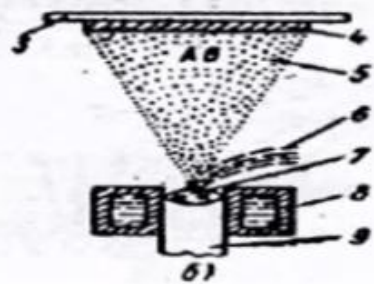
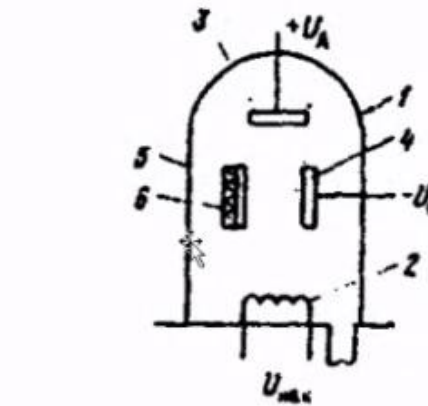


Особливості

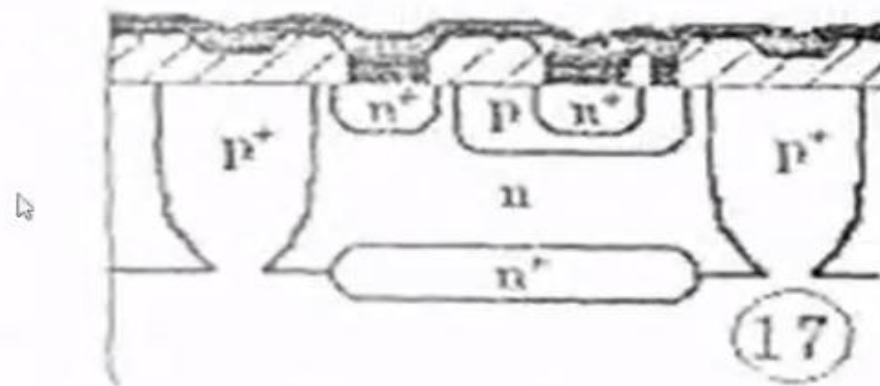
- ❖ Для осадження алюмінію зазвичай застосовують **методи**:
 - резистивне
 - електронно-променеве випаровування,
 - магнетронне розпилення.
- ❖ Вибір методу напилення набуває значення у зв'язку з застосування **подвійних або потрійних сплавів** типу Al / Cu / Si.
- ❖ Товщина шару алюмінію, що наноситься 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**.

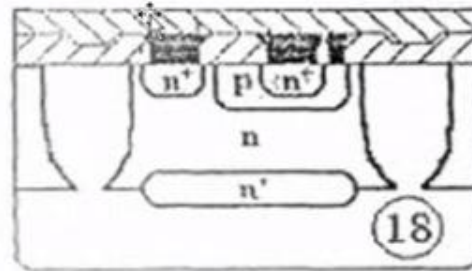
методу напылення



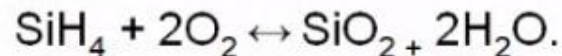
- Шоста фотолітографія:
створення вікон в фоторезисті для контактів.
- Травлення алюмінію через фоторезистивну маску, зняття фоторезисту.
- Термічна обробка
для впалювання алюмінію в кремній.
- Металізація та фотолітографія
для створення міжз'єднань.



Нанесення піролітичного оксидного шару



Оксиди отримують за допомоги термічного розчеплення з'єднань кремнію, зокрема сілану SiH_4 . Поблизу нагрітої підкладки відбувається рекомбінація сілану з киснем:



При нанесенні низькотемпературного скла кремнієва підкладка в утворенні оксиду не приймає участі. Вона використовується лише в якості підкладки, на яку осаджується шар оксиду.

- ❖ Цей шар **оберігає кристали від забруднень та руйнівних впливів при зберіганні, підвищує вихід гідних структур.**
- ❖ В цьому шарі відкриваються вікна під контактні майданчики для дровових з'єднань.

Скрайбування

- Монтаж кристалів в корпус, монтаж виводів
- Герметизація корпусу
- Випробування та контроль




```
graph LR
    subgraph "Производство пластин"
        A[Выращивание кристалла] --> B[Резка на отдельные пластины]
        B --> C[Шлифовка]
        C --> D[Полировка]
        D --> E[Контроль]
        E --> F[Эпитаксия]
        F --> G[Контроль]
    end

    subgraph "Обработка подложек"
        H[Очистка] --> I[Окисление]
        I --> J[Покрытие резистом]
        J --> K[Сушка в термостате]
    end

    K --> L[Юстировка шаблонов]
    L --> M[Проявление]
    M --> N[Контроль]
    N --> O[Дублирование резиста]
    O --> P[Травление]

    P --> Q[Очистка]
    Q --> R[Диффузия или ионная имплантация]
    R --> S[Проверка]
    Q --> T[Напыление]
    T --> U[Контроль]
    U --> V[Скрайбирование]

    subgraph "Изготовление шаблона"
        W[Проект схемы] --> X[Рисунок]
        X --> Y[Вырезание увеличенного оригинала рисунка]
        Y --> Z[Уменьшение]
        Z --> AA[Пошаговая фотомultiпликация рисунка]
        AA --> AB[Изготовление рабочих копий шаблонов]
        W --> AC[Перевод рисунка]
        AC --> AD[Изготовление рисунка]
        AD --> Z
    end

    AB --> K
    V --> K
    K --> L

    subgraph "Сборка"
        C1[Разделение на отдельные чипы] --> C2[Микросварка или термокомпрессия]
        C2 --> C3[Герметизация в корпусе]
        C3 --> C4[Окончательный контроль]
    end
```

інтегральний транзистор в плані.

