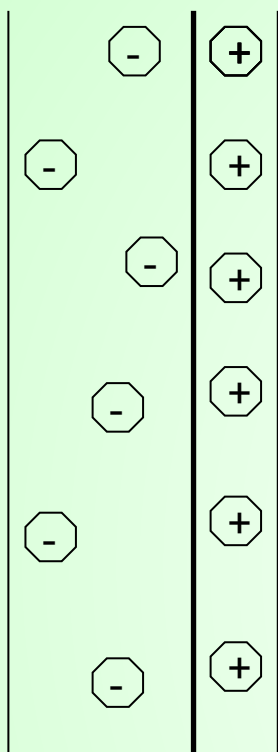


Удаление слоев (травление)

граница раздела

п/п

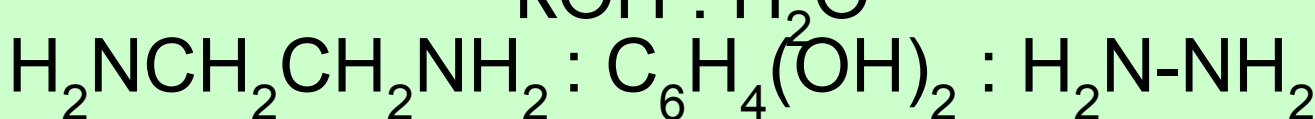
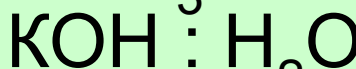
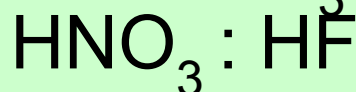
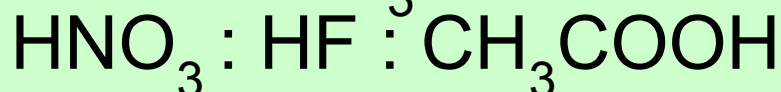
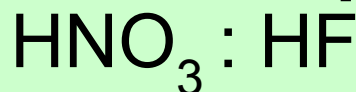


ОПЗ

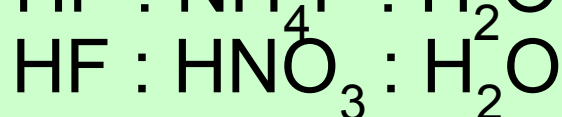
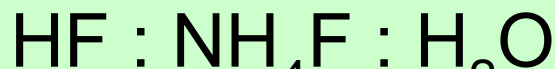
ди
зв
сл

Если скорость травления
лимитируется процессами
поступления травителя
или отвода продуктов
реакции –

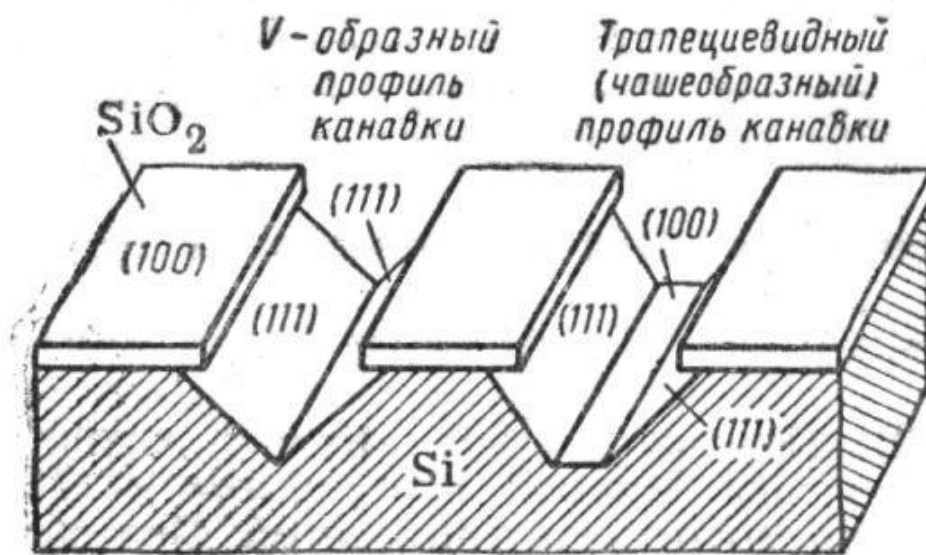
травители для кремния:



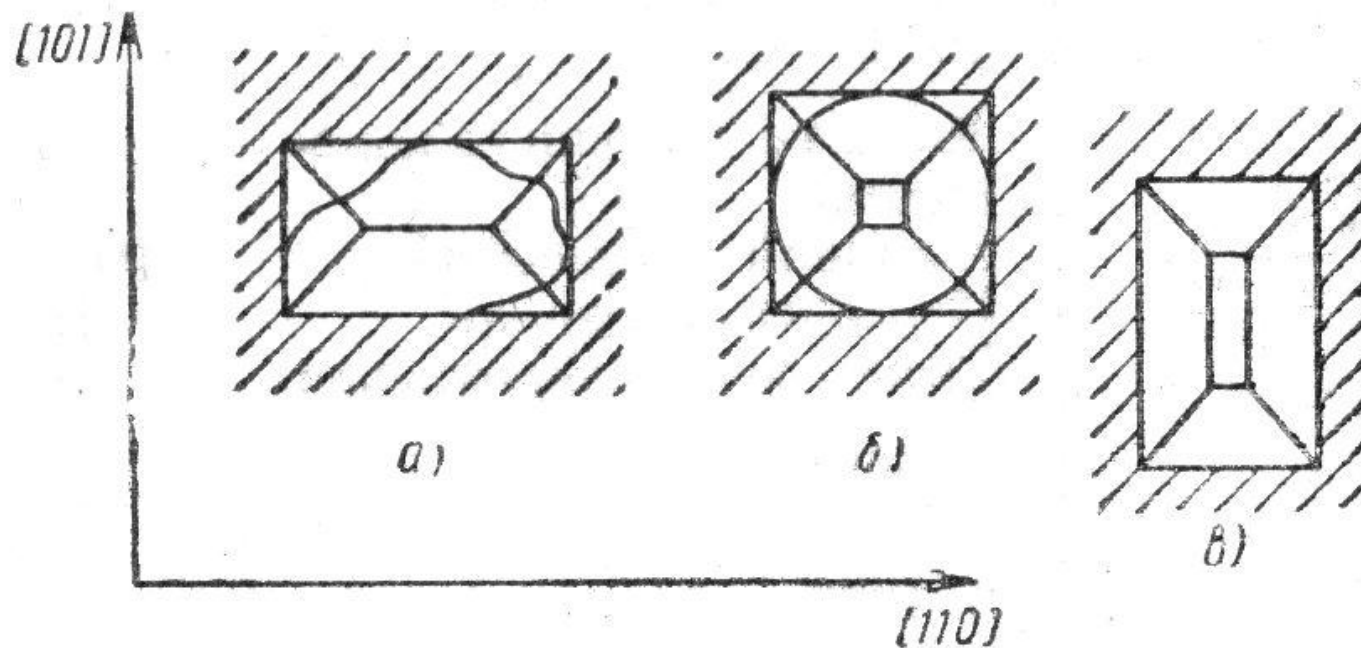
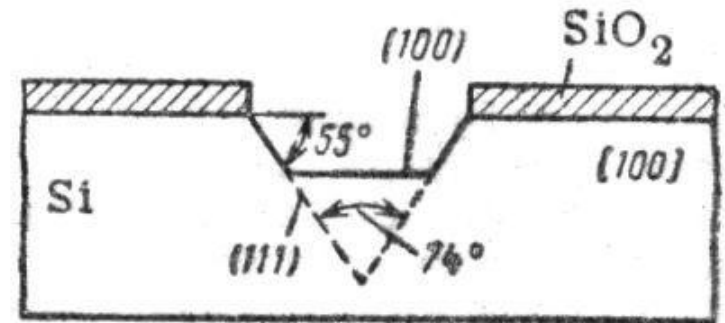
травители для оксида кремния



• на скорость травления

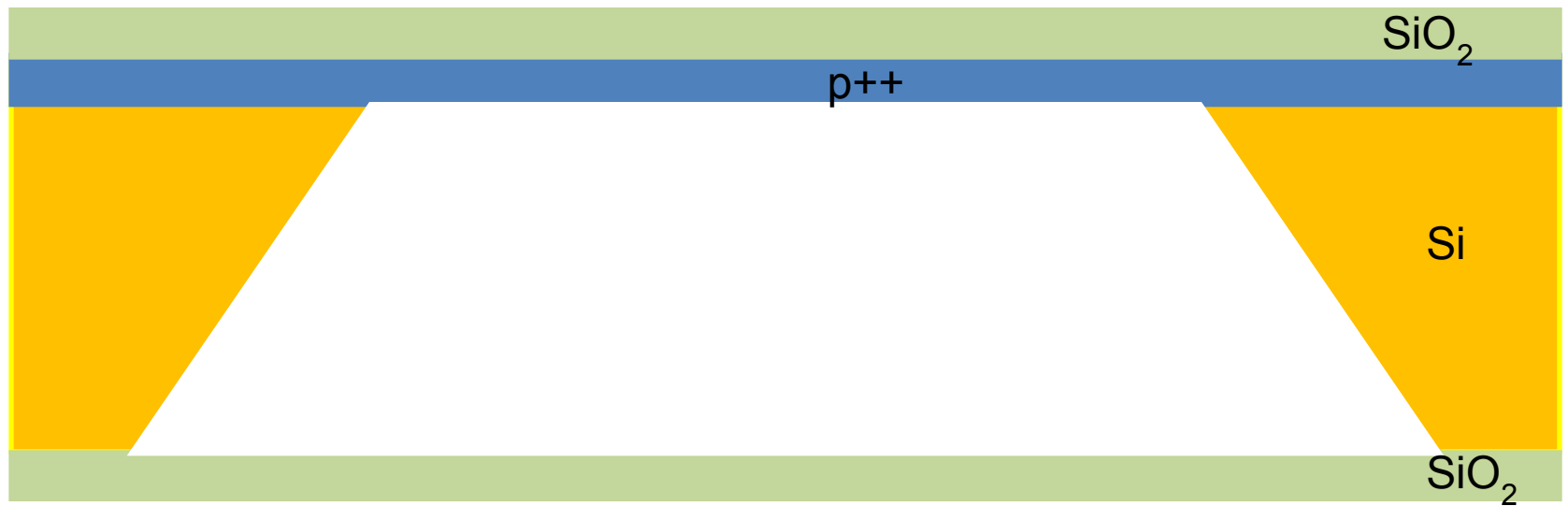


Поверхность (100)
пересекается четырьмя
плоскостями (111)



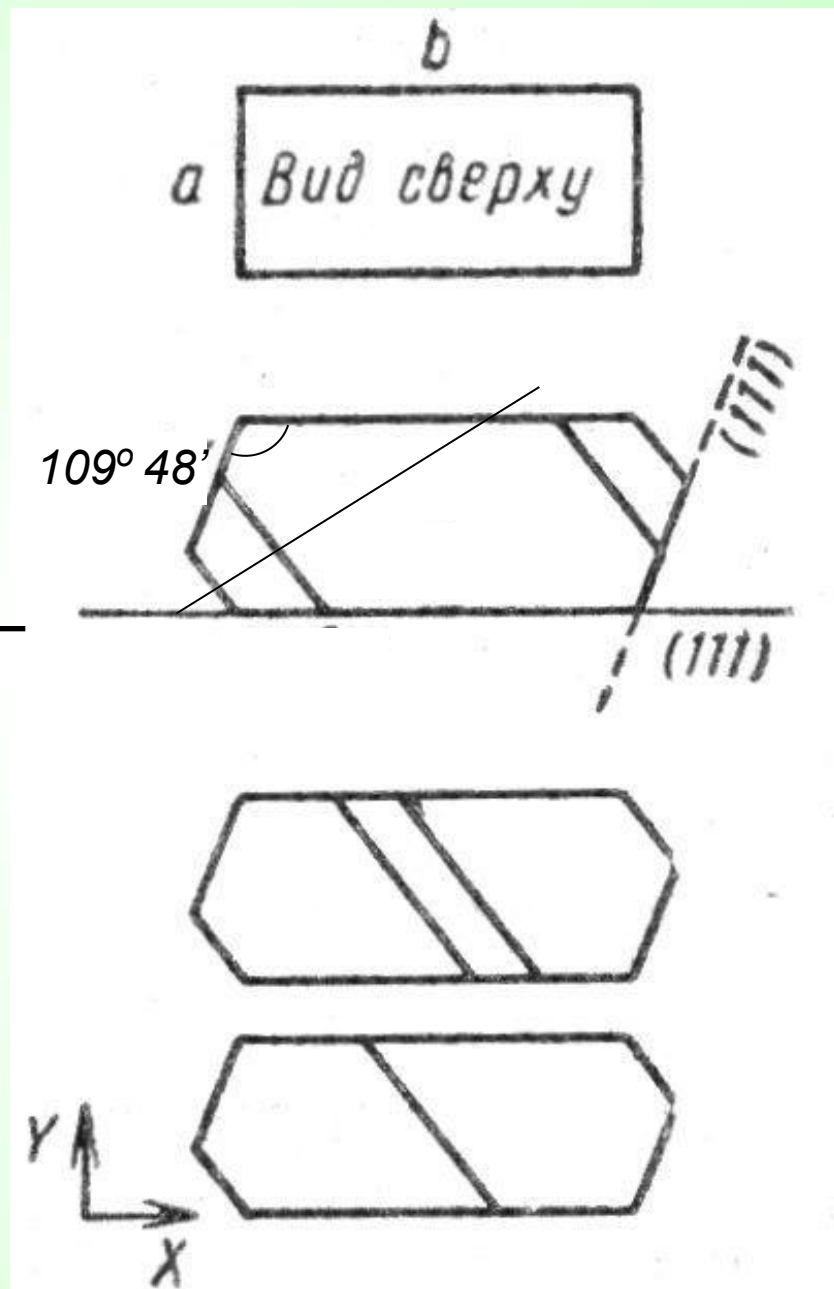
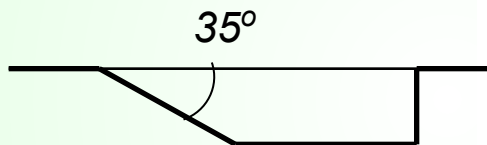
Получение
V-
образных
канавок в
(100) Si

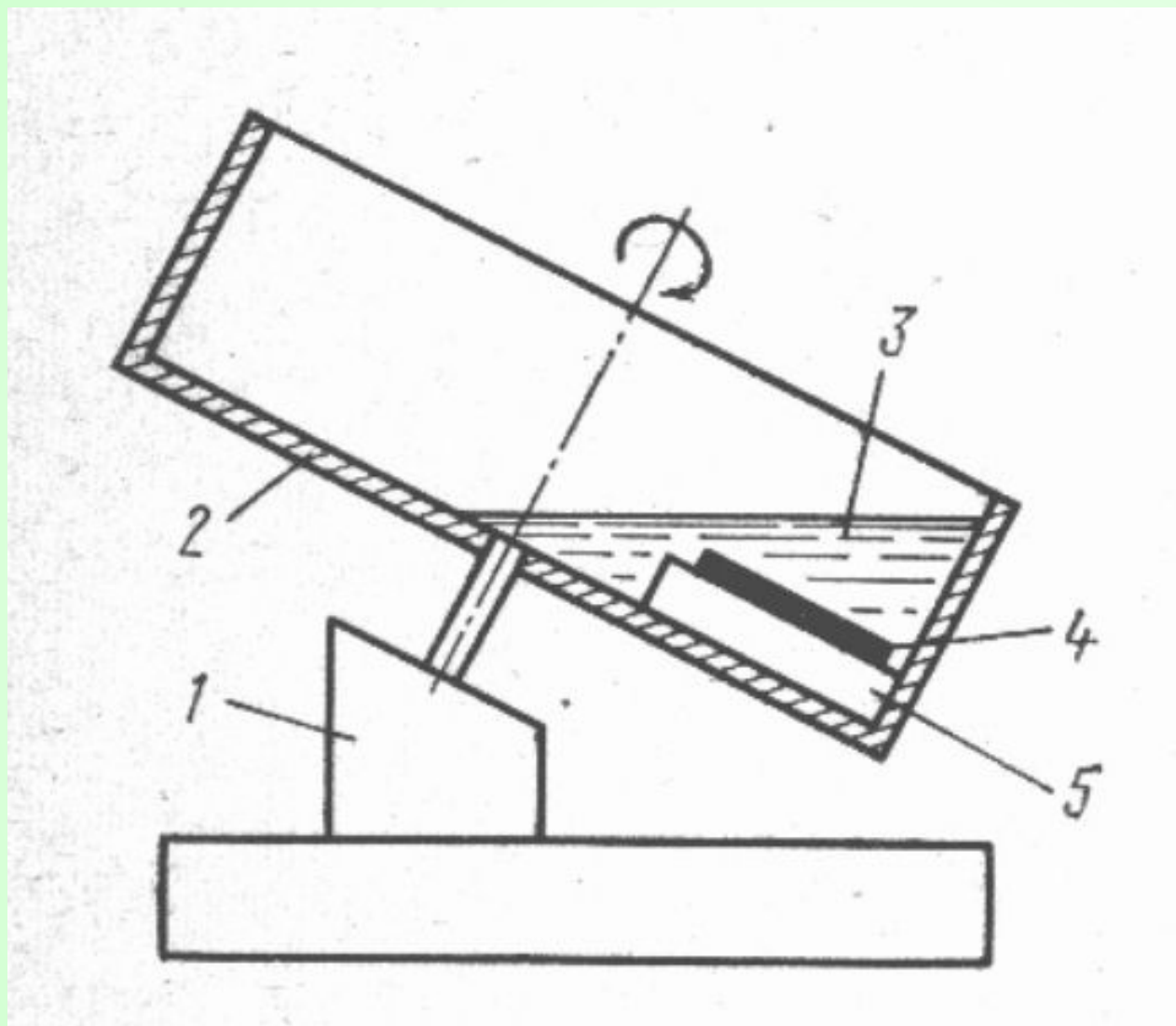
Формирование мембраны



Получение U- образных канавок в (110) Si

Поверхность
пересекается
шестью
плоскостями
(111)
(четыре под
углом 90° ,
две под углом
 $35^\circ 26'$)





**Схема химико-
динамического
травления**

Методы сухого травления

- $A \downarrow$
- Ионно-лучевое травление
 - Ионно-плазменное травление

***Травление по механизму
физического распыления***

- $S \uparrow$
- Реактивное ионное травление
 - Плазменное травление

***Сочетание химических реакций
в ходе которых образуются
летучие или квазилетучие
соединения и физического
воздействия ионной
бомбардировки***

Образование граней

Анизотропия: $A = 1 - v_{\text{б}} / v_{\text{в}}$

Селективность: $S_{\text{fm}} = v_{\text{пл}} / v_{\text{маск}}$

$$S_{\text{fs}} = v_{\text{пл}} / v_{\text{подл}}$$

$$A = 1$$
$$S \approx 1$$

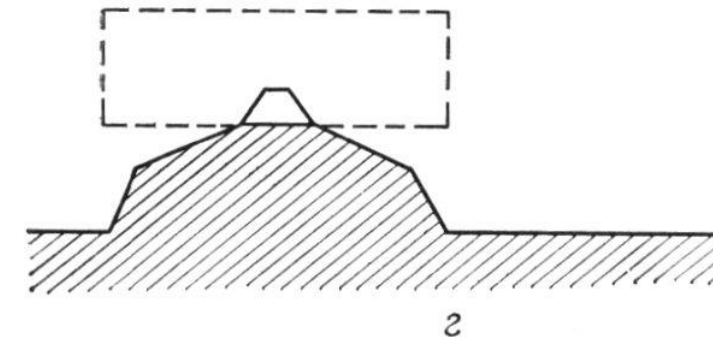
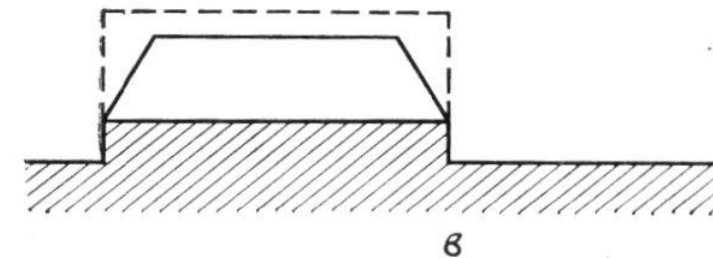
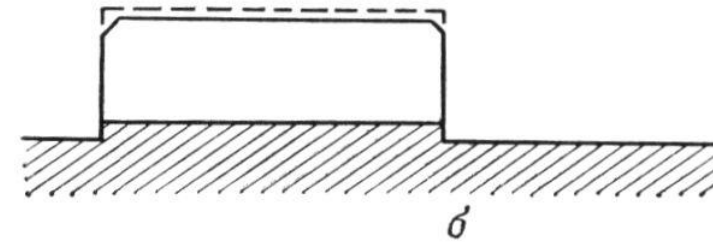
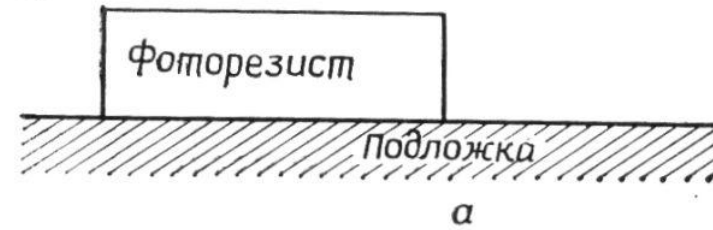
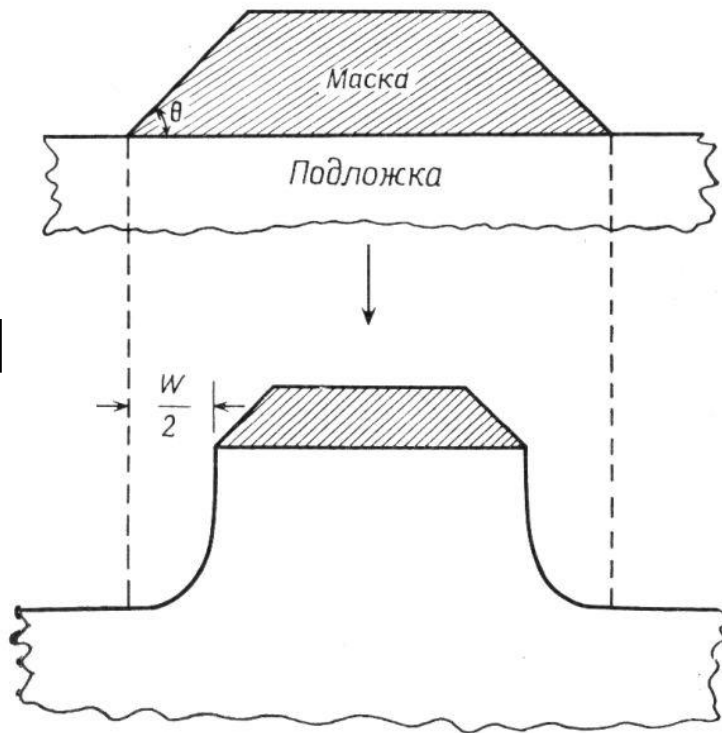
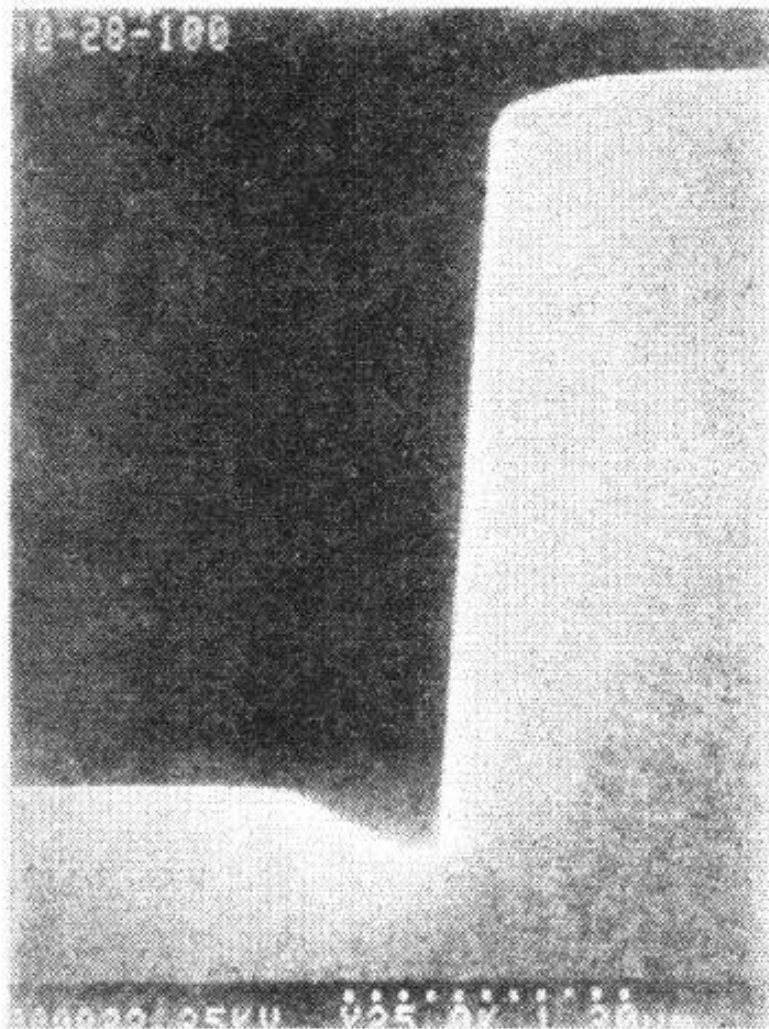


Рис. 8.5. Формирование контура вытравливаемого элемента с учетом конечной скорости травления маски. (Разность между расчетной и реальной шириной линии равна W).

Профиль края элемента



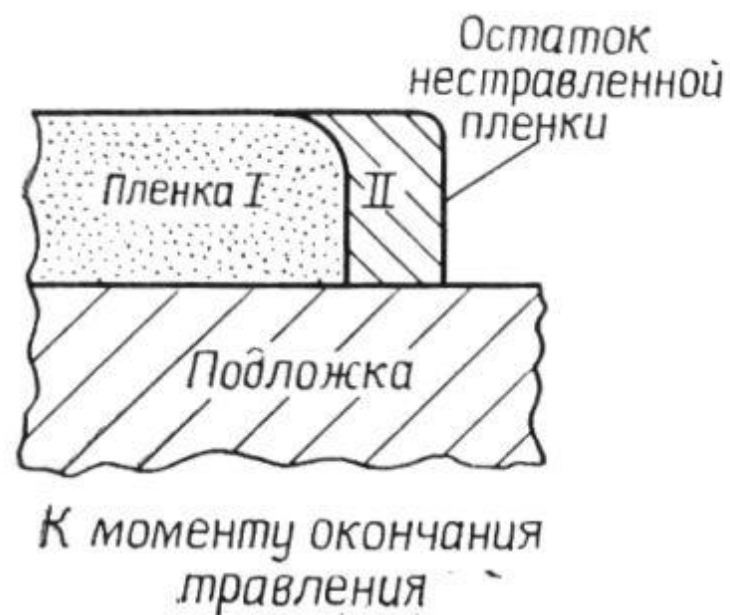
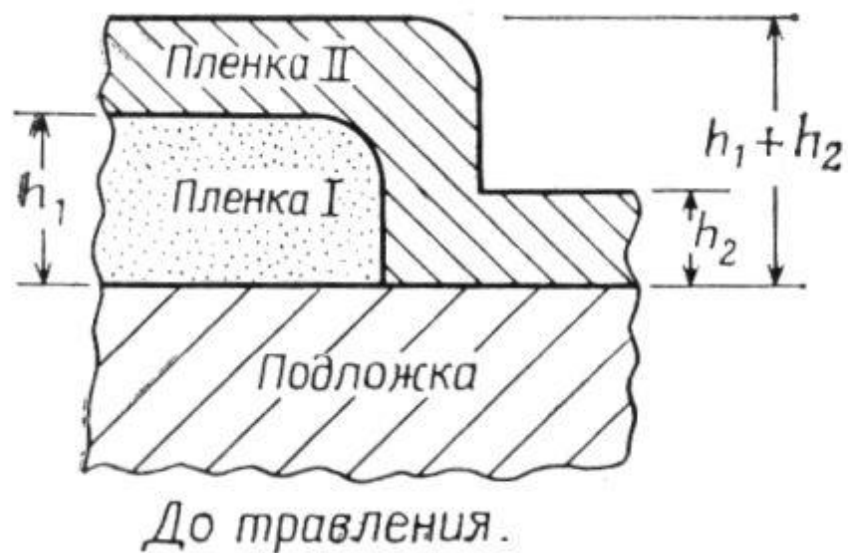
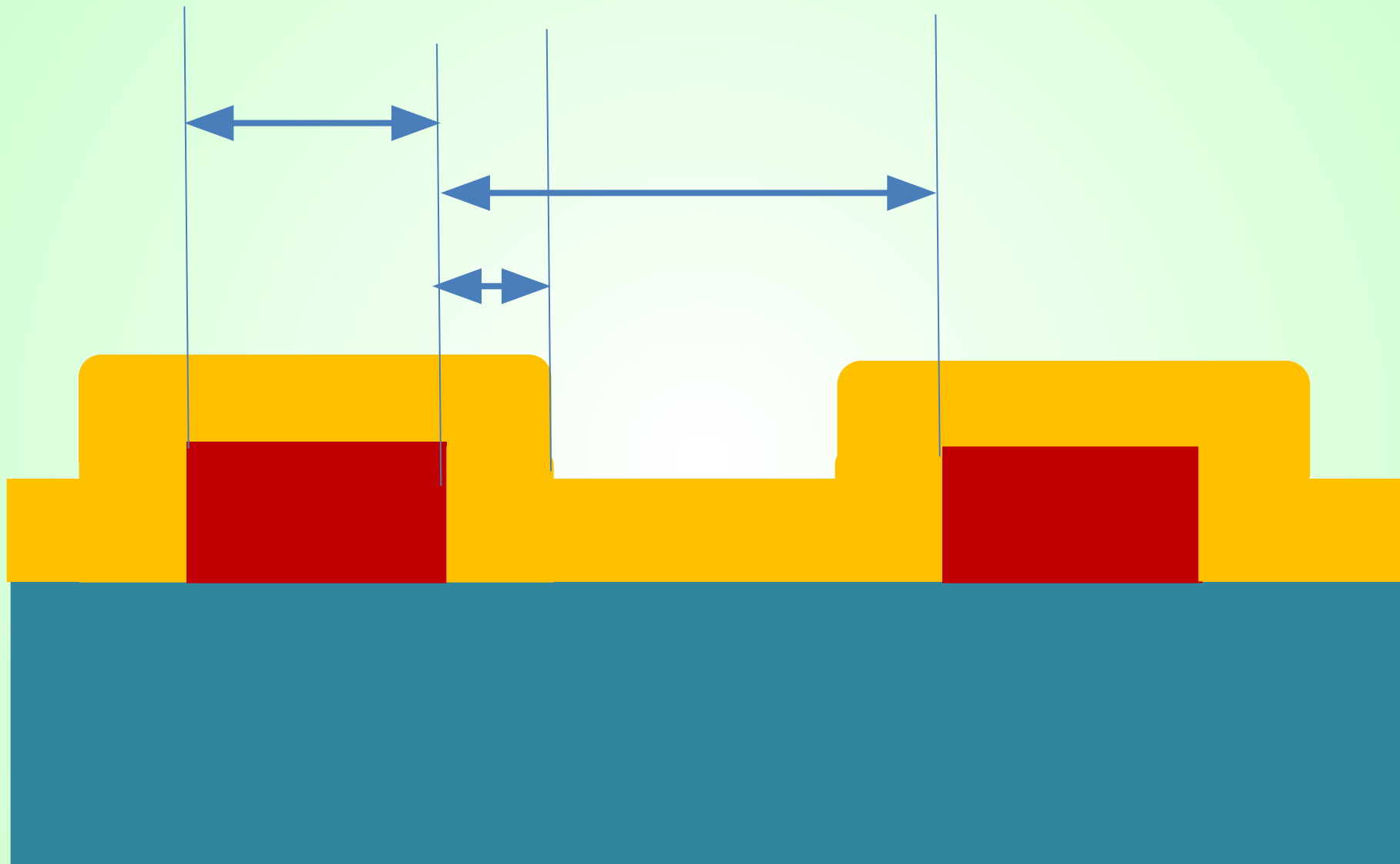
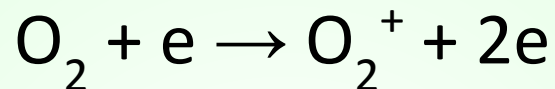


Рис. 8.7. Иллюстрация необходимости перетравливания при анизотропном травлении для удаления излишков материала на ступеньках (для приведенного примера $A_f = 1$).



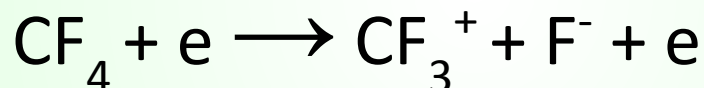
Процессы создания ионов и радикалов в газовом разряде

- Простая ионизация: $\text{Ar} + e \rightarrow \text{Ar}^+ + 2e$

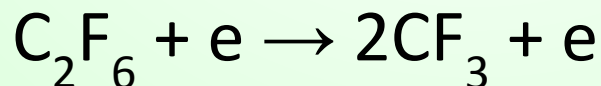
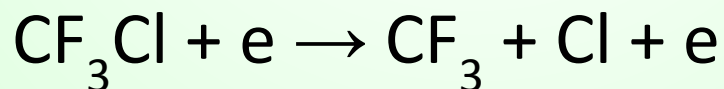


- Диссоциативная ионизация: $\text{CF}_4 + e \rightarrow \text{CF}_3^+ + \text{F} + 2e$

- Диссоциативная ионизация с прилипанием:



- Молекулярная диссоциация: $\text{O}_2 + e \rightarrow 2\text{O} + e \rightarrow \text{O}^+ + \text{O}^-$



- Диссоциативная рекомбинация: $e + \text{O}_2^+ \rightarrow 2\text{O}$

- Диссоциативное прилипание: $e + \text{CF}_4 \rightarrow \text{CF}_3 + \text{F}^-$

Энергия ионов ≥ 500 эВ

Рабочее давление 0,133 – 13,3 Па

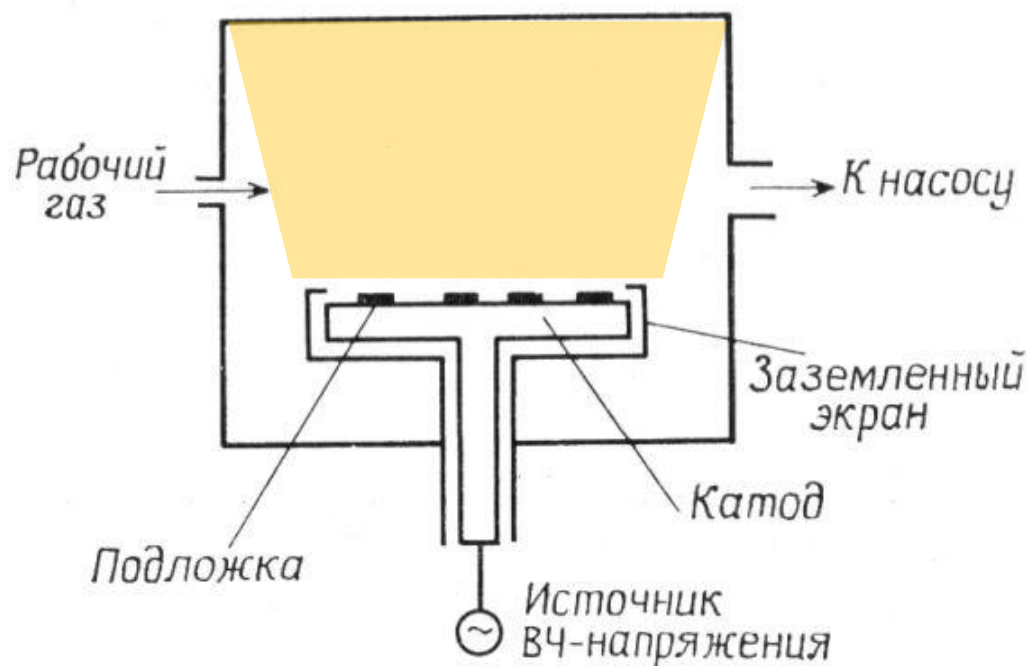


Рис. 8.11. Высокочастотная диодная система для реактивного ионного травления.

Запитываемый электрод является катодом, а все остальные внутренние заземленные части реактора — анодом; при этом площадь катода намного меньше площади анода. Плазма не удерживается и занимает весь объем камеры. Заземленный экран предотвращает распыление защищаемых им участков поверхности запитываемого электрода.



Рис. 8.12. Система для ионно-лучевого травления.

Плотность
пучка
ионов ≈ 1
мА /см

Приклады-
ваемое
напряжени
е 500 В

Рабочее давление 13,3 – 1330 Па

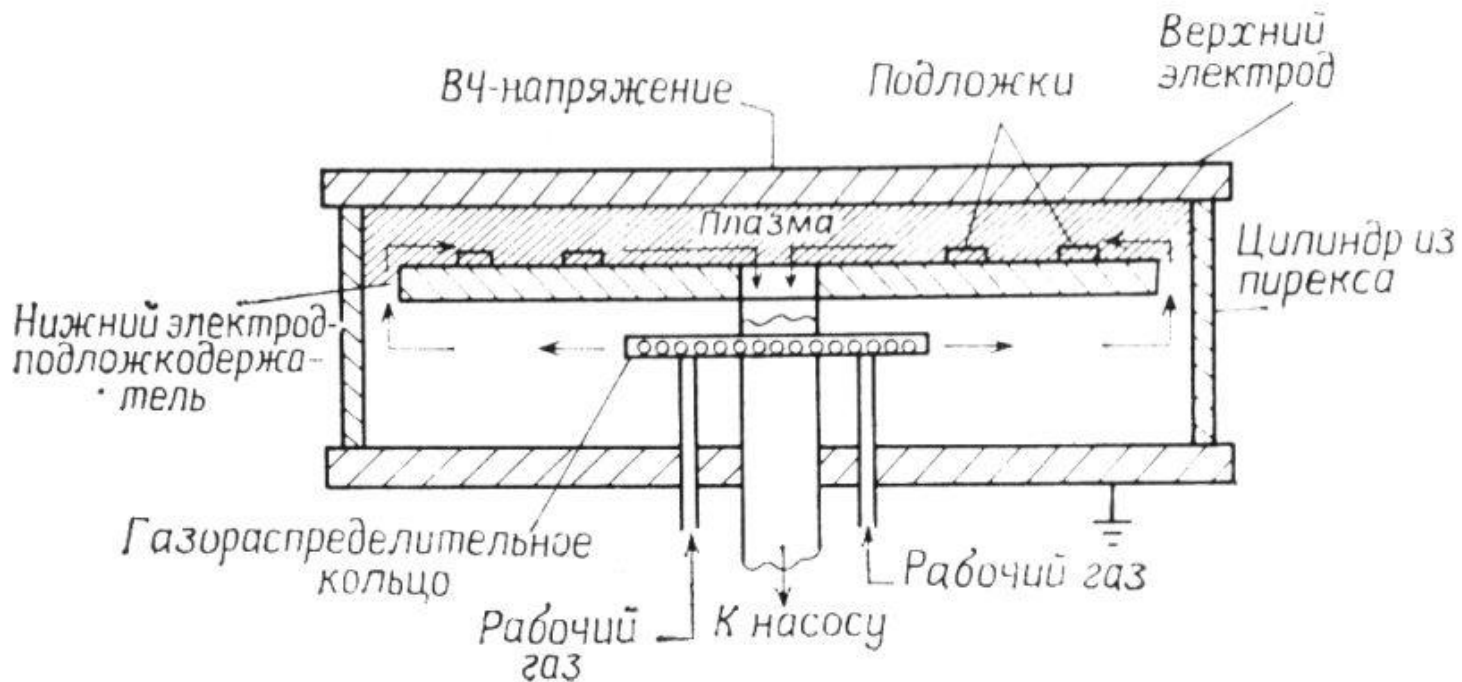
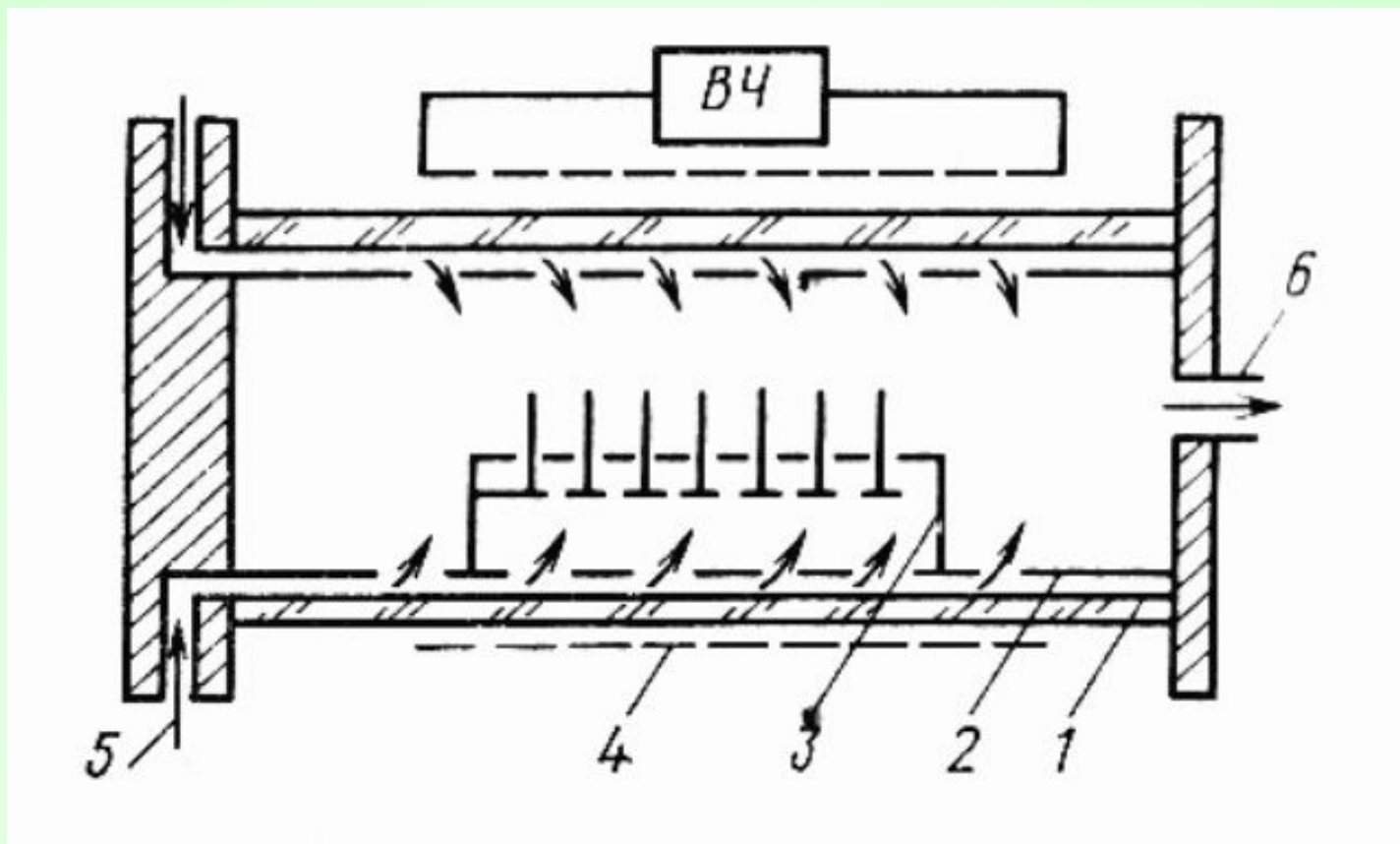


Рис. 8.13. Система плазменного травления с параллельными электродами в виде пластин. (Плазма удерживается в основном в области между запитываемым электродом и заземленной пластиной подложкодержателя.)



**Схема вакуумной камеры для радикального
плазмохимического травления**

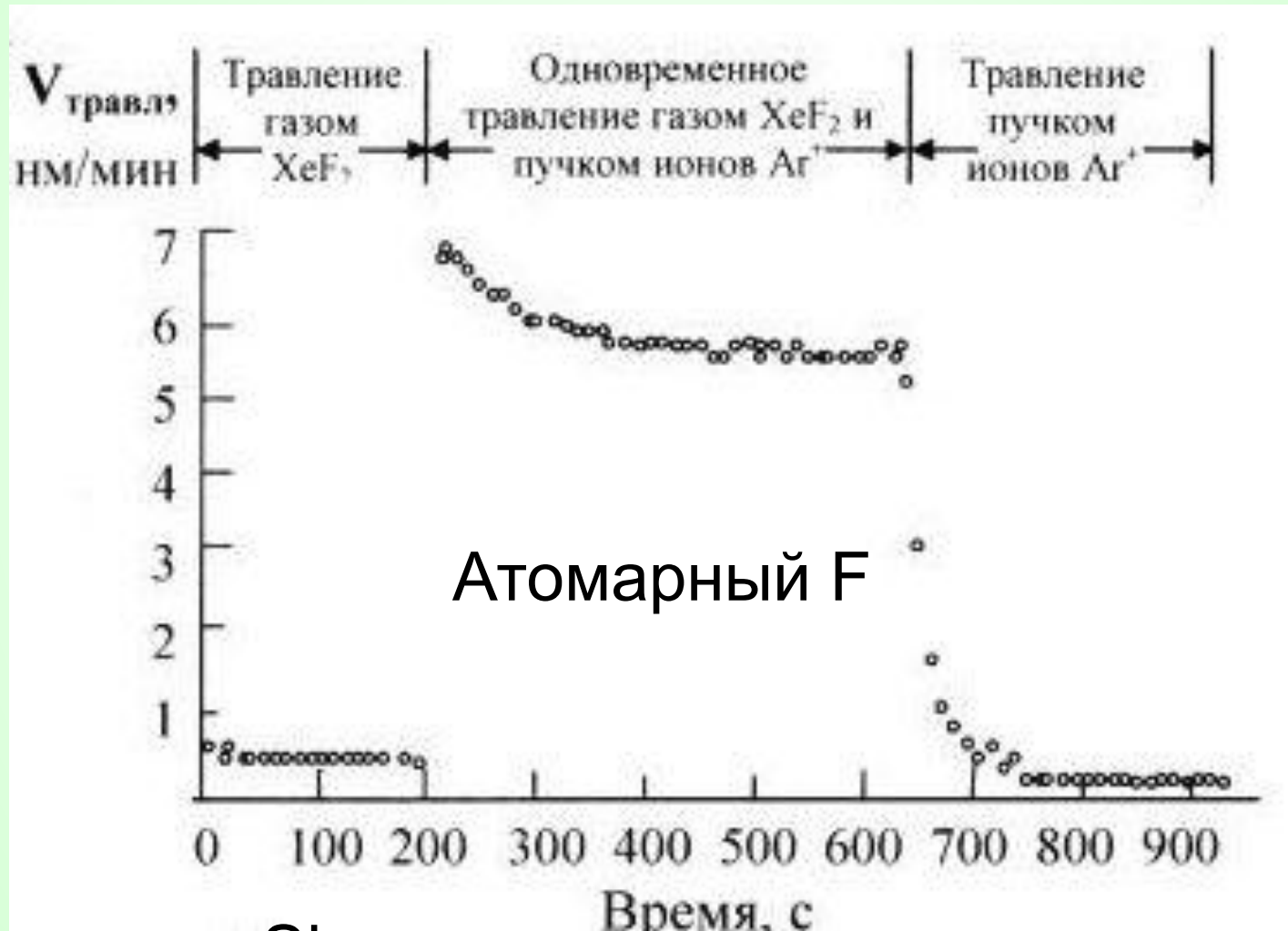
Газы, применяемые для сухого травления

Материал	Газы
Si	CF ₄ , CF ₄ +O ₂ , SF ₆ , SF ₆ +O ₂ , NF ₃ , Cl ₂ , CCl ₄ , CCl ₃ F, CCl ₂ F ₂ , CClF ₃
SiO ₂ , Si ₃ N ₄	CF ₄ , CF ₄ +H ₂ , C ₂ F ₆ , C ₃ F ₈ , CHF ₃
Al, Al—Si, Al—Cu	CCl ₄ , CCl ₄ +Cl ₂ , SiCl ₄ , BCl ₃ , BCl ₃ +Cl ₂
Фоторезист	O ₂

Механизмы влияния ионного облучения

- Обеспечивает диссоциацию молекул травящих газов
- Создает дефекты на поверхности, катализирующие хемосорбцию или реакцию
- Способствует удалению нелетучих остатков

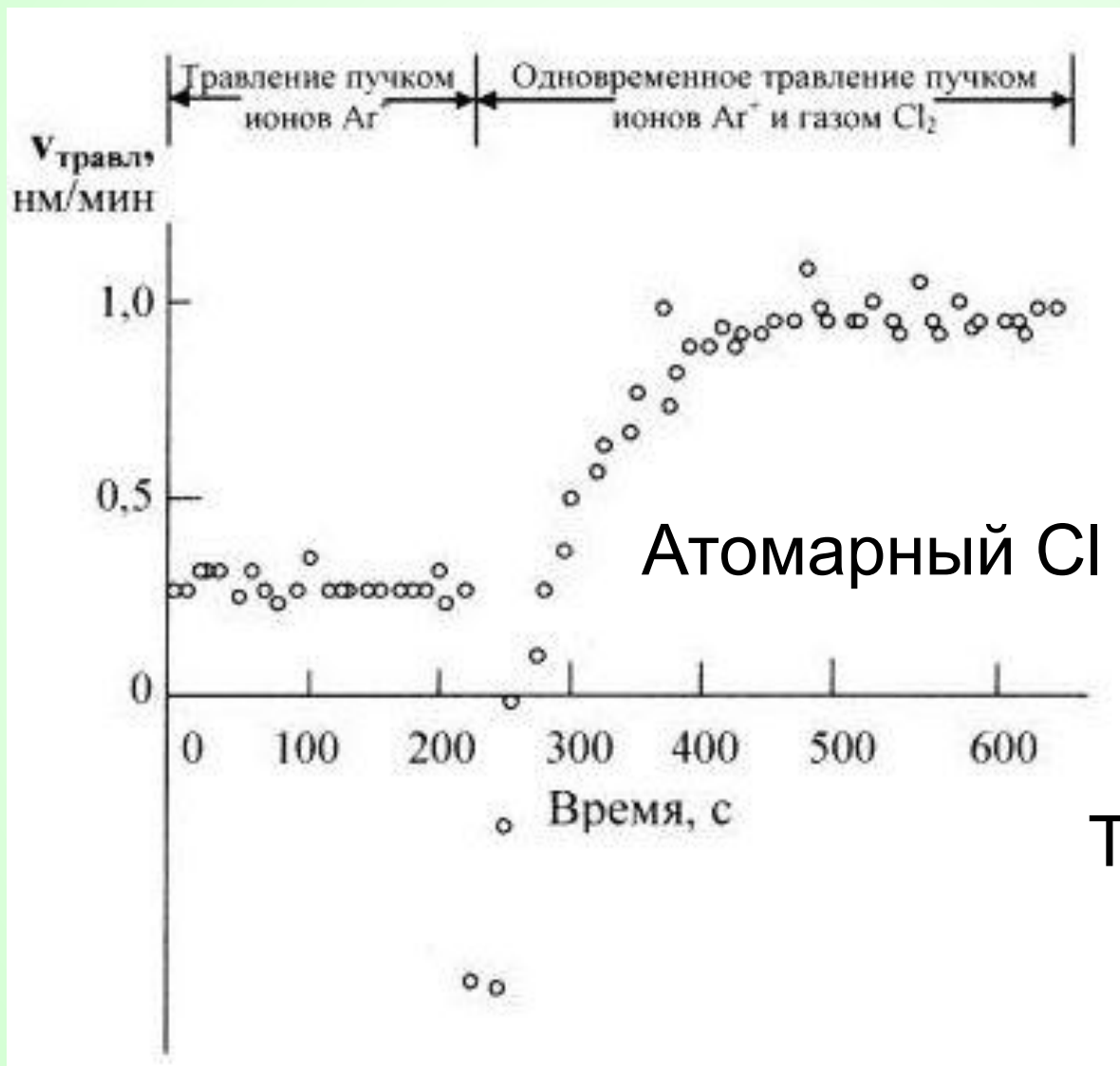
Ионно-ускоряемая реакция



Травление Si

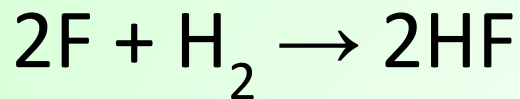
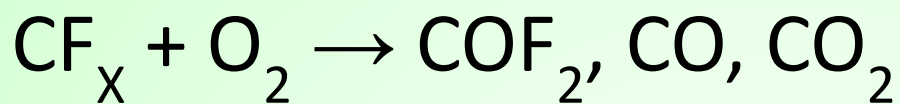
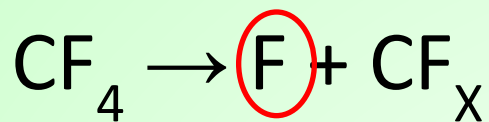
Энергия ионов 450 эВ

Ионно-возбуждаемая реакция

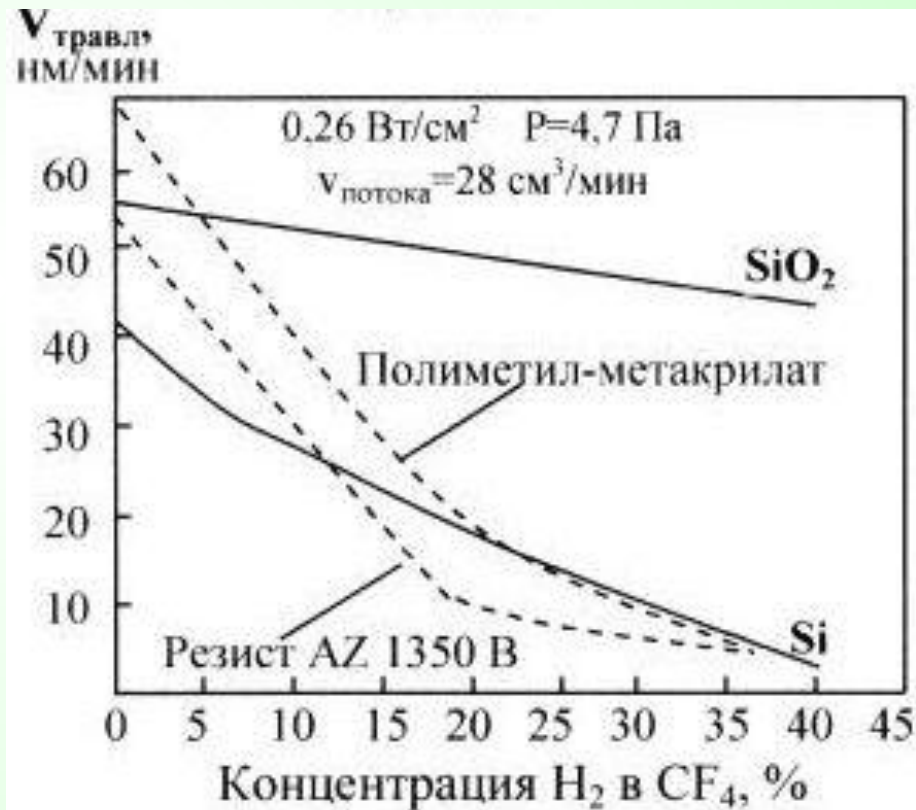
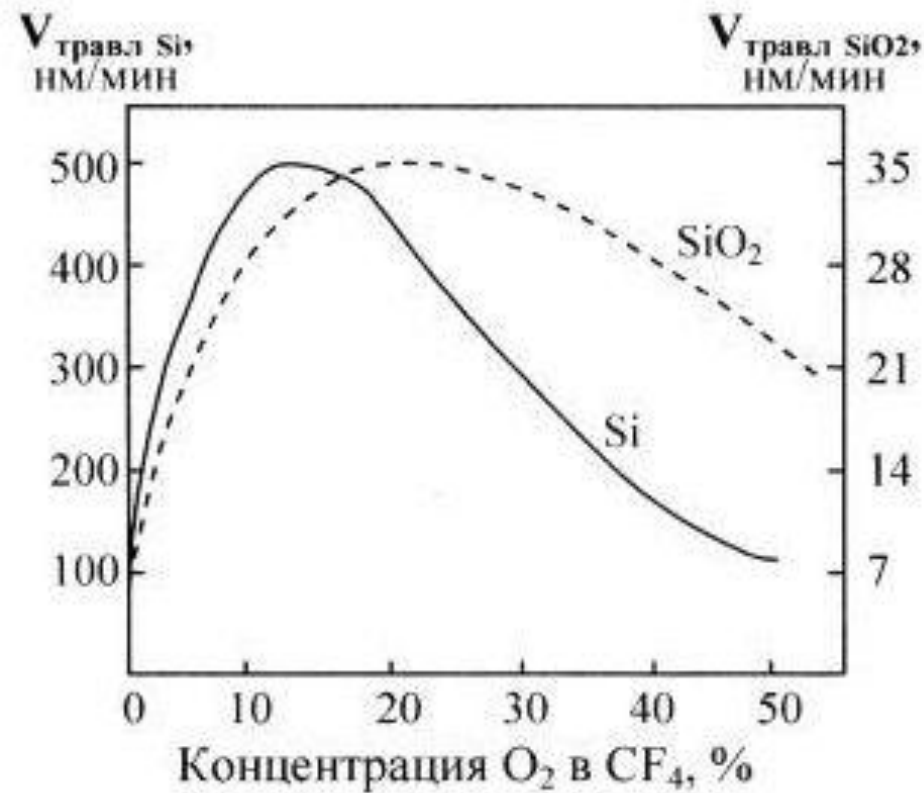


Энергия
ионов
450 эВ

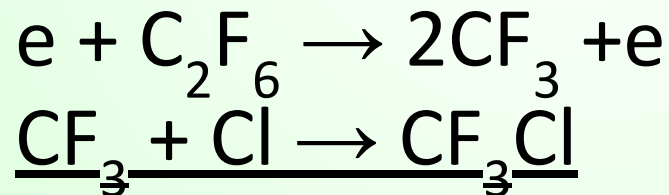
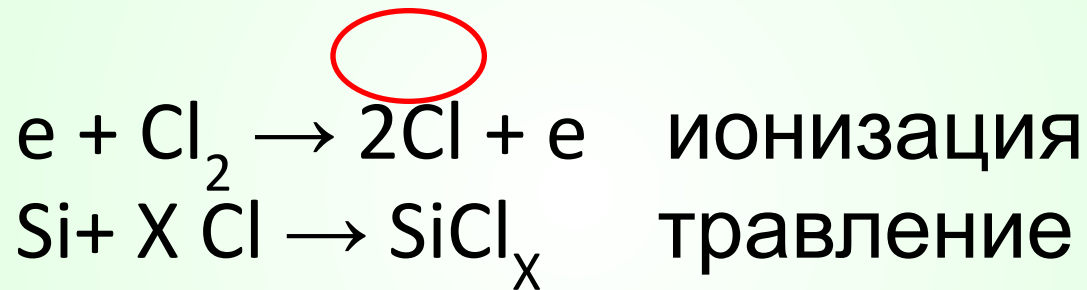
Травление Si



CF_x не травит Si,
но травит SiO_2

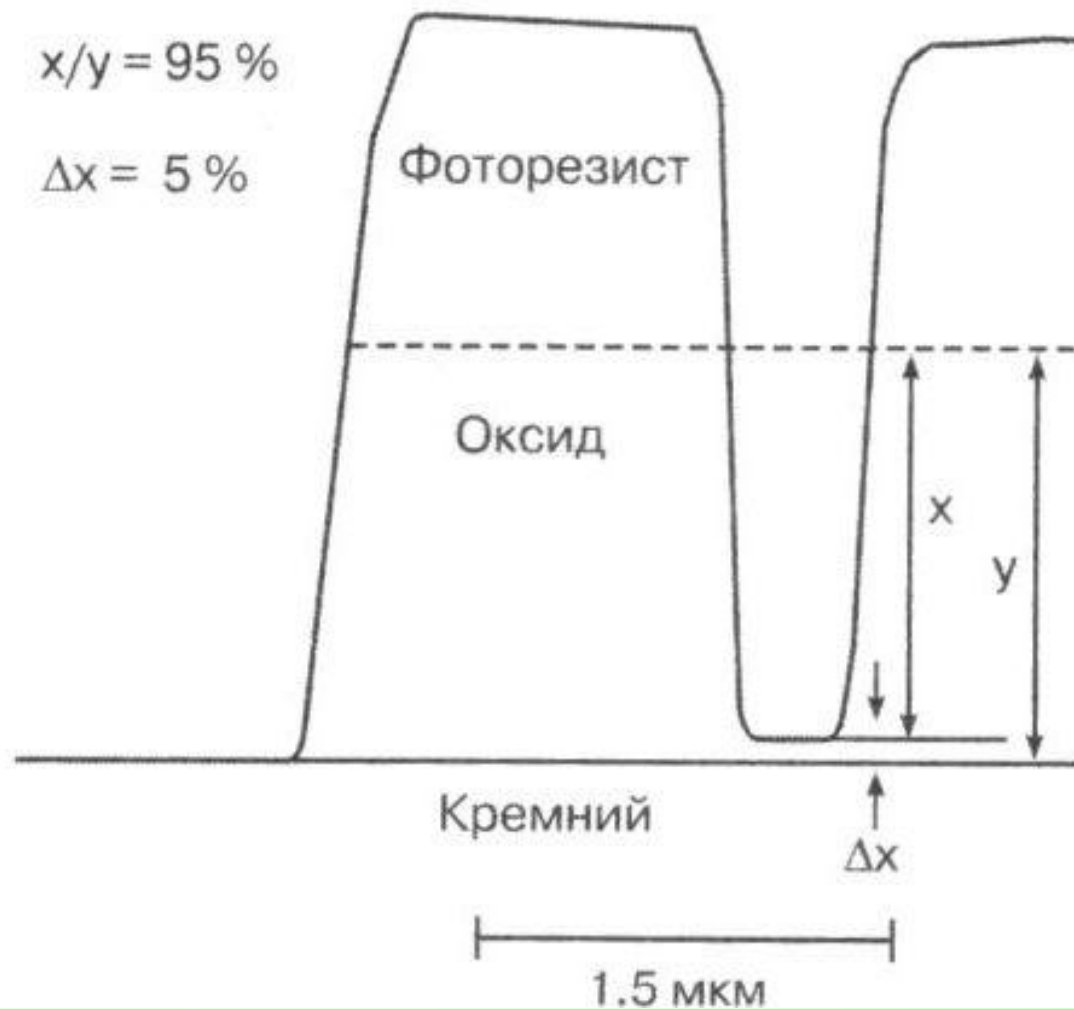
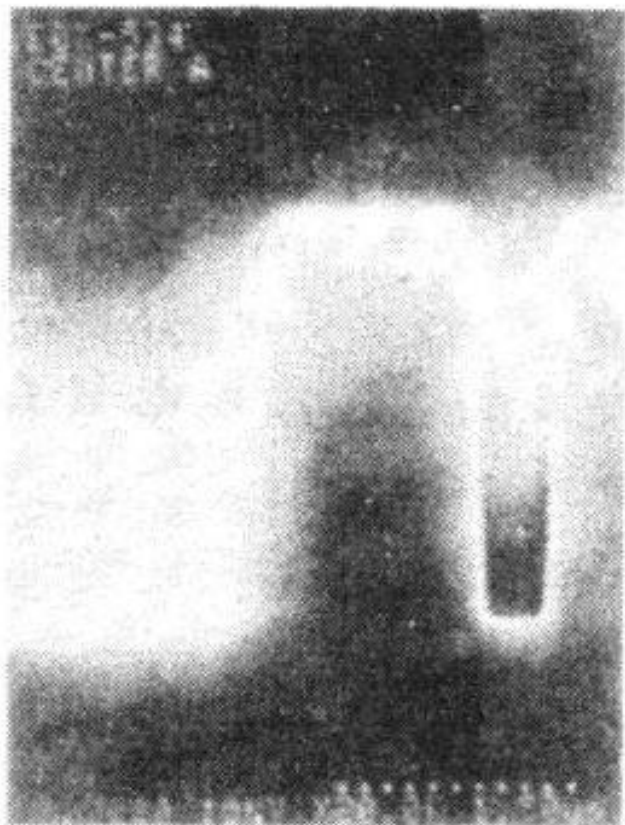


Для уменьшения бокового травления **добавляют C_2F_6 в Cl_2**



подавляется ионным
облучением

«Загрузочный эффект»



Побочные эффекты

- Повторное осаждение
- Осаждение полимеров
- Радиационные повреждения
- Загрязнения материалом маски и т. д.

Определение момента окончания травления

- Регистрация оптического отражения
- Регистрация концентрации травящих компонентов
- Анализ продуктов реакции