

V. ТОНКИЕ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

1. К.Л.Чопра “Электрические явления в тонких пленках”. М., Мир, 1972..
2. Ю.Ф.Комник “Физика металлических пленок” М., Атомиздат, 1979
3. “Технология тонких пленок” ред. Л.Майссел, Р.Глэнг.
М., Советское радио, 1979.т.1,2.
4. "Поверхностные свойства твердых тел" Ред. М.Грин М., Мир, 1972

В массивных полупроводниковых приборах полезная часть сосредоточена в узком слое (например, p-n- переход)

В массивных полупроводниковых приборах полезная часть сосредоточена в узком слое (например, p-n- переход)

Остальная часть объема - балласт, снижающий коэффициент полезного действия

Широкие перспективы



Использование пленочных структур с толщиной слоев в доли микрона

Крайне важным является начальный этап, задающий направление процессам роста.

Пленки находятся в состоянии далеко от термодинамического равновесия

5.1. Механизмы роста пленок

Морфология пленок определяется кинетикой роста

Зависит от



- Особенности взаимодействия частиц с поверхностью и друг с другом.

- Условий роста



Температура подложки, величина потока частиц, качество поверхности

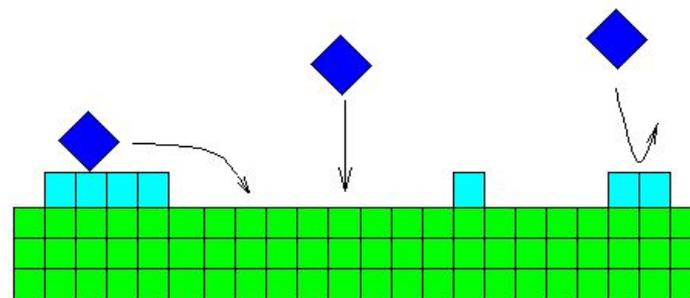
Три механизма роста пленок

1. Послойный рост или рост по механизму Франка-ван-дер-Мерве (FM, Frank – van der Merve)

Последовательно, слой за слоем.



Появление частиц в следующем слое возможно только при условии полного завершения предыдущего



Пленки с достаточно крупными блоками, имеющими определенное кристаллографическое строение

Пленки с достаточно крупными блоками, имеющими определенное кристаллографическое строение

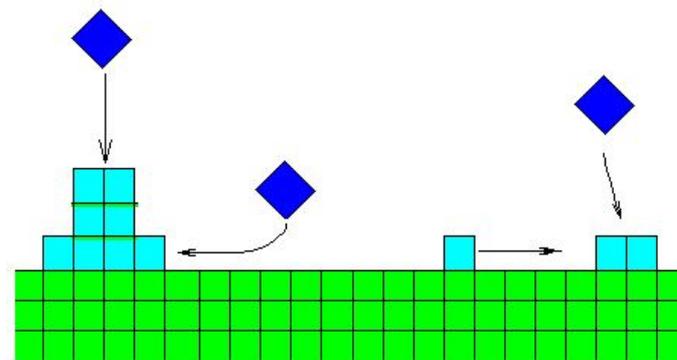
Определенные физико-химические свойства.

2. Другой - диаметрально противоположный - островковый или рост по Фольмеру-Веберу (VW, Volmer-Weber)

Образование зародышей



При первой возможности стремятся объединиться и образовать кластеры, или присоединиться к уже существующим



Пленки имеют мелкокристаллическую структуру

Размеры блоков определяются условиями формирования

Температура подложки, ее чистота, величина потока частиц, направление пучка, вакуумные условия и т.д.

3. Третий - Странски-Крастоновой (SK, Stranski-Krastanov)

3. Третий - Странски-Крастоновой (SK, Stranski-Krastanov)

Рост островков только после завершения формирования первого монослоя

Механизм роста определяется соотношением поверхностных энергий.

При квазиравновесном процессе

$$\Delta = \sigma_f + \sigma_i - \sigma_s$$

σ_f - поверхностная энергия пленки

σ_i - энергия межфазовой границы раздела.

σ_s - чистой поверхности подложки

$$\Delta < 0 \quad (\sigma_f + \sigma_i <$$

$$\sigma_s).$$

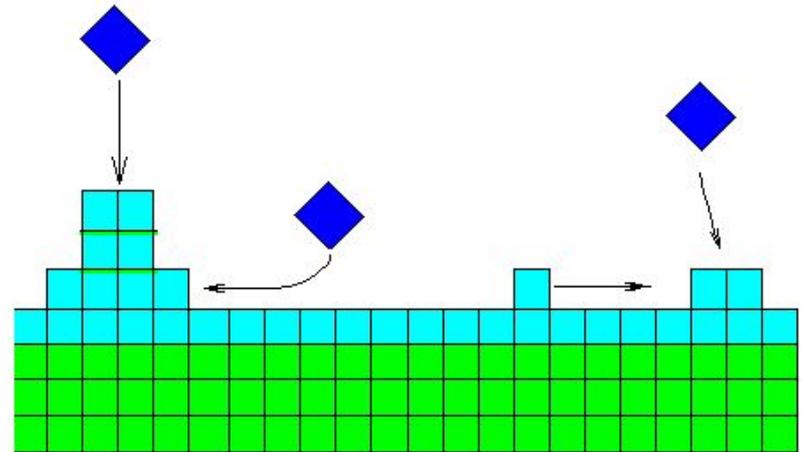
$$\Delta > 0$$



Механизм Фольмера-Вебера



Франк-ван-дер-Мерве или Странски-Крастоновой в зависимости от того, выполняется условие для последующих слоев или нет.



В большинстве случаев величины поверхностной энергии неизвестны.

В большинстве случаев величины поверхностной энергии неизвестны.

σ_f в случае пленки может значительно отличаться от σ для массивного вещества

Еще хуже с определением величины σ_i .

Необходимо учитывать энергию, связанную с имеющимися напряжениями в пограничных слоях из-за несоответствия контактирующих решеток.

Наиболее удобный метод определения механизма роста - оже-спектроскопия



Зависимости интенсивностей пиков, соответствующих атомам адсорбата и атомам пленки, от количества осажденного материала

Индексы: S - поверхность, A - пленка

I_{s0}

Механизм Франка – ван дер Мерве

 I_{s0} 

Поток оже-электронов от атомов подложки при отсутствии адсорбированных частиц

Напыление адсорбата приводит к уменьшению выхода оже-электронов подложки



Ослабляется поток первичных электронов, из-за поглощения в слое адсорбата

Изменяются условия отражения первичных электронов от поверхности образца.

Основная причина  Поглощение оже-электронов подложки в слое адсорбата

λ - длина свободного пробега электронов, θ - доля поверхности, покрытая пленкой
 d - толщина монослойного покрытия,

$$I_s(\theta) = I_{s0}(1 - \theta) + I_{s0}\theta \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\right)$$

$$0 \leq \theta \leq 1$$

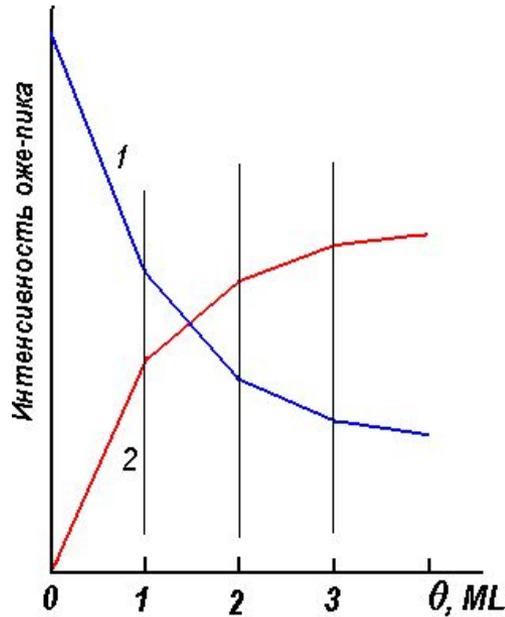
Поток с чистых участков поверхности



Поток с участков, покрытых монослойной пленкой адсорбата.

Оже-сигнал уменьшается линейно

После завершения I слоя начинается рост III слоя.



После завершения I слоя начинается рост III слоя.

$$I_S(\theta) = I_{S0} \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\right)(2 - \theta) + I_{S0}(\theta - 1) \exp\left(-\frac{2d}{\lambda}\right), \quad 1 \leq \theta \leq 2$$

От участков с одним монослоем



С двумя монослоями

Оже-сигнал также меняется линейно, но наклон меньше



$I_S(\theta)$ представляет собой ломаную линию

Излом - завершение застройки очередного монослоя

Для оже-электронов адсорбата аналогично

$$I_a = I_1 \theta$$

$$0 \leq \theta \leq 1$$

$$I_a = I_1 + I_1(\theta - 1) \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\right)$$

$$1 \leq \theta \leq 2$$

$$I_a = I_1 + I_1 \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\right) + I_1(\theta - 2) \exp\left(-\frac{2d}{\lambda}\right)$$

$$2 \leq \theta \leq 3 \text{ и т.д.}$$

I_1 – интенсивность оже-электронов от одного монослоя

Зависимость - ломанная линия

Островковый рост

Островковый рост

Допустим, атомы закрепляются в месте падения



Должны располагаться в соответствии с распределением Пуассона

Пусть m независимых испытаний, в каждом вероятность события A равна p

Вероятность, что событие A появится k раз



$$P_{k,m} = C_m^k p^k (1-p)^{m-k}$$

При малых p



$$P_{k,m} \approx \frac{(mp)^k}{k!} e^{-mp}$$



Формула Пуассона

В данном случае $p=1/n_0$

n_0 – число адсорбционных центров.

m = числу адсорбированных частиц n

При средней толщине покрытия θ вероятность обнаружения на поверхности структуры в k атомных слоев



$$P_k = \frac{\theta^k}{k!} e^{-\theta}$$

Понижение оже-сигнала от подложки с увеличением покрытия по экспоненте

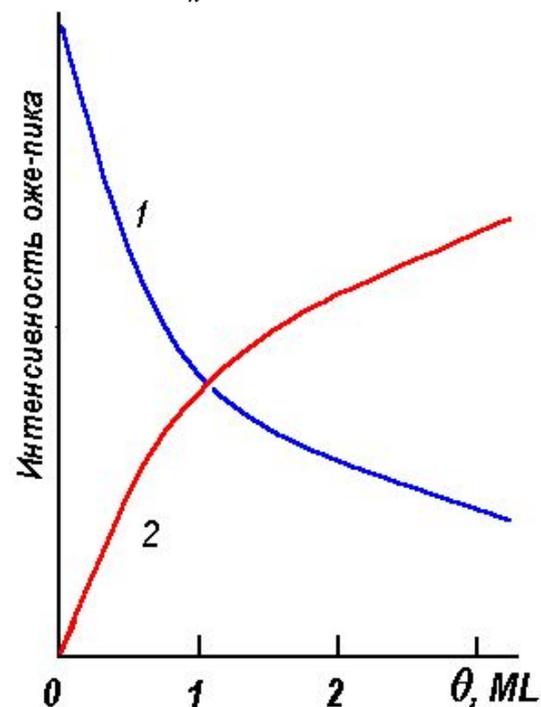
Интенсивность пучка оже-электронов от атомов подложки

$$I_S(\theta) = I_{S0} \sum_k P_k \exp(-kd/\lambda) = I_{S0} e^{-\theta} \sum_k \frac{\theta^k}{k!} \exp(-kd/\lambda) = I_{S0} e^{-\theta} \sum_k \frac{(\theta \exp(-d/\lambda))^k}{k!}$$


$$I_S = I_{S0} \exp\left[-\theta\left(1 - e^{-d/\lambda}\right)\right]$$

Понижение оже-сигнала от подложки с увеличением покрытия по экспоненте

Аналогичное выражение и для тока оже-электронов от атомов пленки. Экспоненциальный рост с увеличением концентрации адсорбата.



Нередко химическое взаимодействие

Рост по Странски-Крастановой

Промежуточный вариант



До монослоя – линейное
Затем –
экспоненциальное изменение

Возможна взаимная диффузия атомов подложки и пленки

Высокая концентрация в поверхностном слое дефектов облегчает проникновение атомов.



Размытие границы раздела фаз

Нередко химическое взаимодействие



Необходимо создание диффузионных барьеров между подложкой и пленкой

Тонкие слои оксидов или металлов между пленкой и подложкой.



Например, слои *W*, *Rh*, *Pt* предотвращают диффузию атомов *Au*, пленки *Ni* являются барьером в системе *Cu-Au*.

