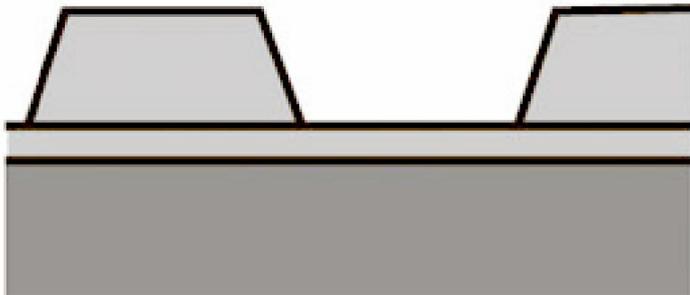
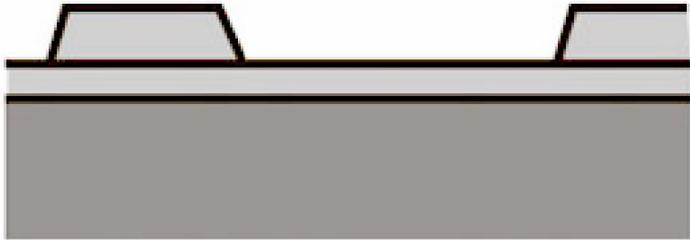
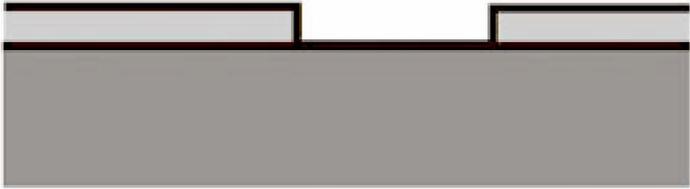


***МЕТОДЫ  
ВЫРАЩИВАНИЯ  
НАНОСТРУКТУР***

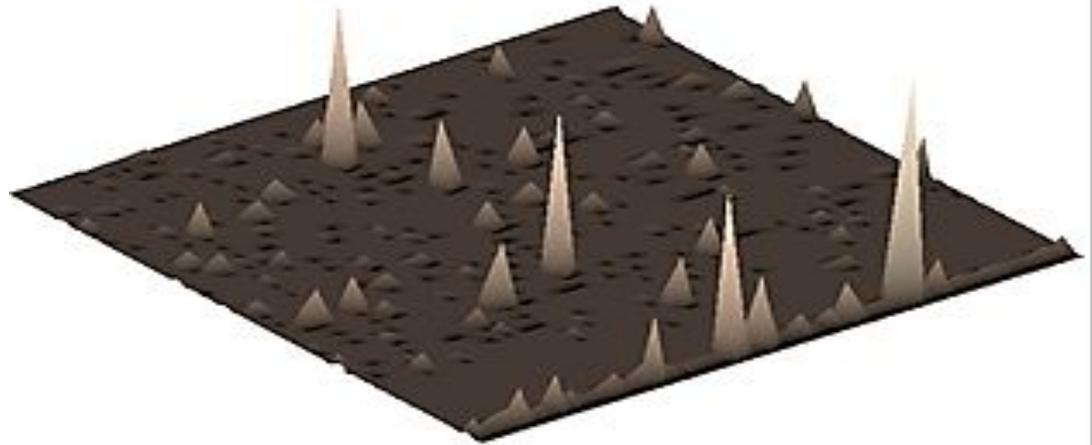
# Эпитаксиальный рост тонкой пленки А на подложке Б

- Монослойный или двумерный рост (атомы группы А притягиваются к подложке сильнее, чем друг к другу. В результате этого атомы сначала объединяются, образуя монослойные островки, которые затем расширяются и сливаются, образуя первый монослой).
- Метод Волмера-Вебера (атомы группы А сильнее притягиваются друг к другу, чем к подложке. Таким образом, они сначала будут объединяться, формируя островки, в ходе эпитаксии эти островки будут расти и в конце концов образуют сплошную пленку).
- Метод Странского-Крастанова (атомы А сначала будут распределяться по плоскости, создавая или единственный монослой, или тонкую пленку из малого числа монослоев).
- Важным фактором, управляющим ростом эпитаксиальной пленки является несоответствие

# Метод Странского-Кростанова

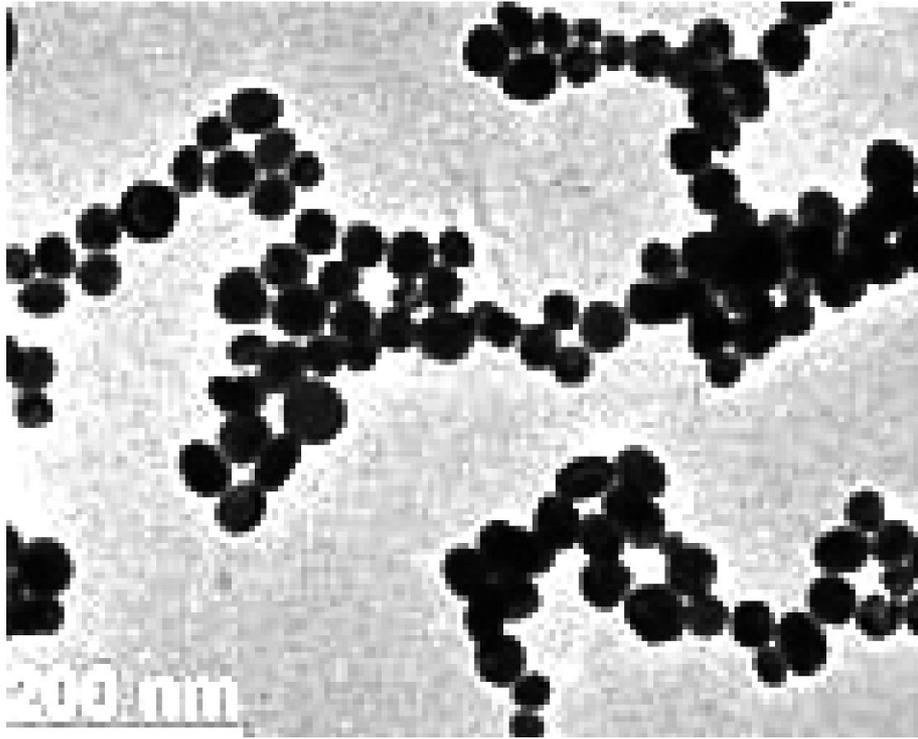


Рост квантовых точек  
методом Странского-  
Кростанова



Поверхность пленки,  
содержащая квантовые  
точки

# Самоорганизация и самосборка наноструктур



Самосборка наночастиц золота

Самоорганизация — это самопроизвольное (не требующее внешних организующих воздействий) установление в неравновесных диссипативных средах устойчивых регулярных структур.

Наличие трех условий – нелинейность, неравновесность и незамкнутость – приводит к самоорганизации, в результате которой формируются фрактальные кластеры.

# Газофазный синтез

Газофазный синтез с конденсацией паров (метод испарения и конденсации) — метод получения нанопорошков металлов, сплавов или соединений путем конденсации их паров при контролируемой температуре в атмосфере инертного газа низкого давления.

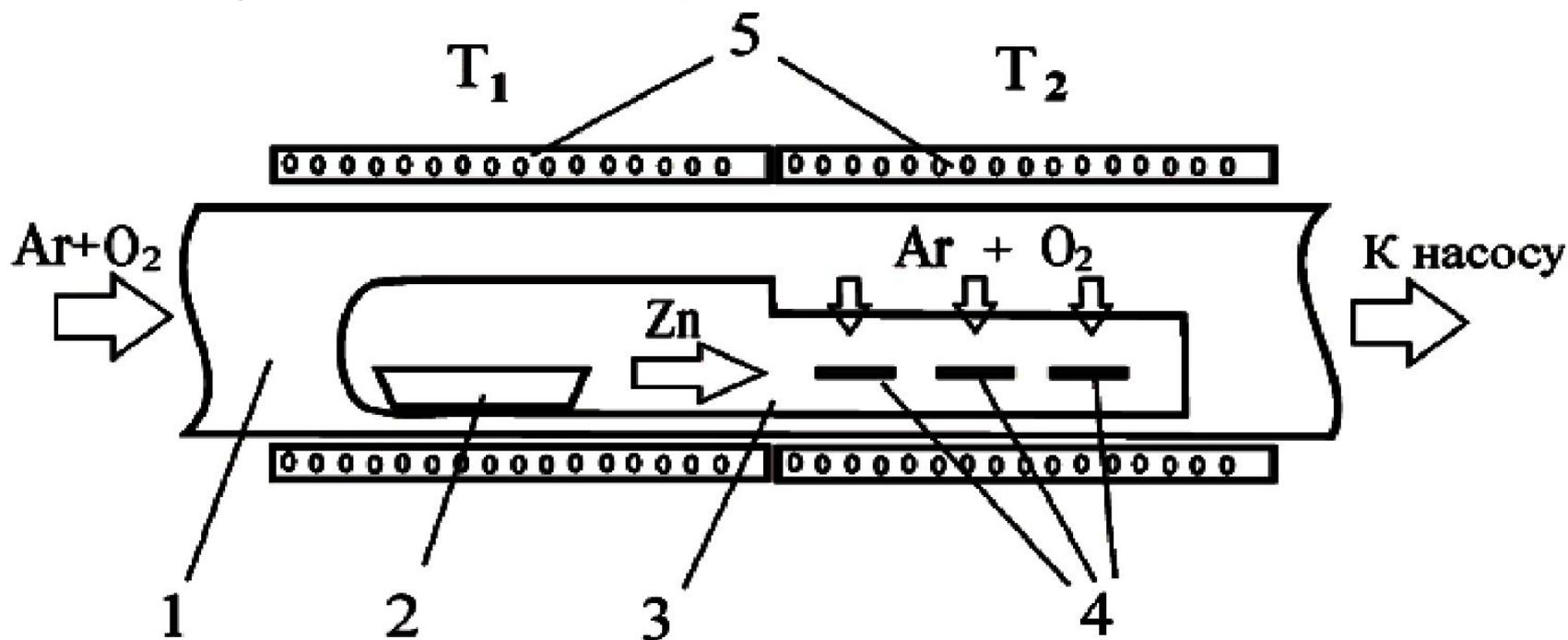
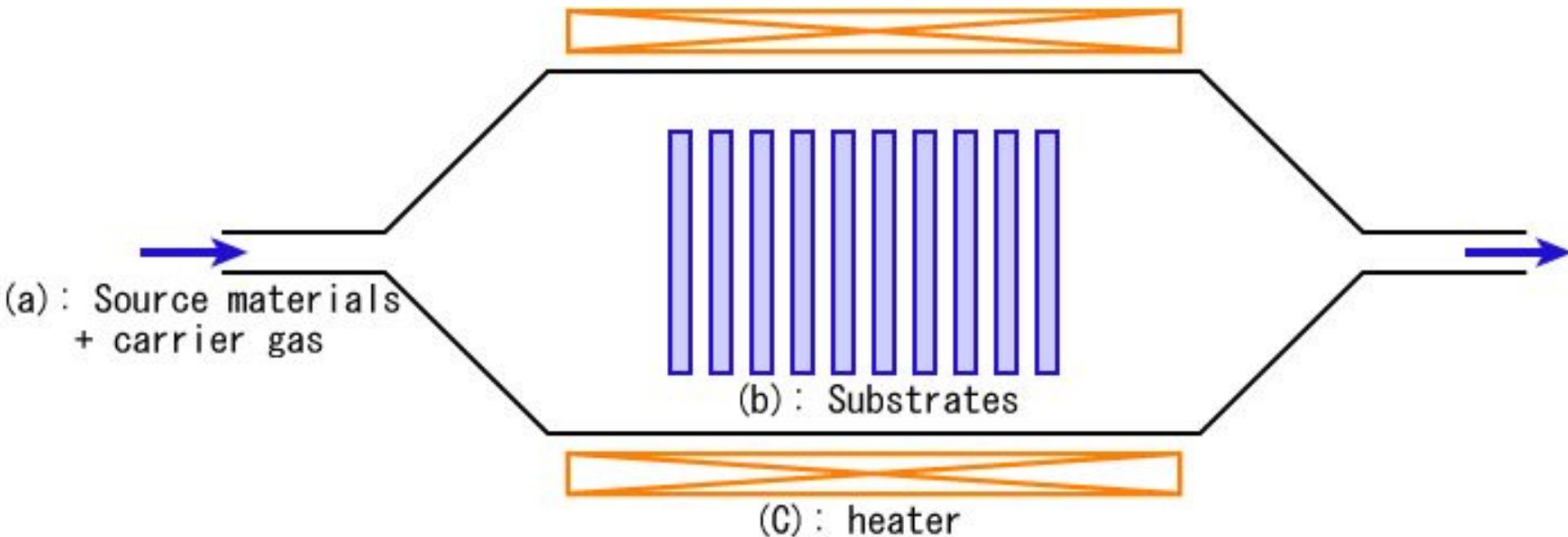


Схема рабочей части установки для синтеза нанокристаллов оксида цинка.

1 – проточный кварцевый реактор, 2 – лодочка с цинком, 3 – 5

# Плазмохимический синтез

Плазмохимический синтез — синтез преимущественно порошков из разных соединений металлов и неметаллов в результате химических реакций элементов в возбужденном состоянии в низкотемпературной плазме ( $T \leq \text{до } 10^4 \text{ K}$ ).

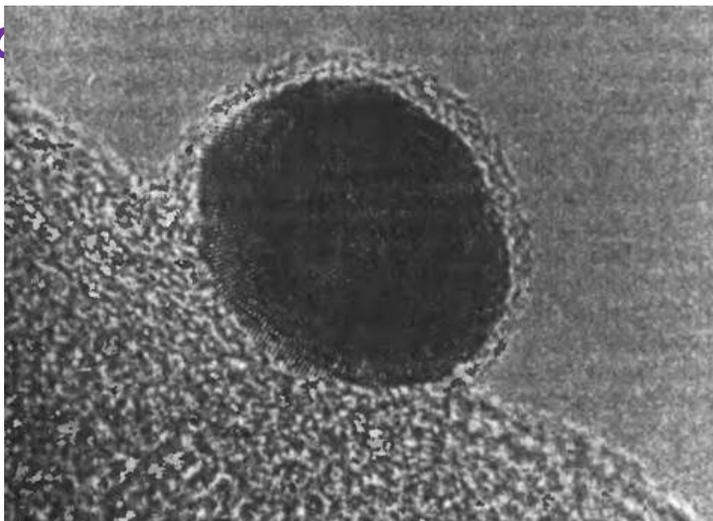


Термический плазмохимический синтез с подогревом стен

## растворов

Осаждение из коллоидных растворов — метод получения изолированных наночастиц и нанопорошков, заключающийся в прерывании химической реакции между компонентами раствора, после чего система переходит из жидкого коллоидного состояния в дисперсное твердое состояние.

(Коллоидная (дисперсная) система — система, в которой дискретные частицы, капли или пузырьки дисперсной фазы, имеющие размер хотя бы в одном из измерений от 1 до 100 нм, распределены в другой фазе, обычно непрерывной, отличающейся от первой по составу или агрегатному состоянию (дисперсионной средой).

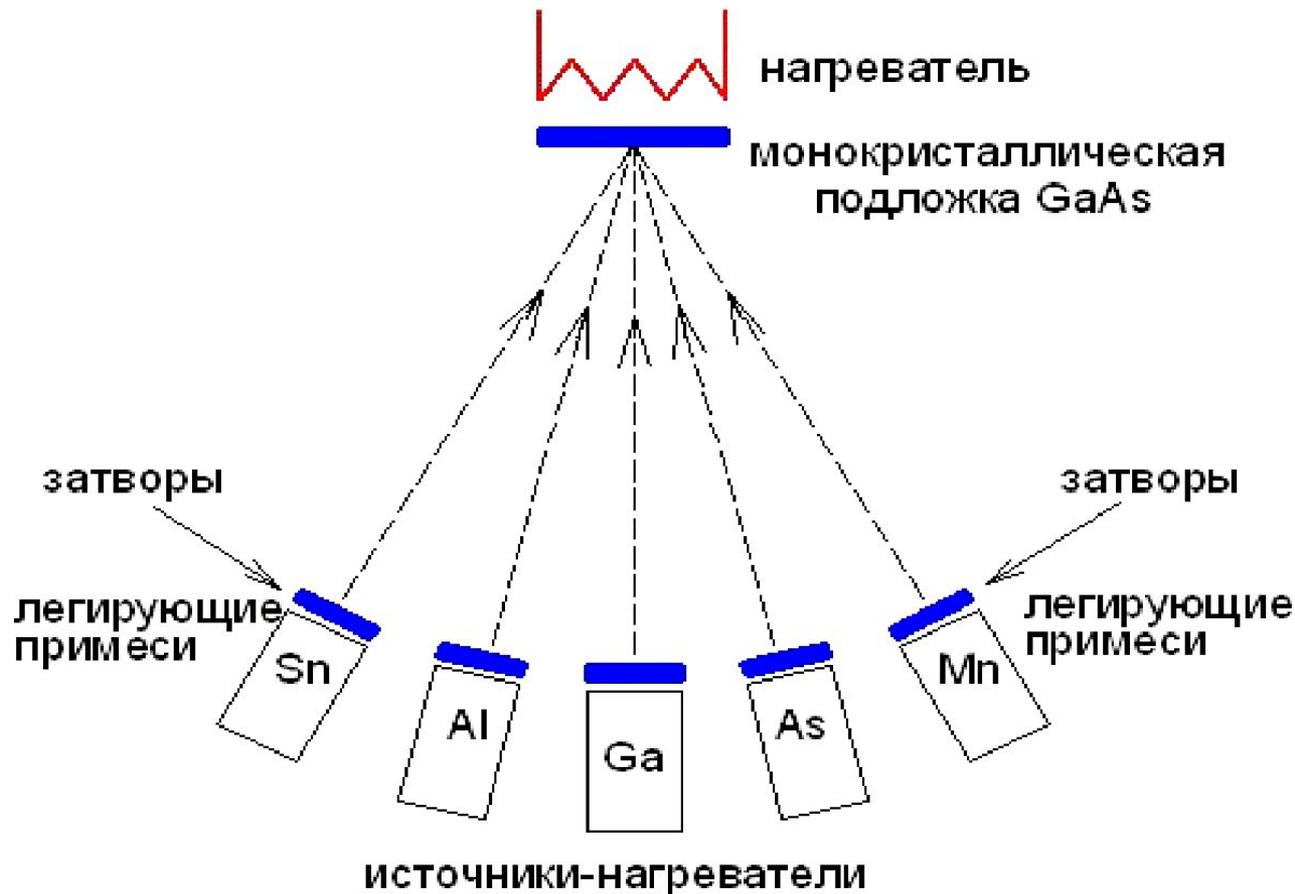


Коллоидная частица золота размером около 11×13 нм, покрытая оболочкой лиганда  $P(m-C_6H_4SO_3Na)_3$

# Молекулярно-лучевая

## эпитаксия

Молекулярно-лучевая эпитаксия или молекулярно-лучевая эпитаксия — эпитаксиальный рост в условиях сверхвысокого вакуума. Позволяет выращивать гетероструктуры заданной толщины с моноатомно гладкими гетерограницами.



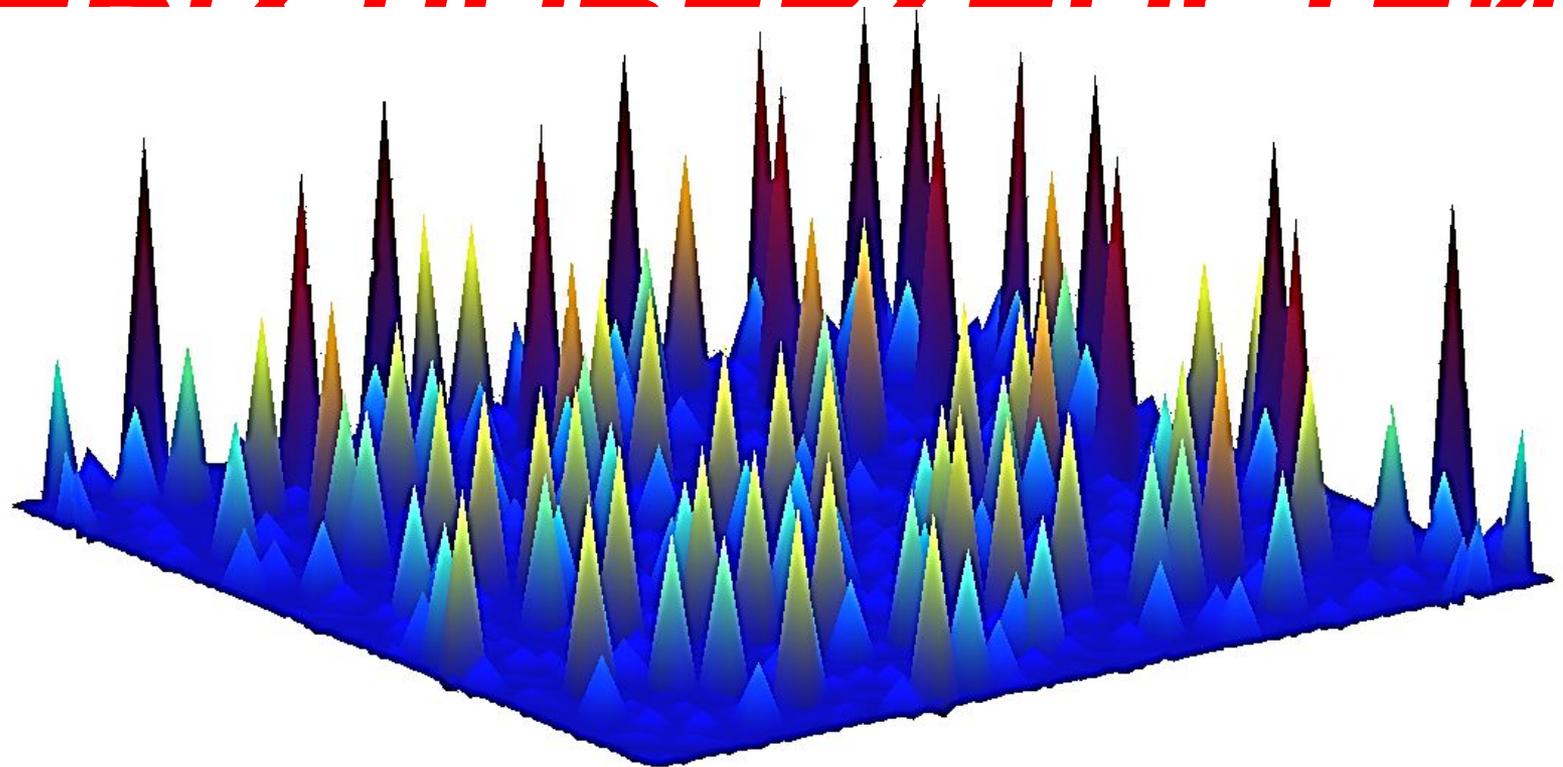
## **ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ**

*При термическом разложении обычно используют сложные металлоорганические соединения, гидроксиды, нитраты и т.д., которые при определенной температуре распадаются с образованием синтезируемого вещества и выделением газовой фазы.*

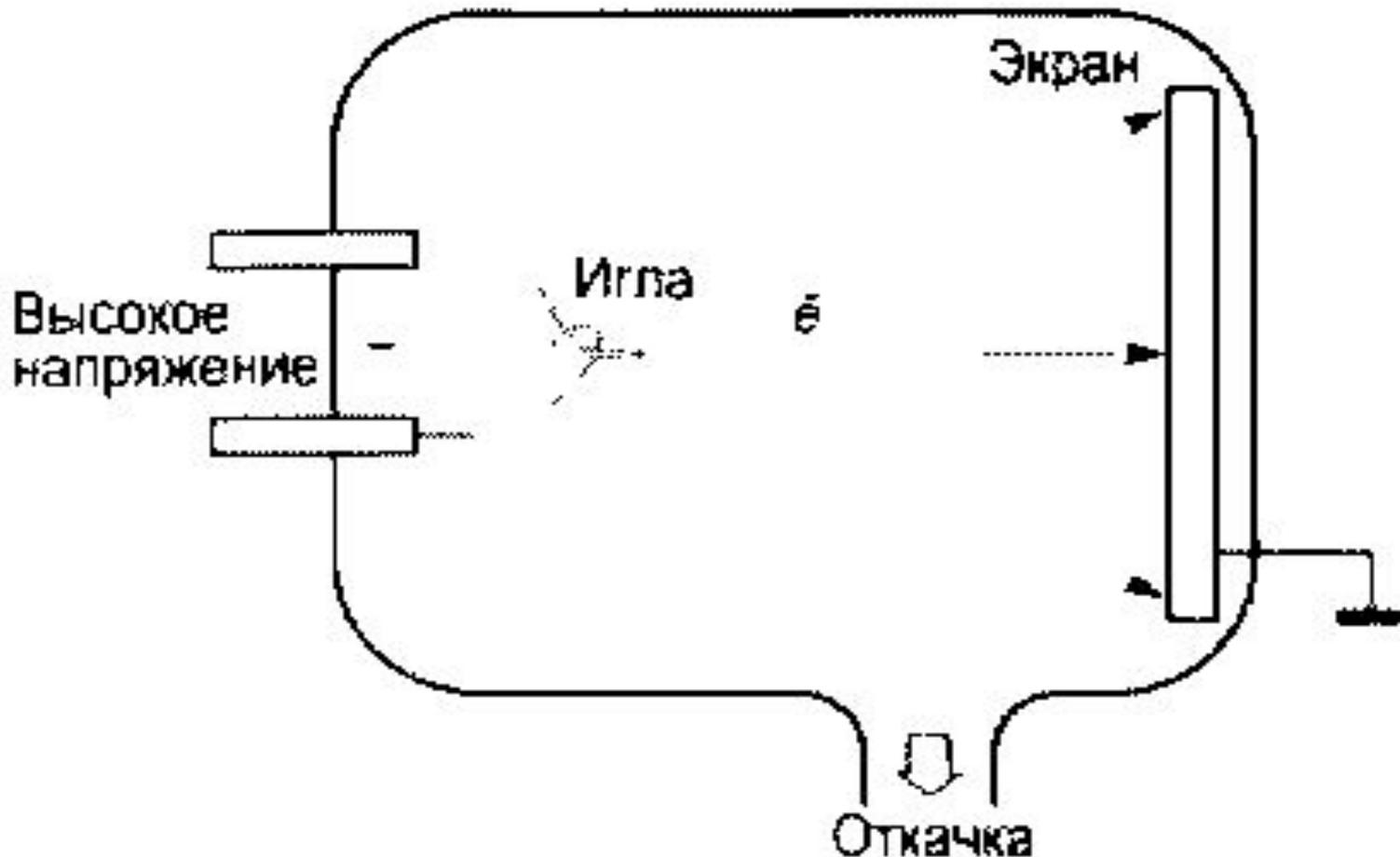
## **МОСГИДРИДНАЯ ГАЗОФАЗНАЯ ЭПИТАКСИЯ**

*При мосгидридной газофазной эпитаксии (МОСГЭ) гетероструктуры выращиваются в газофазном реакторе при атмосферном давлении. Газовой фазой в таких реакторах обычно является горячий поток водорода, смешанный с атомами осаждаемого*

# ***МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАН НЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ***

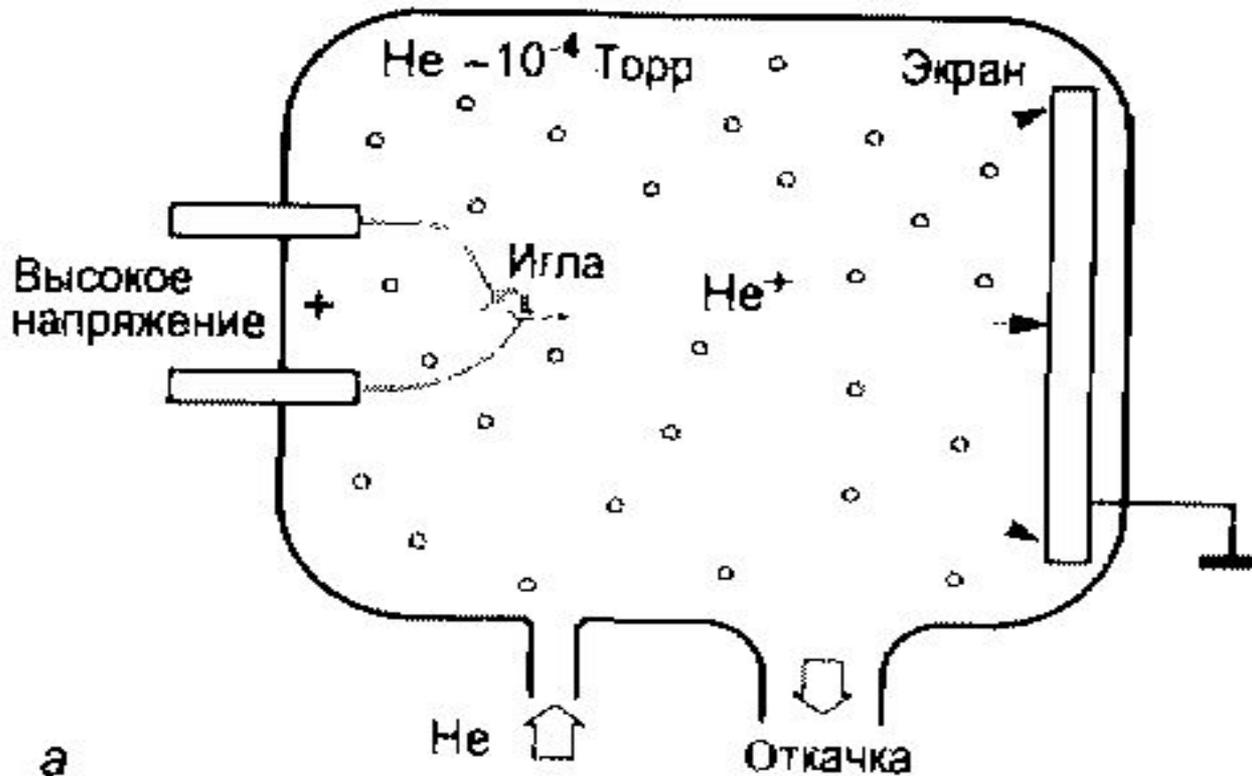


# Полевая эмиссионная микроскопия



Экспериментальная установка для полевой эмиссионной  
микроскопии

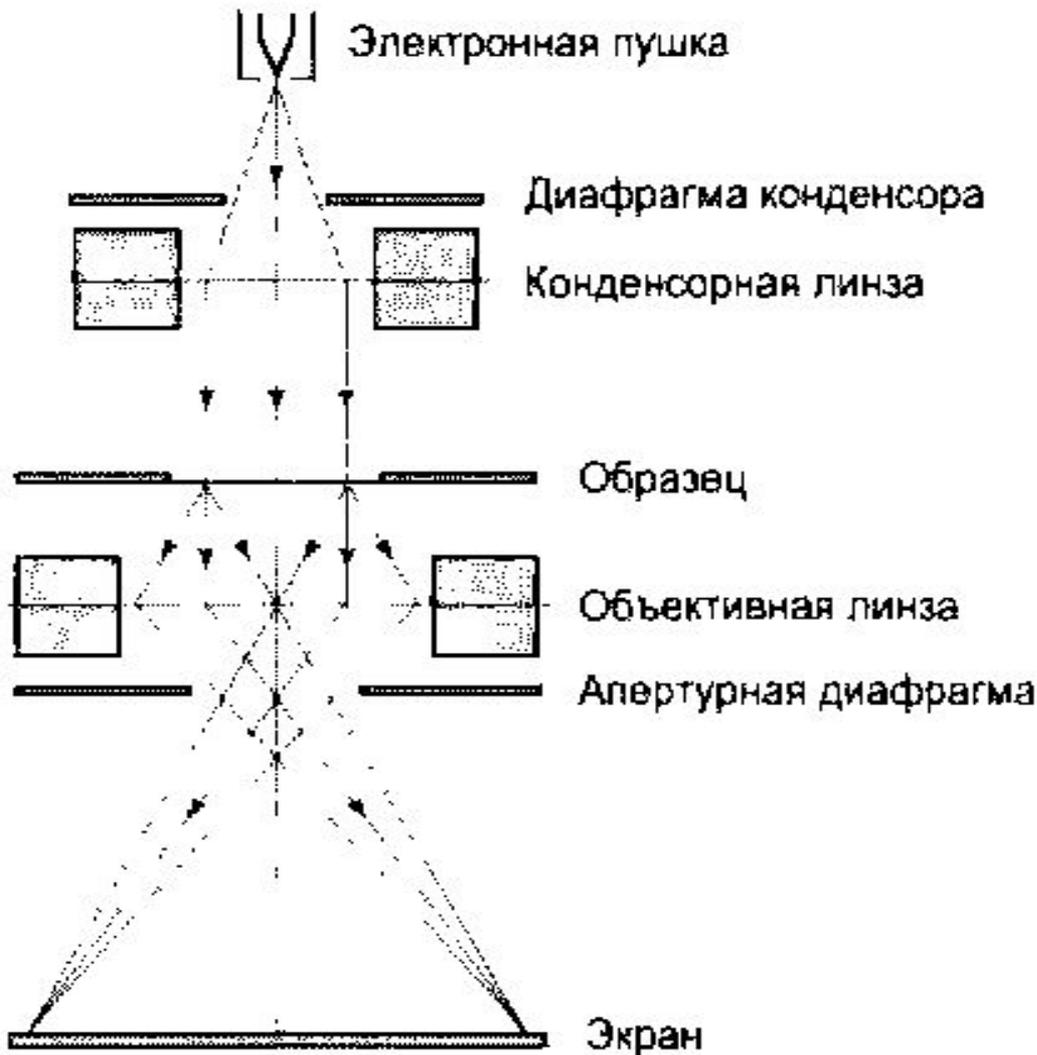
# Полевая ионная микроскопия



Экспериментальная установка для полевой эмиссионной  
микроскопии

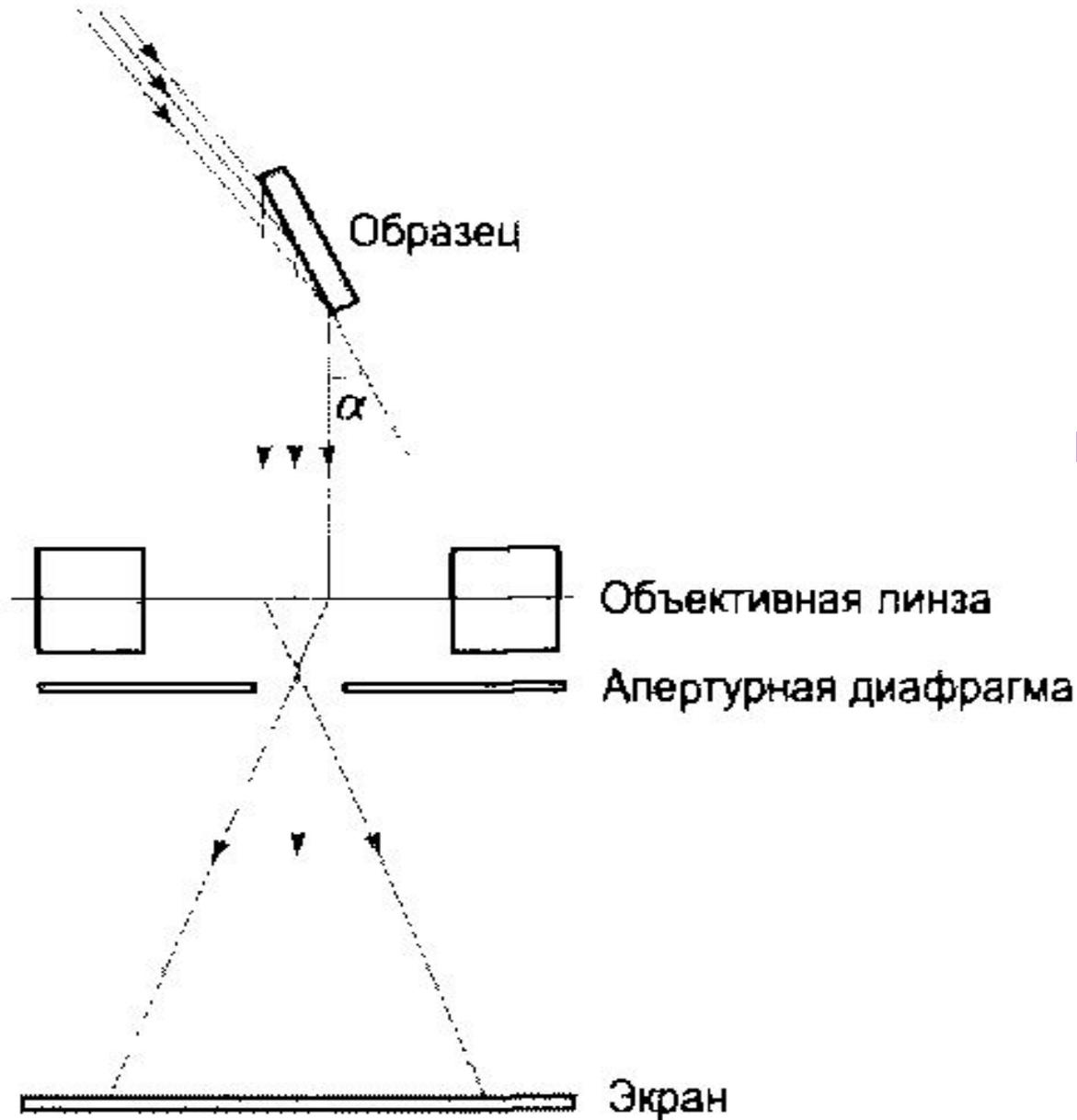
# Просвечивающая электронная микроскопия

(TEM – transmission electron microscopy)



Схематическая  
диаграмма,  
иллюстрирующая  
формирование  
изображение в  
просвечивающем  
микроскопе

# Отражательная электронная микроскопия



Схематическая диаграмма, иллюстрирующая получение изображения в отражающем электронном микроскопе

# Микроскопия медленных электронов

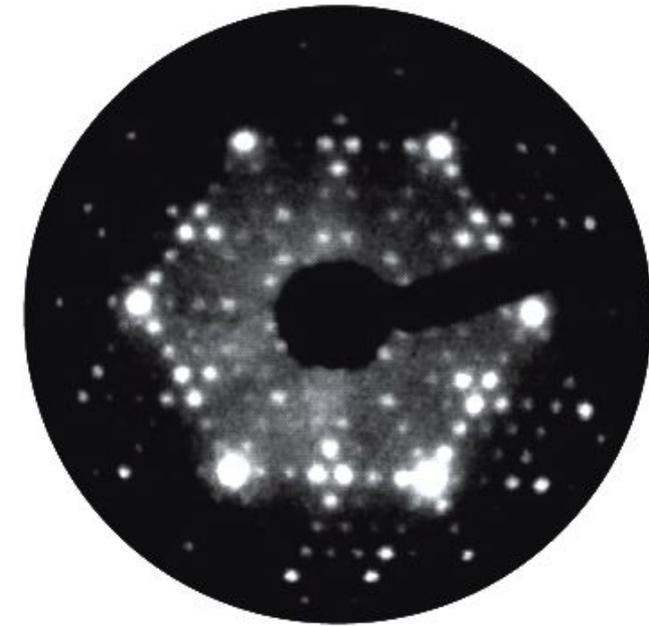
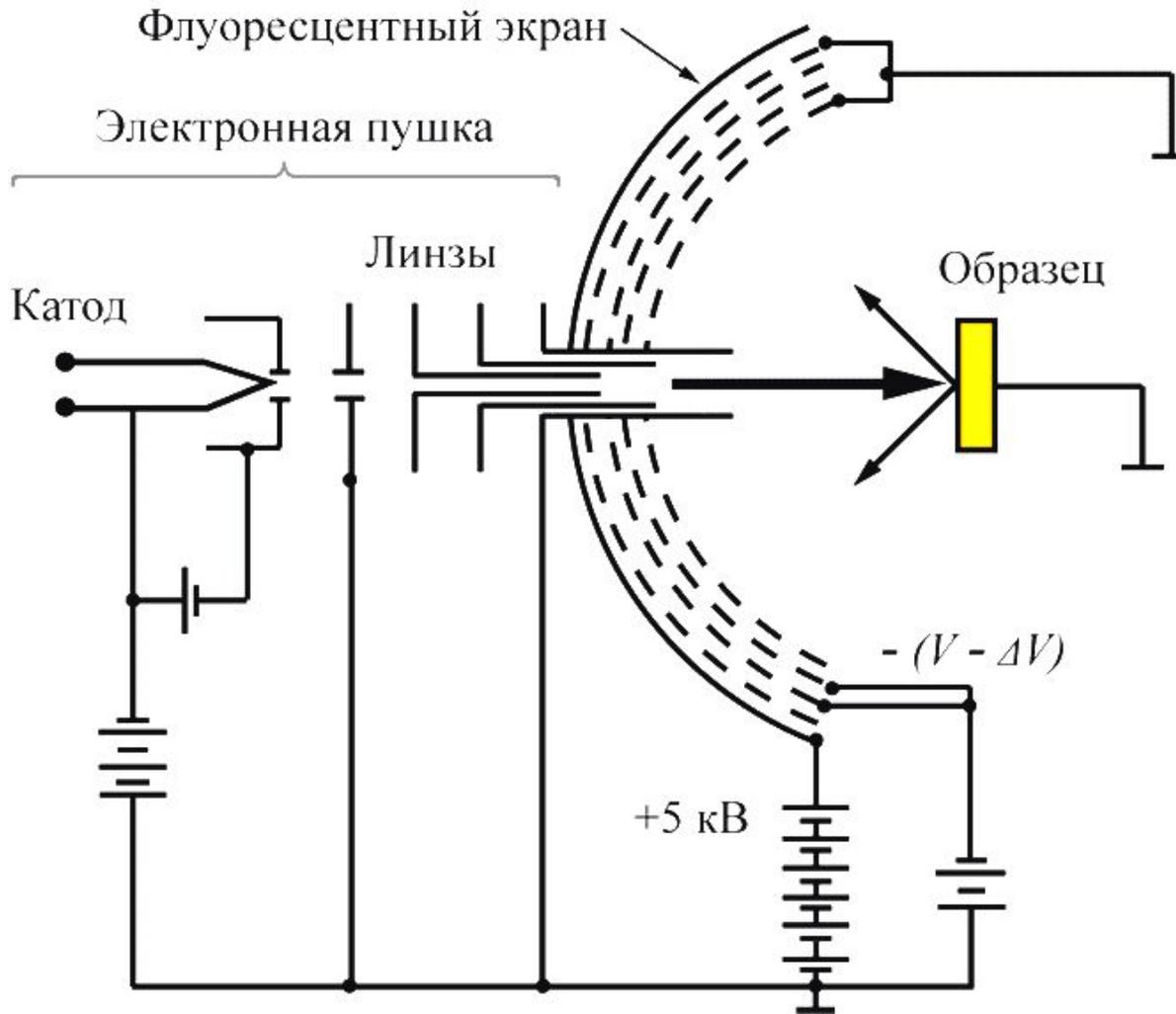
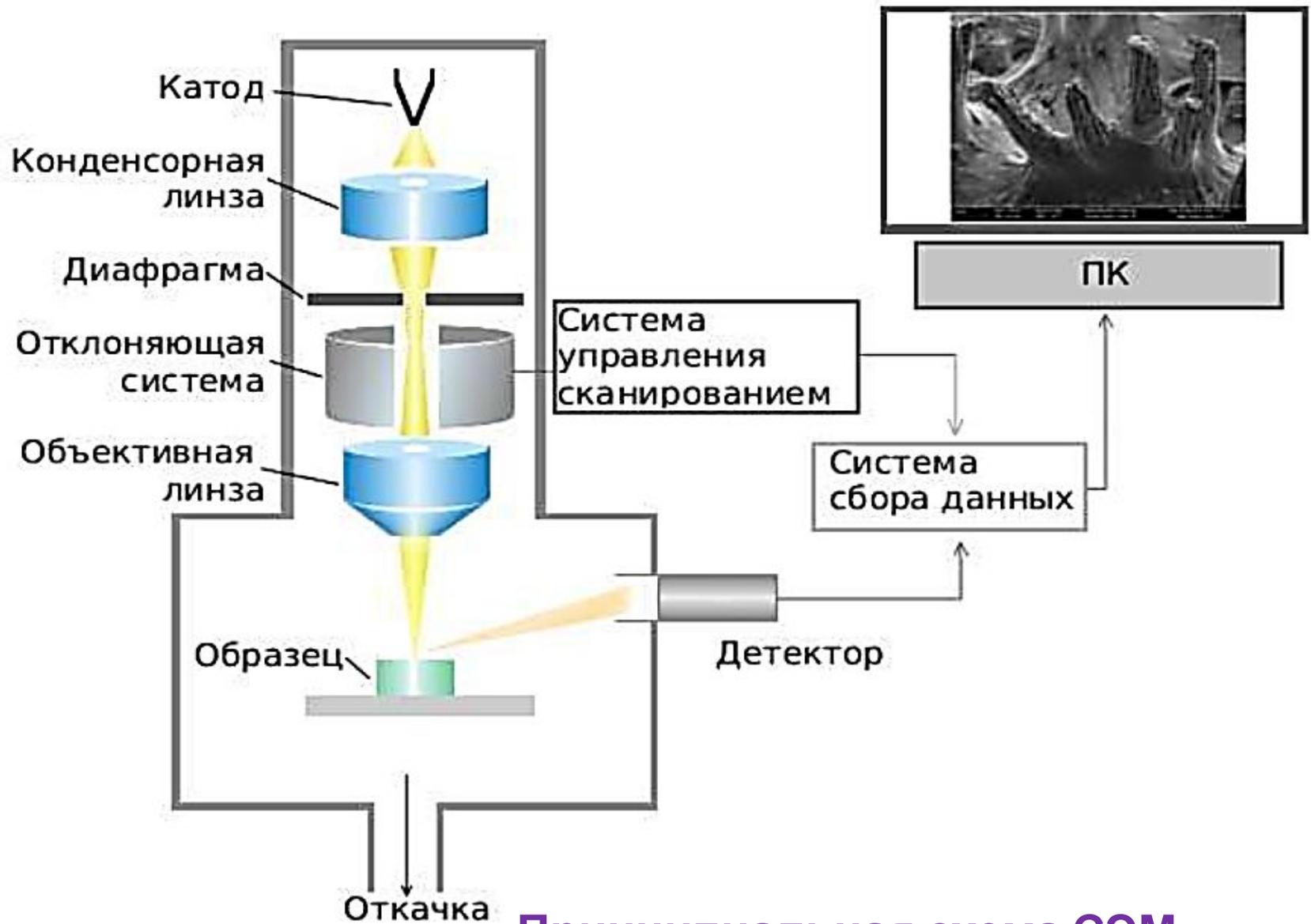


Схема стандартной четырёхсеточной установки ММЭ и вид картины ММЭ от поверхности Si на флуоресцентном экране **15**

# Сканирующая электронная микроскопия (SEM – scanning electron microscopy)



Принципиальная схема СЭМ

# Зондовая микроскопия

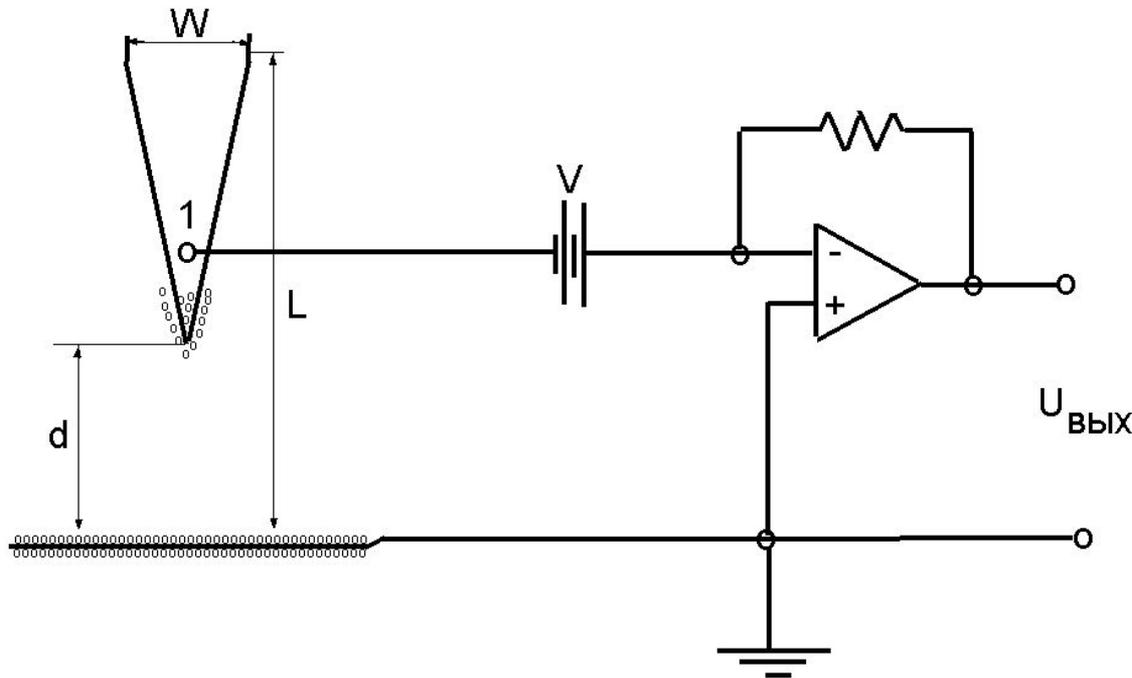


**Зондовый сканирующий микроскоп INTEGRA SPECTRA  
(Нанотехнологическая лаборатория открытого типа  
при КазНУ им. аль-Фараби (г. Алматы))**

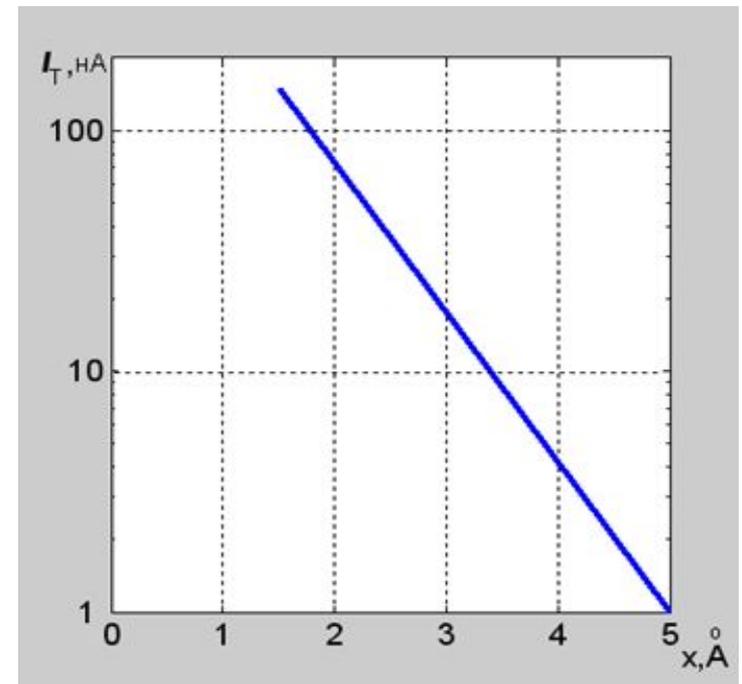
# Сканирующая туннельная микроскопия

Туннельный ток через вакуумный зазор:

$$I \approx \exp(-A\sqrt{\Phi d})$$



Исследование  
туннельного тока в  
промежутке  
«игла-поверхность»



Зависимость  
туннельного тока от **18**

## МИКРОСКОПИЯ

- ✓ Режим постоянного тока. Напряжение и ток поддерживаются постоянными, горизонтальные координаты меняются в ходе сканирования иглы, высота измеряется. Высота неоднородности на поверхности будет пропорциональна изменению положения зонда при условии поддержания постоянного значения туннельного тока.

Достоинства метода: предоставляет точную информацию о рельефе поверхности.

- ✓ Режим постоянной высоты (режим токового изображения). Высота и напряжение поддерживаются постоянными, горизонтальные координаты меняются в ходе сканирования иглы, ток измеряется. Т.е. регистрируется величина туннельного тока, которая пропорциональна неоднородности исследуемой поверхности.

Достоинства метода: предоставляется изображение в реальном масштабе времени.

- ✓ Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС). Это целый набор режимов, в которых варьируется напряжение.

# АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

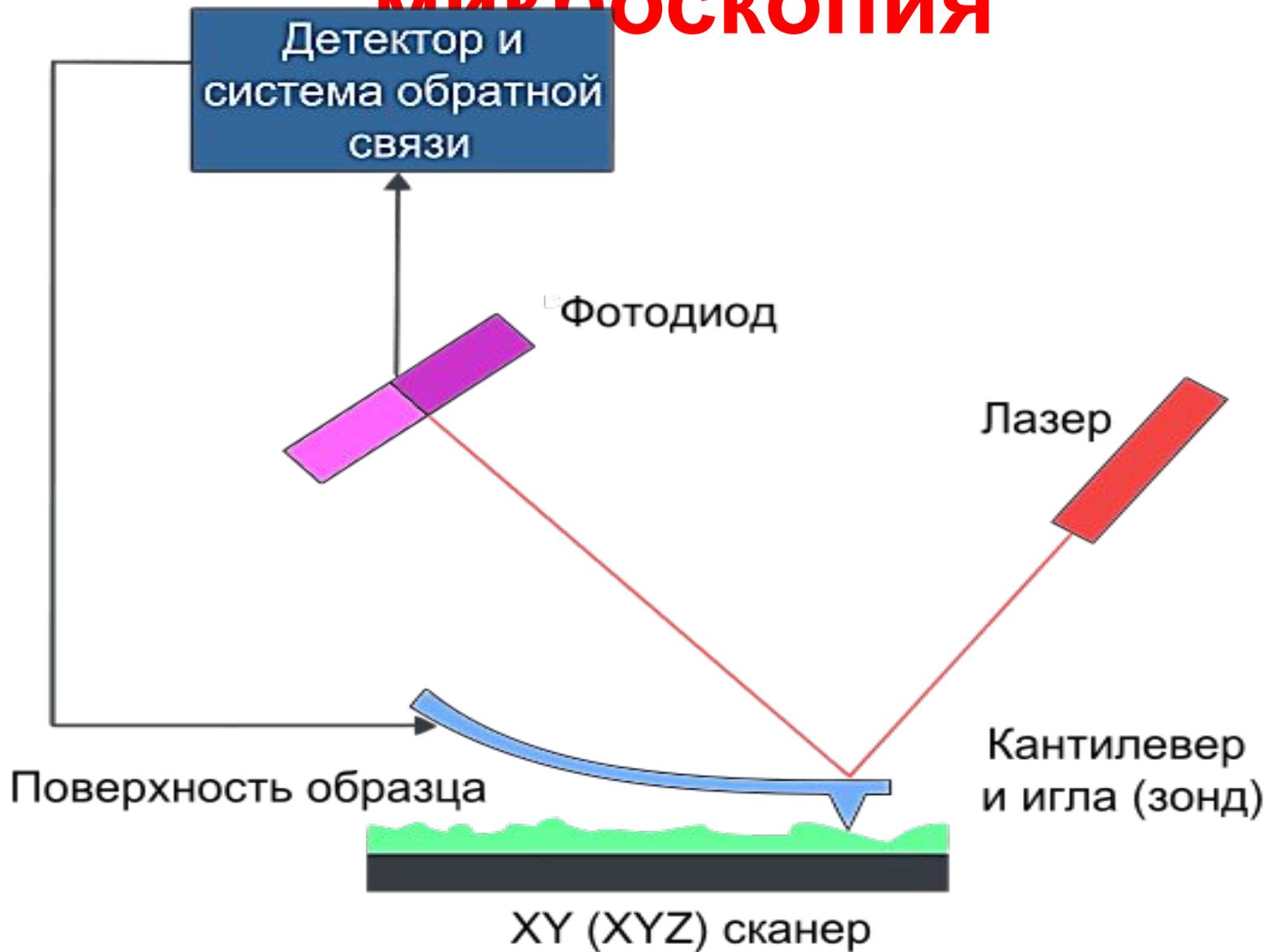


Схема работы атомно-силового

# Режимы работы АСМ

- 1) Контактный режим. Расстояние от иглы до образца порядка нескольких ангстрем, т.е. игла находится в мягком физическом контакте с образцом и подвержена действию сил отталкивания. Кантилевер должен быть очень гибким. Взаимодействие между иглой и образцом заставит кантилевер изгибаться, повторяя топографию поверхности.
- 2) Бесконтактный режим. Расстояние от иглы до образца порядка  $10 - 100 \text{ \AA}$ , т.е. на кантилевер действуют силы притяжения. В этом режиме жесткий кантилевер заставляют колебаться вблизи его резонансной частоты (обычно порядка  $100 - 400 \text{ кГц}$ , типичные амплитуды порядка  $10 \text{ \AA}$ ). Из-за взаимодействия с образцом резонансная частота кантилевера меняется.
- 3) Полуконтактный режим. Аналогичен бесконтактному режиму, отличие: игла кантилевера в нижней точке своих колебаний слегка касается поверхности образца. Полуконтактный режим не обеспечивает атомарного разрешения, но применяется для получения изображений

# АТОМНО-СИЛОВАЯ

## МИКРОМЕХАНИКА



График зависимости силы Ван-дер-Ваальса от расстояния между кантилевером и поверхностью образца

# ВОЗМОЖНОСТИ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

- ✓ Получение достоверных данных о высоте микрорельефа.
- ✓ Отсутствие дополнительных промежуточных процедур (напыление, изготовление реплик), снижающих достоверность результатов.
- ✓ Возможность получение нанометрового, а иногда и ангстремного разрешения на воздухе.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

- ✓ В науке (в области образования, общей метрологии, материаловедении, исследовании структур и сплавов, полупроводниковых приборов и интегральных схем, свойств тонких пленок, в разработках запоминающих сред, в том числе терабитной памяти, для манипуляций на нанометровом уровне).
- ✓ В промышленности (в металлургии и металлообработке, оптической промышленности, при анализе качества поверхности материалов, медицине и медицинской промышленности, в производстве порошковых материалов красок защитных покрытий в микроэлектронике в

***Спасибо за  
внимание!***