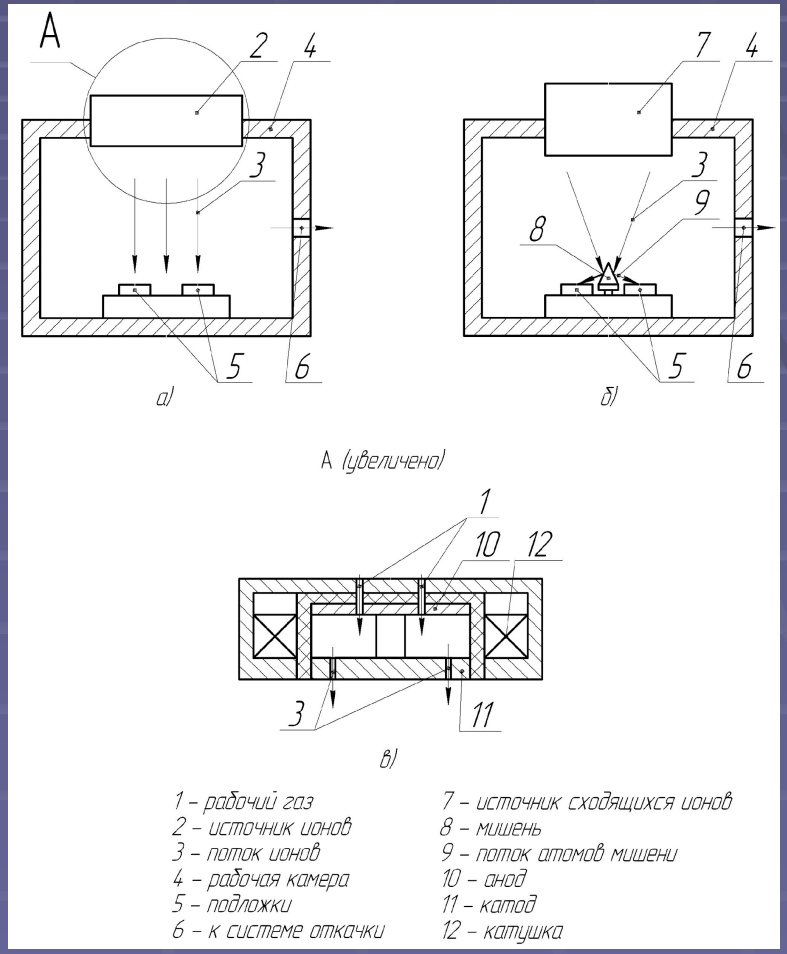
Методы ионно-лучевой обработки и нанотехнологических исследований

Сарымсаков Р. Г.
ИУ4-73

Ионно-лучевая обработка (ИЛО)

- ИЛО осуществляется пучком ускоренных заряженных частиц, сформированных в источниках ионов.
- Ускоренные ионы попадают в технологическую камеру и взаимодействуют с поверхностью обрабатываемого объекта, вызывая либо распыление материала, либо осаждение материала.



Ионно-лучевая обработка (ИЛО)

- **Микро- и наноэлектроника** – травление материалов в производстве СБИС и СВЧ-транзисторов.
- **Микроэлектромеханические системы** – глубинное травление кремния.
- **Оптика** – полировка поверхностей, травление элементов безаберрационной дифракционной оптики, дифракционных решеток и магнитооптических дисков.
- **Лазерная техника** – травление материалов для твердотельных лазеров.
- **Жесткие магнитные диски** – очистка подложек и нанесение пленочных покрытий.
- **Машиностроение** – нанесение коррозионностойких и фрикционностойких пленочных покрытий.
- **Медицина** – нанесение защитных и упрочняющих пленочных покрытий.

Установка ИЛО ФТИАН

- Установка применяется для:
  - ионно-лучевого травления материалов (обычное и реактивное);
  - очистки и активации поверхностей
  - нанесения пленок (непосредственное и с применением мишени).

Очистка, активация и полировка поверхностей

- Так как состав загрязнений как правило неизвестен, распыление ионами аргона является наиболее эффективным методом удаления сверхтонких поверхностных слоев и позволяет проводить очистку подложки, недостижимую в случае обработки жидкостными методами.
- Обработка поверхности пучком ионов не только очищает ее от загрязнений, но и активирует ее или растущую пленку, если процесс обработки пучком ионов проводится одновременно с нанесением пленки. При этом на поверхности образуются свободные связи, которые при нанесении пленки становятся искуственными центрами зародышеобразования.

Травление материалов

- Ионно-лучевое травление (ИЛТ) - травление осуществляется пучками ионов инертных газов за счет физического распыления материалов.
- Реактивное ИЛТ (РИЛТ) - удаление материала за счет химического взаимодействия ионов соединений с обрабатываемым материалом, в результате чего образуются летучие соединения, откачиваемые вакуумной системой.

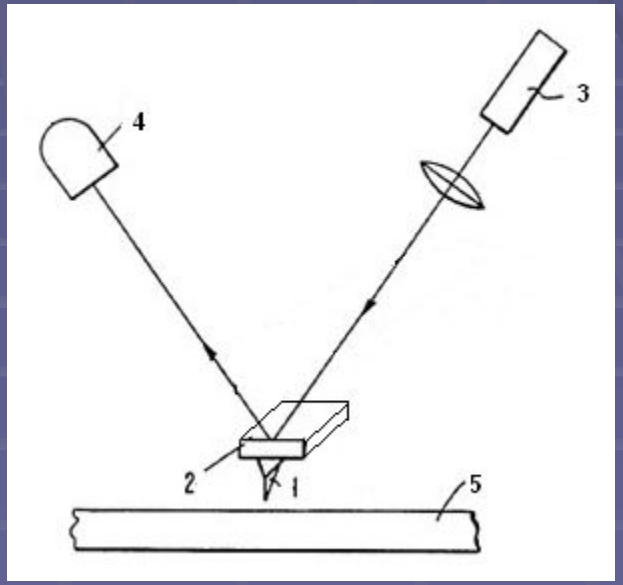
Нанесение пленок

- Тонкие пленки различных материалов можно наносить на подложку, распыляя материал мишени пучком ионов инертных газов.
- Другой метод нанесения пленок состоит в осаждении материала непосредственно из пучка ионов.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ)

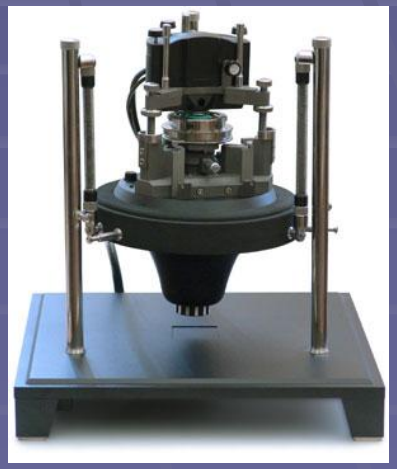
- АСМ основана на взаимодействии макроскопической гибкой консоли (кантилевер) 2 с острой иглой 1 с поверхностью образца 5. Под действием атомных сил кантилевер может быть изогнут на достаточно большую величину, которую можно измерить с помощью лазера 3 фотоприемника 4.

- В процессе сканирования кантилевер может совершать колебания без касания поверхности образца в процессе колебаний и с частичным касанием поверхности



СЗМ NanoEducator и Solver P47-PRO

- СЗМ NanoEducator реализует различные методы измерений туннельной и «полуконтактной» АСМ.
- СЗМ Solver P47 - это универсальный прибор для комплексных исследований различных объектов с высоким разрешением на воздухе, в жидкостях и контролируемой газовой атмосфере, при температуре до 150 С.



Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

- Источником электронов служит металл, из которого после его нагревания в результате термоэлектронной эмиссии испускаются электроны. С помощью электрического поля поток электронов можно ускорять и замедлять, а также отклонять в любых направлениях, используя электрические и магнитные поля.
- Существует 2 вида СЭМ: просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ) и растровые электронные микроскопы (РЭМ).

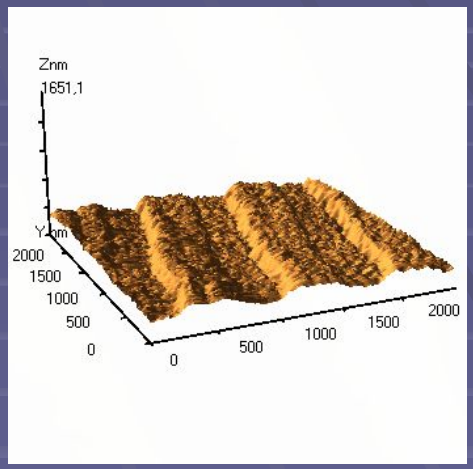
Схема растрового электронного микроскопа.
1 – катод; 2 – анод; 3 – электронный луч; 4 – конденсорная линза I; 5 – конденсорная линза II; 6 – последняя (конечная) конденсорная линза; 7 – отклоняющие катушки; 8 – блок регулировки увеличения; 9 – фотоумножитель; 10 – апертурная диафрагма; 11 – образец; 12 – сцинтиллятор; 13 – световод; 14 – отклоняющие устройства; 15 – устройство для наблюдения; 16 – съемка; 17 – усилитель сигнала; 18 – вакуумная система.

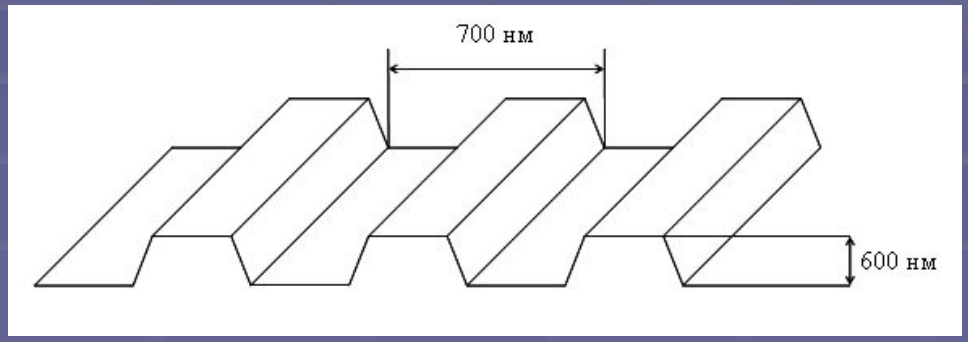
СЭМ CamScan Series 4

- Во ФТИАН установлен РЭМ CamScan Series 4 с возможностью проведения электронной литографии. Этот СЭМ позволяет получать трехмерные изображения образцов, увеличенные до 300000 раз. Разрешающая способность составляет 5 нм.

Получение решетки на Si-подложке

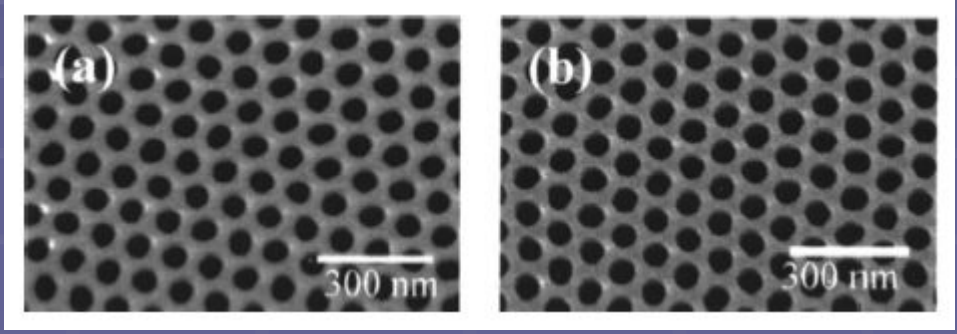
- Внешний слой SiO_2 кремниевой подложки подвергали воздействию пучка ионов CF_4 через Al-маску, которую затем механически удаляли.





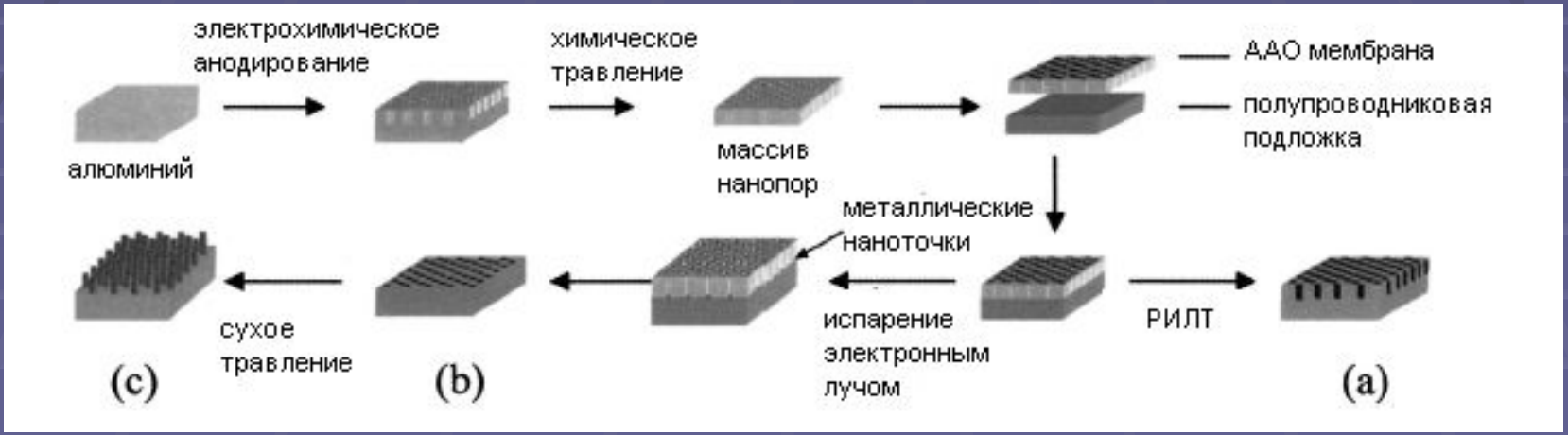
Формирование массива нанопор на ситаловой подложке

- В настоящее время много внимания уделяется производству упорядоченных полупровнидниковых наноструктур. Обычные методы электронно-лучевой литографии дают удовлетворительные результаты, но они неприменимы при обработке больших площадей.
- Другим путем для получения таких структур является самоорганизация в электрохимии. Этот способ, не относящийся к литографиям, привлек внимание еще 10 лет назад. Он основан на применении анодированного алюминиевого оксида (ААО), имеющего пористую структуру.



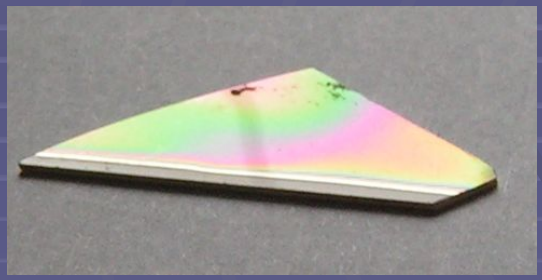
СЭМ-изображение ААО-маски с двух сторон (a и b).

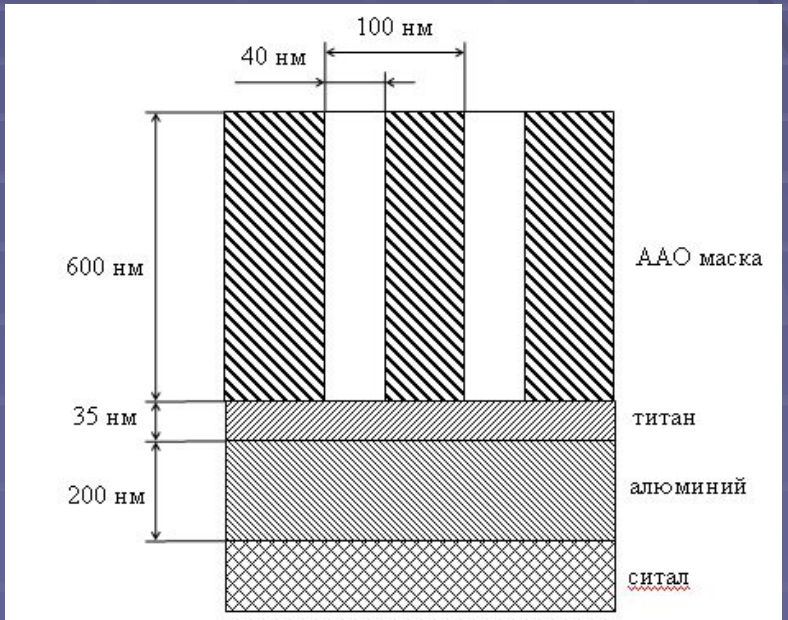
Получение решетчатых наноструктур



Формирование массива нанопор на ситаловой подложке

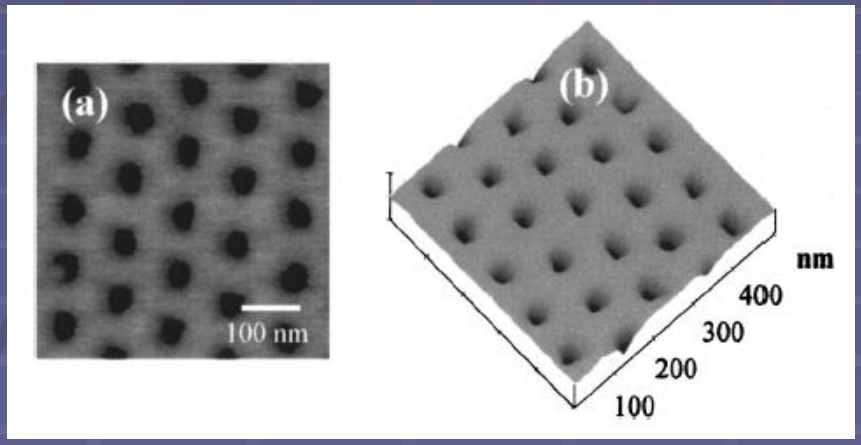
- Осуществляется собственно процесс РИЛТ. В качестве рабочего вещества применяется CF_4. Производится травление слоя Ti структуры Ti-Al на ситаловой подложке. Длительность процесса – 5 мин.



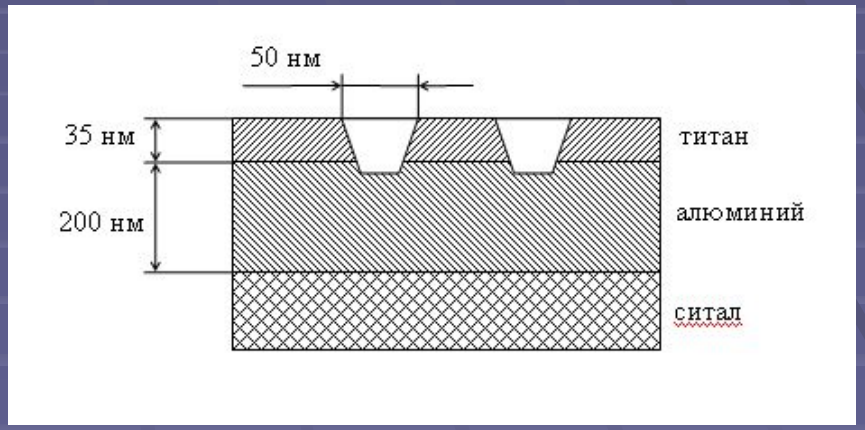


Геометрия структуры Ti-Al-ситал с установленной ААО-маской.

Формирование массива нанопор на ситаловой подложке



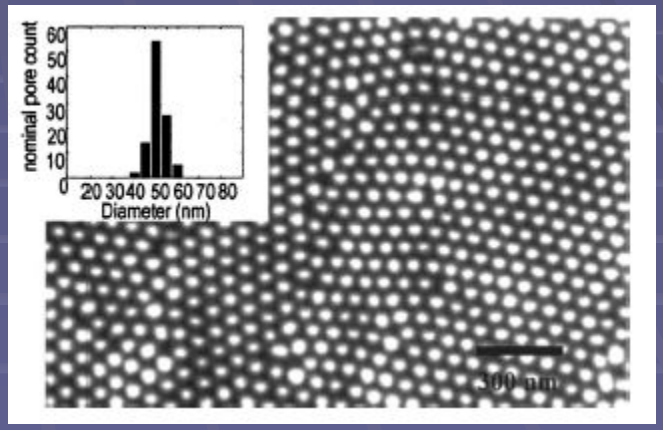
2D (a) и 3D изображения (b) массива нанопор, полученные на C3M Solver PRO P-47. Полуконтактный метод.



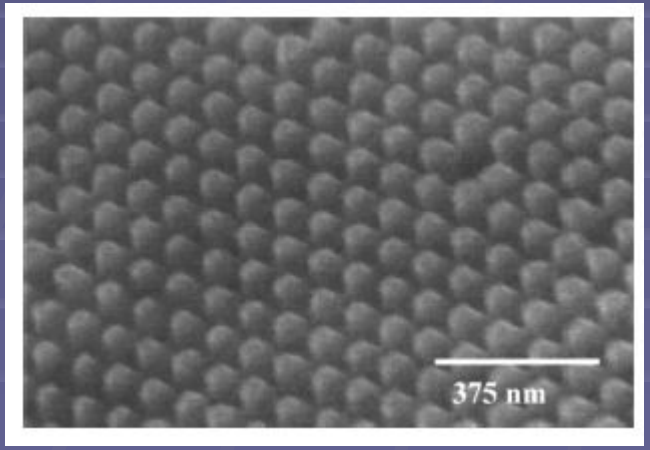
Структура Ti-Al-ситал с протравленным слоем титана.

Формирование массива наноточек

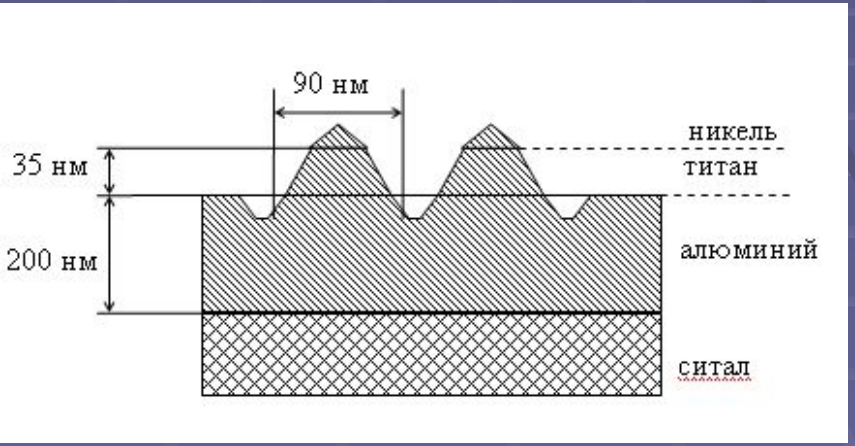
- Другой возможный способ применения ААО-маски заключается в выращивании квантовых точек и столбиков при помощи испарения веществ электронным лучом. Потом производят осаждение металла через ААО-мембрану на подложку.
- Для получения наностолбиков производится плазменное травление со рабочие смесью газов $CBrF_3$ и CF_4.



Формирование массива наностолбиков



СЭМ изображение массива наностолбиков



Структура Ti-Al-ситал с протравленным слоем титана