

# НаноФаб 100

## НаноФаб 100

- ◆ Модуль СЗМ
- ◆ Модуль ФИП
- ◆ Модуль МЛЭ





## Назначение

Сверхвысоковакуумная модульная нанотехнологическая платформа НаноФаб 100 предназначена для использования в исследованиях, разработках и мелкосерийном производстве различного рода наноструктур, наноэлементов и устройств на их основе.

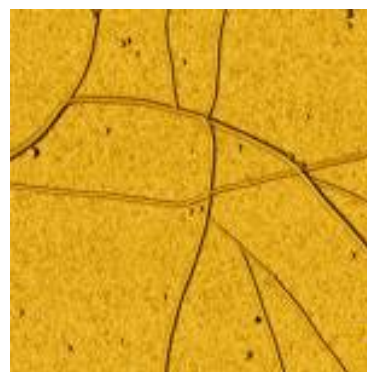
## Применения

Наноструктуры и наноустройства, изготовленные на нанотехнологических установках (комплексах) платформы НаноФаб 100, могут быть применены в нанoeлектронике и нанoфотонике, наномедицине и нанобиотехнологии, при создании нанoeлектромеханических устройств и систем и т.д. и т.п.

Относительная простота систем управления и обеспечения работы позволяют использовать нанотехнологические установки на платформе НаноФаб 100 также и для подготовки научных и производственных кадров при проведении научных исследований в учебных центрах и центрах коллективного пользования.

## Уникальность

Уникальной и не имеющей аналогов платформе НаноФаб 100 делают система транспорта и системы позиционирования подложек в модулях локальных воздействий. Обрабатываемые участки подложек с мкм точностью приводятся



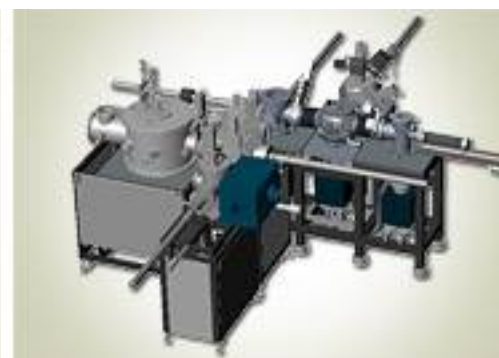
Нанотрубки.  
Размер скана: 1.5x1.5  $\mu\text{m}$

в рабочие области визуализации и локальных воздействий фокусированными ионными пучками (ФИП) и острыми зондами СЗМ, микромеханическими наноманипуляторами и пр. Это дает возможность создавать сложные многокомпонентные 3D наноустройства путем проведения последовательных нанотехнологических операций нанометрового разрешения в различных модулях.

## Модульность

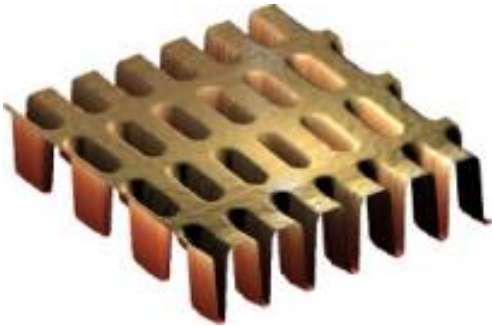
Основными функциональными модулями платформы НаноФаб 100 являются:

Сверхвысоковакуумный модуль Острийно-Зондовых технологий (модуль СЗМ) для осуществления локальных нанолитографических



ких операций, наноманипуляций, функционального контроля полученных наноструктур и наноэлементов, а также операций контроля параметров наноматериалов и наноструктур с применением более чем 40 СЗМ методов (АСМ, СТМ, ЭСМ, МСМ и пр.);

Сверхвысоковакуумный модуль технологий на основе Фокусированных Ионных Пучков (модуль ФИП) для осуществления операций локального ИП воздействия (резки, травления и пр.);



Полупроводниковая структура. 4x4 мкм.  
Глубина канавки 500 нм.

Модули Групповых Ростовых технологий создания монокристаллических слоев и наноструктур методами Газофазной и Молекулярно-Лучевой Эпитаксии (модули МЛЭ и ГФЭ);

Сверхвысоковакуумный модуль Лазерных технологий очистки и напыления методом Лазерной Абляции (ЛА);

Вспомогательные модули (загрузки, переворота пластин, очистки и пр.).

## Концепция Нанофабрики

Нанотехнологические комплексы, включающие модули локальных воздействий и измерений (СЗМ и ФИП технологий) наряду с модуля-

ми групповых технологий (МЛЭ, ГФЭ, плазменное напыление и пр.), фактически представляют собой Нанофабрики для создания полнофункциональных наноструктур и наносистем на их основе. При этом Нанофабрики содержат две подсистемы - сверхвысоковакуумную (СЗМ, МЛЭ, ФИП ... технологии) и подсистему модулей газофазных и др. технологий с более низким вакуумом, связанную со сверхвысоковакуумной подсистемой через модули очистки пластин. Таким образом, платформа НаноФаб 100 позволяет реализовать практически все известные атомарно-прецизионные технологии.

## Нанотехнологические комплексы

Путем комбинирования перечисленных модулей на платформе НаноФаб 100 формируются различные нанотехнологические установки, в частности:

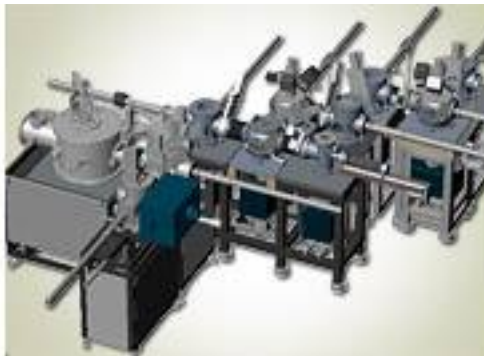
**НТК-3 (СЗМ)** - острийные технологии (*зондовая микроскопия (АСМ, СТМ, ЭСМ, МСМ ...), зондовая нанолитография, наноманипуляция*);

**НТК-4 (СЗМ+ФИП)** - острийные технологии, ионно-лучевые технологии (*ионная микроскопия, нанолитография, локальное осаждение*);

**НТК-5 МЛЭ (СЗМ+ФИП+МЛЭ)** - острийные технологии, ионно-лучевые технологии, молекулярная эпитаксия (*арсениды металлов III группы, нитриды металлов III группы*);

**НТК-7 МЛЭ (СЗМ+ФИП+МЛЭ+ЛА)** - острийные технологии ионно-лучевые технологии, молекулярная эпитаксия, лазерное осаждение;

**и многие другие.**



## Модуль СЗМ

Модуль СЗМ относится к основным модулям платформы НаноФаб 100 и предназначен для проведения АСМ и СТМ входного контроля п/п пластин, измерений параметров и исследований характеристик наноструктур и нанозаготовок, острийно-зондовых нанолитографических и наноманипуляционных операций, функционального контроля наноструктур и нанозаготовок.

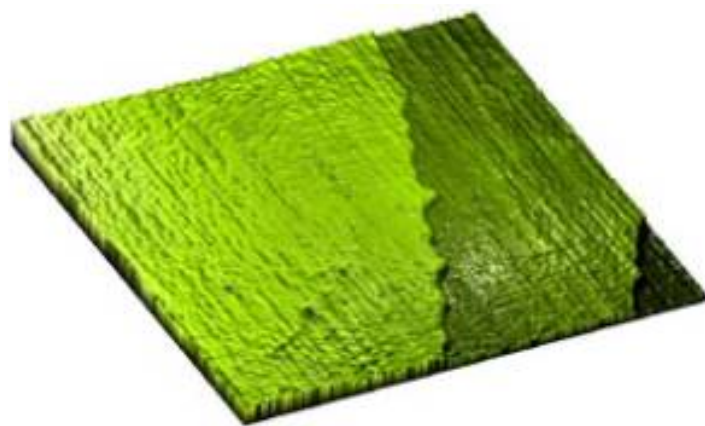
В базовой комплектации (НТК-3) модуль СЗМ включает три связанные транспортной системой сверхвысоковакуумные камеры - СЗМ камеру, Загрузочную камеру и Зондовую камеру.



Каждая из камер снабжена отдельным ионным насосом, предварительная откачка камер осуществляется станцией предварительной откачки. СЗМ камера снабжена системой активной виброзащиты.

Загрузочная камера служит для загрузки образцов с размерами до 100 мм в диаметре. В Зондовой камере на карусельной кассете могут размещаться 12 различных Зондовых Головок как для проведения СТМ, АСМ, ЭСМ, МСМ и других видов зондовых микроскопий, так и для проведения операций нанолитографии, наноманипуляций, функционального контроля, сборки и т.д. Зондовая камера содержит также средства для подготовки зондов (очистки электрическим полем).

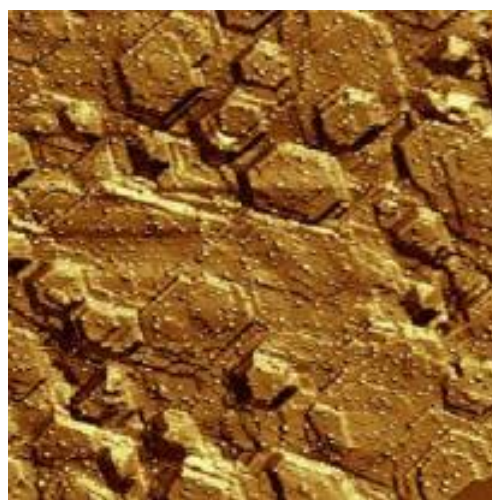
Отличительной особенностью СЗМ камеры является универсальность – путем смены Зондовых Головок, устанавливаемых на 50-мкм сканер, можно реализовать до 40 СЗМ



Моноатомные ступеньки  
на поверхности Si

методик, наличие прецизионного (точность позиционирования 0,5 мкм) координатного стола позволяет работать по всей площади 100 мм пластины. Наличие дополнительного 3 мкм сканера, установленного непосредственно на координатном столе, позволяет с повышенным разрешением проводить исследования малоразмерных образцов.

Наличие свободных фланцев в камерах позволяет устанавливать дополнительные устройства и оборудование, предназначенное для работы в условиях сверхвысокого вакуума, и тем самым расширить функциональные возможности комплекса.



MnAs на Si(111)  
6.3x6.3 μm

**Сканирующая Зондовая Микроскопия**

АСМ (контактная + полуконтактная + бесконтактная) / Латерально-Силовая Микроскопия/ Отображение Фазы/ Модуляция Силы/ МСМ/ ЭСМ/ Метод Зонда Кельвина/ Отображение Сопротивления Растекания/ Отображение Адгезионных Сил/ Литографии: АСМ (Силовая+Токовая)/ СТМ/

**Спецификация**

<b>Образец</b>	Размер	до 100 мм в диаметре, до 20 мм в высоту
	Вес	до 150 г.
<b>Система сканирования</b>		
Область сканирования		50x50x6 мкм
Минимальный шаг сканирования		0.006 нм
Разрешение в плоскости XY (бесконтактная АСМ)		≤ 0.15 нм
Разрешение по оси Z (бесконтактная АСМ)		≤ 0.1 нм
Неортогональность сканера по оси Z		≤ 5 град
Неортогональность сканера в плоскости XY		≤ 2 град
Неплоскостность сканирования в плоскости X		≤ 400 нмм
<b>Координатный стол</b>		
XY позиционирование образца		100x100 мм
Скорость перемещения координатного стола		≤ 250 мм/с
Разрешение позиционирования		500 нм (peak-to-peak)
<b>Дрейф</b>		
В плоскости XY		≤ 2 А/с
По оси Z		≤ 1.5 А/с
<b>Вакуум</b>		
Аналитико-технологическая камера		≤ 1.2x10 <sup>-8</sup> Па
Камера предварительной загрузки образцов		≤ 5x10 <sup>-7</sup> Па
Камера загрузки и подготовки зондов		≤ 5x10 <sup>-7</sup> Па
<b>Виброизоляция</b>	Активная	1-200 Гц
	Пассивная	выше 200 Гц

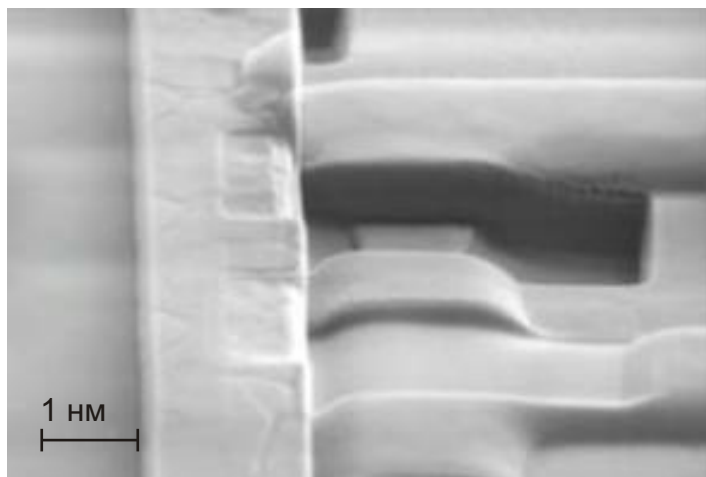
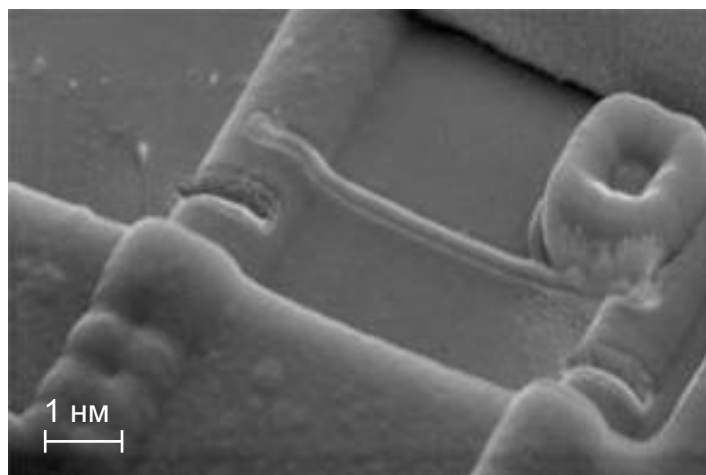
\*-Исследования малоразмерных образцов (до 10 мм в диаметре) осуществляются расположенным на координатном столе сканером с областью сканирования 3x3x2 6 мкм



## Модуль ФИП

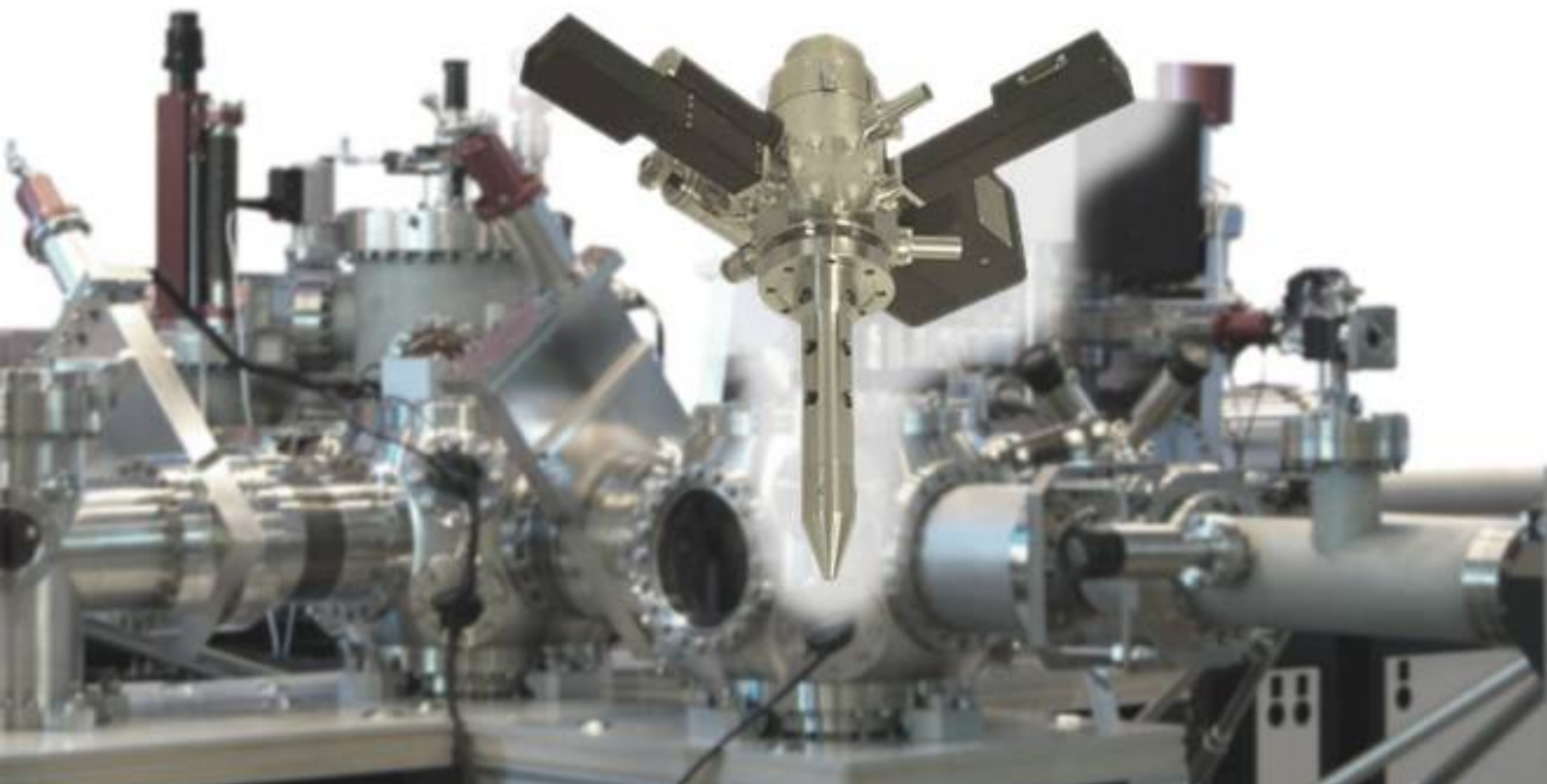
Модули ФИП относятся к основным модулям платформы НаноФаб 100 и предназначены для проведения технологических операций с применением Фокусированных Ионных Пучков, в том числе операций нанолитографии, локального роста, резки и визуализации наноэлементов и наноструктур, очистки поверхности п/п пластин и пр.

Высокая степень автоматизации и высокий уровень прецизионности используемых в модулях ФИП и СЗМ координатных столов дают возможность совмещения участков



образца, обрабатываемых ионным пучком в модуле ФИП и исследуемых либо обрабатываемых методами зондовой микроскопии в модуле СЗМ.

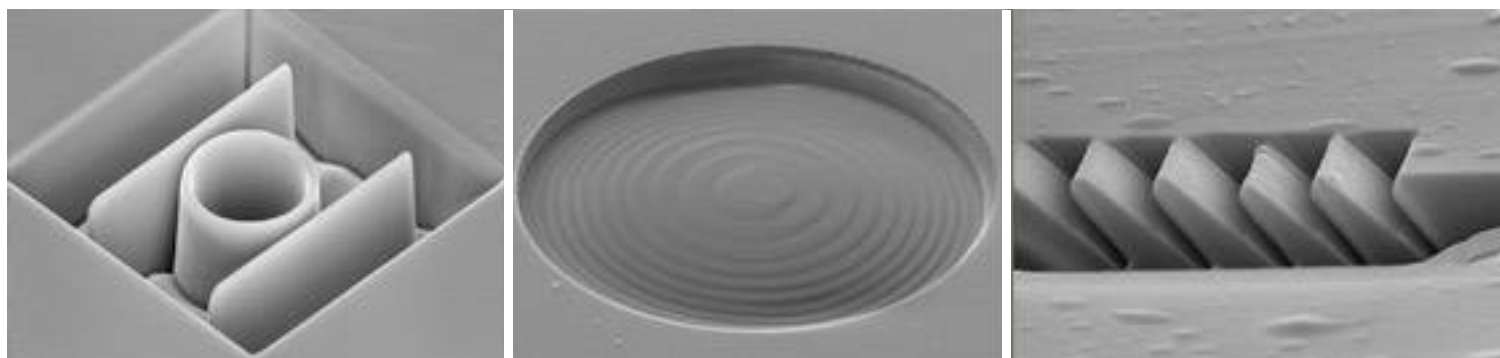
В состав платформы НаноФаб 100 входят два типа модулей ФИП - сверхвысоковакуумный и снабженный системой ввода паров элементоорганических соединений, таким образом модули ФИП обеспечивают практически все значимые "top-down" и "bottom-up" ФИП технологии.



**Основные параметры сверхвысоковакуумного модуля ФИП  
изготовитель колонки ФИП Orsay Physics**

Образец	Размер	от 10 до 100 мм в диаметре, до 8 мм в высоту
	Вес	до 150 г.
<b>ФИП система</b>		
Размер пятна		≤ 10 нм при PO=12 мм
Рабочее поле		300x300 мкм
Рабочий отрезок		от 12 до 27 мм
Энергия пучка		3-30 кЭв
Ионный ток		от 1 пА до 20 нА
Время отсечки тока		≤ 100 нсек
Плотность тока		20 А/см <sup>2</sup>
Время жизни галлиевого источника		не менее 1500 мкАчас
<b>Координатный стол</b>		
XY позиционирование образца		100x100 мм
Скорость перемещения координатного стола		≤ 250 мм/с
Разрешение репозиционирования		менее 1 мкм (peak-to-peak)
<b>Вакуум</b>		≤ 1.2x10 <sup>-8</sup> Па
<b>Возможность прогрева системы</b>		до 150°С
<b>Виброизоляция</b>	Активная	1-200 Гц
	Пассивная	выше 200 Гц

ФИП изображения представлены Orsay Physics



## Модуль МЛЭ



Платформа НаноФаб 100 включает сверхвысоковакуумные модули МЛЭ двух типов, которые предназначены для получения полупроводниковых гетероструктур на основе арсенидов и нитридов металлов III группы и могут

быть использованы, в частности, для создания СВЧ приборов и монолитных интегральных микросхем:

- MESFET GaAs
- pHEMT AlGaAs
- Ga(Al)N для мощных СВЧ транзисторов

Сверхвысоковакуумные модули МЛЭ в базовой комплектации включают три камеры: ростовую, шлюзования и подготовки. Цилиндрические ростовые камеры обеспечивают современную "вертикальную" ростовую геометрию с горизонтальным расположением подложки. Они содержат:

две криопанели увеличенной площади, обеспечивающие высокую скорость откачки аммиака или летучих компонент V-й группы (в основном As);

трёхступенной ростовой манипулятор с устройством крепления носителя подложки, обеспечивающий возможность корректировки геометрии роста за счёт значительного (80 мм) вертикального

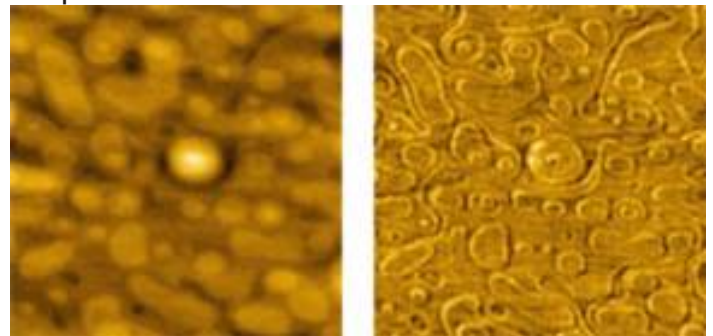
перемещения;

встроенную систему дифракции быстрых электронов на отражение в составе электронной пушки 20 кэВ и люминесцентного экрана;



фланец блока испарителей, позволяющий установить до 8 молекулярных источников различного типа на фланцы DN63CF симметрично относительно вертикальной оси камеры.

Модули МЛЭ содержат оригинальное устройство переворота образца на 180° вокруг горизонтальной оси для совмещения вертикальной геометрии камеры роста ("лицом вниз") с требованиями методов ФИП и СЗМ к ориентации поверхности структур "лицом вверх".



Атомарные ступеньки GaAs  
Размер скана: 3x3 μm

К числу других особенностей относятся конструкция держателя подложки, специально разработанная для работы с сапфировыми подложками, нагрев поверхности подложки до 1100°С при частоте вращения 1 Гц, коррозионно-стойкая безмасляная система откачки, внутренние поверхности манипулятора защищены от потока аммиака, а внешние - от





**Основные параметры арсенидного модуля МЛЭ:**

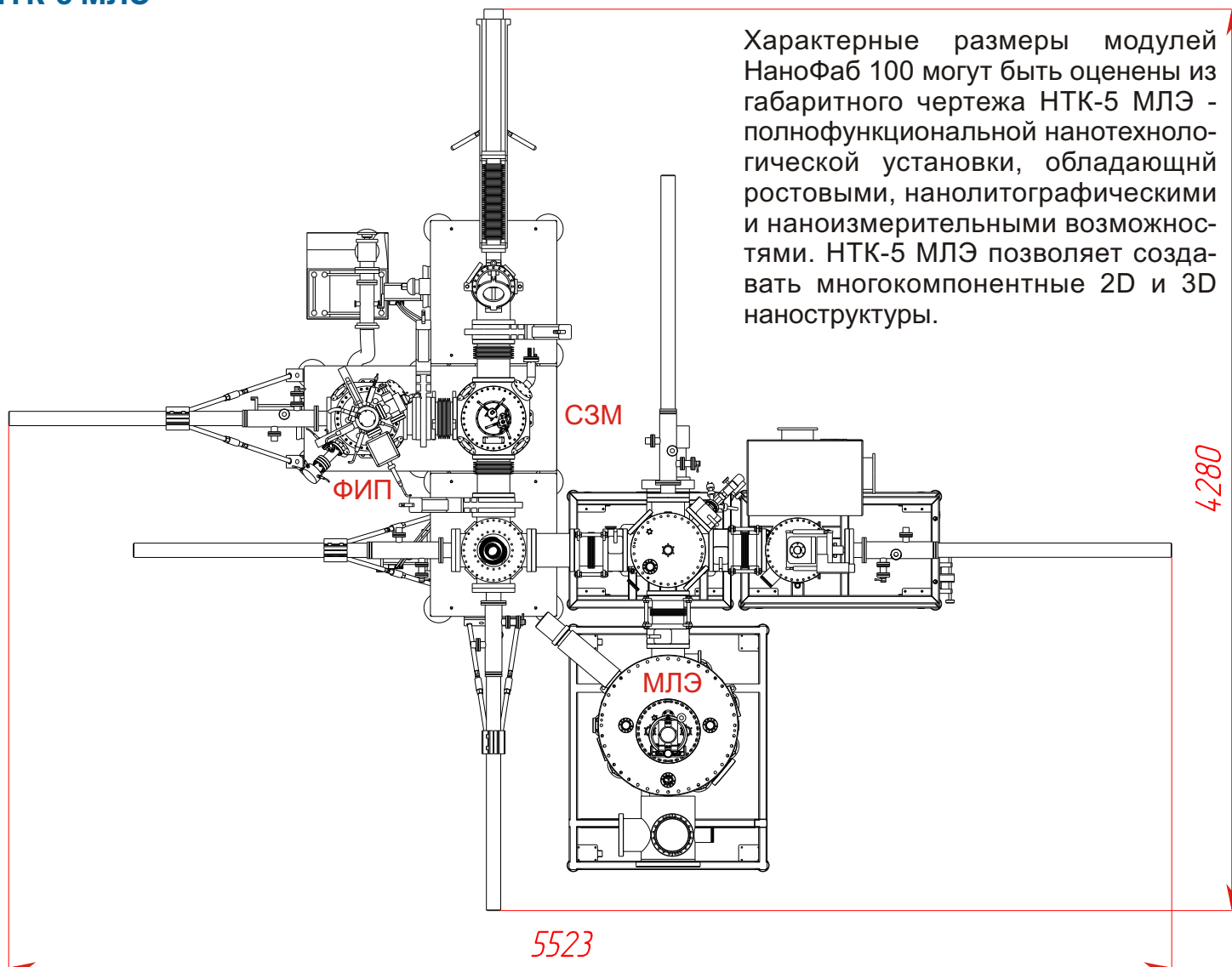
Возможность вращения носителя подложки во время роста со скоростью	не менее 1об/сек
Количество и диаметр подложек	одна 100 мм или три 50 мм
Максимальная температура нагрева подложки	не менее 700 °С
Контроль температуры нагревателя подложки	W/Re термопарой с точностью ±0,5°С
Встроенный анализатор остаточной атмосферы	квадрупольного типа
Порты для лазерного интерферометра (эллипсометра, 2шт.) и пирометра	с заслонками
Система маршевой откачки (ионный насос)	400-600 л/с
Предельный вакуум после прогрева (48 час, 200°С)	не хуже: $1 \times 10^{-8}$ Па

**Основные параметры нитридного модуля МЛЭ:**

Возможность вращения носителя подложки во время роста со скоростью	не менее 1 об/сек
Максимальная температура нагрева подложки	не менее 1100 °С
Контроль температуры нагревателя подложки	W/Re термопарой с точностью ±0,5°С
Встроенный анализатор остаточной атмосферы	квадрупольного типа
Порты для лазерного интерферометра (эллипсометра, 2шт.) и пирометра	с заслонками
Система маршевой откачки с турбомолекулярным насосом коррозионно-стойкого исполнения	производительностью 1400-2200 л/с;
Предельный вакуум после прогрева (48 час, 200°С)	не хуже: $1 \times 10^{-8}$ Па



## Габаритный чертёж НТК-5 МЛЭ



Характерные размеры модулей НаноФаб 100 могут быть оценены из габаритного чертежа НТК-5 МЛЭ - полнофункциональной нанотехнологической установки, обладающей ростовыми, нанолитографическими и наноизмерительными возможностями. НТК-5 МЛЭ позволяет создавать многокомпонентные 2D и 3D наноструктуры.

