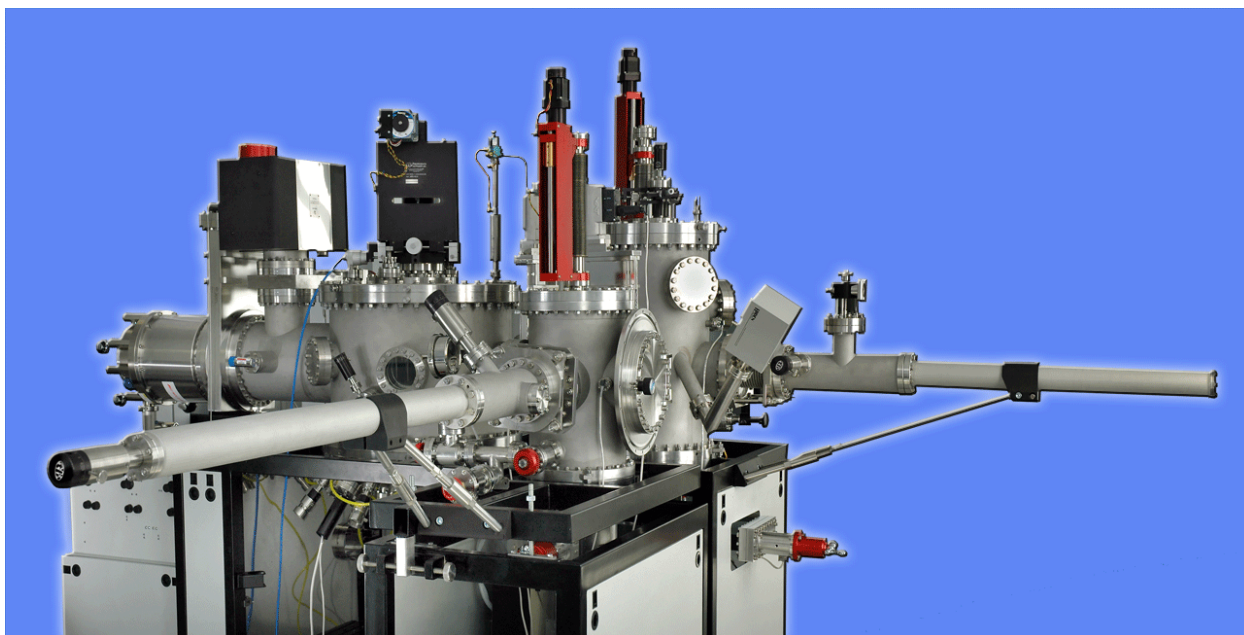


Установка молекулярно – пучковой эпитаксии STE3N3



1 Область применения и назначение установки STE3N3

1.1 Область применения:

Областью применения установки молекулярно – пучковой эпитаксии STE3N3 являются фундаментальные и прикладные научные исследования, опытно-конструкторские работы и мелкосерийное экспериментальное производство эпитаксиальных структур.

Конструкция установки STE3N3 допускает возможность вакуумно плотной стыковки с другими вакуумными камерами и установками (например, металлизации, анализа и иной обработки) в том числе объединения в комплекс НАНОФАБ.

1.2 Назначение:

Установка молекулярно – пучковой эпитаксии STE3N3 предназначена для эпитаксии полупроводниковых гетероструктур на основе нитридов III-ей группы и сконфигурирован для выращивания материалов системы InAlGa_N/Ga_N с использованием аммиака в качестве источника активного азота.

2 Общие сведения:

Установка молекулярно – пучковой эпитаксии (МЛЭ) STE3N3 представляет собой современную технологическую платформу для прецизионного выращивания эпитаксиальных слоев на подложках диаметром до 100 мм, предоставляющую возможность *in situ* мониторинга процесса роста. Установка выполнена по прогрессивной вертикальной схеме построения ростовой камеры, наиболее часто на сегодня

применяемой ведущими мировыми производителями данного оборудования. Во время транспортировки из шлюза и в процессе роста подложка в держателе располагается горизонтально ростовой поверхностью вниз, что резко уменьшает неконтролируемые загрязнения. Криопанели увеличенной площади предназначены для эффективной откачки летучей компоненты V-й группы, их дизайн уменьшает вероятность попадания продуктов роста с криопанели в источники материалов. Маршевая система откачки на основе высокопроизводительного турбомолекулярного насоса коррозионно-стойкого исполнения позволяет значительно расширить технологические возможности роста гетероструктур в область повышенных потоков аммиака в сочетании с экстремально высокими ($>1000^{\circ}\text{C}$) температурами подложки.

Отличительной чертой конструкции является возможность корректировки ростовой геометрии в заметных пределах за счёт значительного (76 мм) вертикального перемещения ростового манипулятора. Это позволяет совместить в одной камере два рабочих ростовых положения: исследовательское, в котором может проводиться рост без вращения держателя подложки, с активным использованием дифракции быстрых электронов и лазерной интерференции, и обеспечением приемлемой однородности эпитаксиальной плёнки; а также «производственное», при котором рост осуществляется с вращением и обеспечивается высокая однородность на больших диаметрах подложки.

Конструкция держателей подложек позволяет с использованием соответствующих адаптеров безиндиевого типа вести процесс эпитаксиального роста на подложках сапфира, SiC либо кремния диаметром 40, 50.8, 76.2, 100 мм.

Установка STE3N3 представляет собой трехкамерную сверхвысоковакуумную систему, состоящую из ростовой камеры, камеры предварительной подготовки и шлюзовой камеры. Камеры имеют индивидуальную систему откачки и соединены между собой вакуумными затворами и единой системой транспорта образцов. Камера предварительной подготовки обеспечивает прогрев подложки в держателе до 650°C , а также возможность постановки газового источника (например, атомарного водорода) для дополнительной предростовой обработки поверхности. Для дополнительной защиты поверхности подложек от загрязнений в процессе загрузки-выгрузки в составе шлюзовой камеры применен бокс инертной атмосферы, герметично совмещенный с фланцем быстрой загрузки.

Система автоматизации технологического процесса осуществляет автоматическое управление процессом эпитаксиального роста посредством оригинального программного обеспечения, оставляя при этом возможность ручного управления.

3 Состав модуля (базовая комплектация):

3.1 Камера роста

Камера роста предназначена для проведения процесса эпитаксиального роста и представляет собой вертикально ориентированный цилиндрический ростовой реактор диаметром 600 мм, включающий:

- Верхний фланец 600мм (уплотнение на медную проволоку) для установки верхней криопанели;
- Верхняя криопанель (азотный бак) закреплённая через терморазвязки;
- Фланец DN40CF для датчика вакуума на фланце верхней криопанели;



- Порт DN40CF с установленным ручным клапаном для непосредственной откачки ростовой камеры при регламентных работах;
- Порт DN250CF для установки ростового манипулятора (располагается на фланце верхней криопанели);
- Порт DN40CF для установки анализатора квадрупольного масс-спектрометра;
- Порт DN160CF для установки ионного насоса;
- Порт DN160CF для установки Ti-сублимационного насоса (*опционально*);
- Порт DN160CF для стыковки с камерой перезарядки с установленным ручным изолирующим шиберным затвором DN160CF и сильфонным переходником-развязкой 160CF/160CF;
- Заслонка линии передачи образца с внешним пневматическим приводом;
- Порт DN40CF для установки датчика потоков Байярда-Альперта (*опционально*);
- Порты DN40CF и DN100CF системы дифракции быстрых электронов;
- Порты DN40CF, DN63CF и DN100CF с установленными смотровыми окнами, снабженными заслонками, для контроля системы передачи держателя подложки;
- Основание (каркас), предусматривающий крепление камеры, а также закрепление элементов системы маршевой откачки;
- Подъёмник с ручной лебёдкой для монтажных работ с верхней криопанелью и ростовым манипулятором.

В нижней части камеры расположены:

- Нижняя криопанель (азотный бак), закреплённая через терморазвязки;
- 7 портов DN63CF для установки испарителей (молекулярных источников), с заслонками;
- Центральный порт DN63CF для установки инжектора аммиака, без заслонки;
- 2 симметрично расположенных порта DN40CF с установленными смотровыми окнами, снабжёнными заслонками (для установки системы лазерной интерферометрии);
- 1 порт DN40CF с установленным смотровым окном, снабжённым заслонкой (для установки инфракрасного пирометра);

I. Источники материалов (стандартный комплект):

II.1 Испарители твёрдых материалов (тигельные), 7 шт.

Общие технические данные:

- Тип установочного фланцевого уплотнения: DN63CF;
- Нагревательный элемент: танталовая фольга с изоляцией из PBN;
- Термопара: W/Re;
- Максимальная рабочая температура, не менее: 1350°C.

Состав комплекта:

- Источник с положительным градиентом температуры к апертуре тигля (Ga), объём тигля 35 см³ – 2 шт.;
- Источник с отрицательным градиентом температуры к апертуре тигля (Al), объём тигля 35 см³ – 2 шт.;
- Источник с однородным нагревательным элементом (In), объём тигля 35 см³ – 1 шт.;
- Источники легирующих компонент (Si, Mg), с однородным нагревательным элементом, объём конического тигля 15 см³ – 2 шт.

II.2 Газовый источник аммиака с возможностью термического разложения NH₃.

Общие технические данные:

- Одноканальный инжектор аммиака с возможностью термического разложения;
- Линия подачи аммиака с регулятором расхода газа, обеспечивающая максимальный рабочий расход не менее 200 станд. см³/с;
- Линия вентиляции инжектора сухим азотом;
- Замкнутая система герметизации элементов линии подачи аммиака включая инжектор для подключения к системы вытяжной вентиляции с целью обеспечения норм и правил техники безопасности.

II. Ростовой манипулятор, включая:

- Трёхступенную систему позиционирования держателя подложки с возможностью изменения ростовой геометрии путём значительного (76 мм) вертикального перемещения;
- Молибденовый блок с системой закрепления и вращения держателя подложки, позволяющим устанавливать подложки диаметром до 100 мм;
- Систему нагрева образца, включающую нагреватель типа PBN/PG/PBN и комплект тепловых экранов;
- W/Re термодару, обеспечивающую контроль температуры в цепи обратной связи;
- Внешний прогреваемый магнитный привод вращения держателя подложки с возможностью продолжительного вращения с помощью электродвигателя;
- Конструкция манипулятора не содержит танталовых деталей и таким образом полностью адаптирована для использования в среде с повышенным содержанием водорода (продукта термического разложения аммиака).



III. Маршевая система откачки камеры роста:

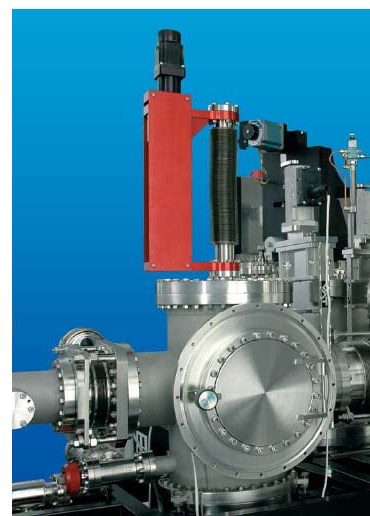
- Система маршевой откачки на основе турбомолекулярного насоса коррозионно-стойкого исполнения производительностью не менее 1400 л/с, изолированного пневматическим шиберным затвором и безмасляного спирального насоса;
- Стойка откачки с установленными пневмо- и гидрпанелями обеспечения напуска чистого азота в линии вентиляции инжектора и установки, подачи давления в пневмоприводы, напуска азота в турбину для остановки и продувки подшипников;
- Ионный насос поддержания производительностью 300 л/с, изолированный ручным шиберным затвором.
- Ti-сублимационный насос (*опционально*).

IV. Аналитика и средства измерения вакуума в составе камеры роста:

- Датчик сверхвысокого вакуума типа Байярд-Альперт с пределом измерений, не хуже, $1 \cdot 10^{-8}$ Па;
- Квадрупольный масс-спектрометр с диапазоном измерений 1-200 а.е.м.;
- Система дифракции быстрых электронов в составе электронной пушки 30 кВ, люминесцентного экрана;
- Специально разработанный для МЛЭ инфракрасный оптический пирометр в составе измерительной головки с системой крепления на фланец DN40CF и юстировки, оптоволоконного кабеля и измерительного блока с диафрагмированием, интерференционным фильтром и фотоприёмником; системой лазерного прицеливания в точку измерения; диапазон измерений 500÷1200°С;
- Лазерный интерферометр в составе He-Ne лазера с оптической насадкой, системы крепления и юстировки лазера и фотоприёмника.

V. Камера шлюза, включая:

- Цилиндрическая камера DN250CF;
- Накопитель держателей подложки на 8 позиций с сифонным приводом вертикального перемещения;
- Порт DN160CF для стыковки с камерой роста;
- Порт DN160CF для стыковки с камерой предварительной подготовки с установленным ручным изолирующим шиберным затвором DN160CF;
- Сифонный переходник-развязка 160CF/160CF;
- Порт DN160CF для установки линейного манипулятора;
- Два (2) встроенных осветителя на фланцах DN16CF;
- Порт DN160CF со смотровым окном;
- Порт DN200CF с установленным фланцем быстрой загрузки;
- Порт DN40CF для установки датчика высокого вакуума;
- Порт DN40CF с установленной системой предварительной откачки/напуска на основе 3-х ручных клапанов DN40CF, мановакууметра и клапана аварийного сброса давления;
- Нижний фланец DN250CF с переходником 250CF/100CF;
- Ионный насос производительностью 150 л/с с изолирующим ручным шиберным затвором DN100CF;
- Бокс инертной атмосферы, герметично совмещённый с фланцем быстрой загрузки и оборудованный резиновыми перчатками для работы внутри бокса;
- Ручной манипулятор для постановки/съёма подложкодержателей с накопителя;
- Датчик сверхвысокого вакуума типа Байярд-Альперт с пределом измерений, не хуже, $1 \cdot 10^{-8}$ Па;
- Датчик низкого вакуума с пределом измерений, не хуже, $1 \cdot 10^{-2}$ Па;
- Пост предварительной безмасляной откачки, обеспечивающий достижение вакуума в камере не хуже $1 \cdot 10^{-2}$ Па не более чем за 30 мин с начала процесса откачки;
- Основание (каркас) для установки камеры.



3.2 Камера предварительной подготовки, включая:

- Цилиндрическая камера OD14" Del Seal CF;
- Промежуточный накопитель держателей подложки на 2 позиции с приводом вертикального перемещения и устройством переворота держателя на 180° для перемещения в другие модули многокамерного комплекса НАНОФАБ поверхностью подложки вверх;
- Узел нагрева, обеспечивающий предварительное обезгаживание держателей с подложками до максимальной температуры 650°C;
- Порты DN160CF для стыковки с камерой роста и камерой перезарядки;
- Дополнительный порт DN160CF для стыковки с остальными элементами многокамерного комплекса НАНОФАБ;
- Порт DN160CF для установки линейного манипулятора;



- Встроенный осветитель на фланце DN16CF;
- Порты DN40CF, DN63CF, DN100CF со смотровыми окнами;
- Порт DN40CF с установленным ручным клапаном для обеспечения независимой откачки камеры;
- Порт DN40CF для возможности постановки источника атомарного водорода (*опционально*);
- Порт DN100CF для возможности постановки дополнительного турбомолекулярного насоса (*опционально*);
- Нижний фланец с переходником на 160CF и установленным ионным насосом производительностью 300 л/с с изолирующим ручным шиберным затвором DN160CF;
- Датчик сверхвысокого вакуума типа Байярд-Альперт с пределом измерений, не хуже, $1 \cdot 10^{-8}$ Па;
- Основание (каркас) для установки камеры.

VI. Манипулятор линейный (2шт.):

- Линейный манипулятор реечного типа с установочным фланцем DN160CF, системой юстировки и max рабочим ходом 950 мм – 2шт.

VII. Система прогрева вакуумных камер, включая:

- Разборный термостат с резистивными нагревателями (ТЭНами) для прогрева камеры роста, включая 2 вентилятора для перемешивания горячего воздуха, обеспечивающих равномерный прогрев камеры роста до температуры 200 град. С;
- Комплект закреплённых гибких нагревательных элементов для прогрева камер перезарядки и предварительной подготовки до температуры 150 град. С;
- Датчики температуры;
- Набор кабелей.

VIII. Управляющая электроника, включая:

Стойка откачки и контроля вакуума:

- Стойка “Евромеханика” с необходимой электроарматурой, обеспечивающей питание электронных блоков и защиту;
- Электронные блоки питания/контроля вакуумметров, ионных и турбомолекулярного насосов;
- Блок управления откачкой;
- Система управления прогревом на основе программируемого терморегулятора с комплектом кабелей.

Стойка управления:

- Стойка “Евромеханика” с необходимой электроарматурой, обеспечивающей питание электронных блоков и защиту;
- Блок питания нагревателя подложки (ростового манипулятора) 9А 180В с кабелем;
- Блок питания узла нагрева подложки камеры предварительной подготовки с кабелем;
- Комплект блоков питания молекулярных источников 20А 30В, укомплектованных кабелями в кол. 7 шт.;
- Блок питания нагревателя инжектора;
- Блок управления инжектором;
- Блок бесперебойного питания рабочей станции технолога;
- Комплект температурных контроллеров (ПИД-регуляторов) источников (7 каналов), нагревателей подложки (2 канала), инжектора (1 канал);

- Блоки питания/управления электронной пушки, масс-спектрометра, пирометра, лазерного интерферометра.

IX. Система автоматизации процесса роста, включая:

- Контроллер системы автоматизации (устанавливается в электронную стойку управления), представляющий собой основное исполнительное устройство, программируемое через интерфейс высокого уровня (персональный компьютер) и связанное с внешними устройствами модуля молекулярно-лучевой эпитаксии посредством цифровых и аналоговых интерфейсов;
- Персональный компьютер типа IBM PC для организации рабочего графического интерфейса;
- Плата обработки видеоизображения (устанавливается в персональный компьютер);
- Специализированное программное обеспечение для управления процессом эпитаксиального роста в ручном режиме и по заданной программе (рецепту) с обеспечением необходимого контроля параметров ростового процесса в реальном времени;
- Визуализация всех параметров управления и контроля в виде графиков в соответствующих осях;
- Возможность обработки и архивации данных;
- Возможность подключения к системе вакууметра, пирометра и лазерного интерферометра;
- Программное обеспечение для визуализации, обработки и сохранения картин ДБЭ, интегрированное в программу управления ростовым процессом;
- Чёрно-белая ПЗС-видеокамера высокой чувствительности для контроля картин дифракции быстрых электронов с кронштейном для установки на фланец DN100CF;
- Комплект кабелей.

X. Система управления манипуляторами в составе:

- Блок управления шаговыми двигателями;
- Комплект выносных пультов управления механизмами (линейные и ростовой манипуляторы, накопители КШ и КПП).

XI. Комплект держателей подложки, восемь (8) шт. в составе (стандартный комплект):

- держатель с адаптером под подложку Ø2”– 6 шт.;
- держатель с адаптером под подложку Ø3”– 1 шт.;
- держатель с адаптером под подложку Ø4”– 1 шт.

XII. Комплект транспортировочной тары

XIII. Комплект запасных частей и принадлежностей

- Комплект нестандартных (не DIN CF) медных прокладок для эксплуатации установки в течение 5 лет;
- Запасные катоды электронной пушки ДБЭ, 5 шт.;
- Запасные катоды масс-спектрометра RGA200, 5 шт.;
- Комплект заглушек CONFLAT для обеспечения регламентных работ.

XIV. Комплект эксплуатационной документации.
4 Технические характеристики установки МПЭ STE3N3

Основные технические характеристики приведены в таблице:

№	Наименование параметра	Значение
1	Максимальный диаметр подложки, мм	100
2	Максимальная температура нагрева подложки, град., не менее	1100*
3	Максимальная скорость вращения держателя подложки, об./с	1
4	Максимальное количество молекулярных источников	7+1
5	Максимальная рабочая температура тигельных молекулярных источников, град., не менее	1350
6	Максимальный поток газовой компоненты роста, не менее	200 ст. см ³ /с
7	Максимальная температура нагрева подложки в камере предварительной подготовки, град., не менее	650
8	Минимальная экстраполированная скорость напыления нанослоев, нм/с, не более	0,001
9	Температура прогрева камеры роста, град., не менее	200
10	Температура прогрева камер перезарядки и предварительной подготовки, град., не менее	150
11	Максимальное остаточное давление в камере роста после прогрева 200°C в течение 48 часов, с отключенным нагревом подложки и испарителей при откачке ионным насосом, Па, не хуже	1x10 ⁻⁸
12	Расход жидкого азота в сутки при непрерывной работе, литров, не более	750
13	Максимальная энергия пучка электронов электронной пушки RHEED, КэВ	30
14	Диапазон измерений квадрупольного масс-спектрометра, а.е.м.	1 – 200
15	Диапазон измерений пирометра, °С	500 – 1200

* - температура на подложке сапфира диаметром 50,8 мм с металлизацией задней стороны слоем титана толщиной 0,4 мкм, нанесённым способом магнетронного распыления в вакууме

5 Перечень основных опций (не входят в базовую комплектацию)

- 5.1 Ti-сублимационный насос с блоком питания.
- 5.2 Дополнительные молекулярные источники эффузионного типа (тигли 5, 15, 25, 35, 60 см³).
- 5.3 Плазменный источник азота с газовой линией подачи сверхчистого азота.
- 5.4 Блоки питания 20А 30В к дополнительным молекулярным источникам.
- 5.5 Датчик потоков Байярда-Альперта.
- 5.6 Источник атомарного водорода в комплекте с турбомолекулярным насосом.
- 5.7 Дополнительный комплект держателей подложки.
- 5.8 Электронный блок защиты молекулярного источника алюминия.
- 5.9 Стартовый комплект материалов для начала ростовых экспериментов (Ga, Al, In, NH₃, Si, Mg).
- 5.10 Дополнительный комплект запасных частей и принадлежностей.

6 Гарантии.

6.1. Исполнитель предоставляет гарантию на модуль МЛЭ STE3N3 сроком 12 месяцев с даты подписания Акта приёмки по окончанию монтажа и аппаратного запуска модуля на территории Заказчика.

6.2. Гарантия не распространяется на узлы и части модуля, повреждённые в результате несоблюдения Заказчиком инструкций по эксплуатации модуля МЛЭ STE3N3.

6.3. Гарантия не распространяется (за исключением дефектов материала либо изготовления на момент передачи узлов установки Заказчику) на следующие расходные элементы конструкции узлов установки:

- Нагреватели подложки;
- Катоды масс-спектрометра;
- Катоды электронной пушки;
- Катоды датчиков вакуума;
- Тигли молекулярных источников;
- Молекулярные источники в случае, если выход из строя был вызван вытеканием ростового материала либо растрескиванием тигля;
- Адаптеры держателей подложки.

7 Базовая поставка модуля включает:

7.1 Установка МЛЭ STE3N3 в базовой комплектации по цене на складе поставщика.

7.2 Аппаратный запуск с демонстрацией основных параметров модуля Заказчику на территории Исполнителя.

7.3 Упаковка и доставка установки Заказчику (в европейской части РФ).

7.4 Монтаж и аппаратный запуск установки на территории Заказчика специалистами Исполнителя.

7.5 Технологический тренинг специалистов Заказчика на запущенной установке, включающий обучение росту гетероструктур в системе InAlGaN, сопровождающийся передачей технологической документации на выращивание (по выбору Заказчика):

- Модельных гетероструктур с квантовыми ямами GaN/AlGaN при росте на подложках Al₂O₃ диаметром 2” с металлизацией задней стороны молибденом либо титаном;
- Модельных гетероструктур с массивами квантовых точек InGaN в матрице GaN/AlGaN при росте на подложках Al₂O₃ диаметром 2” с металлизацией задней стороны молибденом либо титаном.

Срок поставки: 10 месяцев