



SemiTEq – это зарегистрированная торговая марка ЗАО «Научное и технологическое оборудование».

На сегодняшний день «SemiTEq» – единственный в России бренд, под которым производится законченный комплекс высоковакуумного и сверхвысоковакуумного оборудования мирового уровня и для эпитаксиального выращивания полупроводниковых наногетероструктур, и для проведения ключевых технологических операций планарного цикла при проведении опытно-конструкторских разработок, мелкосерийного и серийного производства приборов нанoeлектроники, полупроводниковой микро- и оптоэлектроники.

ПРОДУКТОВЫЕ ЛИНИИ:

- Установки молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) для различных систем полупроводниковых материалов
- Оборудование планарных технологий: установки электронно-лучевого и магнетронного напыления, плазмохимического травления, нанесения диэлектриков, быстрого температурного отжига

ПОЛИТИКА РАЗРАБОТОК:

От задач технологии к возможностям оборудования:

В разработке оборудования компания опирается на собственный опыт проведения НИОКР в области полупроводниковых технологий, позволяющий оптимизировать выработку технических требований к разрабатываемому технологическому оборудованию. Все требования к оборудованию основываются на особенностях технологий в выбранной системе материалов.

КОНСТРУКЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ ОЦЕНИВАЕТ ТЕХНОЛОГ:

Компания включает в свою технологическую программу специальные эксперименты для проверки принятых конструкторских решений. Все оборудование снабжается активным технологическим know-how.

В РЕЗУЛЬТАТЕ:

- Все конструкторские решения проверены и обоснованы технологической практикой
- Вместе с установкой поставляются технологические процессы, выводящие пользователя на современный уровень разработок за короткое время

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА:

Технологический тренинг персонала Заказчика включен в базовое коммерческое предложение. В качестве специальной опции поставка всего оборудования может сопровождаться расширенным тренингом, включающим постановку базовых технологических процессов, обеспечивающих пользователю быстрый выход на современный уровень разработок.

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ:

По запросу Заказчика установки МПЭ могут изготавливаться в нестандартной конфигурации, включающей вакуумно-плотное сопряжение с другими сверхвысоковакуумными системами – исследовательскими сверхвысоковакуумными туннельными микроскопами, системами рентгеновской дифракции в синхротронном излучении, сверхвысоковакуумным оборудованием планарных технологий и другими системами.

УЧАСТИЕ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММАХ:

Часть разработок проведена по заказу Федерального Агентства по Науке и Инновациям по государственным контрактам № 02.447.11.2007 и № 02.467.11.2012



Трехкамерная установка STE3N3 разработана с учётом специфики роста материалов АЗN и обеспечивает чрезвычайно широкий технологический диапазон допустимых ростовых параметров. Благодаря заложенным возможностям STE 3N3 обеспечивает эффективное проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ а также постановку пилотного производства эпитаксиальных структур на основе нитридов.

STE3N3 позволяет выращивать соединения системы InAlGaN/GaN на подложках Si, SiC, Al₂O₃ и др. диаметром до 100 мм с использованием аммиака в качестве источника активного азота. Постановка плазменного источника азота доступна в качестве опции.

STE3N3 обладает криопанелями увеличенной площади, спроектированными для эффективной откочки аммиака. Маршевая система откочки 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 (>1200°C) температурами подложки.

Технические требования к установке STE3N3 были выработаны на основе многолетней интенсивной экспериментальной работы по выращиванию нитридов сотрудниками технологической лаборатории компании на установках предыдущего поколения.

СОСТАВ УСТАНОВКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

В базовую конфигурацию STE3N3 включены:

- Ростовая камера с блоком молекулярных источников;
- Камера подготовки;
- Шлюзовая камера;
- Система сверхвысоковакуумного транспорта подложек;
- Система управления технологическим процессом, в том числе специализированное программное обеспечение.

РОСТОВАЯ КАМЕРА

Вертикально ориентированная ростовая камера включает две азотные криопанели, ростовой манипулятор, молекулярные источники с заслонками, а также всё необходимое оборудование для in-situ мониторинга процессов роста (RHEED, масс-спектрометр, ИК пирометр, лазерный интерферометр, синхронизированный с вращением ростового манипулятора).

БЛОК МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЗАСЛОНОК

На блоке молекулярных источников и заслонок расположен центральный порт для установки источника аммиака и семь портов, оборудованных заслонками, для установки молекулярных источников.

СИСТЕМА ОТКАЧКИ

Вакуумная откачка ростовой камеры обеспечивается мощным коррозионно-стойким турбомолекулярным насосом на магнитном подвесе с повышенным компрессионным отношением по водороду в паре со спиральным насосом, тщательно разработанным дизайном криопанелей, обеспечивающим эффективное окружение ростового объема, а также ионным насосом поддержки производительностью 300 л/с.

Откачка остальных камер обеспечивается ионными насосами, для предварительной откачки шлюзовой камеры используется двухступенчатая безмаслянная откачка (спиральный + турбомолекулярный насосы, скомпонованные в мобильный откачной пост)..

РОСТОВОЙ МАНИПУЛЯТОР

Ростовой манипулятор обеспечивает трёхступенную систему позиционирования держателя подложки ростовой поверхностью вниз с возможностью коррекции ростовой геометрии путём вертикального перемещения подложки. Конструкция манипулятора, выполненная без использования танталовых деталей, обеспечивает продолжительное вращение подложки, нагретой до температуры $>1200^{\circ}\text{C}$ со скоростью 1 об/с. Держатель подложки патентованной конструкции обеспечивает высокую температурную однородность по диаметру подложки даже в случае использования материала подложки с низкой теплопроводностью (сапфир). Ростовой манипулятор снабжён «главной» заслонкой.

КАМЕРА ПОДГОТОВКИ

Камера подготовки содержит узел прогрева подложки до максимальной температуры 450°C (в качестве опции — до 1100°C) с целью предварительного обезгаживания либо полноценного отжига подложек перед ростом вне остаточной атмосферы ростовой камеры. Уровень вакуума в режиме отжига поддерживается за счёт интегрированного водяного охлаждения корпуса камеры и мощного ионного насоса производительностью 500 л/с, снабжённого азотной криопанелью (в качестве опции для высокотемпературного исполнения может поставляться крионасос). Также в качестве опции предусмотрена постанровка на камеру плазменного источника водорода в качестве инструмента дополнительной очистки поверхности подложек перед ростом.

ШЛЮЗОВАЯ КАМЕРА

Шлюзовая камера включает окно быстрой загрузки, оборудованное боксом инертной атмосферы, накопитель держателей подложки до 8 позиций и систему контролируемого напуска азота/предварительной откачки. В стационарном режиме камера откачивается ионным насосом производительностью 300 л/с.

СИСТЕМА СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОГО ТРАНСПОРТА ПОДЛОЖЕК

Моторизованная система транспорта подложек обеспечивает простое и удобное перемещение образца по всей установке.



КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТЕЗНЗ

- специальная продуманная конструкция для эффективного выращивания нитридов III группы в широком диапазоне технологических параметров (эффективный поток азота, температура подложки, рабочий вакуум)
- криопанели большой площади для эффективной откачки аммиака
- запатентованный источник Al специальной конструкции с увеличенным ресурсом работы, обеспечивающий рост AlN со скоростью до 2 мкм/ч в остаточной атмосфере аммиака
- достаточный набор in-situ мониторинга процесса роста в базовой комплектации
- запатентованный держатель образца специальной конструкции, обеспечивающий высокую температурную однородность даже при росте на сапфировых подложках
- высокотемпературный ростовой манипулятор, обеспечивающий продолжительный рост высококачественных слоёв AlN при температуре роста более 1200°C
- быстрый технологический старт, обеспеченный интенсивной технологической поддержкой
- удобство работы и обслуживания

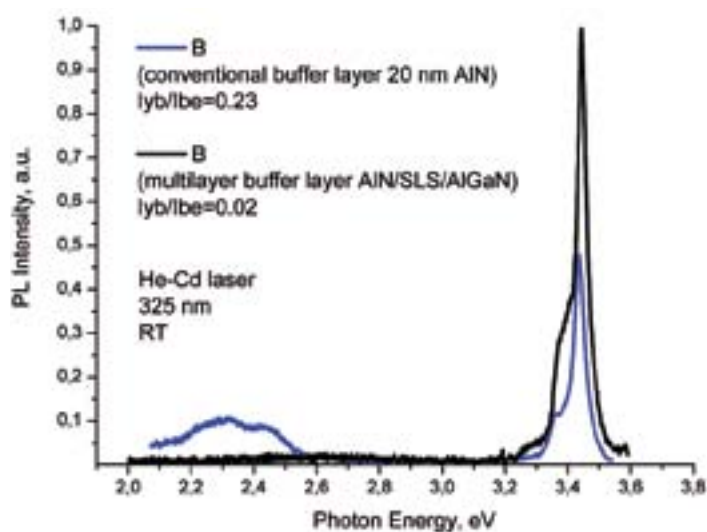


Рис. 1 Спектр фотолуминесцирующего слоя GaN, выращенного на STE3N3 с использованием толстого высокотемпературного буферного слоя AlN*

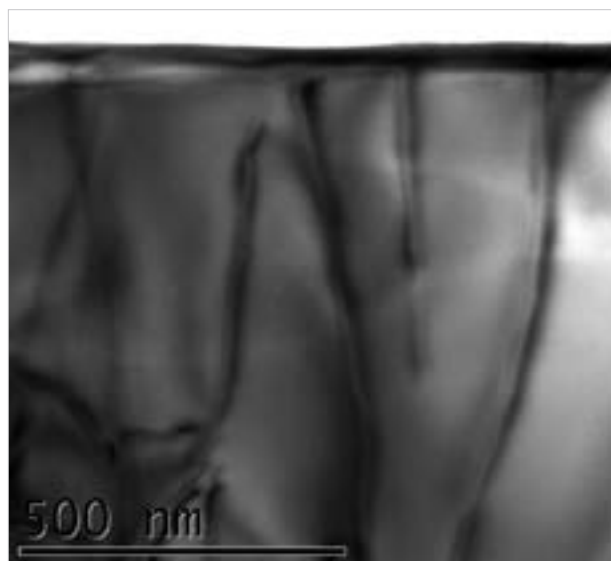


Рис. 2 ТЕМ-изображение, полученное от слоя GaN 1.5μm, выращенного с помощью STE3N3 на сапфире с использованием высокотемпературного буфера AlN. Плотность дислокации <math>< 5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}</math>

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Предельный остаточный вакуум после прогрева установки: $< 1 \times 10^{-10}$ Торр
- Типичный рабочий вакуум в камере роста в ходе процесса: $10^{-6} \pm 10^{-5}$ Торр
- Максимальный рабочий диаметр подложки: 100мм
- Расстояние «источник-подложка»: 135±210мм
- Конструкция приводов заслонок источников: поворотный механизм на основе магнитного ввода вращения с безударным пневмоприводом
- Материал лопастей заслонок: тантал (стандартно); молибден, PBN – опция
- Конструкция нагревательного элемента ростового манипулятора: PBN/PG/PBN
- Температура ростовой поверхности сапфировой подложки диаметром 2", покрытой с задней стороны слоем титана, не менее: 1200°C
- Температура обезгаживания подложки в камере подготовки, не менее: 450°C (до 1100°C в качестве опции)
- Максимальный поток аммиака, не менее: 400 ст.см³
- Температура прогрева камеры роста, не менее: 200°C

ОПЦИИ

Ti-сублимационный насос с блоком питания.

Дополнительные молекулярные источники эффузионного типа (тигли 5, 15, 25, 35, 60 см³).

Плазменный источник азота с газовой линией подачи сверхчистого азота.

Датчик потоков Байярда-Альперта.

Блоки питания к дополнительным молекулярным источникам.

Источник атомарного водорода в комплекте с турбомолекулярным насосом.

Дополнительный комплект держателей подложки.

Стартовый комплект материалов для начала ростовых экспериментов (Ga, Al, In, NH₃, Si, Mg, сапфировые подложки с Ti-металлизацией).

Система подачи жидкого азота в установку.

Дополнительный комплект запасных частей и принадлежностей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Технологический тренинг персонала Заказчика включен в базовое коммерческое предложение. В качестве специальной опции поставка STE3N3 может сопровождаться расширенным тренингом, включающим постановку базовых технологических процессов, обеспечивающих пользователю быстрый выход на современный уровень разработок в области приборно-ориентированных направлений выращивания нитридных гетероструктур.

* В сравнении с GaN на обычном «тонком» AlN-буфере



Трёхкамерная установка STE3532 разработана с учётом последних достижений в области молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) традиционных полупроводников в системах АЗВ5.

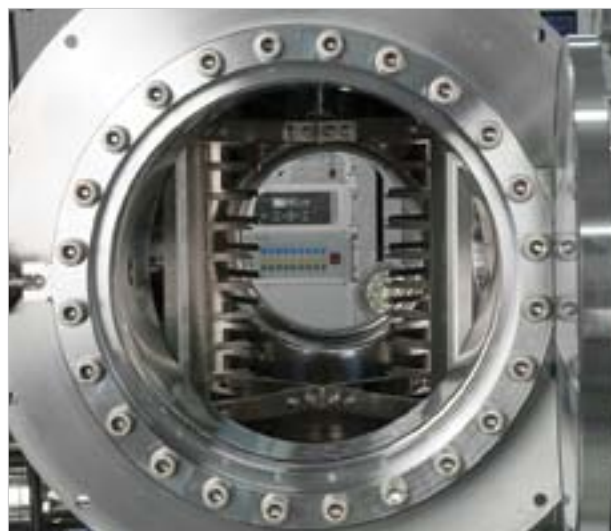
Областью применения установки МПЭ STE3532 являются фундаментальные и прикладные научные исследования, опытно-конструкторские работы и мелкосерийное экспериментальное производство эпитаксиальных структур в режиме "lab to fab" в системе InAlGaAs/GaAs.

STE3532 представляет собой современную технологическую платформу для прецизионного выращивания эпитаксиальных слоев на подложках диаметром 2", 3", 100 мм, а также 3 подложки диаметром 2" в одном процессе. В ходе технологического процесса предоставляется возможность *in situ* мониторинга процесса роста с помощью RHEED. 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 подложки в держателе располагаются горизонтально ростовой поверхностью вниз, что резко уменьшает неконтролируемые загрязнения. Криопанели увеличенной площади предназначены для эффективной откачки летучей компоненты V-й группы, их дизайн минимизирует вероятность попадания продуктов роста с криопанели в источники материалов.

Отличительной чертой конструкции является возможность корректировки ростовой геометрии в заметных пределах за счёт значительного 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 обеспечением приемлемой однородности эпитаксиальной плёнки, а также «производственное», при котором рост осуществляется с вращением и обеспечивается высокая однородность на больших диаметрах подложки.

Технические требования к установке STE3532 были выработаны на основе 20-летней интенсивной экспериментальной работы по выращиванию методом МПЭ гетероструктур в системе InAlGaAs/GaAs для опто- и микроэлектроники сотрудниками технологической лаборатории компании.



СОСТАВ УСТАНОВКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:**В базовую конфигурацию STE3532 включены:**

- Ростовая камера с блоком молекулярных источников;
- Камера подготовки;
- Шлюзовая камера;
- Система сверхвысоковакуумного транспорта подложек;
- Система управления технологическим процессом, в том числе специализированное программное обеспечение.

РОСТОВАЯ КАМЕРА

Вертикально ориентированная ростовая камера включает две азотные криопанели, ростовой манипулятор, молекулярные источники с заслонками, а также всё необходимое оборудование для in-situ мониторинга процессов роста (RHEED, масс-спектрометр, ИК пирометр). Датчик потоков Байярда-Альперта и лазерный интерферометр доступны в виде опции.

БЛОК МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЗАСЛОНОК

В конструкции STE3532 блок молекулярных источников является частью ростовой камеры – такая конфигурация позволяет установку до 12 портов, снабжённых заслонками, помимо центрального порта без заслонки. Вентильный источник мышьяка с возможностью крекинга входит в базовую комплектацию.

СИСТЕМА ОТКАЧКИ

Вакуумная откачка ростовой камеры обеспечивается ионным насосом производительностью 800 л/с, тщательно разработанным дизайном криопанелей, обеспечивающим эффективное окружение ростового объема и исключая попадание продуктов роста с криопанели в источники, а также сублимационным насосом.

Откачка остальных камер обеспечивается ионными насосами, для предварительной откачки шлюзовой камеры используется двухступенчатая безмасляная откачка (спиральный+турбомолекулярный насосы, скомпонованные в мобильный откачной пост).

**РОСТОВОЙ МАНИПУЛЯТОР**

Ростовой манипулятор обеспечивает трёхступенную систему позиционирования держателя подложки ростовой поверхностью вниз с возможностью коррекции ростовой геометрии путём вертикального перемещения подложки. Конструкция манипулятора обеспечивает продолжительное вращение подложки, нагретой до температуры $>800^{\circ}\text{C}$ со скоростью 1 об/с. Нагревательный элемент на основе сэндвича PBN/PG/PBN помимо высокой однородности нагрева позволяет реализовать резкие температурные профили в ходе роста материалов с существенно различающейся температурой роста, например InGaAs в матрице AlGaAs. Держатель подложки обеспечивает высокую температурную однородность по диаметру подложки. Ростовой манипулятор снабжён «главной» заслонкой.

КАМЕРА ПОДГОТОВКИ

Камера подготовки содержит узел прогрева подложки до максимальной температуры 650°C с целью предварительного обезгаживания и, при необходимости, сгона окисла с подложки GaAs. Уровень вакуума в режиме отжига поддерживается за счёт интегрированного водяного охлаждения корпуса камеры и мощного ионного насоса производительностью 500 л/с, снабжённого азотной криопанелью. В качестве дополнительной опции предусмотрена постановка на камеру плазменного источника водорода в качестве инструмента дополнительной очистки поверхности подложек перед ростом.

ШЛЮЗОВАЯ КАМЕРА

Шлюзовая камера включает окно быстрой загрузки, оборудованное боксом инертной атмосферы, накопитель держателей подложки до 8 позиций и систему контролируемого напуска азота/предварительной откачки. В стационарном режиме камера откачивается ионным насосом производительностью 300 л/с.

СИСТЕМА СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОГО ТРАНСПОРТА ПОДЛОЖЕК

Моторизованная система транспорта подложек обеспечивает простое и удобное перемещение подложки в держателе по всей установке.

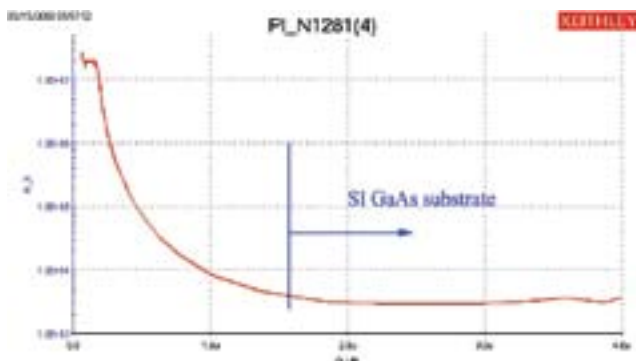


Рис. 3 Вольт-фарадная характеристика GaAs-MESFET-структуры, демонстрирующая концентрацию остаточных примесей в нелегированном буфере $<10^{14} \text{ см}^{-3}$

Map Rs [Ohm/sq] Struct # GaAs MESFET Mean = 620 +/- 0.5%

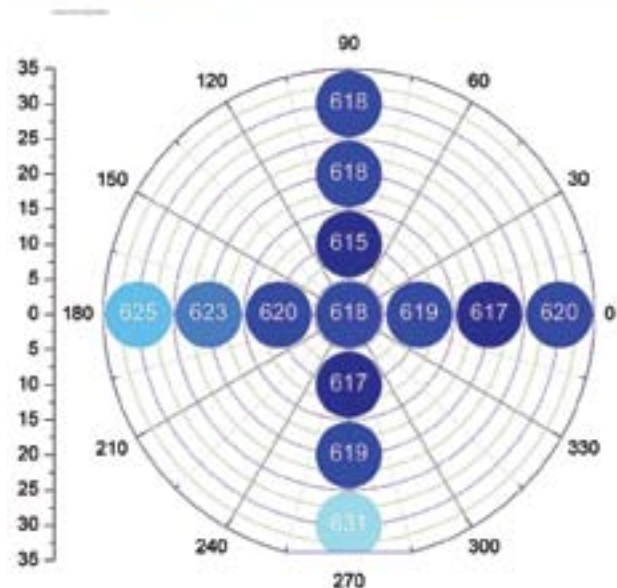


Рис. 4 Карта измерений слоевого сопротивления MESFET-структуры, выращенной на подложке Ø3"

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА STE3532

- идеология "lab to fab", позволяющая перекрывать диапазон от фундаментальных исследований до пилотного производства гетероструктур
- конструкция ростовой камеры, тщательно продуманная с учётом специфики выращивания материалов АЗВ5
- специализированные молекулярные источники Al (cold lip) для устойчивой работы и Ga (hot lip) для получения структур с малой плотностью ростовых дефектов
- достаточный набор in-situ мониторинга процесса роста в базовой комплектации
- держатель образца специальной конструкции обеспечивающий высокую температурную однородность
- быстрый технологический старт, обеспеченный интенсивной технологической поддержкой
- удобство работы и обслуживания

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Предельный остаточный вакуум в камере роста после прогрева: $<5 \times 10^{-11}$ Торр
- Максимальный рабочий диаметр подложки: 100мм либо 3x2"
- Расстояние "источник-подложка": 135+210мм
- Конструкция приводов заслонок источников: поворотный механизм на основе магнитного ввода вращения с безударным пневмоприводом
- Материал лопастей заслонок: тантал (стандартно); молибден, PBN – опция
- Конструкция нагревательного элемента ростового манипулятора: PBN/PG/PBN
- Максимальная рабочая температура ростового манипулятора, не менее: 900°C
- Температура обезгаживания подложки в камере подготовки, не менее: 650°C
- Температура прогрева камеры роста, не менее: 200°C

ОПЦИИ

Дополнительные молекулярные источники эффузионного типа (тигли 5, 15, 25, 35, 60 см³).

Блоки питания к дополнительным молекулярным источникам.

Источник атомарного водорода в комплекте с турбомолекулярным насосом.

Датчик потоков Байярда-Альперта.

Дополнительный комплект держателей подложки.

Лазерный интерферометр.

Стартовый комплект материалов для начала ростовых экспериментов (Ga, Al, In, Si, Be, подложки GaAs, InP).

Система подачи жидкого азота в установку.

Дополнительный комплект запасных частей и принадлежностей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Технологический тренинг персонала Заказчика включен в базовое коммерческое предложение. В качестве специальной опции поставка STE3532 может сопровождаться расширенным тренингом, включающим постановку базовых технологических процессов, обеспечивающих пользователю быстрый выход на современный уровень разработок в области приборно-ориентированных направлений выращивания гетероструктур на основе GaAs.



Двухкамерная установка STE3N2 является упрощённой версией трёхкамерной установки и предназначена для проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ а также постановку пилотного производства эпитаксиальных структур на основе нитридов. В конструкции STE3N2 отсутствует камера подготовки, ростовая камера непосредственно стыкуется с камерой шлюза. Отсутствие буферной сверхвысоковакуумной камеры между ростовой и шлюзовой камерами практически не влияет на свойства выращиваемых гетероструктур благодаря специфике нитридной МПЭ. Однако, в случае необходимости получения предельных параметров гетероструктур, использование трёхкамерной STE3N3 предпочтительно вследствие гарантируемого качества остаточной атмосферы в камере роста при долговременной работе. Некоторым эксплуатационным преимуществом STE3N2 при этом является несколько меньший по сравнению с STE3N3 "footprint".

Так же, как и полная версия (STE3N3), двухкамерная установка является специализированной установкой МПЭ для роста материалов AlIn на подложках диаметром до 100 мм и обеспечивает чрезвычайно широкий технологический диапазон доступных ростовых параметров.

СОСТАВ УСТАНОВКИ:

В базовую конфигурацию STE3N2 включены:

- Ростовая камера с блоком молекулярных источников;
- Шлюзовая камера;
- Система сверхвысоковакуумного транспорта подложек;
- Система управления технологическим процессом, в том числе специализированное программное обеспечение.

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА STE3N2

К перечисленным для STE 3N3 добавляется компактный footprint двухкамерной установки.



КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Соответствуют перечисленным для STE3N3, за исключением возможности обезгаживания подложки в камере подготовки.

ОПЦИИ:

- Ионный насос 300 л/с с затворным клапаном для откачки камеры роста между сериями эпитаксиальных процессов и во время прогрева
- Остальной перечень аналогичен STE3N3 за исключением источника атомарного водорода

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Технологический тренинг персонала Заказчика включен в базовое коммерческое предложение. В качестве специальной опции поставка STE3N2 может сопровождаться расширенным тренингом, включающим постановку базовых технологических процессов, обеспечивающих пользователю быстрый выход на современный уровень разработок в области приборно-ориентированных направлений выращивания нитридных гетероструктур.