ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на Систему ионного травления Leica EM TIC3X

Производитель - Leica Microsystems GmbH (Германия)
Срок поставки – до 10 декабря 2026 года
Стоимость – 75 000 000 (с НДС)

1. Состав поставки

- Основная установка трехлучевой ионной резки/травления с безмасляной высоковакуумной системой и интегрированным сенсорным управлением — 1 комплект.
- Три независимо управляемых ионных источника в едином узле — 1 комплект.
- Стандартный трехкоординатный образцовый столик с держателями образцов — 1 комплект.
- Стереомикроскоп для визуального контроля и позиционирования — 1 комплект.
- Система наблюдения/освещения: подготовка для кольцевой и коаксиальной LED-подсветки, оптическое смотровое окно и защитное стекло — 1 комплект.
- Комплект подключения технологического газа (аргон), держатель маски, необходимые кабели, соединения, принадлежности и стартовые расходные материалы — 1 комплект.
- Документация, пусконаладка, проверка работоспособности и обучение персонала — 1 комплект.

2. Технические требования к основной установке

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Тип оборудования	Стационарная высоковакуумная установка ионной подготовки образцов с тремя независимыми источниками ионов для формирования поперечных сечений и финишной ионной обработки поверхности.
2	Конструкция вакуумной камеры	Алюминиевая вакуумная камера с уплотнениями Viton либо эквивалентным химически и вакуумно стойким эластомером.
3	Количество ионных источников	Не менее 3 источников, объединенных в одном узле и управляемых независимо друг от друга.
4	Принцип ионных источников	Ионные источники saddle-field или функционально эквивалентные, предназначенные для стабильной работы с аргоном в диапазоне энергий 1–10 keV.
5	Энергия ионов	Регулируемая в диапазоне не уже 1–10 keV.
6	Ток каждого источника	Регулируемый диапазон не уже 0,5–4,5 mA; шаг установки не более 0,1 mA на каждый источник.
7	Плотность ионного тока	Не менее 10 mA/cm² на один источник при штатных режимах.
8	Диаметр ионного пучка (FWHM)	Не более 0,8 mm при 10 keV; при 2 keV — не более 2,5 mm.
9	Юстировка ионного пучка	Ручная регулярная юстировка оператором не должна требоваться.
10	Ресурс катода	Не менее 350 часов при режиме 8 kV / 3,0 mA.

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
11	Рабочий газ	Аргон чистотой не ниже 99,999 % (Ar 5.0).
12	Давление газа на входе	Рабочий диапазон 0,2–0,8 bar; возможность работы при рекомендованном значении около 0,5 bar.
13	Расход газа	Менее 1 sccm на один ионный источник с автоматическим регулированием.
14	Газовая система	Не менее 3 независимо управляемых клапанов подачи технологического газа — по одному каналу на каждый ионный источник.
15	Диапазон материалов	Система должна обеспечивать обработку металлов, полупроводников, минералов/горных пород, керамики, полимеров и других материалов, совместимых с ионной обработкой.

3. Вакуумная система

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Тип вакуумной системы	Полностью безмасляная (oil-free) система; отсутствие масляного форвакуумного насоса в базовой комплектации.
2	Предельное/рабочее давление	Система должна обеспечивать вакуум не менее 1×10^{-5} mbar.
3	Турбомолекулярный насос	Турбомолекулярный drag pump производительностью не менее 70 l/s.
4	Форвакуумный насос	Виброразвязанный мембранный безмасляный насос производительностью не менее 13 l/min, 4-ступенчатого типа или функционально эквивалентный в согласованной заводской конфигурации.
5	Виброразвязка	Форвакуумный насос должен быть механически развязан от корпуса/рабочей зоны для минимизации передачи вибраций на образец и систему наблюдения.
6	Вентиляция камеры	Автоматизированный/управляемый vent valve.
7	Измерение давления	Компактный full-range вакуумметр; измерение низкого вакуума по принципу Pirani и высокого вакуума холоднокатодным датчиком либо эквивалентная комбинированная технология.
8	Контроль вакуума	Вакуумная система должна управляться общей системой управления установки и иметь защитные блокировки по условиям запуска ионных источников.

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
9	Время выхода на высокий вакуум	После запуска откачки система должна достигать порядка 1×10^{-5} mbar ориентировочно не более чем за 30 min при штатном состоянии камеры и вакуумной системы.

4. Столик и позиционирование

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Тип столика	Стандартный трехкоординатный образцовый столик для рутинной подготовки поперечных сечений и повышения контраста поверхности.
2	Перемещение X	Не менее ±5 mm; орган управления должен быть доступен при образце, находящемся в вакуумной камере.
3	Перемещение Y	Не менее ±1 mm в зоне резки; орган управления должен быть доступен при образце, находящемся в вакуумной камере.
4	Перемещение Z	Не менее 6 mm.
5	Размер образца, базовый держатель	До 50 × 50 mm при толщине 0–5 mm.
6	Дополнительный диапазон толщины	Наличие совместимого держателя для образцов до 50 × 50 mm толщиной 5–10 mm либо эквивалентное решение.
7	Количество держателей в базовом комплекте	Не менее 2 держателей/креплений для образцов до 50 × 50 × 5 mm или эквивалентного назначения.
8	Точность позиционирования маски	Не хуже ±2 μm.
9	Размер зоны формируемого поперечного сечения	Глубина не менее 1 мм и ширина менее 4 мм.
10	Необходимость вращения/осцилляции стандартного столика	Для режима стандартной cross-section подготовки отдельное вращение/осцилляция не требуется.
11	Держатель маски	Должен входить в комплект поставки и быть штатно совместим со стандартным столиком.

5. Система наблюдения и управления

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Наблюдение образца	Возможность визуального контроля образца и его положения относительно маски через оптическое смотровое окно.
2	Смотровое окно	Оптическое стекло (optical grade) для viewing port.

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
3	Защитное стекло	Съемное защитное стекло смотрового окна
4	Подсветка	Подготовка/совместимость как минимум с кольцевой сегментированной LED-подсветкой и коаксиальной LED-подсветкой.
5	Управление	Встроенный процесс-контроллер/компьютер, управляющий подачей газа, вакуумом и высоковольтными источниками.
6	Пользовательский интерфейс	Управление основными функциями установки через интегрированный сенсорный экран.
7	Безопасность	Аппаратные и/или программные safety interlocks, исключающие запуск опасных режимов при несоблюдении условий вакуума, закрытия камеры и иных критических состояний.
8	Интерфейс передачи данных	USB-порт для сервисных/пользовательских функций и экспорта данных/настроек в пределах функционала производителя.
9	Управление процессом	Задание и контроль как минимум энергии ионов, тока источников и времени процесса с отображением текущего состояния системы.

6. Производительность, скорость травления и расчетное время подготовки образцов

Ключевое защищающее требование: производительность должна подтверждаться официальной документацией производителя для кремния Si(100) в указанном режиме, а не только расчетной мощностью источников.

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Референсная скорость ионного фрезерования/травления	До 300 μm/h на Si(100) при энергии 10 keV, на расстоянии 100 μm от края образца; значение подтверждается усреднением по 2-часовому процессу.
2	Функциональный результат на стандартном столике	Получение поперечного сечения глубиной не менее 1 мм и шириной не менее 4 мм.
3	Подготовка к запуску процесса	Автоматизированная откачка камеры до рабочего высокого вакуума; ориентир времени выхода к ~1×10^{-5} mbar — до 30 min при штатных условиях.
4	Контроль воздействия	Возможность уменьшения энергии и тока для финишной очистки/полировки поверхности после более производительного этапа удаления материала.

6.1. Расчетные ориентиры времени ионной обработки

Расчет ниже выполнен по референсной скорости 300 μm/h. Это не универсальная гарантия времени для любого материала: реальная скорость зависит от коэффициента распыления материала, энергии и тока ионов, геометрии, расстояния до края, состояния поверхности и выбранного режима финишной обработки.

Удаляемая глубина / эквивалентный путь	Ориентировочное время ионной обработки при 300 µm/h
50 µm	≈ 10 min
100 µm	≈ 20 min
250 µm	≈ 50 min
300 µm	≈ 60 min
500 µm	≈ 1 h 40 min
1 000 µm (1 mm)	≈ 3 h 20 min

Для планирования полного цикла к времени ионной обработки следует прибавлять время загрузки/позиционирования образца и откачки камеры. При ориентировочном времени откачки до 30 min полный машинный цикл после загрузки составит примерно: 100 µm — от 50 min; 500 µm — от 2 h 10 min; 1 mm — от 3 h 50 min. Время ручной установки образца, финишного low-energy этапа и вентиляции камеры в эти оценки не включено.

7. Стереомикроскоп для визуального контроля

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Оптическая схема	Greenough, угол схождения около 10°, использование наиболее скорректированной центральной части объектива; полностью апохроматически скорректированная система.
2	Технология увеличенной глубины резкости	FusionOptics или эквивалентная технология, обеспечивающая одновременно высокую разрешающую способность и увеличенную глубину резкости; глубина резкости до 12 mm в референсной конфигурации.
3	Коэффициент зума	Не менее 9:1.
4	Диапазон общего увеличения в базовой конфигурации	Не уже 6,1×–55× при окулярах 10× и без дополнительной линзы.
5	Угол наблюдения	Около 35°.
6	Максимальная разрешающая способность	До 500 lp/mm при соответствующей конфигурации объектива; базовая конфигурация должна поддерживать дальнейшее расширение оптики.
7	Максимальная числовая апертура	Не менее 0,167.
8	Рабочее расстояние	Не менее 122 mm в базовой конфигурации без защитной линзы.
9	Максимальный диаметр поля объекта	Не менее 37,6 mm в базовой конфигурации.

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
10	Фиксируемые положения увеличения	Наличие воспроизводимых click-stop позиций как минимум около 10×, 20×, 30×, 40× и 50×.
11	Межзрачковое расстояние	Регулируемое, диапазон не уже 50–76 mm.
12	Совместимость окуляров	Поддержка эргономичных окуляров 10×/23 и иных штатных окуляров производителя.
13	Корпус	Материал промышленного исполнения; предпочтительно антимикробная поверхность корпуса или эквивалентное решение.

8. Электропитание, габариты и условия эксплуатации

№	Параметр / требование	Минимальное требуемое значение / исполнение
1	Электропитание установки	100–230 VAC, 50/60 Hz.
2	Допустимые колебания сети	Не хуже ±15 % от номинального напряжения.
3	Потребляемая мощность основной установки	Не более 300 W в штатном режиме.
4	Уровень шума	Не более 50 dB(A) в штатном режиме.
5	Габариты основной установки	Ориентировочно не более 500 mm (W) × 738 mm (D) × 485 mm (H) без установленного стереомикроскопа; глубина с задними подключениями до 810 mm.
6	Масса основной установки	Масса основного блока установки со встроенной вакуумной системой, включая форвакуумный и турбомолекулярный насосы, должна составлять не более 70 кг. Использование отдельного внешнего механического или масляного форвакуумного насоса не допускается
7	Температура эксплуатации	Рабочий диапазон должен включать 15–30 °C.
8	Относительная влажность	До 80 % RH без конденсации.
9	Высота эксплуатации	До 2000 m над уровнем моря.

9. Требования к монтажу, пусконаладке и приемке

- Поставщик выполняет распаковку, сборку, подключение, первичную проверку вакуумной системы и ионных источников, настройку системы наблюдения и ввод оборудования в эксплуатацию.

- При пусконаладке проверяется достижение рабочего вакуума, запуск трех ионных источников, регулирование напряжения/тока, работа газовых каналов, сенсорного интерфейса, защитных блокировок и системы наблюдения.
- Заказчик обеспечивает аргон чистотой не ниже 99,999 % и регулируемое давление подачи в диапазоне 0,2–0,8 bar, а также электропитание и место установки согласно требованиям производителя.
- Должен быть выполнен демонстрационный процесс подготовки тестового образца с подтверждением формирования поперечного сечения/обработанной поверхности.
- Проводится обучение пользователей по загрузке и позиционированию образца, работе с маской, выбору энергии/тока/времени, запуску и остановке процесса, безопасной работе, базовому обслуживанию и правилам работы с аргоном.
- Все компоненты комплекта должны быть штатно совместимы между собой и поставляться как единая работоспособная система.

10. Документация и подтверждение соответствия

- Официальное техническое описание/брошюра производителя на предлагаемую модель.
- Руководство пользователя и/или эксплуатационная документация.
- Документы о соответствии CE/применимым стандартам производителя.
- Серийные номера основного оборудования и микроскопа в отгрузочных документах.
- Поставщик должен предоставить таблицу соответствия настоящему ТЗ с указанием страницы/раздела официальной документации производителя по каждому ключевому параметру.
- Недокументированные заявления поставщика без ссылки на официальные материалы производителя не рассматриваются как подтверждение соответствия.

11. Критерии технического соответствия

Предложение считается технически соответствующим только при одновременном выполнении всех обязательных требований. Критичными параметрами являются: три независимо управляемых ионных источника; диапазон 1–10 keV; ток 0,5–4,5 mA с шагом 0,1 mA; безмасляная высоковакуумная система $<1\times10^{-5}$ mbar; турбомолекулярный насос ≥70 l/s; стандартный трехкоординатный столик для образцов до 50×50 mm; точность маски ≤±2 µm; зона сечения >1 mm по глубине и >4 mm по ширине; референсная скорость до 300 µm/h на Si(100) при 10 keV; интегрированное сенсорное управление; микроскоп с зумом ≥9:1, рабочим расстоянием ≥122 mm и максимальным разрешением до 500 lp/mm.

Ответственный исполнитель проекта *BR24992925 «Разработка технологии и материалов для инновационного развития обрабатывающей промышленности Республики Казахстан»*

Табиева Е.Е. _____