



Certus Optic

Сканирующий зондовый микроскоп,
совмещенный с оптическим микроскопом

Руководство пользователя

ООО “Нано Скан Технологии”

Россия, 141700, Долгопрудный, ул. Заводская, 7

Тел: +7 (495) 665-00-85

+7 (495) 642-40-68

+7 (495) 642-40-67

E-mail: info@nanoscantech.ru

web: www.nanoscantech.ru

2011 г.



Данное руководство пользователя предназначено для установки и работы с комплексом Certus Optic. Данный комплекс представляет собой сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ), совмещенный с оптическим микроскопом.

СЗМ модуль комплекса Certus Optic включает в себя два независимых сканера. XYZ сканер для сканирования зондом, XY(Z) сканер для сканирования образцом (основанием). Модуль управляется универсальным контроллером сканирующих зондовых микроскопов серии EG-3000 и программным обеспечением NSpec.

В качестве опции дополнительно на комплекс Certus Optic устанавливается однокоординатная подвижка для объектива Vectus.

Комплекс Certus Optic входит в состав комплексов Certus NSOM, Centaur и Centaur HR.

Перед началом установки и работы с данным комплексом рекомендуем ознакомиться с руководством пользователя. По всем вопросам, связанным с технической поддержкой и модернизацией данного прибора под дополнительные функции обращаться по следующим адресам:

Тел: +7 (495) 665-00-85
+7 (495) 642-40-68
+7 (495) 642-40-67
E-mail: info@nanoscantech.ru
web: www.nanoscantech.ru
Skype: NanoScanTech

Прочтите перед началом работы!

Лазерное излучение.

При работе с комплексом Certus Optic с в некоторых режимах используются источники лазерного излучения различной мощности и длины волны.

Перед началом работы с комплексом Certus Optic рекомендуем ознакомиться с документацией на установленный источник лазерного излучения и техникой безопасности для соответствующего класса лазерного источника.

В случае использования внешнего лазера в регистрирующей системе микроскопа или при совмещении комплекса Certus Optic с внешними источниками лазерного излучения рекомендуем изучить документацию и технику безопасности для используемого источника лазерного излучения.

Меры предосторожности.

Комплекс Certus Optic – это сложный исследовательский прибор. Сильные физические воздействия, работа в агрессивных средах, внесение изменений в конструкцию в процессе эксплуатации, нарушение условий хранения или транспортировки могут привести к повреждению прибора и выходу его из строя.

Модификация и самостоятельное совмещение комплекса Certus Optic с исследовательским оборудованием.

В случае самостоятельного совмещения комплекса Certus Optic с исследовательским оборудованием или модификацией под специфические исследовательские задачи рекомендуем согласовать данный вопрос с компанией ООО “Нано Скан Технологии”, так как самостоятельное вмешательство в конструкцию без согласования лишает гарантии.



Оглавление

Введение.....	9
1. Основные сведения.....	10
1.1. Назначение комплекса Certus Optic.....	10
1.2. Технические характеристики.....	11
1.2.1. Модуль сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ модуль).....	11
1.2.2. Блок оптической микроскопии. Прямой микроскоп.....	12
1.2.3. Блок оптической микроскопии. Инвертированный микроскоп.....	13
1.2.4. Однокоординатная пьезоподвижка для объективов.....	14
1.2.5. Видеосистема.....	14
1.2.6. Контроллер EG-3000.....	15
1.2.7. Контроллер EG-1000.....	16
1.2.8. Рабочая станция и программное обеспечение.....	16
1.2.9. Размеры исследуемых образцов.....	17
1.2.10. Лазеры, используемые в системе регистрации.....	17
1.2.11. Размеры комплекса Certus Optic.....	18
1.3. Условия эксплуатации.....	20
1.3.1. Общие требования	20
1.3.2. Работа с электронными компонентами.....	21
1.3.3. Работа с оптическими компонентами.....	21
1.3.4. Работа с механическими компонентами.....	22
1.4. Правила безопасности.....	23
1.5. Правила хранения и транспортировки.....	24
1.5.1. Хранение.....	24
1.5.2. Транспортировка.....	24
1.6. Описание основных узлов.....	25
1.6.1. СЗМ головка Certus.....	27
1.6.2. Плоскопараллельный сканирующий столик Ratis.....	31
1.6.3. Сканирующее основание.....	33

1.6.4. Однокоординатная подвижка Vectus.....	34
1.6.5. Контроллер EG-3000.....	35
1.6.6. Программное обеспечение NSpec.....	36
1.6.7. Оптический микроскоп.....	37
2. Принципы работы.....	38
2.1. Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа.....	38
2.2. Система перемещения зонда.....	41
2.2.1. Сканирование.....	41
2.2.2. Основные методики сканирования.....	42
2.2.3. Использование пьезоэффекта.....	42
2.2.4. Неразрывные рычажные системы.....	44
2.2.5. Датчики положения.....	45
2.3. Зонды.....	47
2.3.1. Основные параметры зондов.....	47
2.3.2. Общий вид зондов.....	49
2.4. Система регистрации.....	50
2.4.1. Система регистрации на основе дефлектометра.....	50
2.4.2. Система регистрации методом “shear-force”.....	52
2.5. Обратная связь.....	54
2.6. Совмещение оптического микроскопа со сканирующим зондовым....	55
3. Ввод в эксплуатацию.....	57
3.1. Общая последовательность ввода в эксплуатацию комплекса Certus Optic.....	58
3.1.1. Последовательность установки комплекса Certus Optic I.....	59
3.1.2. Последовательность установки комплекса Certus Optic U.....	60
3.2. Установка оптического микроскопа.....	61
3.3. Установка Z-подвижки для объектива (инвертированный микроскоп).	61
3.3.1. Установка тела Z-подвижки.....	61

3.3.2. Установка крепления для объектива и проставок для объективов....	62
3.4. Установка сканирующего основания.....	64
3.4.1. Установка сканирующего основания на Certus Optic invert.....	66
3.4.2. Установка сканирующего основания на Certus Optic upright.....	67
3.5. Установка Z-подвижки для объектива (прямой микроскоп) — опция	67
3.6. Установка СЗМ Certus.....	69
3.7. Установка объектива на прямой микроскоп.....	71
3.8. Подключение видеокамеры.....	73
3.9. Подключение к контроллеру.....	75
3.9.1. Разъемы для подключения к контроллеру	75
3.9.2. Схемы подключения к контроллеру.....	76
3.10. Установка джойстика для управления объективом.....	81
3.11. Подключение СЗМ головки к контроллеру.....	82
3.11.1. Разъемы СЗМ головки Certus для подключения к контроллеру.....	82
3.11.2. Подключение СЗМ головки к контроллеру EG-3000.....	86
3.12. Подключение к компьютеру.....	87
3.13. Установка и запуск программного обеспечения NSpec.....	87
3.14. Порядок включения/выключения комплекса Certus Optic.....	88
3.14.1. Порядок включения.....	88
3.14.2. Включение СЗМ контроллеров.....	89
3.14.3. Включение подсветки микроскопа.....	91
3.14.4. Порядок отключения.....	91
3.14.5. Центрирование объектива.....	92
4. Работа с комплексом Certus Optic.....	94
4.1. Перечень базовых режимов работы.....	94
4.2. Общий перечень операций для различных методик.....	95
4.3. Грубое позиционирование образцов.....	95
4.4. Инструмент управления джойстик.....	96
4.5. Управление подводом из программы NSpec.....	97

4.6. Управление подводом объектива в ручном режиме.....	101
4.7. Последовательность грубого подвода объектива к поверхности.....	102
4.7.1. Грубый подвод к поверхности в моделях на основе прямого микроскопа.....	102
4.7.2. Грубый подвод к поверхности в моделях на основе инвертированного микроскопа.....	103
4.8. Точная фокусировка.....	103
4.8.1. Точная фокусировка джойстиком.....	103
4.8.2. Точная фокусировка слайдером.....	103
4.9. Контроль фокусировки по видеоизображению.....	104
4.10. Автоматическая фокусировка.....	105
4.11. Настройки СЗМ головки.....	106
4.11.1. Настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков.....	106
4.11.2. Настройка ПИД регулятора.....	107
4.11.3. Установка зондов.....	108
4.11.4. Настройка регистрирующей системы.....	110
4.11.5. Наведение лазерного луча на балку кантилевера.....	111
4.11.6. Позиционирование фотодиода.....	113
4.11.7. Поиск максимума отражения лазерного луча от балки.....	114
4.11.8. Совмещение центров лазерного пятна и фотодиода.....	115
4.11.9. Получение резонансной частоты зонда.....	116
4.12. Управление параметрами обратной связи.....	119
4.12.1. Дополнительные параметры сканирования.....	123
4.12.2. Общие рекомендации по настройке параметров обратной связи...123	
4.12.3. Настройка задающего значения.....	124
4.12.4. Управление положением зонда по оси Z.....	124
4.13. Подвод зонда к поверхности.....	125
4.13.1. Выравнивание сканирующей головки.....	125
4.13.2. Предварительный подвод к поверхности.....	125
4.13.3. Наклон СЗМ головки.....	126

4.13.4. Плавный подвод	126
4.13.5. Грубый подвод зонда к поверхности.....	127
4.13.6. Операции подвода с помощью джойстика.....	127
4.14. Грубое позиционирование зонда.....	128
4.15. Точное позиционирование зонда.....	128
4.16. Совмещение методик оптической и сканирующей зондовой микроскопии.....	130
4.17. СЗМ сканирование.....	133
4.17.1. Установка основных параметров скана.....	134
4.17.2. Описание сигналов.....	138
4.17.3. Многопроходная методика.....	140
4.17.4. Дополнительные параметры сканирования.....	141
4.17.5. Подбор параметров сканирования.....	142
4.17.6. Условия сканирования.....	143
4.18. Сканирование.....	143
5. Калибровки.....	145
5.1. Перечень устройств требующих калибровки.....	145
5.1.1. Калибровка СЗМ модуля.....	145
5.1.2. Калибровки пьезоэлементов.....	146
5.1.3. Калибровки ёмкостных датчиков.....	146
5.1.4. Панель инструментов Управление.....	146
5.1.5. Калибровка.....	149
5.2. Калибровки объективов.....	152
5.2.1. Основные функции панели инструментов настройки.....	152
5.2.2. Основные поля панели инструментов настройки.....	153
5.2.3. Калибровка под новый объектив.....	154
5.2.4. Установка полей сканирования.....	156



Введение

В данном руководстве пользователя описан комплекс Certus Optic.

Комплекс Certus Optic специально разработан для работы с оптическим оборудованием, таким как оптические микроскопы, спектрометры и другие подобные приборы.

Комплекс Certus Optic является основой таких приборов и комплексов, как Certus NSOM, Centaur и Centaur HR.

Для полноценной работы комплекса Certus Optic необходимы универсальный СЗМ контроллер EG-3000 и программное обеспечение NSpec.



1. Основные сведения

1.1. Назначение комплекса Certus Optic

Certus Optic — специализированный комплекс, совмещающий в себе сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) и оптический микроскоп, разработанный для сочетания методик сканирующей зондовой микроскопии и оптической микроскопии.

В основе комплекса Certus Optic лежит СЗМ модуль, включающий в себя сканирующую трехкоординатную (XYZ) головку и двухкоординатное сканирующее основание Ratis на основе пьезостеков (пьезокерамических стеков) и неразрывной рычажной системы.

Комплекс Certus Optic предназначен для получения изображения и изучения свойств поверхности различных веществ, материалов и структур, как естественных, так и искусственных. Например, изучение свойств поверхности полимерных, биологических, неорганических и полупроводниковых материалов, биологических клеток, тканей, отдельных биологических структур и биомолекул, покрытый, элементов электронной техники и т.д.

На комплексе Certus Optic можно решать следующие задачи:

- получать изображение поверхности исследуемых образцов методами сканирующей зондовой и оптической микроскопии;
- определять рельеф поверхности исследуемых образцов;
- проводить силовую спектроскопию поверхности;
- осуществлять СЗМ литографию;
- при использовании различных методик получать соответствующую информацию о физико-химических свойствах поверхности исследуемых образцов;
- при совмещении с оптическими методами исследования получать и сопоставлять информацию об оптических и топографических (в зависимости от методики) свойствах поверхности исследуемых объектов.

Общий список задач, решаемых посредством комплекса Certus Optic, определяется используемыми методиками.

1.2. Технические характеристики

1.2.1. Модуль сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ модуль)

	Модуль сканирующего зондового микроскопа	
1	СЗМ головка	
1.1	Встроенный XYZ сканер	
1.1.1	Поле зрения СЗМ (диапазон сканирования по XYZ)	100x100x15 μm
1.1.2	Резонансные частоты XY	1 kHz
1.1.3	Резонансные частоты Z	7 kHz
1.1.4	Остаточная нелинейность	<0.3%
1.1.5	СЗМ пространственное разрешение (XY, латеральное)	<1 nm
1.1.6	СЗМ пространственное разрешение (Z, вертикальное)	<0.1 nm
1.2	Датчики перемещения	
1.2.1	Тип датчиков	Ёмкостные
1.2.2	Принцип измерения	Время-цифровые преобразования
1.3	Система подвода сканирующей головки	
1.3.1	Минимальный шаг	1 μm
1.3.2	Реализация системы подвода сканирующей головки	Шаговые двигатели
1.3.3	Число шаговых двигателей	3
2	Сканирующее основание	
2.1	Встроенный плоско-параллельный XYZ сканер	
2.1.1	Диапазон сканирования/позиционирования XYZ	100x100(x25)* μm
2.1.2	Резонансные частоты XY	1 kHz
2.1.3	Резонансные частоты Z*	7 kHz
2.1.4	Остаточная нелинейность	$\leq 0.3\%$
2.1.5	СЗМ пространственное разрешение (XY, латеральное)	<1 nm
2.1.6	СЗМ пространственное разрешение (Z, вертикальное)	<0.1 nm
2.2	Тип датчиков	
2.2.1	Принцип измерения	Время-цифровые преобразования
	Тип датчиков	Ёмкостные
3	Диапазон "грубого" позиционирования образца (для модификаций без автоматизации)	
3.1	Реализация системы "грубого" позиционирования	Микровинты
3.2	Точность позиционирования	$\sim 5 \mu\text{m}$
3.3	Диапазон "грубого" позиционирования образца	5x5 mm

* Опционально

1.2.2. Блок оптической микроскопии. Прямой микроскоп

Модели Certus Optic U.

	Основные параметры	
1	Прямой (upright) микроскоп для непрозрачных образцов	
1.1	Тип микроскопа	Прямой (Upright)
1.2	Оптоволоконная система освещения образца	Источник освещения и волновод
1.2.1	Лампа	Галогеновая
1.2.2	Мощность	12 V, 100 W
1.3	Окуляры	Широкопольные окуляры с 10х/24 mm, скорректированные на бесконечность
1.4	Оптическая связь микроскопа с конфокальным блоком	Лазерный порт
1.5	Рама микроскопа	
1.5.1	Селектор оптического пути тринокуляра	Делительная призма 0:100 и 50:50
1.5.2	Межзрачковое расстояние	50-70 mm
1.5.3	Ход блока фокусировки (моторизированный)	50 mm
1.5.4	Точность блока фокусировки	1 μ m
1.6	Микрообъективы	
1.6.1	Объектив #1	
1.6.1.1	Увеличение	10x
1.6.1.2	N.A.	0.2
1.6.1.3	W.D.	20 mm
1.6.2	Объектив #2	
1.6.2.1	Увеличение	50x
1.6.2.2	N.A.	0.55
1.6.2.3	W.D.	13 mm
1.6.3	Объектив #3	
1.6.3.1	Увеличение	100x
1.6.3.2	N.A.	0.95
1.6.3.3	W.D.	0.1 mm

Варианты комплекса с прямым микроскопом предназначены для работы с непрозрачными и прозрачными образцами в отраженном свете.

1.2.3. Блок оптической микроскопии. Инвертированный микроскоп

Модели Certus Optic I.

	Основные параметры	
1	Инвертированный микроскоп для прозрачных образцов	
1.1	Тип микроскопа	Инвертированный
1.2	Оптоволоконная система освещения образца	Источник освещения и волновод
1.2.1	Лампа	Галогеновая
1.2.2	Мощность	12 V, 100 W
1.3	Окуляры	Широкопольные окуляры с 10х/24 mm, скорректированные на бесконечность
1.4	Оптическая связь микроскопа с конфокальным блоком	Лазерный порт
1.5	Рама микроскопа	
1.5.1	Селектор оптического пути тринокуляра	Делительная призма 0:100 и 50:50
1.5.2	Межзрачковое расстояние	50-70 mm
1.5.3	Ход блока фокусировки (ручной)	50 mm
1.5.4	Точность блока фокусировки	1 μ m
1.6	Микрообъективы	
1.6.1	Объектив #1	
1.6.1.1	Увеличение	10x
1.6.1.2	N.A.	0.2
1.6.1.3	W.D.	20 mm
1.6.2	Объектив #2	
1.6.2.1	Увеличение	50x
1.6.2.2	N.A.	0.55
1.6.2.3	W.D.	13 mm
1.6.3	Объектив #3	
1.6.3.1	Увеличение	100x
1.6.3.2	N.A.	0.95
1.6.3.3	W.D.	0.1 mm

Варианты комплекса с инвертированным микроскопом предназначены для работы с прозрачными образцами в проходящем свете.

1.2.4. Однокоординатная пьезоподвижка для объективов

	Однокоординатная пьезоподвижка для объективов	
1	Диапазон перемещений, μm	50
2	Резонансная частота, kHz	0.5
3	Минимальный шаг перемещения, nm	0.1
4	Максимальное отклонение от нормали на полном ходу	$< 0.01^\circ$
5	Максимальная масса перемещаемого объекта, g	300

Дополнительно на прямой микроскоп устанавливается однокоординатная механическая подвижка для объективов (только модели на основе прямого микроскопа).

	Однокоординатная механическая подвижка для объективов	
1	Диапазон перемещений, mm	50
2	Шаг, μm	1

1.2.5. Видеосистема

	Оптические параметры видеосистемы	
1	Числовая апертура	0.3
2	Диагональ матрицы камеры	1/3"
3	Разрешение матрицы камеры, px	1280x1024
4	Увеличение	85x/1050x
5	Поле зрения	4.50/ 0.37 mm
6	Интерфейс	USB

Данные характеристики даны для камеры устанавливаемой по умолчанию. В случае необходимости устанавливается камера с другими характеристиками. Тип и характеристики видеокамеры необходимо согласовать в техническом задании.

1.2.6. Контроллер EG-3000

1	Основные параметры	
1.1	Общие характеристики	
1.1.1	Центральный процессор	32 bit; RISC
1.1.2	Интерфейс с ПК	USB 2.0
1.1.3	Прочие интерфейсы	RS 232, RS485, SYNC I/O
1.2	Высоковольтные выходы	
1.2.1	Напряжение	-10..150 V
1.2.2	Шум	< 5 ppm.
1.2.3	Число каналов	6
1.2.4	Разрядность ЦАП (цифро-аналоговые преобразователи)	18 бит
1.3	Блок управления шаговыми двигателями	
1.3.1	Число каналов	4
1.3.2	Источник питания моторов	24V, 3A
1.3.3	Поддержка микрошагового режима	1/16 шага
1.4	Модуль цифрового синхронного детектора	
1.4.1	Число каналов	2
1.4.2	Коэффициент предусилителя	1-100
1.4.3	Диапазон напряжений	± 10 V
1.4.4	Разрядность АЦП	16 бит
1.4.5	Диапазон частот входных сигналов	0-1,2 MHz
1.4.6	Диапазон частот задающего генератора	10 Hz – 3 MHz
1.4.7	Амплитуда выходного напряжения	10 mV-10 V
1.4.8	Стабильность задающего генератора	< 5 ppm
1.4.9	Дополнительные каналы АЦП/ЦАП	
1.4.9.1	Число входящих каналов	4
1.4.9.2	Диапазон напряжения	± 10 V
1.4.9.3	Разрядность АЦП	16 бит
1.4.9.4	Число выходящих каналов	2
1.4.9.5	Диапазон напряжений	± 10 V
1.4.9.6	Разрядность ЦАП	16 бит

1.2.7. Контроллер EG-1000

1	Основные параметры	
1.1	Общие характеристики	
1.1.1	Центральный процессор	32 bit; RISC
1.1.2	Интерфейс с ПК	USB 2.0
1.2	Высоковольтные выходы	
1.2.1	Напряжение	-7..150 V
1.2.2	Шум	< 5 ppm.
1.2.3	Число каналов	3
1.2.4	Разрядность ЦАП (цифро-аналоговые преобразователи)	18 бит
1.3	Блок управления шаговыми двигателями	
1.3.1	Число каналов	2
1.3.2	Источник питания моторов	24V, 3A
1.3.3	Поддержка микрошагового режима	1/1, 1/2, 1/4, 1/16 шага

1.2.8. Рабочая станция и программное обеспечение

1	Комплектация рабочей станции	
1.1	CPU	Мин. 2 GHz
1.2	RAM	4096 MB
1.3	HDD	500 GB
1.4	Монитор	2 монитора 20"

1	Программное обеспечение	
1.1	NSpec в комплекте Win 7 Pro 64	По умолчанию

1.2.9. Размеры исследуемых образцов

min	Минимальный размер образцов определяется только удобством работы.
max без установки СЗМ на образец	До Ø 125 мм и 16 мм в высоту.
max с установкой СЗМ головки на образец при использовании только методик СЗМ	Не ограничены.
Без использования СЗМ	До Ø 125 мм
Толщина объектов в инвертированном микроскопе	Определяется рабочим отрезком используемого объектива
Толщина объектов в прямом микроскопе	До 30 мм в высоту
Прозрачность объектов	Определяется набором используемых методик
Перепад высот	Не более 15 µm на 100 µm при сканировании зондом и не более 25 µm на 100 µm при сканировании образцом. При использовании оптических методик не ограничено.
Фазовое состояние образцов	Твердые и биологические объекты (все методики). Жидкости в каплях и специализированных кюветах (спектроскопия и оптическая микроскопия)

1.2.10. Лазеры, используемые в системе регистрации

По умолчанию	650 нм, <1 мВт, Class II
Инфракрасный (дополнительно)	1300 нм, <1 мВт, Class II
Внешний	Установленный у пользователя

1.2.11. Размеры комплекса Certus Optic

Габаритные и присоединительные размеры оптического микроскопа зависят от марки и модели микроскопа. Рекомендуем уточнять данную информацию в технической документации установленного оптического микроскопа.

Присоединительные размеры сканирующего основания зависят от марки и модели установленного оптического микроскопа.

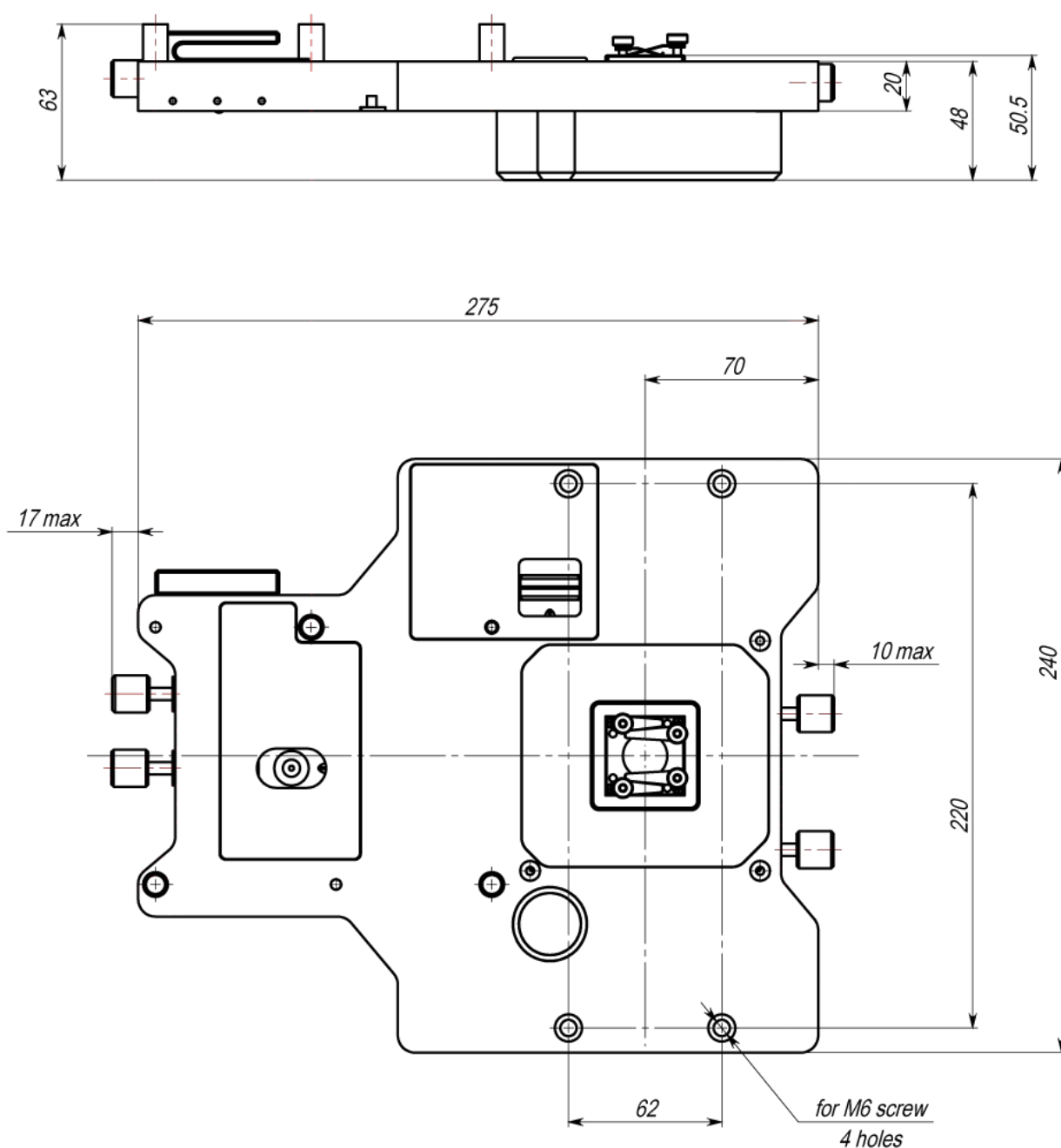


Рис. 1.1 Размеры сканирующего основания.

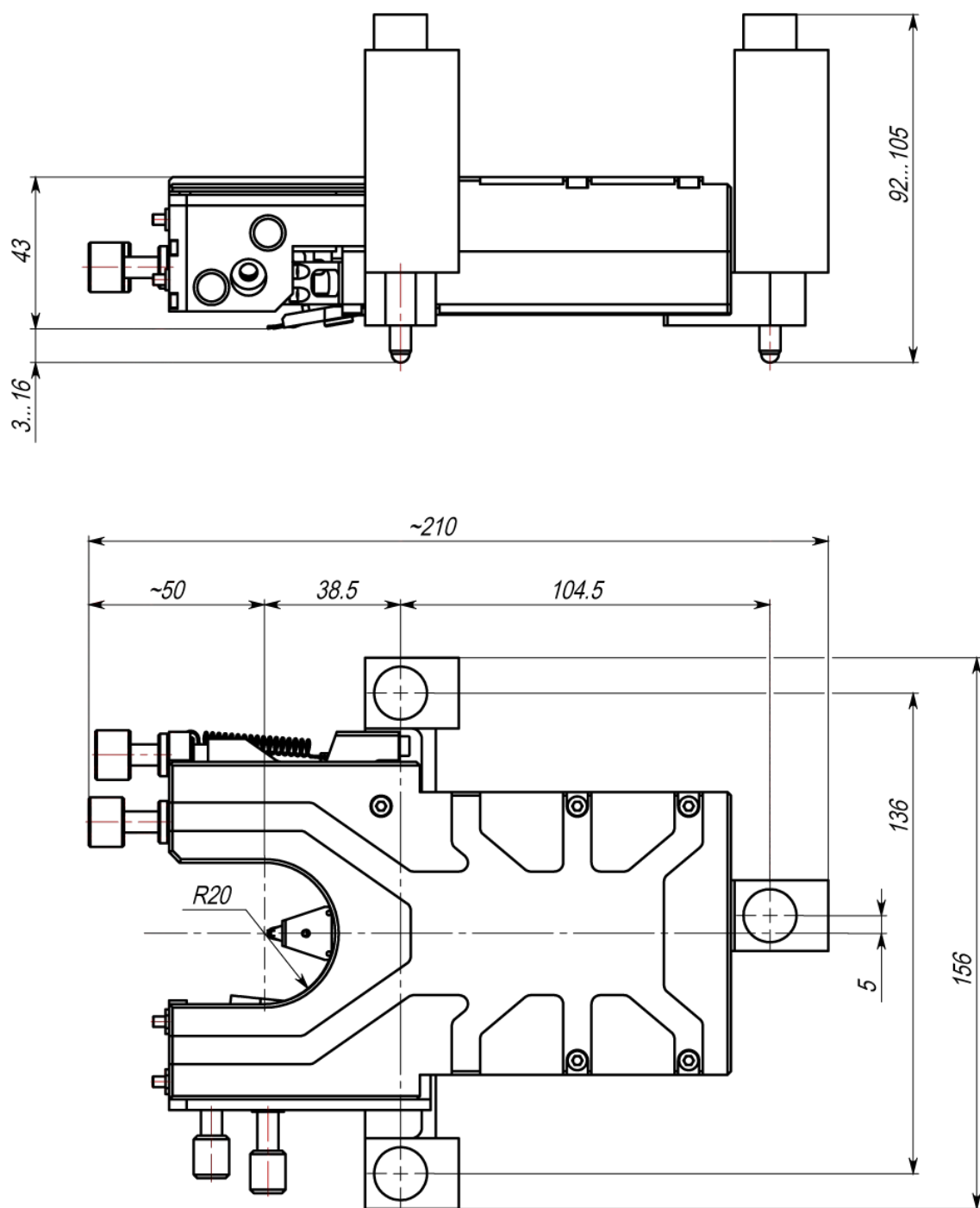


Рис. 1.2 Размеры сканирующей головки C3M Certus.

1.3. Условия эксплуатации

1.3.1. Общие требования

Комплекс Certus Optic представляет собой сложный, высокоточный исследовательский прибор в состав которого входят электронные, оптические и механические компоненты. Для обеспечения нормальной работы прибора рекомендуется соблюдать следующие условия эксплуатации, размещения и мер предосторожности.

Комплекс Certus Optic является точным оптическим инструментом. Поэтому при его монтаже предъявляются повышенные требования к помещению, в которое будет установлен прибор, к системе электроснабжения, к качеству оптического стола.

1	Температура	
1.1	Общий допустимый диапазон рабочих температур	10÷50°C
1.2	Оптимальная рабочая температура	22±3°C
*При поставке Certus Optic настраивается под оптимальную рабочую температуру. При температуре в помещении отличной от оптимальной, но в пределах допустимого диапазона рабочих температур, необходимо провести калибровку сканера микроскопа под среднюю температуру в помещении.		
2	Относительная влажность	
2.1	Не более	80 %
2.2	Оптимальная влажность	65±15 %
3	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	760±30
4	Требования к электропитанию	
4.1	Напряжение, В	110/220 (+10%/-15%)
4.2	Частота, Гц	50/60
4.3	Заземление	Обязательно
4.4	Число розеток	Не менее 10
5	Требования к шумам и вибрациям в помещении	
5.1	Значимый диапазон вибраций, Гц	1÷100
5.2	Амплитуда вибраций в значимом диапазоне	Не более 0.5 μm
5.3	Уровень звукового давления до частоты 10000 Гц при работе СЗМ без дополнительной акустической защиты	Не более 35 дБ
6	Экранирование	
6.1	От прямых солнечных лучей	Обязательно
6.2	Нагревательных элементов	Обязательно

6.3	От источников сильных электромагнитных помех	Обязательно
6.4	От прямых потоков воздуха и других газов	Обязательно
7	Минимальные размеры помещения	Не менее 12 м ²
8	Освещение	
8.1	Основное освещение	Обязательно
8.2	Дополнительный источник рассеянного света	Рекомендуется
7	Общие рекомендации	
7.1	На работу и качество полученных результатов влияют тепловые потоки в помещении, частые и резкие изменения температуры и влажности.	
7.2	Шумовой фон могут создавать работающие компрессоры, тяги, ламинарные боксы, системы охлаждения приборов и подобные источники периодических или случайных шумов.	
7.3	Рекомендуется размещать СЗМ головку Certus на максимально возможное расстояние от компьютеров, мониторов и периферических устройств.	
7.4	Избегать сильных механических воздействий на СЗМ Certus, так как это может привести к выходу из строя механики и управляющей электроники прибора.	

1.3.2. Работа с электронными компонентами

Все электронные компоненты должны подключаться к сети питания в соответствии с индивидуальными требованиями каждого компонента.

Все устройства, снабженные контактами для заземления, должны быть заземлены.

Запрещается присоединять или отсоединять любые кабели при включенных устройствах на обоих концах кабеля.

Установку и удаление плат расширения в компьютер необходимо осуществлять только при полностью отключенном от сети питания компьютере и при соблюдении мер предосторожности против статического электричества.

1.3.3. Работа с оптическими компонентами

Для предотвращения загрязнения оптических элементов пылью и частицами влаги поддерживайте в помещении общую чистоту, не распыляйте вблизи прибора аэрозоли и т.п. Избегайте касания оптических поверхностей руками.

В случае загрязнения оптических элементов произведите очистку с использованием набора для чистки оптики.

Запрещается без крайней необходимости снимать защитные крышки оптических устройств. Чистку загрязненных оптических элементов должен проводить



только обученный специалист.

В случае загрязнения оптических элементы рекомендовано обращаться к разработчикам прибора.

1.3.4. Работа с механическими компонентами

С механическими частями необходимо обращаться аккуратно, не прилагать чрезмерных усилий к крепежным и юстировочным винтам. Необходимо избегать попадание пыли и других загрязнений на микровинты и трущиеся поверхности.

1.4. Правила безопасности

1	Общие правила	
1.1	Заземление	Необходимо проверить заземление всех основных узлов
1.2	Открытые части прибора	Запрещается включать и проводить работу на приборе со снятыми крышками и кожухами.
1.3	Подключение/отключение кабелей	Отключение/подключение кабелей к разъёмам прибора проводить только на выключенном приборе.
1.4	Демонтаж/монтаж узлов прибора	Только специалистами компании “Нано Скан Технологии”, сертифицированными специалистами, по согласованию с компанией “Нано Скан Технологии”
1.5	Подключение дополнительных устройств	Только по согласованию с компанией “Нано Скан Технологии”.
1.6	Попадание жидкости	Не допускается.
2	Источники лазерного излучения	
2.1	Лазер дефлектометра	В соответствии с классом безопасности установленного лазера, класс безопасности и характеристики лазера описаны на СЗМ головке под ярлыком изображённым на рис. 1.3.
2.2	Внешние источники	В соответствии с маркировкой на внешних источниках лазерного излучения



Рис. 1.3 Предупреждающий ярлык на источниках лазерного излучения.



1.5. Правила хранения и транспортировки

1.5.1. Хранение

Прибор должен храниться в упакованном виде в специализированном помещении без резких изменений температуры и влажности.

1	Температура	22±10°C
2	Влажность	Не более 80%

1.5.2. Транспортировка

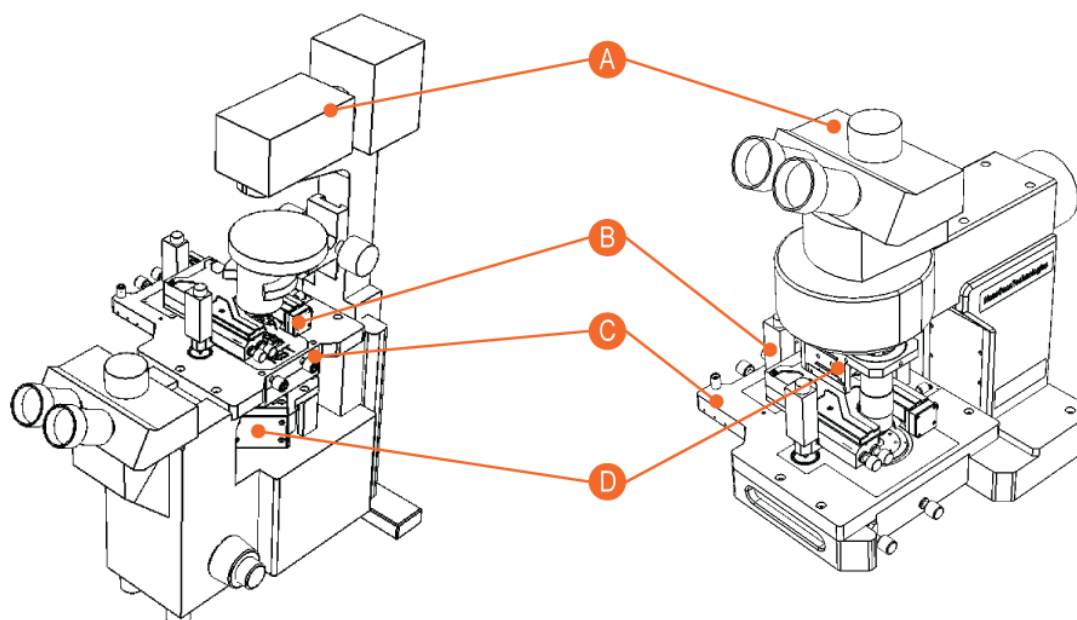
При транспортировке прибор должен быть упакован в оригинальную упаковку, либо в любой другой упаковке, исключающей повреждения при транспортировке.

После транспортировки при температурах ниже 0°C перед запуском прибора дождитесь выравнивания температуры прибора с температурой в помещении.

1.6. Описание основных узлов

В состав комплекса Certus Optic входят:

- СЗМ головка Certus;
- Сканирующее основание Ratis;
- Оптический микроскоп;
- Подвижка для образцов;
- Контроллер EG-3000;
- Программное обеспечение NSpec.



A	Оптический микроскоп (инвертированный слева, прямой справа)
B	Сканирующая головка Certus
C	Сканирующее основание с плоскопараллельным сканирующим столиком Ratis
D	Z-подвижка для объектива (опция)

Рис. 1.4 Общий вид комплекса Certus Optic.



Рис. 1.5 Certus Optic I – модель на основе инвертированного микроскопа.



Рис. 1.6 Certus Optic U – модель на основе прямого микроскопа.

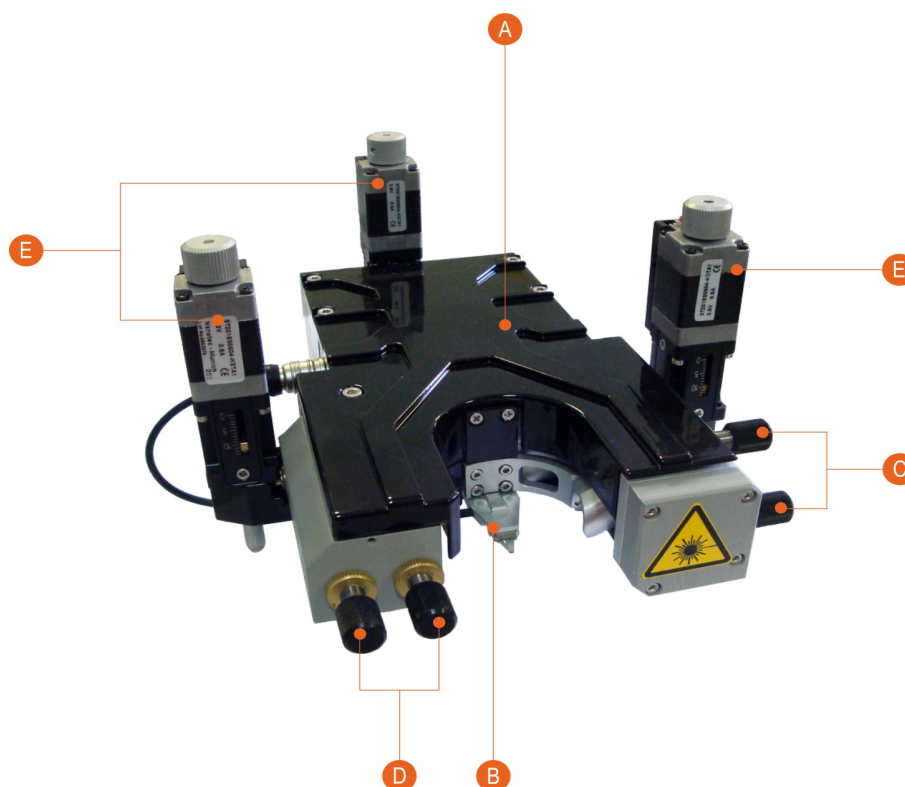
1.6.1. СЗМ головка Certus

Основой комплекса Certus Optic является сканирующая головка нового поколения **Certus**. Основными отличительными чертами сканирующей головки **Certus** являются:

- трехкоординатный плоскопараллельный сканер с ёмкостными датчиками на всех осях;
- модульная архитектура, позволяющая использовать широкий диапазон лазеров для дефлектометра (вплоть до стационарных внешних лазеров);
- легко съёмный узел крепления зонда, который позволяет использовать принципиально разные типы зондов;
- открытая рабочая зона (точка контакта зонда и образца), обеспечивающая легкое наблюдение за зондом, ввод внешнего излучения и т.п.;
- параллельный подвод зонда к образцу с возможностью автоматического выравнивания головки над плоскостью образца;
- полностью цифровая связь между головкой и контроллером.

Плоскопараллельный сканер представляет собой монолитное металлическое тело (из высококачественного сплава, обычно из алюминиевого), в котором электроэрозией и другими методами прецизионной обработки сформированы каналы для пьезокерамических актюаторов (пьезостеков), подвижные элементы сканера и т.п. Такая конструкция обеспечивает отличную линейность и плоскостность перемещения, в отличие от классических сканеров на основе пьезотрубок, поверхностью сканирования в которых является сфера. Кроме того, плоскопараллельные сканеры обладают высокой механической прочностью по сравнению с хрупкими пьезотрубками.

В основном режиме СЗМ Certus работает как атомно-силовой микроскоп (АСМ). В качестве дополнительных реализованы режимы: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), сканирование датчиком Холла, метод Кельвина и другие режимы сканирующей зондовой микроскопии.



A	Система перемещения зонда относительно поверхности по 3-м (X-Y-Z) координатам.
B	Устройство для закрепления зондов для различных методик сканирующей зондовой микроскопии.
C	Винты позиционирования лазера (лазерного пятна) по координатам XY в плоскости верхней стороны балки кантилевера.
D	Винты позиционирования фотодиода для регистрации колебаний балки кантилевера.
E	Шаговые двигатели для подвода сканирующей зондовой головки к поверхности образца.

Рис. 1.7 Сканирующая головка Certus.

Все три оси сканирования снабжены ёмкостными датчиками перемещения. Измерительная часть построена на основе ВЦП (время-цифровых преобразователей), которые физически расположены максимально близко к датчикам, и непосредственно выдают цифровой сигнал, пропорциональный измеряемой емкости. Это позволяет осуществлять высокоточные измерения и передавать их в контроллер по длинным соединительным кабелям без ухудшения качества измерений.

В стандартной комплектации дефлектометр построен с использованием диодного лазера с длиной волны 650 нм. По желанию заказчика возможно использование другого, например инфракрасного, лазера. Кроме того, на головку возможна установка оптоволоконного порта для подключения внешнего лазера.

Головка комплектуется несколькими съёмными держателями зонда: для стандартных кантилеверов, для зондов типа *tuning fork* с вертикальным или гори-



зонтальным расположением. По требованию заказчиков могут быть разработаны крепление практически под любые оригинальные зонды.

Уникальный "открытый дизайн" сканирующей головки **Certus** позволяет использовать высоко кратные внешние объективы, осветители, конденсоры микроскопов и т.п. для освещения рабочей зоны, наблюдения за образцом и зондом, для подведения излучения в точку контакта зонда и образца.

Управление сканирующей головкой **Certus** осуществляется с помощью универсального контроллера **EG-3000** и программного обеспечения **NSpec**.

	Основные методики	
1	СЗМ Certus	
1.1	Атомно-силовая микроскопия	
1.1.1	Контактная атомно-силовая микроскопия (АСМ)	в базовой комплектации
1.1.2	Резонансная полуконтактная (АСМ, "тейпинг")	в базовой комплектации
1.1.3	Резонансная бесконтактная (АСМ)	в базовой комплектации
1.1.4	Отображение фазы	в базовой комплектации
1.1.5	Отображение сил адгезии	в базовой комплектации
1.1.6	Силовая спектроскопия	в базовой комплектации
1.1.7	Отображение латеральных сил	в базовой комплектации
1.2	Магнитно-силовая микроскопия*	
1.2.1	Магнитно-силовая микроскопия	в базовой комплектации
1.3	Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)*	Требуется использование специализированного держателя зонда
1.3.1	Метод постоянного тока	с использованием носика для СТМ
1.3.2	Отображение работы выхода	с использованием носика для СТМ
1.3.3	Отображение плотности состояний	с использованием носика для СТМ
1.3.4	СТМ спектроскопия	с использованием носика для СТМ
1.4	Токовая и ёмкостная сканирующая зондовая микроскопия*	Требуется использование специализированного держателя зонда
1.4.1	Сканирующая ёмкостная микроскопия	с использованием специализированного носика
1.4.2	Сканирование зондом Кельвина (метод Кельвина)	с использованием специализированного носика
1.4.3	Электро-силовая микроскопия	с использованием специализированного носика
1.4.4	Отображение сопротивления растекания тока	с использованием специализированного носика
1.5	Многопроходные методики*	Для реализации совмещенных методик
1.5.1	Двухпроходные методики (АСМ+МСМ и подобное)	Реализовано
1.5.2	Методы постоянной высоты (АСМ, СТМ и подобное)	Реализовано
1.6	Литография*	
1.6.1	АСМ литография в контактном режиме	Реализовано
1.6.2	АСМ литография в динамическом режиме	Реализовано
1.6.3	СТМ литография	Реализовано
1.6.4	Анодно-окислительная литография	Реализовано
*	Зонды и держатели зондов	Многие методики требуют использования специализированных зондов и держателей зондов

1.6.2. Плоскопараллельный сканирующий столик Ratis

Основой плоскопараллельного сканирующего столика Ratis является сканер нового поколения. Основными отличительными чертами **Ratis** являются:

- XY или XYZ плоскопараллельный сканер с ёмкостными датчиками на всех осях;
- открытая рабочая зона;
- полностью цифровая связь между сканером и контроллером;
- автоматическая система калибровки и термостабилизации

Плоскопараллельный сканер представляет собой монолитное металлическое тело (из высококачественного сплава, обычно из алюминиевого), в котором электроэрозией и другими методами прецизионной обработки сформированы каналы для пьезокерамических актюаторов (пьезостеков), подвижные элементы сканера и т.п. Такая конструкция обеспечивает отличную линейность и плоскостность перемещения, в отличие от классических сканеров на основе пьезотрубок, поверхностью сканирования в которых является сфера. Кроме того, плоскопараллельные сканеры обладают высокой механической прочностью по сравнению с хрупкими пьезотрубками.

Уникальная автоматическая система термостабилизации и калибровки позволяет использовать плоскопараллельный сканирующий столик в большом температурном диапазоне.



Рис. 1.8 Плоскопараллельный сканирующий столик Ratis.

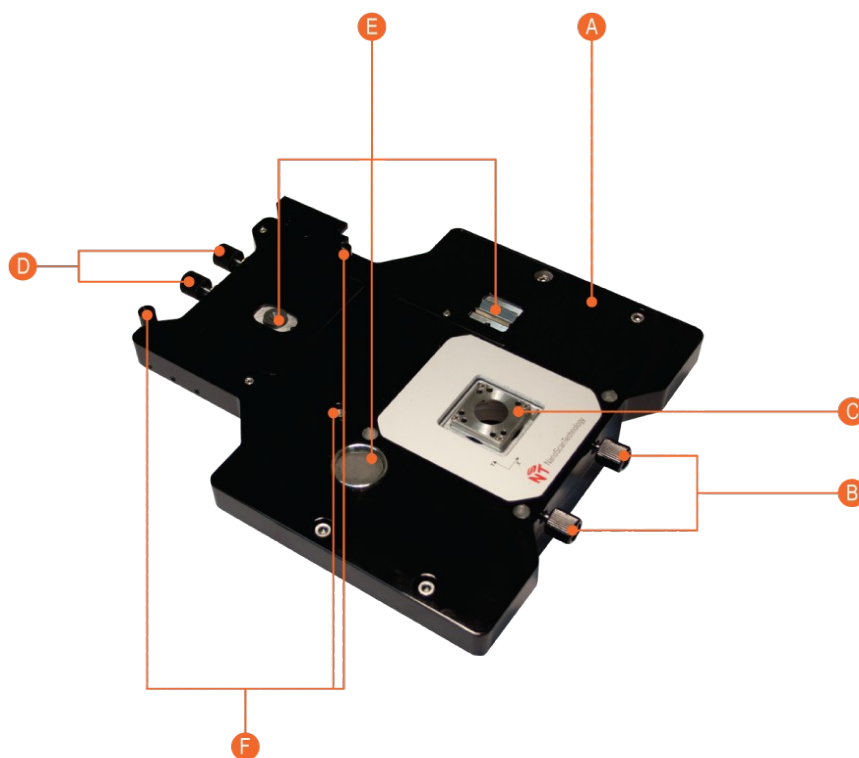
Все две/три оси сканирования снабжены ёмкостными датчиками перемещения. Измерительная часть построена на основе ВЦП (время-цифровых преобразователей), которые физически расположены максимально близко к датчикам, и непосредственно выдают цифровой сигнал, пропорциональный измеряемой емкости. Это позволяет осуществлять высокоточные измерения и передавать их в контроллер по длинным соединительным кабелям без ухудшения качества измерений.

Наличие отверстия с диаметром в 45 мм в теле плоскопараллельного сканирующего столика Ratis позволяет использовать высокократные внешние объективы, осветители, конденсоры микроскопов и т.п. для освещения рабочей зоны, наблюдения за образцом и зондом, для подведения излучения в точку контакта зонда и образца.

Управление **Ratis** осуществляется с помощью универсального контроллера **EG-3000** и программного обеспечения **NSpec**.

1.6.3. Сканирующее основание

Сканирующее основание включает в себя плоскопараллельный сканирующий столик Ratis, подвижку для образцов и подвижку для сканирующего зондового микроскопа Certus.



A	Сканирующее основание.
B	Винты подвижки образца для позиционирования образцов.
C	Крепление для образцов.
D	Винты подвижки для СЗМ Certus
E	Опоры для СЗМ Certus в рабочем положении.
F	Опоры для СЗМ Certus при работе с методиками оптической микроскопии без СЗМ методик.

Рис. 1.9 Сканирующее основание.

1.6.4. Однокоординатная подвижка Vectus.

Однокоординатная подвижка Vectus предназначена для перемещения и позиционирования различных устройств вдоль одной оси. В частности, для перемещения объективов вдоль оптической оси для изменения положения фокуса относительно поверхности образцов или объектов в объеме образца, точного позиционирования объективов, автоматической фокусировки и получения послойных 3D изображений.



Рис. 1.10 Однокоординатная подвижка для объективов Vectus.

Подвижка Vectus снабжена ёмкостным датчиком перемещения, включенным в цепь цифровой обратной связи. Это обеспечивает высокую точность и линейность перемещения, устраняет эффекты дрейфа (creep) пьезокерамики. Микросхема ВЦП (время-цифровых преобразований), измеряющая ёмкость датчика, расположена максимально близко к датчику, и выдает цифровой сигнал, пропорциональный измеренной ёмкости. Это позволяет минимизировать влияние внешних электромагнитных шумов, и использовать длинный кабель для связи подвижки с контроллером.

1.6.5. Контроллер EG-3000

Контроллер EG-3060/3060A предназначен для управления работой сканирующего зондового или оптического конфокального микроскопа. Контроллер обеспечивает сбор информации с различных датчиков и внешних устройств и выдает управляющие воздействия на пьезоэлектрические устройства позиционирования, кроме того, вся собранная информация отправляется на управляющий компьютер для последующей обработки и визуализации. Также с помощью компьютера задаются все параметры движения и сканирования.



Рис. 1.11 СЗМ контроллер EG-3000.

Для контроля положения устройств позиционирования используется цифровая система следящей обратной связи и оригинальная схема измерения ёмкости датчиков перемещения, основанная на преобразователях "время-цифра". Измерение емкости осуществляется в самом сканирующем устройстве, а в контроллер поступает уже цифровой сигнал. Такая система позволяет увеличить точность измерений и значительно повысить помехозащищенность устройства.

Для работы обратной связи зонд-образец может быть использован любой из сигналов, доступных в системе. Контроллер позволяет поддерживать обратную связь по шести каналам одновременно, что позволяет реализовать алгоритмы сканирования как зондом, так и образцом.

Возможно использование любых других сигналов СЗМ для осуществления обратной связи.

В целях реализации модуляционных методик микроскопии (таких, как, например, бесконтактная атомно-силовая микроскопия) в контроллере предусмотрен двухканальный модуль синхронного детектирования, снабженный высокостабильным задающим генератором, выполненным на основе цифрового синтезатора частоты. Скоростная цифровая обработка данных, реализованная с применением

программируемой логики (ПЛИС), позволила осуществлять синхронное детектирование сигналов на частотах до 1.5 МГц.

Для управления устройствами грубого позиционирования сканирующей головки, в контроллере предусмотрен модуль управления шаговыми двигателями, позволяющий подключать от 4 до 12 приводов в микрошаговом режиме.

В приборе имеются дополнительные аналоговые входы и выходы для подключения внешних устройств, а также входы и выходы синхронизации. Связь с управляющим компьютером осуществляется с помощью интерфейса USB. Контроллер управляется специализированным программным обеспечением NSpec.

Более подробно контроллер EG-3000 описан в руководстве пользователя: “Контроллер сканирующего зондового микроскопа (модели EG-3060 и EG-3060A).

1.6.6. Программное обеспечение NSpec

Программное обеспечение NSpec предназначено для работы с комплексом Certus Optic.

Основные функции:

- настройка параметров СЗМ;
- настройка параметров модуля оптической микроскопии (подвижки для объективов;
- настройка параметров сканирования;
- обработка данных.

Программа совместима со всеми актуальными версиями ОС Windows (XP, 2003, Vista, 7). По требованию заказчика возможен перенос программы на ОС Linux, *BSD, MacOS.

В программе NSpec реализованы только базовые функции по обработке данных, необходимые для оптимальной настройки параметров сканирования. Для полноценной обработки данных сканирования рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение, например Gwyddion.

1.6.7. Оптический микроскоп

Для интеграции с СЗМ модулем в комплексе Certus Optic по техническим характеристикам подходят многие модели основных производителей микроскопов. В базовой комплектации используются микроскопы производства фирмы Olympus. Для схем комплекса на основе инвертированного микроскопа Olympus IX 71, для схем на основе прямого микроскопа Olympus BX 51.

В схемах на инвертированном микроскопе подсветка осуществляется на просвет, т.е. образцы исследуются в проходящем свете при использовании подсветки. Данная конфигурация используется для исследований оптически прозрачных биологических объектов и полимерных объектов. В некоторых случаях оптически прозрачных неорганических и/или композитных материалов. В случае необходимости дополнительно устанавливается подсветка на отражение.

В схемах на прямом микроскопе подсветка осуществляется на отражение, т.е. Образцы исследуются в отраженном свете. Эта конфигурация используется для исследований как оптически прозрачных объектов, так и оптически непрозрачных образцов. Основное использование данной схемы — микроэлектроника, полимеры, минералогия. В случае необходимости устанавливается подсветка на просвет.

2. Принципы работы

2.1. Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа

Сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ, англ. SPM — Scanning Probe Microscope) — микроскоп для получения изображения поверхности и информации о её локальных характеристиках.

В общем случае сканирующий зондовый микроскоп включает в себя:

- зонд;
- систему перемещения зонда относительно образца по 3-м (XYZ) координатам;
- регистрирующую систему.

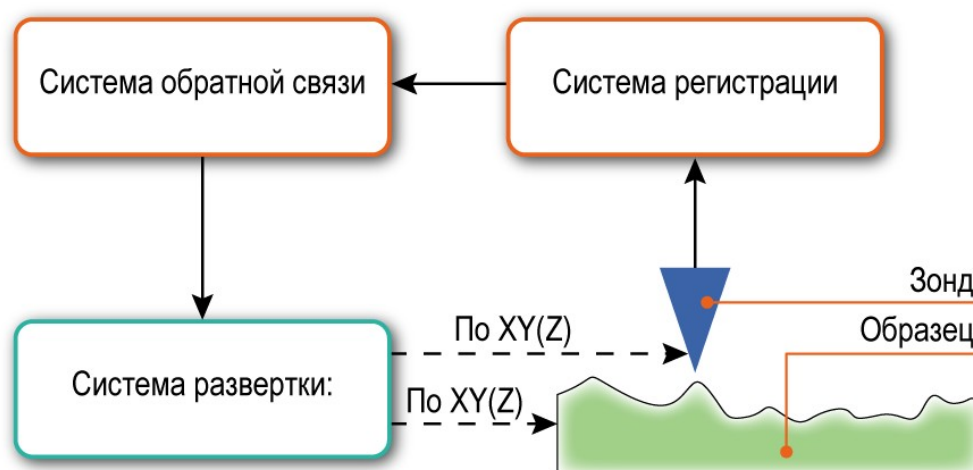


Рис. 2.1 Принципиальное устройство сканирующего зондового микроскопа.

В основе работы сканирующего зондового микроскопа лежит принцип получения информации о взаимодействии зонда с поверхностью в одной точке. При малом расстоянии между поверхностью и зондом можно зафиксировать действие сил взаимодействия (отталкивания, притяжения, и других сил) и проявление различных эффектов (например, туннелирование электронов). Эти взаимодействия и эффекты можно регистрировать с помощью современных средств регистрации. Для регистрации используют различные типы сенсоров, чувствительность которых позволяет зафиксировать такие возмущения.

Для построения растрового изображения используется система перемещения зонда (система развертки) относительно поверхности по 2-м (XY) или 3-м (XYZ) координатам.

Регистрирующая система фиксирует значение выбранного параметра. В общем случае, регистрируется значение параметра, зависящего от величины взаимодействия между зондом и поверхностью образца. На основе известных или предполагаемых зависимостей величины взаимодействия от расстояния между зондом и поверхностью в ходе сканирования строится топография поверхности (3-х мерное изображение по координатам XYZ). В том случае, если регистрация изменения величины взаимодействия от расстояния не имеет смысла или её нельзя определить однозначно, то строится распределение величины измеряемого параметра по поверхности (3-х мерное изображение, где по XY строится распределение параметра, а по Z величина того или иного параметра).

Регистрируемое значение обрабатывается системой отрицательной обратной связи, которая управляет положением образца или зонда по одной из координат (в большинстве случаев по Z). В качестве системы обратной связи чаще всего используется ПИД-регулятор.

Основное различие методик сканирующей микроскопии состоит в выбранном для регистрации параметре и методе его регистрации.

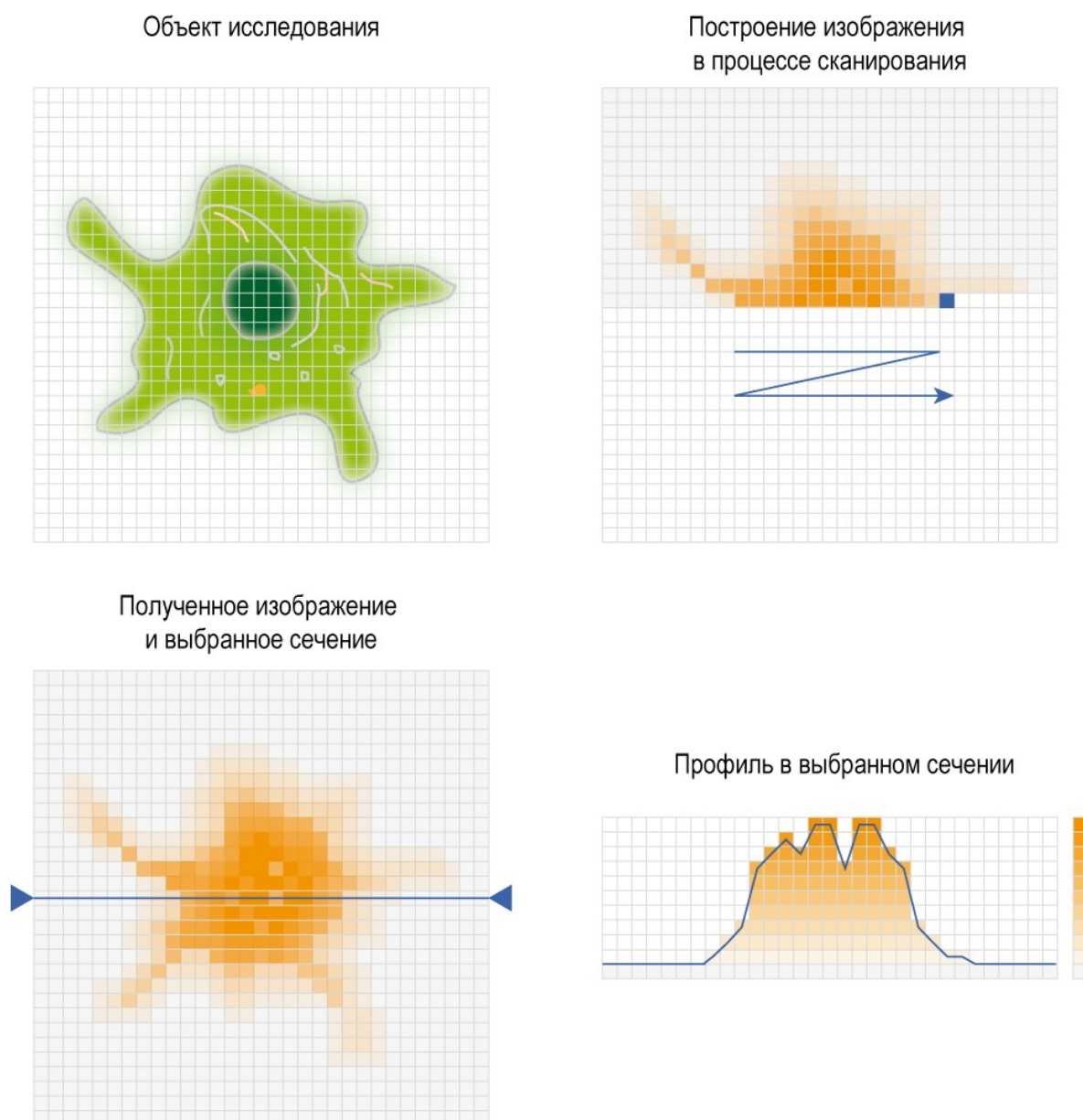


Рис. 2.2 Общий принцип построения изображений сканирующим зондовым микроскопом.

2.2. Система перемещения зонда

Для получения изображения в сканирующих зондовых микроскопах используются системы развертки по 2-м (XY) или 3-м (XYZ) координатам.

2.2.1. Сканирование

Процесс сканирования происходит следующим образом. Сканер осуществляет растровое перемещение зонда относительно образца. В узлах растра происходит оцифровка измеряемых сигналов. Направление строк, вдоль которых движется сканер, называется направлением быстрого сканирования. Перпендикулярное ему направление называется направлением медленного сканирования. Итоговое изображение строится на основе данных, получаемых по быстрому направлению сканирования на прямом или на обратном ходу сканирования.

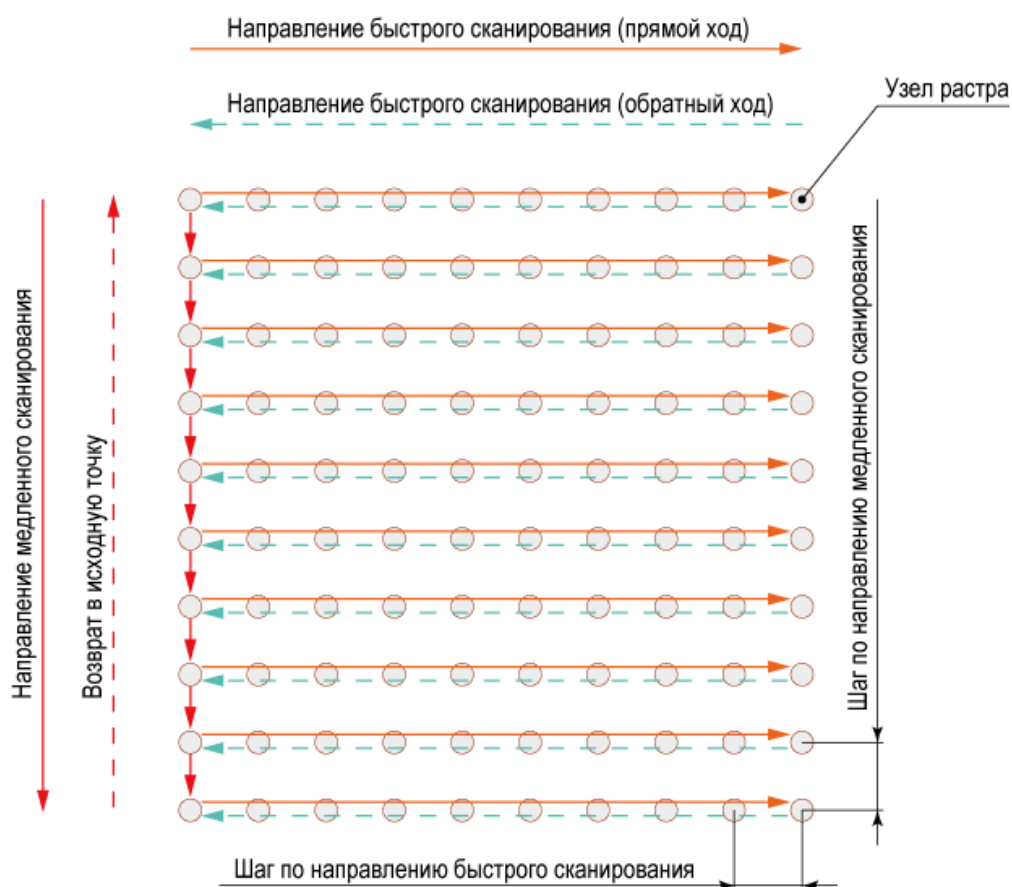


Рис. 2.3 Иллюстрация процесса сканирования.

Можно записывать данные и на прямом, и на обратном ходу сканирования, производя смещения в перпендикулярном направлении как в начале, так и в конце строки. При этом скорость получения изображения увеличивается в два раза. Однако, для сканеров без датчиков такой способ сканирования не применяется, т.к. разница между профилем поверхности на прямом и обратном ходу в силу нелинейных свойств пьезокерамики обычно существенна. Для сканеров с датчиками тоже есть различие между “прямым” и “обратным” профилем, хотя и не всегда заметное. Причиной этого являются ошибки обратной связи по направлению быстрого сканирования. Эти ошибки уменьшаются при снижении скорости сканирования. Также в контактном режиме измерений возможны паразитные смещения зонда под действием силы трения между ним и образцом. Эти смещения меняют знак в зависимости от направления движения зонда. В итоге, часто оказывается, что для получения изображения требуемого качества выгодней использовать запись данных только на прямом или только на обратном ходу. Если не проводить смещение по направлению медленного сканирования, то данные, записываемые на обратном ходу сканера, практически не отличимы от данных, получаемых на прямом ходу сканирования.

2.2.2. Основные методики сканирования

Независимо от конструкции сканирующего зондового микроскопа существует два основных способа сканирования. Это сканирование зондом и сканирование образцом. В первом случае сканирование производится перемещением зонда относительно поверхности исследуемого образца по координатам XYZ. В случае сканирования образцом зонд микроскопа остается неподвижным в плоскости сканирования и перемещается только по оси Z, сканирование проводится перемещением образца в плоскости XY.

2.2.3. Использование пьезоэффекта

Во всех современных сканирующих зондовых микроскопах, независимо от конструкции, для позиционирования зонда и его перемещения относительно поверхности используется обратный пьезоэлектрический эффект.

Обратный пьезоэлектрический эффект — эффект возникновения механических деформаций в диэлектриках под действием электрического поля. Он возникает в кристаллах, ячейки которых не имеют центра симметрии, в результате чего такие ячейки представляют собой постоянный электрический диполь. При прило-

жении к такому кристаллу внешнего электрического поля происходит деформация диполей, приводящая к изменению размеров кристалла. Так как выращивание монокристаллов материалов с пьезоэлектрическими свойствами представляет значительную трудность, обычно используют поликристаллические материалы — керамики, диполи в кристаллитах которых ориентированы преимущественно в одном направлении поляризации в сильном магнитном поле. Соответственно, при приложении электрического поля к такой керамике происходит изменение её размеров.

Пьезоэлектрические свойства материалов описывают с помощью набора пьезоконстант, отражающих связь величины приложенного электрического поля с удлинением материала. Как правило, даже для относительно небольшого удлинения необходимо приложить к материалу высокое напряжение. Например, для титаната циркониевокислого свинца (ТЦС, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,55}\text{Ti}_{0,45})\text{O}_3$ с добавками Nb, Cr, La, Fe и т.д.) пьезоконстанта $d_{33}=374 \times 10^{-12}$ м/В (для ТЦС-5А).

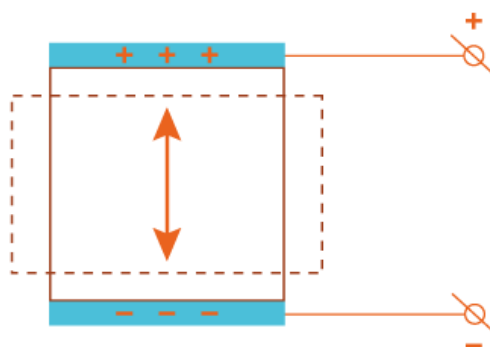


Рис. 2.4 Схематическое изображение обратного пьезоэффекта.

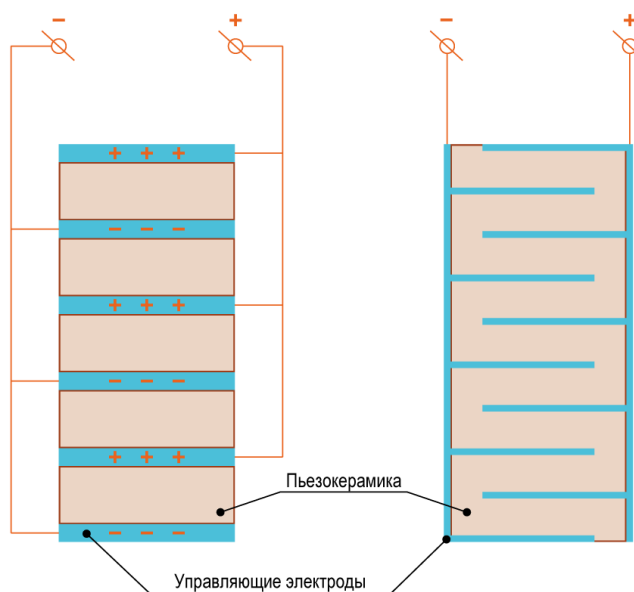
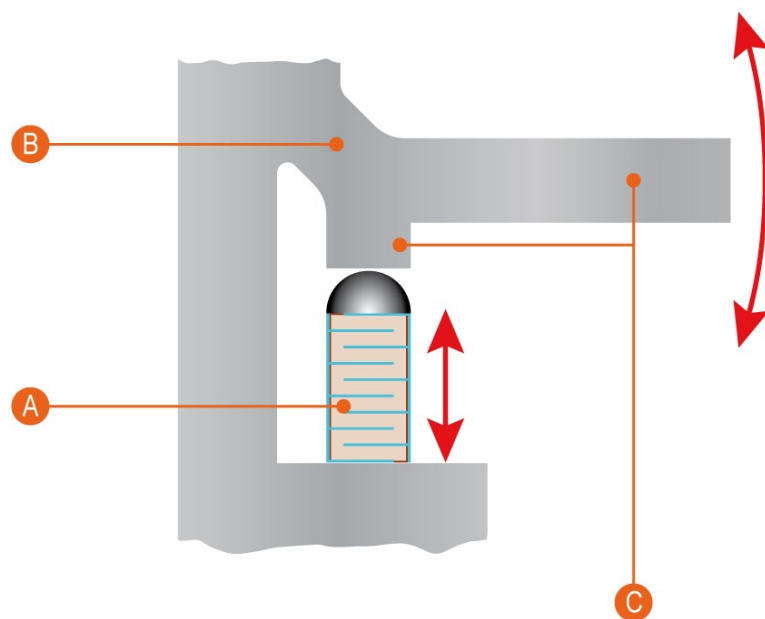


Рис. 2.5 Схематическое изображение многослойного пьезоэлектрического актюатора (пьезостека).

Для уменьшения напряжения управляющего сигнала используют последовательное соединение слоев пьезокерамики с электродами на каждом слое. В более усовершенствованном варианте используется сплошной массив пьезокерамики с электродами в теле пьезостека.

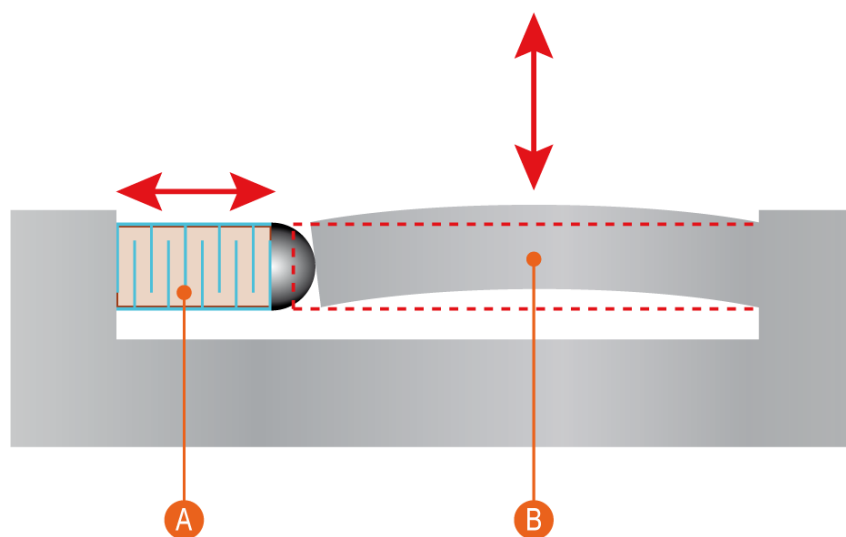
2.2.4. Неразрывные рычажные системы

В общем случае величина смещений, вызванных обратным пьезоэлектрическим эффектом, относительно размеров пьезокерамического элемента, представляет очень малую величину. Относительная деформация обычно не превышает 0.1% и общее удлинение такого устройства составляет несколько десятков микрометров. Для увеличения смещения используют различные механические устройства, такие как рычаги, шарниры и устройства работающие на изгиб.



A	Пьезостек.
B	Упругий шарнир.
C	Плечи рычага

Рис. 2.6 Схематическое изображение принципа действия рычажно-шарнирного элемента.



A	Пьезостек.
B	Балка.

Рис. 2.7 Схематическое изображение принципа действия элемента работающего на изгиб.

Как правило, пьезоэлектрические движущие элементы используют только для осуществления поступательного движения, для возвратного движения пользуются тем фактом, что в диапазоне прикладываемых нагрузок, применяемые материалы подчиняются закону Гука, то есть деформация прямо пропорциональна приложенному напряжению и материал такого устройства испытывает только упругие деформации. В результате чего, после прекращения действия внешней силы элементы такой системы принимают первоначальные размер, форму и, соответственно, положение в пространстве.

Для реальных устройств элементы сканера комбинируют таким образом, чтобы их форма и расположение образовывали кинематическую схему для плоско-параллельного перемещения в плоскости XY или в пространстве по XYZ.

2.2.5. Датчики положения

Из-за нелинейных свойств пьезокерамики, получаемое изображение содержит искажения. Под нелинейными свойствами пьезокерамики следует понимать особенности зависимости между управляющим электрическим полем и деформацией пьезокерамического образца, а именно, нелинейность и неоднозначность этой зависимости. Обычно нелинейные свойства керамики разделяют на крип, ги-

стерезис и собственно нелинейность. Также к нелинейным свойствам следует отнести нестабильность чувствительности пьезокерамики.

Для сканера, не оснащенного датчиками, управляющее напряжение по данной оси является индикатором его положения по этой оси. Нелинейность и неоднозначность зависимости управляющее напряжение - положение часто приводит к существенным искажениям получаемого изображения.

Для коррекции перемещения по осям и точного определения положения зонда в пространстве используют датчики с различными принципами действия. Это могут быть оптические, индуктивные, магнитоэлектрические, ёмкостные и т.д.

В пьезосканерах используются ёмкостные датчики.

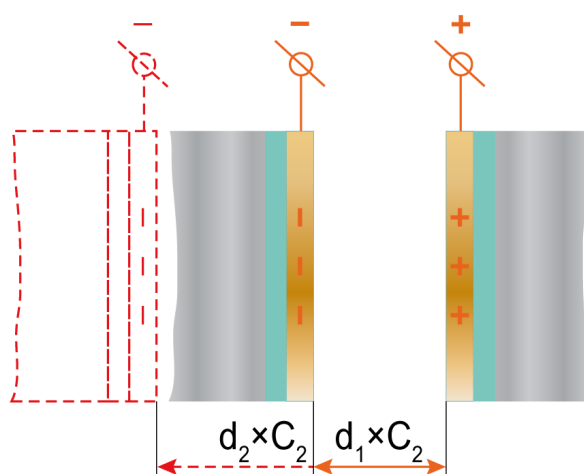


Рис. 2.8 Схематическое изображение принципа действия ёмкостного датчика перемещений.

Так как ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных пластин выражается формулой 2.1:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2.1)$$

C – ёмкость;

S – площадь каждой пластины;

d – расстояние между пластинами;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ϵ_0 – электрическая постоянная.

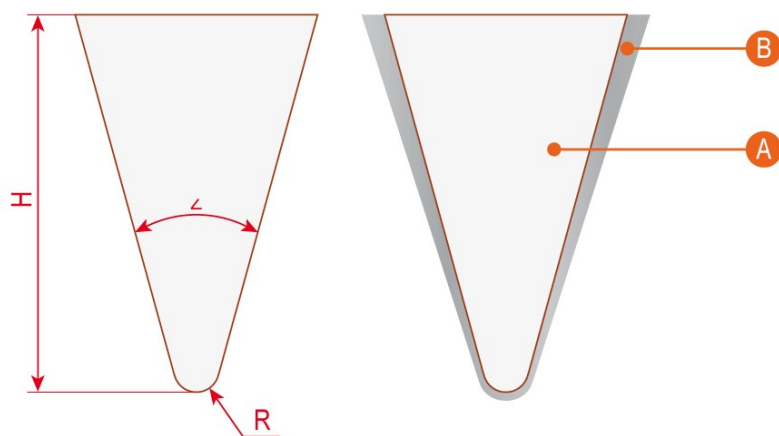
то при изменении расстояния между пластинами меняется ёмкость конденсатора датчика, что позволяет определить смещение по оси.

2.3. Зонды

2.3.1. Основные параметры зондов

Основной элемент любого сканирующего зондового микроскопа — зонд. На основе взаимодействия зондов с поверхностью строится изображение поверхности и распределение по поверхности локальных физических характеристик.

В общем случае зонд сканирующего зондового микроскопа представляет собой иглу конической или пирамидальной формы. Наиболее распространенные материалы для зондов это металлы (вольфрам, платина и подобные для туннельной микроскопии), кремний и нитрид кремния — Si_3N_4 для атомно-силовой микроскопии, кремний с покрытием для магнитных и проводящих методик, кремний с алмазным покрытием для индентирования и т. д.



A	Основной материал зонда.
B	Покрытие зонда.
R	Радиус иглы зонда.
H	Высота иглы.
L	Угол конуса.

Рис. 2.9 Схематическое изображение игл зондов.

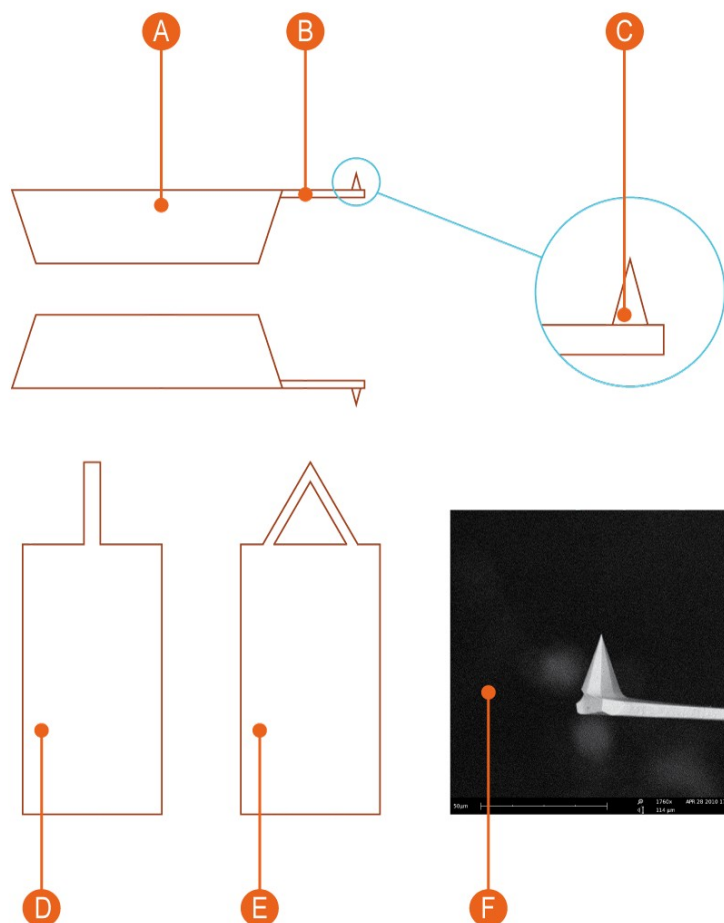


От радиуса закругления вершины зонда и угла конуса зависит разрешение и точность отображения элементов на поверхности. От высоты зонда зависит максимальный перепад высот на поверхности доступный для отображения. Покрытия зондов позволяют использовать различные методики сканирующей зондовой микроскопии.

Кроме этих параметров на качество получаемого изображения, набор методик и возможность исследования образцов разной природы влияют два параметра. Это жесткость зонда или силовая константа (англ. force constant, N/m) и резонансная частота зонда (англ. resonant frequency, kHz).

2.3.2. Общий вид зондов

В общем виде зонды для сканирующей зондовой микроскопии могут представлять собой иглы, однако промышленно методами литографии и различными методами напыления покрытий, производятся зонды специализированной формы.



A	Чип
B	Балка
C	Игла
D	Кантилевер с прямоугольной балкой
E	Кантилевер с треугольной балкой
F	Изображение конца балки с иглой, полученное на сканирующем электронном микроскопе.

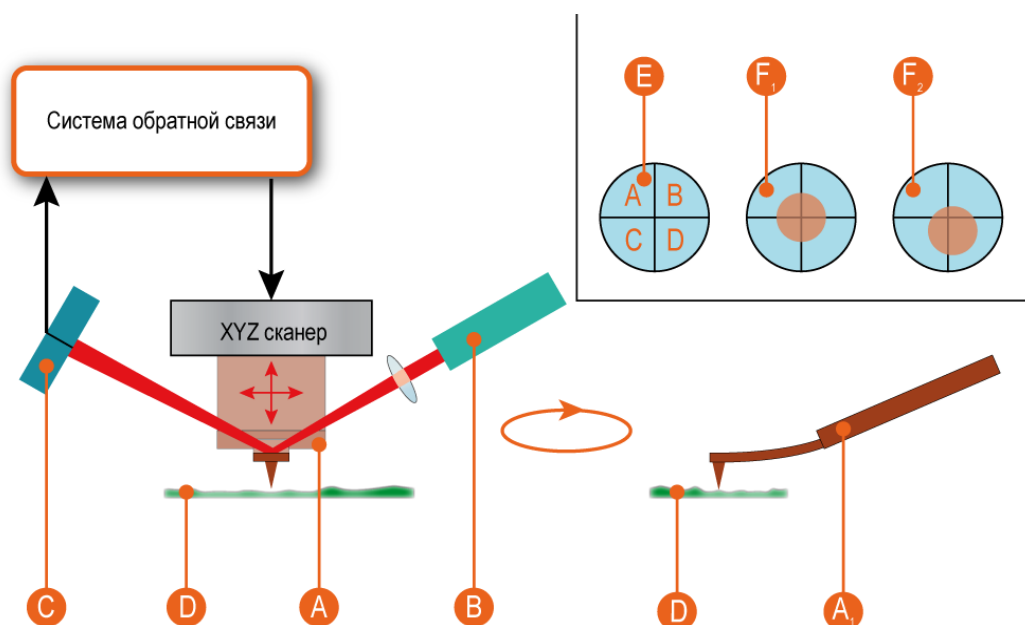
Рис. 2.10 Схематическое изображение игл зондов.

2.4. Система регистрации

Для регистрации перемещения зонда и позиционирования его относительно поверхности используются различные системы регистрации. Для атомно-силовой микроскопии, как правило, используют два типа систем регистрации.

2.4.1. Система регистрации на основе дефлектометра.

Наиболее распространена система регистрации на основе лазерного дефлектометра.



A	Зонд.
A ₁	Отображение изгиба кантилевера.
B	Лазер.
C	4-х секционный фотодиод.
D	Образец.
E	Схема 4-х секционного фотодиода. Секции обозначены A, B, C, D.
F ₁	Положение лазерного пятна по центру фотодиода.
F ₂	Случайное положение лазерного пятна на фотодиоде.

Рис. 2.11 Схематическое изображение дефлектометра.

Лазерный луч фокусируют на балке зонда. Отраженный луч попадает на 4-х секционный фотодиод. По соотношению интенсивности на секциях фотодиода определяется положение отражающей части зонда в пространстве. При перемещении зонда по оси Z или поворотах балки происходит изменение положения лазерного пятна на фотодиоде. В результате, по заранее определенным соотношениям определяется положение зонда относительно поверхности.

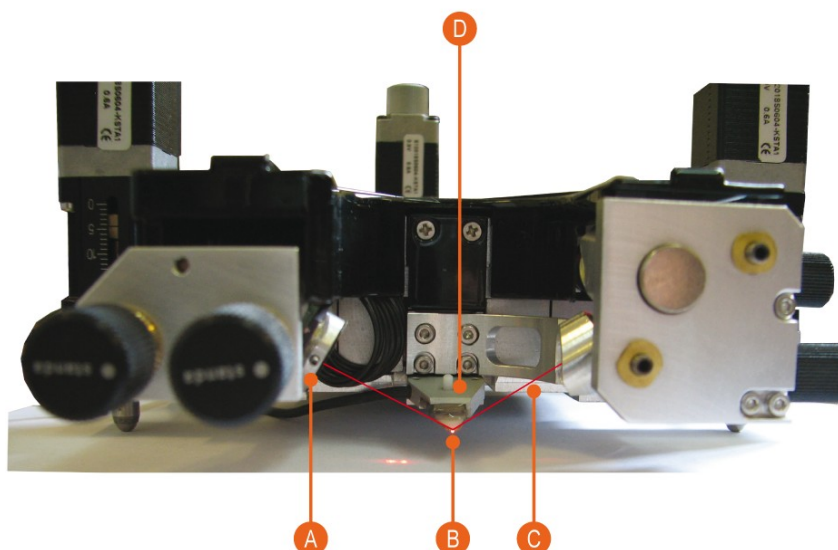


Рис. 2.12 Реализация системы регистрации на основе дефлектометра в C3M Certus.

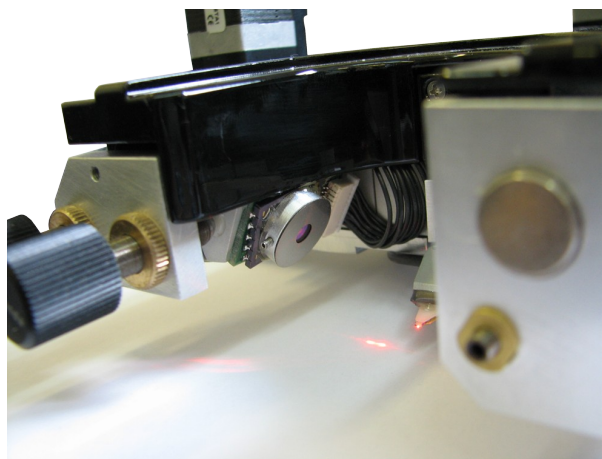
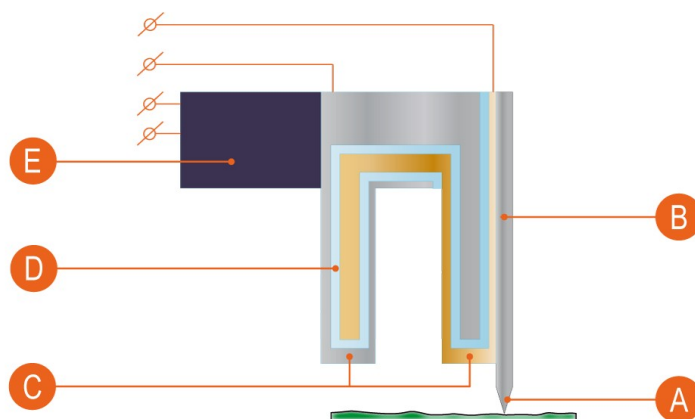


Рис. 2.13 Фотодиод в системе регистрации.

2.4.2. Система регистрации методом “shear-force”

Метод “**shear-force**” основан на регистрации изменения частоты колебаний зонда, вызванных тангенциальной составляющей сил взаимодействия зонд-поверхность. Для определения изменения частоты колебаний используют резонаторы камертонного типа (**tuning-fork**), колебания с которых детектируют с помощью прямого пьезоэлектрического эффекта кристаллов кварца.

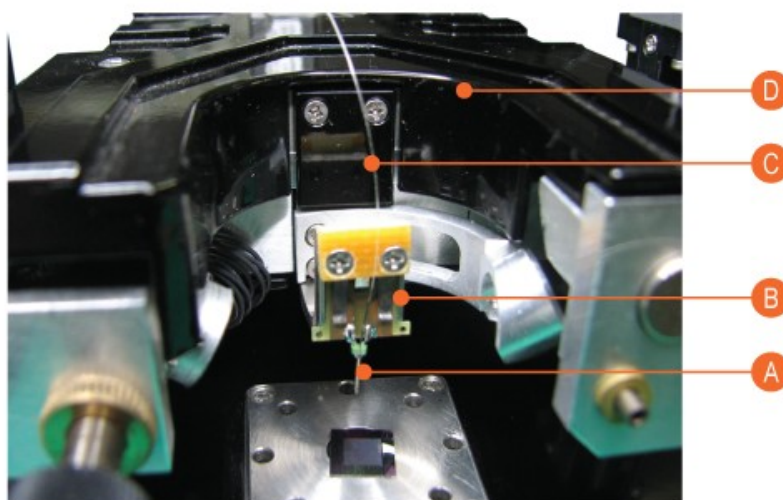


A	Острие иглы.
B	Зонд.
C	Электроды, которые используются для измерения изменения напряжения возникающего на сторонах кристалла кварца (прямой пьезоэлектрический эффект) в результате изменения частоты колебаний при взаимодействии с поверхностью. Информация о изменении напряжения позволяет определить текущую частоту колебаний резонатора.
D	Кристалл кварца (пьезоэлектрик).
E	Пьезовибратор. Используется для создания вынужденных колебаний резонатора (установка начальной частоты колебаний резонатора).

Рис. 2.14 Реализация системы регистрации по методу “shear-force”.

Наиболее часто такой метод регистрации используется в тех случаях, где необходимо избежать взаимодействия вещества образца с лазерным излучением, либо в системах ближнепольной микроскопии.

В случае ближнепольной микроскопии вместо иглы на зонд типа “**tuning-fork**” устанавливается специализированный зонд для ближнепольной микроскопии и используется специализированный держатель зондов.



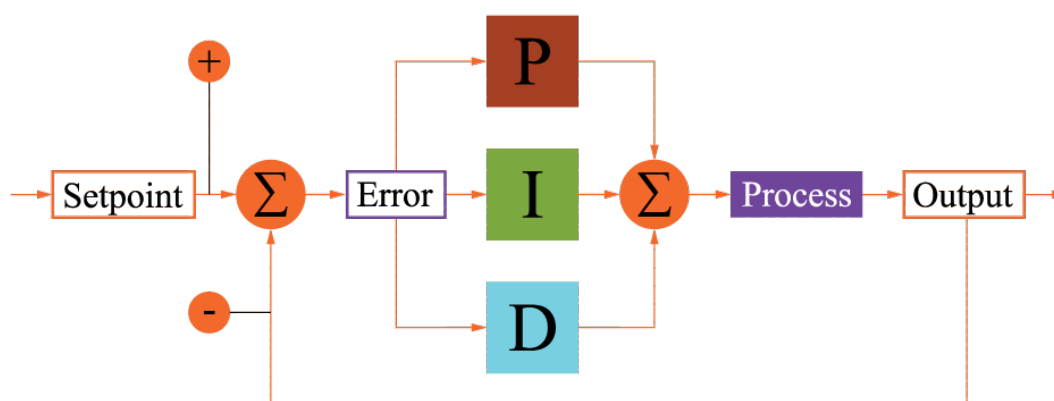
A	Кварцевый камертонный резонатор (tuning-fork) с зондом.
B	Держатель зондов.
C	Оптическое волокно.
D	СЗМ головка Certus

Рис. 2.15 Реализация системы регистрации по методу “shear-force”.

2.5. Обратная связь

В цепи обратной связи сканирующих зондовых микроскопов для формирования управляющего сигнала обычно используется пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор.

ПИД регулятор формирует управляющий сигнал на основе составляющих пропорциональному сигналу, интегралу входного сигнала и производной от входного сигнала.



P	По пропорциональной составляющей генерируется сигнал противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения.
I	Интегральная составляющая используется для сглаживания статистических ошибок во входном сигнале.
D	Дифференциальная составляющая необходима для предсказания отклонений регулируемой величины.
Setpoint	Установленное значение регулируемой величины.
Error	Разница между действительным и установленным значением регулируемой величины.
Process	Контролируемый процесс.
Output	Действительное значение регулируемой величины..
+/-	Знак слагаемого для вычисления разницы между действительным и установленным значением регулируемой величины.

Рис. 2.16 Схема ПИД-регулятора.

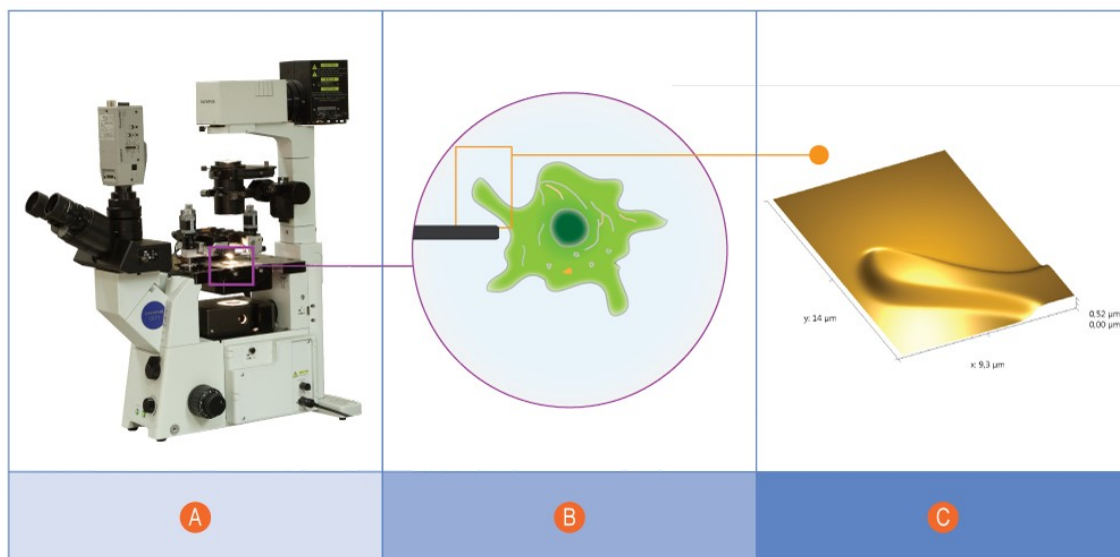
2.6. Совмещение оптического микроскопа со сканирующим зондовым

К одному из основных недостатков сканирующей зондовой микроскопии относятся трудности с установкой зонда точно в выбранную точку на поверхности объекта исследования, выделение участков поверхности представляющих интерес с научной точки зрения, сопоставление оптической и топографической информации о поверхности объекта исследования.

Для преодоления этого ограничения совмещают сканирующий зондовый микроскоп с оптическим микроскопом. Методики оптической микроскопии позволяют выделить необходимый участок на поверхности, навести на него зонд сканирующего микроскопа и провести сканирование.

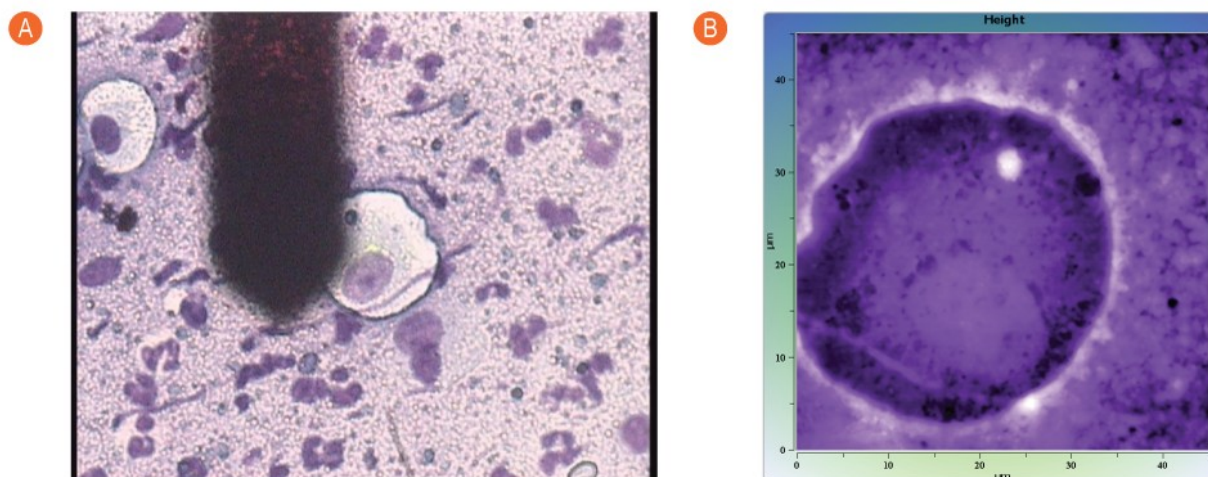
Совмещение методик СЗМ и оптической микроскопии требует использования СЗМ модуля и модуля оптической микроскопии. Смысл совмещения этих методик состоит в снятии ограничений присущих этим методикам по отдельности.

Методики оптической микроскопии используются для выделения объекта и наведения зонда СЗМ на объект. СЗМ методики используются для получения топографии поверхности и других неоптических характеристик поверхности с разрешением большим чем у оптического микроскопа.



A	Видимые глазом объекты.
B	Объекты видимые в оптический микроскоп.
C	Объекты визуализированные с помощью СЗМ.

Рис. 2.17 Иллюстрация идеи совмещения оптического и сканирующего зондового микроскопов.



- | | |
|---|---|
| A | Оптическое изображение объекта исследований на поверхности и балки кантилевера. |
| B | СЗМ изображение объекта исследования на поверхности (топография). |

Рис. 2.18 Реализация на практике идеи совмещения оптического и сканирующего зондового микроскопов.

Конструкция сканирующей головки Certus и плоскопараллельного сканирующего столика Ratis позволяет проводить прямое наблюдение в оптический микроскоп области сканирования без использования дополнительной системы зеркал.



3. Ввод в эксплуатацию

Для установки комплекса Certus Optic необходимы:

1. Оптический микроскоп;
2. Сканирующее основание;
3. Сканирующая головка Certus;
4. СЗМ контроллер серии EG (EG-3000);
5. Z-подвижка для объектива (опция);
6. Компьютер;
7. Набор кабелей для подключения;
8. Программное обеспечение NSpec.

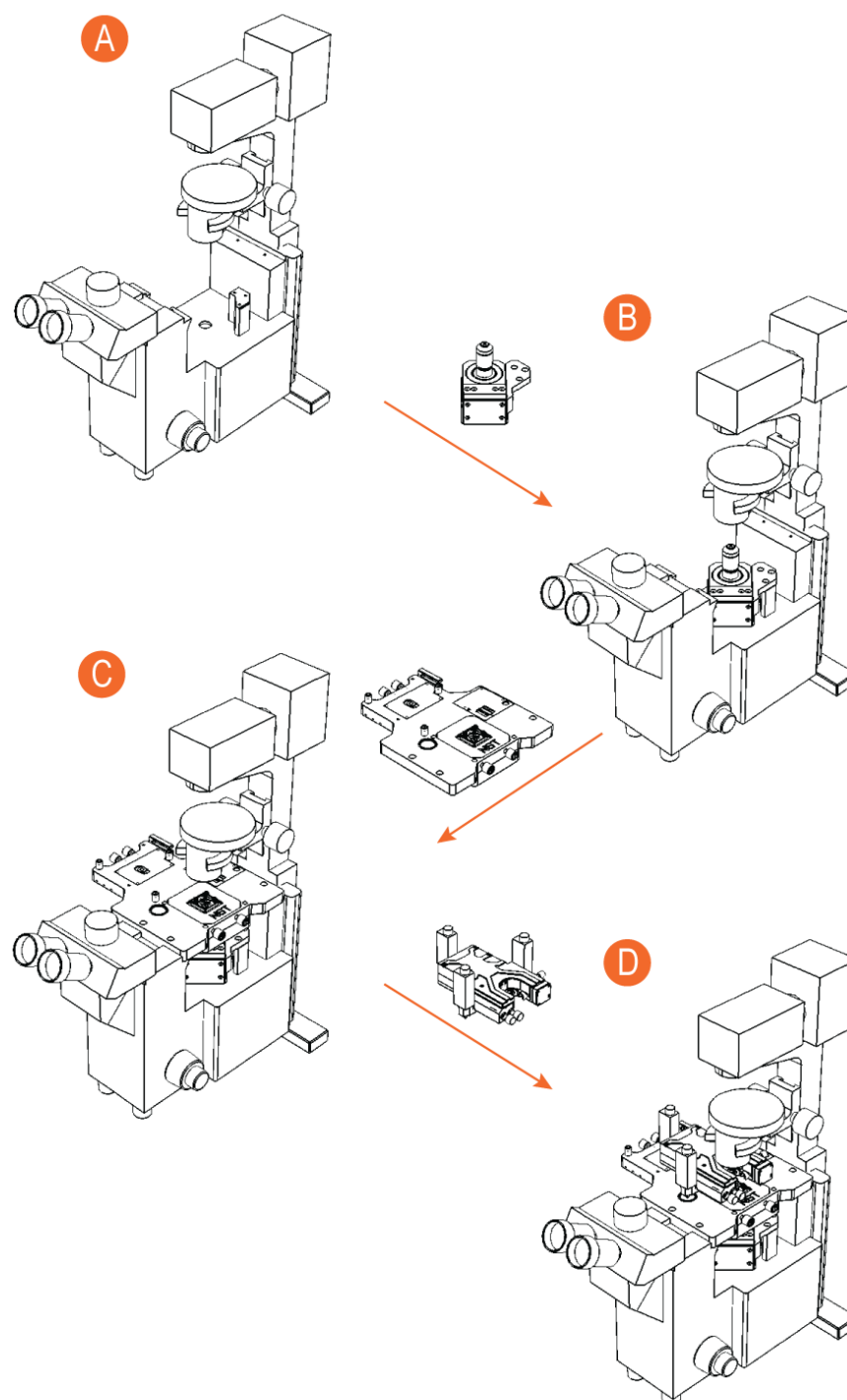
Комплекс Certus Optic необходимо устанавливать на твердую ровную поверхность исключаящую перекося комплекса и возможное падение в результате случайных толчков и вибраций. Рекомендуется устанавливать комплекс и управляющий компьютер на разные поверхности не связанные друг с другом.

3.1. Общая последовательность ввода в эксплуатацию комплекса Certus Optic

Последовательность ввода в эксплуатацию комплекса Certus Optic отличается для моделей, основанных на различных типах микроскопов. В общем случае последовательность ввода в эксплуатацию выглядит следующим образом.

	Certus Optic I	Certus Optic U
1	Установка оптического микроскопа.	Установка оптического микроскопа.
2	Установка Z-подвижки для объектива.	-
3	Установка плоскопараллельного сканирующего столика Ratis в сканирующее основание.	Установка плоскопараллельного сканирующего столика Ratis в сканирующее основание.
4	Установка сканирующего основания на микроскоп.	Установка сканирующего основания на микроскоп.
5	-	Установка Z-подвижки для объектива.
6	Установка сканирующей головки Certus.	Установка сканирующей головки Certus.
7	Подключение основных частей комплекса к контроллеру EG-3000.	Подключение основных частей комплекса к контроллеру EG-3000.
8	Установка видеокамеры	Установка видеокамеры
9	Подключение к компьютеру.	Подключение к компьютеру.
10	Установка программного обеспечения NSpec.	Установка программного обеспечения NSpec.
11	Первый запуск и проверка работоспособности.	Первый запуск и проверка работоспособности.

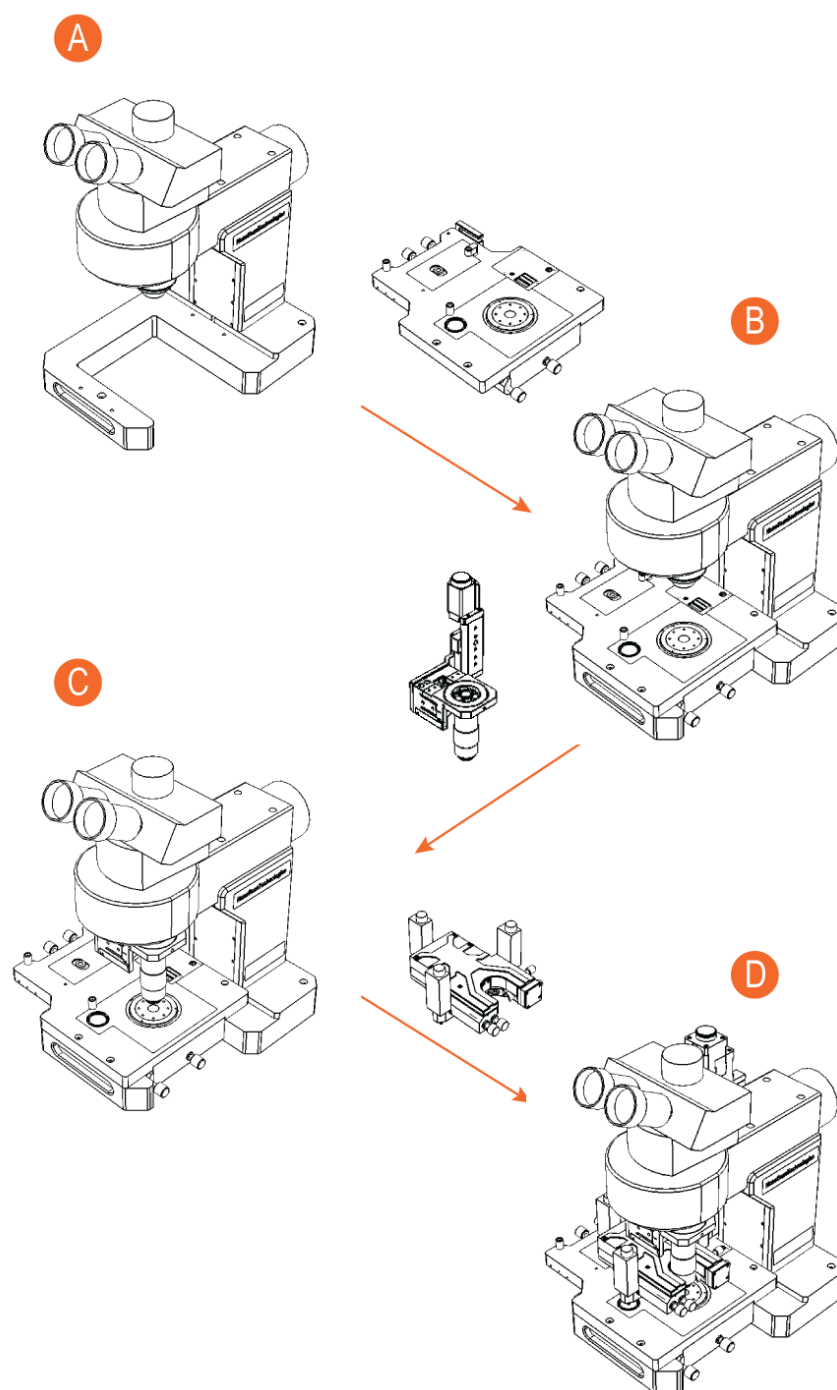
3.1.1. Последовательность установки комплекса Certus Optic I



- | | |
|---|-----------------------------------|
| A | Установка оптического микроскопа. |
| B | Установка Z-подвижки. |
| C | Установка сканирующего основания. |
| D | Установка сканирующей головки |

Рис. 3.1 Последовательность установки комплекса Certus Optic invert.

3.1.2. Последовательность установки комплекса Certus Optic U



- | | |
|---|-----------------------------------|
| A | Установка оптического микроскопа. |
| B | Установка сканирующего основания. |
| C | Установка Z-подвижки. |
| D | Установка сканирующей головки. |

Рис. 3.2 Последовательность установки комплекса Certus Optic U.

3.2. Установка оптического микроскопа

Установка оптического микроскопа осуществляется в соответствии с руководством пользователя данной модели оптического микроскопа. При наличии дополнительных комплектующих, устанавливаемых на место крепления сканирующего основания, устанавливать их не нужно.

3.3. Установка Z-подвижки для объектива (инвертированный микроскоп).

3.3.1. Установка тела Z-подвижки

После установки оптического микроскопа на предназначенное для работы место необходимо установить Z-подвижку для объектива (Vectus). Подвижка для объективов устанавливается опционально.

Крепления Z-подвижки для объективов соответствуют креплениям штатной турели для объективов соответствующей модели микроскопа.

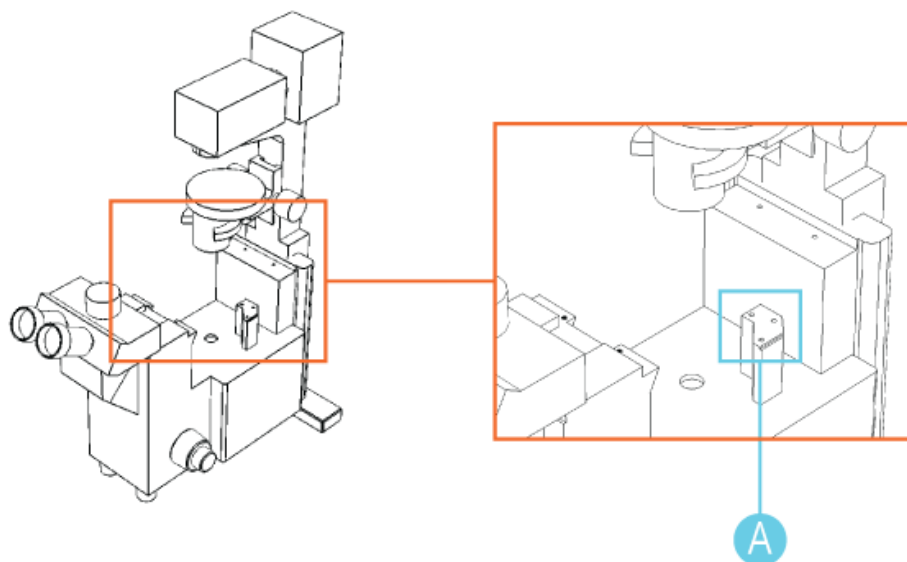


Рис. 3.3 Типовое крепление (А) для турели для объективов на инвертированном микроскопе.

Механизм крепления Z-подвижки к оптическому микроскопу отображен на рисунке 3.4.

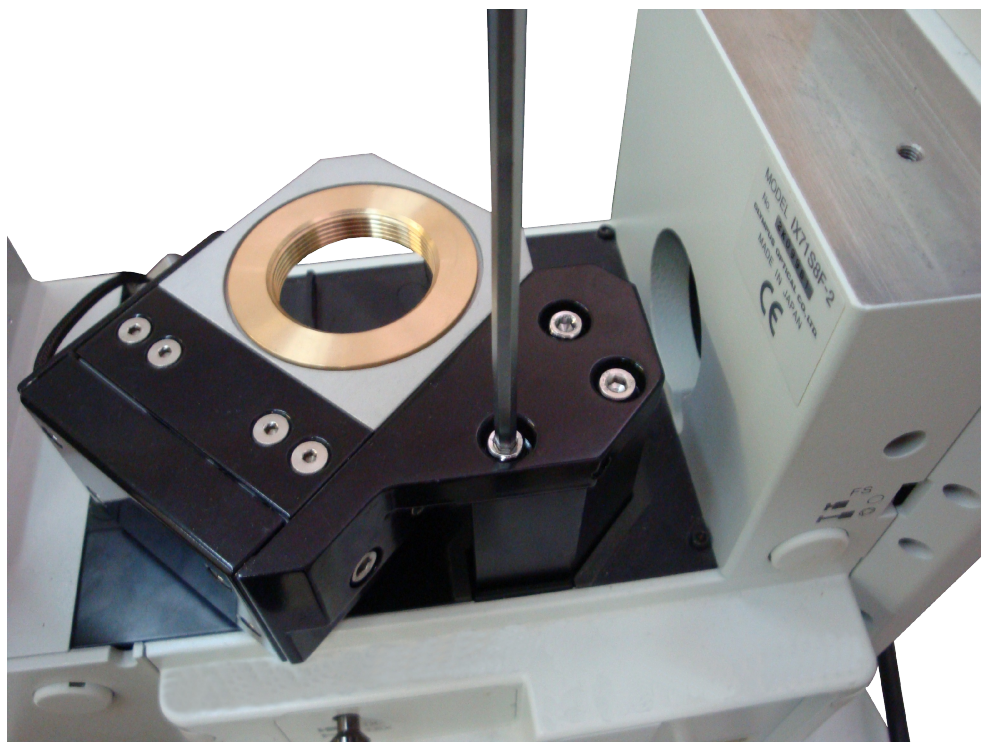


Рис. 3.4 Крепление Z-подвижки для объектива к оптическому микроскопу.

3.3.2. Установка крепления для объектива и проставок для объективов

После установки Z-подвижки необходимо установить крепление для объективов и при необходимости проставку для объектива. (рис. 3.5)



A	Крепление для объектива.
B	Проставка для объектива.

Рис. 3.5 Общий вид крепления для объектива и проставки для объектива.

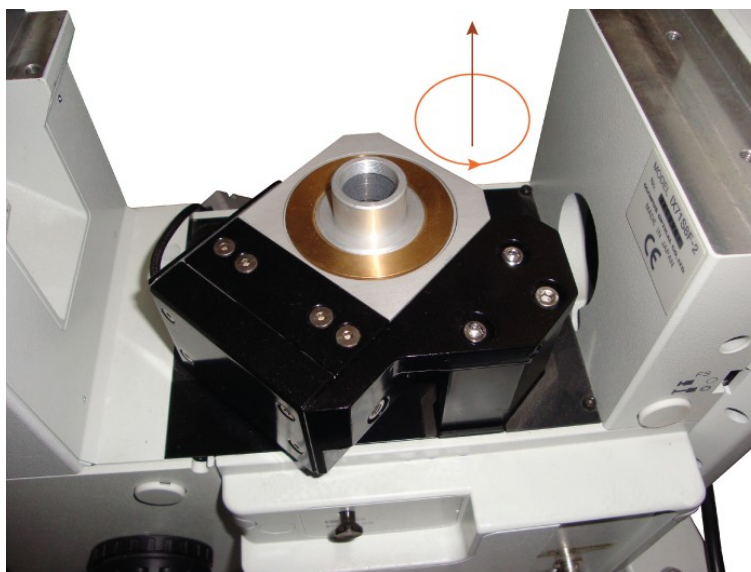


Рис. 3.6 Присоединение крепления для объективов.

Крепление для объективов ставится снизу (рис 3.6). Это необходимо для возможности смены объективов и установки проставок при установленном сканирующем основании. При монтаже подвижки для объективов достаточно установить крепление для объективов, проставки и объектив крепятся сверху до установки сканирующего основания.

Установленная Z-подвижка с объективом изображена на рисунке 3.7.



Рис. 3.7 Z-подвижка с объективом.

3.4. Установка сканирующего основания

После установки оптического микроскопа необходимо установить сканирующее основание (рис. 3.8 и рис. 3.9).

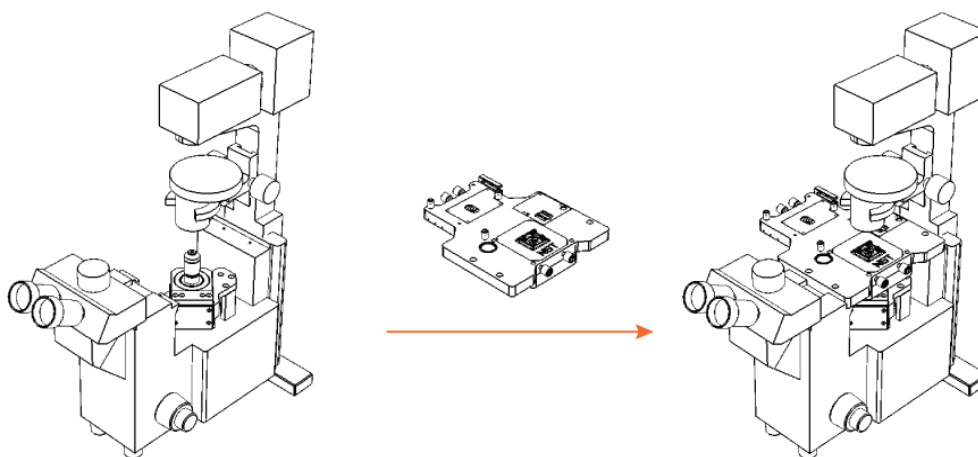


Рис. 3.8 Установка сканирующего основания на модификации Certus Optic invert.

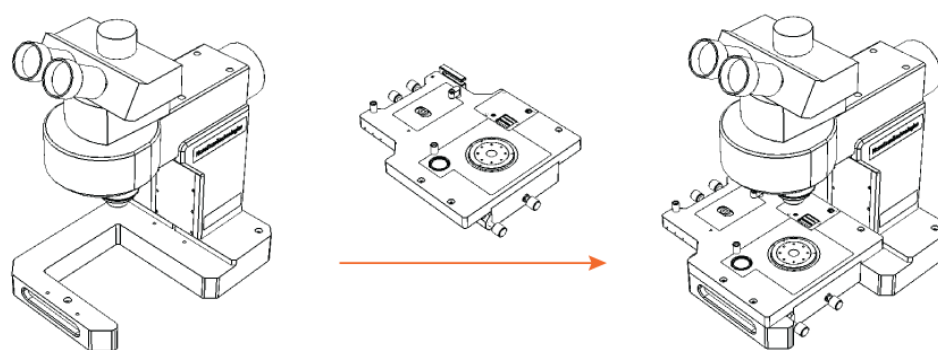
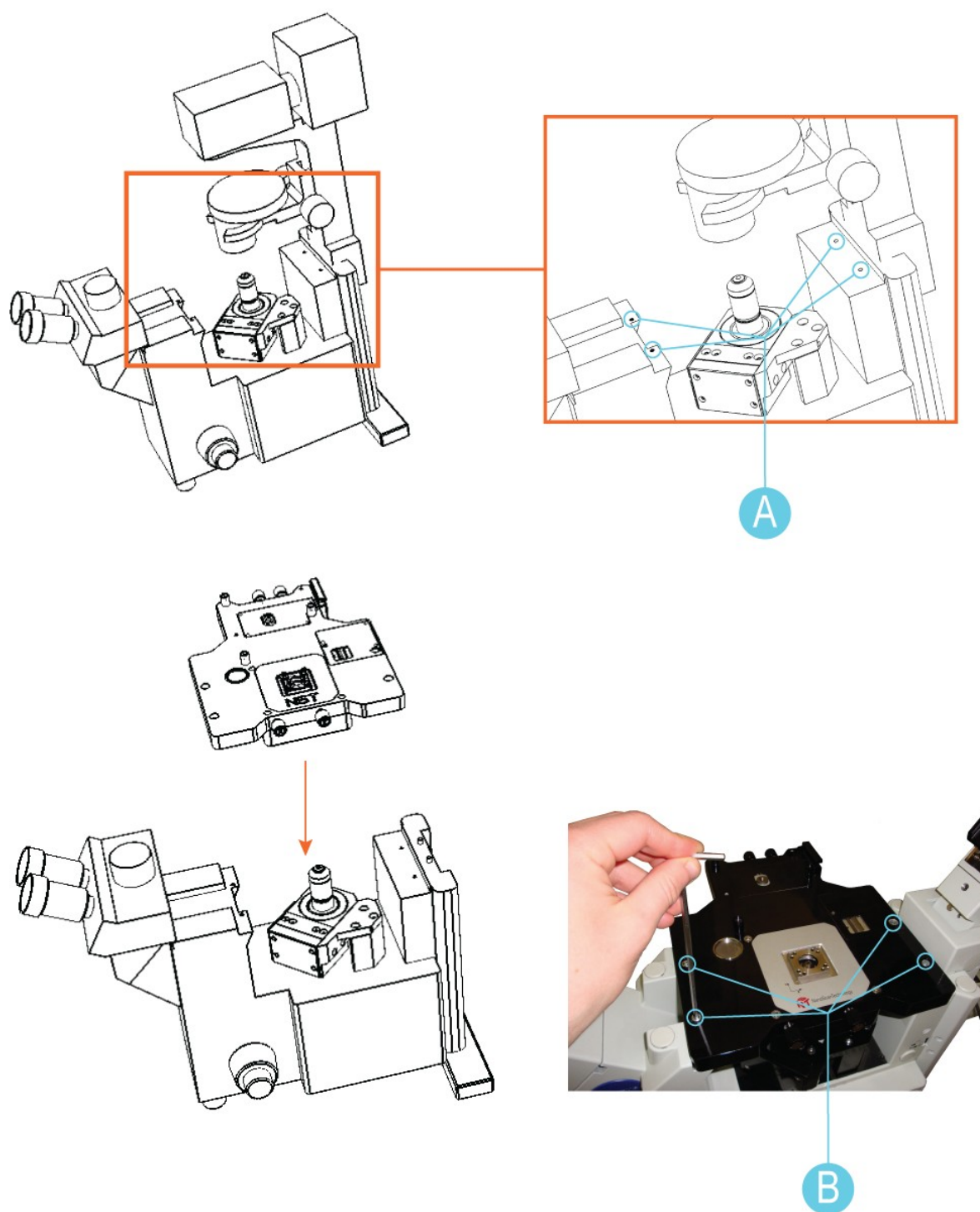


Рис. 3.9 Установка сканирующего основания на модификации Certus Optic upright.

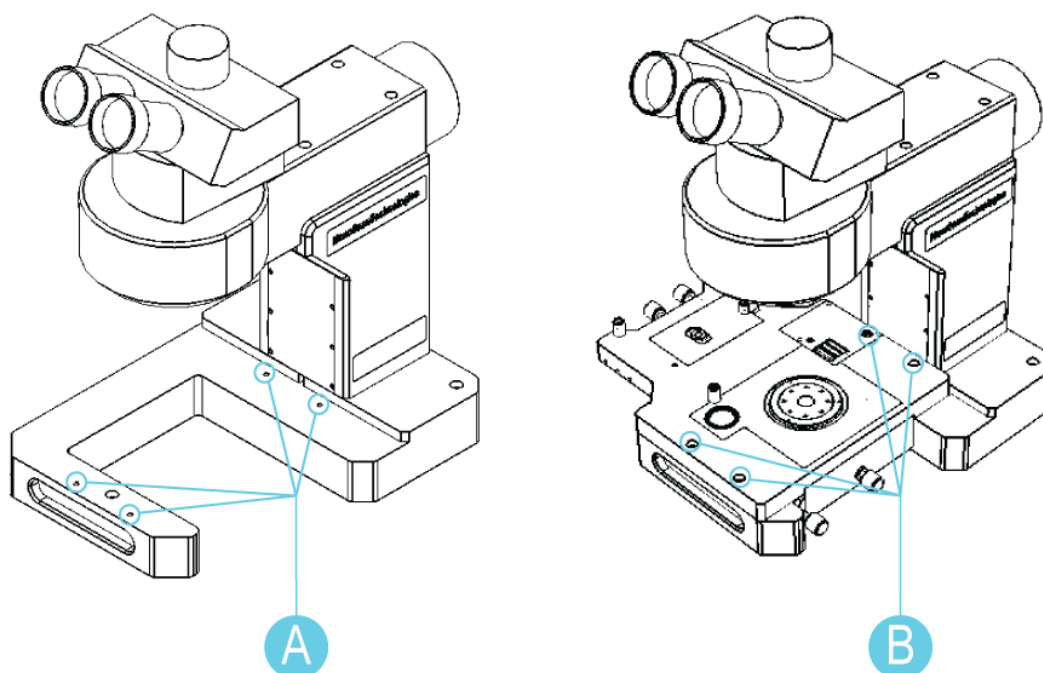
3.4.1. Установка сканирующего основания на Certus Optic invert



- | | |
|---|---|
| A | Отверстия для крепления для сканирующего основания. |
| B | Крепления, требующие фиксации. |

Рис. 3.10 Последовательность действий при установке сканирующего основания на Certus Optic invert.

3.4.2. Установка сканирующего основания на Certus Optic upright



- | | |
|---|---|
| A | Отверстия для крепления для сканирующего основания. |
| B | Крепления, требующие фиксации. |

Рис. 3.11 Последовательность действий при установке сканирующего основания на Certus Optic upright.

3.5. Установка Z-подвижки для объектива (прямой микроскоп) — опция

После установки сканирующего основания на предназначенное место необходимо установить Z-подвижку для объектива (Vectus). Подвижка для объективов устанавливается опционально.

Важно! В силу того, что не существует единого стандарта на крепления турели для объективов у различных производителей микроскопов, съёмное крепление на подвижке для объективов соответствуют креплениям заранее озвученной в техническом задании модели/марки микроскопа. При использовании других моделей микроскопов с ранее поставленными подвижками могут возникать трудности с креплением. Для решения данной проблемы необходимо приобрести дополнительное крепление под соответствующую модель/марку микроскопа.

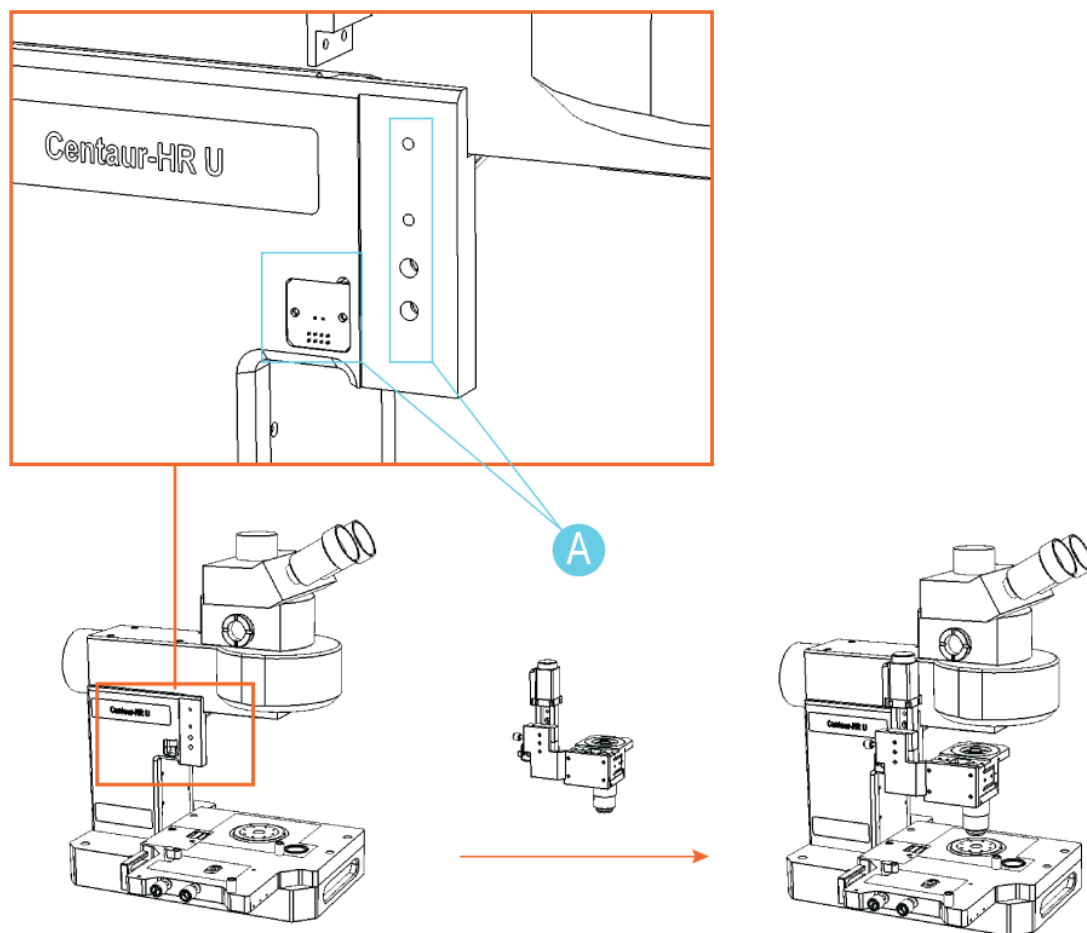


Рис. 3.12 Крепления (А) для Z-подвижки для объективов на прямой микроскоп.

После установки сканирующего основания и, при необходимости, Z-подвижки для объектива необходимо установить сканирующую головку Certus.

3.6. Установка СЗМ Certus

Первоначально необходимо установить СЗМ Certus на сканирующее основание.

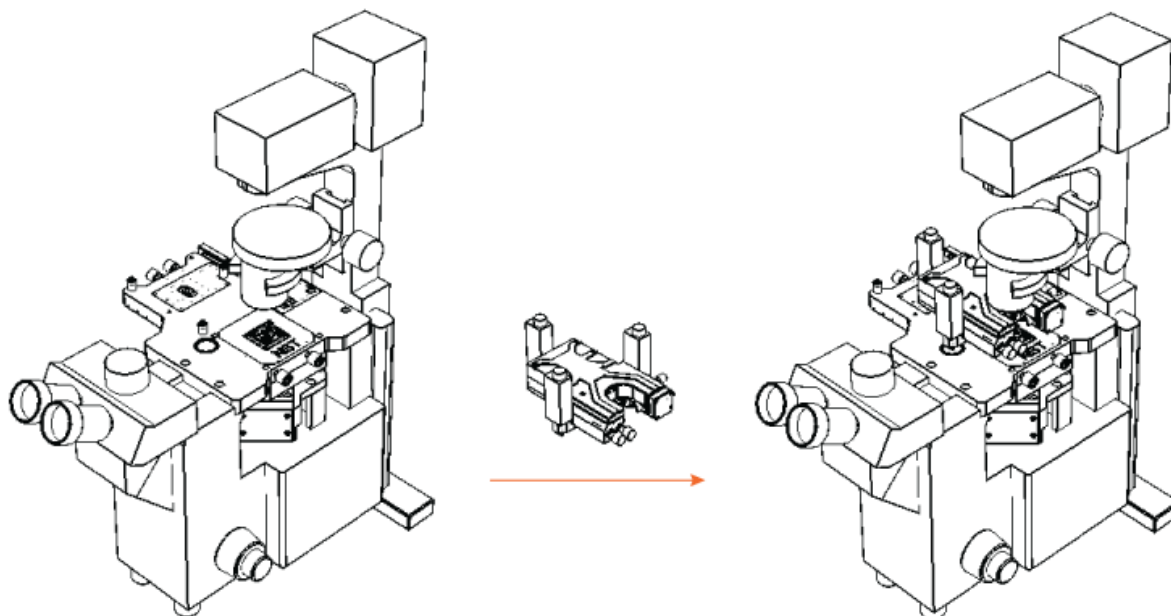


Рис. 3.13 Установка сканирующей головки Certus на инвертированный микроскоп.

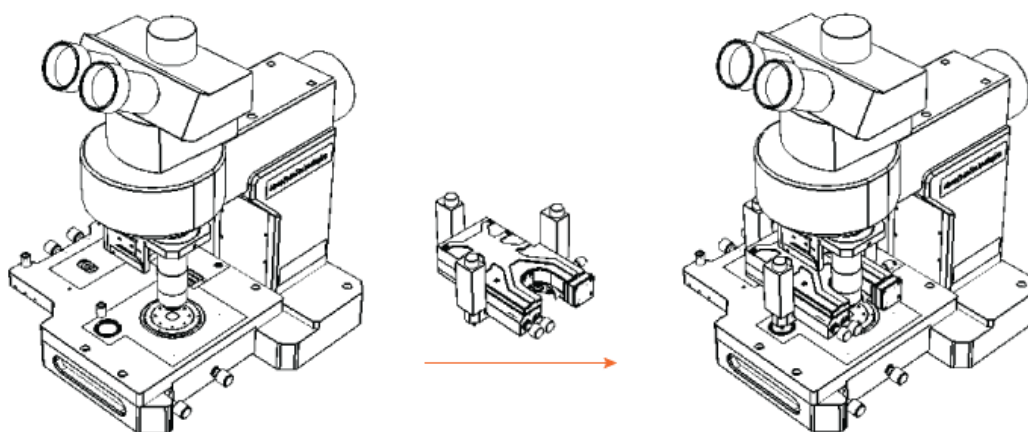
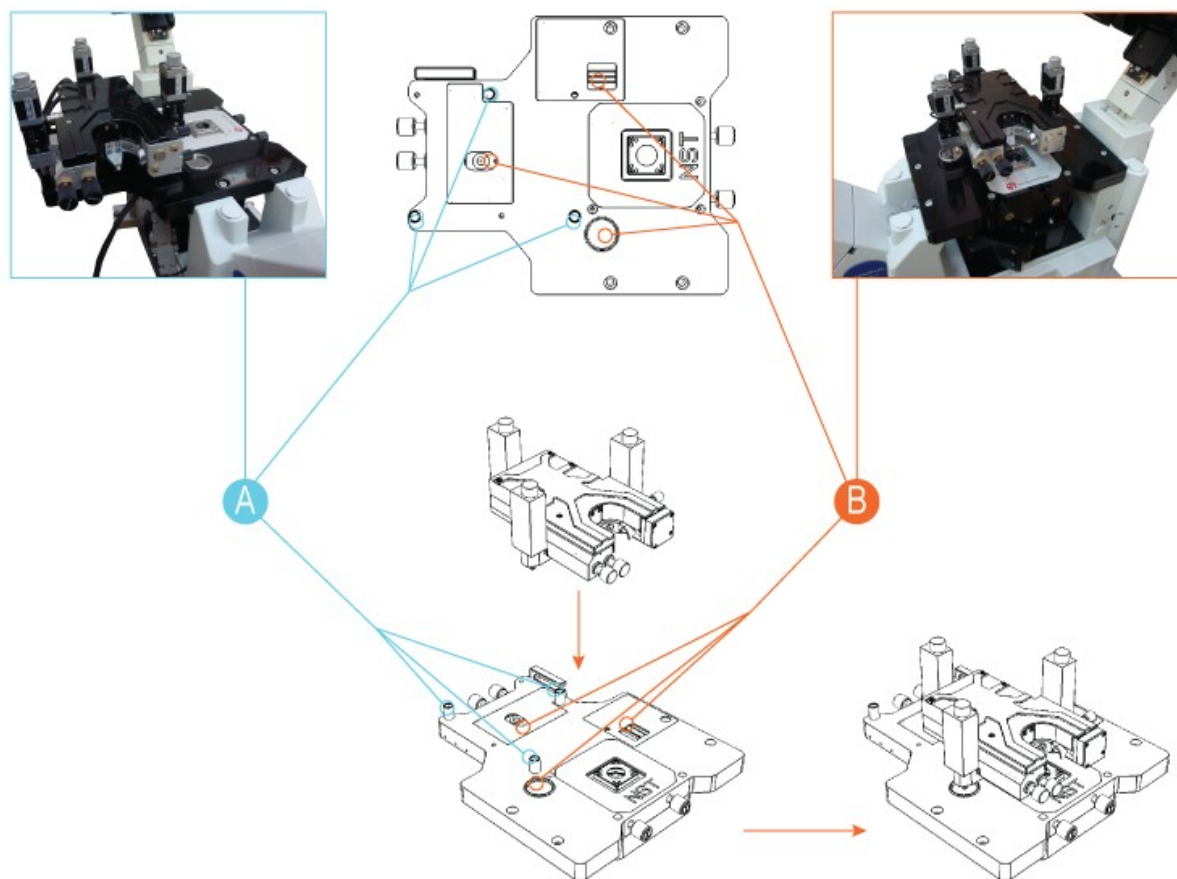


Рис. 3.14 Установка сканирующей головки Certus на прямой микроскоп.

Для сканирующей головки Certus на сканирующем основании предусмотрены специальные места для установки в двух положениях. Одно из положений предназначено для работы СЗМ и совмещения методик оптической микроскопии с методиками сканирующей зондовой микроскопии. Другое положение предназначено для установки СЗМ Certus в нерабочее положение для работы исключительно с методиками оптической микроскопии.



- | | |
|---|---|
| A | Установка сканирующей головки Certus в нерабочее положение. |
| B | Установка сканирующей головки Certus в рабочее положение. |

Рис. 3.15 Установка сканирующей головки Certus на сканирующее основание.

После установки всех устройств составляющих комплекс Certus Optic необходимо подключить СЗМ модуль комплекса к СЗМ контроллеру.

3.7. Установка объектива на прямой микроскоп

После установки сканирующей головки на прямой микроскоп необходимо установить объектив.

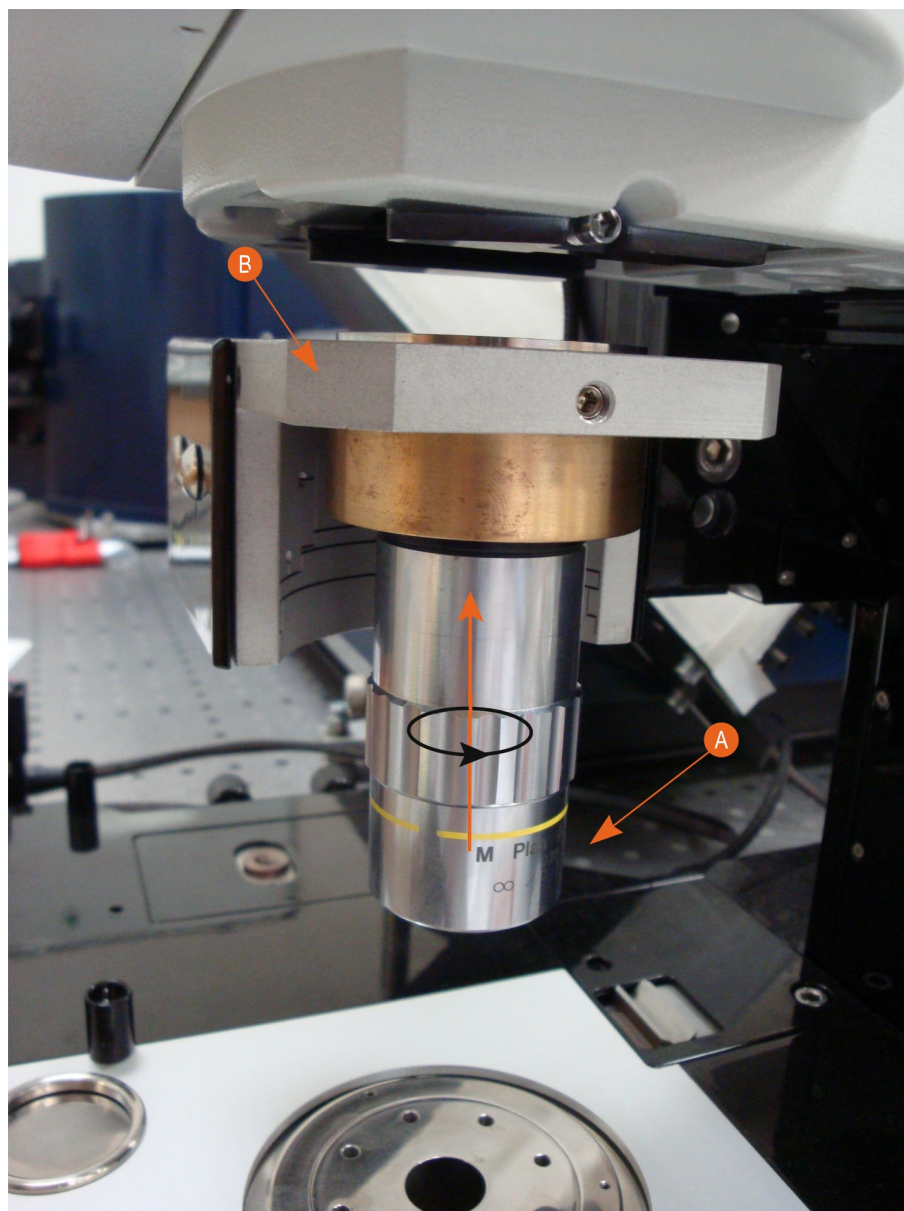


A	Проставка для объектива
B	Объектив

Рис. 3.16 Объектив с проставкой.

Объективы устанавливаются в подвижку для объективов через специальные проставки.

Для установки объектива с проставкой на подвижку для объективов необходимо объектив снизу вставить в подвижку для объективов и вращать против часовой стрелки до тех пор, пока разъемы проставки не попадут в разъемы держателя объектива. Далее необходимо вращать до упора. Операцию по установке объектива следует проводить аккуратно, так как и объектив и подвижка для объективов — хрупкие изделия.



A	Объектив.
B	Держатель для объективов.

Рис. 3.17 Установка объектива.

3.8. Подключение видеокамеры

На соответствующее место оптического микроскопа необходимо установить видеокамеру и подключить её по USB к компьютеру. Необходимые драйверы находятся в папке с программой NSpec в папке Drivers.

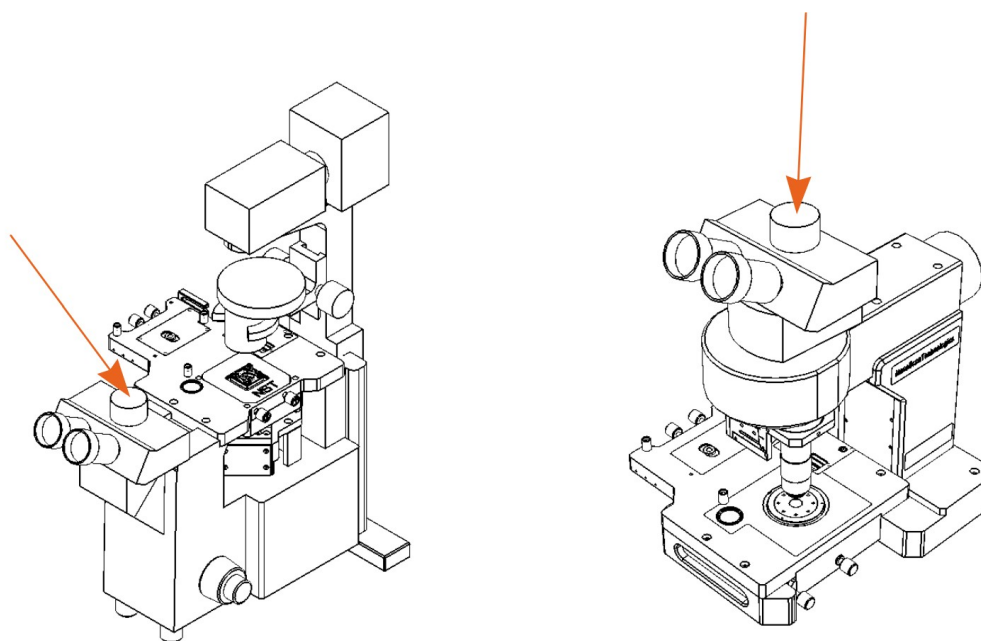


Рис. 3.18 Место установки камеры.

После установке и подключения камеры необходимо запустить камеру в программе NSpec.

Для перехода в модуль **Видео** необходимо нажать кнопку на панели задач  Видео, после этого кнопка примет вид  Видео и на экране отобразится общий вид модуля видео.

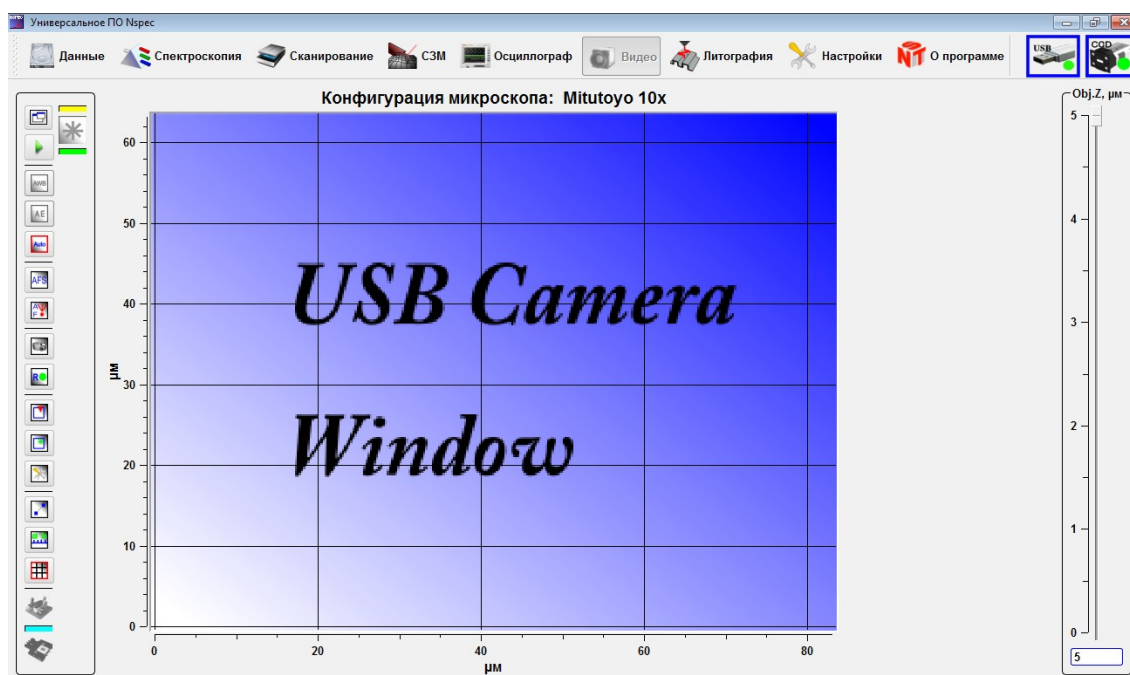


Рис. 3.19 Общий вид модуля Видео.

		Вкл/Выкл.	Кнопка для включения/выключения режима отображения с CCD камеры микроскопа.
		Автоматический баланс белого	При нажатии на эту кнопку включается автоматический баланс белого. Отключение данной функции — повторное нажатие на кнопку
		Автоматическая экспозиция	При нажатии на эту кнопку включается автоматическая экспозиция. Отключение данной функции — повторное нажатие на кнопку
		Автоматическая настройка	Автоматический режим баланса белого и экспозиции. При нажатии этой кнопки баланс белого и экспозиция настраиваются автоматически.

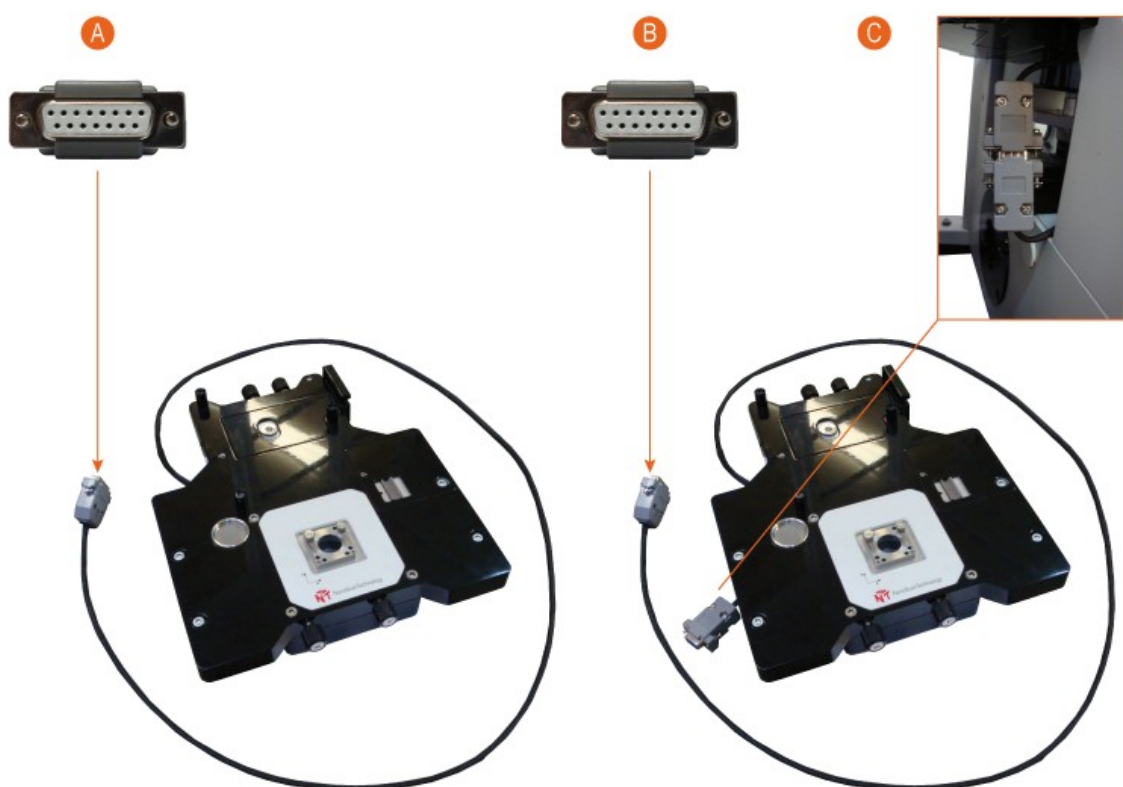
После нажатия на кнопку запустится снятие изображения с камеры.

3.9. Подключение к контроллеру

3.9.1. Разъемы для подключения к контроллеру

Порядок и способ подключения к контроллеру зависит от комплекта поставки.

Возможны два варианта подключения. В первом случае для управления Z-подвижкой используется контроллер EG-1000, остальные устройства подключаются к контроллеру EG-3000. Во втором случае все устройства подключаются к контроллеру EG-3000.



A	Общий вид сканирующего основания без подключения Z-подвижки (EG-3000 + EG-1000).
B	Общий вид сканирующего основания с подключением Z-подвижки (EG-3000).
C	Общий вид подключения Z-подвижки через дополнительный разъем на сканирующем основании

Рис. 3.20 Кабели подключения сканирующего основания и Z-подвижки к контроллеру.

3.9.2. Схемы подключения к контроллеру

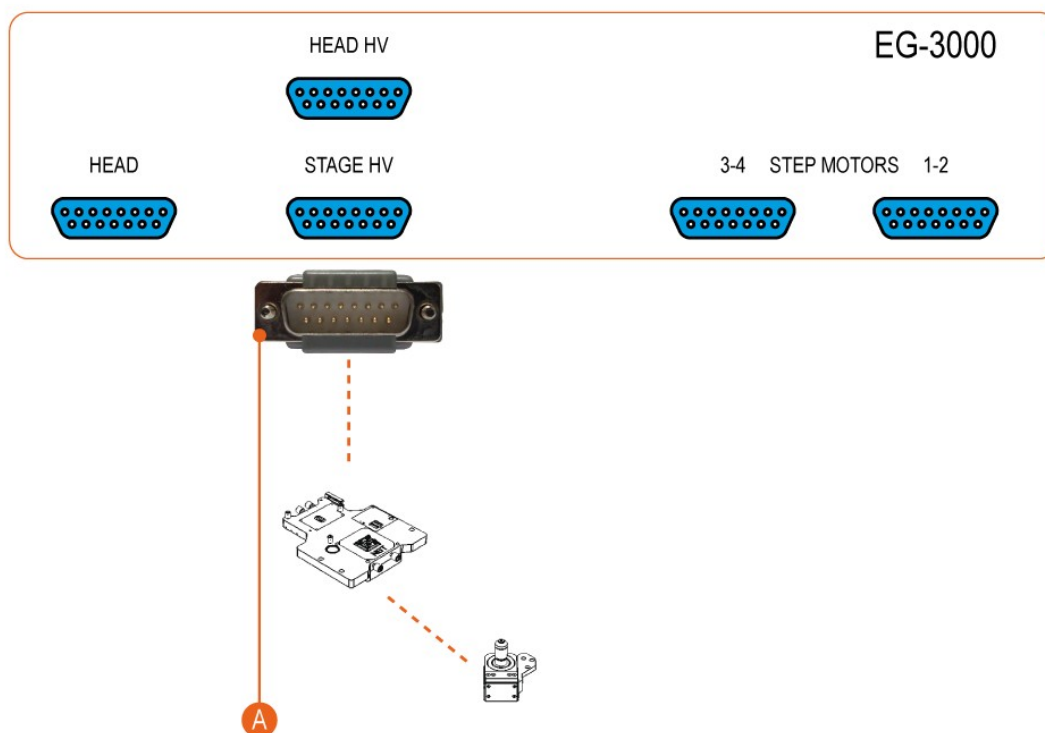
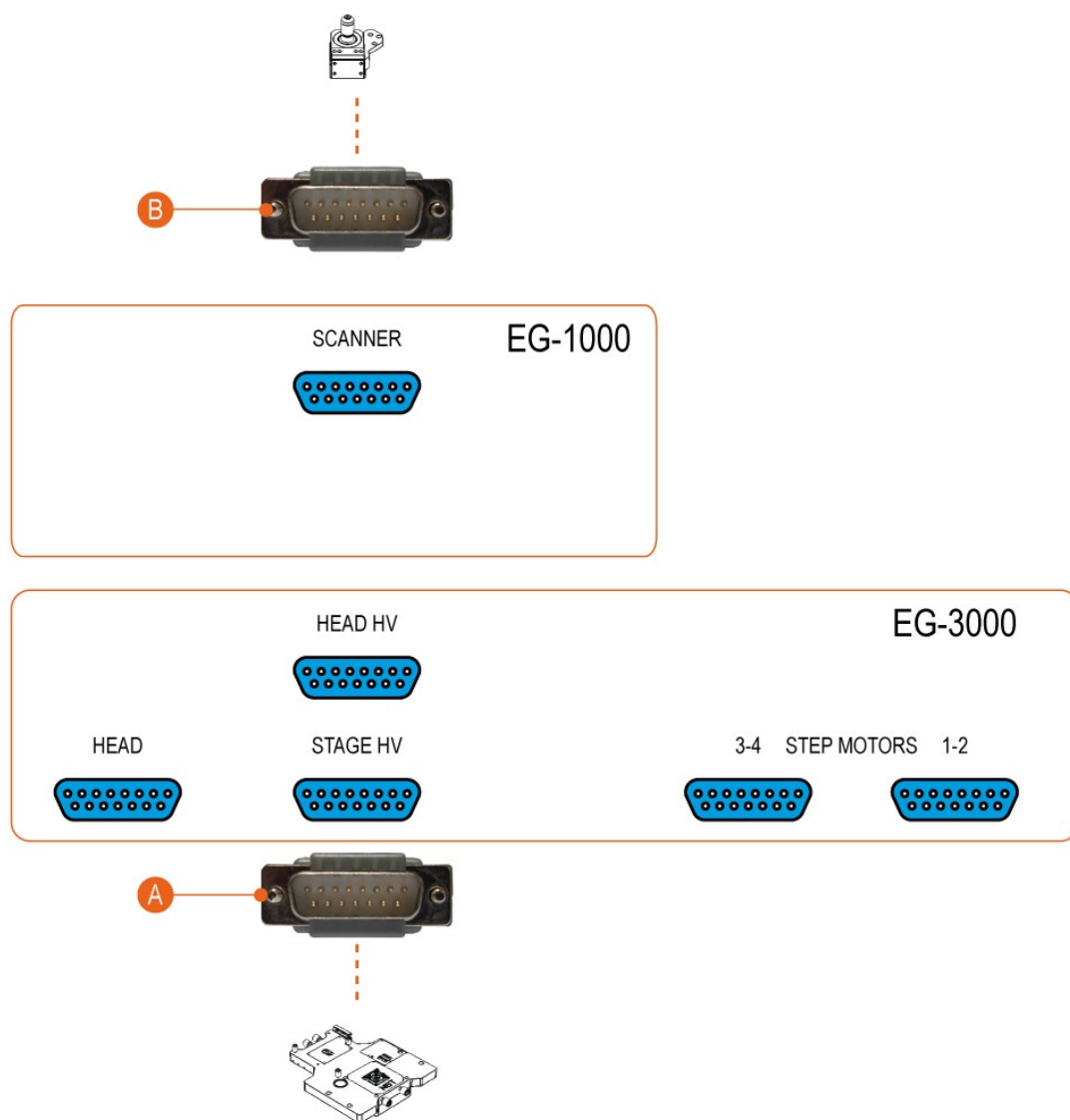
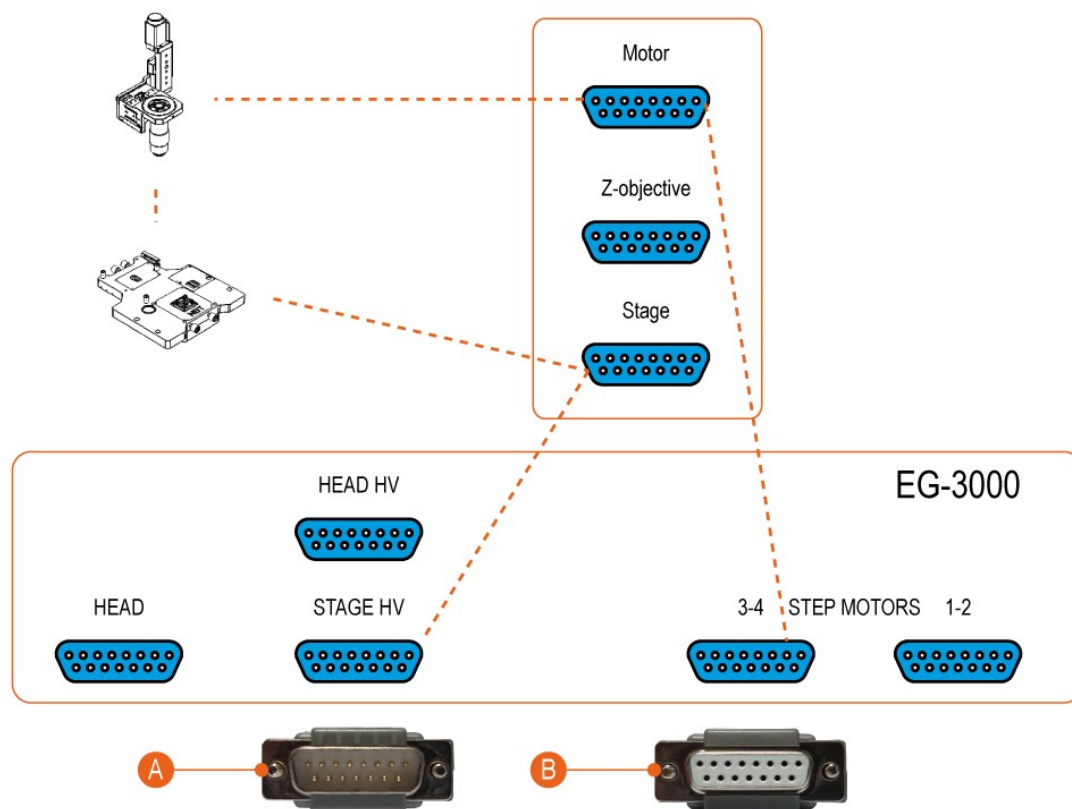


Рис. 3.21 Схема подключение к контроллеру EG-3000 в случае инвертированного микроскопа.



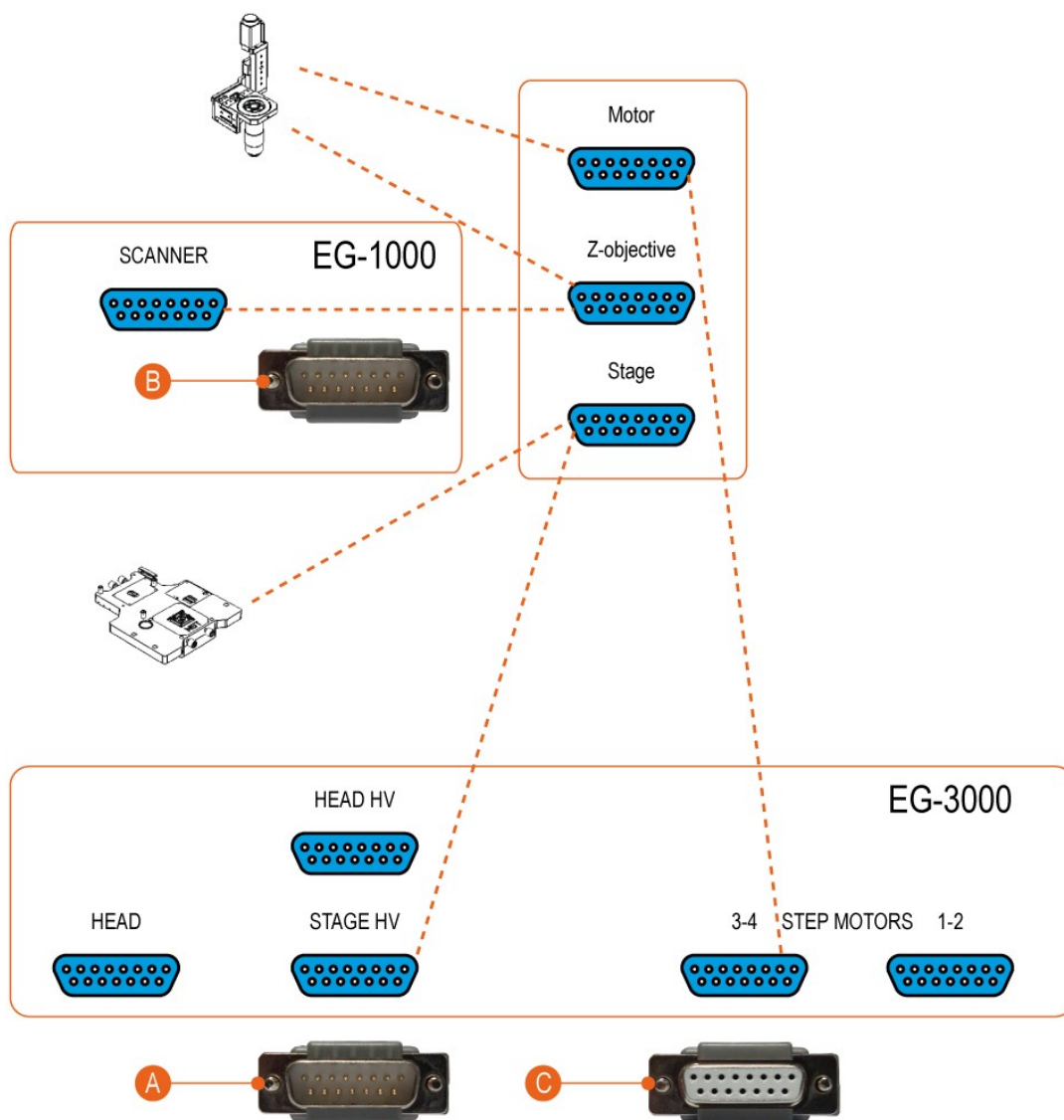
- | | |
|---|-------------------------------|
| A | Разъем сканирующего основания |
| B | Разъем Z-подвижки (EG-3000). |

Рис. 3.22 Схема подключение к контроллерам EG-3000 и EG-1000 в случае инвертированного микроскопа.



- | | |
|---|--|
| A | Разъем сканирующего основания |
| B | Разъем механической Z-подвижки. Подключается через переходник на кабеле сканирующей головки. |

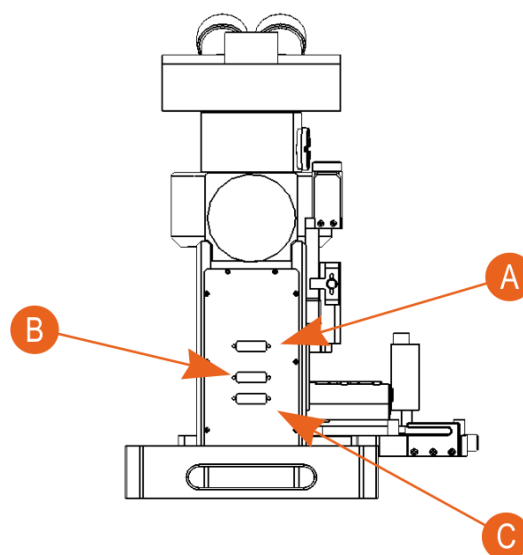
Рис. 3.23 Схема подключение к контроллеру EG-3000 в случае прямого микроскопа.



A	Разъем сканирующего основания
B	Разъем пьезо Z-подвижки.
C	Разъем механической Z-подвижки. Подключается через переходник на кабеле сканирующей головки.

Рис. 3.24 Схема подключение к контроллерам EG-3000 и EG-1000 в случае прямого микроскопа.

Разъемы для соединения инвертированного микроскопа с контроллером расположены на задней панели оптического микроскопа.



A	Motor
B	Z-objective
C	Stage

Рис. 3.25 Вид задней панели прямого микроскопа.

После подключения необходимых устройств к контроллеру необходимо установить джойстик для управления объективом.

3.10. Установка джойстика для управления объективом.

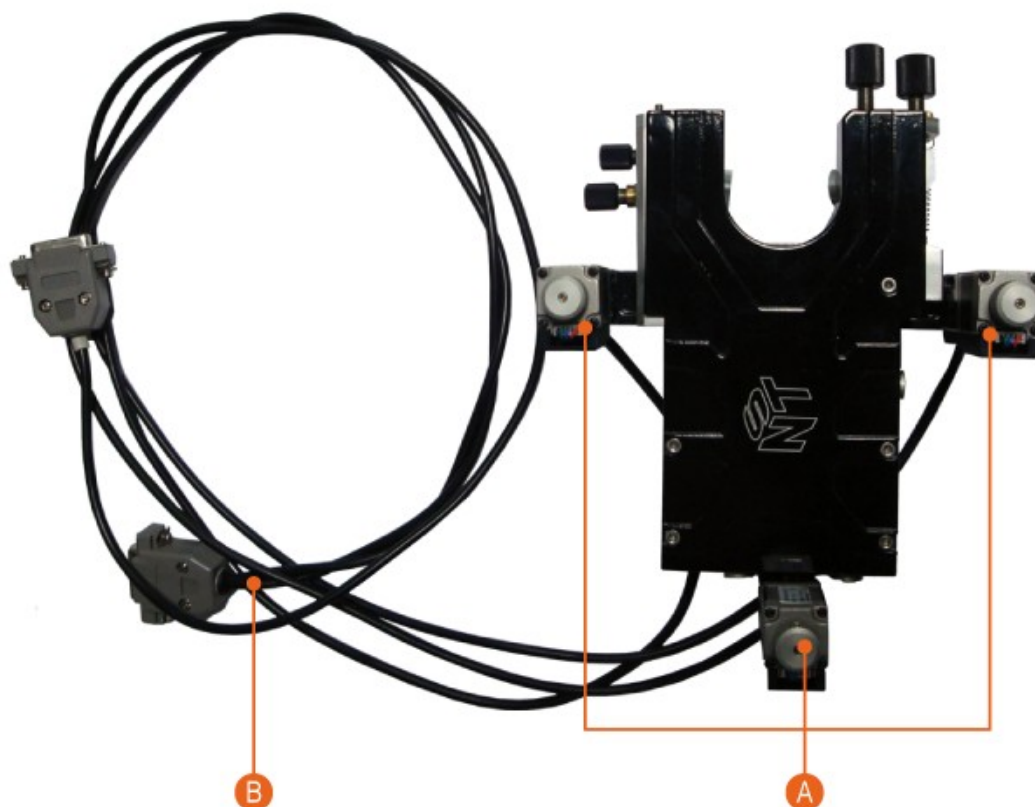
После установки и подключение контроллер необходимо подключить джойстик управления подвижками и моторами. Джойстик подключается к компьютеру по USB. Необходимые драйверы находятся в папке программы NSpec в папке Drivers.



Рис. 3.26 Общий вид джойстика.

3.11. Подключение СЗМ головки к контроллеру

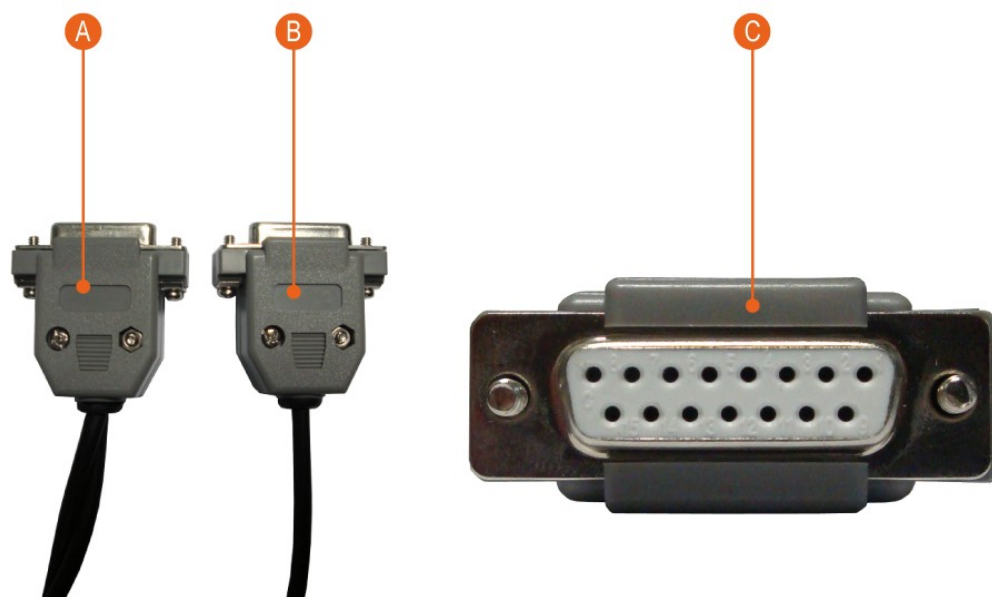
3.11.1. Разъёмы СЗМ головки Certus для подключения к контроллеру



- | | |
|---|---|
| А | Шаговые двигатели для подвода сканирующей зондовой головки к поверхности образца. |
| В | Кабели управления шаговыми моторами |

Рис. 3.27 Общий вид сканирующей головки Certus.

К головке подключены кабели управления шаговыми моторами.



- | | |
|---|--|
| A | Разъем кабеля на два боковых шаговых мотора. На один разъем идет два кабеля. |
| B | Разъем кабеля на задний шаговый мотор. На один разъем идет один кабель. |
| C | Внешний вид разъема кабелей управления шаговыми моторами. |

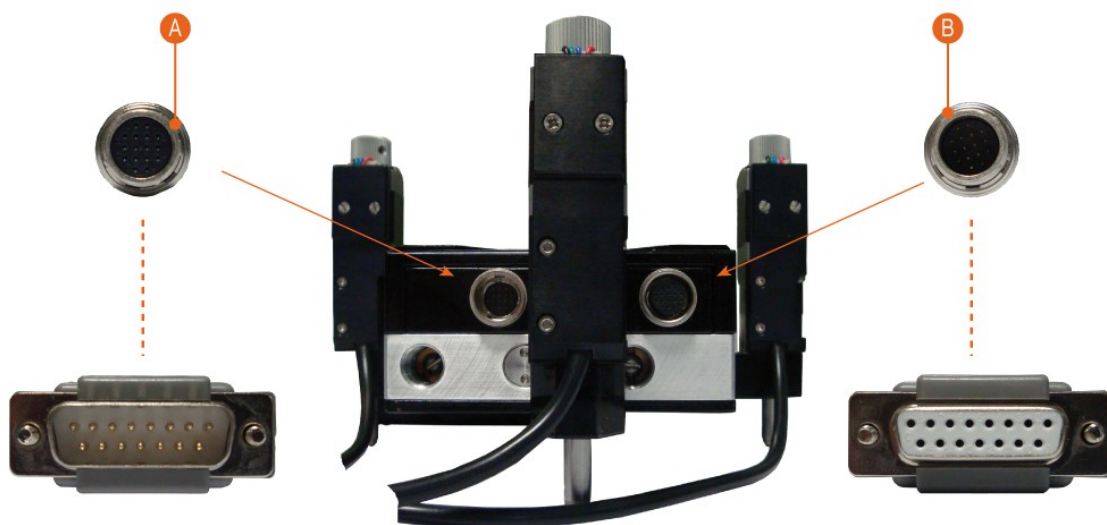
Рис. 3.28 Кабели управления шаговыми моторами.

Дополнительно, к СЗМ головке Certus необходимо подключить кабели для высоковольтных сигналов и цифрового интерфейса, аналоговых сигналов и питания.



Рис. 3.29 Общий вид кабеля, подключаемого к сканирующей головке.

Дополнительные кабели подключаются к разъемам с обратной стороны головки.



- | | |
|---|--|
| A | Аналоговые сигналы и питание. |
| B | Высоковольтные сигналы и цифровой интерфейс. |

Рис. 3.30 Схема подключения кабелей к разъёмам головки.

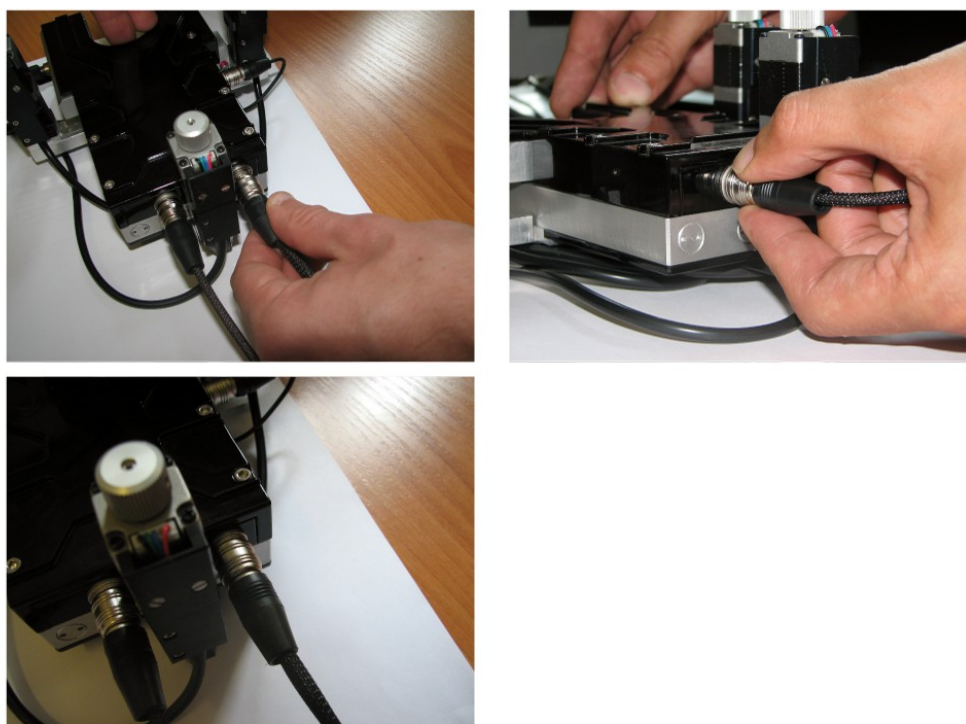


Рис. 3.31 Подключение разъемов и штекеров кабелей к сканирующей головке.

Штекеры кабелей сконструированы таким образом, что их можно подключить только в одном положении. Для этого необходимо соединить разъемы и штекеры и плавно вращая определить положение при котором можно замкнуть разъемы на головке и кабеле.

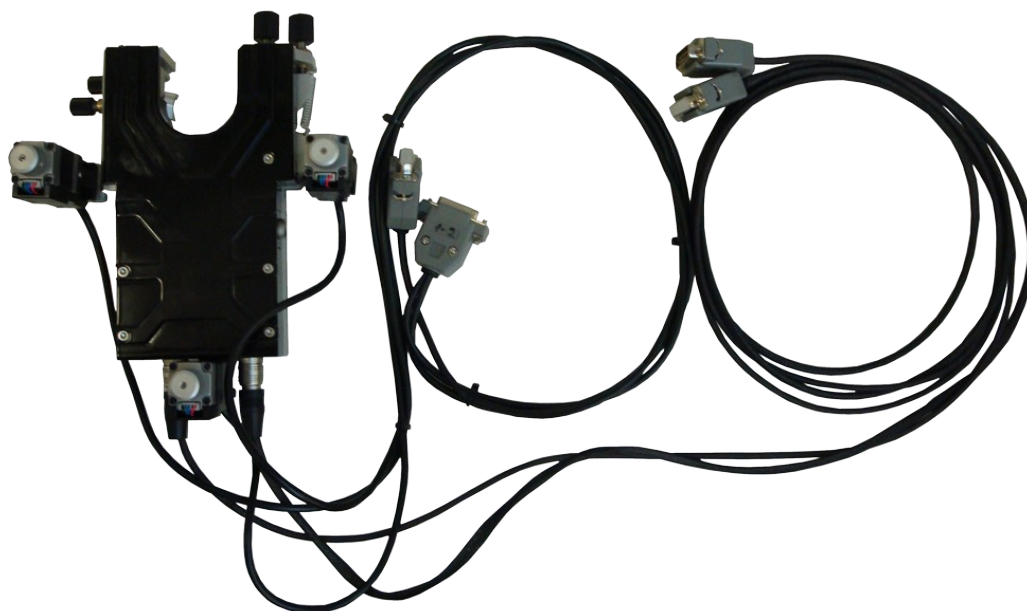


Рис. 3.32 Общий вид сканирующей головки со всеми кабелями.

На правой стороне головки расположен разъем для подключения держателя зондов.

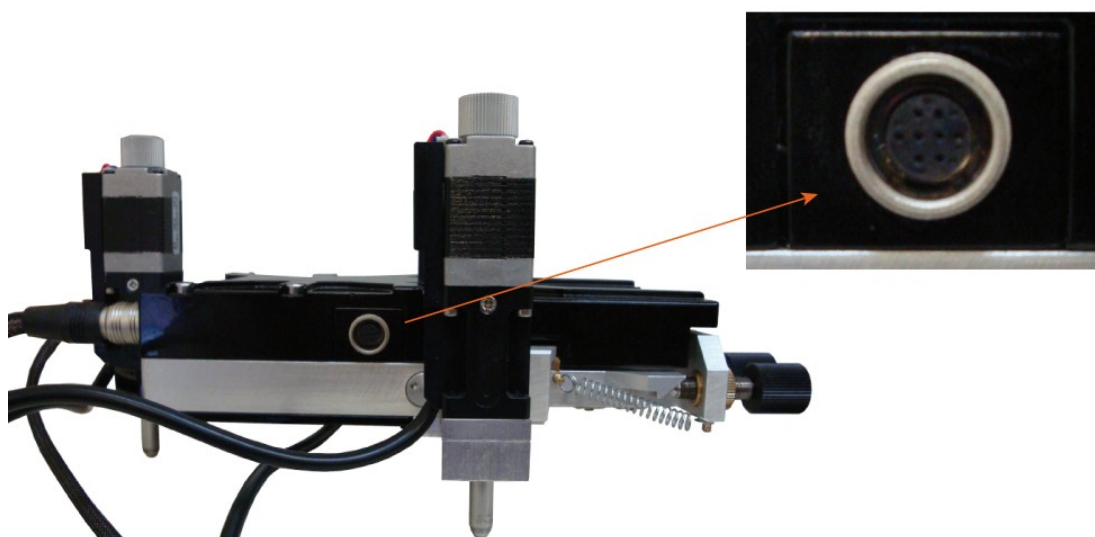


Рис. 3.33 Разъем для подключения держателя зондов.

Разъем на штекере держателя зондов подключается к разъему аналогичным образом.

3.11.2. Подключение СЗМ головки к контроллеру EG-3000

После подключения всех кабелей и установки держателя зондов необходимо подключить сканирующую головку Certus к СЗМ контроллеру серии EG-3000.



- | | |
|---|--|
| A | Высоковольтные сигналы и цифровой интерфейс. |
| B | Аналоговые сигналы и питание. |
| C | Подключение заднего шагового двигателя. |
| D | Подключение боковых шаговых двигателей. |

Рис. 3.34 Соответствие разъемов СЗМ головки Certus и СЗМ контроллера EG-3000.



3.12. Подключение к компьютеру

К компьютеру по USB необходимо подключить:

- Контроллер;
- Видеокамеру.

3.13. Установка и запуск программного обеспечения NSpec

Перед началом работы с программой NSpec, архив, содержащий файлы программы, необходимо распаковать на локальный или съёмный диск компьютера.

Установка не требуется. Программа запускается непосредственно с помощью *.exe файла.

Для работы с программой достаточно запустить двойным нажатием левой кнопки мыши файл **nst.exe** или **NSpec_№.exe** в папке **Soft_Package_№**.

После запуска файла **nst.exe** или **NSpec_№.exe** начнётся запуск программы.

После выполнения вышеописанных действий на экран выводиться главное окно программы NSpec.

После вывода главного окна программы на экран можно приступить к работе с программой и подключенным оборудованием.

Подробное описание работы с программой NSpec дано руководстве пользователя программным обеспечением NSpec.

3.14. Порядок включения/выключения комплекса Certus Optic

3.14.1. Порядок включения

- подключить питание контроллера;
- запустить компьютер;
- запустить программное обеспечение NSpec;
- включить контроллер;
- проверить работоспособность системы.

В случае правильного подключения контроллера и СЗМ модуля в правом верхнем углу главного окна программы NSpec индикатор подключения контроллера СЗМ отобразиться как:



Показания индикаторов на передней панели СЗМ контроллера означают:

1	PWR	Индикатор включения контроллера
2	USB	Индикатор передачи данных по USB
3	FNC	Вспомогательный индикатор контроллера
4	RDY	Индикатор готовности контроллера к работе
5	SCN	Индикатор хода сканирования
6	FB	Сигнал обратной связи по Z

3.14.2. Включение СЗМ контроллеров

Для включения СЗМ контроллеров необходимо нажать кнопки включения.

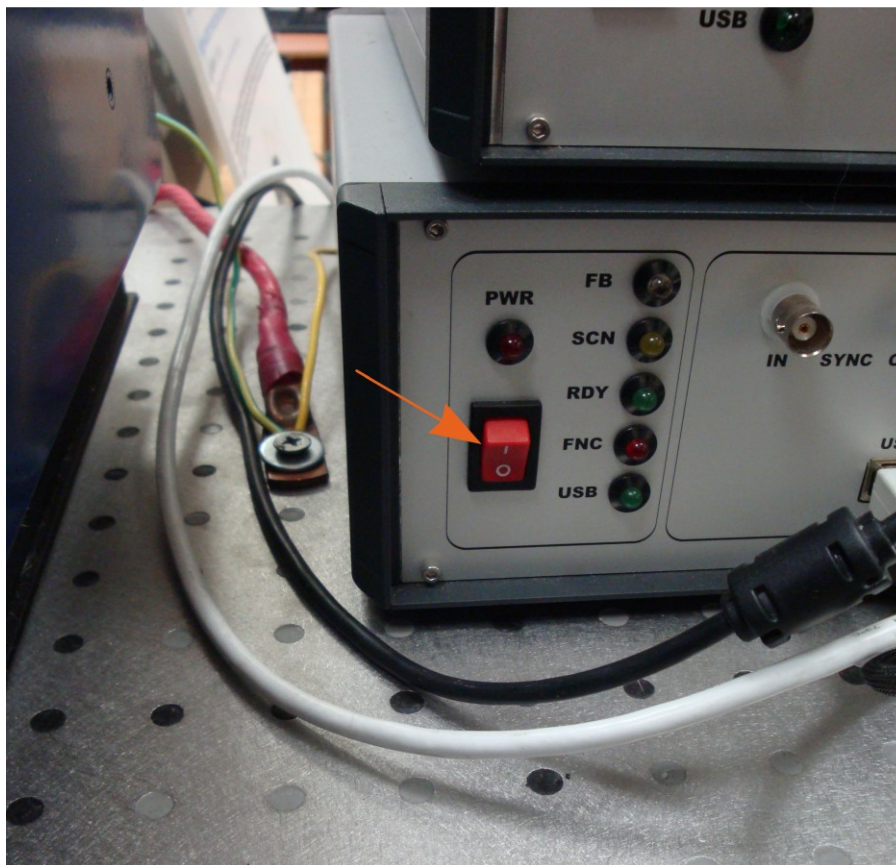


Рис. 3.35 Включение контроллера EG-3000.

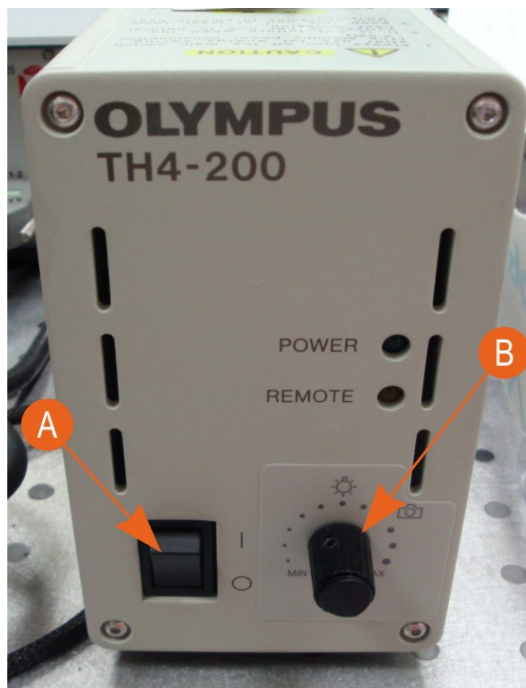


Рис. 3.36 Включение контроллера EG-1000.

Описание сигналов контроллеров дано в руководстве пользователя контроллерами EG.

3.14.3. Включение подсветки микроскопа

Для включения подсветки микроскопа необходимо на блоке питания микроскопа включить кнопку питания и отрегулировать мощность подсветки



A	Кнопка включения подсветки.
B	Рукоятка регулировки мощности

Рис. 3.37 Включение подсветки.

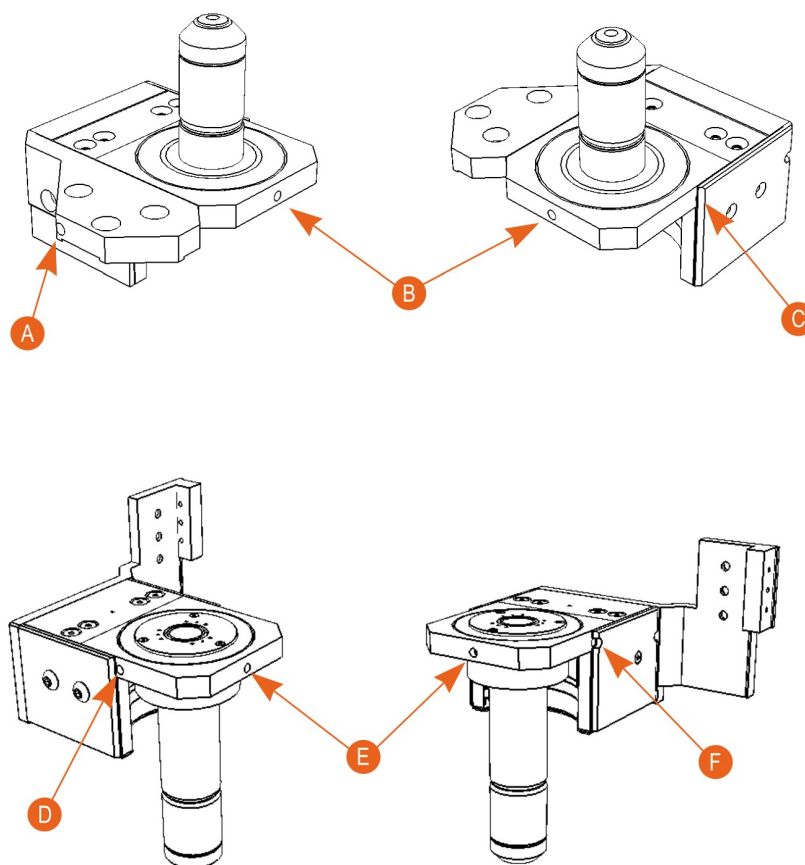
3.14.4. Порядок отключения

- остановить сканирование;
- сохранить при необходимости полученные данные;
- отвести головку сканирующего зондового микроскопа Certus от поверхности, чтобы избежать повреждения зондов;
- закрыть программное обеспечение NSpec;
- выключить контроллер.

3.14.5. Центрирование объектива

Для центрирования объектива необходимо воспользоваться винтами позиционирования объектива установленными на подвижке объектива.

Регулируя этими винтами положения объектива необходимо добиться совпадения центров поля зрения объектива с полем зрения видеокамеры по оптическому изображению.



- | | |
|---|--|
| A | Винт позиционирования объектива (инвертированный микроскоп). |
| B | Винт позиционирования объектива (инвертированный микроскоп). |
| C | Винт позиционирования объектива (инвертированный микроскоп). |
| D | Винт позиционирования объектива (прямой микроскоп). |
| E | Винт позиционирования объектива (прямой микроскоп). |
| F | Винт позиционирования объектива (прямой микроскоп). |

Рис. 3.38 Винты позиционирования объектива.

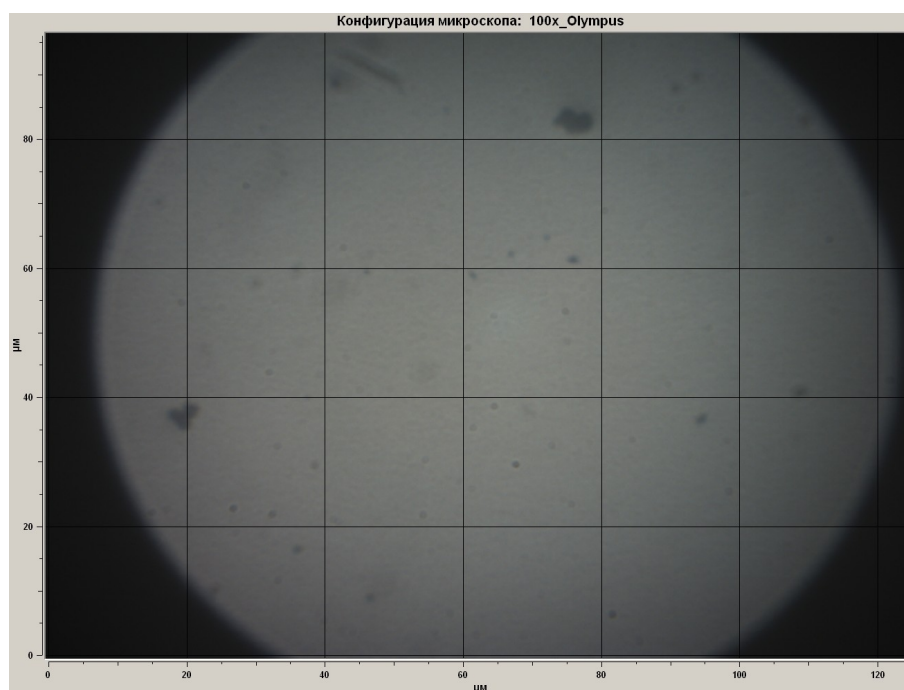


Рис. 3.39 Поле зрения объектива.



4. Работа с комплексом Certus Optic

Для начала работы необходимо включить комплекс Certus Optic.

В данном разделе описана работа с комплексом Certus Optic в режиме атомно-силового микроскопа. Полу-контактный режим сканирования. Для других методик работы смотрите дополнения к руководству пользователя. Перед прочтением данного раздела рекомендуем ознакомиться с руководством пользователя программным обеспечением NSpec.

4.1. Перечень базовых режимов работы

Можно выделить следующие основные режимы:

Обозначение	Описание
	Методики сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ методики)
	Методики оптической микроскопии
	Совмещенные методики работы

Полный перечень основных режимов:

			
СЗМ методики — сканирование зондом	+	+	-
СЗМ методики — сканирование основанием	+	+	-
Позиционирование (использование сканирующего основания для позиционного позиционирования образцов)	+	+	+/-*
Методики оптической микроскопии	-	+	+

* Сканирующее основание используется только для позиционирования образцов



4.2. Общий перечень операций для различных методик

К общим операциям для различных методик относятся:

- Грубое позиционирование образцов;
- Грубый подвод объектива к поверхности;
- Точная фокусировка;
- Настройки СЗМ головки;
- Подвод СЗМ головки к поверхности;
- Грубое позиционирование СЗМ головки;
- Точное позиционирование образцов/зондов.

4.3. Грубое позиционирование образцов

Для грубого позиционирования образца в сканирующее основание встроена двухкоординатная подвижка с диапазоном 5x5 мм. С помощью винтов, находящихся на лицевой стороне сканирующего основания можно перемещать образец в плоскости XY.

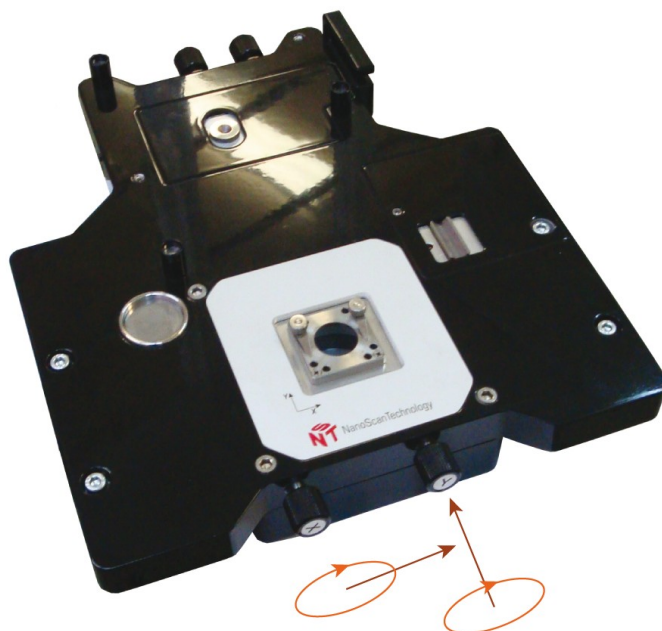


Рис. 4.1 Винты для позиционирования образца в плоскости XY.

4.4. Инструмент управления джойстик

Для управления подводом используется инструмент джойстик.



A	Кнопка перехода в режим управления механической подвижкой объектива.
B	Кнопка перехода в режим управления пьезоподвижкой объектива.
C	Кнопка перехода в режим управления шаговыми моторами СЗМ головки.
D	Кнопка перехода в режим управления правым мотором СЗМ головки.
E	Кнопка перехода в режим управления левым мотором СЗМ головки.
F	Кнопка перехода в режим управления задним мотором СЗМ головки.
G	Колесо для быстрого движения моторов.
H	Колесо для пошагового движения моторов.
I	Включить обратную связь.
J	Выключить обратную связь
K	Плавный подвод.

Рис. 4.2 Описание джойстика.

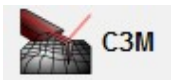
Для управления движением моторов и пьезоподвижки используется инструмент управления джойстик. Этот инструмент служит для управления шаговыми моторами сканирующей головки, шаговым мотором механической подвижки для объектива, перемещением по оси Z пьезоподвижки объектива. Дополнительно на джойстике находятся кнопки включения и выключения обратной связи в СЗМ модуле и включение плавного подвода зонда к поверхности.

Для переключения режима работы джойстика необходимо нажать на соответствующую кнопку. Для задания направления и скорости движения используется колесо G. Чем больше закручивается колесо тем выше скорость движения шагового мотора. Для пошагового движения используется колесо H. При вращении колеса на один оборот шаговый мотор делает один шаг.

Джойстик используется для управления СЗМ головкой и пьезоподвижкой во всех модификациях комплекса Centaur, управления механической подвижкой в моделях комплекса на основе прямого микроскопа.

4.5. Управление подводом из программы NSpec.

Для управления шаговыми моторами из программного обеспечения необходимо перейти в окно **СЗМ**, где задаются параметры обратной связи, осуществляется управление шаговыми моторами, устанавливается режим сканирования и др.

Для перехода в окно **СЗМ** нажмите иконку , находящуюся на верхней панели окна программы Nspec.

Управление шаговыми моторами осуществляется из панели **Управления шаговыми моторами**.

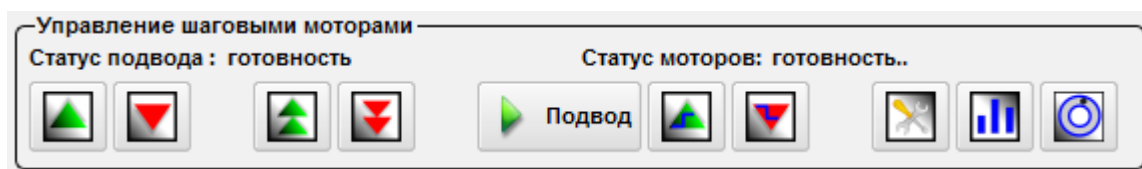


Рис. 4.3 Общий вид панели управления шаговыми моторами.

Данная панель инструментов используется для настройки параметров шаговых моторов, применяемых для подвода сканирующей головки к поверхности образца, последующего автоматического подвода зонда к образцу и управления подвижками объектива.

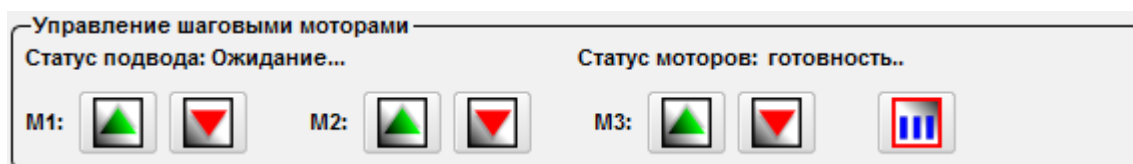


Рис. 4.4 Общий вид панели управления шаговыми моторами в режиме управления каждым шаговым мотором отдельно.

	Движение вверх	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вверх с заданной скоростью на заданное расстояние.
	Движение вниз	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вниз с заданной скоростью на заданное расстояние.
	Быстрое движение вверх до концевика	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вверх с заданной скоростью.
	Быстрое движение вниз до концевика	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вниз с заданной скоростью.
Подвод Подвод	Подвод	При нажатии на эту кнопку осуществляется автоматический подвод зонда к образцу.
	Шаг вверх	При нажатии на эту кнопку осуществляется сдвиг шаговых моторов на один шаг вверх.
	Шаг вниз	При нажатии на эту кнопку осуществляется сдвиг шаговых моторов на один шаг вниз.
	Настройки моторов	При нажатии на эту кнопку вызывается меню настройки параметров шаговых моторов.
	Индивидуальное управление каждым мотором	При нажатии на эту кнопку осуществляется переход в режим управления каждым шаговым мотором отдельно. Данная кнопка недоступна при выборе в качестве устройства Certus Light в меню настройки параметров шаговых моторов.
	Настройки джойстика	При нажатии на эту кнопку отображается окно настройки джойстика. Так же через это окно можно управлять джойстиком.

При нажатии на кнопку **Настройки джойстика**  вызывается окно управления джойстиком **Управл. Джойстик**.

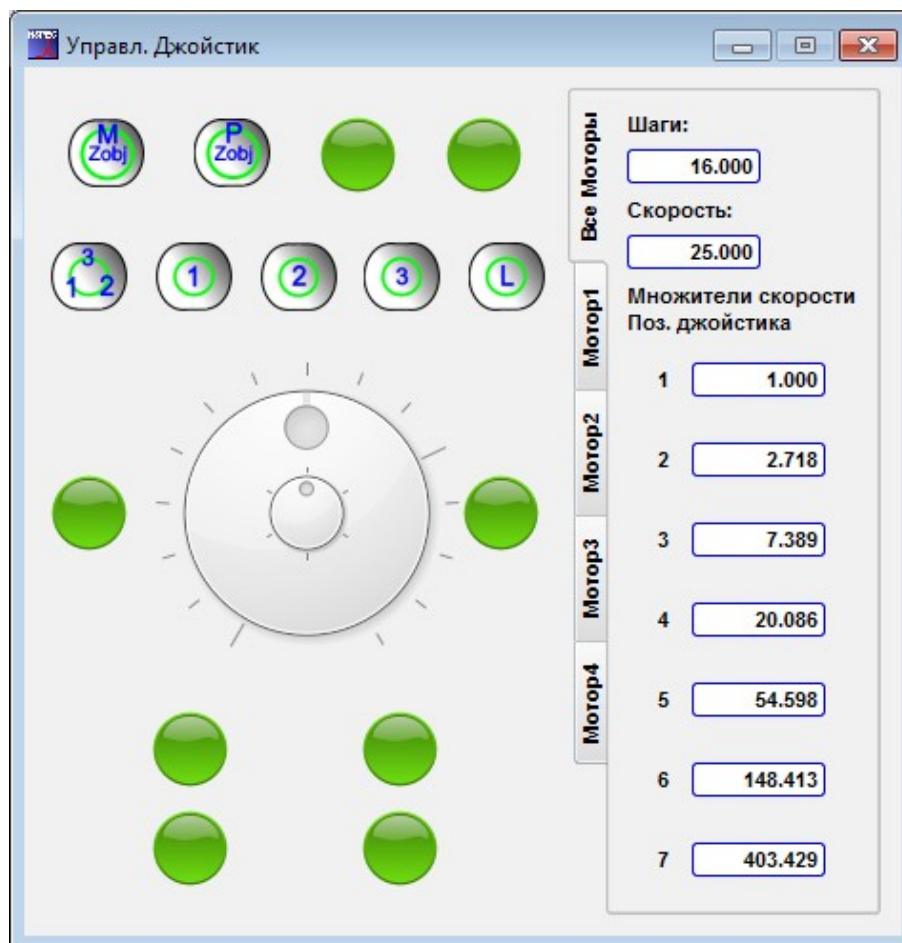


Рис. 4.5 Окно управления джойстиком.

		Управление механической Z-подвижкой	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение механической Z-подвижкой.
		Управление пьезо Z-подвижкой	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение пьезо Z-подвижкой.
		Управление 3-мя шаговыми моторами	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение 3-мя шаговыми моторами одновременно.
		Управление 1-м шаговым мотором	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение 1-м шаговым мотором.
		Управление 2-м шаговым мотором	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение 2-м шаговым мотором.
		Управление 3-м шаговым мотором	При включении этой кнопки с джойстика управляется движение 3-м шаговым мотором.
		Включить подвод	Включение и выключение плавного подвода сканирующей головки к поверхности.
		Кнопки для других функций	Кнопки для управления другими устройствами и функциями. Например, обратной связью.

Вкладки **Все моторы** и **Мотор 1 ÷ Мотор 1** содержат настройки управления джойстиком. **Шаги** — число шагов на один оборот колеса для пошагового перемещения. **Скорость** — число шагов в секунду при повороте колеса для быстрого движения на первую позицию. **Множители скорости позиций джойстика** — множители на которые увеличивается скорость при установке колеса для быстрого перемещения на выбранную позицию.

Для управления из программы устройствами управляемыми джойстиком необходимо навести курсор на колесо управления (показано на рисунках ниже) и переместить в нужную позицию. Для остановки движения колесо управления необходимо вернуть в прежнее положение.

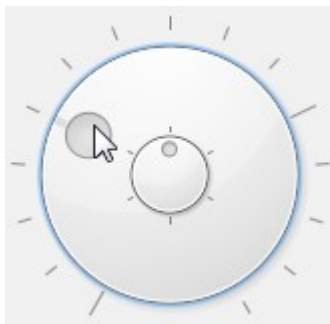


Рис. 4.6 Колесо для быстрого движения.

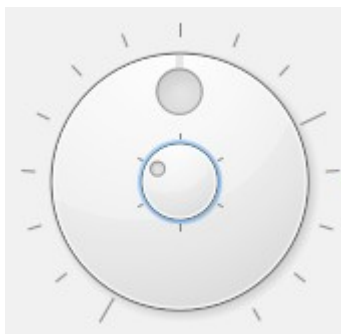


Рис. 4.7 Колесо для пошагового движения

Более подробно описание управление шаговыми моторами дано в руководстве пользователя программным обеспечением NSpec в разделах 5.3-5.4.

4.6. Управление подводом объектива в ручном режиме

Для подвода объектива к поверхности в ручном режиме на прямом микроскопе необходимо использовать механическую подвижку.

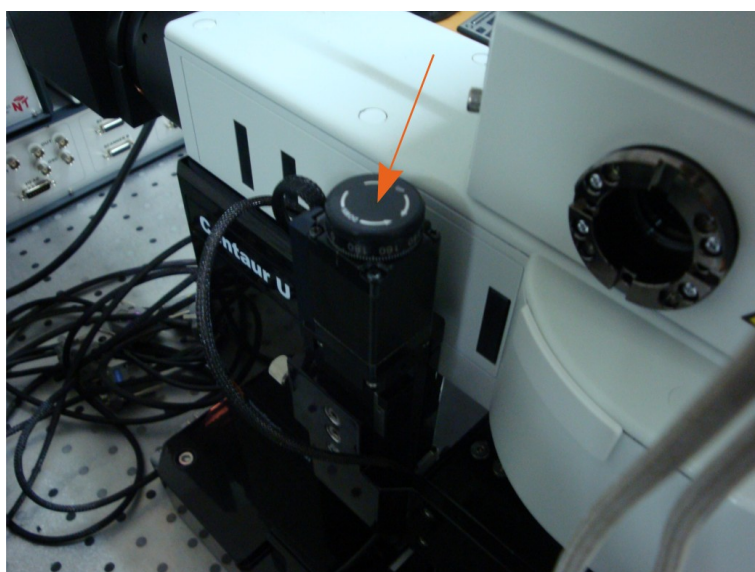
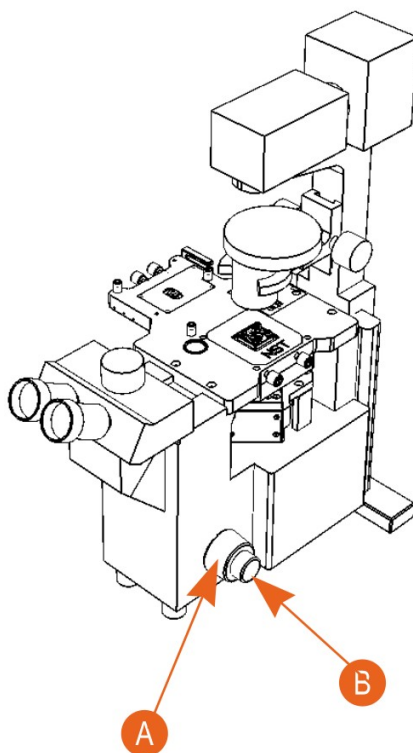


Рис. 4.8 Механическая подвижка

Грубый подвод на инвертированном микроскопе осуществляется только в ручном режиме. Для этого используются рукоятки позиционирования объектива.



A	Рукоятка грубого перемещения объектива.
B	Рукоятка точного перемещения объектива.

Рис. 4.9 Рукоятки позиционирования объектива на инвертированном микроскопе.

4.7. Последовательность грубого подвода объектива к поверхности

4.7.1. Грубый подвод к поверхности в моделях на основе прямого микроскопа

Для грубого подвода объектива к поверхности необходимо на джойстике нажать кнопку перехода в режим управления механической подвижкой объектива А (рис. 4.2) или в программе NSpec запустить настройки джойстика  и нажать кнопку . Далее вращая колесо G (рис. 4.2) подвести объектив к поверхности на 1-2 рабочих расстояния объектива. В программе NSpec для аналогичной операции необходимо переместить курсор на колесо (рис. 4.6) и зажав левую кнопку мыши управлять движением подвижки.



4.7.2. Грубый подвод к поверхности в моделях на основе инвертированного микроскопа

В моделях без механической подвижки объектива подвод осуществляется рукоятками движения объектива А и В (рис. 4.9). Первоначально необходимо использовать рукоятку для грубого перемещения, затем для точного перемещения объектива.

4.8. Точная фокусировка

4.8.1. Точная фокусировка джойстиком

Для точной фокусировки джойстик используется во всех моделях. Для точной фокусировки джойстиком необходимо нажать кнопку В (рис. 4.2) для перехода в режим управления пьезоподвижкой для объективов и, используя колесики джойстика, добиться фокусировки на поверхности.

В программе NSpec данная функция дублирована через кнопку  в настройках джойстика . Управление осуществляется колесом управления в программе по аналогии с настоящим джойстиком.

4.8.2. Точная фокусировка слайдером

Другой способ точной фокусировки подразумевает использования слайдера Объектив Z, μm (Об. Z, μm) в модулях **Спектроскопия** и **Видео**. Фокусировки нужно добиться перемещая ползунок слайдера.

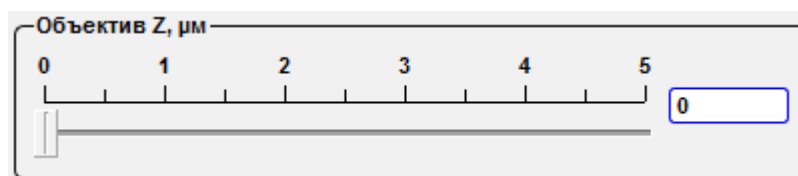


Рис. 4.10 Слайдер управления положением объектива по Z.

4.9. Контроль фокусировки по видеоизображению

Для контроля фокусировки по видеоизображению необходимо включить подсветку микроскопа. Запустить в программе NSpec модуль **Видео**.

Для перехода в модуль **Видео** необходимо нажать кнопку на панели задач программы NSpec  **Видео**, после этого кнопка примет вид  **Видео** и на экране отобразится общий вид модуля видео.

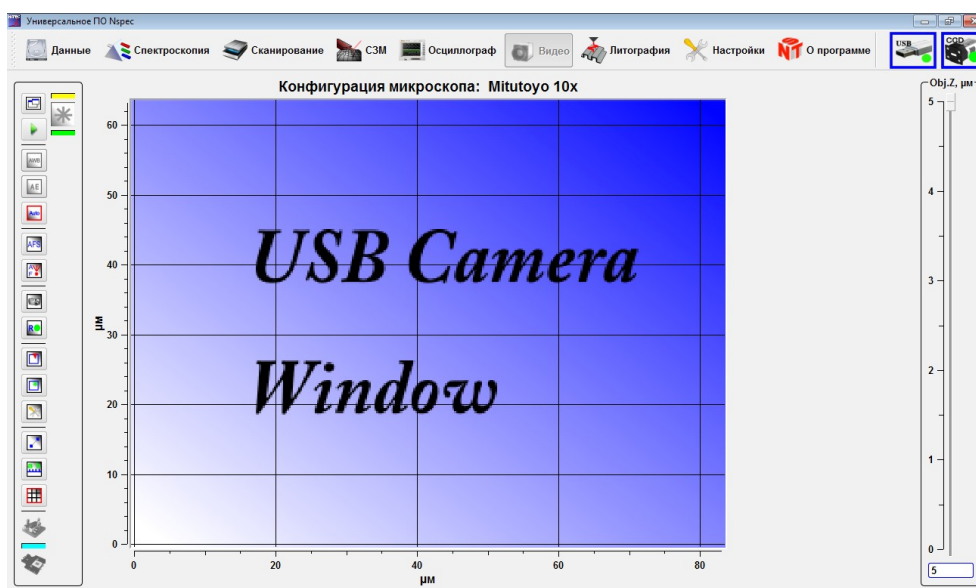


Рис. 4.11 Общий вид модуля Видео.

Необходимые функции:

		Вкл/Выкл.	Кнопка для включения/выключения режима отображения с CCD камеры микроскопа.
		Автоматический баланс белого	При нажатии на эту кнопку включается автоматический баланс белого. Отключение данной функции — повторное нажатие на кнопку
		Автоматическая экспозиция	При нажатии на эту кнопку включается автоматическая экспозиция. Отключение данной функции — повторное нажатие на кнопку
		Автоматическая настройка	Автоматический режим баланса белого и экспозиции. При нажатии этой кнопки баланс белого и экспозиция настраиваются автоматически.

Соответственно при фокусировке необходимо добиться четкого изображения в окне **Видео**.

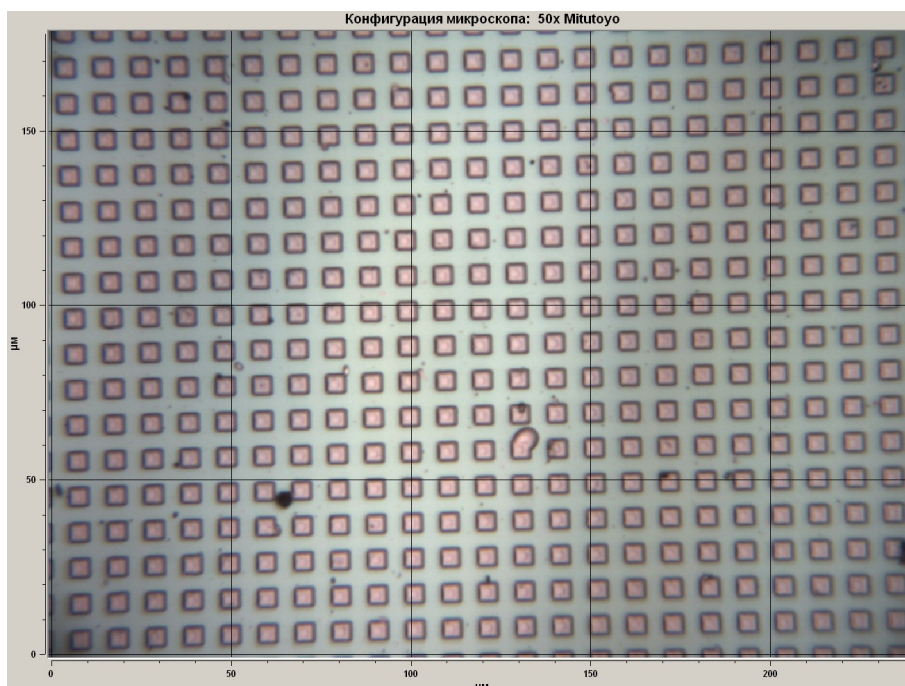


Рис. 4.12 Фокусировка на поверхности по видеоизображению.

4.10. Автоматическая фокусировка

Для автоматической фокусировки объектив должен быть подведен к поверхности приблизительно на его рабочее расстояние (поверхность должна быть видна на изображении).

Для запуска автоматической фокусировки необходимо в модуле **Видео** запустить функции автоматической фокусировки.

	Автофокусировка по изображению.	При нажатии на эту кнопку происходит автоматическое фокусирование объектива на поверхность или объекты на поверхности или в объеме. Положение объектива по оси Z управляется вертикальным слайдером Obj.Z.
--	---------------------------------	--

Автофокусировка может занять некоторое время.

При автофокусировке по изображению пьезоподвижка для объективов проходит весь рабочий диапазон и по контрасту выбирает фокус.

Изображение полученное с помощью автофокусировки по изображению может отличаться от фокуса найденного человеком, т. е. алгоритм работы данной функции не предусматривает выделение объектов узнаваемых человеком или привлекающих внимание человека.



4.11. Настройки СЗМ головки

Для настройки СЗМ головки необходимо выполнить ряд операций:

Настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков	Операция не является обязательной, есть автоматический и ручной режим настройки
Настройка ПИД регулятора	Операция не является обязательной, есть автоматический и ручной режим настройки
Установка зонда	Обязательная операция
Настройка регистрирующей системы	Обязательная операция
Настройка параметров обратной связи	Обязательная операция
Настройка задающего значения для обратной связи (Установ. значение)	Обязательная операция

4.11.1. Настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков

Каждый раз при включении СЗМ головки и запуске программного обеспечения NSpec происходит автоматическая настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков. Данная опция включается отключается в окне модуля **Настройки**, расположенном на панели базовых инструментов  **Настройки**, якорем **Автокалибровка ёмк. датчиков при старте**.

В том случае если автоматическую калибровку нужно провести повторно, или задается ручной режим, то необходимо в окне модуля **Осциллограф** необходимо нажать кнопку **Показать/скрыть окно для определения калибровок** . После нажатия в окне появятся инструменты для проведения калибровок.

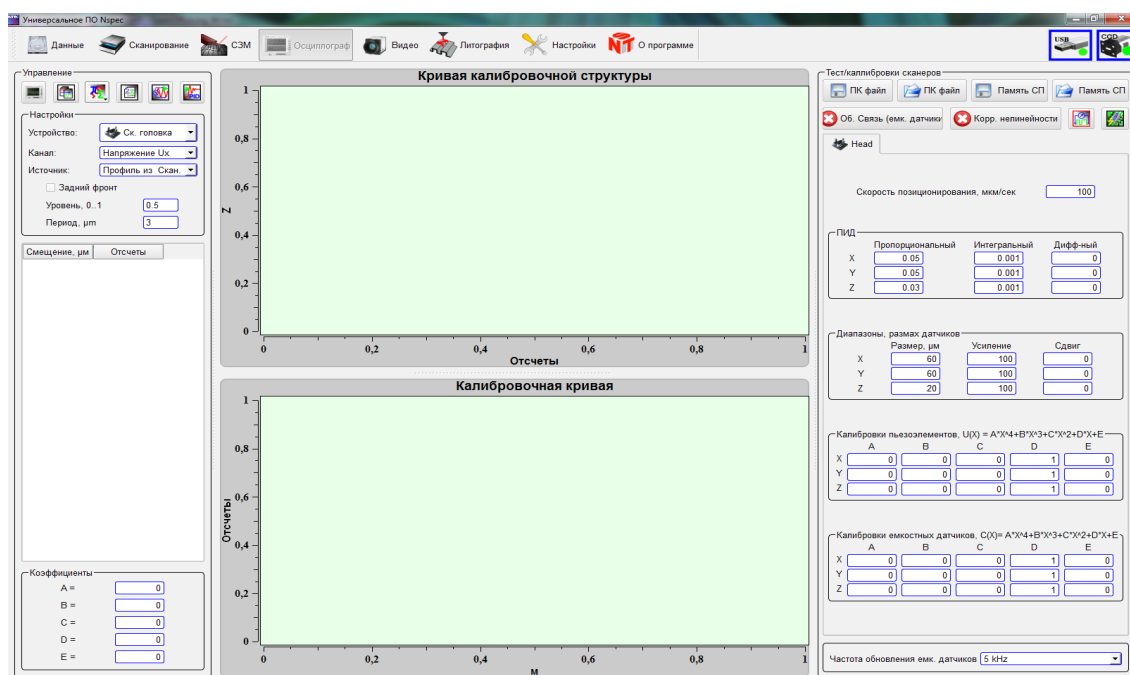


Рис. 4.13 Вид модуля Осциллограф при определении калибровок.

Для автоматической калибровки необходимо нажать кнопку  **Запуск ав-**
тонастройки размаха и смещения ёмкостных датчиков. После нажатия на эту
 кнопку запустится автоматическая настройка ёмкостных датчиков.

4.11.2. Настройка ПИД регулятора

Каждый раз при включении СЗМ головки и запуске программного обеспе-
 чения NSpec происходит автоматическая настройка ПИД регулятора. Данная опция
 включается отключается в окне модуля **Настройки**, расположенном на панели ба-
 зовых инструментов  **Настройки**, якорем **Автокалибровка ПИД регулятора**
сканеров.

В том случае если автоматическую калибровку нужно провести повтор-
 но, или задается ручной режим, то необходимо в окне модуля Осциллограф
 необходимо нажать кнопку **Показать/скрыть окно для определения калибро-**
вок .

После нажатия в окне появятся инструменты для проведения калибро-
 вок. Для автоматической калибровки необходимо нажать кнопку  **Автона-**
стройка ПИД регулятора. После нажатия на эту кнопку запустится автоматиче-
 ская настройка ПИД регулятора сканирующей головки.

4.11.3. Установка зондов

Перед началом работы необходимо установить зонд в держатель зондов.



Рис. 4.14 Держатель зондов.

Зонды или кантилеверы хранят либо в виде пластин от которых необходимо отламывать перед работой отдельные зонды, либо уже подготовленные для работы в специальных контейнерах. Обычно кантилеверы направлены балками в сторону крышки упаковки.

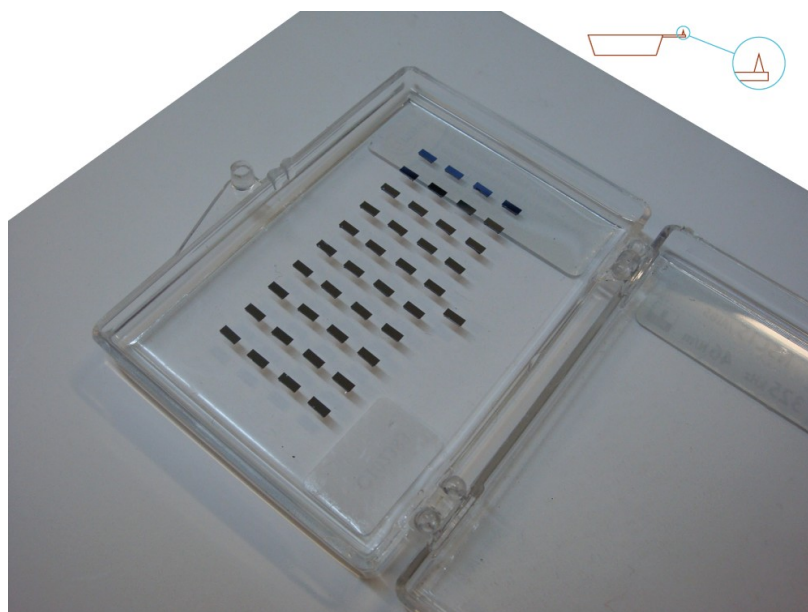


Рис. 4.15 Кантилеверы в гель-паке.

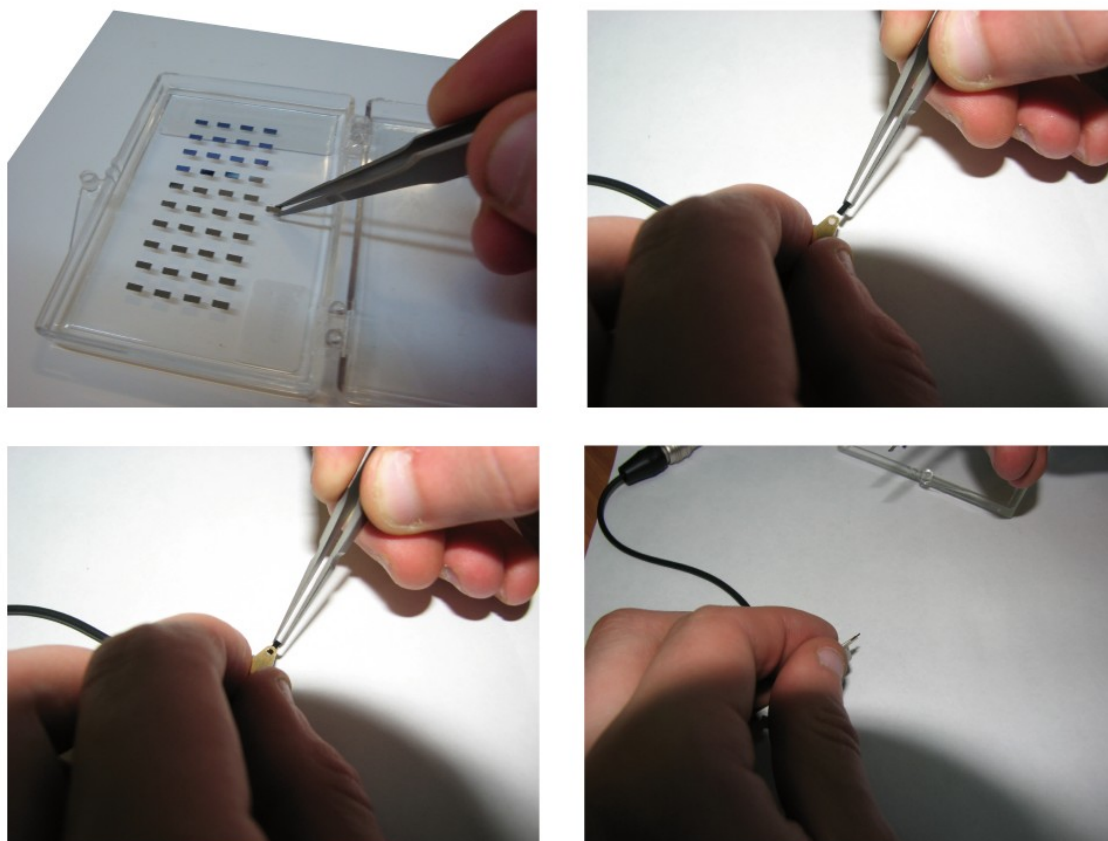
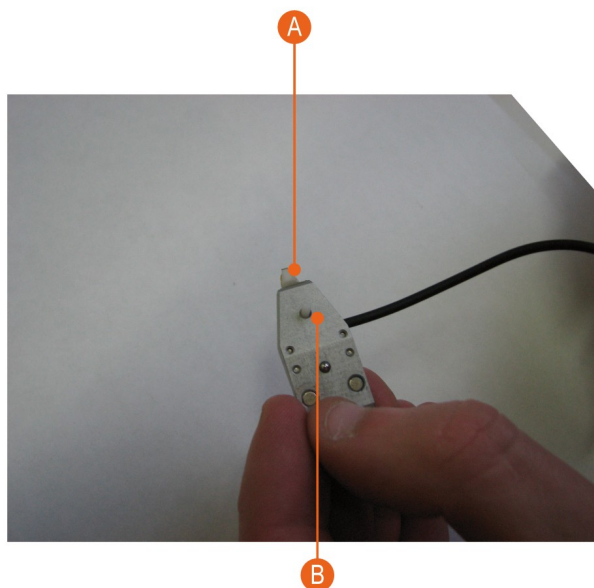


Рис. 4.16 Установка зондов в держатель зондов.

Для установки зонда в держатель зондов необходимо:

- пинцетом захватить зонд за боковые поверхности таким образом, чтобы балка с иглой была направлена в сторону руки;
- держатель зондов необходимо перевернуть и прижать к поверхности для раскрытия зажима так, чтобы нажатой оказалась кнопка на верхней стороне держателя зондов;
- установить зонд в держатель;
- отпустить держатель зонда для захвата зонда;
- установить держатель зондов в СЗМ головку.



A	Зонд.
B	Кнопка зажима зонда.

Рис. 4.17 Установка зондов в держатель зондов.

Далее для работы необходимо использовать руководство пользователя программой NSpec, раздел 5, СЗМ — настройка сканирующего зондового микроскопа.

4.11.4. Настройка регистрирующей системы

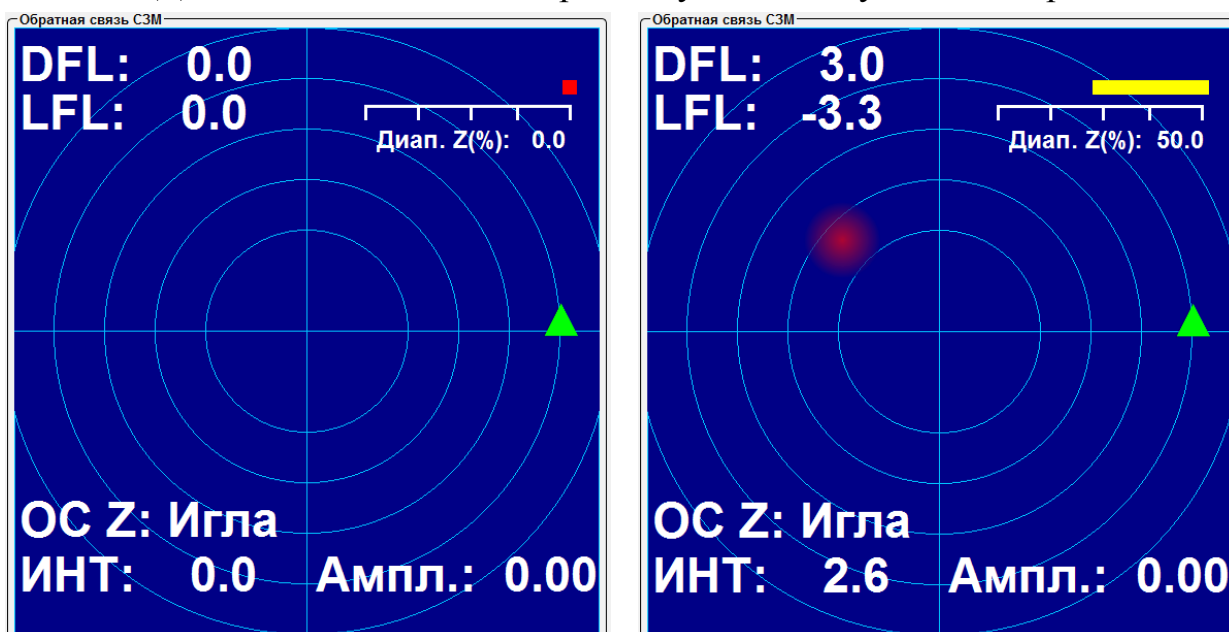
Первоначально необходимо настроить систему регистрации перемещения зонда. Для этого необходимо:

- Открыть окно модуля **СЗМ** в программе NSpec (руководство пользователя программой NSpec, раздел 5);
- Навести лазерный луч на балку зонда (атомно-силовая микроскопия);
- Добиться попадания отраженного лазерного луча в фотодиод;
- Провести настройку параметров колебаний кантилевера;
- Снять резонансную кривую зонда.

4.11.5. Наведение лазерного луча на балку кантилевера

Для наведения лазерного луча на балку кантилевера необходимо:

- В программе NSpec открыть окно **СЗМ**;
- В дополнительном окне **СЗМ Обратная связь СЗМ** определить текущее состояние системы. Два случая состояния системы регистрации показаны ниже;
- Добиться попадания лазерного луча на балку кантилевера.

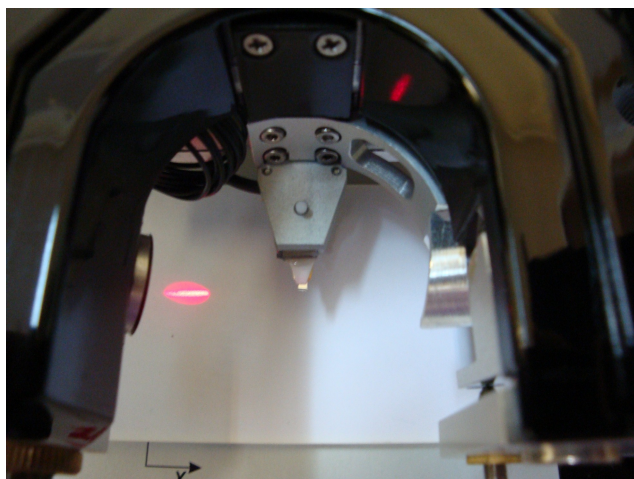


а)

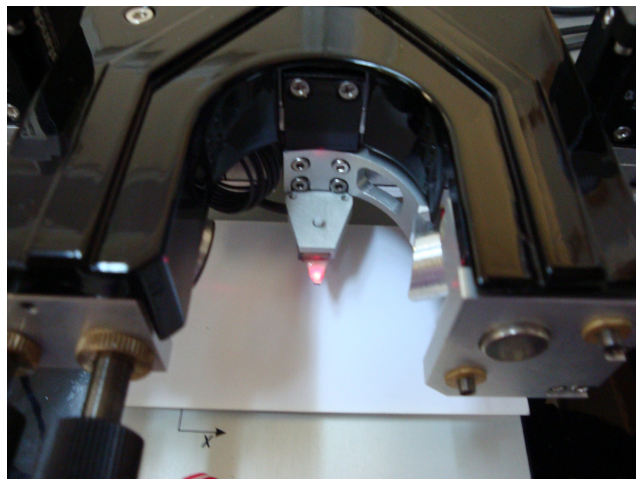
б)

Рис. 4.18 а) полностью настроенная система регистрации; б) частично настроенная система регистрации.

В случае полностью не настроенной системы регистрации возможно попадание лазерного луча как на поверхность мимо балки, так и попадание на держатель зондов.



а)



б)

Рис. 4.19 а) попадание мимо балки; б) попадание в держатель зондов.

В этом случае необходимо, используя винты позиционирования лазерного луча, добиться попадания лазерного луча на балку кантилевера.

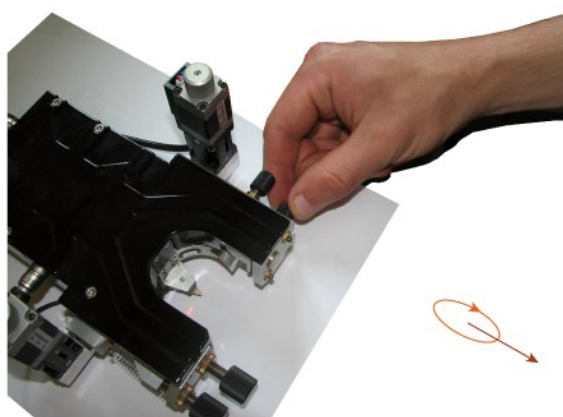
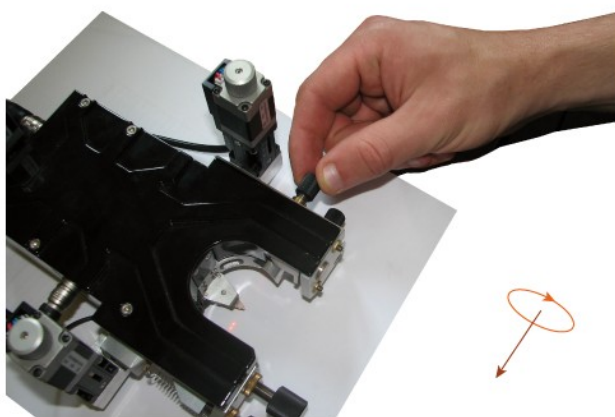


Рис. 4.20 Соответствие направления вращения и направления перемещения лазерного пятна.

В случае попадания на лазерного луча на балку кантилевера будет отчетливо видна дифракция лазерного луча на балке кантилевера.

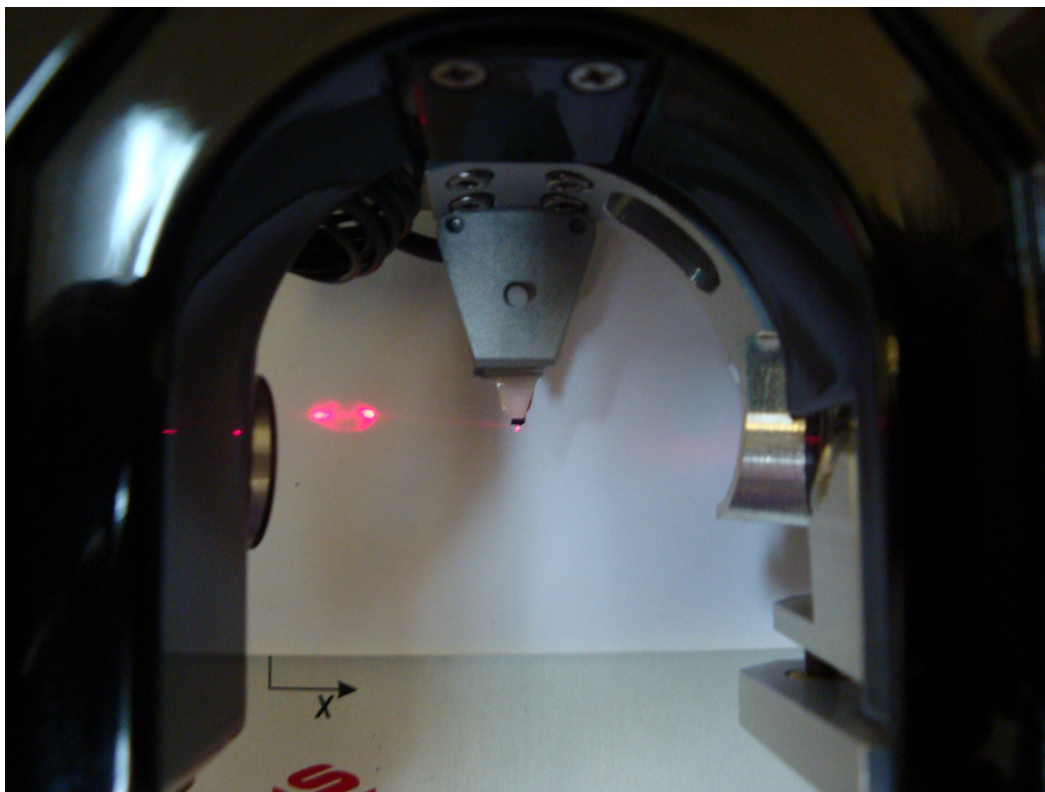


Рис. 4.21 Вид лазерного пятна при попадании на балку кантилевера.

4.11.6. *Позиционирование фотодиода*

После попадания лазерного луча на балку кантилевера необходимо добиться попадания луча на поверхность фотодиода. Для этого необходимо воспользоваться винтами позиционирования фотодиода.

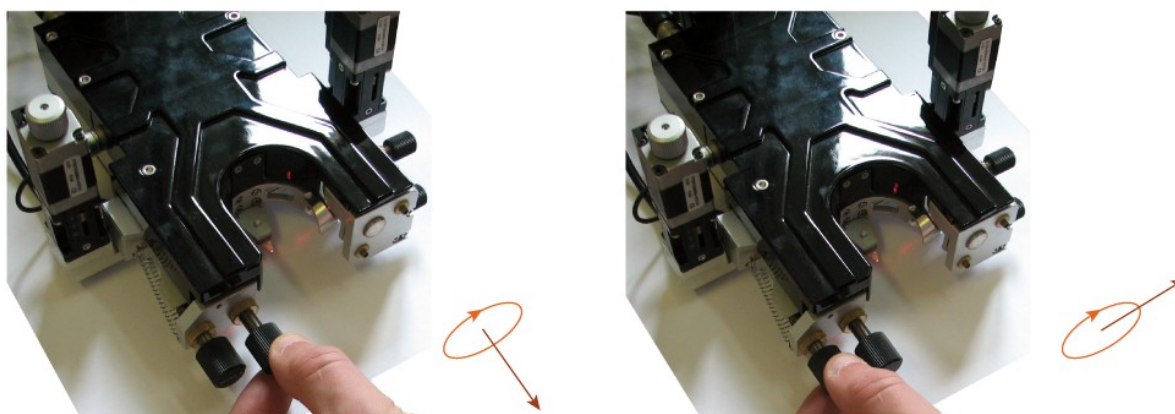


Рис. 4.22 Соответствие направления вращения и направления перемещения сигнала с фотодиода в окне Обратная связь СЗМ

При этом в окне **Обратная связь СЗМ** отображается положение лазерного пятна относительно центра фотодиода и его интенсивность.

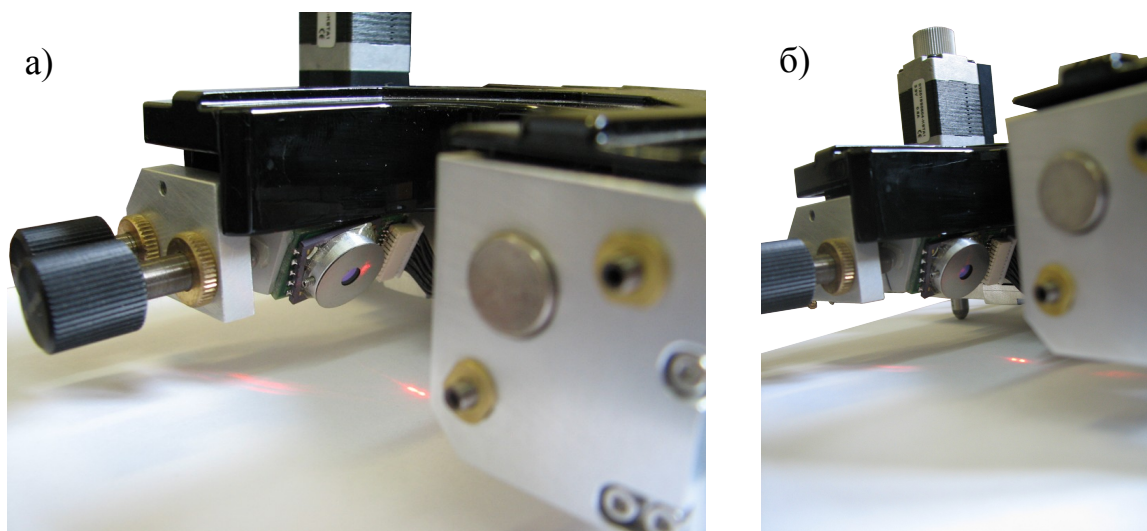


Рис. 4.23 а) попадание мимо фотодиода; б) попадание в фотодиод.

4.11.7. Поиск максимума отражения лазерного луча от балки

После того, как в окне **Обратная связь СЗМ** отобразится сигнал с фотодиода необходимо найти максимум отражения от балки. Красная сфера отражающая сигнал от лазерного пятна и его интенсивность должна находиться на синем поле.



Рис. 4.24 Сигнал с фотодиода.

После этого, используя винты позиционирования лазерного луча, необходимо добиться максимума отраженного сигнала.



Рис. 4.25 Максимум сигнала с фотодиода.

4.11.8. Совмещение центров лазерного пятна и фотодиода

После нахождения максимума отраженного сигнала необходимо совместить центр лазерного пятна с центром фотодиода.

Для этого, используя винты позиционирования фотодиода необходимо переместить лазерное пятно в центр окна **Обратная связь СЗМ** и по возможности добиться наиболее близкого к нулю значений показателей DFL и LFL.

При этом в выпадающем меню под окном **Обратная связь СЗМ** на панели **Управления обратной связью** должно быть установлено **Выкл.**



Рис. 4.26 Лазерное пятно в центре фотодиода.

4.11.9. Получение резонансной частоты зонда

После нахождения максимума отраженного сигнала и совмещения центров лазерного пятна и фотодиода в случае контактного режима работы можно приступать к настройкам параметров обратной связи и подводу зонда к поверхности. В случае бесконтактных методик необходимо найти резонансную частоту кантилевера. Для бесконтактных методик на панели инструментов **Управление обратной связью** в выпадающем списке необходимо установить значение Tapping - MAG.

Для этого необходимо:

- на панели **Частотный скан** окна СЗМ в выпадающем списке **Канал** необходимо выбрать для отображения параметр MAG;
- установить диапазон поиска частоты от 0 до 500 (или в случае кантилеверов с большой резонансной частотой большее значение);
- на панели **Усиление** выставить все значения множителей равными 1;
- на панели **Амплитуда возбуждения** на слайдере установить значение равное 1;
- Нажать на кнопку **Старт**.

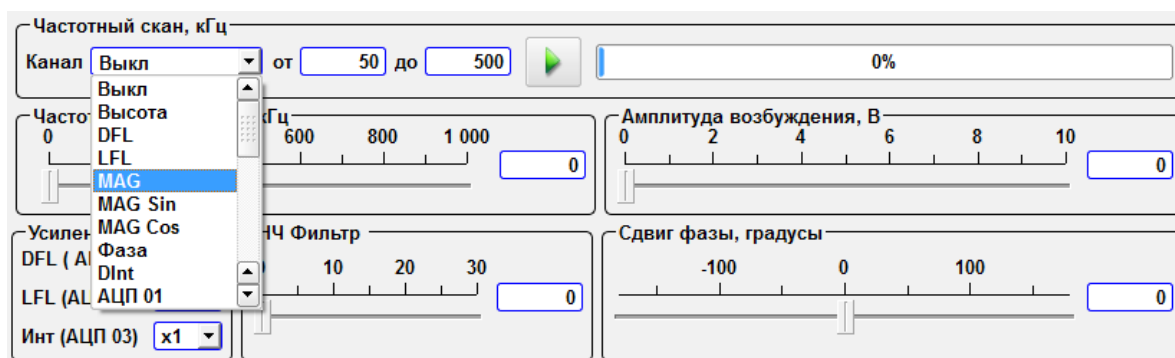


Рис. 4.27 Настройка параметров колебаний кантилевера.

После этого в поле **Кривая АЧХ** отобразиться текущая резонансная частота кантилевера.

При известной резонансной частоте кантилевера диапазон поиска можно сузить.

При необходимости по найденной резонансной кривой можно установить резонансную частоту вручную.

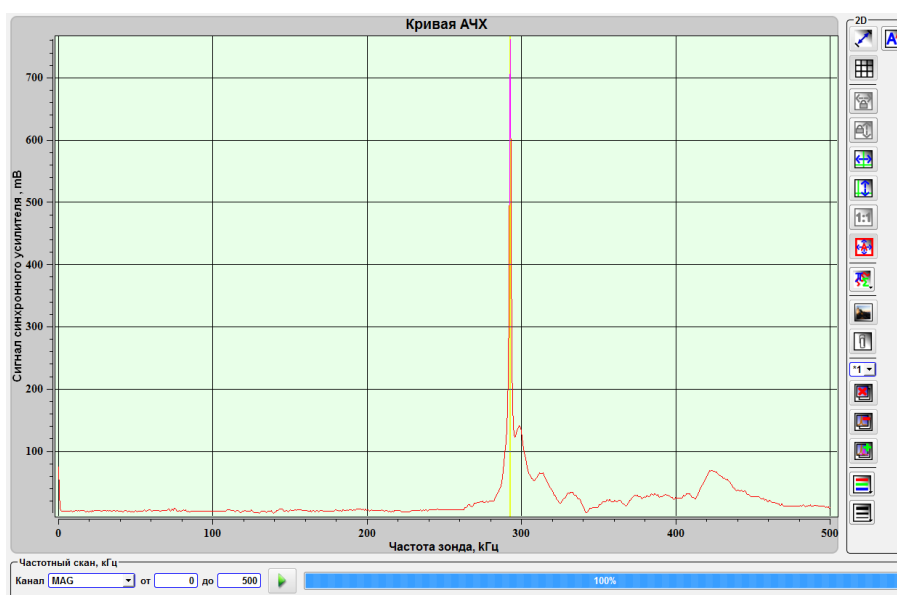


Рис. 4.28 Получение резонансной частоты кантилевера.

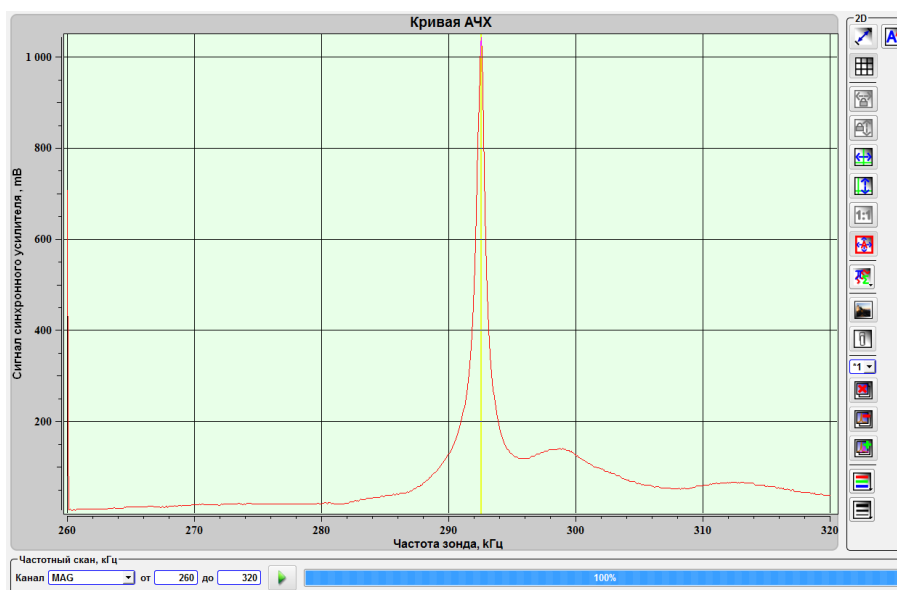


Рис. 4.29 Получение резонансной частоты кантилевера.

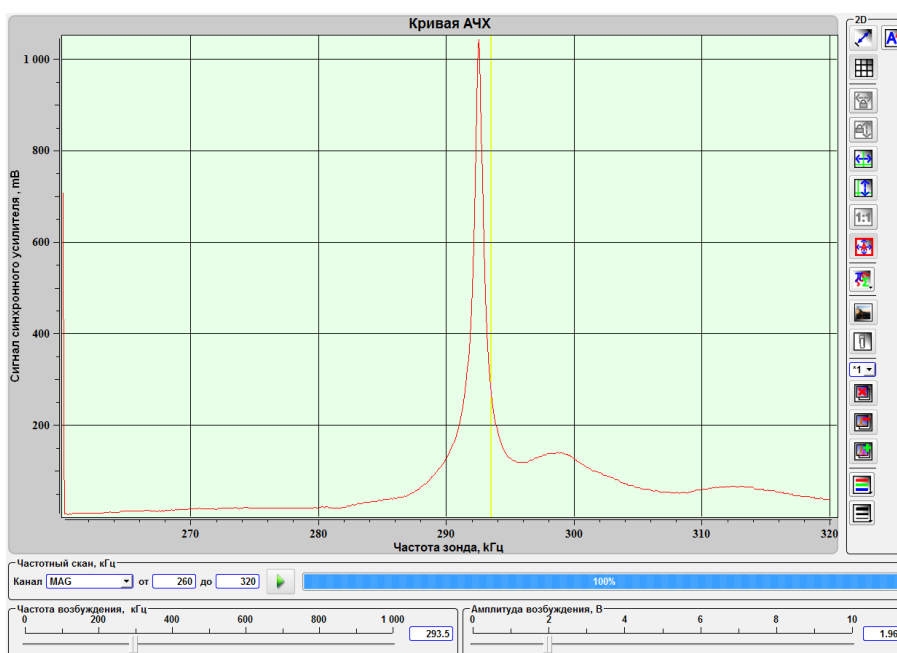


Рис. 4.30 Установка резонансной частоты вручную в поле Current Frequency.

В общем случае необходимо добиться значения резонансной частоты в 1 V при отсутствии информации о свойствах образца. То есть взять это значение за опорную величину.



4.12. Управление параметрами обратной связи

Панель **Обратная связь СЗМ** содержит поле отображения интенсивности сигнала отраженного от балки зонда лазера, элементы управления лазером, а также элементы управления системой обратной связи.

На синем поле панели отображается красным пятном интенсивность сигнала отраженного от балки зонда и попадающего на чувствительную поверхность четырехсекционного фотодиода лазера. Положение пятна в центре поля означает, что пятно от лазера находится в центральной части четырехсекционного фотодиода, при этом значения сигналов DFL и LFL, расположенные в левом верхнем углу поля, показывают значения нулевые или близкие к нулевым значениям.

В левом нижнем углу поля отображается сигнал интенсивности лазера ИНТ (соответствует сигналу DInt). При этом, его максимальное значение сопоставимо с размерами красного пятна. Выше отображается устройство по которому осуществляется обратная связь — ОС Z. Игла — по Z оси в сканирующей головке, Образец — по Z оси в сканирующем основании. В правом нижнем углу отображается уровень сигнала Ампл. В правом верхнем углу располагается линейка положения Z – сканера головки (**Диап.Z (%)**). При этом зеленый цвет соответствует безопасному подводу зонда, а красный означает, что зонд находится слишком близко к образцу и существует возможность поломки зонда.

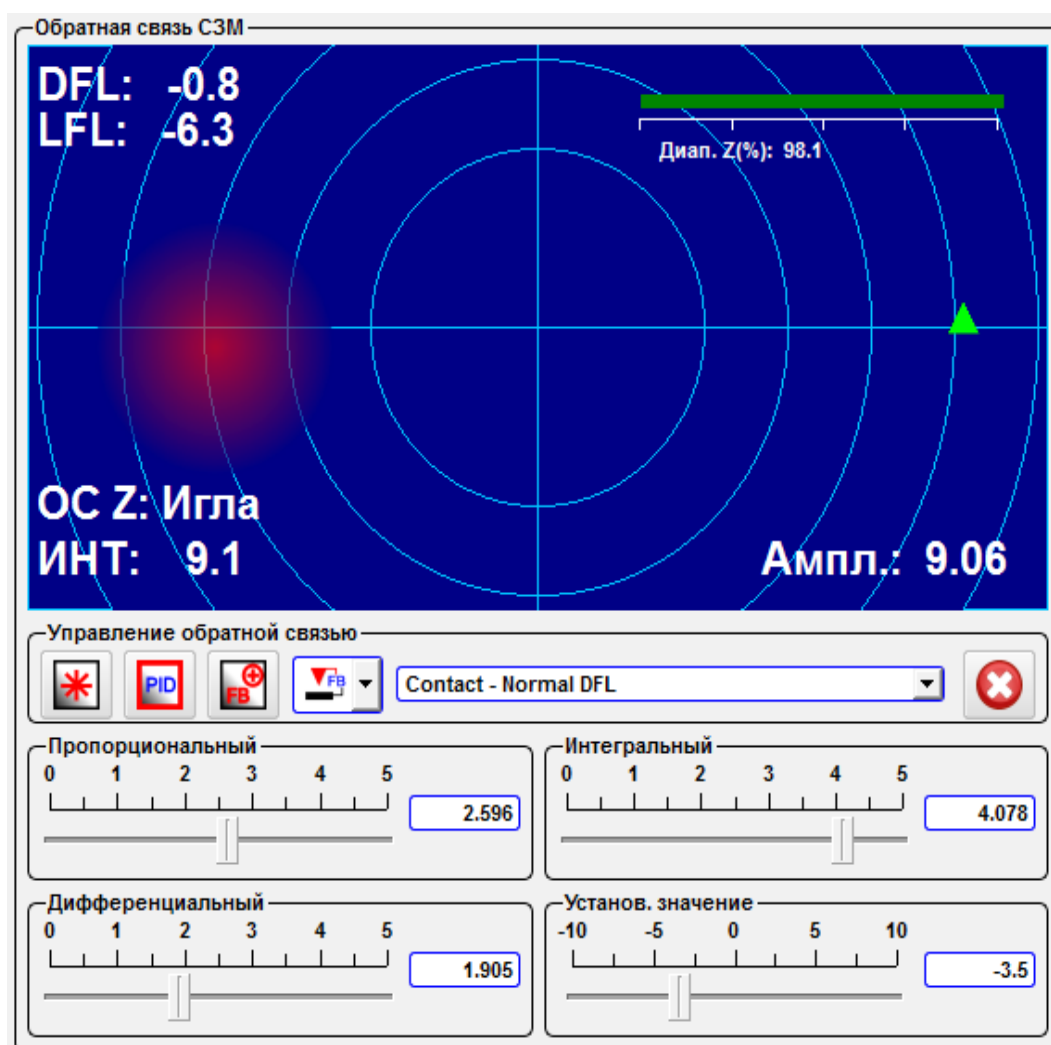


Рис. 4.31 Панель Обратная связь СЗМ.

		СЗМ лазер вкл./выкл.	Кнопка включения/выключения лазера.
		Показать все параметры ПИД	При нажатии на эту кнопку отображаются слайдеры установки Интегральной, Дифференциальной и Пропорциональной компонент обратной связи. Слайдером Установ. значение устанавливается значение рабочей точки. При этом, чем меньше установленное значение Установ. значение, тем ближе зонд к поверхности образца.
		Знак обратной связи	Нажатие на эту кнопку изменяет знак обратной связи.
		Обр. Связь вкл./выкл.	Кнопка включения и выключения обратной связи.
		Обратная связь по головке /по основанию	Данной кнопкой переключается режим обратной связи по СЗМ головке и по основанию.

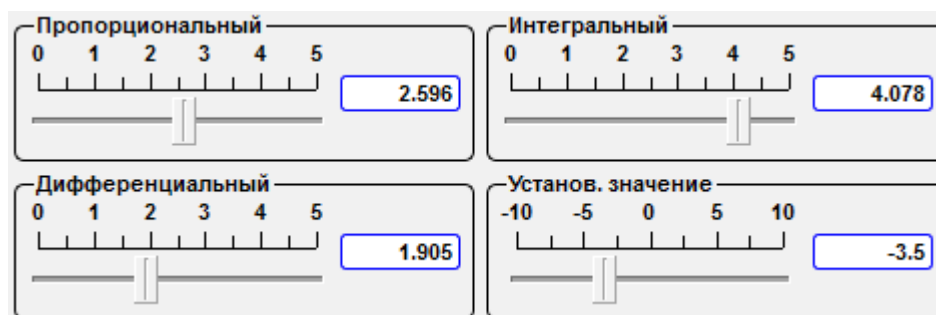


Рис. 4.32 Слайдеры настройки параметров обратной связи.

В выпадающем меню устанавливается сигнал, по которому держится обратная связь, и соответствующий ему режим сканирования.

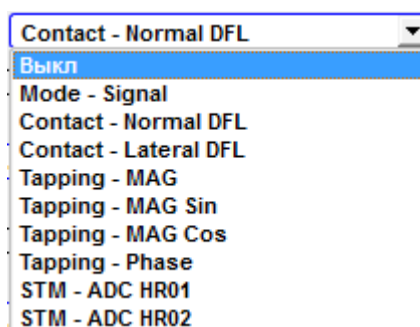


Рис. 4.33 Установка сигнала для обратной связи.

Дополнительно в данном окне отображаются индикаторы состояния автоматического подвода зонда к поверхности образца.

		Подвод завершен	Приближение зонда к поверхности закончено.
		Подвод вниз/вверх	Направление и индикация процесса приближения или удаления.
		Предел вниз/вверх	Достигнуты пределы движения.

В случае выбора в меню настройки параметров шаговых моторов **Настройка моторов** в выпадающем меню Тип прибора в качестве типа микроскопа Snotra работа будет проводиться в режиме **TF mode**, т.е. в режиме резонансной микроскопии с использованием кварцевых резонаторов.



Рис. 4.34 Переключение в режим резонансной микроскопии при использовании кварцевых резонаторов.

4.12.1. Дополнительные параметры сканирования

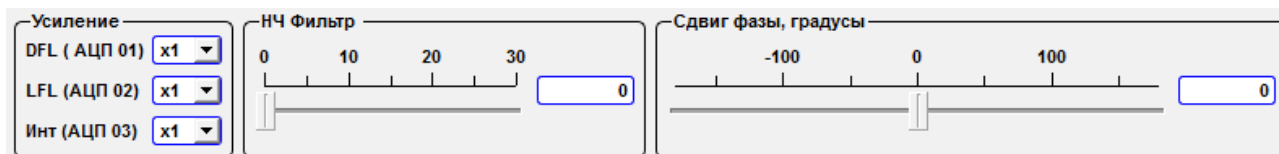


Рис. 4.35 Внешний вид панели настройки дополнительных параметров сканирования.

В выпадающих меню **DFL**, **LFL**, **Инт** панели **Усиление** устанавливаются коэффициенты усиления соответствующих сигналов. Так же можно задать значение, введя с клавиатуры число в поле, расположенное под слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

Слайдером **НЧ Фильтр** устанавливается значение частоты для фильтра низких частот. Так же задать можно значение, введя с клавиатуры число в поле, расположенное под слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

Слайдером **Сдвиг фазы, градусы** устанавливается фазовый сдвиг, используемый при расчете фазы сигнала. Так же задать значение можно, введя с клавиатуры число в поле, расположенное под слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

4.12.2. Общие рекомендации по настройке параметров обратной

связи

При неизвестном рельефе образца рекомендуется выставить все параметры обратной связи в соответствующих слайдерах на значение 1. В дальнейшем после анализа предварительных изображений провести корректировку параметров обратной связи в большую или меньшую сторону.

Максимальное значение обратной связи определяется началом генерации на графике **Кривая АЧХ**, выражающееся в наличии колебаний с большой амплитудой и малым периодом при установке зонда в точку. Генерация может возникать при одинаковых параметрах на разных образцах. Для каждого вида образцов подбор параметров обратной связи индивидуален. В общем случае, чем “мягче” поверхность образца и чем больше перепад по высоте, тем больше должны быть параметры обратной связи. Тоже касается и влияния шумов и внешних колебаний. Для этого необходимо регулировать параметры **Пропорциональный** и **Интегральный**. Оптимальное соотношение 10:1.

Для “твердых” материалов с относительно небольшим перепадом высот (порядка нескольких десятков нм) на небольших участках можно устанавливать параметры обратной связи близкие к 0. Например от 0,1 до 0,3.

При больших скоростях сканирования для любых образцов рекомендуется устанавливать параметры обратной связи более 1. Практически до значений близких к возникновению генераций в контуре обратной связи.

4.12.3. *Настройка задающего значения*

После установки параметров обратной связи и снятия резонансной кривой, используя значение **Ампл.** в поле **Обратная связь СЗМ**, установить в поле **Установ. значение** задающее значение для обратной связи. Для оценочного сканирования рекомендуется устанавливать 50% от текущего значения **Ампл.** В дальнейшем следует подкорректировать это значение под характеристики поверхности образца.

4.12.4. *Управление положением зонда по оси Z*

В левой верхней части окна СЗМ расположен слайдер управления положением зонда по оси Z. Этим слайдером устанавливается текущее положение зонда Z0. Так же задать положение по оси Z можно, введя с клавиатуры число в поле рядом со слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

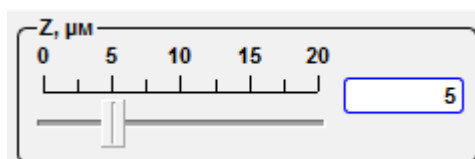


Рис. 4.36 Слайдер управления положением зонда по оси Z.



4.13. Подвод зонда к поверхности

В общем случае можно выделить следующую последовательность действий по подводу зонда к поверхности:

- Выравнивание сканирующей головки;
- Предварительный подвод к поверхности;
- Наклон сканирующей головки;
- Грубый подвод на безопасное расстояние;
- Плавный подвод.

4.13.1. *Выравнивание сканирующей головки*

Предварительно после установки зонда сканирующую головку Certus необходимо выровнять. Для этого необходимо нажать кнопку **Быстрое движение вверх до концевика** .

После этого включаться все три шаговых мотора и сканирующая головка будет поднята в максимально возможное положение и примет горизонтальное положение по всем трем моторам.

Данную операцию имеет смысл повторять после замены зондов. После сканирования нет необходимости переводить сканирующую головку в крайнее верхнее положение. Достаточно отвести СЗМ от поверхности на удобное для работы и безопасное для зонда расстояние.

4.13.2. *Предварительный подвод к поверхности*

Для предварительного подвода к поверхности необходимо нажать на кнопку **Быстрое движение вниз до концевика**  приблизительно на расстояние 5-10 мм. Для остановки движения необходимо повторно нажать на эту кнопку.

4.13.3. Наклон СЗМ головки

В некоторых случаях рекомендуется проводить сканирование с зондом, наклоненным на определенный угол к поверхности, или компенсировать наклон поверхности образцов. Это необходимо для достижения минимальной площади контакта зонда с поверхностью.

Для этого необходимо воспользоваться функцией управления отдельными шаговыми моторами.

В общем случае алгоритм наклона СЗМ головки такой:

- Провести грубый подвод на 5-10 мм от наивысшего положения СЗМ головки;
- Перейти в меню управления отдельными шаговыми моторами. Для этого необходимо нажать кнопку **Индивидуальное управление каждым мотором** ;
- Поднять до максимального значения задний шаговый мотор СЗМ головки, нажав и удерживая кнопку **Движение вверх** ;
- Перейти обратно к функции совместной работы шаговых моторов. Для перехода необходимо нажать кнопку **Индивидуальное управление каждым мотором** ;
- Начать грубый подвод к поверхности.

Рекомендуется проводить грубый подвод до расстояния приблизительно в 3-5 мм от поверхности. Это определяется визуально. Для более близкого грубого подвода рекомендуется уменьшить скорость подвода.

4.13.4. Плавный подвод

После осуществления грубого подвода необходимо включить обратную связь на панели **Обратная связь СЗМ** кнопкой **Обр. Связь вкл/выкл.**  и нажать кнопку **Подвод** .

При достижении поверхности при амплитуде колебаний зонда равному за-



данному значению автоматический подвод прекратится.

Далее необходимо проверить отсутствие генераций. Для этого необходимо открыть поле **Кривая осциллографа** через группу инструментов **Режим отображения**.

4.13.5. *Грубый подвод зонда к поверхности*

Для грубого подвода к поверхности необходимо нажать на кнопку **Быстрое движение вниз до концевика**  приблизительно на расстояние 1-5 мм. Для остановки движения необходимо повторно нажать на эту кнопку.

4.13.6. *Операции подвода с помощью джойстика*

Все операции по управлению шаговыми моторами и обратной связью дублированы на кнопках управления джойстика.



4.14. Грубое позиционирование зонда

Для грубого позиционирования зонда относительно поверхности образца необходимо использовать винты позиционирования сканирующей головки на сканирующем основании.

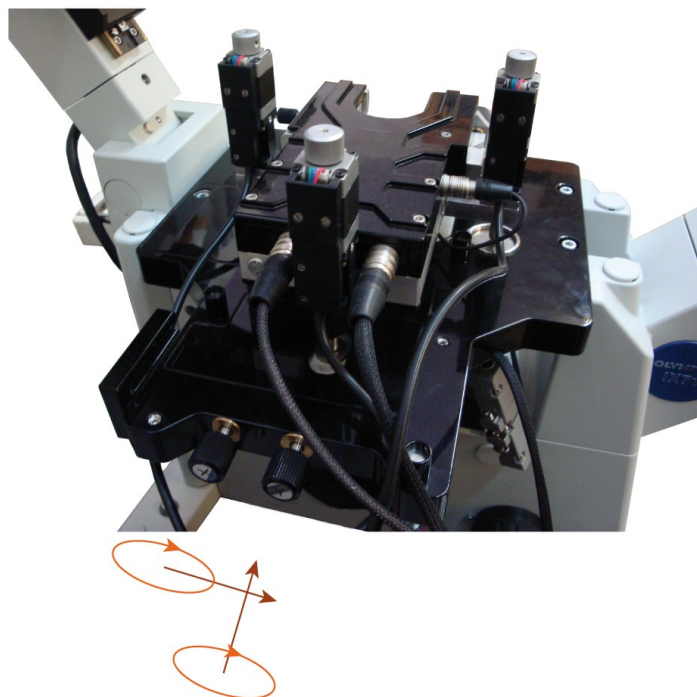


Рис. 4.37 Винты для позиционирования сканирующей головки Certus в плоскости XY.

4.15. Точное позиционирование зонда

Для прецизионного позиционирования образца или зонда в пределах 100x100 микрон с шагом в 0.1 нм используется либо сканирующее основание, либо сканирующая головка. Режимы позиционирования соответствуют способу сканирования и переключаются аналогичным образом.

Позиционирование применяется для индентирования, снятия силовых кривых в СЗМ режимах, а в совокупности с оптическим микроскопом позволяет прецизионно позиционировать зонд или образец для наведения зонда на участок поверхности объекта исследования, перемещать образец при получении спектра в точке.

Для включения позиционирования необходимо в модуле **Санитрование** на

панели **3D** выбрать инструмент **Установить зонд**  / .

После нажатия на кнопку **Установить зонд** в активном окне скана и перемещении курсора в активное окно активный сканер находится в режиме позиционирования. После нажатия левой кнопкой мыши в эту точку перемещается либо зонд, либо образец.

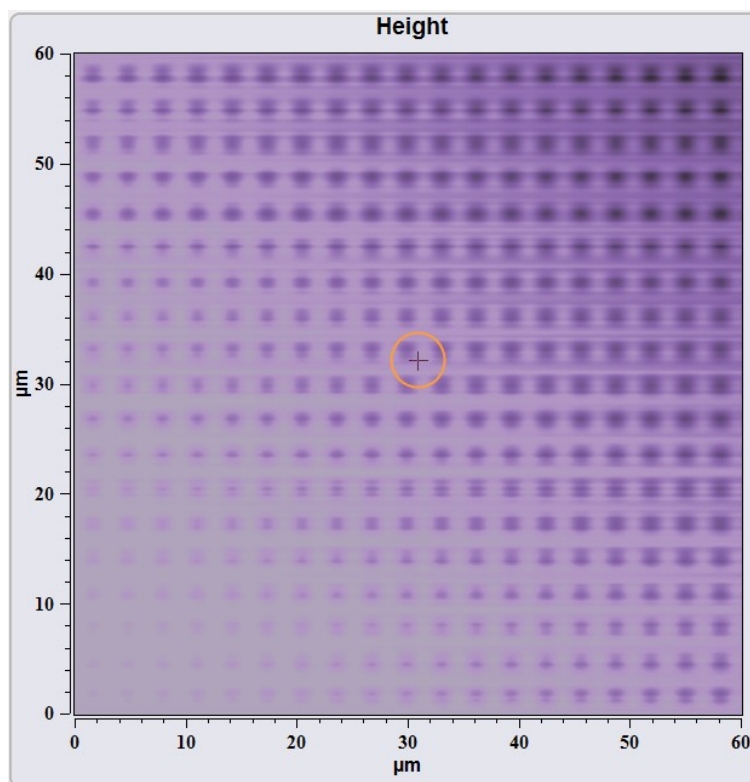


Рис. 4.38 Позиционирование в выбранной точке.

На панели **XY позиционирование** отображаются точные координаты зонда относительно области сканирования.

XY позиционирование

Поз. X, μm	0	Поз. Y, μm	0
------------	--------------------------------	------------	--------------------------------

Рис. 4.39 Точные координаты зонда относительно области сканирования.



4.16. Совмещение методик оптической и сканирующей зондовой микроскопии

Конструкция СЗМ головки Certus и сканирующего основания позволяет совмещать их как с прямыми, так и инвертированными микроскопами, подводить дополнительные источники освещения, например, лазеры, использовать штатные осветители микроскопов и т.д.

Одним из основных ограничений сканирующего зондового микроскопа является трудность в поиске представляющего интерес участка на поверхности объекта исследования, а так же установка зонда в выбранную точку на поверхности. Обойти это ограничение позволяет использование методик оптической микроскопии и спектроскопии.

Общий диапазон положений объективов $0-90^\circ$ относительно оси проходящей через иглу зонда для прямого микроскопа и 0° для инвертированного. Максимальный диаметр используемых объективов в случае прямого микроскопа — 40 мм, а в случае инвертированного микроскопа диаметр используемых объективов ограничен только конструкцией объективов.

Рабочее расстояние используемых объективов (WD) составляет 12 мм для прямых микроскопов, а для инвертированных микроскопов ограничено только толщиной используемой подложки.

Для совмещения методик оптической и сканирующей зондовой микроскопии необходимо совместить поле зрения оптического микроскопа с областью сканирования сканирующего зондового микроскопа.



Для этого необходимо:

- Подвести сканирующую головку Certus к поверхности;
- Отключить обратную связь;
- Отвести сканирующую головку от поверхности с помощью кнопки **Шаг вверх Up**  на 5-10 шагов от поверхности;
- Включить в программе NSpec отображение информации с камеры видеомикроскопа;
- Винтами позиционирования сканирующей головки Certus добиться попадания балки зонда в поле зрения оптического микроскопа;

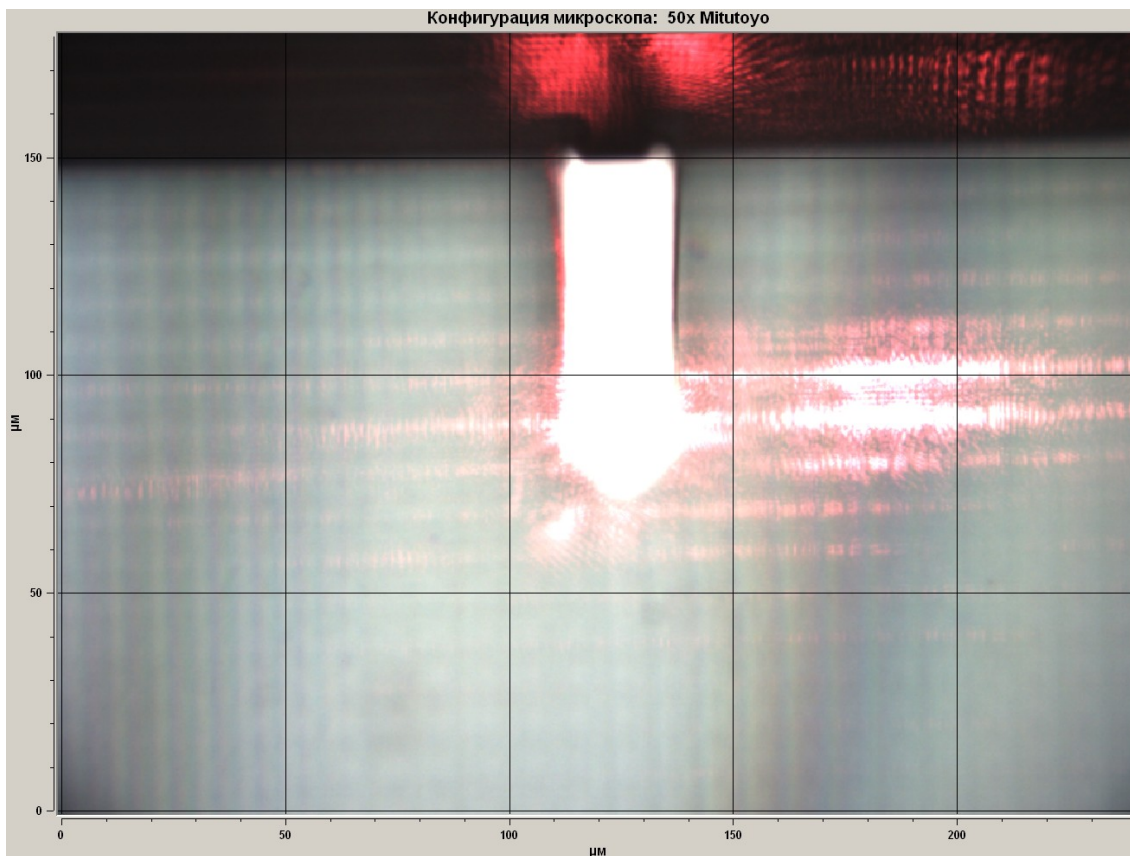


Рис. 4.40 Попадание балки зонда в поле зрения микроскопа.

- Повторить плавный подвод к поверхности.

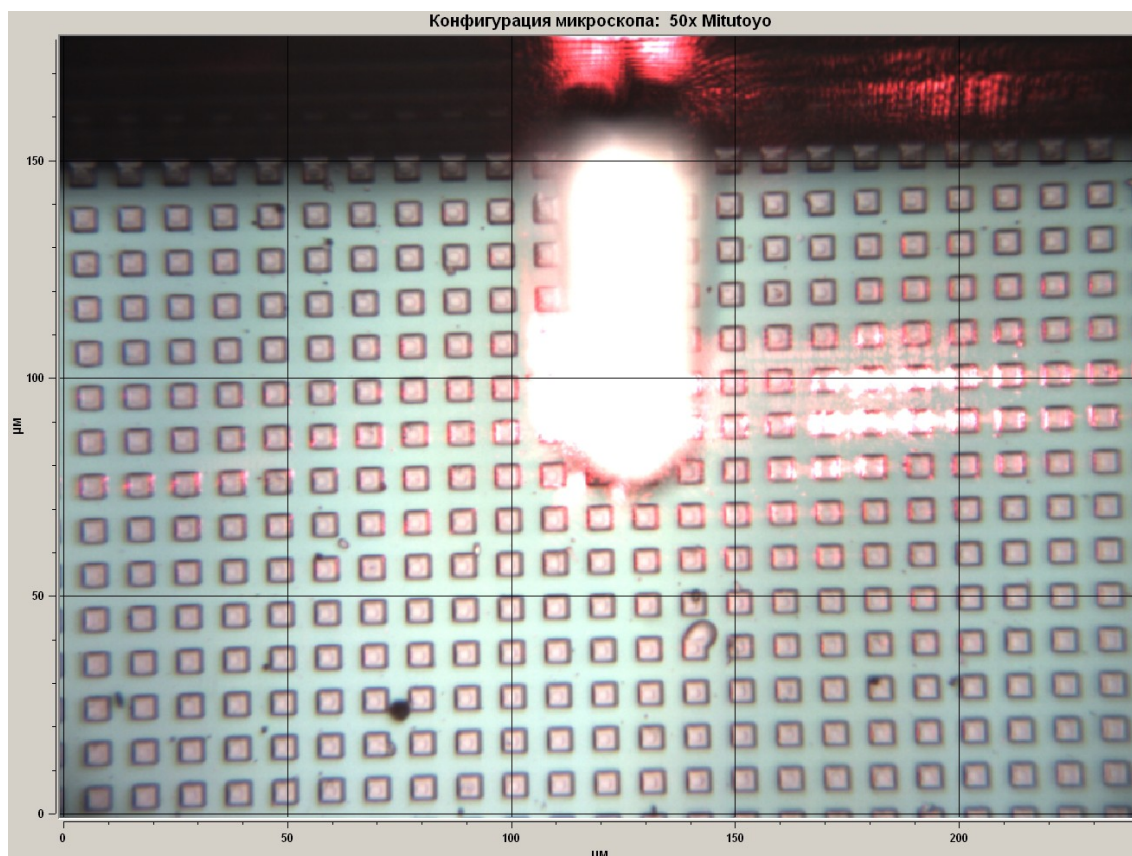


Рис. 4.41 Балка зонда после подвода к поверхности.

Совмещение с прямым оптическим микроскопом имеет смысл для исследования как прозрачных, так и непрозрачных объектов.

В этом случае первоначально необходимо совместить СЗМ и оптический микроскоп таким образом, чтобы в поле зрения оптического микроскопа попадал зонд сканирующего зондового микроскопа. Далее, используя методики оптической микроскопии и подвижки для образца необходимо выделить участки на поверхности объекта исследования и проводить сканирование.

Совмещение с инвертированным оптическим микроскопом имеет смысл только при исследовании поверхности прозрачных образцов.

В этом случае общий алгоритм совмещения аналогичен совмещению с прямым оптическим микроскопом. Однако, необходимо учитывать, что взгляд направлен снизу. И оптическое изображение и СЗМ изображение при наличии сходства в изображении будут зеркальны друг другу.

4.17. СЗМ сканирование

Для сканирования СЗМ необходимо:

- Установить зонд;
- Настроить сканирующую головку;
- Подвести зонд к поверхности.

После подвода к поверхности для сканирования необходимо открыть окно **Сканирование**.

В окне **Сканирование** задаются основные параметры скана, такие как количество точек получаемого изображения, его размеры, направление сканирования, скорость сканирования и другие.

Для перехода в окно **Сканирование** нажмите кнопку  **Сканирование**, находящуюся на верхней панели окна программы NSpec.

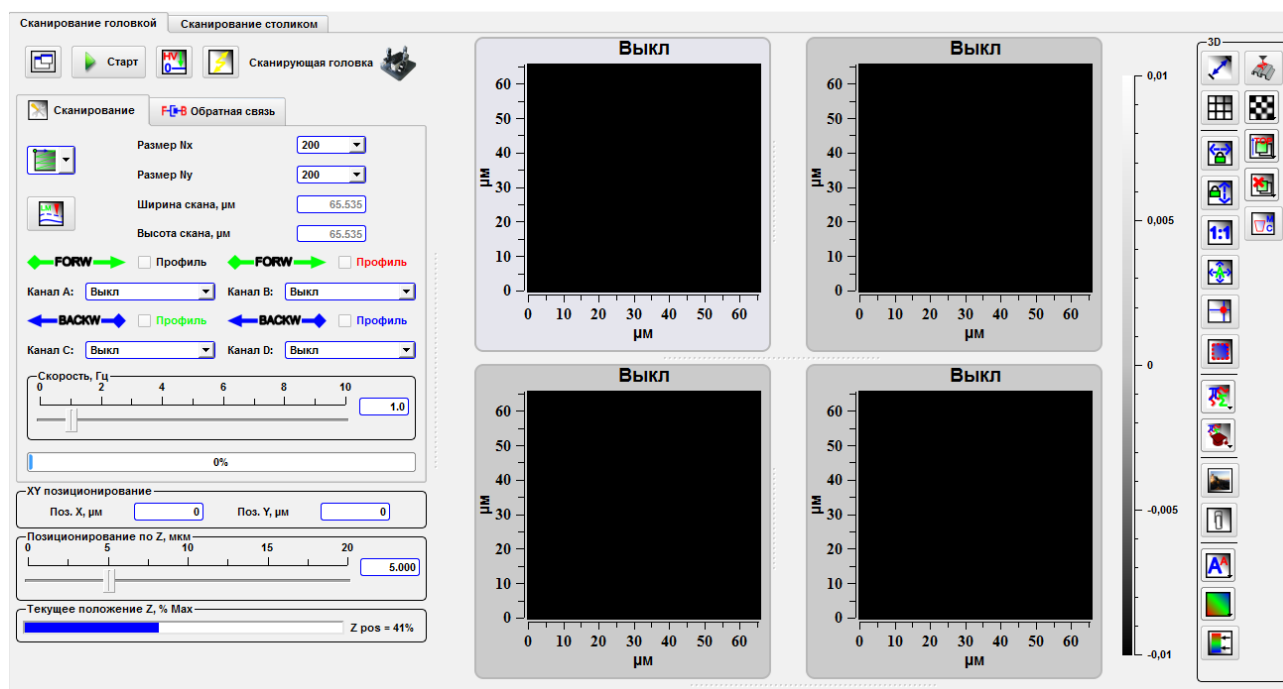


Рис. 4.42 Общий вид окна Сканирование.

В центральной части окна расположены 4 поля, отображающие процесс сканирования и получаемые изображения.

4.17.1. Установка основных параметров скана

Для установки параметров сканирования используется панель **Параметры сканирования**, содержащая две вкладки. Основная вкладка — **Сканирование**, дополнительная — **Обратная связь**.

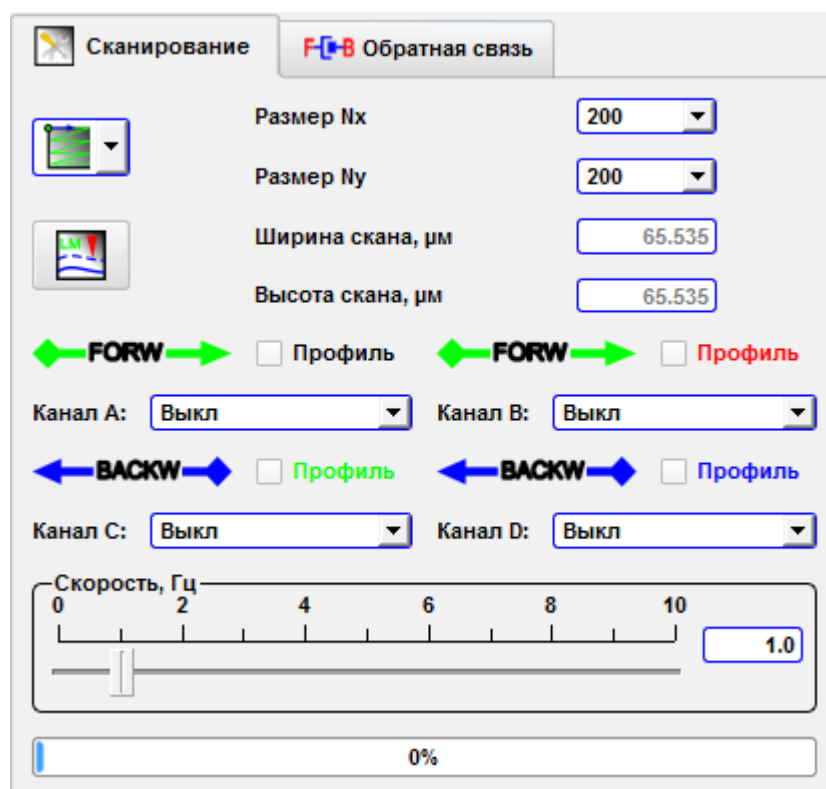


Рис. 4.43 Вкладка Сканирование.

Размер Nx	Поле для установки количества точек в линии при сканировании по оси X.
Размер Ny	Поле для установки количества точек в линии при сканировании по оси Y.
Ширина скана, $\mu\text{м}$	Задать размеры скана в $\mu\text{м}$ по ширине. Ширина скана, $\mu\text{м}$ и Высота скана, $\mu\text{м}$ становятся активными (доступными для изменения) только после нажатия кнопки Выбор участка сканирования  .
Высота скана, $\mu\text{м}$	Задать размеры скана в $\mu\text{м}$ по высоте. Ширина скана, $\mu\text{м}$ и Высота скана, $\mu\text{м}$ становятся активными (доступными для изменения) только после нажатия кнопки Выбор участка сканирования  .
Канал А и Канал В	В выпадающем меню задается запись сигналов, получаемых при прямом проходе сканера (FORW). 
Канал С и Канал D	В выпадающем меню задается запись сигналов, получаемых при обратном проходе сканера (BACKW). 
Профиль	Якорь при установке которого у выбранного канала на панели Сечение отображается профиль выбранного канала. Цвет надписи соответствует цвету профиля.
Скорость, Гц	Слайдер, с помощью которого задается скорость сканирования. Так же задать значение скорости можно, введя с клавиатуры число в поле под слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter. В поле под слайдером Скорость, Гц отображается процент выполнения сканирования в ходе измерений.
 Двух прох. методика	При нажатии на кнопку активируется двупроходная методика сканирования.
	Возврат в простые методики.
 Направление сканирования	Выпадающий список для выбора направления сканирования. Стрелкой обозначается направление быстрого сканирования.
	По оси X из верхнего левого угла.
	По оси Y из верхнего левого угла.
	По оси X из верхнего правого угла.

	По оси Y из верхнего правого угла.
	По оси X из нижнего левого угла.
	По оси Y из нижнего левого угла.
	По оси X из нижнего правого угла.
	По оси Y из нижнего правого угла.

	Ширина скана, $\mu\text{м}$	65.535
	Высота скана, $\mu\text{м}$	65.535
	Ширина скана, $\mu\text{м}$	32.7675
	Высота скана, $\mu\text{м}$	32.7675

Рис. 4.44 Изменение размеров скана: верхние изображения - активная кнопка Выбор участка сканирования  и поле изменения размеров скана доступное для изменения; нижние изображения - кнопка Выбор участка сканирования  отжата и и изменять размеры поля сканирования нельзя.

При нажатии на вкладку **Обратная связь** происходит открытие панели управления обратной связью. На ней отображаются слайдеры установки **Интегральной**, **Дифференциальной** и **Пропорциональной** компонент обратной связи. В этой же вкладке расположен слайдер **Установ. Значение**.

Для возврата в режим **Сканирование** необходимо нажать соответствующую вкладку.

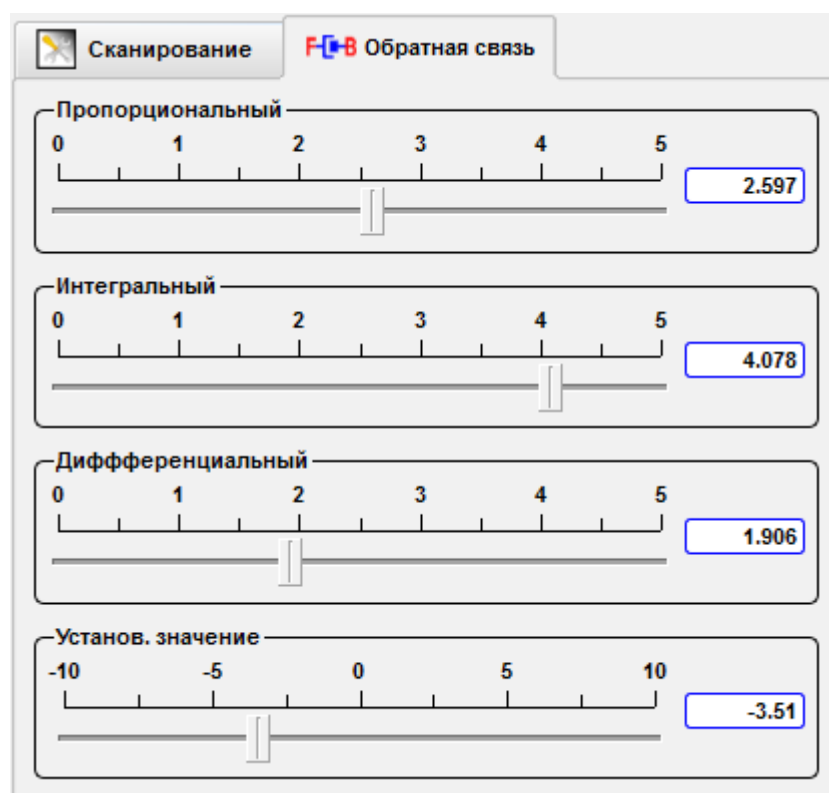


Рис. 4.45 Вкладка Обратная связь.

4.17.2. Описание сигналов

Высота	Построение топографии поверхности исследуемого образца.
DFL	Сигнал пропорциональный отклонению зонда относительно нормали. Этот сигнал рассчитывается как разница между сигналами с верхней и нижней половины четырехсекционного фотодиода (рис. 5.9). $DFL = (A+B)-(C+D)$.
LFL	Сигнал пропорциональный кручению балки кантилевера, вызванному латеральными силами. Этот сигнал рассчитывается как разница между сигналами с правой и левой сторон четырехсекционного фотодиода. $LFL = (B+D)-(A+C)$.
MAG	Сигнал соответствует амплитуде сигнала DFL. В случае подключения головки - амплитуде колебаний кантилевера.
MAG Sin	Синфазная компонента сигнала DFL.
MAG Cos	Квадратурная компонента сигнала DFL.
Фаза	Сигнал соответствует фазе сигнала DFL. В случае подключения головки - фазе колебаний кантилевера.

Сигналы MAG, MAG Sin, MAG Cos, Phase являются результатами обработки сигнала АЦП1 синхронным детектором.

В основе синхронного детектора лежит цифровой синтезатор частоты (DDS), который создает гармонические колебания с заданной частотой и амплитудой. Этот сигнал выводится для возбуждения зонда и этот же сигнал используется для демодуляции сигналов, приходящих на вход синхронного детектора.

Входящий сигнал АЦП1 поступает на предусилитель (PGA), где может усиливаться в 1...100 раз. Усиленный сигнал поступает на вход высокоскоростного АЦП. Цифровой сигнал с выхода АЦП поступает на вход умножителя, где перемножается с опорным сигналом, а также с опорным сигналом, сдвинутым на 90°. Полученные сигналы проходят через фильтры низких частот, при этом на выходе формируются сигналы MAG Sin и MAG Cos. Сигналы амплитуды (MAG) и Фаза вычисляются математически из этих сигналов.

DInt	Интегрированный сигнал от всех четырех секций фотодиода. Этот сигнал пропорционален интенсивности лазерного луча, отраженного от зонда. $DInt = A+B+C+D$.
АЦП 01	Сигнал АЦП 01, в случае подключения сканирующей головки соответствует сигналу DFL
АЦП 02	Сигнал АЦП 02, в случае подключения сканирующей головки соответствует сигналу LFL.
АЦП 03	Сигнал АЦП 03, в случае подключения сканирующей головки соответствует сигналу DInt.
АЦП 04	Сигнал АЦП 04.

АЦП 05	Сигнал АЦП 05.
Ёмк. Датчик X	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения по оси X сканирующей головки. В случае отсутствия сканирующей головки сигнал имеет нулевое значение.
Ёмк. Датчик Y	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения по оси Y сканирующей головки. В случае отсутствия сканирующей головки сигнал имеет нулевое значение.
Ёмк. Датчик Z	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения по оси Z сканирующей головки. В случае отсутствия сканирующей головки сигнал имеет нулевое значение.
Ux	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующей головки по оси X.
Uy	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующей головки по оси Y.
Uz	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующей головки по оси Z.
Ёмк. Датчик X2	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения сканирующего основания по оси X. В случае отсутствия сканирующего основания сигнал имеет нулевое значение.
Ёмк. Датчик Y2	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения сканирующего основания по оси Y. В случае отсутствия сканирующего основания сигнал имеет нулевое значение.
Ёмк. Датчик Z2	Сигнал соответствует показаниям ёмкостного датчика фиксирующего перемещения сканирующего основания по оси Z. В случае отсутствия сканирующего основания сигнал имеет нулевое значение.
Ux2	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующего основания по оси X.
Uy2	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующего основания по оси Y.
Uz2	Выход высоковольтного сигнала управления пьезостеками сканирующего основания по оси Z.
АЦП ВР 1	
АЦП ВР 2	

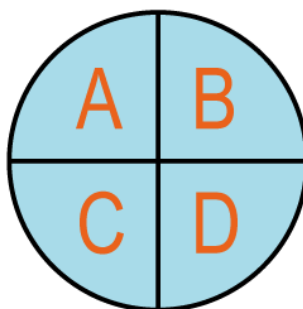
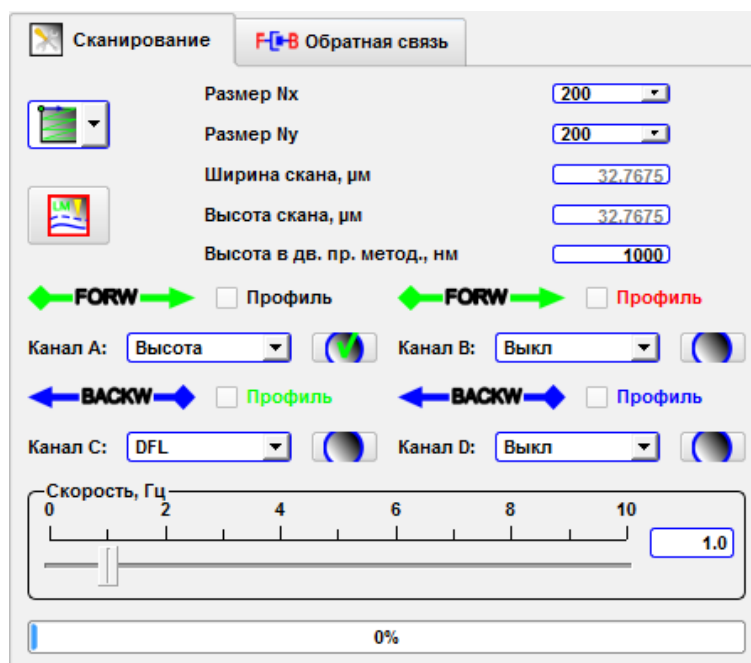


Рис. 4.46 Схема четырехсекционного фотодиода.

4.17.3. Многопроходная методика

При нажатии на кнопку  активируется двупроходная методика сканирования. При этом на панели **Параметры сканирования** появляется поле **Высота в дв. пр. метод., нм**, в котором устанавливается значение расстояние по оси Z, на котором будет осуществляться второй проход зонда. Так же рядом с полями выбора сигналов построения изображения (Канал A, Канал B, Канал C, Канал D) появляются кнопки . Нажатие на такие кнопки  означает выбор сигнала, накопление которого осуществляется на втором проходе зонда.

Рис. 4.47 Вид панели **Параметры сканирования** при выборе двупроходной методики.

4.17.4. *Дополнительные параметры сканирования*

На панели **XY позиционирование** в поле **Поз. X, $\mu\text{м}$** и **Поз. Y, $\mu\text{м}$** отображаются координаты положения зонда (кантилевера) в поле сканирования при нажатой кнопке **Установить зонд/образец** , расположенной на панели инструментов **Параметры сканирования**.

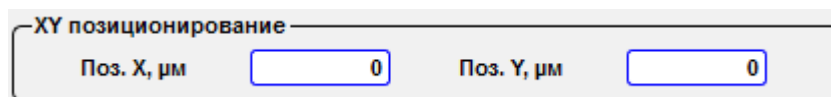


Рис. 4.48 Общий вид панели отображения координат положения зонда.

Слайдер **Позиционирование по Z** необходим для установки положение зонда по оси Z. Так же можно задать значение положения Z, введя с клавиатуры число в поле рядом со слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter. В зависимости от выбора способа сканирования слайдером управляется либо положение по Z в сканирующей головке, либо положение по Z сканирующего основания.

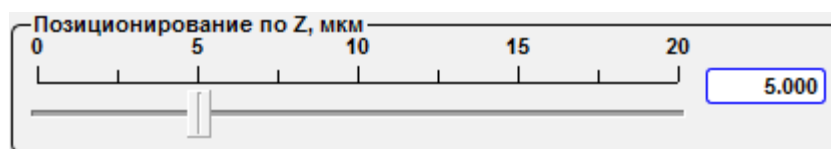


Рис. 4.49 Общий вид панели Позиционирование по Z.

Индикатор положения Z – сканера головки (**Текущее положение Z (% Max)**). При этом зеленый цвет соответствует безопасному подводу зонда, а красный означает, что зонд находится слишком близко к образцу и существует возможность поломки зонда.

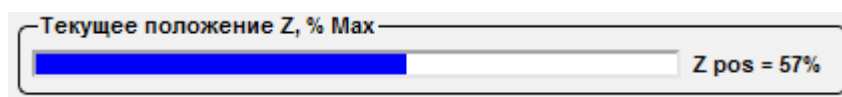


Рис. 4.50 Индикатор положения Z.



Рис. 4.51 Кнопка Сбросить в ноль высококов. усилители.

Сбросить в ноль высококов. усилители – при нажатии на данную кнопку все высоковольтные напряжения сбрасываются в 0 по всем трем осям на сканере головки.



Рис. 4.52 Кнопка Быстрое сканирование.

При нажатии на кнопку **Быстрое сканирование** включается алгоритм быстрого сканирования позволяющий сканировать по специальному алгоритму.

4.17.5. Подбор параметров сканирования

Для настройки параметров сканирования необходимо:

- Выбрать число точек в изображении;
- Выбрать размеры области сканирования;
- Выбрать необходимые сигналы для визуализации;
- Выбрать сигналы для которых необходимо отображение профилей сечений;
- Установить скорость сканирования;
- При необходимости установить режим программной коррекции для быстрого сканирования;
- Запустить сканирование.

Первоначально рекомендуем провести обзорное сканирование для подбора параметров обратной связи, параметров колебания зонда.

Для пробного сканирования рекомендуем следующие параметры:

- Полное поле сканирования;
- Число точек — 300 x 300 на скан;
- Скорость сканирования 1 лин/сек;
- Поля Высота и Фаза для прямого направления сканирования и поля Высота и Фаза для обратного направления сканирования.



После получения пробных изображений подобрать параметры сканирования, выбрать интересующий участок на поверхности и уже приступить к сканированию.

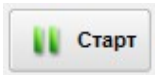
Для выбора числа точек в изображении следует руководствоваться следующими параметрами:

- Для неконтактных методик не имеет смысла ставить число точек дающее разрешение меньше радиуса кривизны зонда;
- Скорость перемещения зонда относительно размеров поля сканирования меняется в зависимости от размеров поля сканирования при одинаковом количестве точек. Рекомендуется уменьшать количество точек при уменьшении поля сканирования для сохранения скорости сканирования пропорционально изменению размеров поля сканирования или увеличивать скорость сканирования;
- Для разных размеров поля сканирования может понадобиться изменение параметров обратной связи.

4.17.6. *Условия сканирования*

На время сканирования при отсутствии вибрационной и акустической защиты рекомендуется не подвергать вибрационным и акустическим воздействиям сканирующий зондовый микроскоп Certus Standard. Это может привести к появлению артефактов на изображении и даже перемещению образца относительно микроскопа и поломке зонда.

4.18. Сканирование

Для запуска сканирования необходимо нажать кнопку **Старт** , а для выключения повторно эту же кнопку .

Сканирование запускается только при установленных сигналах Канал 1-4. Для запуска достаточно одного сигнала.

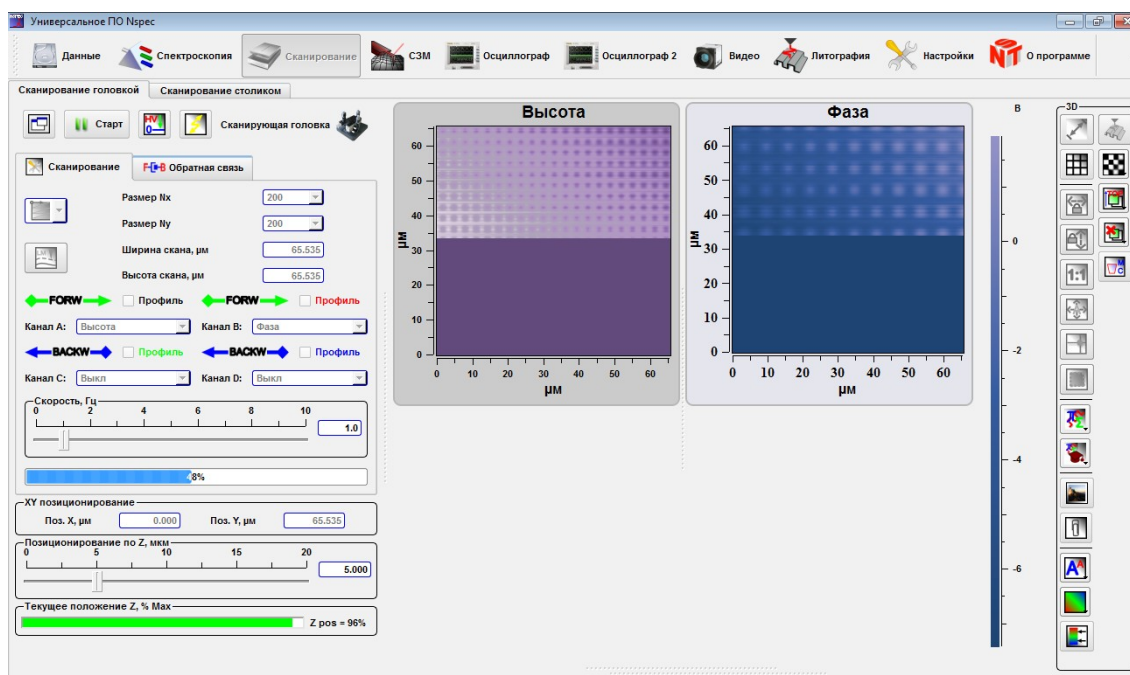


Рис. 4.53 Запуск сканирования.

Для отображения профилей линии сканирования необходимо поставить якорь **Профиль** у соответствующего канала. Цвет надписи соответствует профилю в окне **Сечение**.

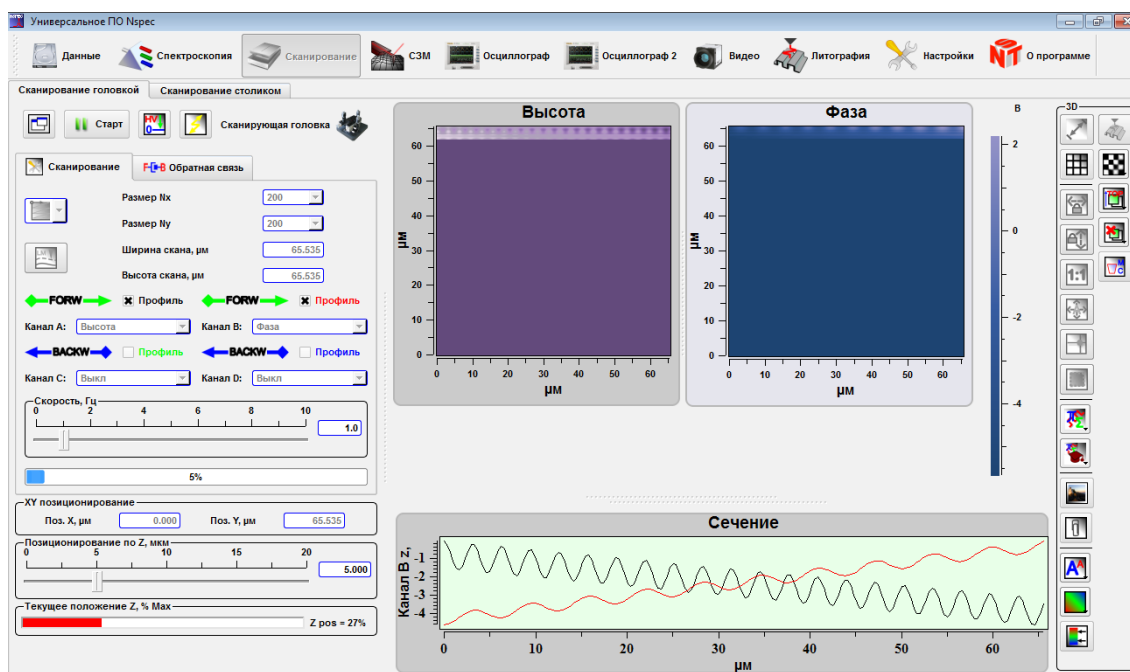


Рис. 4.54 Запуск сканирования с включенным отображением профилей линии сканирования.

5. Калибровки

5.1. Перечень устройств требующих калибровки

Калибровки требуют:

- Сканеры СЗМ модуля;
- Объективы.

5.1.1. Калибровка СЗМ модуля

Для калибровки сканеров необходимо перейти в режим калибровки. Для этого необходимо нажать кнопку **Показать/скрыть окно для определения калибровок** . После нажатия в окне появятся инструменты для проведения калибровок.

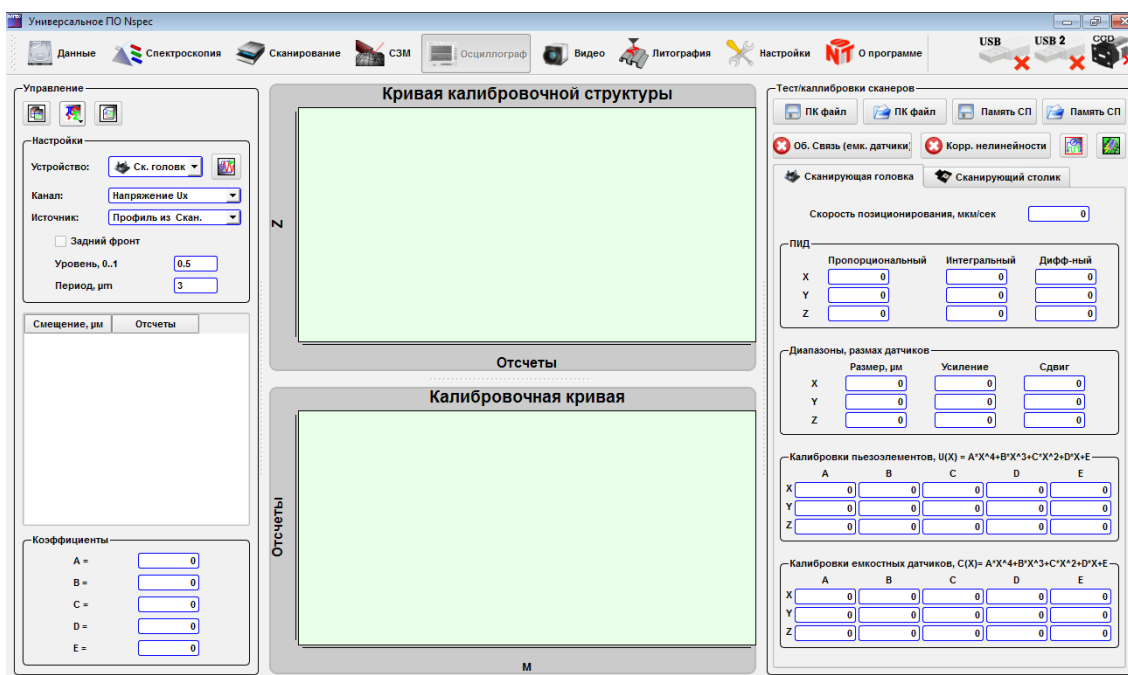


Рис. 5.1 Вид модуля Осциллограф при определении калибровок.

Для калибровки сканеров микроскопа необходимо воспользоваться следующими алгоритмами.

5.1.2. Калибровки пьезоэлементов

- Отключить **Коррекцию нелинейности**  и **Обратная связь** (ёмк датчики) .
- Провести сканирование тестовой структуры по нужным направлениям с большим количеством точек в линии по направлению сканирования.
- Используя инструменты панели **Управление** получить калибровочные коэффициенты.
- Внести полученные коэффициенты в соответствующую таблицу.
- Сохранить полученные данные.

5.1.3. Калибровки ёмкостных датчиков

- Отключить **Коррекцию нелинейности**  и включить **Обратная связь** (ёмк датчики) .
- Провести сканирование тестовой структуры по нужным направлениям с большим количеством точек в линии по направлению сканирования.
- Используя инструменты панели **Управление** получить калибровочные коэффициенты.
- Внести полученные коэффициенты в соответствующую таблицу.
- Сохранить полученные данные.

5.1.4. Панель инструментов Управление

Панель инструментов **Управление** содержит собственно панель инструментов **Управление** и связанные с ней окна **Кривая калибровочной структуры** и **Калибровочная кривая**.

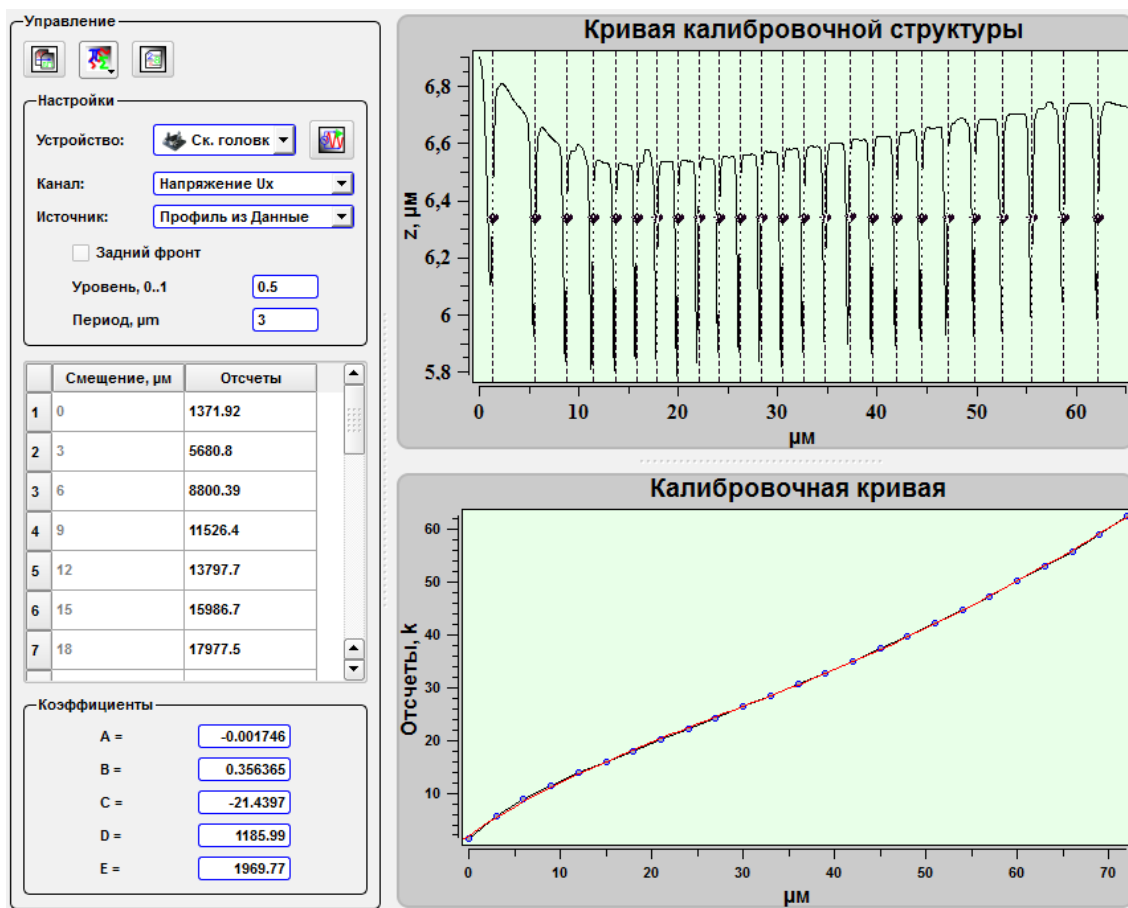


Рис. 5.2 Панель Управление.

	Получить кривую с калибровочной структуры	Получить кривую из выбранного источника для калибровки.
	Фильтры	Стандартные фильтры для работы с кривыми и графиками.
	Сохранить в таблицу настроек	Сохранить полученные коэффициенты в соответствующий таблице в Тест/калибровки сканера
	Запуск автонастройки размаха и смещения ёмкостных датчиков	Запустить автоматическую настройку датчиков для таблицы Диапазоны, размах датчиков.

Панель инструментов **Настройки:**

Устройство		Выпадающий список для выбора устройства для калибровки
	Ск. головка	Калибровка головки.
	Ск. столик	Калибровка сканирующего столика.
Канал		Выпадающий список для выбора канала для калибровки
	Напряжение Ux	Калибровка пьезоэлемента ответственного за ось X
	Напряжение Uy	Калибровка пьезоэлемента ответственного за ось Y
	Напряжение Uz	Калибровка пьезоэлемента ответственного за ось Z
	Ёмк. Датчик Cx	Калибровка датчика ответственного за ось X
	Ёмк. Датчик Cy	Калибровка датчика ответственного за ось Y
	Ёмк. Датчик Cz	Калибровка датчика ответственного за ось Z
Источник		
	Профиль из Скан.	Для калибровки используется профиль непосредственно из полученного при сканировании изображения.
	Профиль из Данные	Для калибровки используется профиль из ранее сохраненного изображения.
	Кривая из Данные	Для калибровки используется ранее сохраненный профиль.
Задний фронт		Якорь для установки точек привязки на задней стороне периодических структур.
	Уровень, 0..1	Положение точек привязки на кривой для калибровки
	Период, μm	Период тестовой структуры

5.1.5. Калибровка

Например, для калибровки пьезоэлементов сканирующей головки по оси X по сохраненному ранее изображению необходимо перейти в модуль **Данные** открыть ранее отсканированное изображение тестовой решётки и построить её профиль.

Для этого необходимо выделить выбранное изображение, нажать кнопку **Маркеры** , затем кнопку **Сечение**  и кнопку **Горизонтальное сечение** .

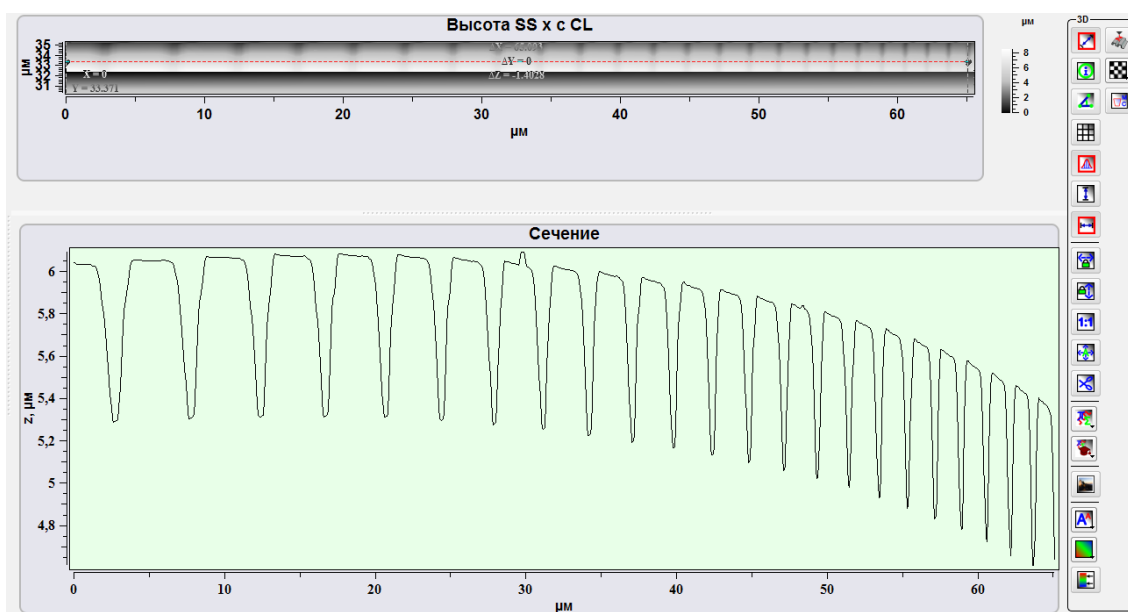


Рис. 5.3 Создание профиля для калибровки.

Далее необходимо перейти в модуль **Осциллограф**, нажать кнопку **Показать/скрыть окно для определения калибровок** , на панели **Настройки** в выпадающем списке **Устройство** выбрать **Ск.головка**, в выпадающем списке **Канал** выбрать значение **Напряжение Ux**, в выпадающем списке **Источник** выбрать **Профиль из данные**, якорь **Задний фронт** оставить без изменений, задать период структуры 3 μm. Далее необходимо нажать кнопку **Получить кривую с калибровочной структуры** .

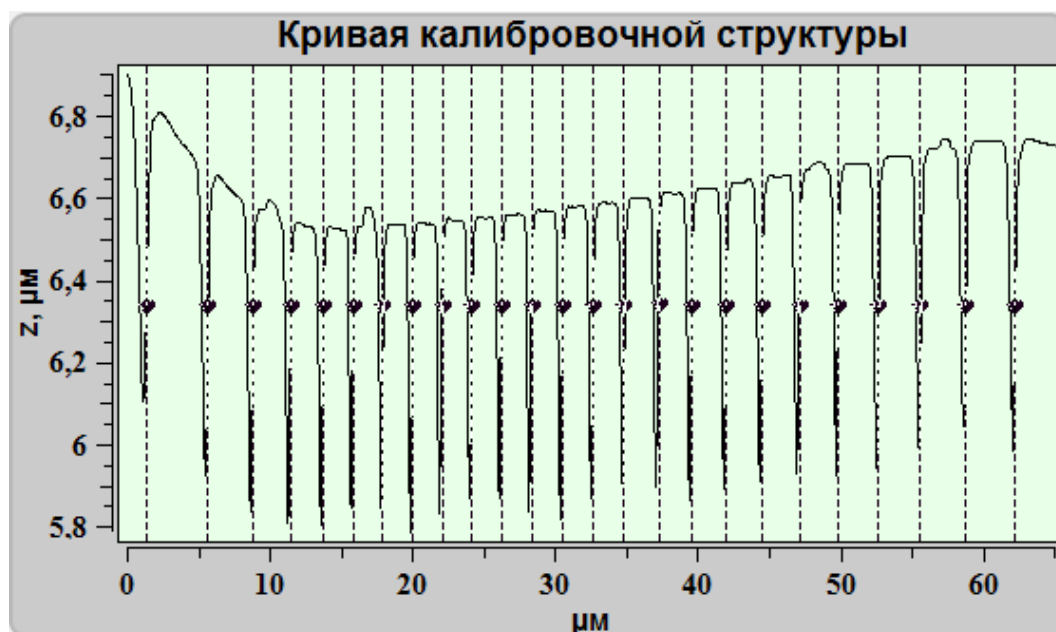


Рис. 5.4 Кривая с калибровочной структурой.

Далее необходимо применить нужные фильтры .

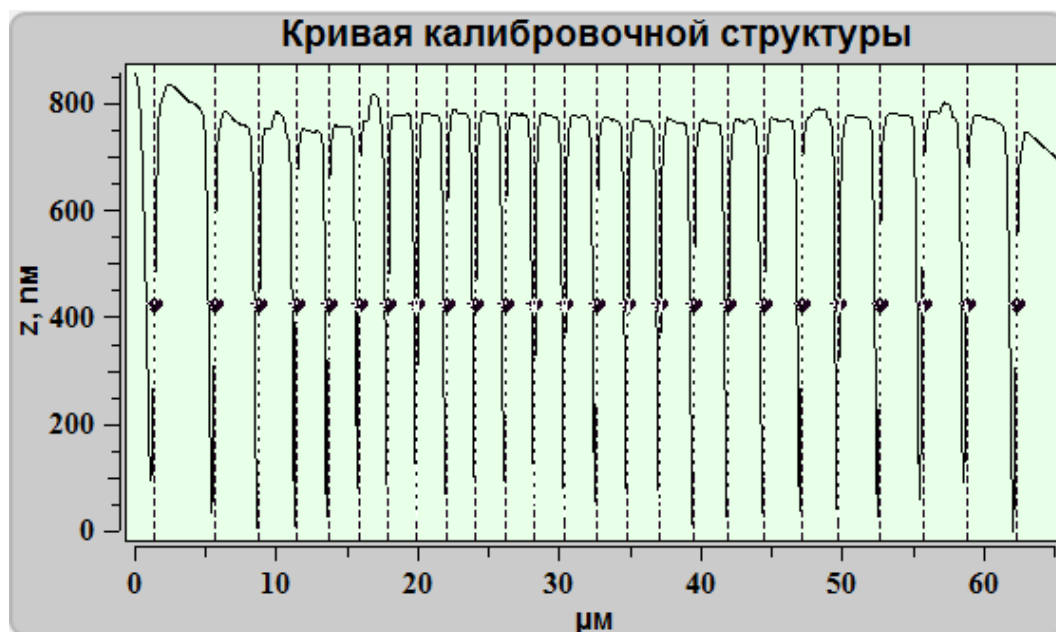


Рис. 5.5 Кривая с калибровочной структуры после применения фильтров.

При необходимости в случае неправильной автоматической установки маркеров на кривой их можно переместить вручную.

То же самое относится к **Калибровочной кривой**.

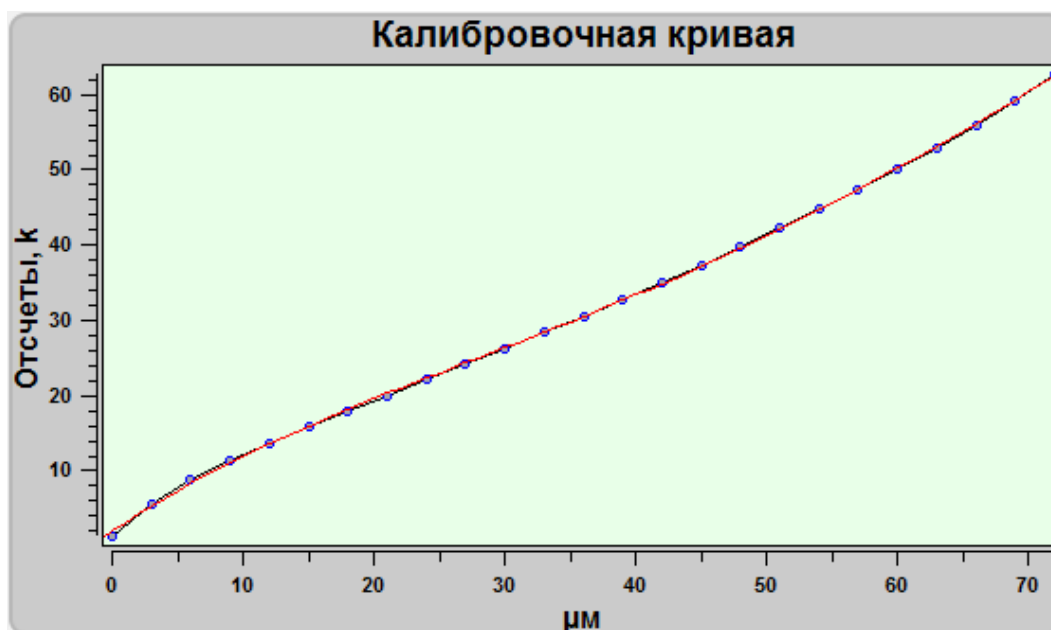


Рис. 5.6 Калибровочная кривая.

После добавления кривой с калибровочной структурой и всех необходимых операций по получению коэффициентов полинома для выравнивания в поле **Коэффициенты** отразятся коэффициенты полинома.

Коэффициенты	
A =	-0.001721
B =	0.353979
C =	-21.3406
D =	1183.33
E =	1950.71

Рис. 5.7 Коэффициенты полинома

После этого необходимо нажать на кнопку **Сохранить в таблицу настроек**



. Коэффициенты полинома по выбранной оси сохранятся в таблице настроек.

Аналогичным образом коэффициенты определяются для других осей и сканеров, и для ёмкостных датчиков.

После получения всех коэффициентов необходимо сохранить настройки нажатием на кнопку **Сохранить калибровочную таблицу в файл** .

5.2. Калибровки объективов

Работа с комплексом Centaur подразумевает возможность использовать различные объективы различных производителей. Т.к. объективы имеют различные характеристики, такие как увеличение, фокусное расстояние и т.д. необходимо проводить настройку для каждого используемого объектива. Настройка объектива включает в себя калибровку по тестовому образцу и совмещение полей сканирования СЗМ с оптическим изображением.

5.2.1. Основные функции панели инструментов настройки

Для настройки или смены профиля объектива необходимо нажать кнопку **Показать настройки** . После нажатия на эту кнопку отобразится панель настроек под объективы **Настройки**.

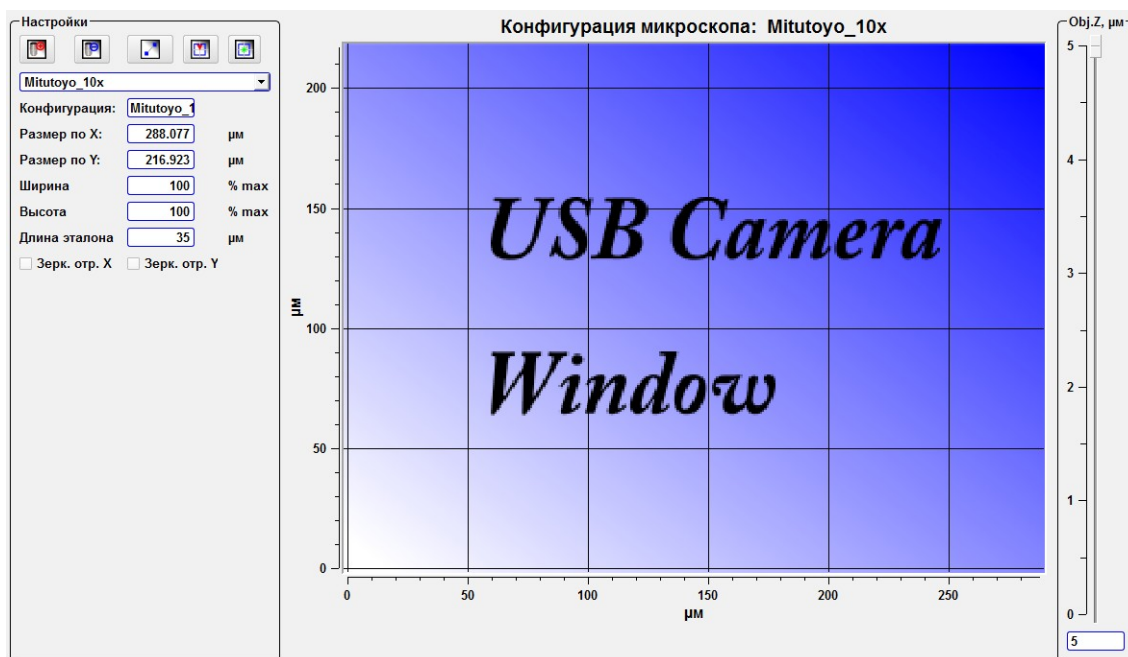


Рис. 5.8 Панель инструментов Настройки. Общий вид.

	Добавить новую конфигурацию объектива	При нажатии на эту кнопку в панели Настройка отображаются поля для добавления новой конфигурации объектива.
	Удалить текущую конфигурацию объектива	При нажатии на эту кнопку удаляется текущая конфигурация объектива.
	Измерить эталон	Инструмент для линейных измерений фиксированной длины. Длина линейки задаётся в поле Длина эталона на панели Инструменты.
	Установить центр поля сканирования зондом.	После нажатия на эту кнопку на изображении отображается поле сканирования зондом. Кликая курсором в нужном месте изображения можно переместить поле сканирования в точку клика.
	Установить центр поля сканирования лазером.	После нажатия на эту кнопку на изображении отображается поле сканирования лазером. Кликая курсором в нужном месте изображения можно переместить поле сканирования в точку клика.

5.2.2. Основные поля панели инструментов настройки

После нажатия на кнопку **Показать настройки**  отображается панель инструментов Настройки.

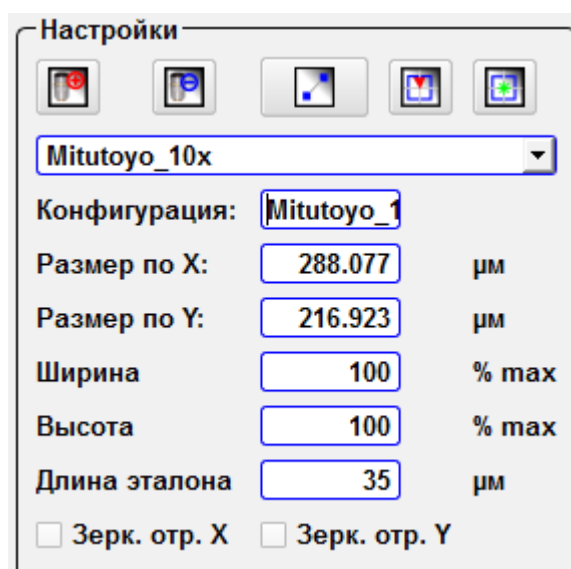


Рис. 5.9 Панель инструментов Настройки

Выпадающий список с перечнем доступных конфигураций.	В выпадающем списке с перечнем доступных конфигураций содержатся все доступные конфигурации объективов.
Конфигурация:	В поле конфигурация отображается текущая конфигурация объектива. В этом же поле задается имя новых конфигураций объективов.
Размер по X:	В этом поле отображается размер изображения по оси X.
Размер по Y:	В этом поле отображается размер изображения по оси Y.
Ширина	В этом поле отображается ширина в % относительно поля зрения матрицы камеры.
Высота	В этом поле отображается высота в % относительно поля зрения матрицы камеры.
Длина эталона	В этом поле задается длина эталонных объектов или размеры структур на тестовых образцах.
Зерк. Отр. X.	Якорь для зеркального отображения изображения по оси X.
Зерк. Отр. Y.	Якорь для зеркального отображения изображения по оси Y.

5.2.3. Калибровка под новый объектив

Для калибровки под новый объектив первоначально необходимо сфокусироваться на поверхности тестового образца или иного эталона. Далее последовательность действий следующая:

- Нажать на кнопку создания новой конфигурации ;
- В поле **Конфигурация** на панели **Настройки** задать имя новой конфигурации объектива;
- В поле **Длина эталона** задать длину или период структур по которым будет проводиться калибровка;
- Используя инструмент **Измерить эталон**  на изображении указать структуру или период линейные размеры которой соответствуют значению в поле **Длина эталона**. Независимо от длины линейки на изображении численно её длина будет составлять заданное значение и все оси будут калиброваться в соответствии с заданной длиной эталона.

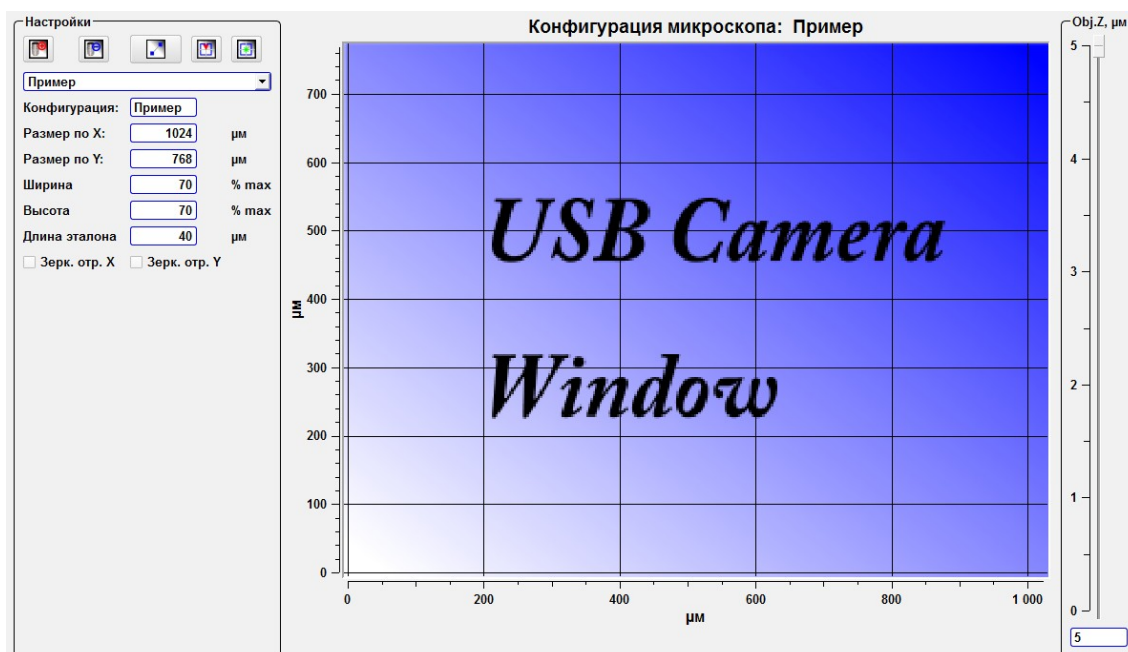


Рис. 5.10 Создание новой конфигурации объектива. Новые значения.

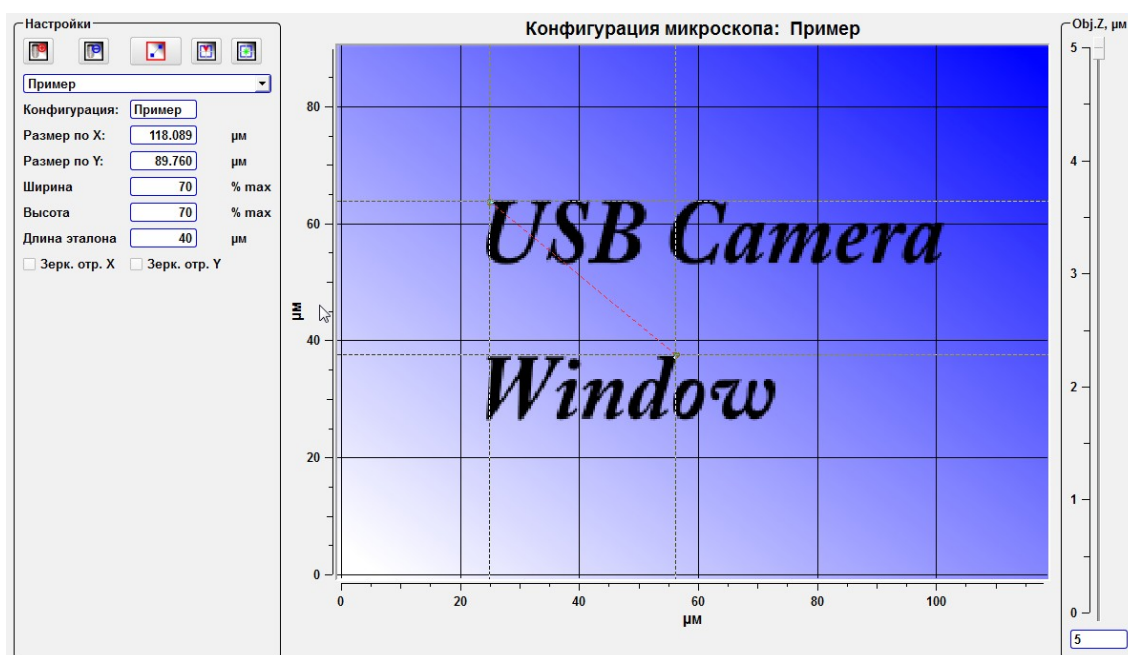


Рис. 5.11 Создание новой конфигурации объектива. Калибровка по изображению.

После установки линейного размера в соответствии с линейными размерами структура на изображении произойдет изменение осей изображения в соответствии с установленными значениями.

5.2.4. Установка полей сканирования

После калибровки изображения и создания нового профиля объектива при необходимости можно провести совмещение и/или установку полей сканирования. Для этого необходимо нажать кнопку **Установить центр поля сканирования зондом**  и кликнув на объекте на оптическом изображении определить местом клика центр поля сканирования. Размеры полей сканирования задаются из ранее установленных размеров полей сканирования.

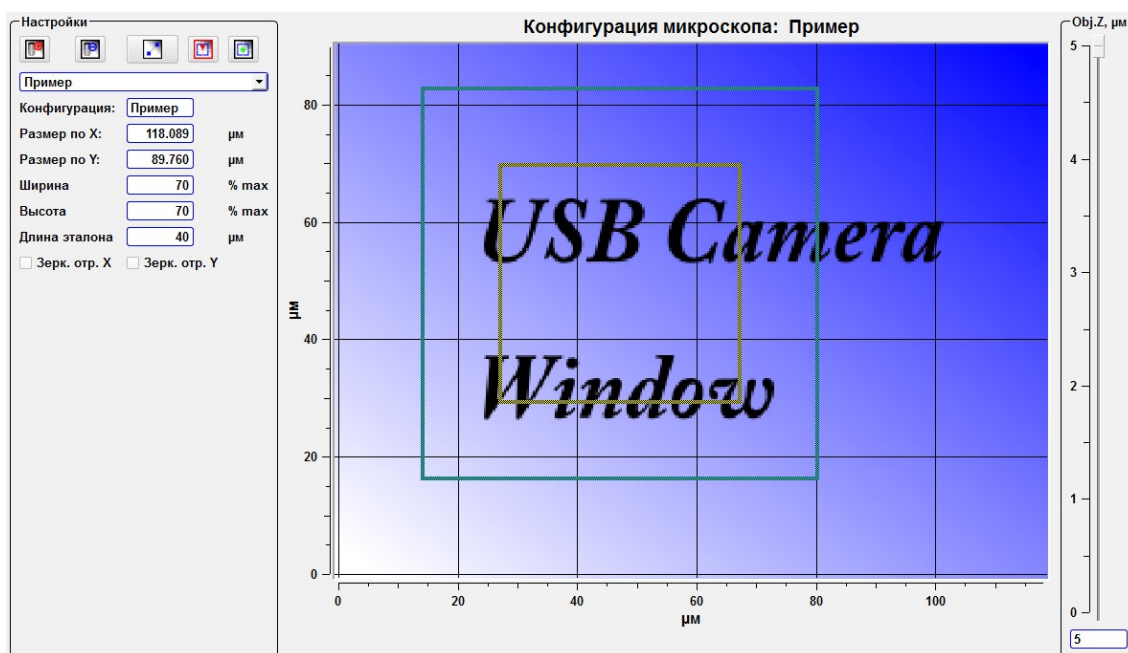


Рис. 5.12 Установка поля сканирования зондом.

Аналогичным образом действует функция **Установить центр поля сканирования лазером** .