



Certus Standard

Сканирующий зондовый микроскоп
с оптическим видеомикроскопом

Руководство пользователя

ООО “Нано Скан Технология”

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 со сканирующим зондовый микроскопом (СЗМ) Certus Standard. Сканирующий зондовый микроскоп Certus Standard представляет собой XYZ сканер, управляемый контроллерами сканирующих зондовых микроскопов серии EG-3000 и программным обеспечением NSpec, и оптический видеомикроскоп.

Перед началом установки и работы с данным прибором 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 в некоторых режимах на сканирующем зондовом микроскопе Certus Standard, используются источники лазерного излучения различной мощности и длины волны.

Перед началом работы с СЗМ Certus Standard 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 СЗМ Certus Standard с внешними источниками лазерного излучения рекомендуем изучить документацию и технику безопасности для используемого источника лазерного излучения.

Меры предосторожности.

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

Модификация и самостоятельное совмещение СЗМ Certus Standard с исследовательским оборудованием.

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

Оглавление	
Введение.....	9
1. Основные сведения.....	10
1.1. Назначение сканирующего зондового микроскопа Certus Standard...10	10
1.2. Общий вид СЗМ Certus Standard.....10	10
1.3. Задачи решаемые на СЗМ Certus Standard.....11	11
1.4. Технические характеристики.....12	12
1.4.1. Основные параметры.....12	12
1.4.2. Размеры исследуемых образцов.....13	13
1.4.3. Лазеры используемые в системе регистрации.....13	13
1.4.4. Размеры СЗМ Certus Standard.....14	14
1.5. Условия эксплуатации.....15	15
1.6. Правила безопасности.....16	16
1.7. Правила хранения и транспортировки.....17	17
1.7.1. Хранение.....17	17
1.7.2. Транспортировка.....17	17
1.8. Описание основных узлов.....18	18
1.8.1. СЗМ головка Certus.....20	20
1.8.2. Контроллер EG-3000.....25	25
1.8.3. Основание микроскопа Certus Standard.....28	28
1.8.4. Видеомикроскоп29	29
1.8.5. Программное обеспечение NSpec.....30	30
2. Принципы работы.....31	31
2.1. Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа.....31	31
2.2. Система перемещения зонда.....34	34
2.2.1. Сканирование.....34	34
2.2.2. Использование пьезоэффекта.....35	35
2.2.3. Неразрывные рычажные системы.....37	37
2.2.4. Датчики положения.....38	38

2.3. Зонды.....	40
2.3.1. <i>Основные параметры зондов.....</i>	<i>40</i>
2.3.2. <i>Общий вид зондов.....</i>	<i>41</i>
2.4. Система регистрации.....	42
2.4.1. <i>Система регистрации на основе дефлектометра.....</i>	<i>42</i>
2.4.2. <i>Система регистрации методом “shear-force”.....</i>	<i>44</i>
2.5. Обратная связь.....	45
2.6. Совмещение оптического и сканирующего зондового.....	47
3. Ввод в эксплуатацию.....	48
3.1. Установка СЗМ Certus Standard.....	48
3.2. Установка вибрационной защиты.....	48
3.3. Установка основания и видеомикроскопа.....	49
3.3.1. <i>Установка стойки.....</i>	<i>50</i>
3.3.2. <i>Установка штанги.....</i>	<i>50</i>
3.3.3. <i>Установка подвижки микроскопа.....</i>	<i>51</i>
3.3.4. <i>Установка видеомикроскопа.....</i>	<i>52</i>
3.4. Установка СЗМ Certus.....	53
3.4.1. <i>Описание СЗМ головки Certus.....</i>	<i>53</i>
3.4.2. <i>Подключение держателя зондов.....</i>	<i>57</i>
3.4.3. <i>Установка на СЗМ Certus на основание.....</i>	<i>59</i>
3.5. Подключение контроллера EG-3000.....	60
3.6. Подключение контроллера к компьютеру.....	61
3.7. Подключение видеочамеры к компьютеру.....	61
3.8. Подключение джойстика.....	61
3.9. Установка и запуск программного обеспечения NSpec.....	62
3.10. Порядок включения/выключения СЗМ Certus Standard.....	63
3.10.1. <i>Порядок включения.....</i>	<i>63</i>
3.10.2. <i>Порядок отключения.....</i>	<i>64</i>
3.11. Основные настройки программы NSpec.....	64

4. Работа со сканирующим зондовым микроскопом Certus Standard.....	68
4.1. Перечень базовых режимов работы.....	68
4.2. Основные операции при работе с СЗМ Certus Standard (методики атомно-силовой микроскопии).....	69
4.3. Настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков.....	70
4.4. Настройка ПИД регулятора.....	71
4.5. Установка зондов.....	72
4.6. Сведения о программе NSpec необходимые для настройки СЗМ Certus Standard.....	75
4.6.1. <i>Панель Режим отображения.....</i>	<i>75</i>
4.6.2. <i>Построение частотной характеристики.....</i>	<i>77</i>
4.6.3. <i>Отображение поля осциллографа.....</i>	<i>78</i>
4.6.4. <i>Построение кривой подвода/отвода.....</i>	<i>79</i>
4.7. Настройка регистрирующей системы.....	80
4.7.1. <i>Наведение лазерного луча на балку кантилевера.....</i>	<i>81</i>
4.7.2. <i>Позиционирование фотодиода.....</i>	<i>83</i>
4.7.3. <i>Поиск максимума отражения лазерного луча от балки.....</i>	<i>84</i>
4.7.4. <i>Совмещение центров лазерного пятна и фотодиода.....</i>	<i>85</i>
4.7.5. <i>Получение резонансной частоты зонда.....</i>	<i>86</i>
4.8. Управление параметрами обратной связи.....	89
4.8.1. <i>Дополнительные параметры сканирования.....</i>	<i>93</i>
4.8.2. <i>Общие рекомендации по настройке параметров обратной связи.....</i>	<i>94</i>
4.8.3. <i>Настройка задающего значения.....</i>	<i>94</i>
4.8.4. <i>Управление положением зонда по оси Z.....</i>	<i>94</i>
4.9. Предварительное позиционирование образца.....	95
4.10. Подвод к поверхности.....	96
4.10.1. <i>Управление шаговыми моторами.....</i>	<i>96</i>
4.10.2. <i>Настройка параметров шаговых моторов.....</i>	<i>98</i>

4.10.3.	<i>Настройки джойстика.....</i>	<i>100</i>
4.10.4.	<i>Подвод зонда к поверхности.....</i>	<i>102</i>
4.10.5.	<i>Выравнивание сканирующей головки.....</i>	<i>102</i>
4.10.6.	<i>Предварительный подвод к поверхности.....</i>	<i>103</i>
4.10.7.	<i>Наклон СЗМ головки.....</i>	<i>103</i>
4.10.8.	<i>Плавный подвод</i>	<i>104</i>
4.10.9.	<i>Грубый подвод зонда к поверхности.....</i>	<i>104</i>
4.10.10.	<i>Операции подвода с помощью джойстика.....</i>	<i>104</i>
4.11.	Позиционирование образца.....	104
4.12.	Общие принципы настройки параметров сканирования.....	105
4.12.1.	<i>Установка основных параметров скана.....</i>	<i>106</i>
4.12.2.	<i>Описание сигналов.....</i>	<i>110</i>
4.12.3.	<i>Многопроходная методика.....</i>	<i>112</i>
4.12.4.	<i>Дополнительные параметры сканирования.....</i>	<i>113</i>
4.12.5.	<i>Подбор параметров сканирования.....</i>	<i>114</i>
4.12.6.	<i>Условия сканирования.....</i>	<i>115</i>
4.13.	Сканирование.....	115
4.14.	Первичная обработка и сохранение результатов.....	117
4.15.	Прецизионное позиционирование.....	117
4.16.	Калибровки сканера.....	118
4.17.	Калибровка сканеров.....	122
4.17.1.	<i>Режим калибровки.....</i>	<i>122</i>
4.17.2.	<i>Калибровки пьезоэлементов.....</i>	<i>123</i>
4.17.3.	<i>Калибровки ёмкостных датчиков.....</i>	<i>123</i>
4.17.4.	<i>Панель инструментов Управление.....</i>	<i>123</i>
4.17.5.	<i>Калибровка.....</i>	<i>126</i>
5.	Использование оптического оборудования с СЗМ Certus Standard.....	129
5.1.	Общие принципы совмещения с оптическим оборудованием.....	129

5.2. Примеры совмещения с оптическим оборудованием.....	130
5.3. Видео — настройка режима отображения изображения с видеокамеры	131
5.4. Базовые функции модуля Видео.....	132
5.5. Калибровка под объективы.....	136
5.5.1. <i>Основные функции панели инструментов настройки.....</i>	<i>136</i>
5.5.2. <i>Основные поля панели инструментов настройки.....</i>	<i>137</i>
5.5.3. <i>Калибровка под новый объектив.....</i>	<i>138</i>
5.5.4. <i>Установка полей сканирования.....</i>	<i>140</i>
5.6. Позиционирование микроскопа.....	140

Введение

В данном руководстве пользователя описан сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) Certus Standard.

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

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

1. Основные сведения

1.1. Назначение сканирующего зондового микроскопа Certus Standard

Certus Standard — специализированный сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ), специально разработанный для работы с оптическим оборудованием для совмещения методик сканирующей зондовой микроскопии и оптической микроскопии и спектроскопии.

В основе СЗМ Certus Standard лежит сканирующая трехкоординатная (XYZ) головка на основе комплекса пьезостеков (пьезокерамических стеков) и неразрывной рычажной системы.

СЗМ Certus Standard 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.

1.2. Общий вид СЗМ Certus Standard



Рис. 1.1 Общий вид СЗМ Certus Standard.



1.3. Задачи решаемые на СЗМ Certus Standard

СЗМ Certus Standard позволяет решать следующие задачи:

- получать СЗМ изображения поверхности исследуемых образцов;
- 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;
- получать оптические микроскопические изображения в отраженном свете;
- проводить точное позиционирование зонда СЗМ при использовании для визуализации оптического микроскопа.

Общий список задач, решаемых посредством СЗМ Certus Standard, определяется используемыми методиками.

1.4. Технические характеристики

1.4.1. Основные параметры

Основные параметры		
1	СЗМ головка	
1.1	Встроенный XYZ сканер	
1.1.1	Поле зрения СЗМ (диапазон сканирования)	100x100x15 μм
1.1.2	Резонансные частоты XY	1 кГц
1.1.3	Резонансные частоты Z	7 кГц
1.1.4	СЗМ пространственное разрешение (XY, латеральное)	<1 нм
1.1.5	СЗМ пространственное разрешение (Z, вертикальное)	<0.1 нм
1.1.6	Остаточная нелинейность	<0.3%
1.1.7	Минимальный шаг сканирования	0.1 нм
1.2	Датчики перемещения	
1.2.1	Тип датчиков	Ёмкостные
1.2.2	Принцип измерения	Время-цифровые преобразования
1.3	Материал сканера	
		Алюминиевый сплав
1.4	Система подвода сканирующей головки	
1.4.1	Минимальный шаг	1 μм
1.4.2	Реализация системы подвода сканирующей головки	Шаговые двигатели
1.4.3	Число шаговых двигателей	3
1.5	Позиционирование образца	
1.5.1	Диапазон “грубого” позиционирования образца	5x5 мм
1.5.2	Реализация системы “грубого” позиционирования	Микровинты
1.5.3	Точность позиционирования	~5 μм
2	Оптический микроскоп	
2.1	Реализация визуализации	
		Цифровой видеомикроскоп
2.2	Регулировка увеличения	
		Ручная
2.3	Диапазон точной настройки	
		5 мм
2.4	Регистрация видеоизображения	
		Цветная цифровая видеокамера
2.5	Подсветка	
		Волоконный осветитель
2.6	Оптические параметры видеосистемы	
2.6.1	Числовая апертура	0.3
2.6.2	Диагональ матрицы камеры	1/3”
2.6.3	Разрешение матрицы камеры, px	1280x1024

2.6.4	Увеличение	85x/1050x
2.6.5	Поле зрения	4.50/0.37 мм
2.6.6	Интерфейс	USB

1.4.2. 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 на образец	Не ограничены.

1.4.3. Лазеры используемые в системе регистрации

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

1.4.4. Размеры СЗМ Certus Standard

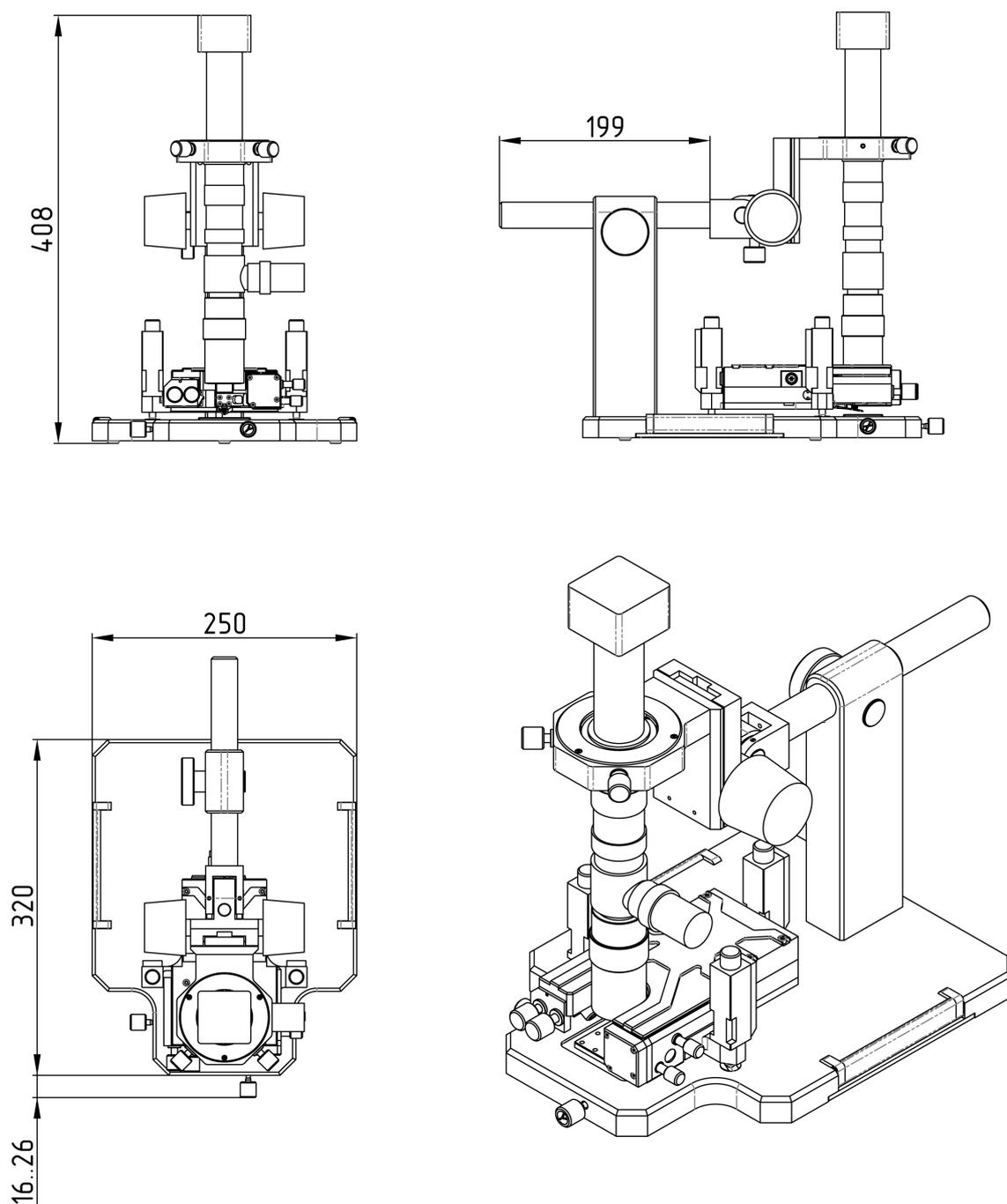


Рис. 1.2 Размеры СЗМ Certus Standard

1.5. Условия эксплуатации

Сканирующий зондовый микроскоп Certus Standard представляет собой сложный, высокоточный исследовательский прибор. Для обеспечения нормальной работы прибора рекомендуется соблюдать следующие условия эксплуатации и размещения:

1	Температура	
1.1	Общий допустимый диапазон рабочих температур	10÷50°C
1.3	Оптимальная рабочая температура	22±3°C
*При поставке СЗМ Certus Standard 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
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	Общие рекомендации	
8.1	На работу и качество полученных результатов влияют тепловые потоки в помещении, частые и резкие изменения температуры и влажности.	
8.2	Шумовой фон могут создавать работающие компрессоры, тяги, ламинарные боксы, системы охлаждения приборов и подобные источники периодических или случайных шумов.	
8.3	Рекомендуется размещать СЗМ головку Certus на максимально возможное расстояние от компьютеров, мониторов и периферических устройств.	
8.4	Избегать сильных механических воздействий на СЗМ Certus, так как это может привести к выходу из строя механики и управляющей электроники прибора.	

1.6. 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 Технология”, сертифицированными специалистами, по согласованию с компанией “Нано Скан Технология”
1.5	Подключение дополнительных устройств	Только по согласованию с компанией “Нано Скан Технология”.
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 изображённом на рис. 1.2.
2.2	Внешние источники	В соответствии с маркировкой на внешних источниках лазерного излучения

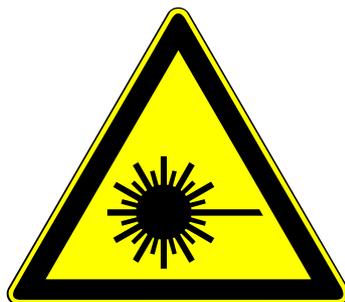


Рис. 1.3 Предупреждающий ярлык на источниках лазерного излучения.



1.7. Правила хранения и транспортировки

1.7.1. 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%

1.7.2. Транспортировка

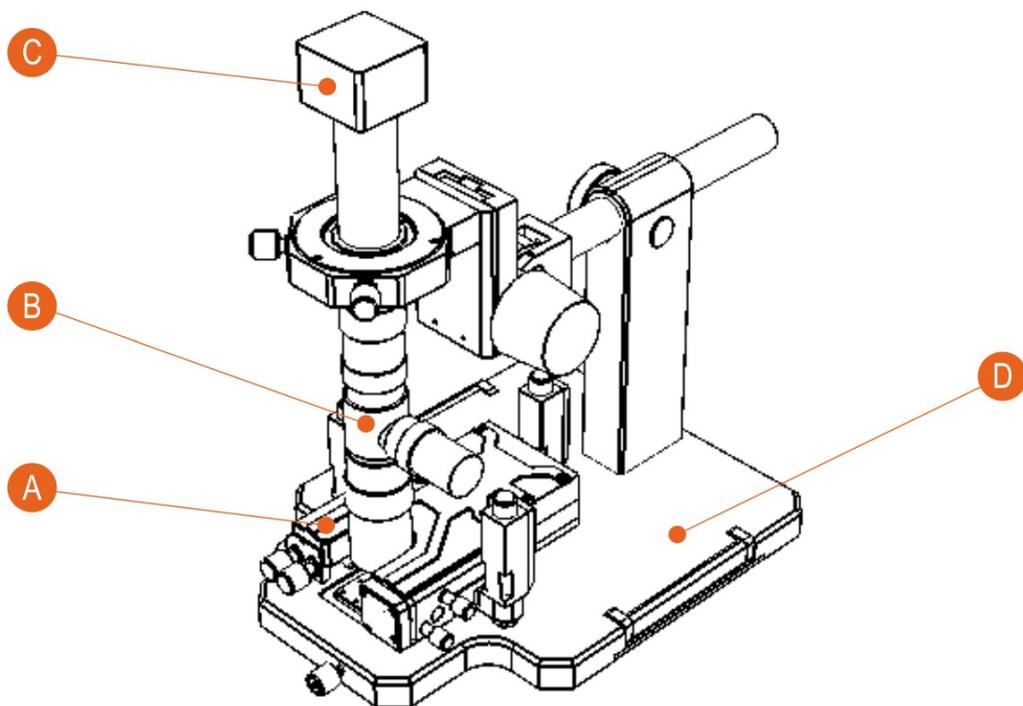
При транспортировке прибор должен быть упакован в оригинальную упаковку, либо в любой другой упаковке, исключающей повреждения при транспортировке.

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

1.8. Описание основных узлов

В состав сканирующего зондового микроскопа Certus Standard входят:

- СЗМ головка Certus;
- Оптический видеомикроскоп с подсветкой и видеокамерой;
- Основание с механической подвижкой для позиционирования образцов и оптического видеомикроскопа;
- Контроллер EG-3000;
- Программное обеспечение NSpec.



A	Сканирующая головка Certus
B	Оптический микроскоп
C	Цифровая видеокамера
D	Основание с механической подвижкой для позиционирования образцов и оптического видеомикроскопа;

Рис. 1.4 Основные модули СЗМ Certus Standard.



A	Сканирующая головка Certus
B	Основание с механической подвижкой для позиционирования образцов и оптического видеомикроскопа;
C	Оптический микроскоп
D	Цифровая видеокамера
E	Устройство подсветки
F	Вибрационная защита (в базовой комплектации — гранитная плита)

Рис. 1.5 Общий вид СЗМ Certus Standard

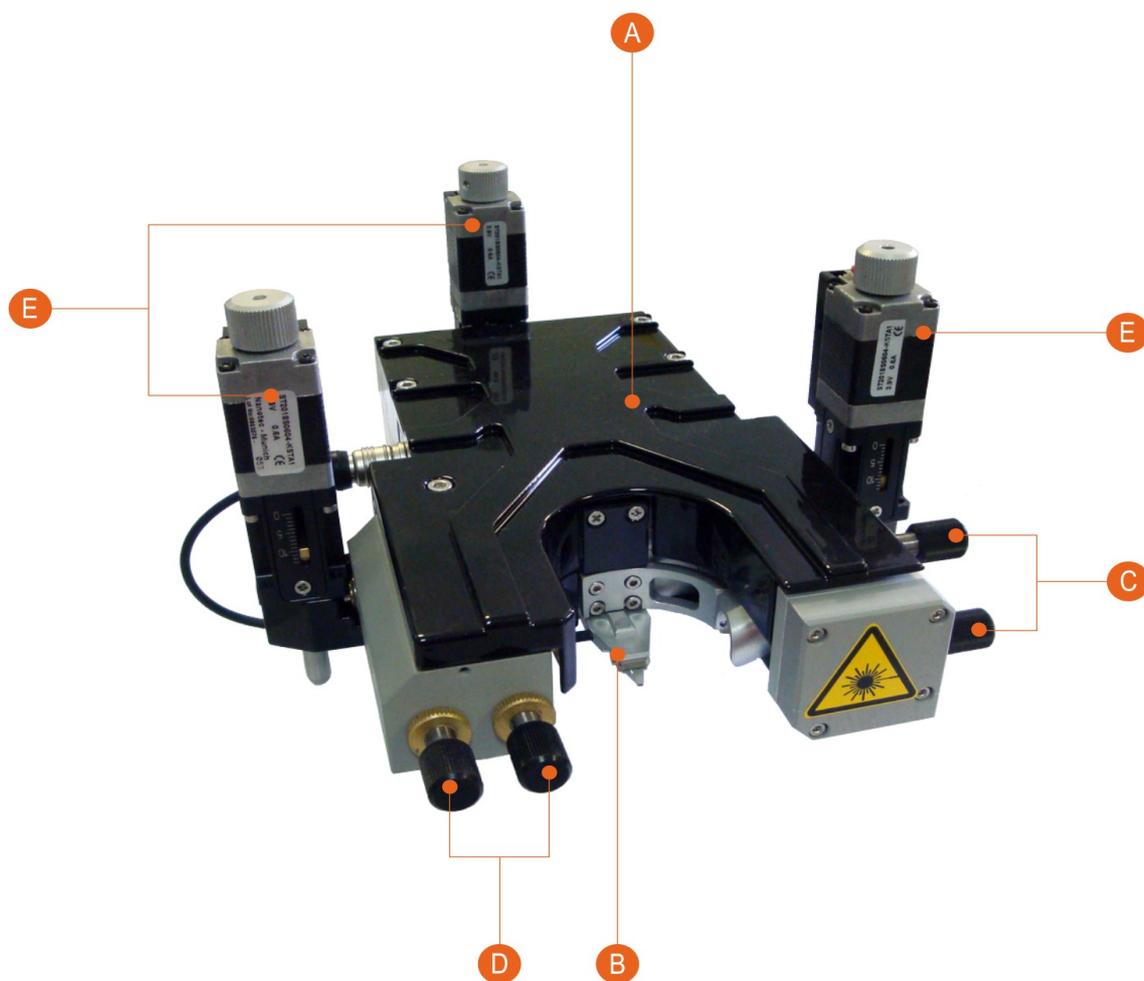
1.8.1. СЗМ головка Certus

Основой сканирующего зондового микроскопа Certus Standard является сканирующая головка нового поколения. Основными отличительными чертами СЗМ 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. 1.6 Сканирующая головка C3M 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 горизонтальным расположением. По требованию заказчиков могут быть разработаны крепление практически под любые оригинальные зонды.

Уникальный "открытый дизайн" СЗМ **Certus** 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 головкой **Certus** осуществляется с помощью универсального контроллера **EG-3000** и программного обеспечения **NSpec**.

Основные параметры		
1	СЗМ головка	
1.1	Встроенный XYZ сканер	
1.1.1	Поле зрения СЗМ (диапазон сканирования)	100x100x15 μm
1.1.2	Резонансные частоты XY	1 кГц
1.1.3	Резонансные частоты Z	7 кГц
1.1.4	СЗМ пространственное разрешение (XY, латеральное)	<1 нм
1.1.5	СЗМ пространственное разрешение (Z, вертикальное)	<0.1 нм
1.1.6	Остаточная нелинейность	<0.3%
1.1.7	Минимальный шаг сканирования	0.1 нм
1.2	Датчики перемещения	
1.2.1	Тип датчиков	Ёмкостные
1.2.2	Принцип измерения	Время-цифровые преобразования

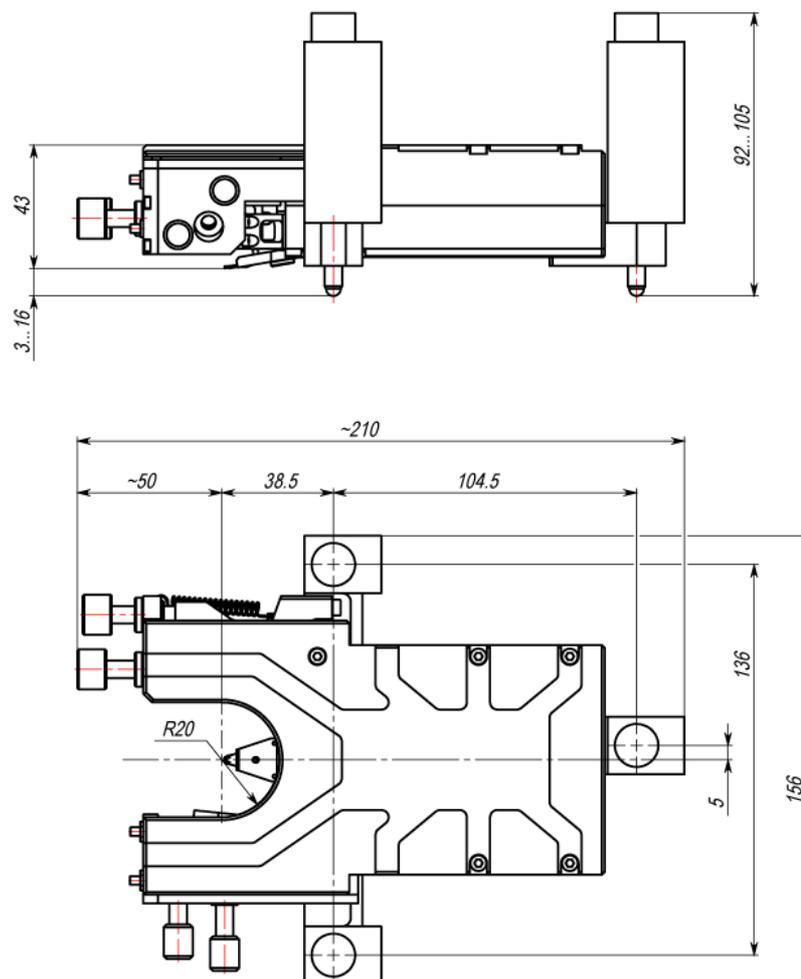


Рис. 1.7 Размеры сканирующей головки СЗМ Certus.

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*	
1.1.1	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

1.8.2. 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. 1.8 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 детекти-

рование 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.

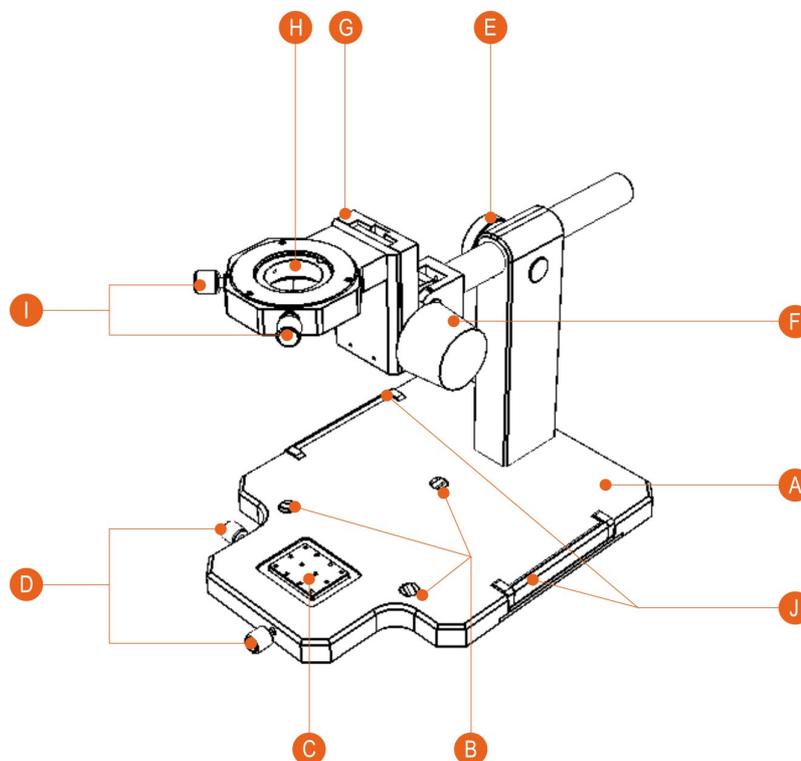
В приборе имеются дополнительные аналоговые входы и выходы для подключения внешних устройств, а также входы и выходы синхронизации. Связь с управляющим компьютером осуществляется с помощью интерфейса USB. Контроллер управляется специализированным программным обеспечением NSpec.

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

1	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

1.8.3. Основание микроскопа Certus Standard

Основание микроскопа Certus Standard предназначено для установки СЗМ головки Certus, позиционирования образцов и установки и позиционирования оптического микроскопа.



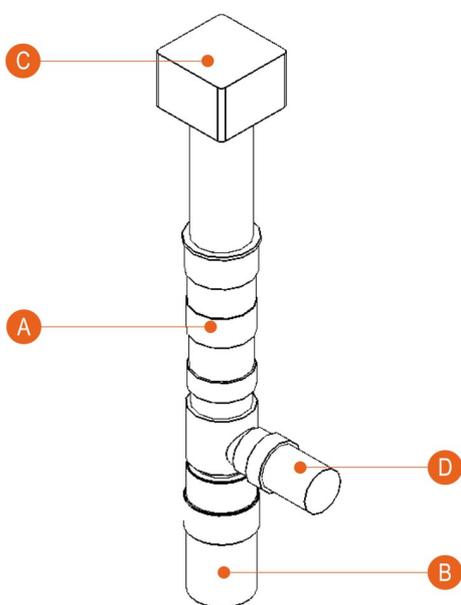
A	Основание
B	Установочные места для СЗМ головки Certus
C	Платформа для установки и крепления образцов
D	Винты для позиционирования образцов
E	Ручка крепления и позиционирования штанги микроскопа
F	Ручка крепления и позиционирования микроскопа по вертикали
G	Откидное крепление для микроскопа
H	Крепление микроскопа
I	Винты для позиционирования микроскопа в плоскости
J	Выдвижные ручки для перемещения основания

Рис. 1.9 Основание СЗМ Certus Standard.

1.8.4. Видеомикроскоп

Оптический микроскоп с цифровой видеокамерой используется для получения увеличенных изображений участков объектов исследования и фиксации этих изображений, позиционирования зонда СЗМ относительно поверхности образца.

1	Оптический микроскоп	
1.1	Реализация визуализации	Цифровой видеомикроскоп
1.2	Регулировка увеличения	Ручная
1.3	Диапазон точной настройки	5 мм
1.4	Регистрация видеоизображения	Цветная цифровая видеокамера
1.5	Подсветка	Волоконный осветитель
1.6	Оптические параметры видеосистемы	
1.6.1	Числовая апертура	0.3
1.6.2	Диагональ матрицы камеры	1/3"
1.6.3	Разрешение матрицы камеры, px	1280x1024
1.6.4	Увеличение	85x/1050x
1.6.5	Поле зрения	4.50/0.37 мм
1.6.6	Интерфейс	USB



A	Микроскоп
B	Объектив
C	Видеокамера с ПЗС-матрицей
D	Боковой порт для подсветки

Рис. 1.10 Видеомикроскоп.

1.8.5. Программное обеспечение NSpec

Программное обеспечение NSpec предназначено для работы со сканирующим зондовым микроскопом Certus Standard.

Основные функции:

- настройка параметров СЗМ;
- настройка параметров оптической системы;
- настройка параметров сканирования и 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. Для обработки спектральных данных так же рекомендуется использовать специализированные программы, такие как GRAMS. Для облегчения передачи данных в другие приложения программа NSpec снабжена фильтрами импорта/экспорта в форматы ASCII, gwy (gwyddion), spc (GRAMS).

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.

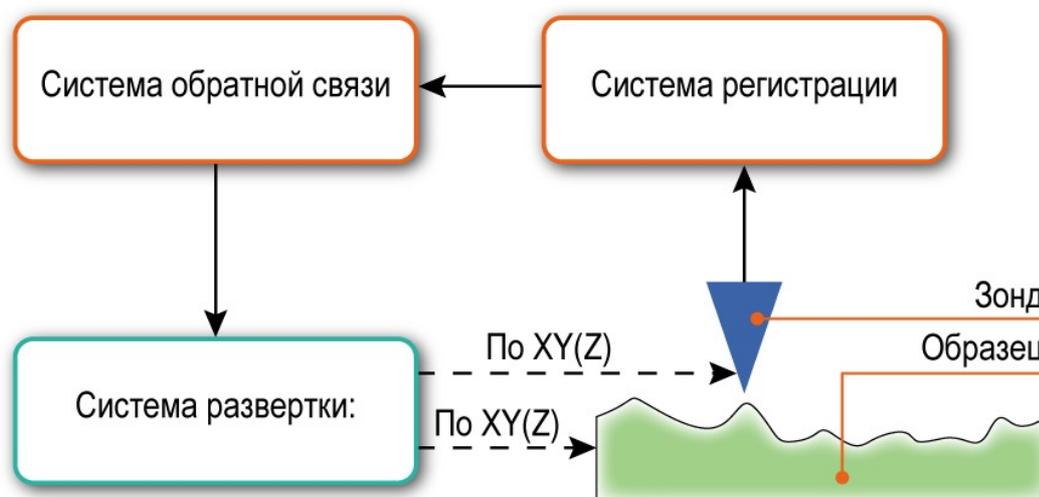


Рис. 2.1 Принципиальное устройство сканирующего зондового микроскопа.

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 в плоскости 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.

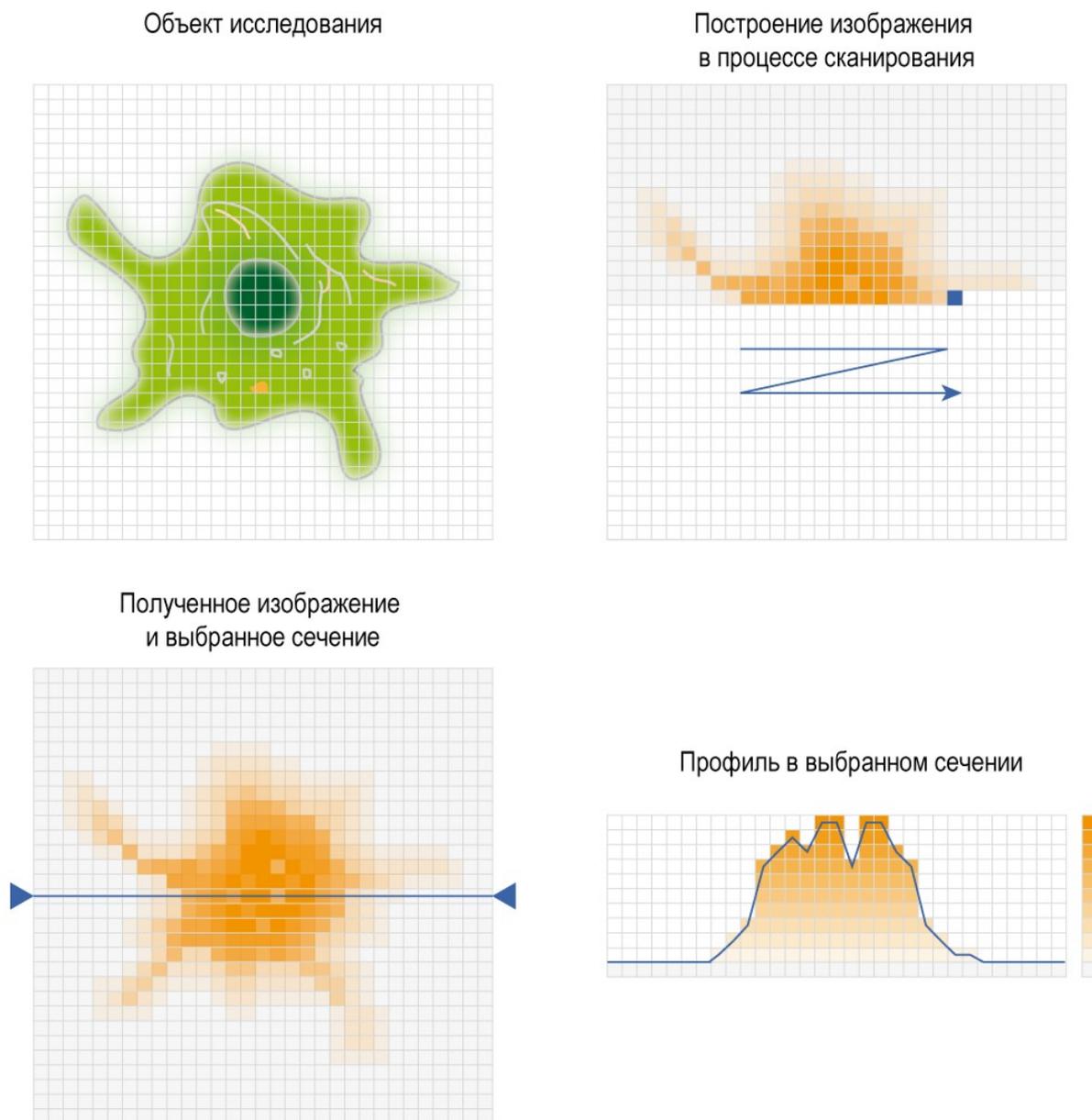


Рис. 2.2 Общий принцип построения изображений сканирующим зондовым микроскопом.

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



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 раstra 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.

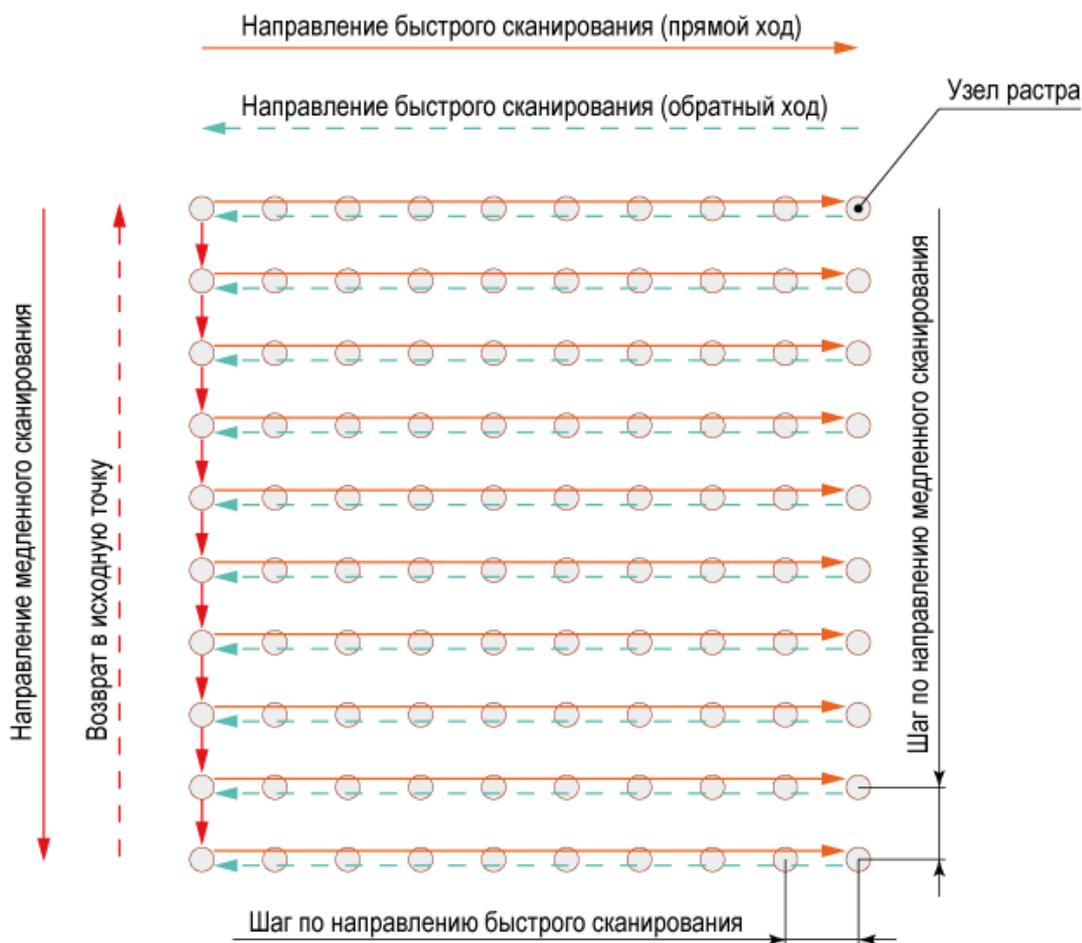


Рис. 2.3 Иллюстрация процесса сканирования.

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. 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 приложении 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 поляризацией в сильном магнитном поле. Соответственно, при приложении электрического поля к такой керамике происходит изменение её размеров.

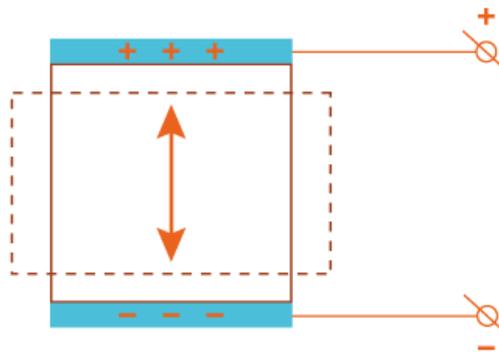


Рис. 2.4 Схематическое изображение обратного пьезоэффекта.

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).

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.

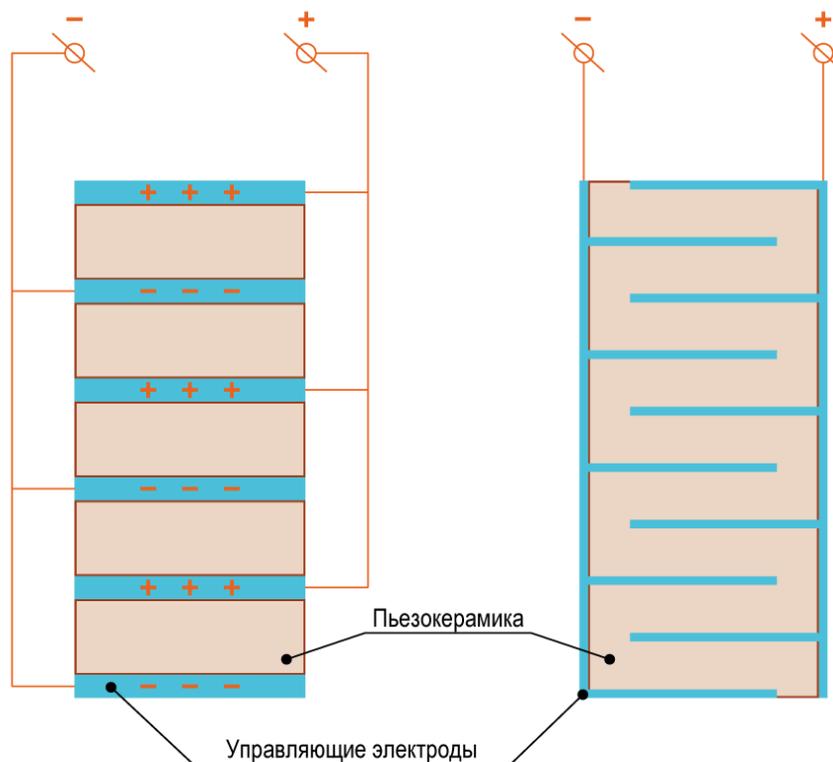


Рис. 2.5 Схематическое изображение многослойного пьезоэлектрического актюатора (пьезостека).



2.2.3. Нерывные 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.

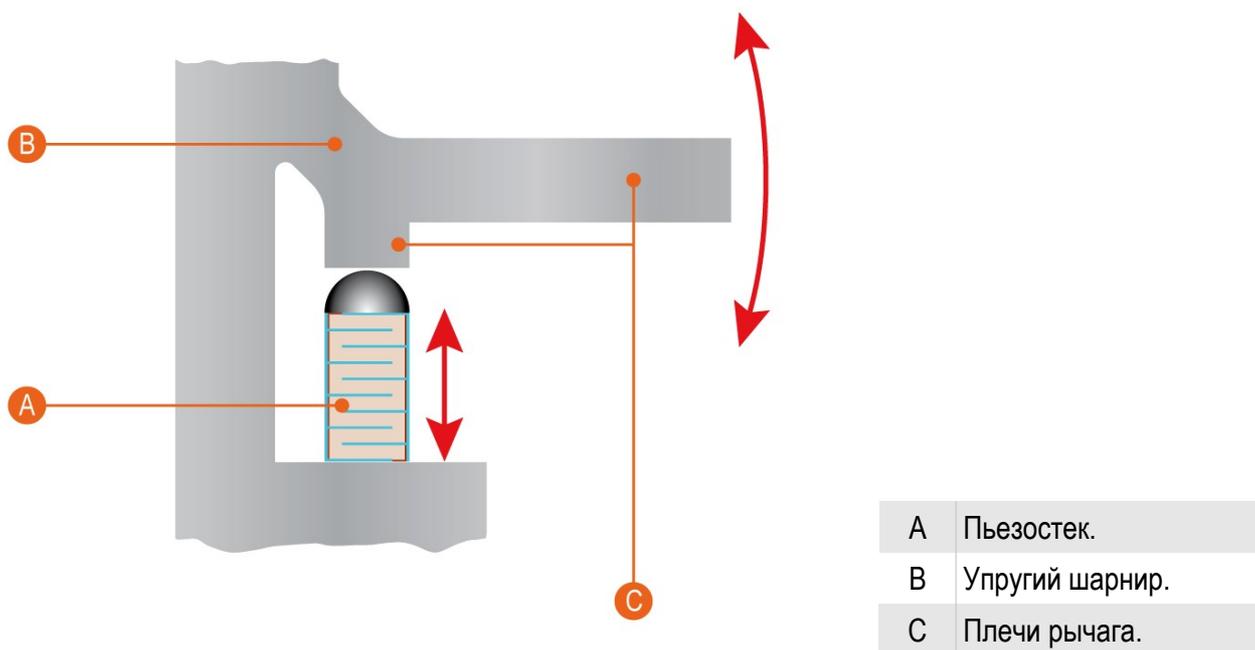


Рис. 2.6 Схематическое изображение принципа действия рычажно-шарнирного элемента.

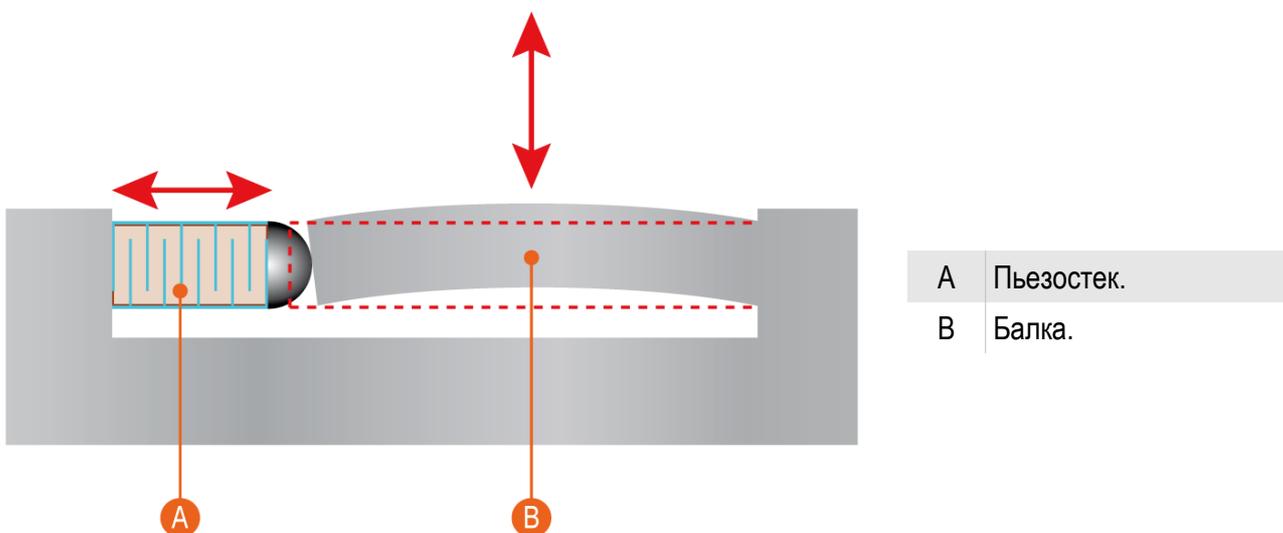


Рис. 2.7 Схематическое изображение принципа действия элемента работающего на изгиб.

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.

2.2.4. 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, гистерезис 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 сканирующей головке СЗМ Certus используются ёмкостные датчики.

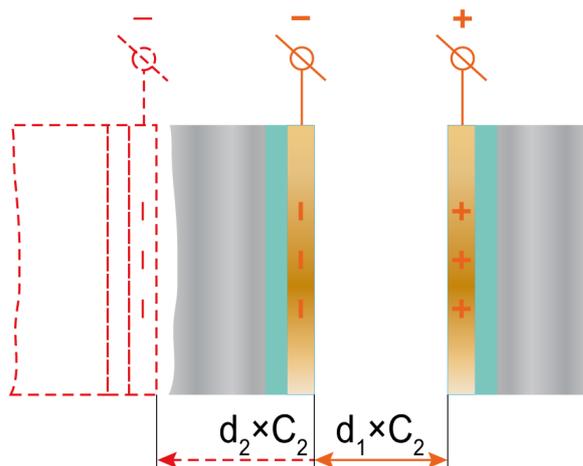


Рис. 2.8 Схематическое изображение принципа действия ёмкостного датчика перемещений.

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

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2.1)$$

C – ёмкость;

S – площадь каждой пластины;

d – расстояние между пластинами;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 – электрическая постоянная.

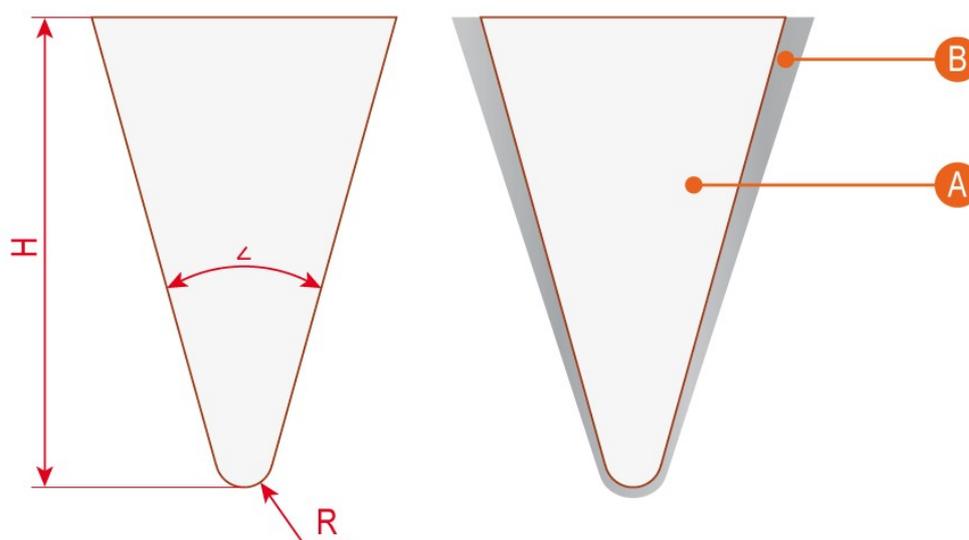
то при изменении расстояния между пластинами меняется ёмкость конденсатора датчика, что позволяет определить смещение по оси.

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, производится зонды специализированной формы (рис. 2.10).

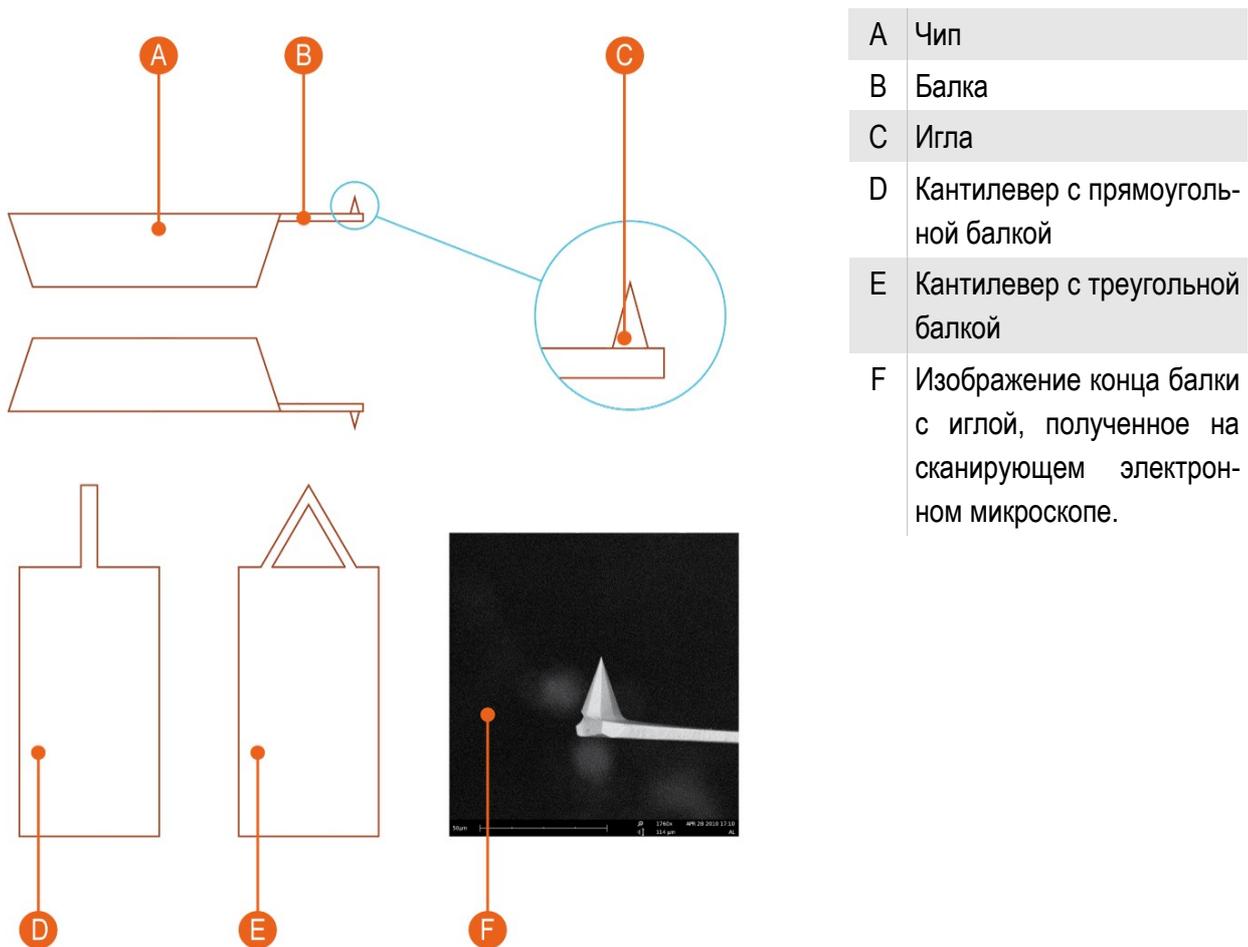


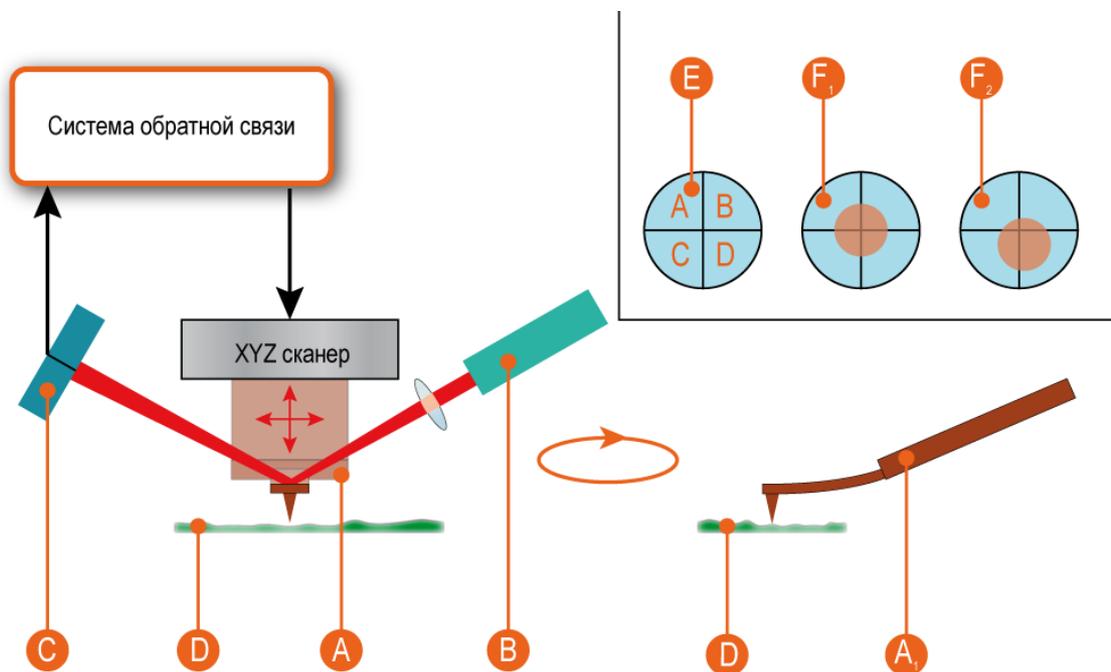
Рис. 2.10 Схематическое изображение игл зондов.

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.

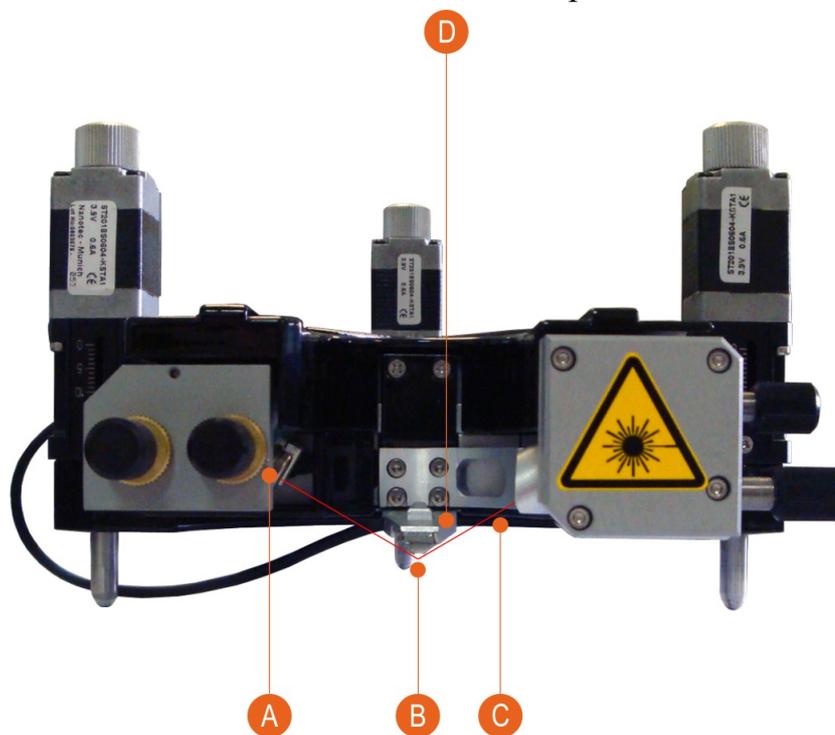
Наиболее распространена система регистрации на основе лазерного дефлектометра.



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.



A	4-х секционный фотодиод.
B	Зонд.
C	Лазер.
D	Держатель зонда и сканер.

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

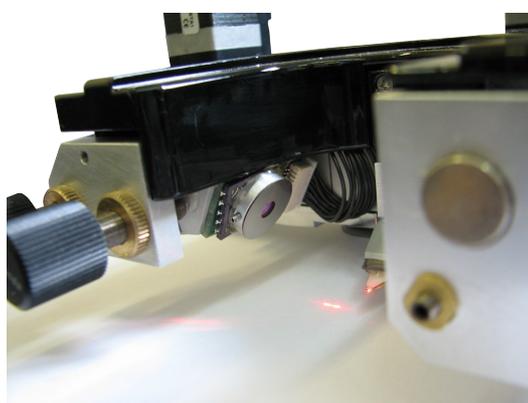
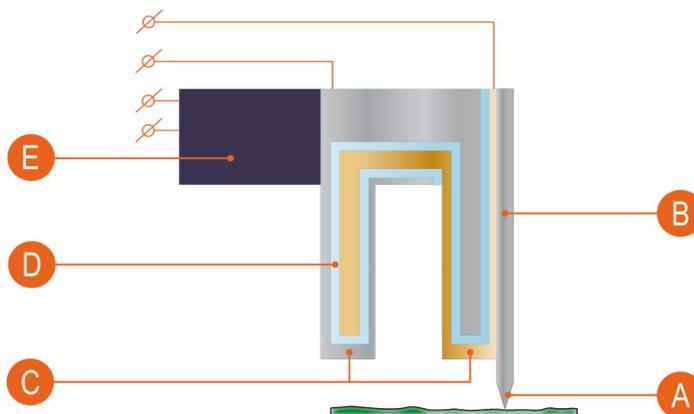


Рис. 2.13 Фотодиод в системе регистрации.

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.

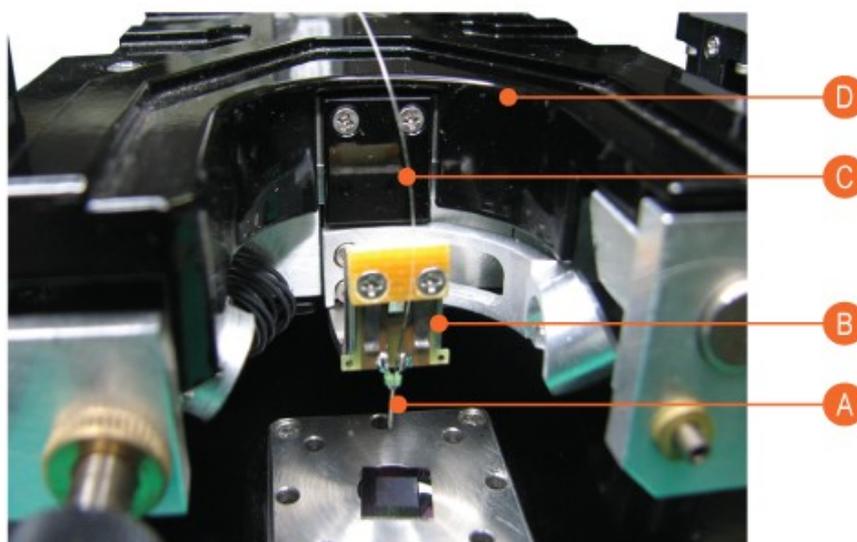


A	Острие иглы.
B	Зонд.
C	Электроды, которые используются для измерения изменения напряжения возникающего на сторонах кристалла кварца (прямой пьезоэлектрический эффект) в результате изменения частоты колебаний при взаимодействии с поверхностью. Информация о изменении напряжения позволяет определить текущую 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.



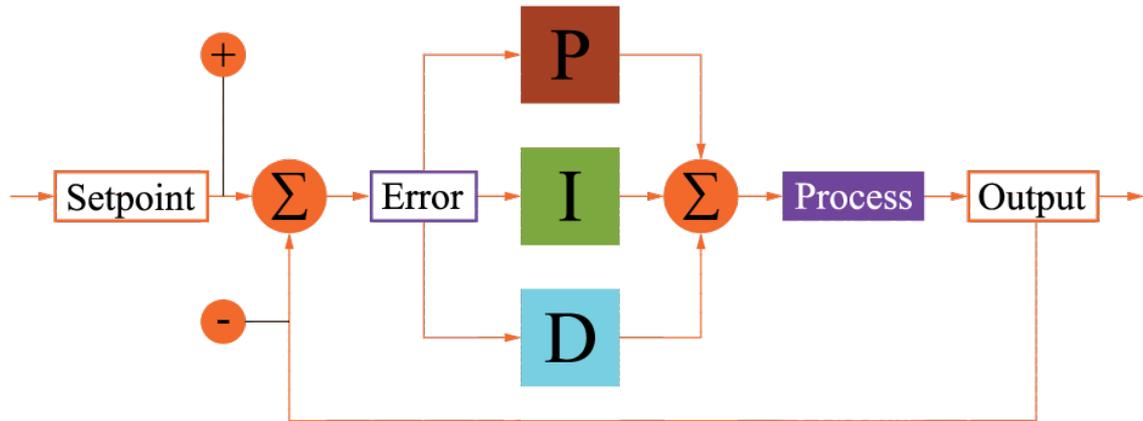
A	Кварцевый камертонный резонатор (tuning-fork) с зондом.
B	Держатель зондов.
C	Оптическое волокно.
D	СЗМ головка Certus

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.



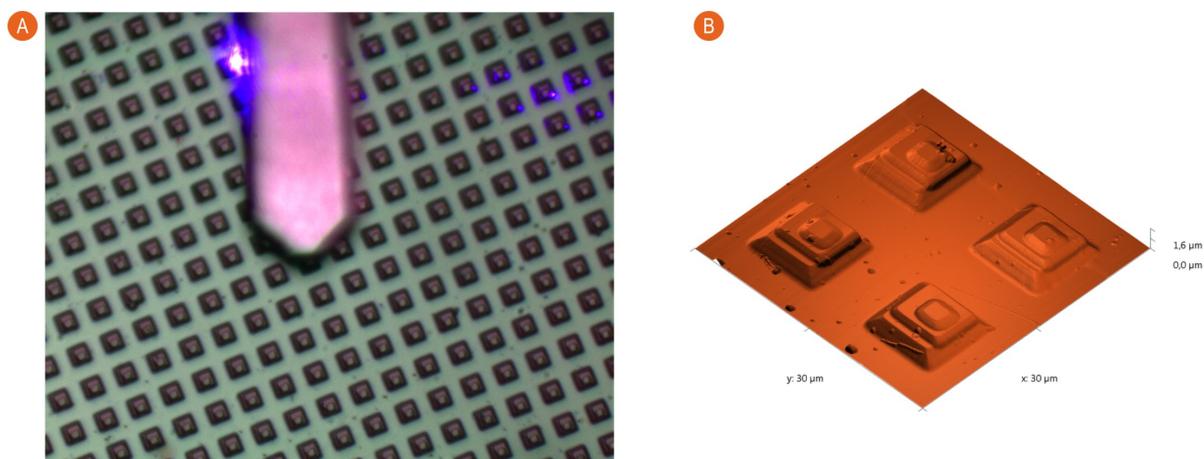
P	По пропорциональной составляющей генерируется сигнал противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения.
I	Интегральная составляющая используется для сглаживания статистических ошибок во входном сигнале.
D	Дифференциальная составляющая необходима для предсказания отклонений регулируемой 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 и сканирующего зондового

К одному из основных недостатков сканирующей зондовой микроскопии относят 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.



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

Рис. 2.17 Реализация на практике идеи совмещения оптического и сканирующего зондового микроскопов.



3. Ввод в эксплуатацию

3.1. Установка СЗМ Certus Standard

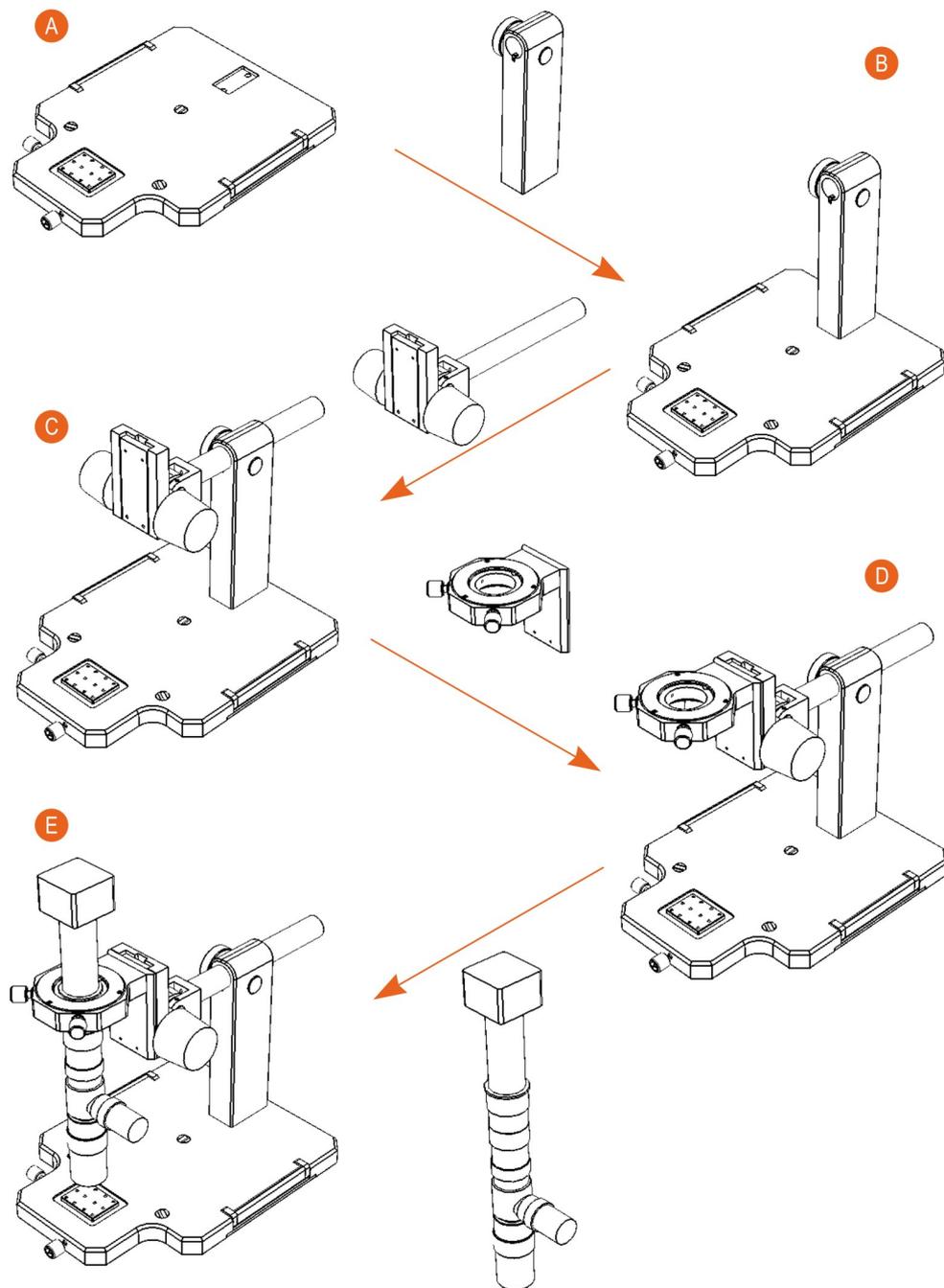
Последовательность ввода в эксплуатацию СЗМ Certus Standard включает в себя следующие стадии.

1	Установка вибрационной защиты
2	Установка основания СЗМ Certus Standard и видеомикроскопа
3	Установка СЗМ Certus
4	Подключение к компьютеру

3.2. Установка вибрационной защиты

В зависимости от выбранной комплектации может быть установлена как пассивная, так и активная вибрационная защита. Она должна быть установлена на выбранное место установки СЗМ Certus Standard перед установкой и подключением микроскопа. В случае использования активной вибрационной защиты необходимо пользоваться инструкцией по установке идущей в комплекте с выбранной моделью.

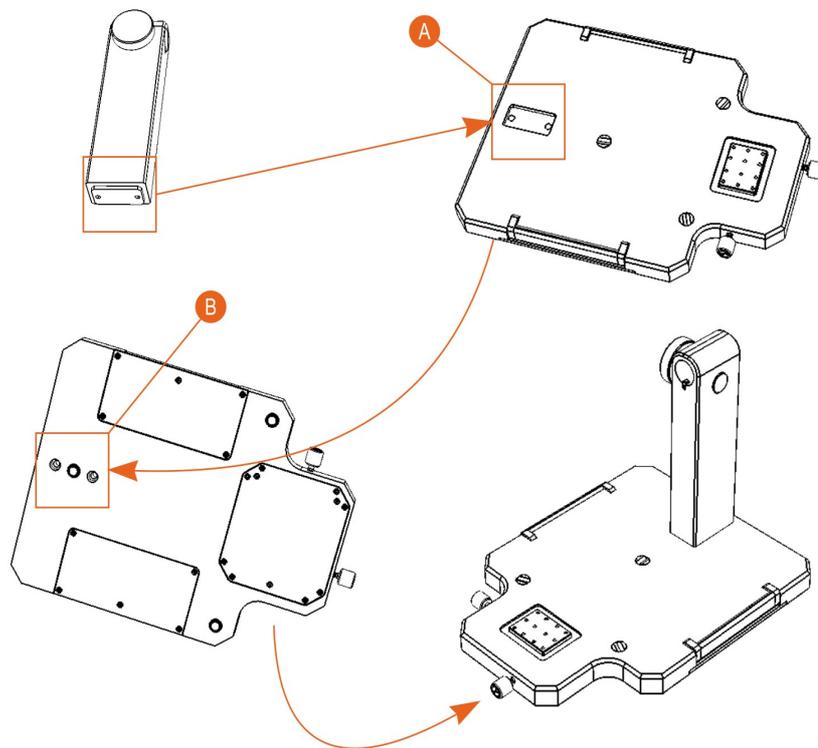
3.3. Установка основания и видеомикроскопа



A	Установка основания
B	Установка стойки
C	Установка штанги
D	Установка подвижки микроскопа
E	Установка видеомикроскопа

Рис. 3.1 Этапы установки основания микроскопа.

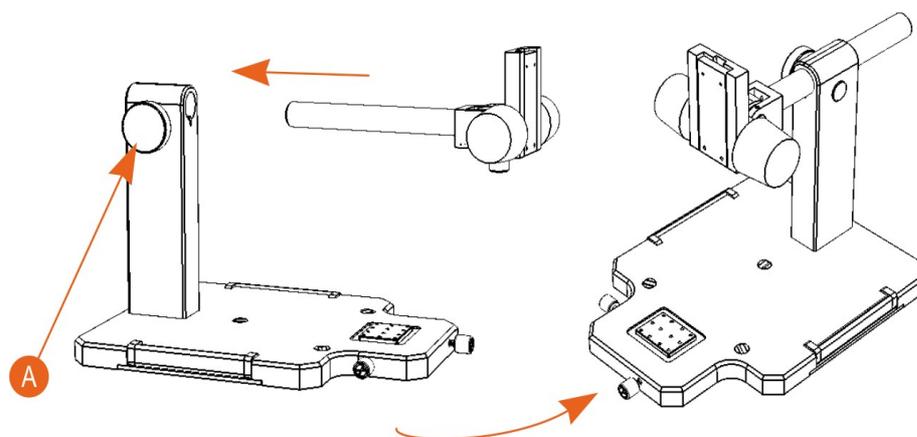
3.3.1. Установка стойки



- | | |
|---|---------------------------------------|
| A | Паз для крепления стойки |
| B | Отверстия для винтов крепления стойки |

Рис. 3.2 Установка стойки на основание.

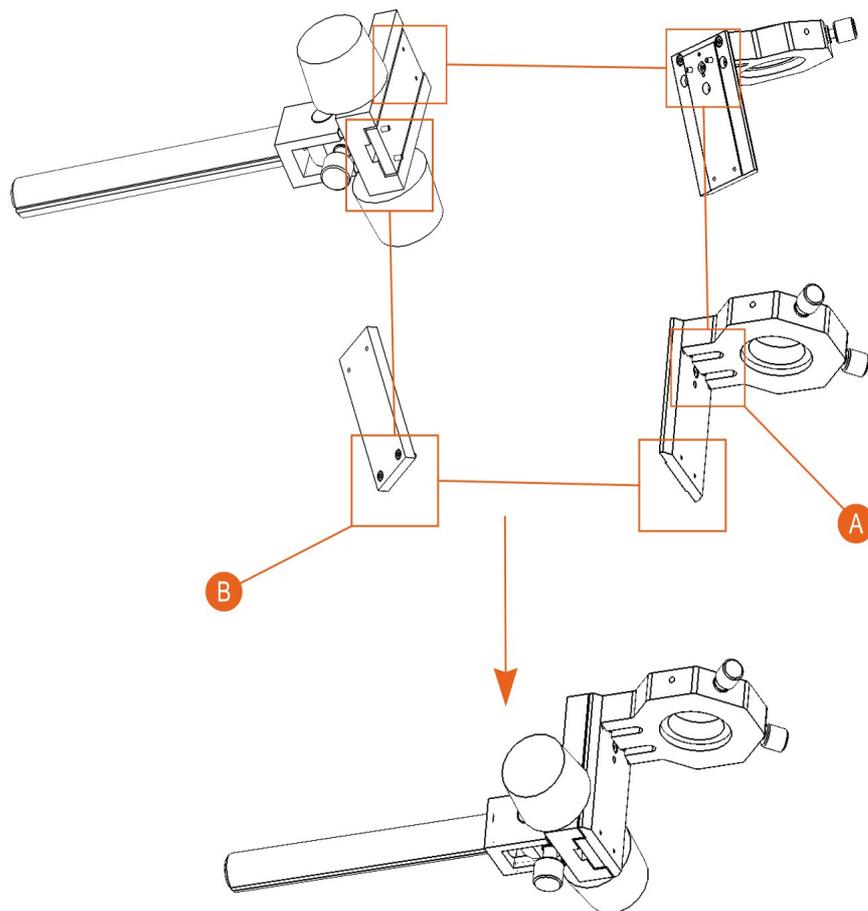
3.3.2. Установка штанги



- | | |
|---|--------------------------|
| A | Винт для фиксации штанги |
|---|--------------------------|

Рис. 3.3 Установка штанги

3.3.3. Установка подвижки микроскопа

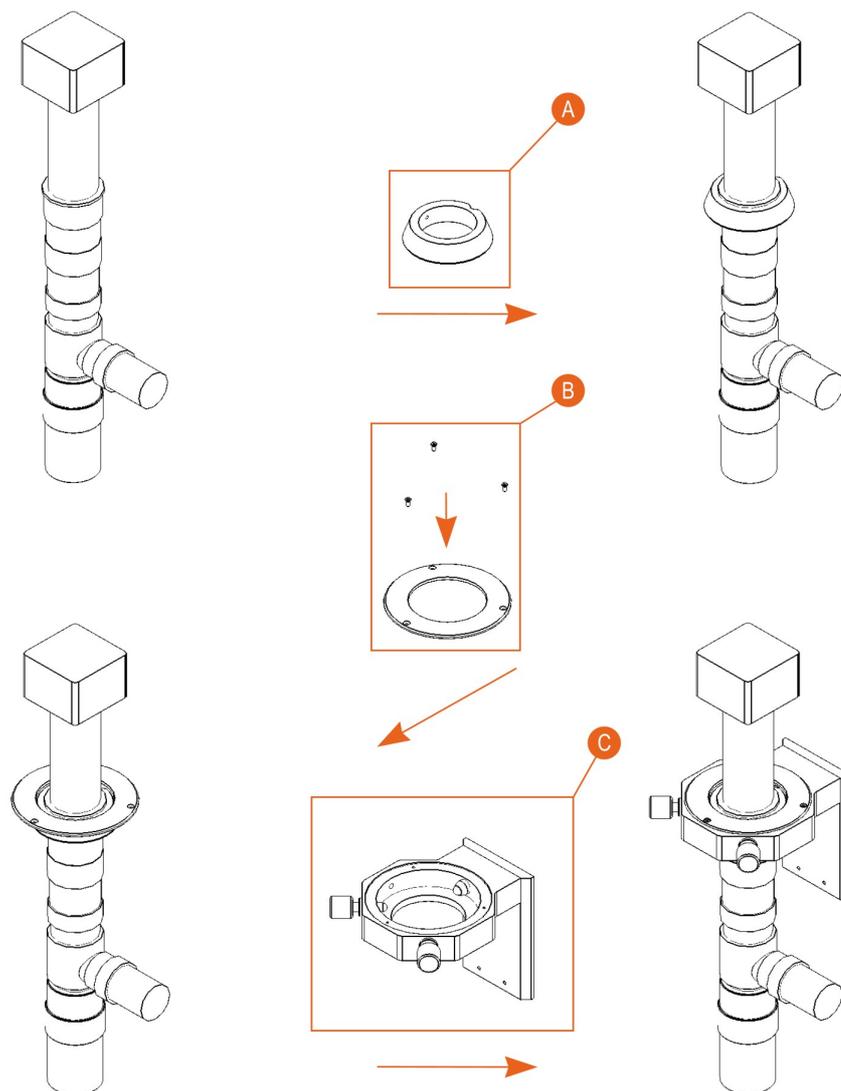


A	Пазы для крепления верхних винтов
B	Пазы для крепления нижних винтов

Рис. 3.4 Установка подвижки микроскопа.

Подвижка микроскопа крепится к штанге на 4 винта. Верхние винты устанавливаются с лицевой стороны подвижки. Нижние с задней стороны подвижки. Для установки нижних винтов необходимо выкрутить подвижку в крайнее нижнее положение.

3.3.4. Установка видеомикроскопа



A	Установка кольца держателя
B	Установка крышки
C	Установка подвижки микроскопа

Рис. 3.5 Установка микроскопа на подвижку для микроскопа.

При установке микроскопа необходимо закрепить кольцо держателя на микроскопе, надеть крышку на кольцо держателя и установить микроскоп с кольцом держателя и крышкой в подвижку микроскопа. Крышка закрепляется на подвижке тремя винтами.

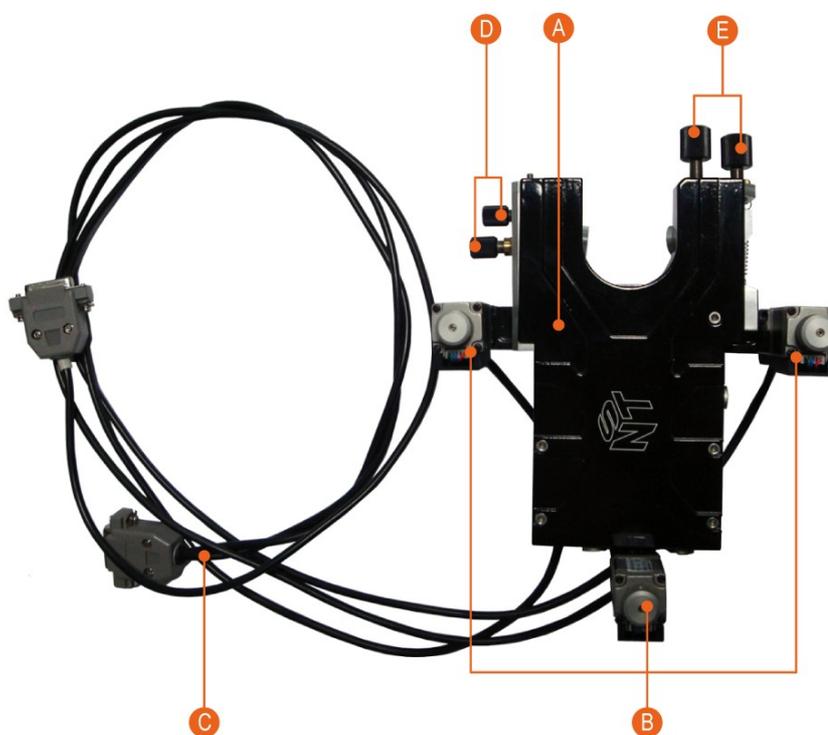
При необходимости к микроскопу подключается устройство для подсветки. При подключении устройства подсветки необходимо пользоваться инструкцией прилагаемой к этому устройству.

3.4. Установка СЗМ Certus

Для установки СЗМ Certus Standard необходимы: сканирующая головка Certus, основание и держатель видеомикроскопа, видеомикроскоп, СЗМ контроллер серии EG-3000, держатель зондов, набор кабелей для подключения; компьютер.

3.4.1. Описание СЗМ головки Certus

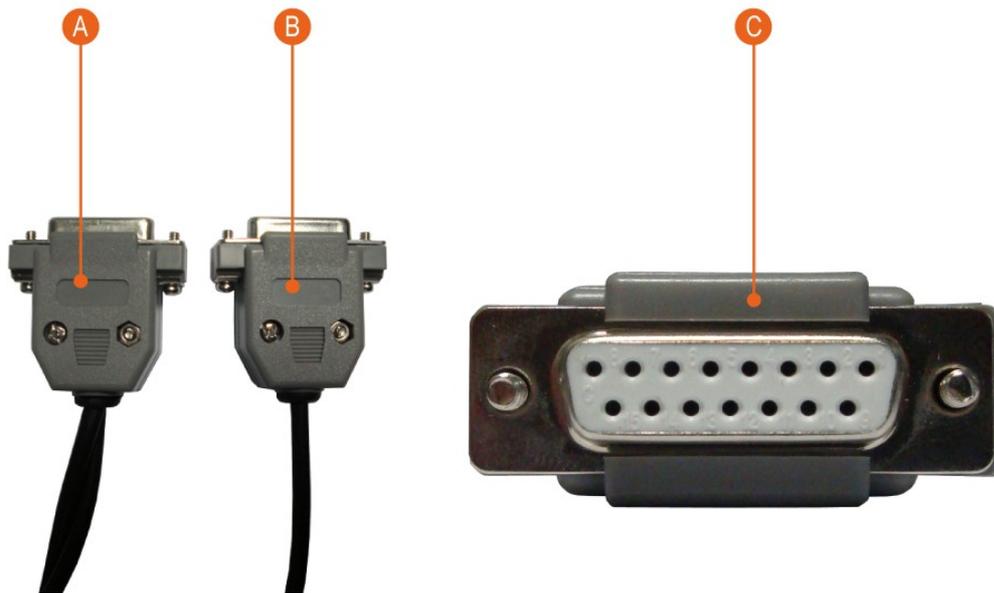
Первоначально необходимо установить на твердую ровную поверхность головку сканирующего зондового микроскопа.



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

Рис. 3.6 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. |

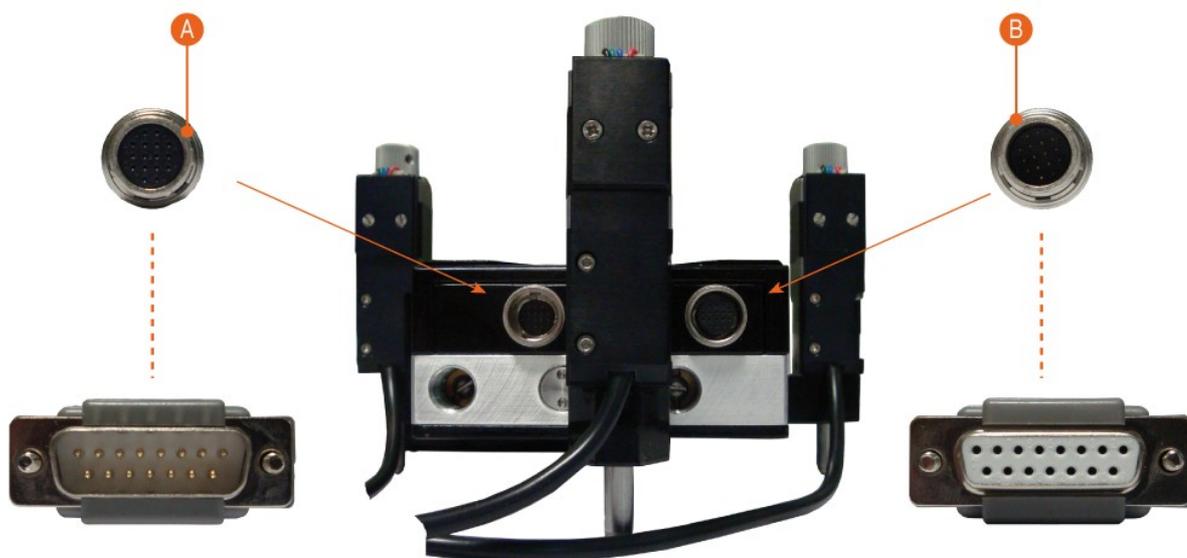
Рис. 3.7 Кабели управления шаговыми моторами.

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



Рис. 3.8 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. 3.9 Схема подключения кабелей к разъемам головки.

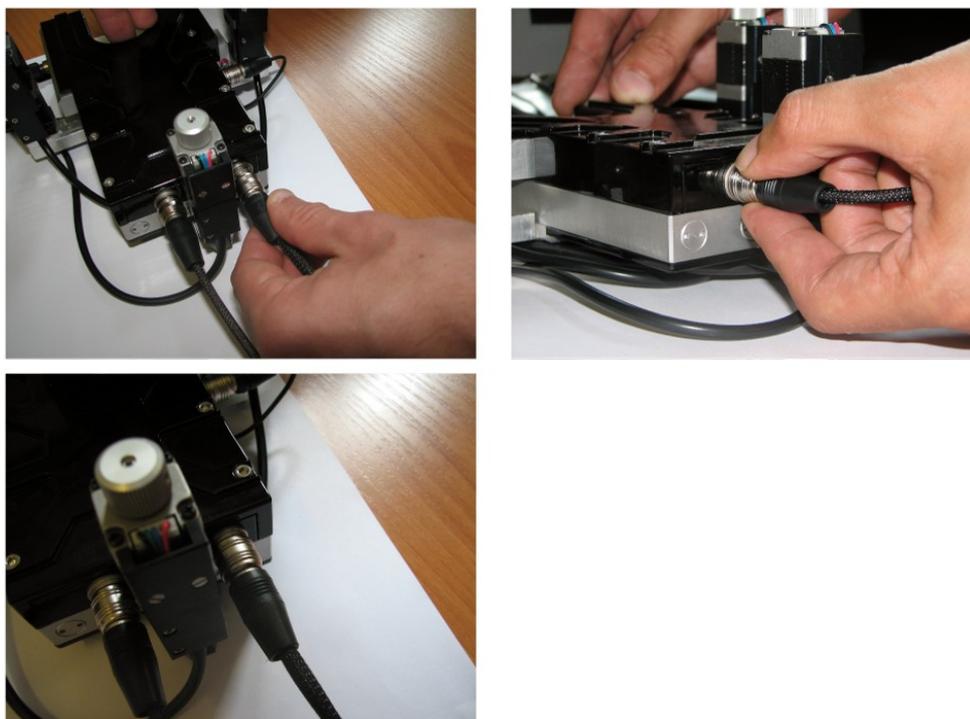


Рис. 3.10 Подключение разъемов и штекеров кабелей к сканирующей головке.

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. 3.11 Общий вид сканирующей головки со всеми кабелями.

На правой стороне головки расположен разъем для подключения держателя зондов.

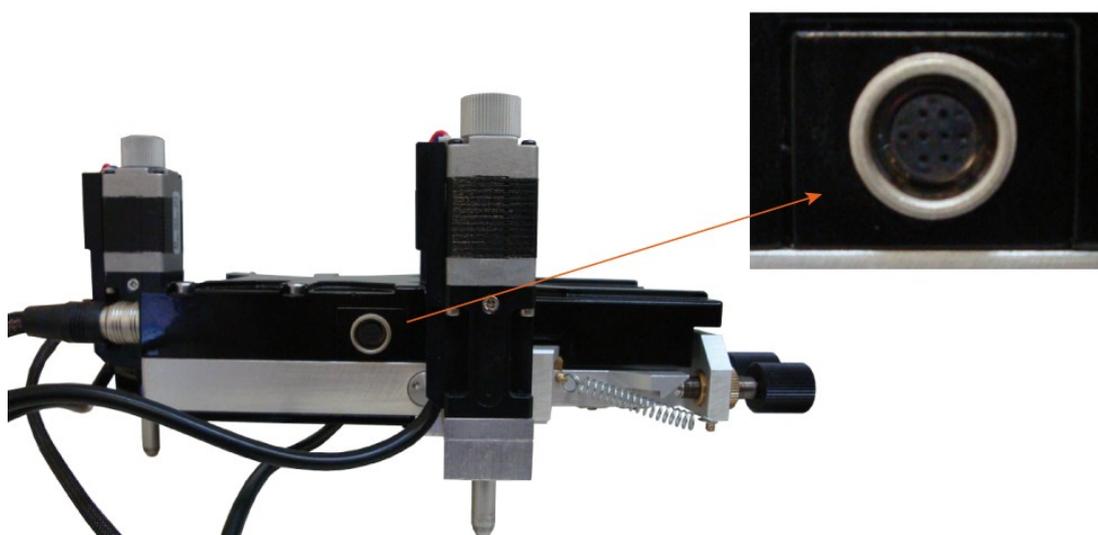


Рис. 3.12 Разъем для подключения держателя зондов.

Разъем на штекере держателя зондов подключается к разъему аналогичным образом.

3.4.2. Подключение держателя зондов

В общем случае к сканирующей головке необходимо подключить держатель зондов. Независимо от режима работы сканирующего зондового микроскопа принцип подключения держателя зондов одинаков.



Рис. 3.13 Держатель зондов.

Держатель зондов крепится к сканирующей СЗМ головке магнитными держателями. Соответствующее крепление расположено на нижней части головки. Для закрепления держателя зондов его необходимо понести к соответствующему креплению на СЗМ головке и установить в соответствующие паз.

Для предотвращения повреждения зондов после их установки рекомендуются первоначально устанавливать держатель на СЗМ головку, а затем подключать штекер к разъёму на головке.

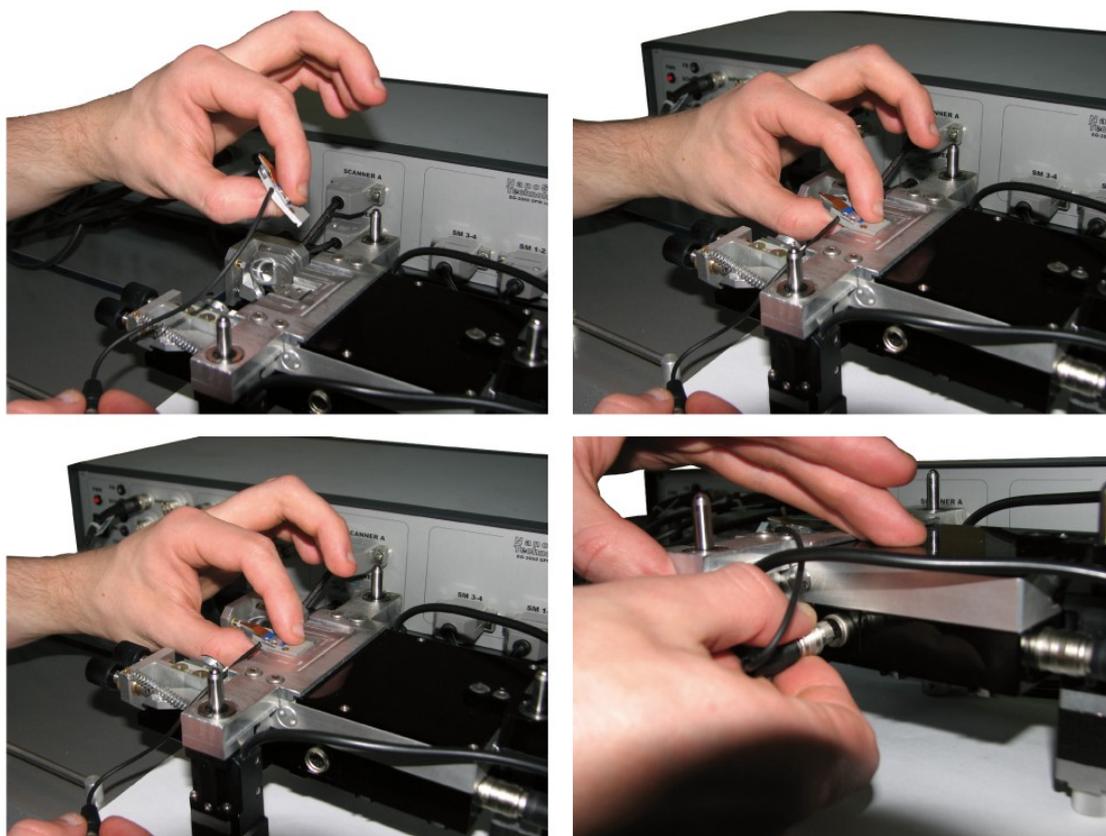


Рис. 3.14 Установка держатель зондов.

3.4.3. Установка на СЗМ Certus на основание

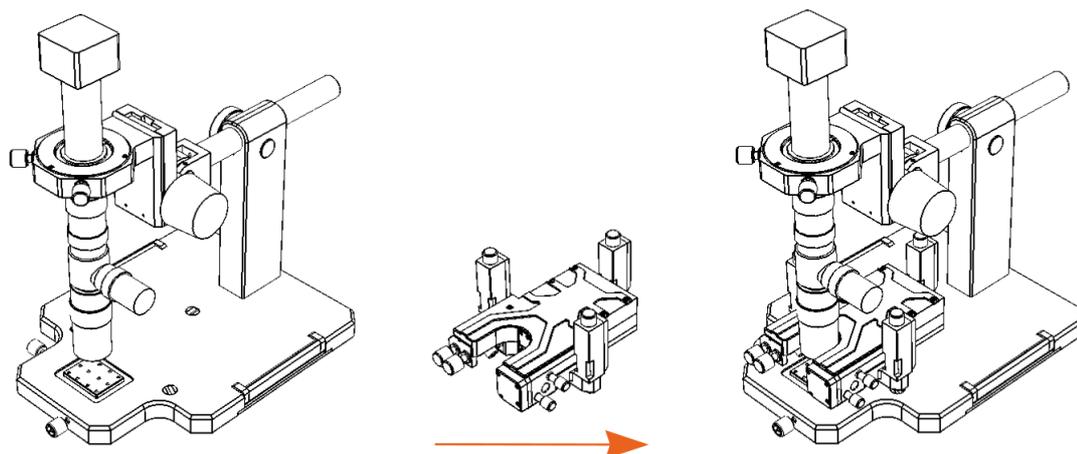


Рис. 3.15 Установка сканирующей головки Certus на основание.

Установку СЗМ Certus на основание можно проводить двумя способами. В первом случае микроскоп остается в рабочем положении и головка ставится на основание с подводом к объективу. Во втором случае микроскоп отводится в нерабочее положение, а СЗМ ставится на установочные места, после чего оптический микроскоп возвращается в рабочее состояние.

3.5. Подключение контроллера EG-3000

После подключения всех кабелей, установки держателя зондов и установки на основание необходимо подключить СЗМ Certus Standard к СЗМ контроллеру серии EG-3000.

Полное описание разъемов на передней панели контроллера дано в руководстве пользователя СЗМ контроллером EG-3000.



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

Рис. 3.15 Соответствие разъемов СЗМ головки Certus и СЗМ контроллера EG-3000.



3.6. Подключение контроллера к компьютеру

После подключения СЗМ головки Certus к СЗМ контроллеру необходимо по USB подключить контроллер к компьютеру. Непосредственного подключения СЗМ головки к компьютеру нет, только через контроллер.

При этом на компьютере должно быть установлено программное обеспечение NSpec для управления СЗМ Certus.

3.7. Подключение видеокамеры к компьютеру

Видеокамера микроскопа подключается по USB к компьютеру. Для подключения камеры необходимо подключить кабель к камере и компьютеру, установить драйверы камеры.

3.8. Подключение джойстика

В том случае, если в комплект поставки входит дополнительное устройство для управления СЗМ Certus Standard – джойстик, его необходимо подключить по USB к компьютеру и установить необходимое программное обеспечение.



Рис. 3.16 Общий вид джойстика для работы с СЗМ Certus Standard.

3.9. 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 выводится главное окно программы NSpec.

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

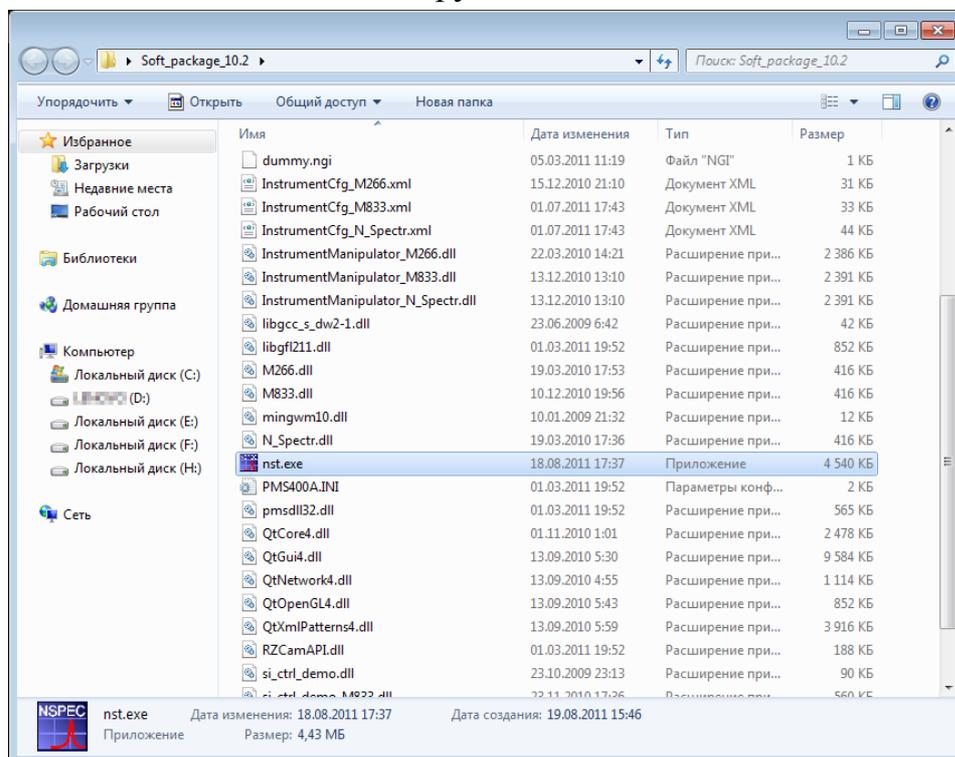


Рис. 3.17 Выбор файла для запуска программы NSpec.

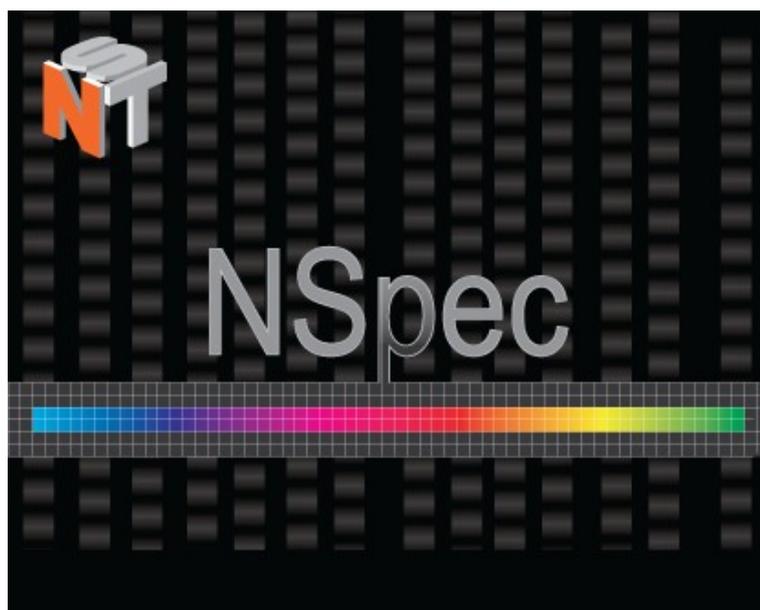


Рис. 3.18 Запуск программы NSpec.

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

3.10. Порядок включения/выключения СЗМ Certus Standard

3.10.1. Порядок включения

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

В случае правильного подключения контроллера и сканирующей зондовой головки Certus в правом верхнем углу главного окна программы NSpec индикатор подключения контроллера СЗМ отобразится 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

3.10.2. Порядок отключения

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

3.11. Основные настройки программы NSpec

Для настройки интерфейса программы используется модуль **Настройки** расположенный на панели базовых инструментов . После нажатия на эту кнопку вызывается окно настроек.

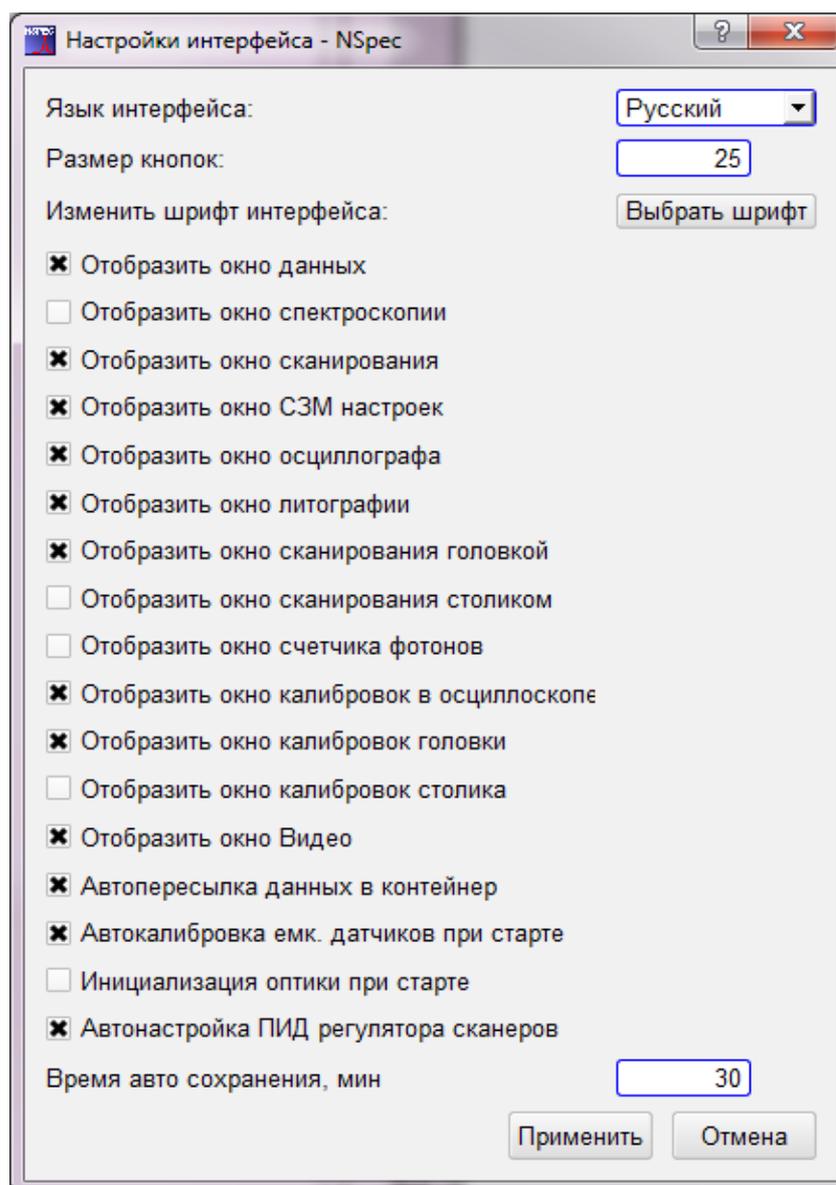


Рис. 3.19 Настройки интерфейса — NSpec.

Для работы с СЗМ Certus Standard необходимы:

Язык интерфейса	Выпадающий список для выбора языка интерфейса.
Размер кнопок	Размер кнопок интерфейса в пикселях.
Изменить шрифт интерфейса	Кнопка «Изменить шрифт» при нажатии на которую вызывается стандартное окно для выбора шрифта и его стиля.
Отобразить окно данных	Якорь для включения/выключения отображения модуля Данные.
Отобразить окно сканирования	Якорь для включения/выключения отображения модуля Сканирование.
Отобразить окно СЗМ настроек	Якорь для включения/выключения отображения модуля СЗМ.
Отобразить окно осциллографа	Якорь для включения/выключения отображения модуля Осциллограф.
Отобразить окно литографии	Якорь для включения/выключения отображения модуля Литография.
Отобразить окно сканирования головкой	Якорь для включения/выключения отображения вкладки сканирование головкой в модуле Сканирование.
Отобразить окно калибровок в осциллографе	Якорь для включения/выключения отображения окна калибровок в модуле Осциллограф и Осциллограф 2.
Отобразить окно калибровок головки	Якорь для включения/выключения отображения вкладки Сканирующая головка в модуле Осциллограф.
Отобразить окно видео	Якорь для включения/выключения отображения модуля Видео.
Автопересылка данных в контейнер	Якорь для включения/выключения автоматической пересылки полученных данных в модуль Данные
Автокалибровка ёмк. датчиков при старте	Якорь для включения/выключения автоматической калибровки ёмкостных датчиков при запуске прибора.
Время авто сохранения, мин	Поле для задания времени автоматического сохранения данных содержащихся в модуле Данные. 0 мин — без автоматического сохранения.
Автокалибровка ПИД регулятора сканеров	Якорь для включения/выключения автоматической калибровки ПИД регулятора при запуске прибора.

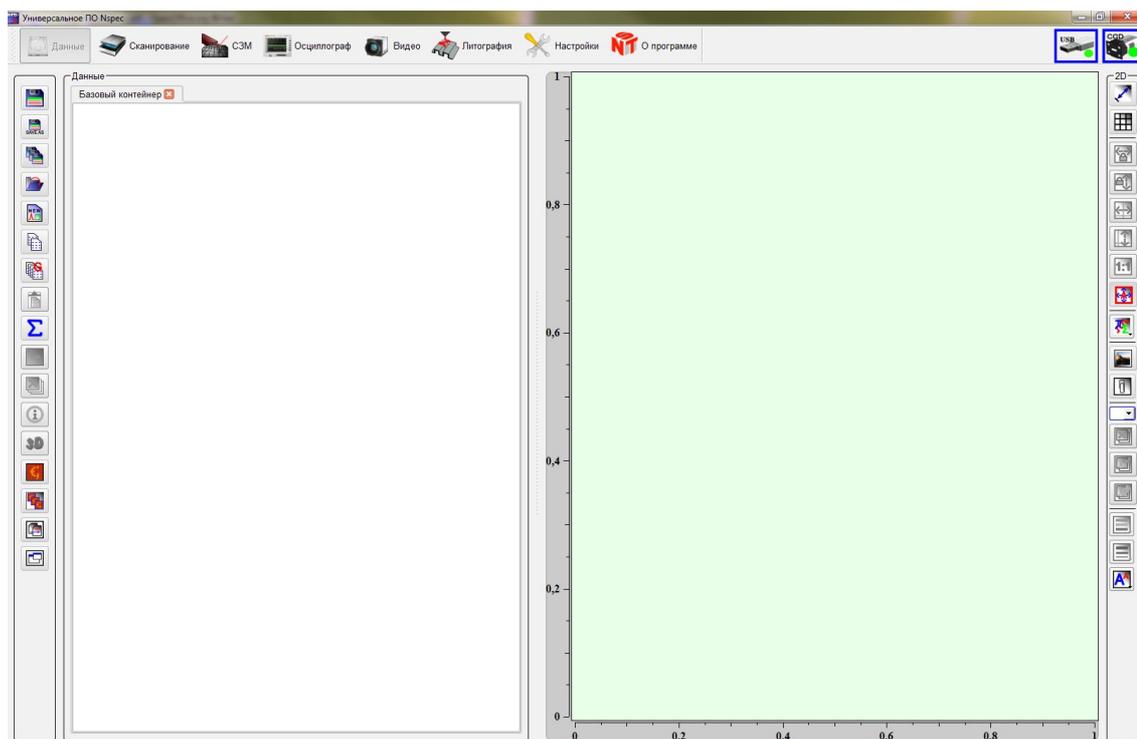


Рис. 3.20 NSpec после настройки под работу с СЗМ Certus Standard.

Опции перечисленные ниже устанавливаются на выбор

Автопересылка данных в контейнер	Якорь для включения/выключения автоматической пересылки полученных данных в модуль Данные
Автокалибровка ёмк. датчиков при старте	Якорь для включения/выключения автоматической калибровки ёмкостных датчиков при запуске прибора.
Время авто сохранения, мин	Поле для задания времени автоматического сохранения данных содержащихся в модуле Данные. 0 мин — без автоматического сохранения.



4. Работа со сканирующим зондовым микроскопом Certus Standard

В данном разделе описана работа со сканирующим зондовым микроскопом Certus Standard 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.

Для начала работы необходимо включить сканирующий зондовый микроскоп Certus Standard.

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	+	+	-
Методики оптической микроскопии	-	+	+

* Сканирующее основание используется только для позиционирования образцов

4.2. Основные операции при работе с СЗМ Certus Standard (методики атомно-силовой микроскопии)

Для получения СЗМ изображений первоначально необходимо настроить атомно-силовой микроскоп. Общая последовательность действий по настройке СЗМ:

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
Предварительное позиционирование образцов	При необходимости
Подвод к поверхности	Обязательная операция
Позиционирование образцов	При необходимости
Предварительное сканирование	Операция не является обязательной и необходима только для образцов для которых параметры сканирования неизвестны
Корректировка параметров сканирования	Операция не является обязательной и необходима только для образцов для которых параметры сканирования неизвестны
Сканирование	При необходимости
Калибровка пьезоэлементов	Операция не является обязательной, есть автоматический и ручной режим настройки
Калибровка ёмкостных датчиков	Операция не является обязательной, есть автоматический и ручной режим настройки
Первичная обработка и сохранение результатов	При необходимости
Отвод от поверхности	Обязательная операция

4.3. Настройка размаха и смещения ёмкостных датчиков

Каждый раз при включении СЗМ Certus Standard 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 , 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.

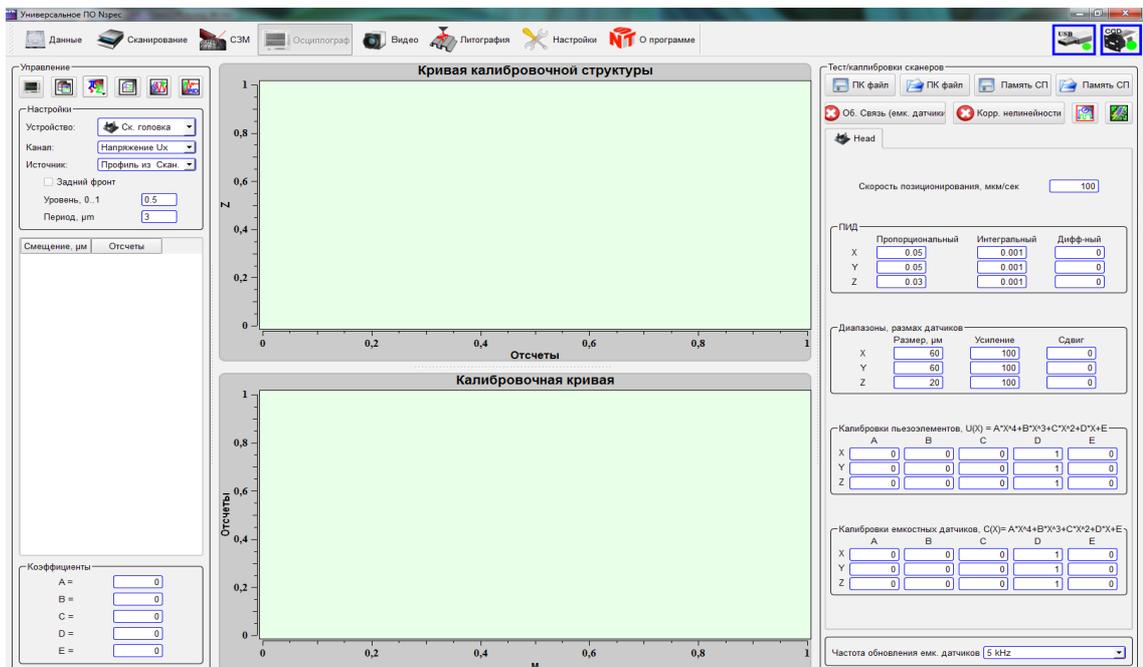


Рис. 4.1 Вид модуля Осциллограф при определении калибровок.

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



4.4. Настройка ПИД регулятора

Каждый раз при включении СЗМ Certus Standard и запуске программного обеспечения NSpec происходит автоматическая настройка ПИД регулятора. Данная опция включается отключается в окне модуля **Настройки**, расположенном на панели базовых инструментов  , якорем **Автокалибровка ПИД регулятора сканеров**.

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.

Для автоматической калибровки необходимо нажать кнопку  **Автонастройка ПИД регулятора**. После нажатия на эту кнопку запустится автоматическая настройка ПИД регулятора сканирующей головки.



4.5. Установка зондов

Перед началом работы необходимо установить зонд в держатель зондов.



Рис. 4.2 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.

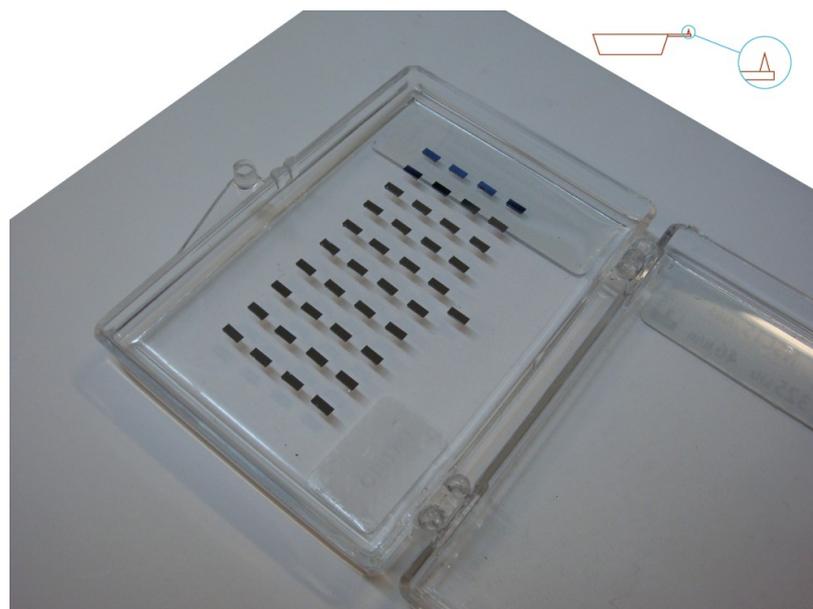


Рис. 4.3 Кантилеверы в гель-паке.

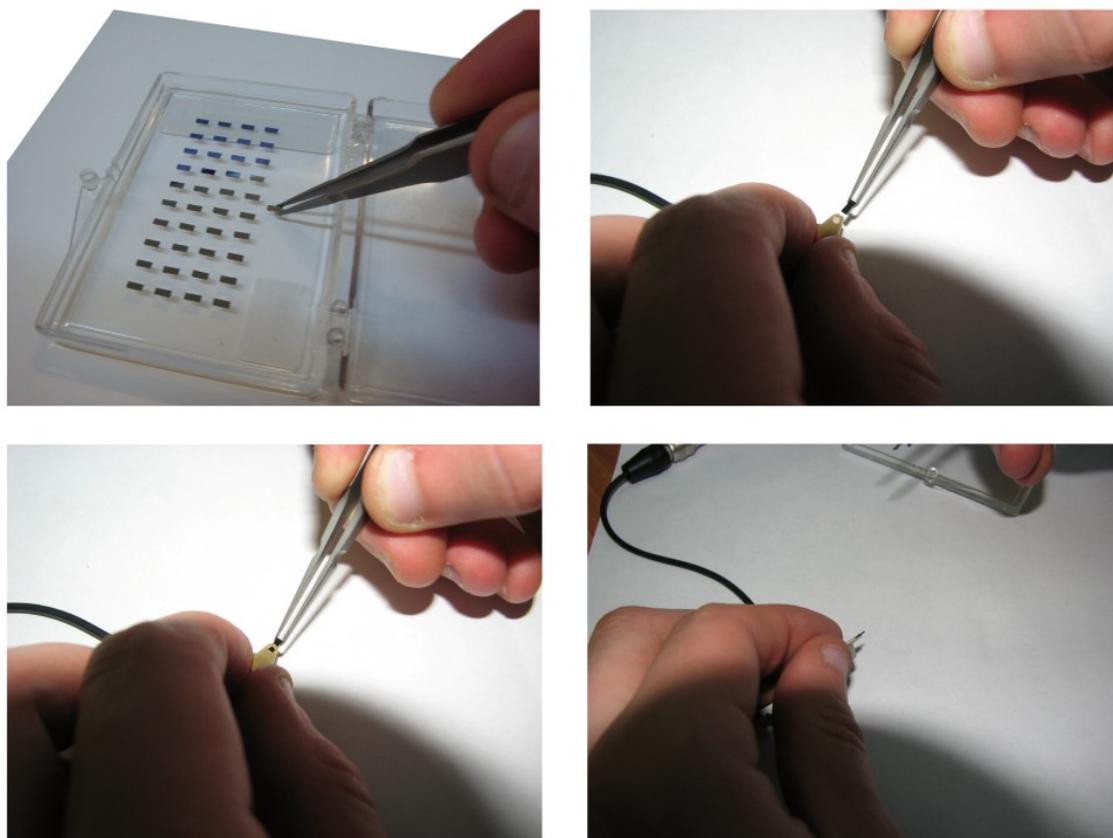
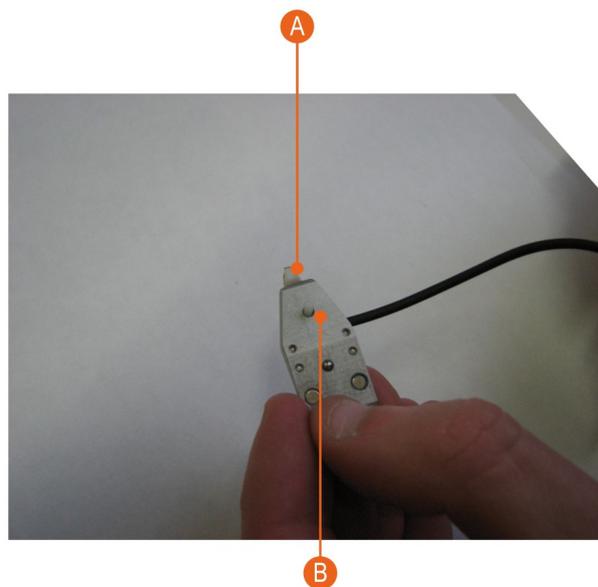


Рис. 4.4 Установка зондов в держатель зондов.

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. 4.5 Установка зондов в держатель зондов.

4.6. Сведения о программе NSpec необходимые для настройки СЗМ Certus Standard

Основные параметры настройки сканирующего зондового микроскопа расположены в окне СЗМ.

В окне СЗМ 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.

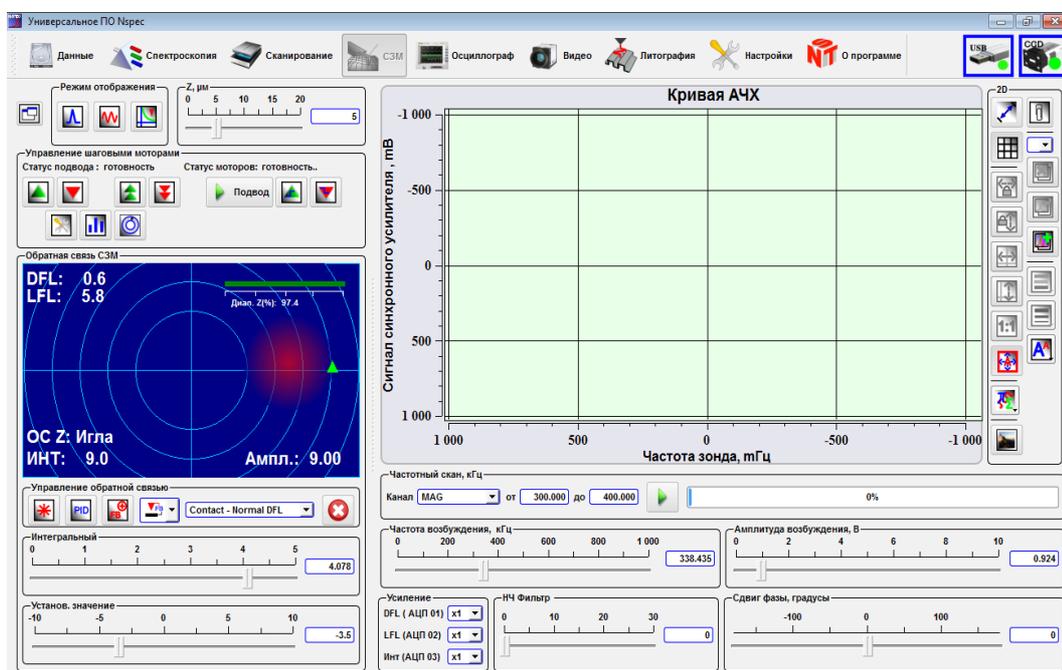


Рис. 4.6 Общий вид окна СЗМ.

4.6.1. Панель Режим отображения

В левой части окна находится панель инструментов **Режим отображения**. Она используется для отображения резонансных кривых и других, получаемых системой, сигналов с датчиков системы и цифрового микроскопа.

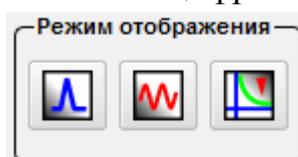


Рис. 4.7 Панель инструментов Режим отображения.

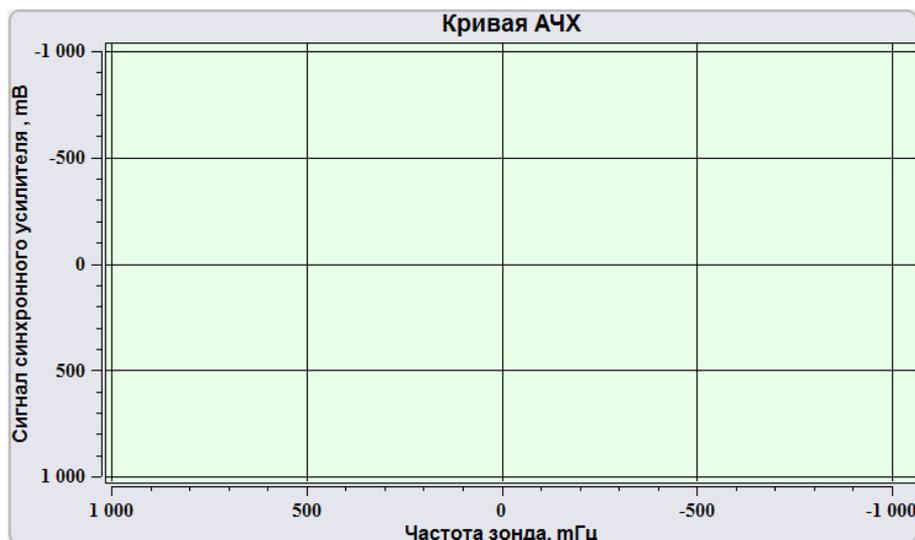


Рис. 4.8 Окно сигналов получаемых системой.

	Режим снятия резонансных кривых	При нажатии на эту кнопку в правой части окна отображается поле построения частотной характеристики зонда Кривая АЧХ и панели параметров частотной характеристики).
	Режим осциллографа	При нажатии на кнопку в правой части окна отображается поле осциллографа Сигналы осциллографа и панель параметров выводимого в этом поле сигнала Усреднение., СКО.
	Режим силовой спектроскопии	При нажатии на кнопку в правой части окна отображается поле построения кривой подвода/отвода Спектроскопия по Z, а также панели настройки параметров кривой.

4.6.2. Построение частотной характеристики

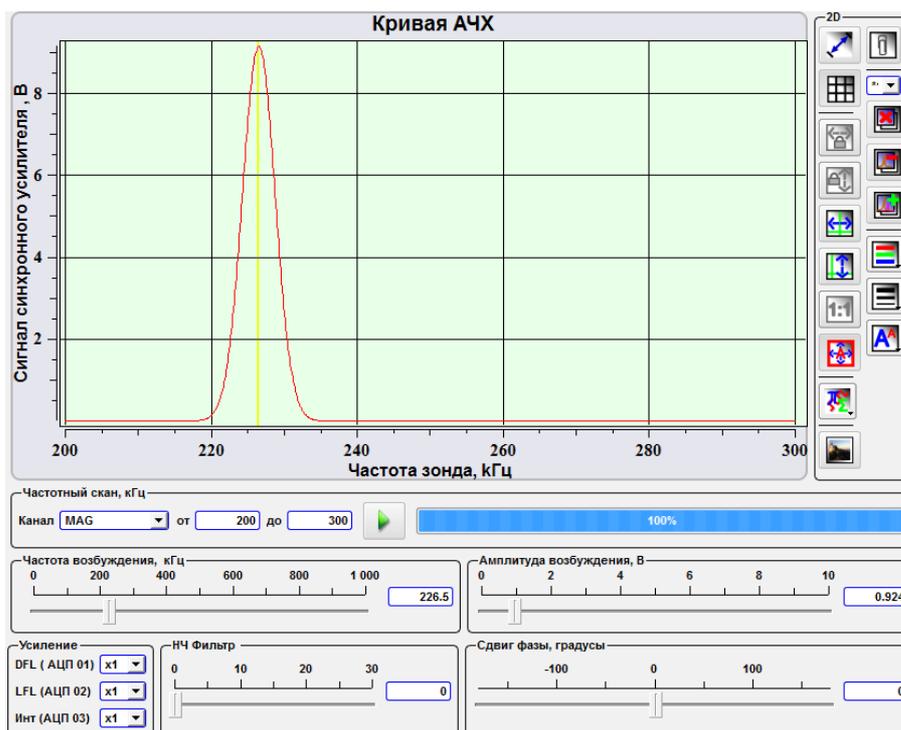


Рис. 4.9 Поле построения частотной характеристики зонда Кривая АЧХ и панели параметров частотной характеристики.

На панели **Частотный скан, кГц** в выпадающем меню поля **Канал** задается сигнал для которого необходимо получить частотную характеристику. Рядом в полях **от** и **до** задается диапазон частот. По умолчанию всегда в поле канал установлен сигнал **Mag** используемый для получения резонансной частоты зондов.

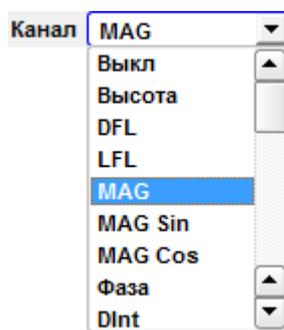


Рис. 4.10 Доступные сигналы для получения частотной характеристики.

При нажатии на кнопку  начинается сканирование по частоте, при этом рядом в процентах отображается выполнение хода сканирования.

Текущее значение резонансной частоты отображается на панели **Частота возбуждения, кГц**. При необходимости после снятия частотной характеристики зонда рабочую частоту можно установить на любое другое значение.

С помощью слайдера **Амплитуда возбуждения, V** задается напряжение на выходе генератора пьезовибратора зонда.

4.6.3. Отображение поля осциллографа



Рис. 4.11 Поле осциллографа. Сигналы осциллографа и панель параметров выводимого в этом поле сигнала. Усреднение, СКО.

В поле **Усреднение V** отображается среднее значение амплитуды выбранного сигнала.

В поле **СКО, V** отображается среднеквадратичная ошибка выбранного сигнала.

В поле **T, с** устанавливается временная развёртка визуализируемого сигнала.

4.6.4. Построение кривой подвода/отвода

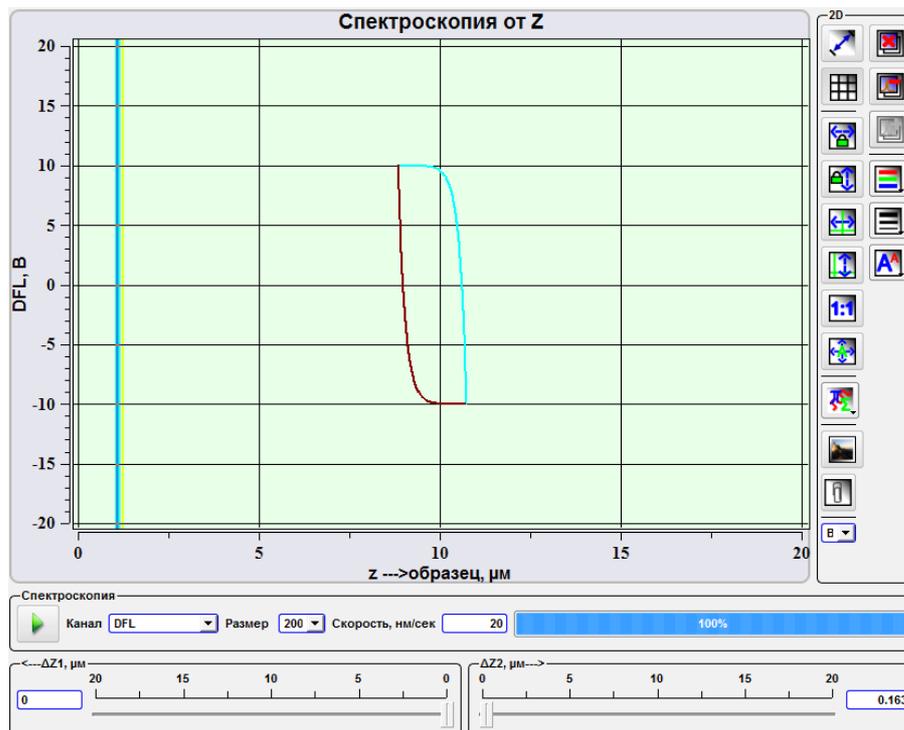


Рис. 4.12 Поле построения кривой подвода/отвода Спектроскопия по Z, а также панели параметров кривой.

Красная полоса отображает текущее положение зонда Z_0 , а две синих полосы отображают пределы построения кривой и соответствуют положениям Z_0-Z_1 и Z_0+Z_2 .

При построении кривой зонд движется в точку Z_0+Z_2 , после чего движется вниз к точке Z_0-Z_1 , далее он совершает движение в обратном направлении и возвращается на исходную позицию.

На панели **Спектроскопия** в прокручиваемом списке **Канал** необходимо выбрать сигнал по которому будет строиться кривая.

В поле **Размер** в выпадающем списке необходимо выбрать количество точек по которым строится кривая.

В поле **Скорость, нм/сек** можно установить скорость. В соседнем поле в процентах отображается прогресс построения кривой.

 - кнопка запуска процесса построения кривой.

Слайдером $\leftarrow \Delta Z_1, \mu\text{m}$ задается положение точки Z_0-Z_1 . Так же задать значение можно в поле рядом со слайдером.

В случае использования клавиатуры для ввода значений не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

Слайдером $\Delta Z2 \rightarrow$, μm задается положение точки $Z0+Z2$. Так же задать значение можно в поле рядом со слайдером.

В случае использования клавиатуры для ввода значений не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

4.7. Настройка регистрирующей системы

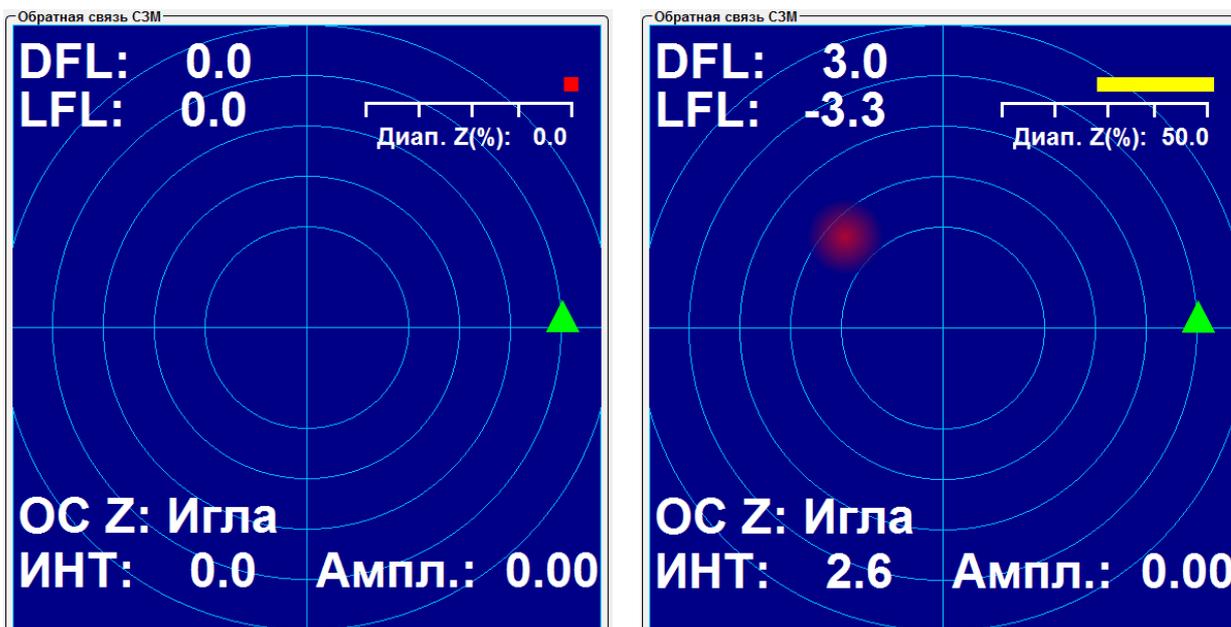
Первоначально необходимо настроить систему регистрации перемещения зонда. Для этого необходимо:

- 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.

4.7.1. 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. 4.13 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.

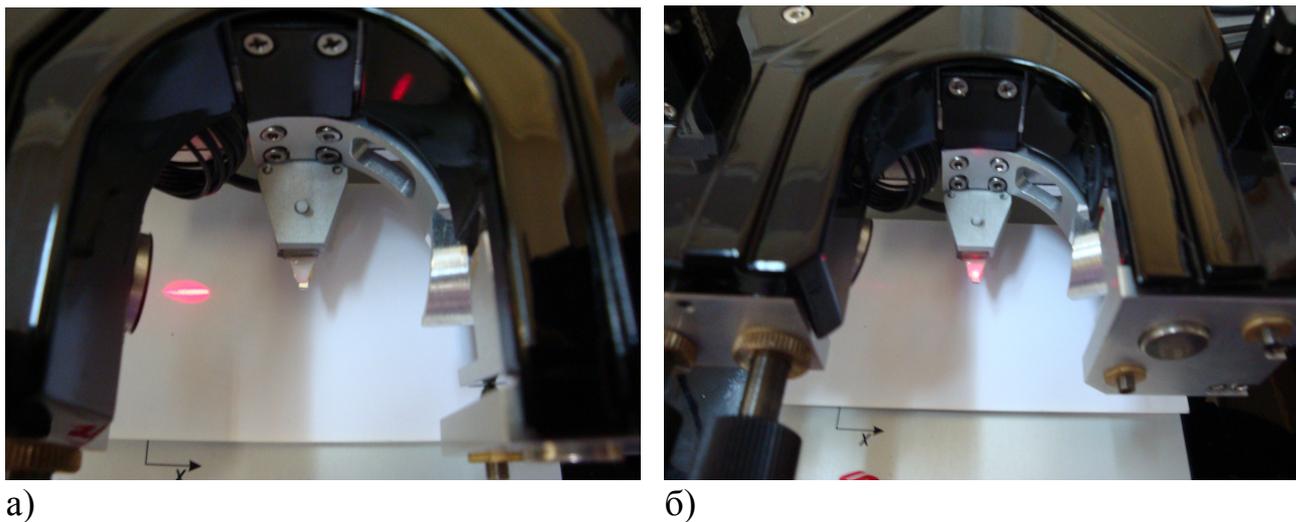


Рис. 4.14 а) попадание мимо балки; б) попадание в держатель зондов.

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

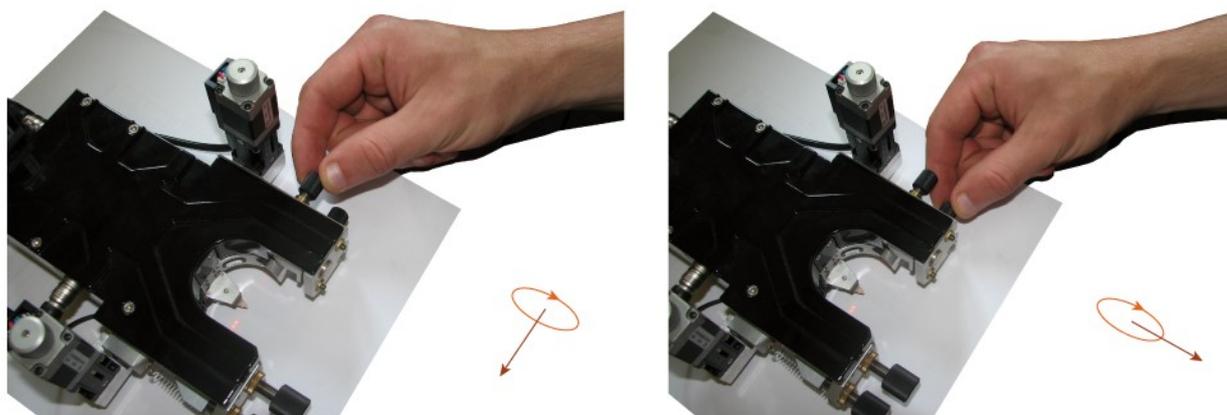


Рис. 4.15 Соответствие направления вращения и направления перемещения лазерного пятна.

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



Рис. 4.16 Вид лазерного пятна при попадании на балку кантилевера.

4.7.2. *Позиционирование фотодиода*

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

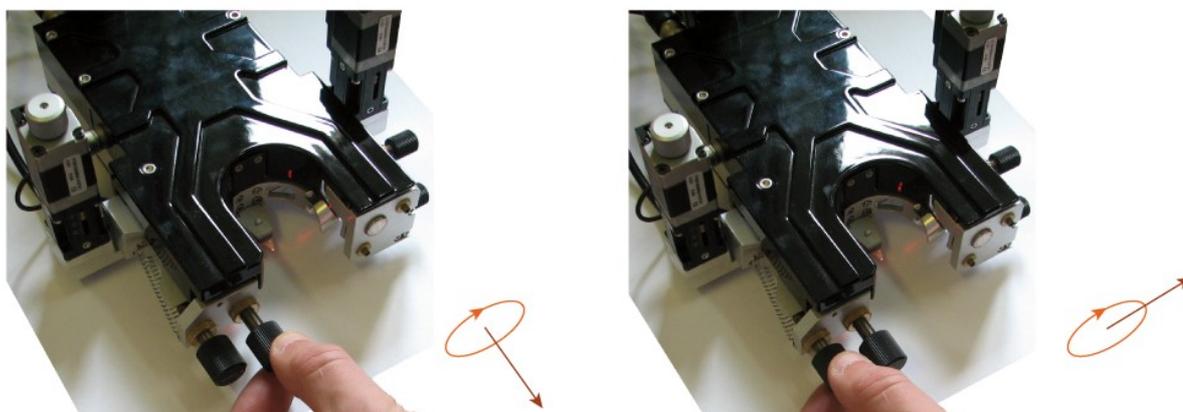


Рис. 4.17 Соответствие направления вращения и направления перемещения сигнала с фотодиода в окне SPM Feed Back.

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

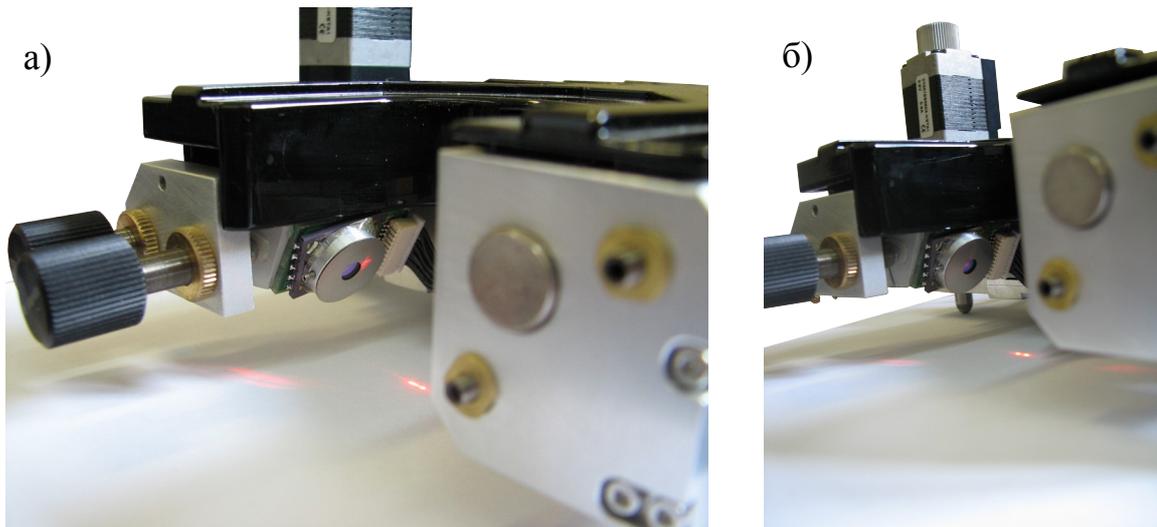


Рис. 4.18 а) попадание мимо фотодиода; б) попадание в фотодиод.

4.7.3. 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. 4.19 Сигнал с фотодиода.

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



Рис. 4.20 Максимум сигнала с фотодиода.

4.7.4. 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. 4.21 Лазерное пятно в центре фотодиода.

4.7.5. 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.

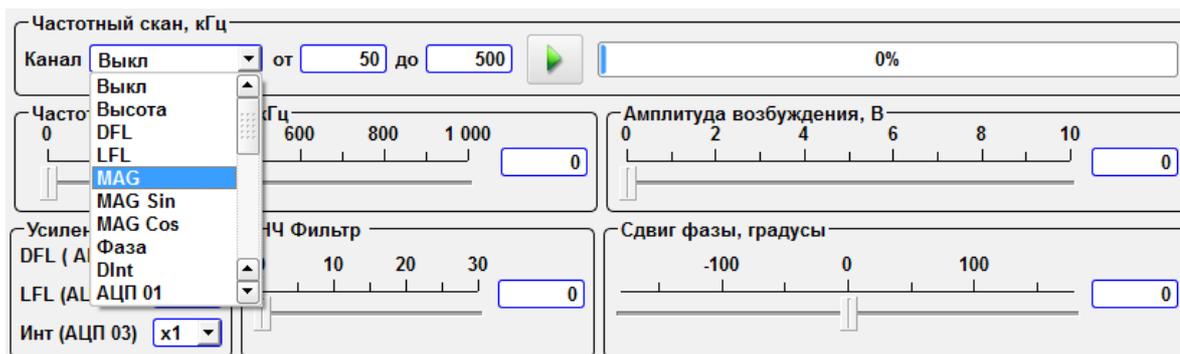


Рис. 4.22 Настройка параметров колебаний кантилевера.

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

При известной резонансной частоте кантилевера диапазон поиска можно сузить.

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

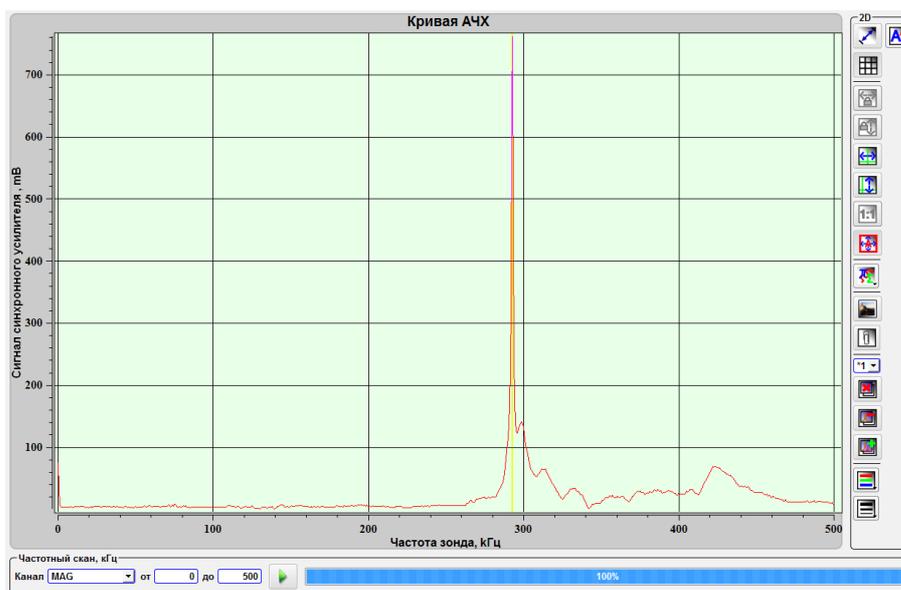


Рис. 4.23 Получение резонансной частоты кантилевера.

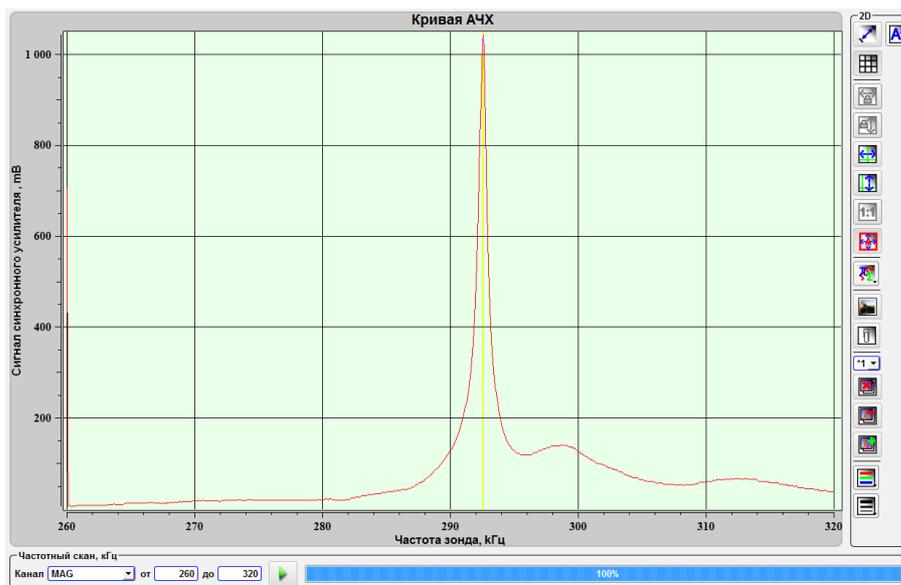


Рис. 4.24 Получение резонансной частоты кантилевера.

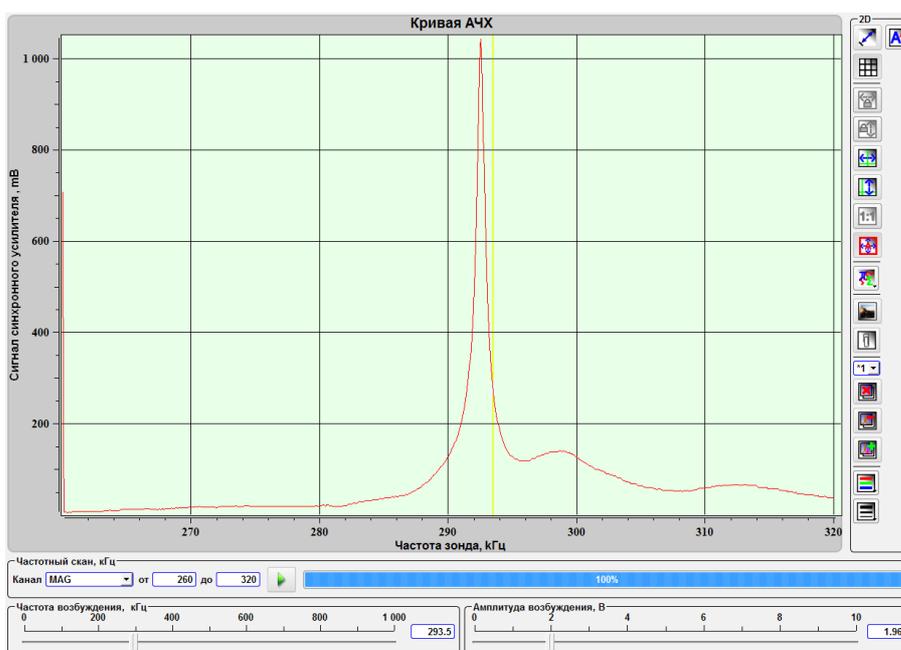


Рис. 4.24 Установка резонансной частоты вручную в поле Current Frequency.

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.



4.8. 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.

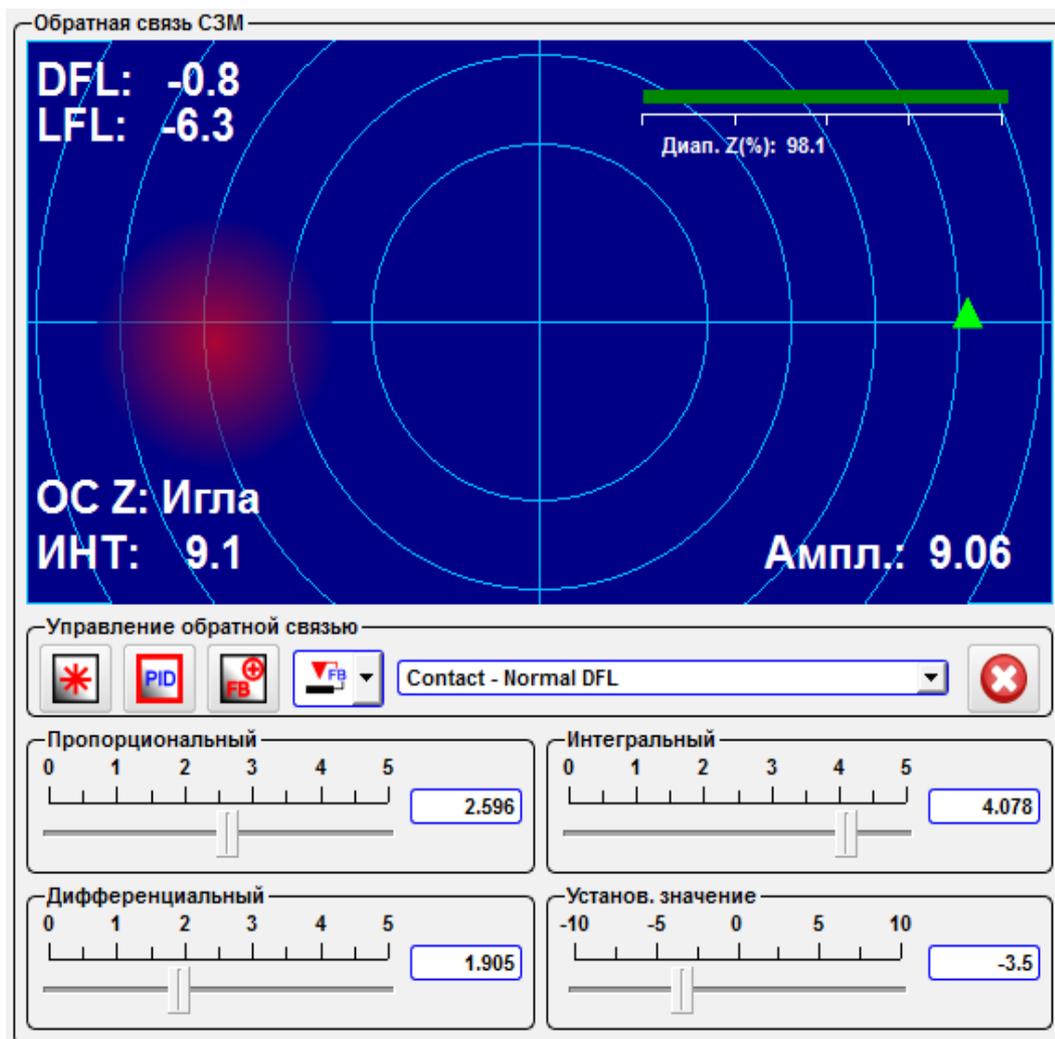


Рис. 4.25 Панель Обратная связь СЗМ.

		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	

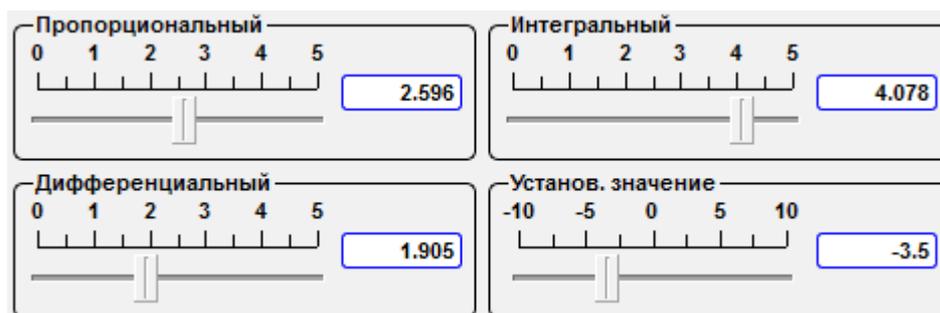


Рис. 4.26 Слайдеры настройки параметров обратной связи.

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

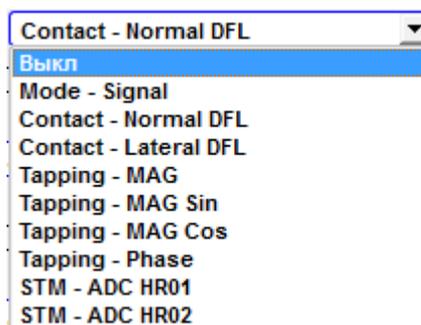


Рис. 4.27 Установка сигнала для обратной связи.



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. 4.28 Переключение в режим резонансной микроскопии при использовании кварцевых резонаторов.

4.8.1. Дополнительные параметры сканирования

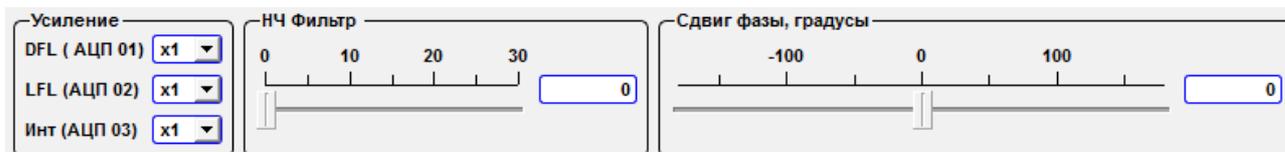


Рис. 4.29 Внешний вид панели настройки дополнительных параметров сканирования.

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.



4.8.2. 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.

4.8.3. 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.

4.8.4. 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 ря-

дом со слайдером. В случае использования клавиатуры не забывайте нажимать на клавиатуре клавишу Enter.

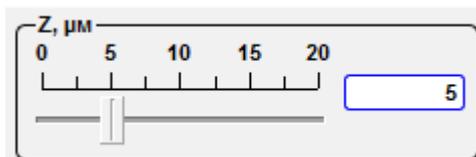
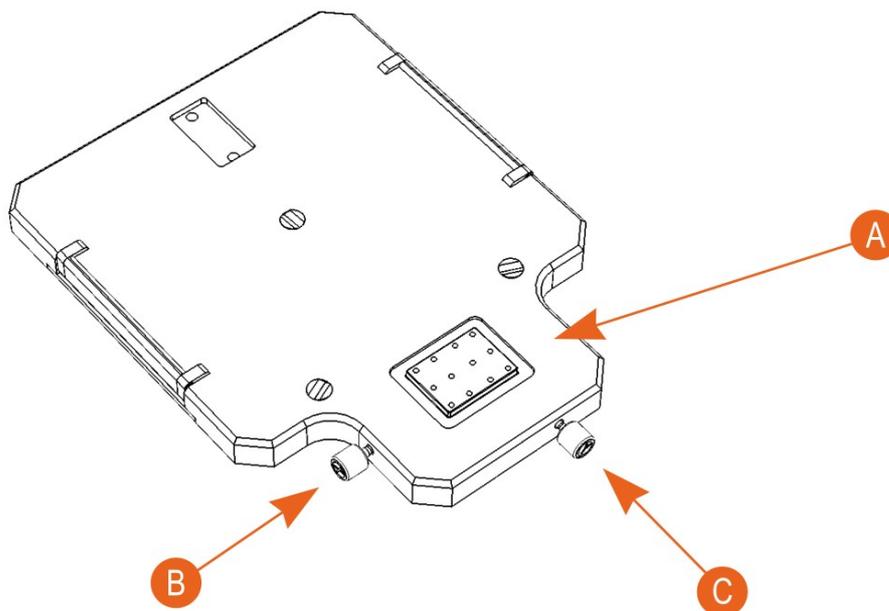


Рис. 4.30 Слайдер управления положением зонда по оси Z.

4.9. Предварительное позиционирование образца

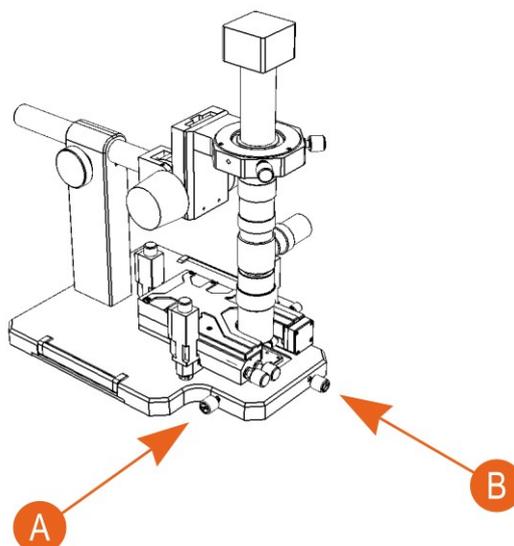
Первоначально образец необходимо установить на подвижку для образца и при необходимости закрепить.



A	Подвижка с креплениями для образца
B	Винт для позиционирования образца по оси X
C	Винт для позиционирования образца по оси Y

Рис. 4.31 Подвижка для образца

Для предварительного позиционирования образца необходимо воспользоваться винтами подвижки для образца



A	Винт для позиционирования образца по оси X
B	Винт для позиционирования образца по оси Y

Рис. 4.32 Предварительное позиционирование образца.

4.10. Подвод к поверхности

Подвод к поверхности образца осуществляется шаговыми моторами. Настройка параметров шаговых моторов осуществляется из программы NSpec. Управление шаговыми моторами осуществляется как из программы NSpec, так и с помощью джойстика.

4.10.1. Управление шаговыми моторами

В левой части окна СЗМ расположена панель **Управления шаговыми моторами**.

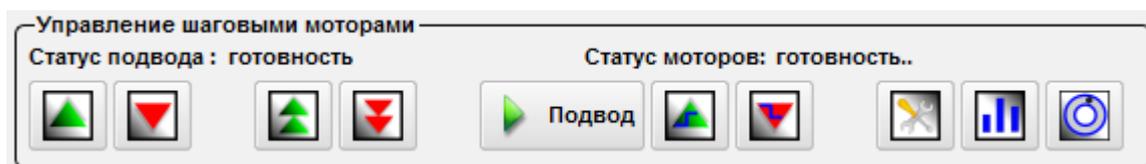


Рис. 4.33 Общий вид панели управления шаговыми моторами.

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

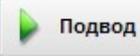
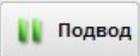
	Движение вверх	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вверх с заданной скоростью на заданное расстояние.
	Движение вниз	При нажатии на эту кнопку осуществляется движение шаговых моторов вниз с заданной скоростью на заданное расстояние.
	Быстрое движение вверх до концевика	При 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
	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
	Настройки джойстика	При нажатии на эту кнопку отображается окно настройки джойстика. Так же через это окно можно управлять джойстиком.



Рис. 4.34 Общий вид панели управления шаговыми моторами в режиме управления каждым шаговым мотором отдельно.

4.10.2. *Настройка параметров шаговых моторов*

При нажатии на кнопку  открывается дополнительное окно **Настройки моторов**.

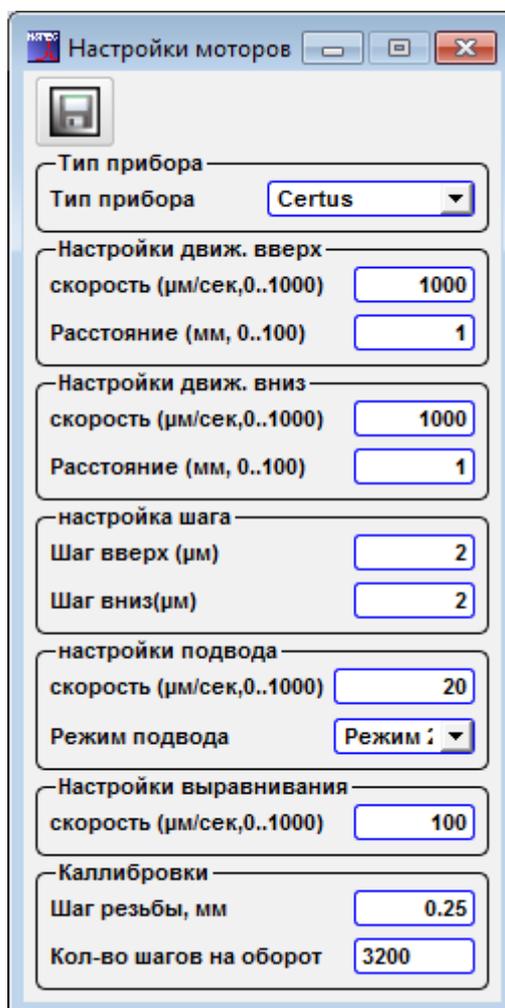


Рис. 5.11 Окно Настройки моторов.

В выпадающем меню **Тип прибора** панели **Тип прибора** Вы можете выбрать ту конфигурацию микроскопа, производства компании ООО «Нано Скан Технология», работа с которым будет осуществляться.



Рис. 4.35 Выбор конфигурации микроскопа.

На панели **Настройка движения вверх** задаются параметры шаговых моторов для управления ими кнопкой **Движение вверх**  панели **Управления шаговыми моторами**. В поле **Скорость (µм/сек, 0...1000)** устанавливается скорость отвода, а в поле **Расстояние (мм, 0...100)** – расстояние.

Аналогичные параметры устанавливаются на панели **Настройка движения вверх** для управления шаговыми двигателями с помощью кнопки **Движение вверх**,  расположенной на панели **Управления шаговыми моторами**.

На панели **Настройка шага** в полях **Шаг вверх (µм)** и **Шаг вниз (µм)** задается величина шага двигателей при управлении ими кнопками **Шаг вверх**  и **Шаг вниз** , расположенными на панели **Управления шаговыми моторами**.

На панели **Настройки подвода** задаются параметры автоматического подвода зонда к образцу при управлении моторами кнопкой **Подвод** , расположенной на панели **Управления шаговыми моторами**. В поле **Скорость (µм/сек, 0...1000)** устанавливается скорость подвода зонда. В выпадающем меню **Режим подвода** устанавливается режим работы шаговых двигателей:

Режим 1 – подвод осуществляется одним шаговым мотором (в случае использования сканирующей головки производства компании ООО «Нано Скан Технология» подвод осуществляется мотором, расположенным сзади, т.е. мотором №3);

Режим 2 – подвод осуществляется тремя шаговыми моторами.

На панели **Настройки выравнивания** в поле **Скорость (µм/сек, 0...1000)** устанавливается скорость движения шаговых моторов при управлении ими кнопками **Быстрое движение вверх до концевика**  и **Быстрое движение вниз до концевика** , расположенными на панели **Управления шаговыми моторами**.

На панели **Калибровки** устанавливаются параметры калибровки шаговых двигателей. В поле **Шаг резьбы (mm)** устанавливается шаг резьбы. В поле **Кол-во шагов на оборот** устанавливается полное количество шагов.

4.10.3. Настройки джойстика

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

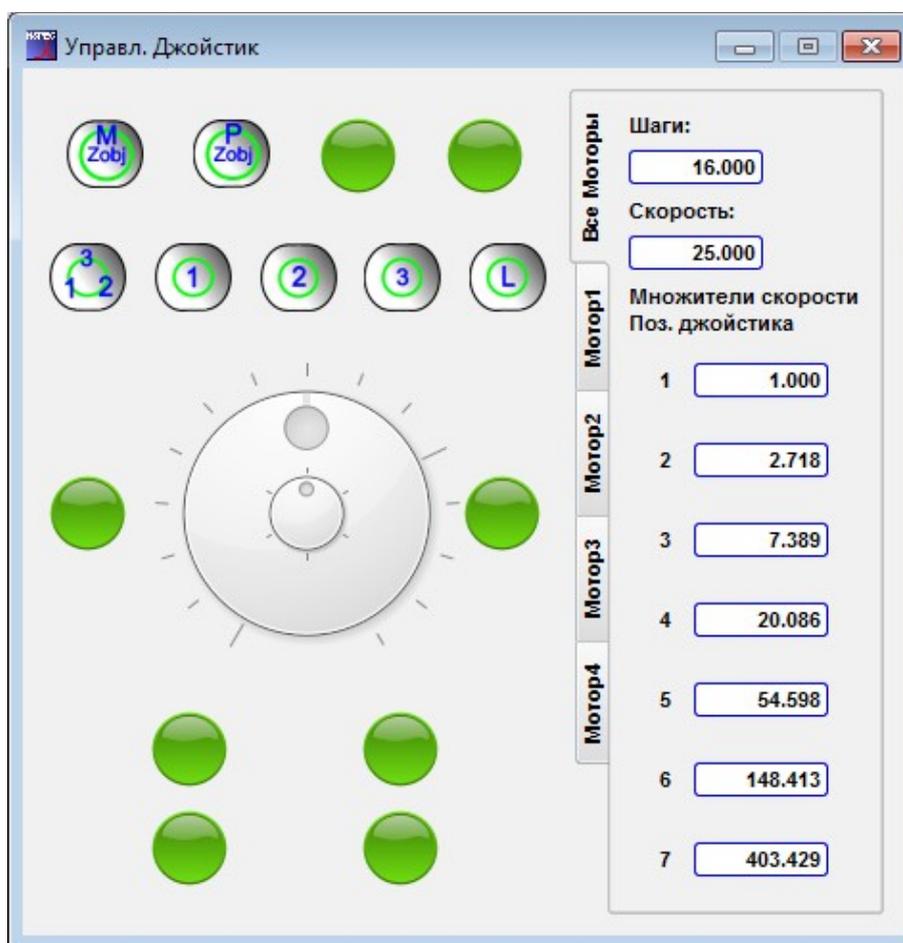


Рис. 4.36 Окно управления джойстиком.

		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.

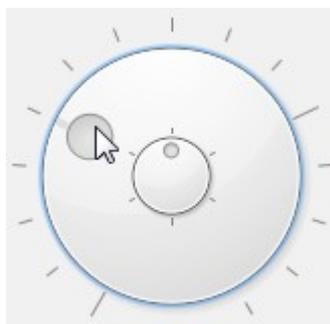


Рис. 4.37 Колесо для быстрого движения.



Рис. 4.38 Колесо для пошагового движения.

4.10.4. 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.

4.10.5. 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.

4.10.6. 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.

4.10.7. 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.

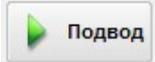
Для этого необходимо воспользоваться функцией управления отдельными шаговыми моторами.

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.

4.10.8. 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 заданному значению автоматический подвод прекратится.

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

4.10.9. 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.

4.10.10. Операции подвода с помощью джойстика

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

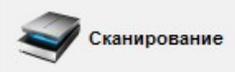
4.11. Позиционирование образца

В том случае, если при подведенной к поверхности головке возникает необходимость позиционирования образца, то для этого необходимо отключить обратную связь на панели **Обратная связь СЗМ** кнопкой **Обр. Связь вкл/выкл.** . После отключения обратной связи произойдет автоматический отвод зонда от поверхности на безопасное расстояние. После позиционирования образца необходимо снова включить обратную связь и если это необходимо, то провести повторно плавный подвод.

4.12. Общие принципы настройки параметров сканирования

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 , находящуюся на верхней панели окна программы NSpec.

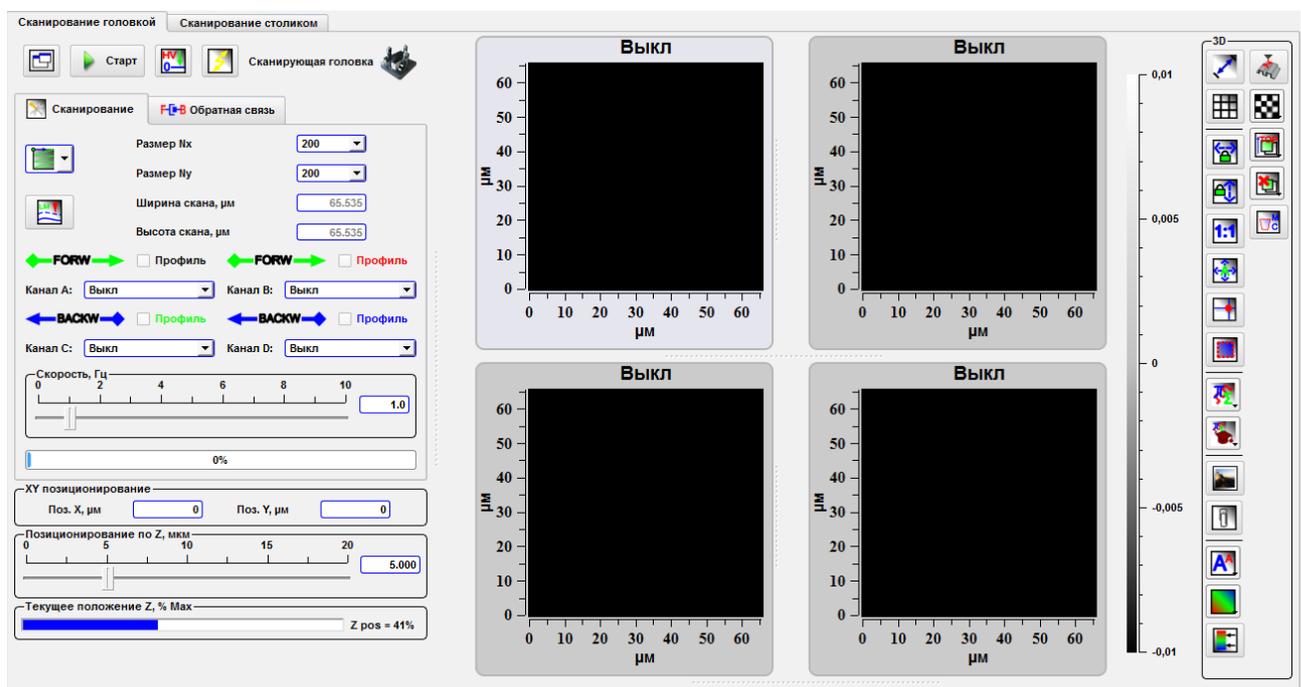


Рис. 4.39 Общий вид окна Сканирование.

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

4.12.1. Установка основных параметров скана

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

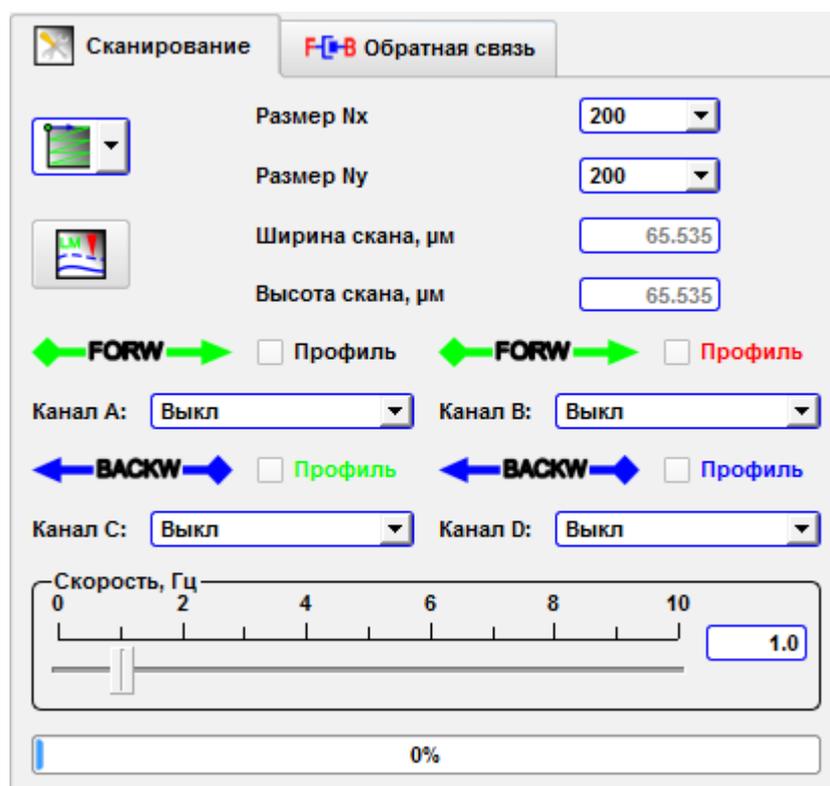


Рис. 4.40 Вкладка Сканирование.



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, μm	Задать размеры скана в μm по ширине. Ширина скана, μm и Высота скана, μm становятся активными (доступными для изменения) только после нажатия кнопки Выбор участка сканирования  .
Высота скана, μm	Задать размеры скана в μm по высоте. Ширина скана, μm и Высота скана, μm 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 двухпроходная 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.

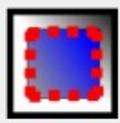
	Ширина скана, $\mu\text{м}$	<input type="text" value="65.535"/>
	Высота скана, $\mu\text{м}$	<input type="text" value="65.535"/>
	Ширина скана, $\mu\text{м}$	<input type="text" value="32.7675"/>
	Высота скана, $\mu\text{м}$	<input type="text" value="32.7675"/>

Рис. 4.41 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.

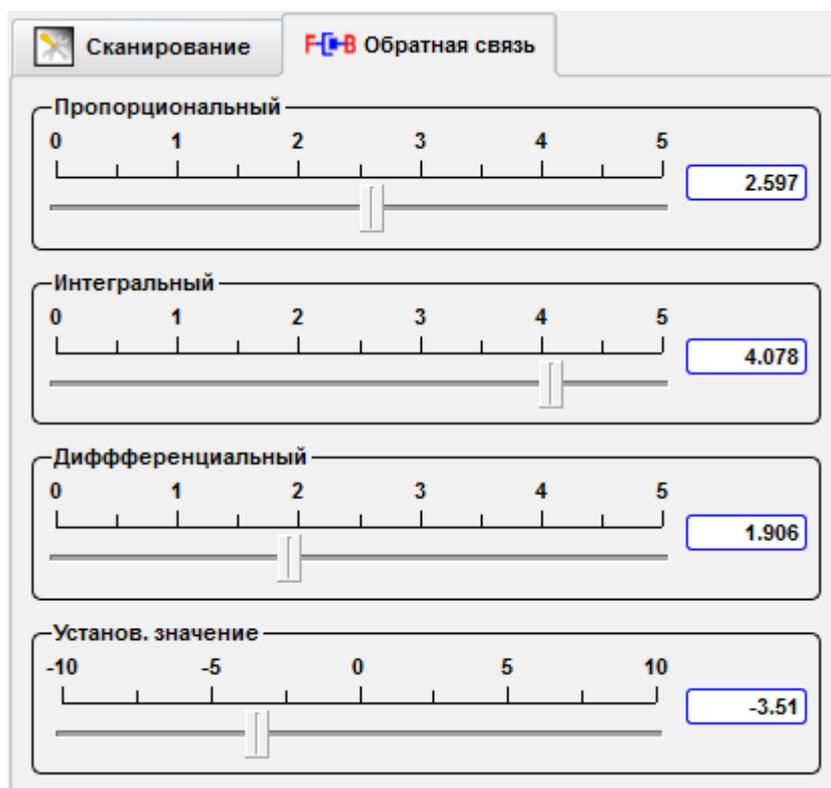


Рис. 4.42 Вкладка Обратная связь.

4.12.2. 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 усилиться 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	

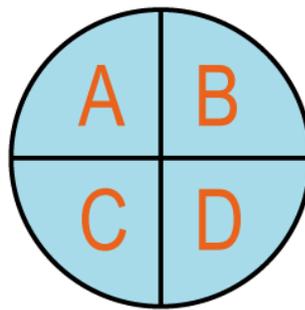
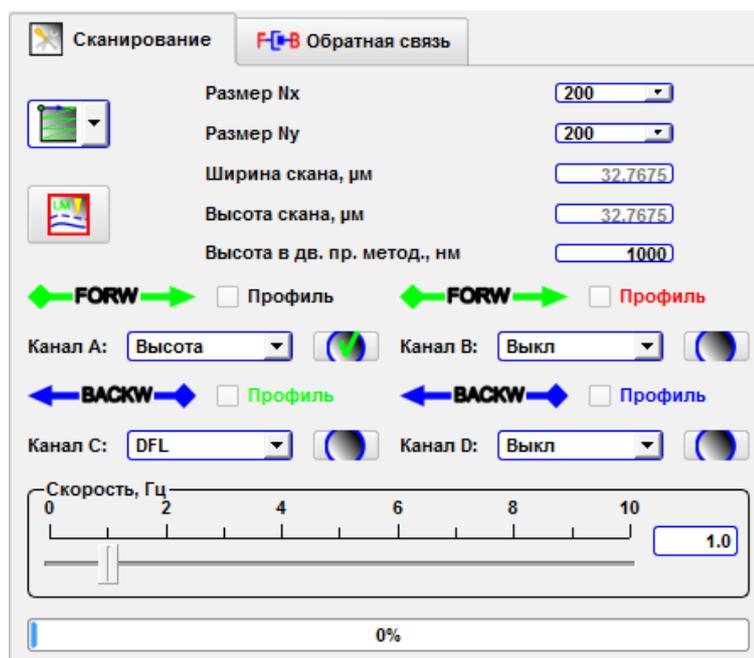


Рис. 4.43 Схема четырехсекционного фотодиода.

4.12.3. 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 А, Канал В, Канал С, Канал D) появляются кнопки . Нажатие на такие кнопки  означает выбор сигнала, накопление которого осуществляется на втором проходе зонда.

Рис. 4.44 Вид панели **Параметры сканирования** при выборе двупроходной методики.

4.12.4. *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** , расположенной на панели инструментов **Параметры сканирования**.



Рис. 4.45 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.

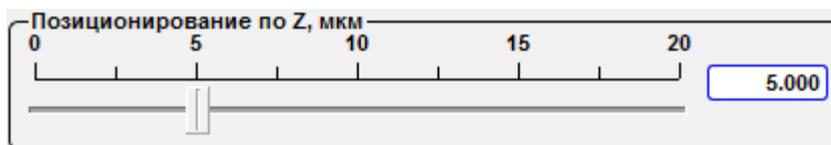


Рис. 4.46 Общий вид панели Позиционирование по Z.

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.

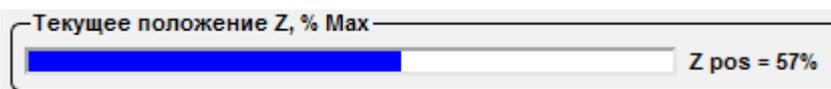


Рис. 4.47 Индикатор положения Z.



Рис. 4.48 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. 4.49 Кнопка Быстрое сканирование.

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

4.12.5. 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.

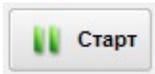
Для выбора числа точек в изображении следует руководствоваться следующими параметрами:

- 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.

4.12.6. 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.

4.13. 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.

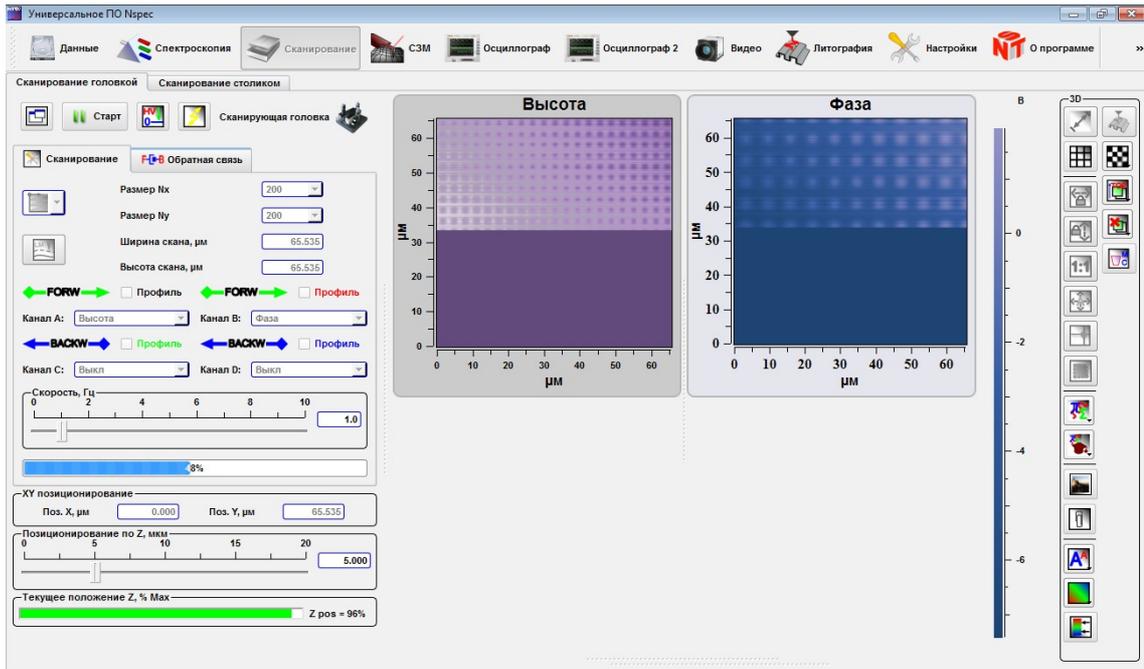


Рис. 4.50 Запуск сканирования.

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

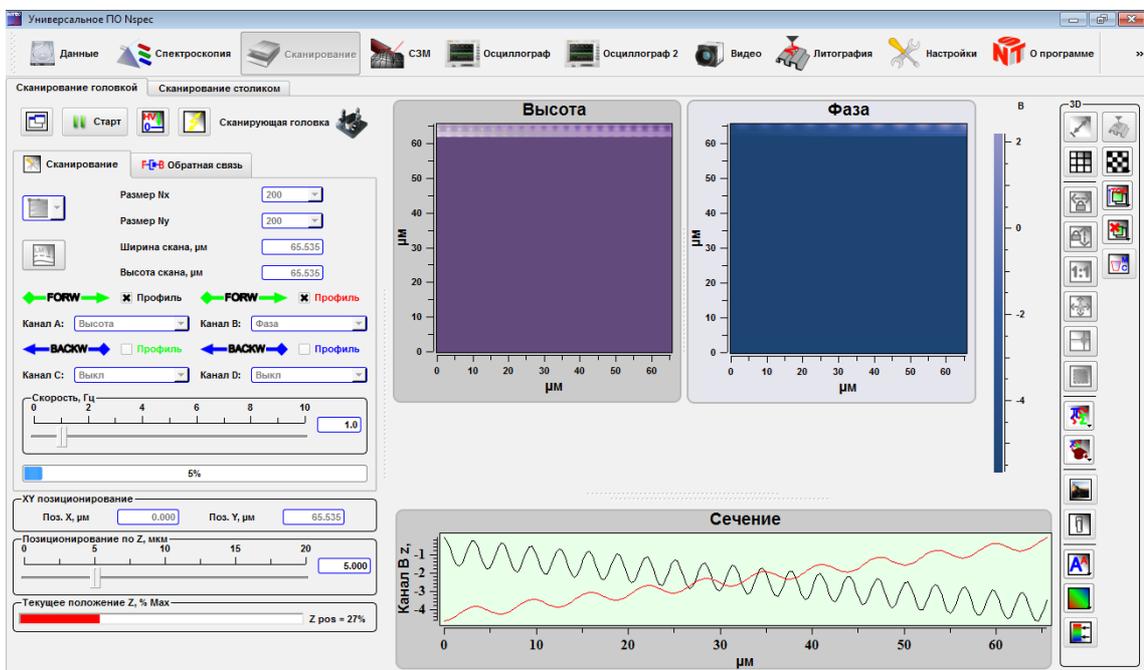


Рис. 4.51 Запуск сканирования с включенным отображением профилей линии сканирования.



4.14. Первичная обработка и сохранение результатов

Для первичной обработки и сохранения результатов используются встроенные инструменты работы с изображениями и графиками.

Подробное описание расположения и функций данных инструментов дано в руководстве пользователя программным обеспечением NSpec в разделах:

- раздел 2. Общие элементы интерфейса;
- раздел 3. Окно работы с данными.

При работе с данными рекомендуем всегда сохранять исходный файл без применения фильтров и дополнительных инструментов.

4.15. Прецизионное позиционирование

Для прецизионного позиционирования зонда в пределах 100x100 микрон с шагом в 0.1 нм используется сканирующая головка.

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

Для включения позиционирования необходимо во вкладке Сканирование 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 зонд.



4.16. Калибровки сканера

Если у сканера отсутствуют калибровки или их необходимо повторить то, для этого необходимо воспользоваться инструментами для калибровки.

В правой части окна **Осциллограф** расположена панель управления калибровками сканера **Тест/калибровки сканера**.

Тест/калибровки сканеров

ПК файл ПК файл Память СП Память СП

Об. Связь (емк. датчики) Корр. нелинейности

Head Stage

Скорость позиционирования, мкм/сек 100.00000

ПИД

	Пропорциональный	Интегральный	Дифф-ный
X	0.0500	0.0010	0.0000
Y	0.0500	0.0010	0.0000
Z	0.0300	0.0010	0.0000

Диапазоны, размах датчиков

	Размер, мкм	Усиление	Сдвиг
X	65.5350	340	25
Y	65.5350	170	70
Z	20.0000	800	0

Калибровки пьезоэлементов, $U(X) = A \cdot X^4 + B \cdot X^3 + C \cdot X^2 + D \cdot X + E$

	A	B	C	D	E
X	-0.00011	0.05632	-5.42715	782.27740	1178.5694
Y	-0.00024	0.05233	-3.71705	756.18225	4408.5424
Z	0.00000	13107.000	0.00200	0.00200	0.00200

Калибровки емкостных датчиков, $S(X) = A \cdot X^4 + B \cdot X^3 + C \cdot X^2 + D \cdot X + E$

	A	B	C	D	E
X	-0.00019	0.10046	-17.51002	1814.7484	-2593.688
Y	0.00128	-0.02711	6.62277	550.59552	-419.3330
Z	5.00000	4.90000	4.80000	4.70000	4.60000

Рис. 4.52 Панель тест/калибровки сканера.

		Обратная связь (ёмк датчики)	Кнопка включения/выключения обратной связи по датчикам. При включении обратной связи по датчикам кнопка становится зеленой.
		Коррекция нелинейности	Кнопка включения/выключения коррекции нелинейности. При включении коррекции нелинейности кнопка становится зелёной.
		ПК файл	Сохранение всех данных калибровочных коэффициентов в PC-файл.
		ПК файл	Открытие PC-файла.
		Память СП	Сохранение всех данных калибровочных коэффициентов в DSP-файл.
		Память СП	Открытие DSP-файла.
		Показать/скрыть окно для определения калибровок	При нажатии на эту кнопку открывается окно для калибровки сканеров СЗМ.
		Перепрограммировать контроллер (сменить прошивку)	Функция для автоматической смены прошивки контроллера. При нажатии на данную кнопку открывается стандартное окно проводника для выбора файла прошивки. После выбора файла прошивки операция протекает автоматически.

В поле скорость позиционирования $\mu\text{м/сек}$ устанавливается скорость перемещения зонда или основания в начальную точку сканирования или новое положение из предыдущего положения зонда или сканирующего основания.

Панель ПИД предназначена для установки коэффициентов ПИД-регулятора обратной связи ёмкостных датчиков. Соответственно, в полях **Пропорциональный**, **Интегральный** и **Дифференциальный** устанавливаются коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной компонент для каждой оси (X, Y, Z).

ПИД			
	Пропорциональный	Интегральный	Дифф-ный
X	<input type="text" value="0.0500"/>	<input type="text" value="0.0010"/>	<input type="text" value="0.0000"/>
Y	<input type="text" value="0.0500"/>	<input type="text" value="0.0010"/>	<input type="text" value="0.0000"/>
Z	<input type="text" value="0.0300"/>	<input type="text" value="0.0010"/>	<input type="text" value="0.0000"/>

Рис. 4.53 Панель ПИД.

На панели **Диапазоны, размах датчиков** в поле **Размер, μm** устанавливаются диапазоны сканирования для каждой оси (X, Y, Z). Поля **Усиление** и **Сдвиг** предназначены для служебных настроек калибровочных датчиков.

Диапазоны, размах датчиков			
	Размер, μm	Усиление	Сдвиг
X	65.5350	340	25
Y	65.5350	170	70
Z	20.0000	800	0

Рис. 4.54 Диапазоны, размах датчиков.

На панели **Калибровки пьезоэлементов** для каждой оси (X, Y, Z) устанавливаются калибровочные коэффициенты нелинейности с выключенной обратной связью по датчикам. Эта панель содержит таблицу коэффициентов программной коррекции нелинейности пьезосканера.

Калибровки пьезоэлементов, $U(X) = A \cdot X^4 + B \cdot X^3 + C \cdot X^2 + D \cdot X + E$					
	A	B	C	D	E
X	-0.00011	0.05632	-5.42715	782.27740	1178.5694
Y	-0.00024	0.05233	-3.71705	756.18225	4408.5424
Z	0.00000	13107.000	0.00200	0.00200	0.00200

Рис. 4.55 Калибровки пьезоэлементов.

Данные из этой таблицы необходимы для нелинейного пересчета напряжения U прикладываемого к пьезосканеру по соответствующему направлению от перемещения по соответствующей оси. Например, для оси X в системе EG-3000:

$$U(X) = A \times X^4 + B \times X^3 + C \times X^2 + D \times X + E,$$

где U – напряжение в счетах $0 \dots 65535$, X – перемещение в μm , $0 \dots X_{\text{max}}$ (диапазон), пересчет включается при нажатой кнопке **Коррекция нелинейности** , при отжатой кнопке **Коррекция нелинейности**  напряжение высчитывается линейно:

$$U(X) = 65535 \times \frac{X}{X_{\text{max}}}.$$

На панели **Калибровки ёмкостных датчиков** для каждой оси (X, Y, Z) устанавливаются калибровочные коэффициенты нелинейности с включенной

обратной связью по датчикам. Эта панель содержит таблицу коэффициентов программной коррекции нелинейности ёмкостных датчиков перемещения

Калибровки ёмкостных датчиков, $C(X) = A \cdot X^4 + B \cdot X^3 + C \cdot X^2 + D \cdot X + E$					
	A	B	C	D	E
X	-0.00019	0.10046	-17.51002	1814.7484	-2593.688
Y	0.00128	-0.02711	6.62277	550.59552	-419.3330
Z	5.00000	4.90000	4.80000	4.70000	4.60000

Рис. 4.56 Калибровки ёмкостных датчиков.

Данные из этой таблицы необходимы для нелинейного пересчета ёмкости C на датчике по соответствующему направлению от перемещения по соответствующей оси. Например, для оси X в системе EG-3000:

$$C(X) = A \times X^4 + B \times X^3 + C \times X^2 + D \times X + E,$$

где C – ёмкость на датчике в счетах $0 \dots 65535$, X – перемещение в μm , $0 \dots X_{\text{max}}$ (диапазон), пересчет включается при нажатой кнопке **Обратная связь (ёмк дат-**

чики) , при отжатой кнопке **Обратная связь (ёмк датчики)**  ёмкость высчитывается линейно:

$$C(X) = 65535 \times \frac{X}{X_{\text{max}}}$$

4.17. Калибровка сканеров

4.17.1. Режим калибровки

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.

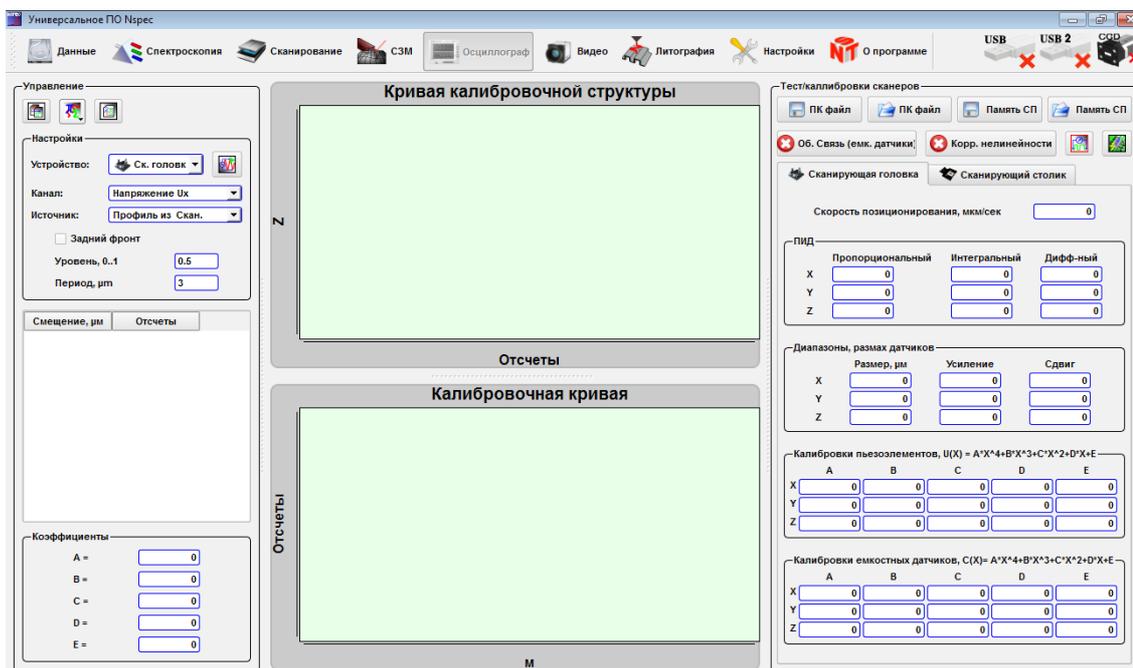


Рис. 4.57 Вид модуля Осциллограф при определении калибровок.

Для калибровки сканеров микроскопа необходимо воспользоваться следующими алгоритмами.

4.17.2. 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.

4.17.3. 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.

4.17.4. Панель инструментов Управление

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

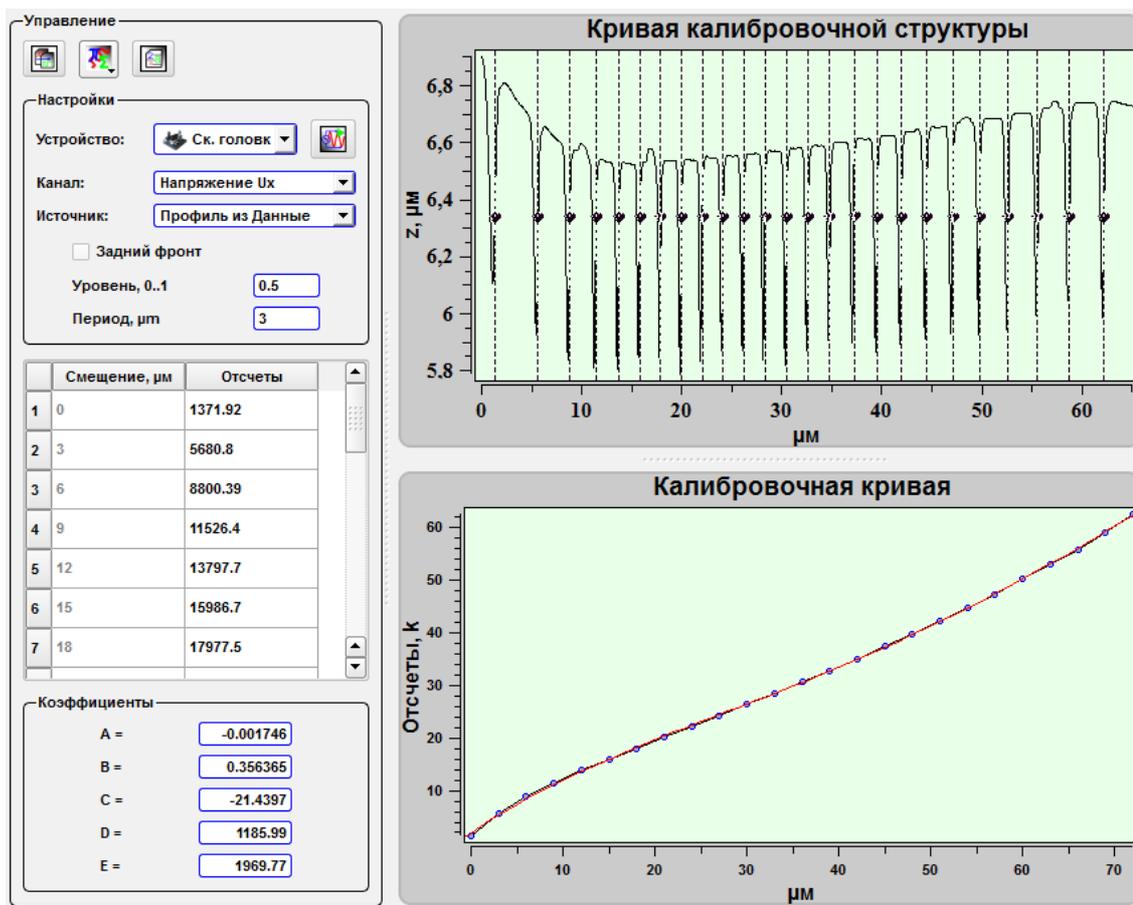


Рис. 4.58 Панель Управление.

	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

4.17.5. 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** .

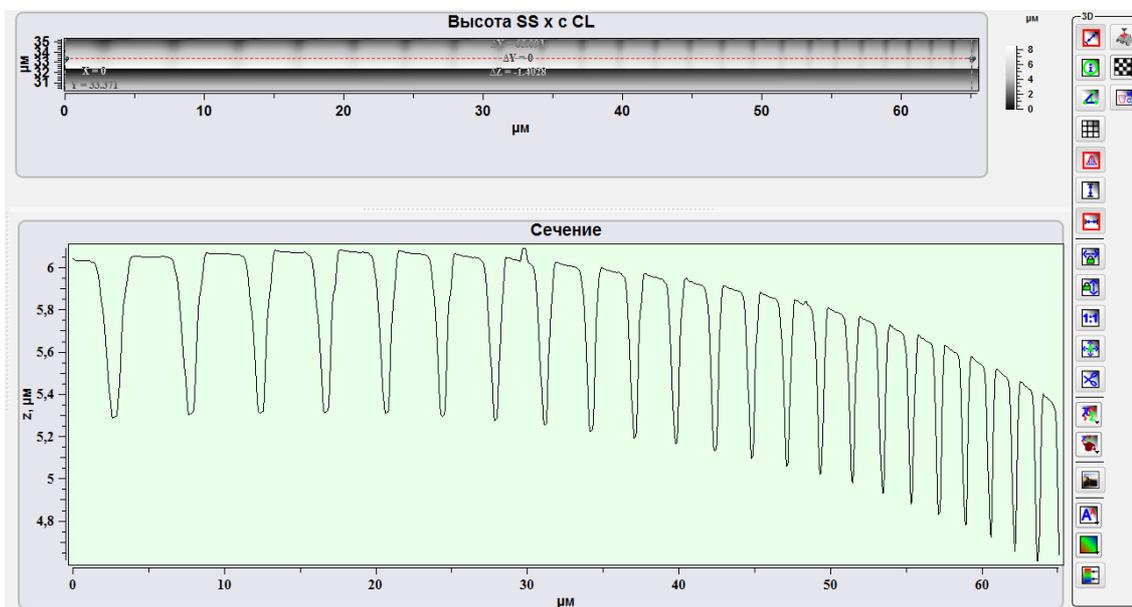


Рис. 4.59 Создание профиля для калибровки.

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 мкм. Далее необходимо нажать кнопку **Получить кривую с калибровочной структуры** .

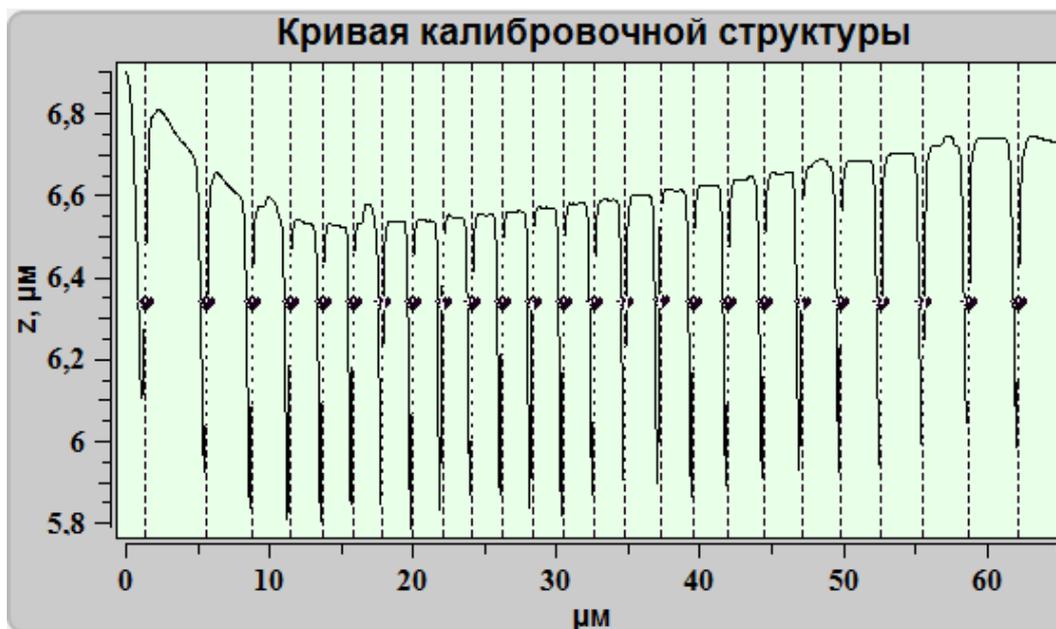


Рис. 4.60 Кривая с калибровочной структурой.

Далее необходимо применить нужные фильтры .

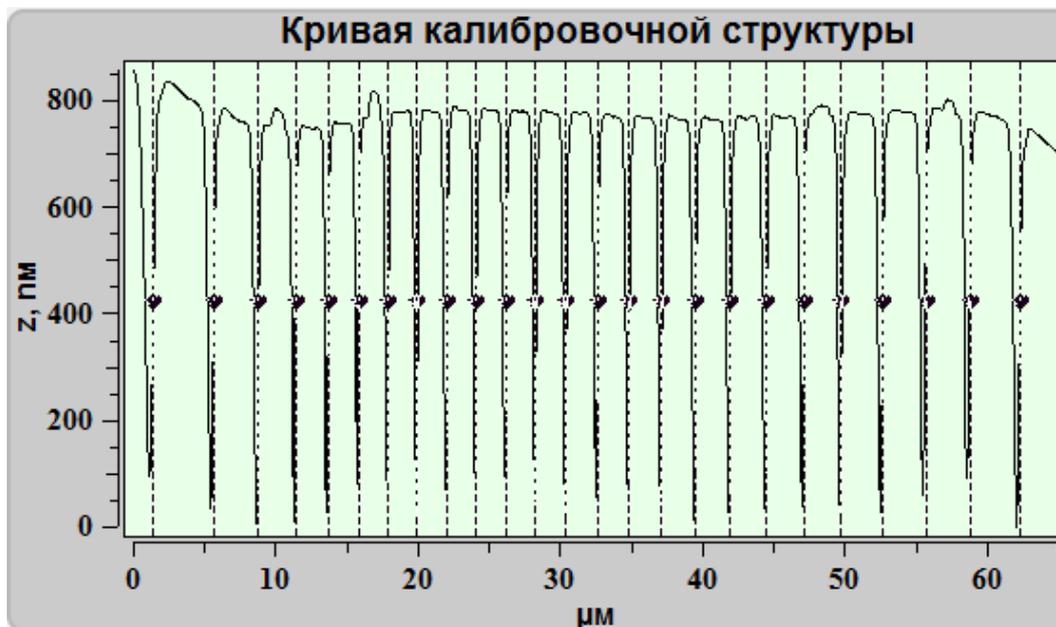


Рис. 4.61 Кривая с калибровочной структурой после применения фильтров.

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

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

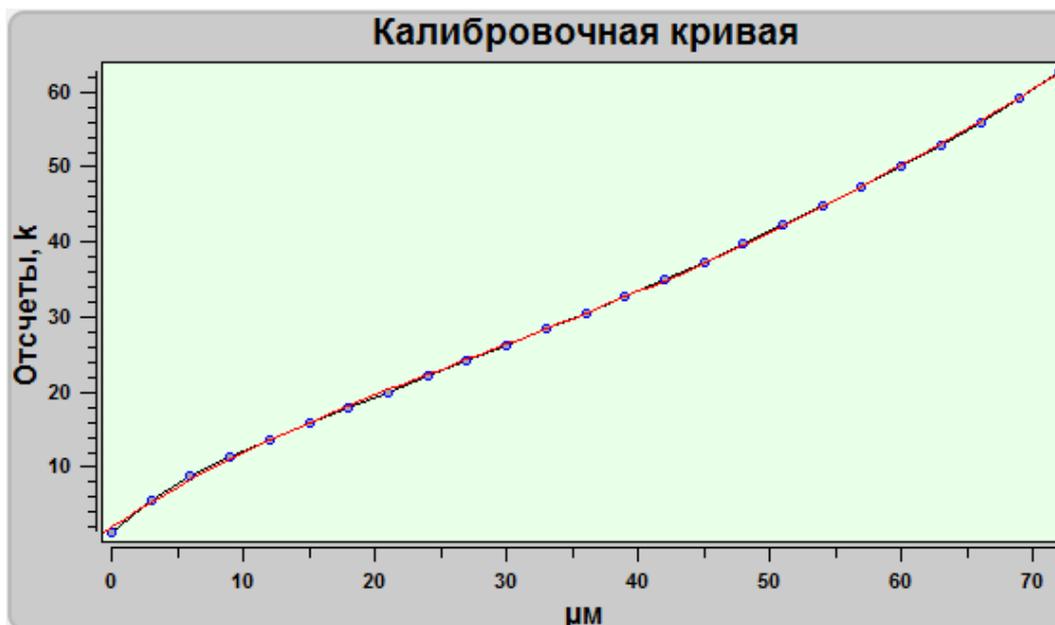


Рис. 4.62 Калибровочная кривая.

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. 4.63 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. Использование оптического оборудования с СЗМ Certus Standard

5.1. Общие принципы совмещения с оптическим оборудованием

Сканирующий зондовый микроскоп специально разработан для работы с оптическим оборудованием.

Конструкция СЗМ головки Certus 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.

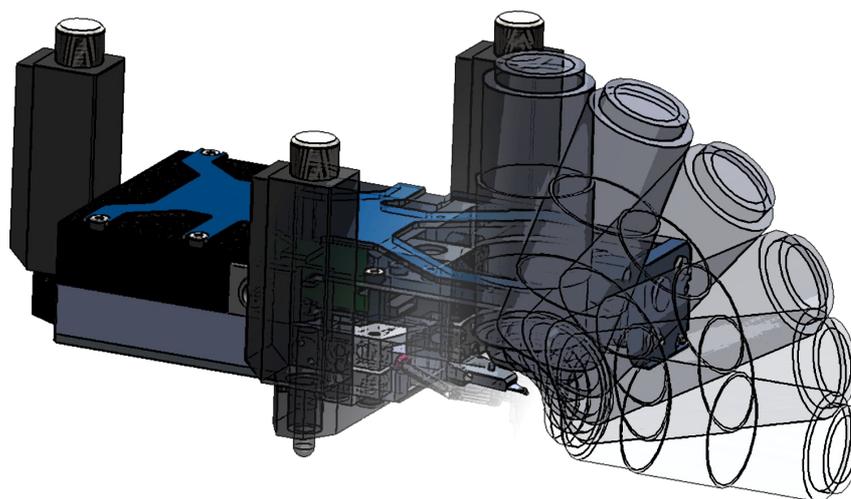


Рис. 5.1. Возможные положения объектива прямого микроскопа.

Общий диапазон положений объективов $0-180^\circ$ относительно оси проходящей через иглу зонда. 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.

5.2. Примеры совмещения с оптическим оборудованием

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.

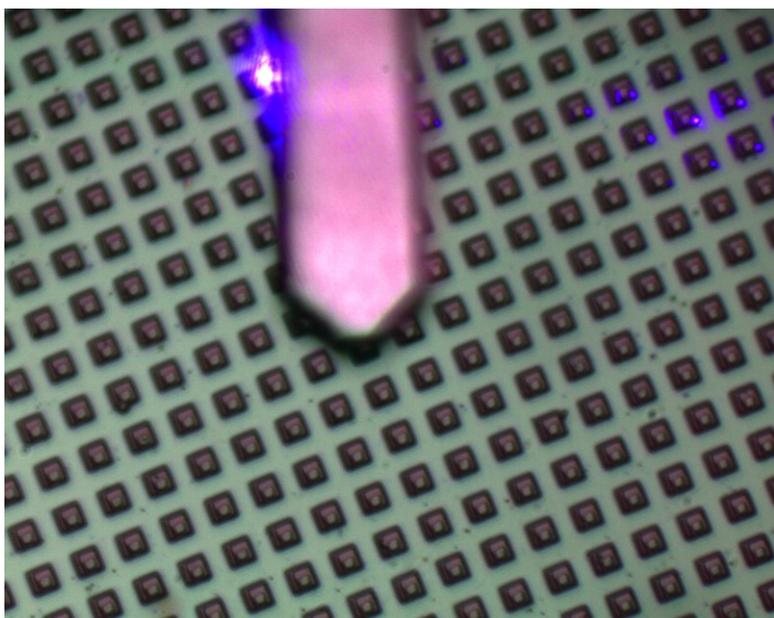


Рис. 5.2 Оптическое изображение зонда и поверхности образца.

5.3. Видео — настройка режима отображения изображения с видеокамеры

В СЗМ Certus Standard встроен оптический микроскоп с CCD видеокамерой. Для работы и настройки видеокамер используется модуль **Видео**.

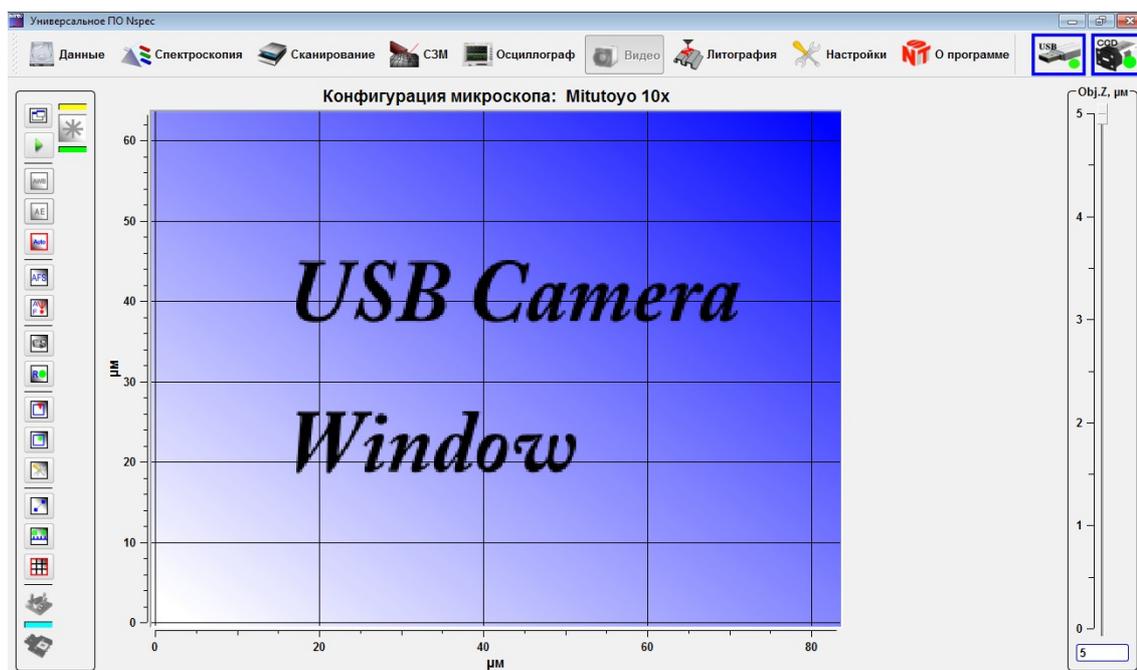


Рис. 5.3 Общий вид модуля Видео.

5.4. Базовые функции модуля Видео

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.

		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.
		Автофокусировка по изображению.	При нажатии на эту кнопку происходит автоматическое фокусирование объектива на поверхность или объекты на поверхности или в объеме. Данная функция работает только на приборах и комплексах с установленной однокоординатной подвижкой Vectus. Положение объектива по оси Z управляется вертикальным слайдером Obj.Z.
		Автофокусировка по лазеру.	Автоматическая фокусировка по максимуму отраженного сигнала. Данная функция работает только на комплексах Centaur (HR) с установленной однокоординатной подвижкой Vectus и при включенном источнике лазерного излучения. Подробный алгоритм работы с автофокусировкой по лазеру дан в руководстве по эксплуатации для комплексов Centaur. Положение объектива по оси Z управляется вертикальным слайдером Obj.Z.
		Сохранить как изображение	Функция для сохранения текущего изображение в одном из форматов для растровых изображений. При нажатии на данную кнопку открывается стандартное окно проводника для сохранения файлов и выбора формата файла.
		Запись видео	Функция для записи видео с CCD камеры. При нажатии на данную кнопку открывается стандартное окно проводника для сохранения файлов. После выбора названия файла и места для сохранения включается запись видео.

		Показать поле сканирования зондом	При нажатии на эту кнопку на изображении отображается поле сканирования зондом и поле сканирования основанием. Данные поля соответствуют диапазону сканирования установленных в приборе сканеров и могут иметь разные размеры.
		Показать поле сканирования лазером (в СЗМ Certus Standard отсутствует)	При нажатии на эту кнопку на изображении отображается поле сканирования образцом относительно фокуса лазера.
		Показать настройки	Настройки под объектив и сканеры.
		Линейные измерение	Кнопка для вызова функции линейных измерений на изображении. Имеет смысл только при наличии калибровок на установленный объектив.
		Показать оси	При нажатии на данную кнопку на изображении отображаются оси. Данная функция имеет смысл только при наличии калибровок на установленный объектив.
		Показать сетку	Кнопка для отображения сетки. При нажатии на эту кнопку на изображении отображается сетка.

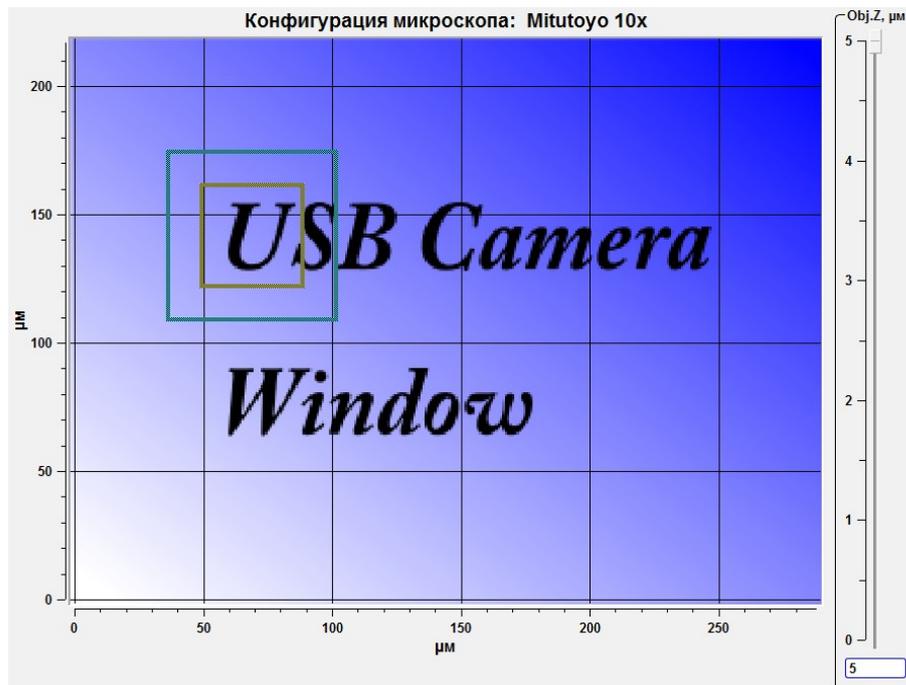


Рис. 5.4 Пример отображения поля сканирования зондом



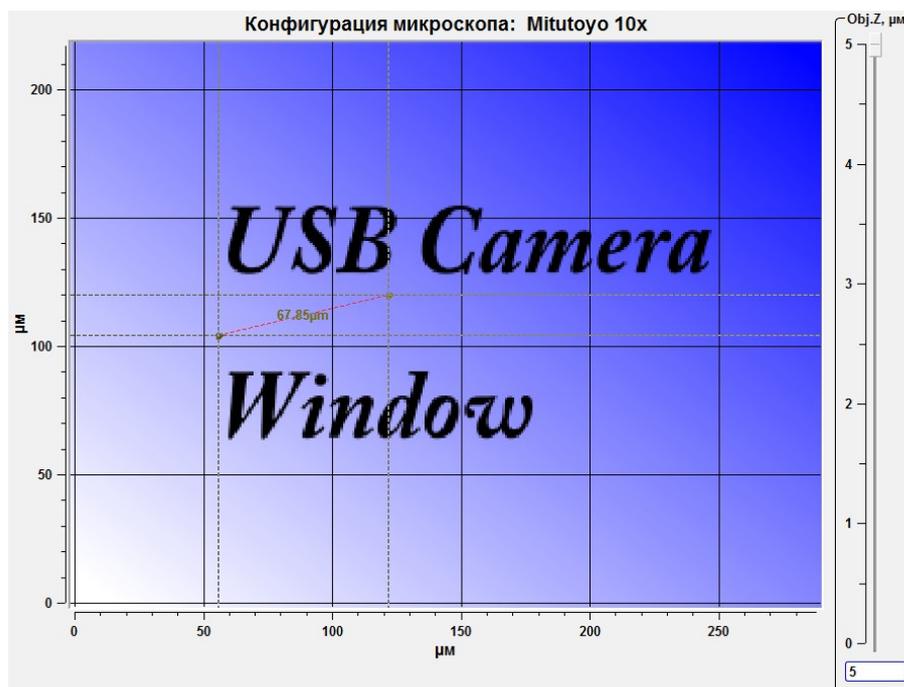


Рис. 5.5 Пример отображения инструмента для измерений



Каждое поле сканирования имеет свой цвет. Поле сканирования СЗМ головкой имеет синий цвет.



Рис. 5.6 Индикаторы цвета полей сканирования.

Для отключения отображения осей необходимо нажать кнопку



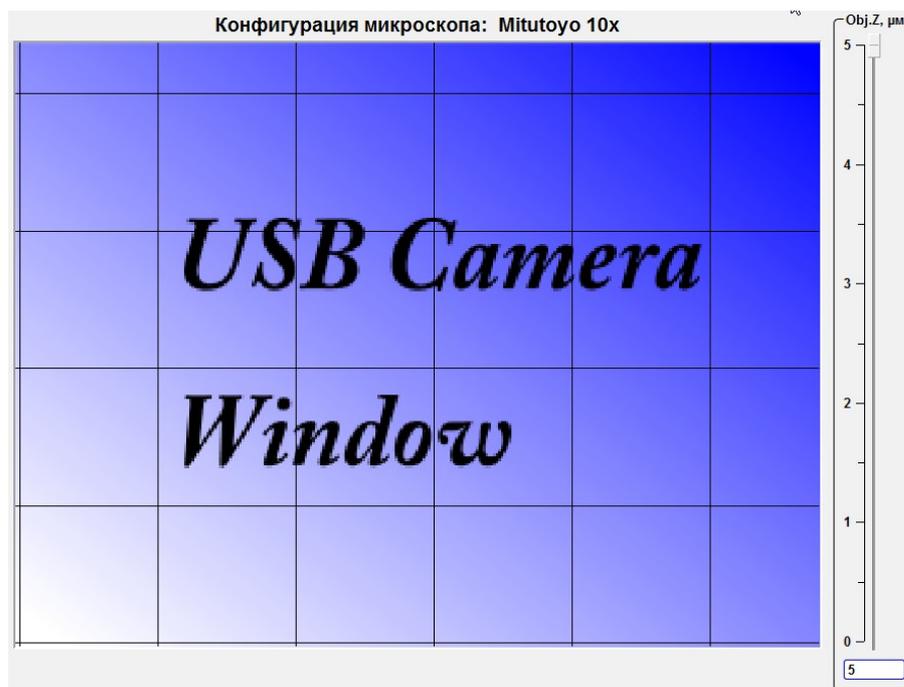


Рис. 5.7 Изображение без отображения осей.

Для отключения сетки необходимо нажать кнопку .



Рис. 5.8 Изображение без отображения сетки.

5.5. Калибровка под объективы

Работа с приборами и комплексами компании «Нано Скан Технологии» 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.

5.5.1. 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**.

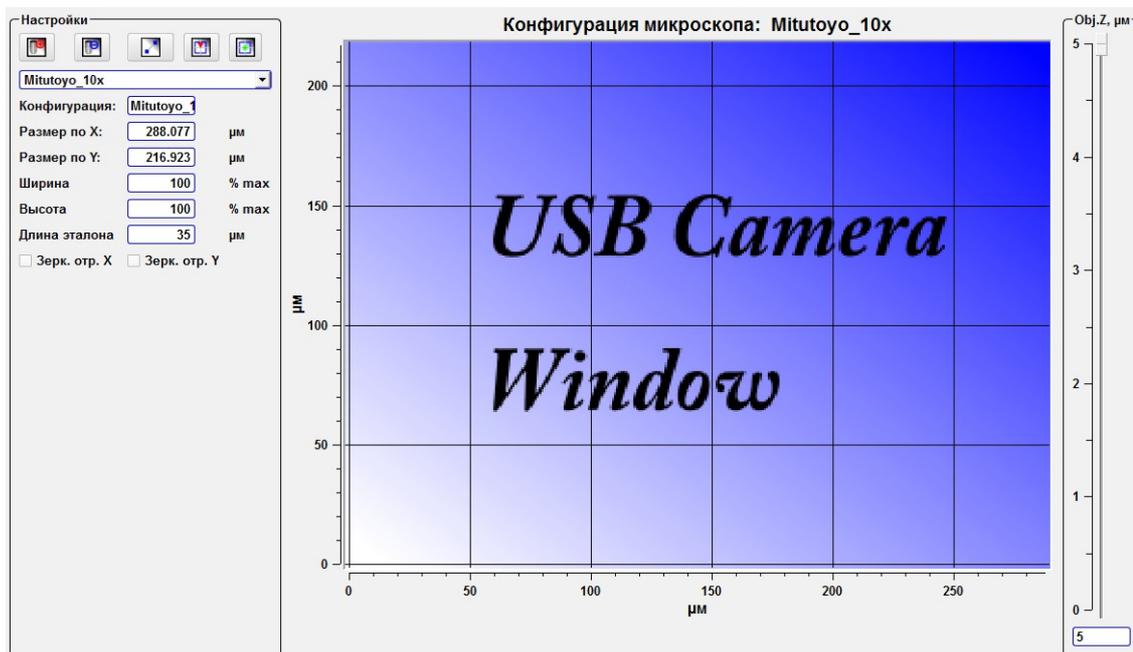


Рис. 5.9 Панель инструментов Настройки. Общий вид.

	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 (отсутствует в СЗМ Certus Standard)	После нажатия на эту кнопку на изображении отображается поле сканирования лазером. Кликая курсором в нужном месте изображения можно переместить поле сканирования в точку клика.

5.5.2. Основные поля панели инструментов настройки

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

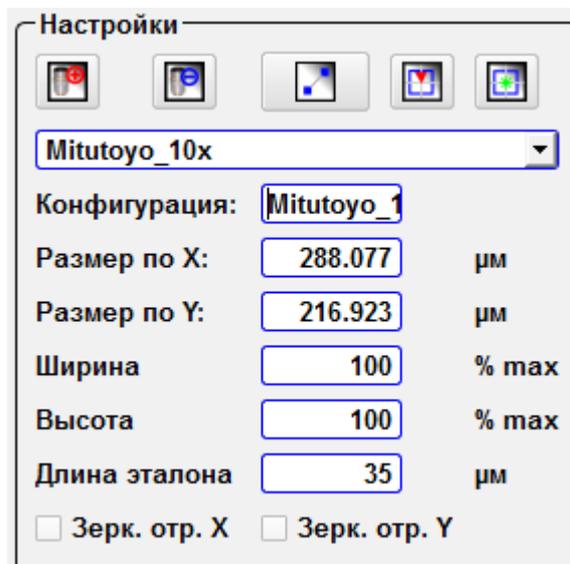


Рис.5.10 Панель инструментов Настройки

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.

5.5.3. 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.

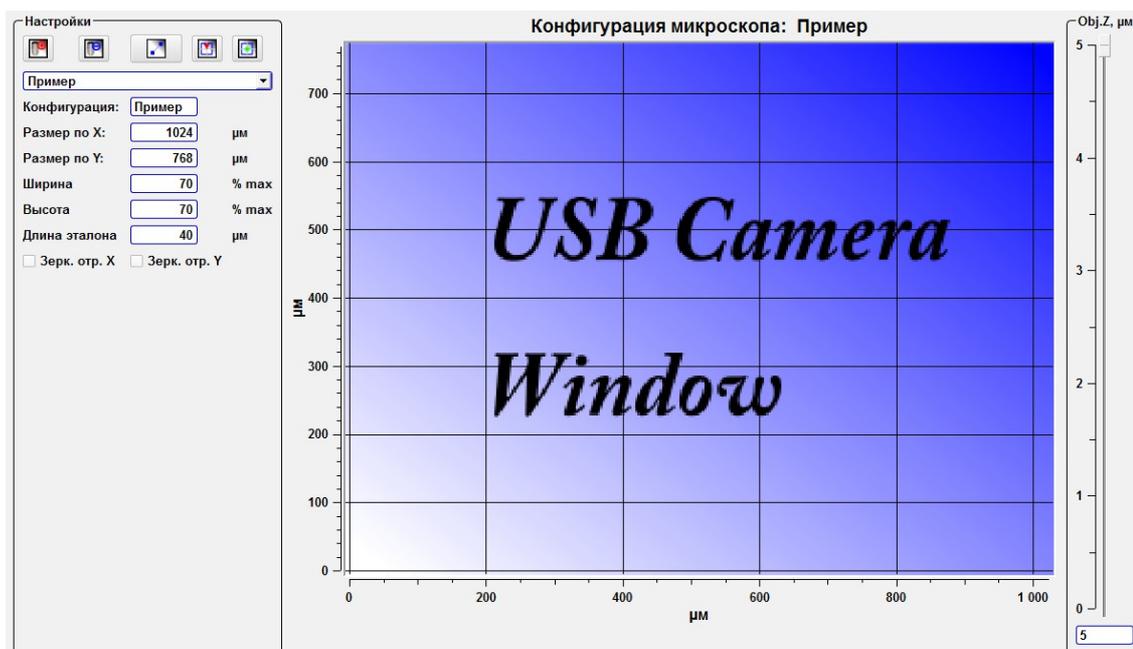


Рис. 5.11 Создание новой конфигурации объектива. Новые значения.

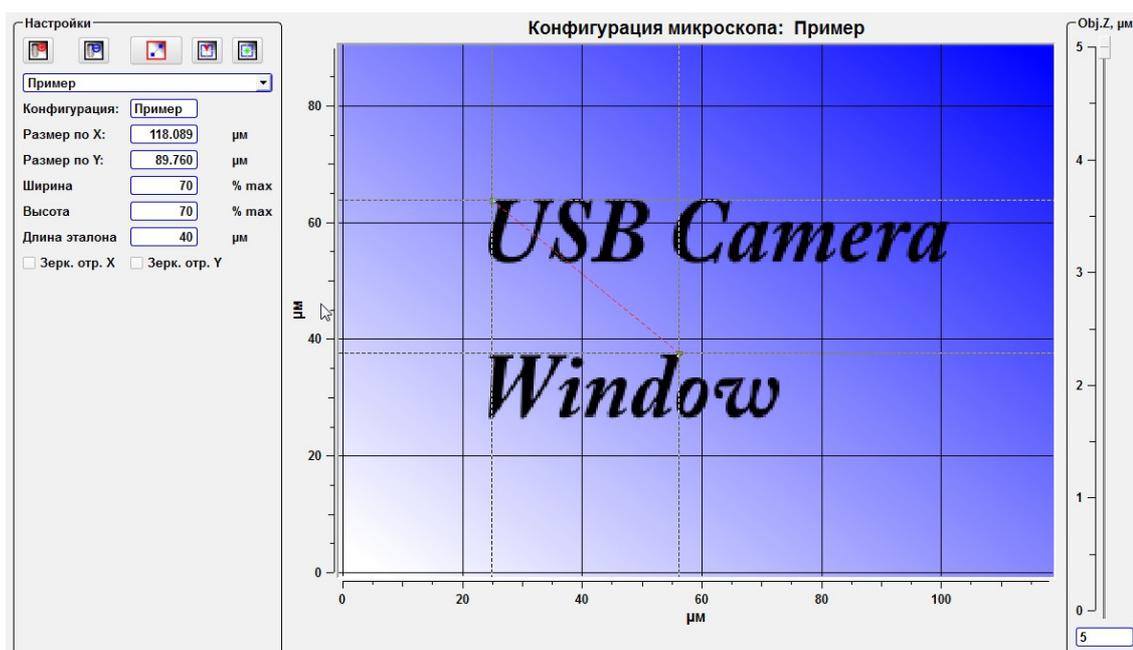


Рис. 5.12 Создание новой конфигурации объектива. Калибровка по изображению.

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

5.5.4. 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.

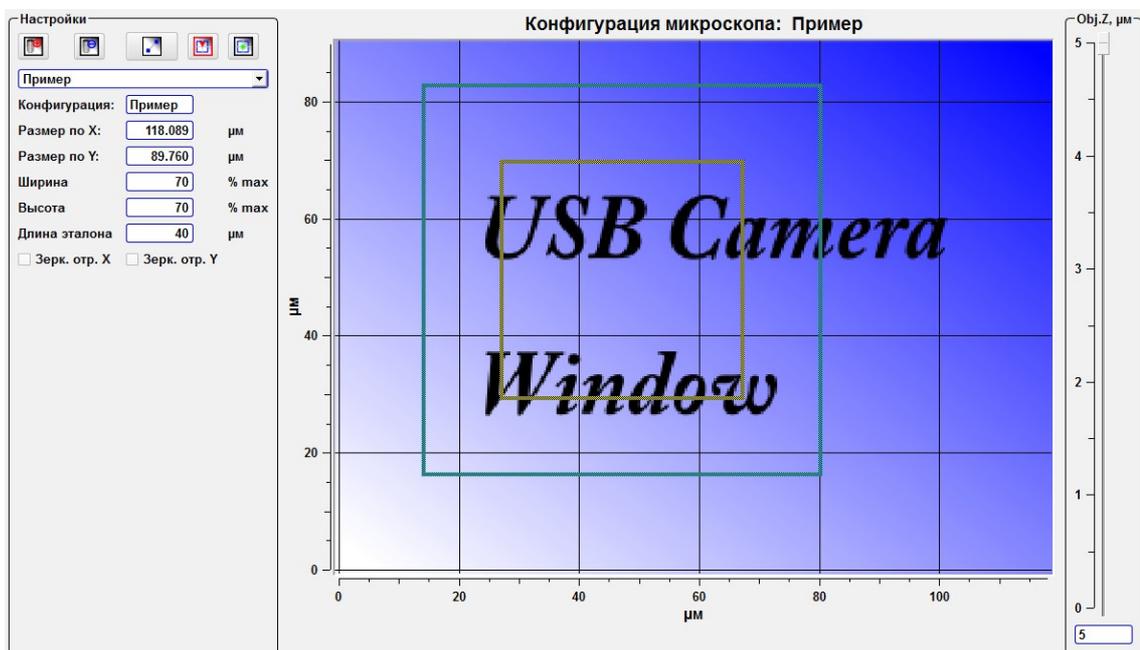
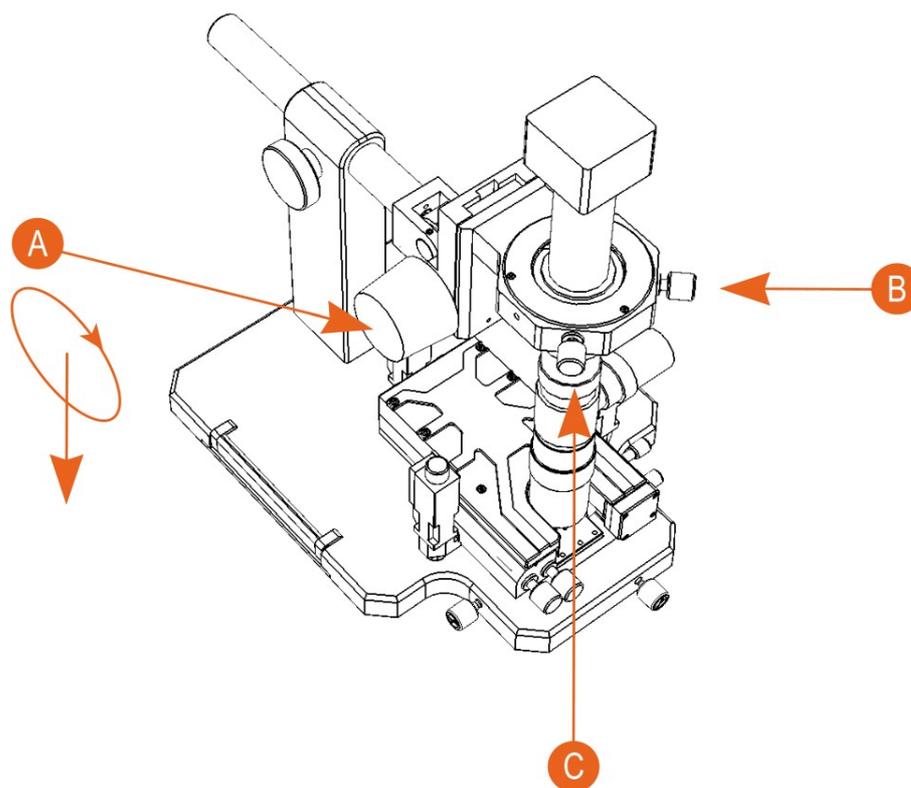


Рис. 5.13 Установка поля сканирования зондом.

5.6. Позиционирование микроскопа

Для фокусировки и позиционирования микроскопа используются винты позиционирования и ручка фокусировки микроскопа.



- | | |
|---|----------------------------------|
| A | Ручка фокусировки микроскопа |
| B | Винт позиционирования микроскопа |
| C | Винт позиционирования микроскопа |