

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИАиЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАиЭ СО РАН

_____ А.М. Шалагин

« ___ » _____ 2015 г.

КРУГОВАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЫВАЮЩАЯ СИСТЕМА

Руководство по эксплуатации

АЭ.2075РЭ

Руководитель проекта –

Зав. лаб. 07

ИАиЭ СО РАН

канд. техн. наук.

_____ В.П. Бессмельцев

« ___ » _____ 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Ссылочные документы.....	4
2. Термины, определения и сокращения.....	5
3. Требования безопасности	6
3.1. Меры безопасности, обеспечивающие защиту обслуживающего персонала.....	6
3.2. Правила безопасности, которые необходимо соблюдать при монтаже и эксплуатации КЛЗС.....	6
4. Описание КЛЗС и принципов ее работы.....	8
4.1. Описание и работа КЛЗС.....	8
4.2. Описание и работа составных частей изделия.....	13
5. Использование по назначению.....	49
5.1. Технология термохимической записи.....	50
5.2. Технология прямой лазерной записи на фоторезисте и ее моделирование.....	59
5.3. Поиск центра вращения шпинделя КЛЗС.....	66
5.4. Описание алгоритмов работы расчетных программ.....	68
6. Технические характеристики КЛЗС.....	73
7. Сдача КЛЗС в эксплуатацию.....	74

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) содержит сведения о назначении, составе, принципе действия и конструкции Круговой лазерной записывающей системы АЭ.2075 (далее – КЛЗС), разработанной по договору №64/839 от 15.11.2012 г., шифр «Око», ее технические характеристики, а также другие сведения, необходимые для правильной эксплуатации системы. КЛЗС – это комплекс лазерных, оптических, электронных, механических и пневматических узлов, образующих систему, предназначенную для прямой лазерной записи амплитудных бинарных микроструктур произвольной топологии на пленках хрома и фазовых многоуровневых микроструктур на пленках фоторезистов.

Комплект поставки КЛЗС включает гранитное основание на виброзащищенной платформе, прецизионный шпиндель на аэростатических опорах с приводом вращения, систему линейного перемещения на аэростатических опорах с приводом перемещения, лазерный интерферометр для измерения линейного перемещения, блок записи с системой автоматической фокусировки и видеокамерой контроля, канал записи с акустикооптическими модуляторами и двумя лазерами (с рабочими длинами волн 405 нм и 532 нм), электронную систему контроля и управления всеми узлами КЛЗС, пакет программного обеспечения для управления работой КЛЗС.

При проведении всех операций в процессе эксплуатации КЛЗС в составе обслуживающего персонала должен быть специалист с высшим техническим образованием. Обслуживающий персонал должен изучить эксплуатационную и другую техническую документацию на КЛЗС. Установка относится к классу опасности IV по лазерному излучению.

Данное руководство по эксплуатации распространяется на все версии КЛЗС, имеющие канал записи с двумя лазерами и программное обеспечение, работающее в операционной системе WINDOWS XP.

1 Ссылочные документы

Настоящее РЭ создано на основании требований ГОСТ 2.601 и ГОСТ Р 51288. В настоящем РЭ использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.601-2013 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ Р 51288-99 Средства измерений электрических и магнитных величин. Эксплуатационные документы

ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий

ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

ГОСТ Р МЭК 536—94 Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током

ГОСТ Р МЭК 60950-2002 Безопасность оборудования информационных технологий ПУЭ 7 издание Правила устройств электроустановок

ГОСТ Р 50571.3-94 Электроустановки зданий. Часть 41. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током

ГОСТ Р 51350-99 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования.

ГОСТ Р 51350-99 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования

ПОТ Р М-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок

2 Термины, определения и сокращения

В настоящем РЭ применяют следующие термины:

- руководство по эксплуатации (РЭ): По ГОСТ 2.601;
- класс защиты прибора: по ГОСТ Р 51350-99;
- структурная схема: по ГОСТ 2.701;
- настройка: Полный комплекс операций с целью достижения технических характеристик, определенных техническим заданием, и определения значений погрешностей.

В документе используются следующие сокращения:

- АФ – автоматическая фокусировка;
- ДОЭ – дифракционный оптический элемент;
- КЗ – Канал записи;
- КЛЗС – круговая лазерная записывающая система;
- ПЛЗ – прямая лазерная запись;
- ПО – программное обеспечение;
- СЛП – Система линейного перемещения

3 Требования безопасности

3.1 Меры безопасности, обеспечивающие защиту обслуживающего персонала

По способу защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током технические средства ПТК (нижнего и верхнего уровня) соответствуют классу I по ГОСТ Р МЭК 536—94 (раздел 2.5 «Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током»).

По безопасности КЛЗС соответствует требованиям следующих нормативных документов: ГОСТ Р 51350, ГОСТ Р 50723. Источники вторичного электропитания электронных блоков имеют световую индикацию включения напряжения питания. Все внешние части изделий, находящиеся под напряжением, превышающим 36 В по отношению к корпусу, защищены от случайных прикосновений к ним во время работы. Общие требования пожарной безопасности обеспечиваются путем использования негорючих материалов для изготовления корпусов оптоэлектронных и механических блоков КЛЗС и наличием защиты электропитания от коротких замыканий.

По лазерной опасности КЛЗС относится к классу опасности IV. Настройка системы со снятыми кожухами должна проводиться квалифицированным обученным персоналом, оснащенным защитными очками.

3.2 Правила безопасности, которые необходимо соблюдать при монтаже и эксплуатации КЛЗС

При эксплуатации КЛЗС необходимо соблюдать «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ Р М- 016-2001(РД 153-34.0-03.150-00)).

При выполнении работ по монтажу следует учитывать следующие виды опасности: пожароопасность, электроопасность, опасность травмирования при транспортировке.

При эксплуатации КЛЗС необходимо учитывать возможность возникновения следующих видов опасности: пожароопасность, электроопасность.

Работы по монтажу и эксплуатации технических средств КЛЗС разрешается выполнять лицам, обученным правилам пожарной безопасности, и имеющим квалификацию не ниже третьей группы с допуском к эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В.

Монтаж должен выполняться в соответствии с ПУЭ, ПЭЭП, СНиП 3.05.06-85. Безопасность производства монтажных работ обеспечивается в соответствии со СНиП 12-03- 2001.

Все работы по монтажу электронных блоков и кабелей должны производиться при полностью снятом напряжении.

При настройке оптического канала КЛЗС следует избегать прямого попадания оптического излучения в глаза.

4 Описание КЛЗС и принципов ее работы

4.1. Описание и работа КЛЗС

4.1.1. Назначение и области применения

КЛЗС предназначена для прямой лазерной записи амплитудных бинарных микроструктур произвольной топологии на пленках хрома и фазовых многоуровневых микроструктур на пленках фоторезистов.

КЛЗС применяется для изготовления шкал, сеток и лимбов, кодовых дисков, фотошаблонов дифракционных оптических элементов, фотошаблонов для элементов микромеханики и интегральной оптики, компьютерно-синтезированных голограмм.

Принцип работы КЛЗС состоит в формировании сфокусированным лучом лазера скрытых изображений в светочувствительных слоях. Запись изображений осуществляется путем пошагового перемещения записывающего лазерного пучка по радиусу непрерывно вращающейся подложки со светочувствительным слоем и синхронной с вращением модуляции мощности пучка под управлением компьютера.

В качестве светочувствительных слоев используются пленки фоторезиста для записи на длине волны 405 нм или пленки хрома для записи на длине волны 532 нм. После экспонирования светочувствительного слоя микрорисунок на подложках проявляется после жидкостного проявления. Для проявления фоторезиста используется водный раствор КОН 0,8 %, а для хрома – смесь 25 % водных растворов $K_3Fe(CN)_6$ и NaOH в соотношении 6:1.

Микроструктура фотошаблонов и оптических элементов может рассчитываться как в процессе записи для простых случаев (кольцевые и линейные решетки, надписи), так и рассчитываться или подготавливаться заранее в сложных случаях.

Применение КЛЗС позволяет решить задачи по изготовлению на стеклянных заготовках, покрытых пленками хрома, шкал, сеток и лимбов, кодовых дисков, фотошаблонов дифракционных оптических элементов, фотошаблонов для элементов микромеханики и интегральной оптики. Кроме этого КЛЗС позволяет формировать на фоторезисте, нанесенном на стеклянную заготовку, 3D многоуровневый микрорельеф компьютерно-синтезированных голограмм и дифракционных оптических элементов, который может быть в дальнейшем перенесен в материал подложки реактивным ионным травлением в случае применения кварцевой подложки

или реплицирован на поверхности полимера методами гальванопластики и инжекционного литья под давлением.

4.1.2 Условия окружающей среды

Для эксплуатации установки помещение, в котором она установлена, не должно быть хуже класса 10000. При этом влажность воздуха должна быть в пределах $(60 \pm 10 \%)$, а температура не должна колебаться более чем $\pm 0,2$ °С относительно среднего значения выбранного в диапазоне от 21 до 24 градусов. Скорость движения окружающего воздуха в помещении не должна превышать 0,15 м/сек.

Амплитуда вибрации фундамента, на котором установлена КЛЗС, не должна быть более 10 мкм в частотном диапазоне при частоте до 5 Гц, и не более 2 мкм - при частоте от 5 до 20 Гц.

4.1.3 Состав КЛЗС

КЛЗС включает в свой состав следующие блоки и узлы:

- гранитное основание на виброзащищенной платформе, предназначенное для размещения на нем прецизионного шпинделя на аэростатических опорах с приводом вращения, системы линейного перемещения на аэростатических опорах с приводом перемещения, лазерного интерферометра для измерения линейного перемещения, блока записи с системой автоматической фокусировки и видеокамерой контроля, канала записи с акусто-оптическими модуляторами и двумя лазерами (с рабочими длинами волн 405 нм и 532 нм);

- прецизионный шпиндель на аэростатических опорах с приводом вращения, предназначенный для размещения на нем обрабатываемых деталей, для обеспечения сканирования записывающего пучка по круговой координате в полярной системе координат;

- система линейного перемещения на аэростатических опорах с приводом перемещения, предназначенная для сканирования записывающего пучка по линейной координате;

- лазерный интерферометр для измерения линейного перемещения, предназначенный для контроля положения записывающего пучка по линейной координате;

– блок записи с системой автоматической фокусировки и видеокамерой контроля, предназначенный для формирования записываемого пучка, контроля положения луча в плоскости записи и контроля процесса записи в режиме реального времени;

– канал записи с акустооптическими модуляторами и двумя лазерами (с рабочими длинами волн 405 нм и 532 нм), предназначенный для генерации, формирования и переноса записываемого пучка в блок записи;

– электронная система контроля, предназначенная для управления всеми узлами КЛЗС.

ПО, поставляемое вместе с устройством, включает в себя ПО для настройки и тестирования и рабочую программу управления процессом записи.

4.1.4. Типы записываемых микроструктур и методы изготовления.

Характеристики и типичные примеры рельефа поверхности изготавливаемых на КЛЗС микроструктур и ДОЭ представлены в таблице 1. Для изготовления ДОЭ с бинарной амплитудной структурой может быть использована лазерная термохимическая технология записи на пленках хрома с применением высокомоощного излучения с длиной волны 532 нм для синтеза ДОЭ как с бинарным, так и непрерывным профилем могут быть использованы тонкие пленки фоторезиста, экспонируемые пучком диодного лазерного модуля с длиной волны 405 нм.

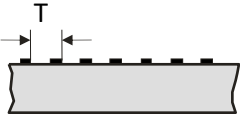
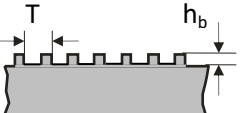
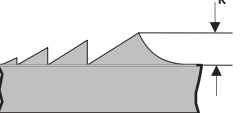
Для записи должны использоваться подложки с максимальным диаметром или диагональю не более 285 мм и толщиной не менее 1 мм и не более 25 мм.

Толщина экспонируемого слоя фоторезиста должна выбираться в диапазоне от 500 до 5000 нм, а толщина пленки хрома – не более 80 нм.

Минимальные размеры элементов записываемой неосесимметричной структуры в поле диаметром 150 мм не могут составлять менее 1 мкм, а в поле диаметром 285 мм - 2 мкм. При этом максимальная неравномерность ширины элементов записываемой структуры может достигать на рабочем поле с диаметром до 150 мм - 0,2 мкм, а на рабочем поле с диаметром до 285 мм - 0,4 мкм.

Минимальная ширина кольцевых зон записываемой осесимметричной структуры не может составлять менее 0.6 мкм.

Таблица 1

№	Тип структуры	Вид структуры	Характерные размеры	Область применения
1	Бинарная амплитудная структура		Минимальный период: $T_1 = 0,6$ мкм. Пропускание: $t = (1-3)D$	Оптическое приборостроение: фотошаблоны, маски, сетки, шкалы, кодовые диски, амплитудные голограммы
2	Бинарный (фазовый) микрорельеф		Минимальный период: $T_1 = 0,6$ мкм. Высота рельефа: $h_b = 0,1 - 5$ мкм	Оптическое и научное приборостроение, микромеханика, информатика, квантовая электроника, интегральная оптика
3	Непрерывный микрорельеф (киноформ)		Минимальный период : $T_1 = 5$ мкм. Высота рельефа: $h_k = 0,1 - 5$ мкм	Оптическое приборостроение, медицина, системы и приборы массового спроса

4.1.5. Принцип действия

При записи в полярных координатах на КЛЗС подложка, покрытая светочувствительным слоем, вращается с постоянной угловой скоростью, в то время как записывающий пучок перемещается вдоль прямой линии, пересекающей центр вращения. Круговое сканирование, оптимальное для записи осесимметричных ДОЭ, реализуется методом дискретного перемещения записывающего пучка. Этот метод сканирования удобно применять и для синтеза ДОЭ с произвольной топологией, если компьютер не успевает подготовить данные для следующего оборота в процессе записи предыдущего.

КЛЗС состоит из блоков, показанных на структурной схеме на рисунке 1.

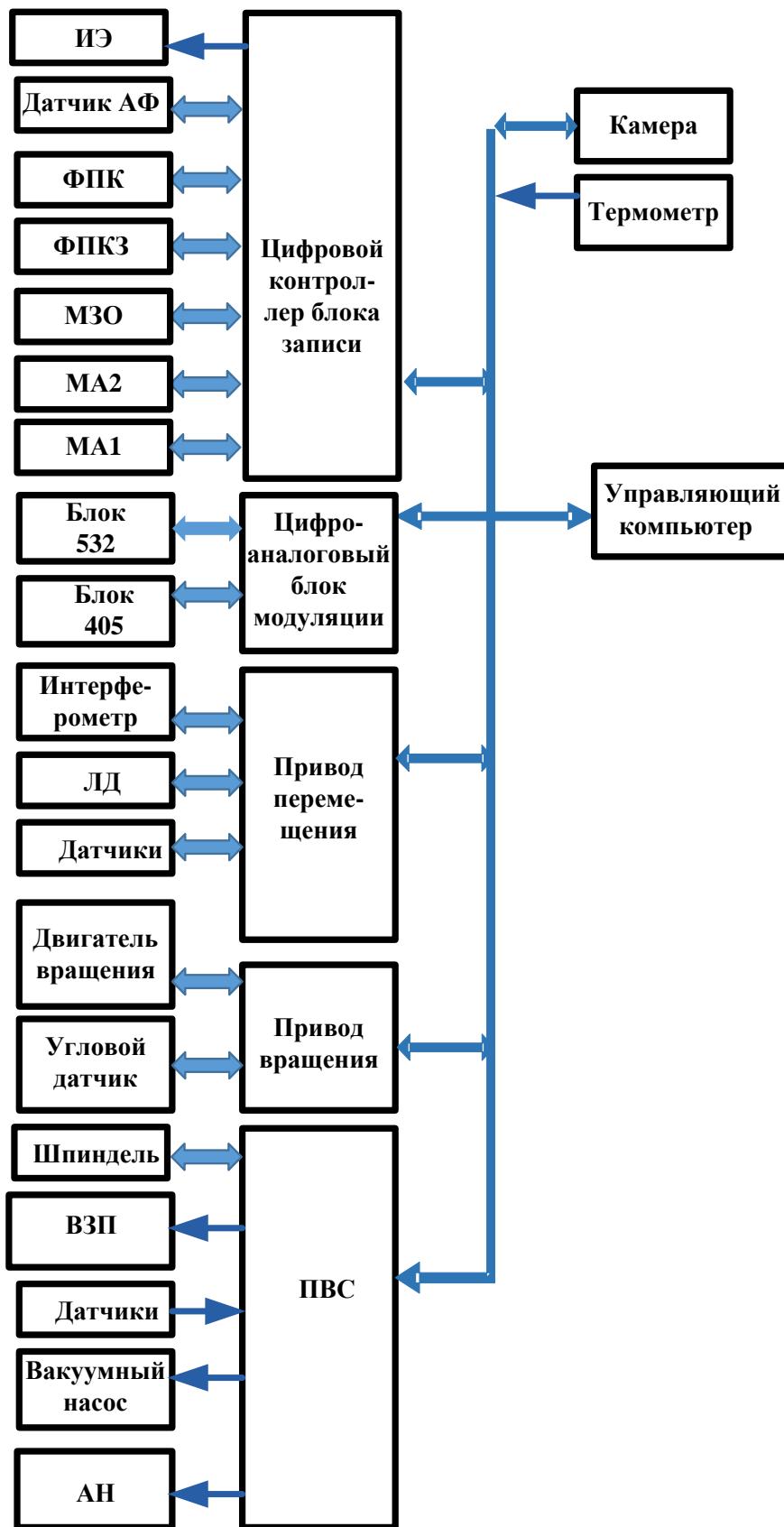


Рисунок 1 – Структурная схема

Функциональная схема КЛЗС приведена на рисунке 2.

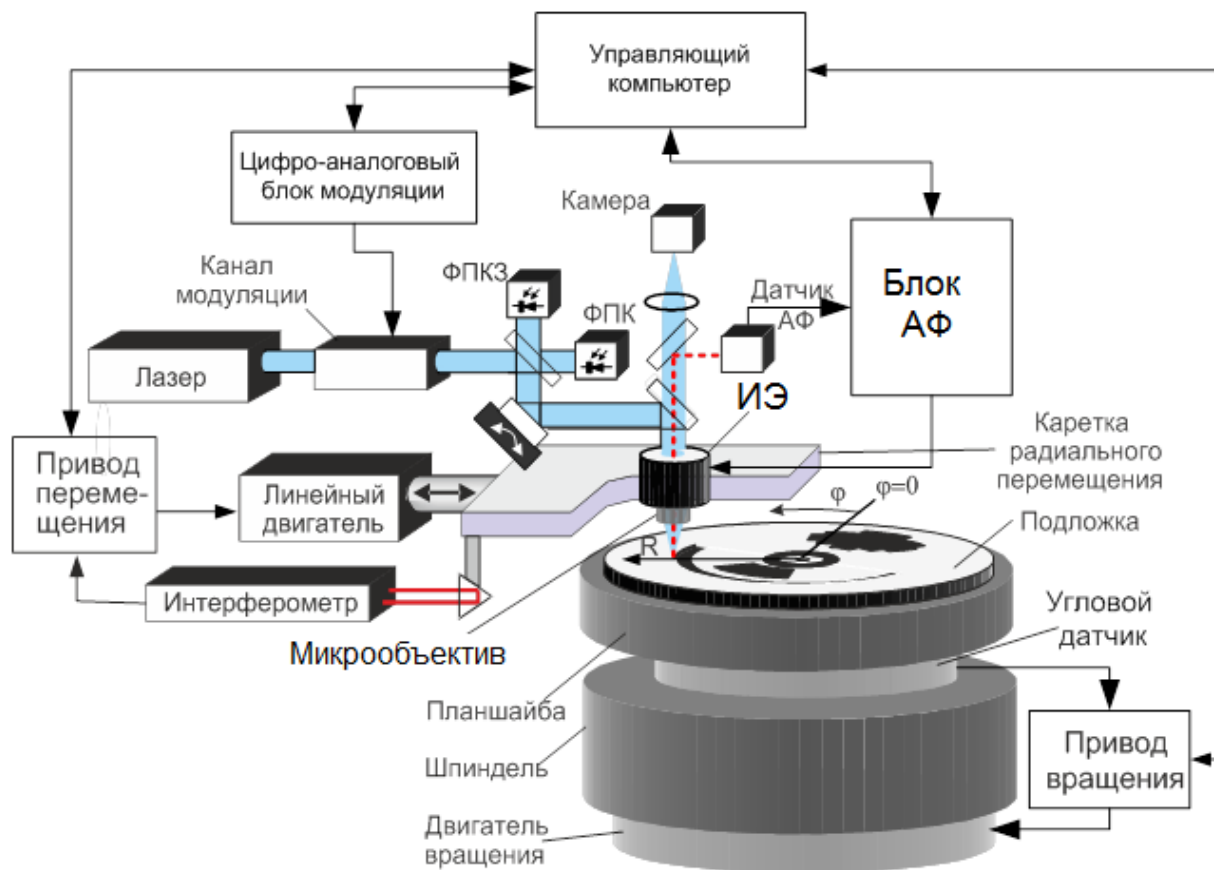


Рисунок 2 – Функциональная схема КЛЗС

Прецизионный шпиндель на аэростатических опорах с приводом вращения. Подложка, покрытая пленкой фоторезиста или хрома, устанавливается на планшайбе аэростатического шпинделя. На оси шпинделя установлены угловой датчик и двигатель вращения, управляемый приводом вращения по сигналам с углового датчика. Подложка крепится путем вакуумного прижима. Обычно скорость вращения составляет 600 об/мин.

Система линейного перемещения (СЛП). Платформа на аэростатических направляющих (АН) перемещается посредством линейного привода (ЛД) перпендикулярно оси вращения шпинделя. Управление линейным двигателем осуществляется по сигналам с

лазерного интерферометр (Интерферометр). Для коррекции длины волны лазерного интерферометра используются показания термометра.

Канал записи (КЗ) состоит из двух блоков: блока 405, устанавливаемого на каретке СЛП, и блока 532. ОКЗ предназначен для модуляции и формирования записывающего лазерного пучка с заданными геометрическими параметрами. Цифро-аналоговый блок модуляции осуществляет управление мощностью лазерного пучка на выходе блоков 532 и 405 с помощью акустооптических модуляторов и моторизованных аттенуаторов (МА1 и МА2).

Блок записи с системой автоматической фокусировки и видеокамерой контроля является выходным оптическим блоком оптической части КЛЗС. Основным оптическим компонентом блока записи является микрообъектив с большой числовой апертурой (обычно $NA=0,65$), связанный с исполнительным элементом системы автоматической фокусировки (АФ). Микрообъектив формирует записывающее пятно с диаметром от 0,7 до 0,8 мкм (на уровне 0,5). В состав блока записи входит микроскоп визуального контроля с цифровой камерой и светодиодным осветителем, установленным на моторизованном затворе-осветителе (МЗО), для наблюдения и контроля записываемых структур. Блок записи управляется цифровым контроллером блока записи (ЦКБЗ). Основной его функцией является управление системой автофокусировки, которая удерживает плоскость фокусировки микрообъектива, перемещаемого исполнительным элементом, на поверхности регистрирующего материала с точностью не хуже 0,1 мкм. Кроме этого через цифровой контроллер блока записи считываются показания фотоприемника контроля записи (ФПКЗ) и фотоприемника калибровки (ФПК). ЦКБЗ управляет моторизованными аттенуаторами МА1 и МА2, задающими мощность записывающих лазеров, а также моторизованным затвором-осветителем (МЗО).

4.2. Описание и работа составных частей изделия.

4.2.1 Оптический канал записи и алгоритмы его работы

Многообразие типов дифракционных элементов создает стимул к развитию технологий и оборудования для их изготовления с максимально возможной точностью и экономической эффективностью. Лазерные технологии и оборудование на основе использования термоструктурных, термохимических и фоточувствительных материалов позволяют создавать практически весь спектр микроструктурированных оптических элементов. Термоструктурные и термохимические материалы используются для создания бинарных фотошаблонов, а фоточувствительные материалы (в основном это позитивные фоторезисты) позволяют формировать бинарный и многоуровневый фазовые микрорельефы, а также изготавливать бинарные фотошаблоны путем проявления маскирующего слоя через окна в фоторезисте. Фоточувствительные материалы экспонируются, как правило, УФ излучением малой мощности, а для записи на термочувствительных материалах используются обычно на 2-3 порядка более мощные лазерные источники излучения видимой области спектра.

Компактность диодного лазера, имеющего специальную оптическую насадку для фокусировки выходного пучка в кристалл единственного АОМ, позволила разместить канал для записи на фоторезисте целиком на столе радиальной координаты. В опто-механическом блоке используется УФ диодный лазерный модуль PhoX производства компании Omicron GmbH и акустооптический модулятор с несущей частотой 200 МГц. Расходимость пучка на выходе коллиматора УФ диодного лазера выбирается таким образом, чтобы положение плоскостей фокусировки зеленого и УФ излучения совпадали с плоскостью фокусировки пучка красного лазера системы автофокусировки.

На рисунке 3 показана функциональная схема управления мощностью излучения записывающих лазеров в оптическом канале записи (ОКЗ) КЛЗС. На этой схеме приняты следующие обозначения: АОМ1-АОМ3 – акусто-оптические модуляторы, МА1-МА2 – моторизованные аттенюаторы, Л1-Л6 – линзы, СД1-СД2 – светоделители, ВЧД1-ВЧД3 – высокочастотные драйверы, ФП – фотоприемники, РС – управляющий компьютер, LED – светодиодный осветитель, УФ лазер – диодный лазер с длиной волны 405 нм. В качестве записывающих лазеров использовались диодный лазер PhoXX-405-60 фирмы Omicron GmbH (Германия) с длиной волны 405 нм и мощностью 60 мВт и DPSS лазер OPUS 2W Special фирмы Laser Quantum (Великобритания) с длиной волны 532 нм и мощностью 2 Вт. Выбор длин волн обусловлен тем, что лазеры на этих длинах волн наиболее отработаны и надежны в своих классах. Оба лазера, изготавливаемые производителями специально для новой модели CLWS-300, генерируют сходящийся лазерный пучок, формирующий на расстоянии от 130 до 150 мм перетяжку оптимальную для работы акустооптических модуляторов.

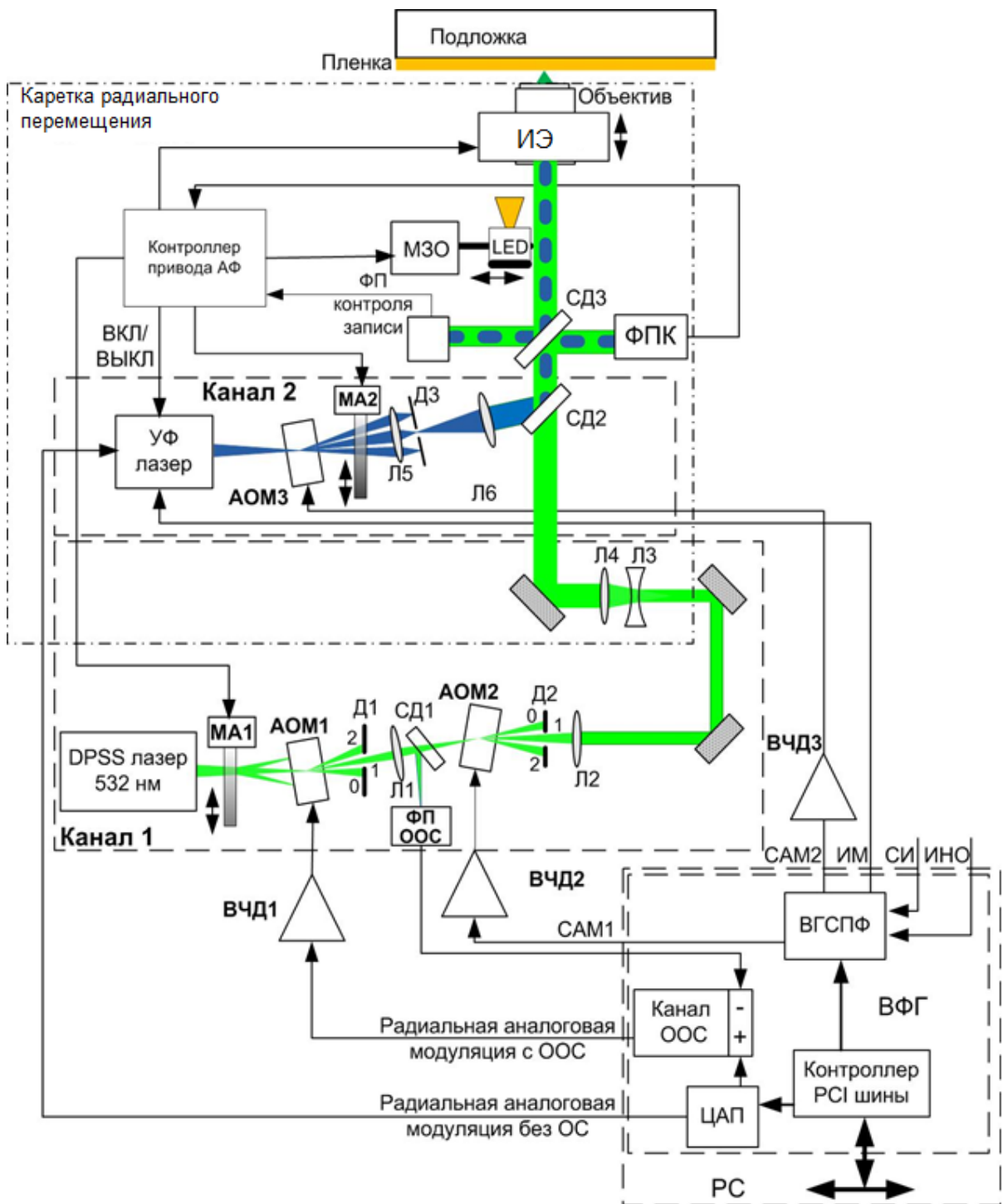


Рисунок 3 – Функциональная схема управления пучками записывающих лазеров в КЛЗС

Лазер PhoXX-405-60 формирует перетяжку диаметром от 120 до 130 мкм, обеспечивающую дифракционную эффективность 80 % и время нарастания сигнала не менее 25 нс при использовании АОМ с несущей 200 МГц. Лазер OPUS 2W Special формирует перетяжку диаметром от 180 до 200 мкм для работы с АОМ1, имеющем несущую 80 МГц, достаточную для медленного управления по радиальной координате. Кроме этого, увеличение перетяжки для первого модулятора позволяет уменьшить вероятность повреждения модулятора мощным сфокусированным

лазерным пучком. АОМ1 управляется по сигналу с фотоприёмника обратной связи ФП ООС. В модуляторе АОМ2 формируется перетяжка диаметром от 100 до 140 мкм для получения высокого быстродействия. Передаточная характеристика АОМ2 определяется в режиме калибровки по сигналу с фотоприемника калибровки (ФПК).

Первый канал с DPSS лазером построен также, как и рассмотренный ранее двухмодуляторный канал записи. Единственное отличие состоит в использовании моторизованного дифракционного аттенюатора. Он необходим в связи с тем, что DPSS лазеры оптимизированы производителями в достаточном узком диапазоне выходной мощности с точки зрения минимизации шумов и нестабильности диаграммы направленности для работы. Однако выходную мощность желательно варьировать при существенном изменении размера изготавливаемого ДОЭ для уменьшения влияния дискретности цифрового управления. Кроме этого снижение мощности лазера при записи небольших ДОЭ, когда в ней нет необходимости, позволяет продлить жизненный цикл акустооптических модуляторов. Применение моторизованного управляемого от компьютера аттенюатора удобно для автоматической адаптации системы записи к изменению размера изготавливаемого ДОЭ. Дифракционный фазовый аттенюатор в виде набора линейных решеток с переменной скважностью предназначен для управления мощностью излучения в нулевом порядке дифракции. Секторы с линейными решетками размещены вдоль прямой траектории перемещения моторизованного аттенюатора. В каждом секторе решетка должна быть минимально неоднородной, чтобы избежать искажения распределения интенсивности. Такая конструкция оптимальна для данной задачи с точки зрения минимизации фазовых искажений и отклонения пучка при перемещении аттенюатора. Мощность лазерного пучка на выходе дифракционного аттенюатора, необходимая для записи дифракционных элементов с диаметром от 10 до 300 мм по термохимической технологии на пленках хрома с толщиной от 50 до 80 нм с учетом потерь в двух акустооптических модуляторах, должна регулироваться в диапазоне от 0,2 до 1 Вт. Для облегчения настройки оптического канала системы мощность должна быть снижена до уровня менее 50 мВт. Эти требования задают значения пропускания для ступеней аттенюатора. Период решеток аттенюатора 15 мкм выбран так чтобы промежуток между центрами пучков соседних дифракционных порядков на расстоянии 100 мм от аттенюатора был не менее 3 мм (диаметр отверстия для входного пучка). Это обеспечивает экранирование кожухом акустооптического модулятора всех дифракционных порядков кроме +1 или -1.

4.2.2 Электронное управление ОКЗ

Функциональная схема электронного управления ОКЗ изображена на рисунке 4. Она включает пять электронных узлов: два одинаковых высокочастотных драйвера (ВЧД1, ВЧД2), два фотоприемника (ФП ОС, ФП калибр.) и плату векторного функционального генератора, задающую управляющие сигналы для высокочастотных драйверов АОМ на основе сигналов от фотоприемника обратной связи (ФП ОС), фотоприемника калибровки (ФП калибр.).

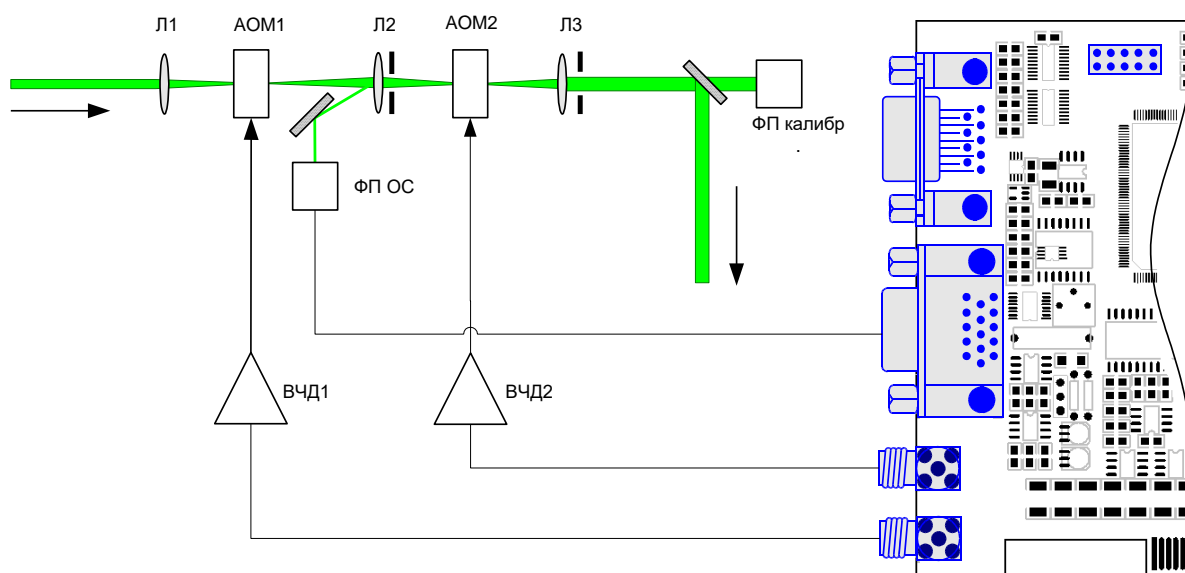


Рисунок 4 – Функциональная схема управления ОКЗ

Для подключения сигналов управления каждый АОМ имеет разъем типа SMA или SMB. Схема подключения АОМ Блока 532 представлена на рисунке 5. Цоколевка разъема АОМ представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Цоколевка разъема АОМ

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	IN	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

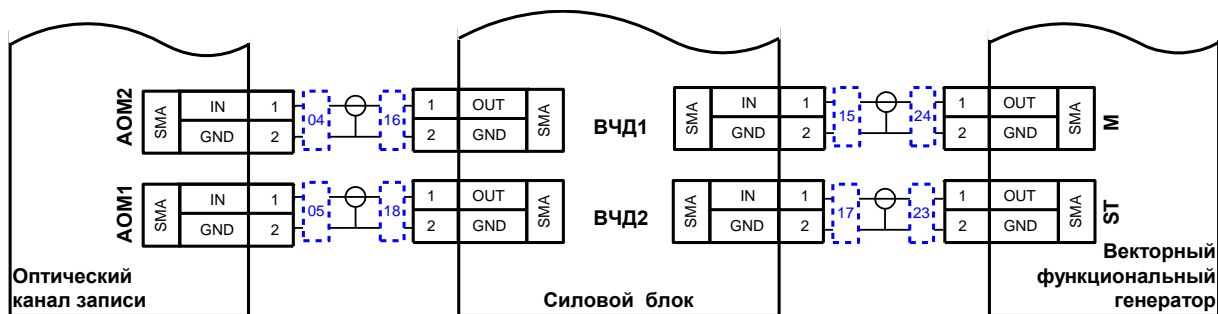


Рисунок 5 – Схема подключения АОМов

4.2.3 Высокочастотный драйвер АОМ

Высокочастотный драйвер (ВЧД) используется для формирования мощного амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала с несущей частотой 80 МГц или 200 МГц. Его питание осуществляется от источника с напряжением +24 В. ВЧД имеет аналоговый вход, задающий уровень амплитудной модуляции и аналоговый выход, согласованный на 50 Ом. Блок-схема ВЧД приведена на рисунке 6. Конструктивно драйверы АОМ находятся в силовом блоке под гранитной плитой.

Управление амплитудной модуляцией осуществляется изменением напряжения на входе от 0 до -1 В.

Частота Генератора определяется величиной напряжения U_f , но жестко зафиксирована в данной конструкции ВЧД. Крутизна амплитудной модуляции определяется напряжением U_p , которое также жестко зафиксировано.



Рисунок 6 – Блок-схема высокочастотного драйвера

ВНИМАНИЕ: ВКЛЮЧЕНИЕ ВЧД БЕЗ НАГРУЗКИ (АОМ) ПРИВОДИТ К ВЫХОДУ ИХ ИЗ СТРОЯ.

ВНИМАНИЕ: ПЕРЕГРЕВ ВЧД ВЫШЕ 70 ГРАДУСОВ МОЖЕТ ПРИВЕЗТИ К ВЫХОДУ ИХ ИЗ СТРОЯ. ПОЭТОМУ ВЕНТИЛЯТОР ОХЛАЖДЕНИЯ ДОЛЖЕН РАБОТАТЬ ВСЕГДА ПРИ ВКЛЮЧЕННЫХ ВЧД.

4.2.4 Фотоприемник обратной связи

Высокоскоростной аналоговый фотоприемник обратной связи предназначен для преобразования интенсивности отраженного линзой Л2 лазерного пучка с длиной волны 532 нм в электрический сигнал, являющийся сигналом обратной связи для управления АОМ1. Этот фотоприемник со сниженным уровнем шума имеет цифровую регулировку усиления, облегчающую настройку системы при изменении длины волны записывающего пучка или вариации его мощности при смене светочувствительного материала. Выходным параметром является аналоговое значение мощности лазерного излучения.

Функциональная схема фотоприемника изображена на рисунке 7. В состав устройства входят: PD - высокоскоростной фотодетектор; источник опорного напряжения Ref, задающий отрицательное напряжение смещения фотодиода; низкошумящий предусилитель Amp преобразует ток фотодиода в напряжение; также в фотоприемнике предусмотрен усилитель с переменным коэффициентом усиления Variable gain Amp для калибровки сигнала по уровню (может использоваться для коррекции спектральной чувствительности); Dif Buff – дифференциальный буфер. Также в состав фотоприемника входит стабилизированный преобразователь напряжения VC, который из входного напряжения формирует напряжения, необходимые для работы фотоприемника.

Спецификация характеристик фотоприемника приведена в таблице 3.

Устройство имеет один разъем типа DB9 для подключения сигналов управления. Цоколевка разъема аналогового фотоприемника приведена в таблице 4. Схема включения фотоприемника обратной связи представлена на рисунке 8.

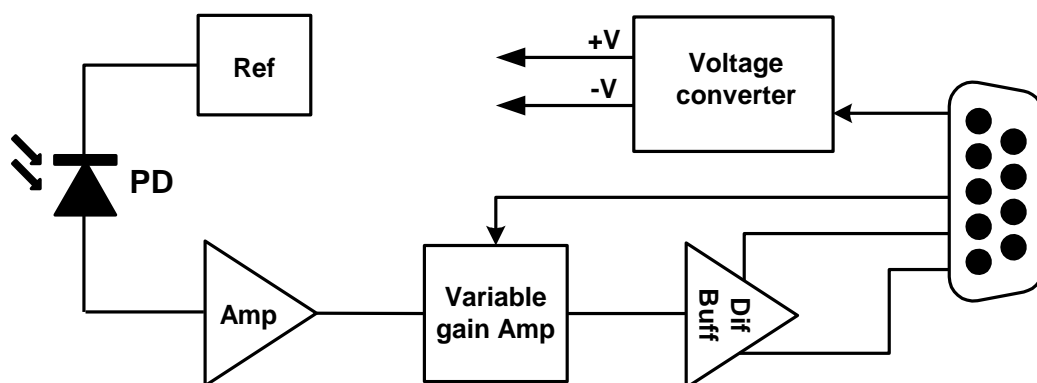


Рисунок 1 – Блок-схема фотоприемника обратной связи

Таблица 1 – Спецификация характеристик фотоприемника обратной связи

Параметр	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
----------	--------	-----	-----	-----	----------

Управление усилителем	Последовательный 16 бит				
Вход логической единицы		1.7			В
Вход логического нуля				0.6	В
Чтение с фотодетектора	Аналоговый				
Выходное напряжение		0		1	В
Нагрузка (волновое сопротивление линии связи)			200		Ом
Питание:					
– напряжение питания		4.8		5.2	В
– потребляемый ток			150	200	мА

Таблица 2 – Цоколевка разъема аналогового фотоприемника

Контакт	Сигнал	Вход/ Выход	Описание
1	Q+	Выход	Плюс выходного сигнала
2	Q-	Выход	Минус выходного сигнала
3	GNA		Земля
4	CGND		Земля
5	CVCC	+5 В	Напряжение питания
6	SYNK	Вход	Сигнал кадровой синхронизации для входа
7	CLK	Вход	Тактовый сигнал
8	D0	Вход	Последовательные данные
9	GND		Земля

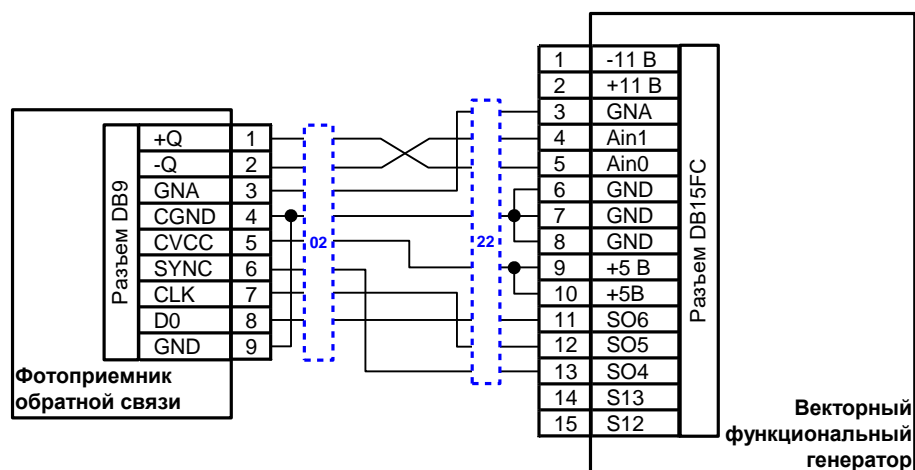


Рисунок 2 – Схема включения фотоприемника обратной связи

Управление усилителем осуществляется посредством записи в фотоприемник кода усиления.

4.2.5 Фотоприемник калибровки

Цифровой фотоприемник калибровки предназначен для калибровки мощности пучков технологических лазеров путем преобразования интенсивности падающего на него светового пучка в электрический сигнал. Фотоприемник со сниженным уровнем шума характеризуется высокой разрешающей способностью, имеет цифровую регулировку усиления, встроенный 16 битный АЦП, 1МГц. Выходным параметром является цифровое значение мощности лазерного излучения. Основные функциональные элементы фотоприемника отображены на блок-схеме (рисунок 9).

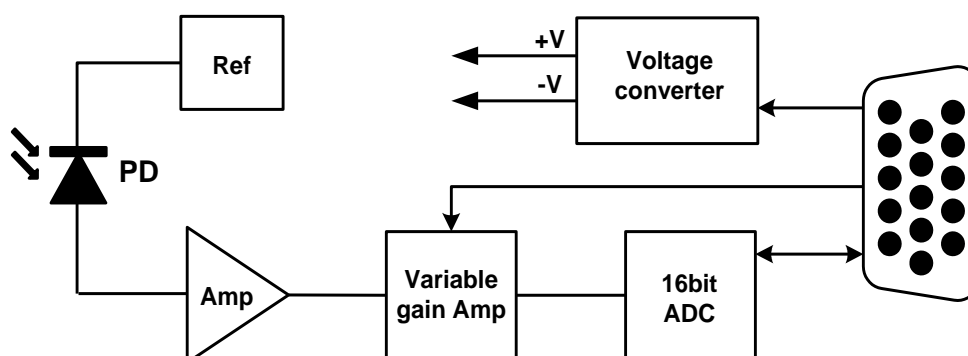


Рисунок 9 – Блок-схема цифрового фотоприемника

В состав устройства входят: PD - высокоскоростной фотодетектор; источник опорного напряжения Ref, задающий отрицательное напряжение смещения фотодиода; низкошумящий предусилитель Amp преобразует ток фотодиода в напряжение; также в фотоприемнике предусмотрен усилитель с переменным коэффициентом усиления Variable gain Amp для калибровки сигнала по уровню (может использоваться для коррекции спектральной чувствительности); 16-битный АЦП (ADC) преобразует сигнал в цифровой вид; стабилизированный преобразователь напряжения VC, который из входного напряжения формирует напряжения, необходимые для работы фотоприемника.

Спецификация параметров фотоприемника приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Спецификация параметров цифрового фотоприемника

Параметр	Формат	Min	Тип	Max	Ед. изм.
Управление усилителем	Последовательный 16 бит				
Вход логической единицы		1,7			В
Вход логического нуля				0,6	В
Чтение с фотодетектора	Последовательный 16 бит				
Выход логического нуля				0,4	В
Выход логической единицы		2,1			В
Питание:					
– напряжение питания		4.8		5.2	В
– потребляемый ток			150	200	мА

Устройство имеет один разъем типа DB15C для подключения сигналов управления. Схема включения фотоприемника калибровки представлена на рисунке 10.

Цоколевка разъема цифрового фотоприемника приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Цоколевка разъема цифрового фотоприемника

Контакт	Сигнал	Вход/Выход	Описание
1	ADCD	Выход	Последовательные данные
2	ADCCLK	Выход	Тактовый сигнал
3	ADCSYNK	Выход	Сигнал кадровой синхронизации для выходных данных
4	ADCBUSY	Выход	Выход занят
5	ADCCONVST	Вход	Начало преобразования
6	VCC		Напряжение питания
7	VCC		Напряжение питания
8	GND		Земля
9	GND		Земля
10	GND		Земля
11	DACD	Вход	Последовательные данные
12	DACCLK	Вход	Тактовый сигнал
13	DACSYNC	Вход	Сигнал кадровой синхронизации для

Контакт	Сигнал	Вход/Выход	Описание
			ВХОДНЫХ ДАННЫХ

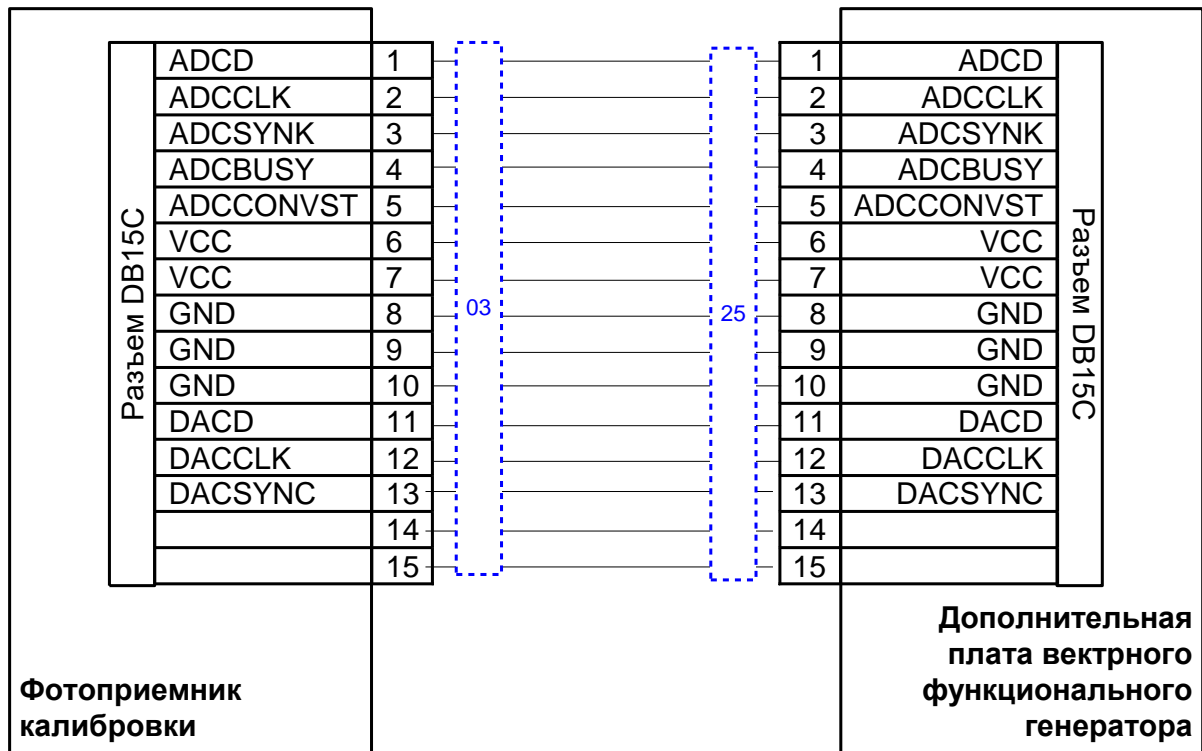


Рисунок 10 – Схема включения фотоприемника

Фотоприемник имеет два режима работы: управление усилением и чтение с фотоприемника. Управление усилителем осуществляется посредством записи в фотоприемник кода усиления.

4.2.6 Силовой блок

Силовой блок (рисунок 11) обеспечивает все узлы системы постоянными напряжениями. В силовой блок входят: промышленный источник питания для ПК; источник питания драйверов АОМ; источник питания усилителей тока; источник питания головки записи; высокочастотные драйверы АОМ; усилители тока. На драйверы АОМ поступает стабилизированное напряжение +24 В, на плату угловой координаты и головку записи подается напряжение +5 В и ±12 В.

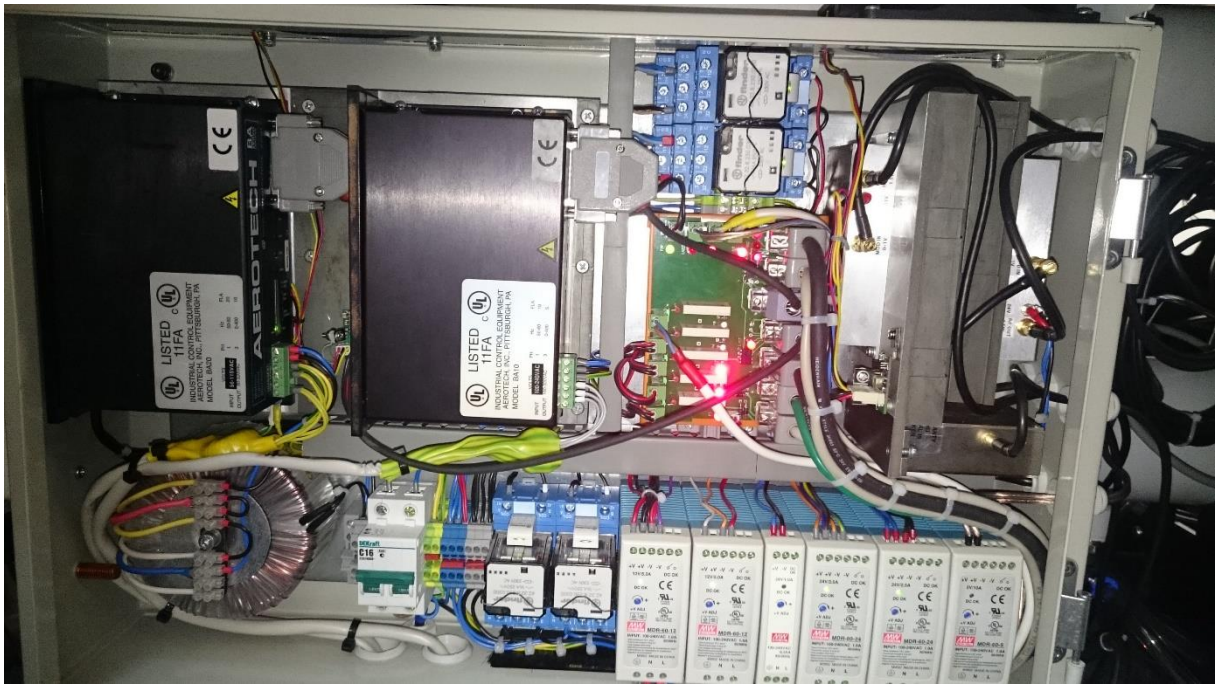


Рисунок 11 – Силовой блок

Частичное включение блока производится после включения управляющего компьютера с помощью тумблера на передней панели. Питание силового блока осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

4.2.7 Векторный функциональный генератор

Векторный функциональный генератор VFG3 функционирует на шине PCI компьютера, предназначен для распаковки и вывода информации в аналоговом формате и осуществляет синхронизацию всех устройств системы. Частота аналоговой модуляции лежит в диапазоне от 0 до 50 МГц; частота цифровой модуляции - до 100 МГц. Устройство имеет встроенный драйвер стабилизации мощности и умножитель частоты синхроимпульсов.

Формирование сигнала генератора осуществляется синхронно с внешними или внутренними синхроимпульсами и импульсами начала кадра (метка начала оборота шпинделя). Наряду с аналоговым сигналом, генератор может формировать ряд независимых TTL-сигналов для управления внешними устройствами (например, синхронизация АЦП, разрешение излучения). На блок-схеме (рисунок 12) показаны основные функциональные элементы генератора.

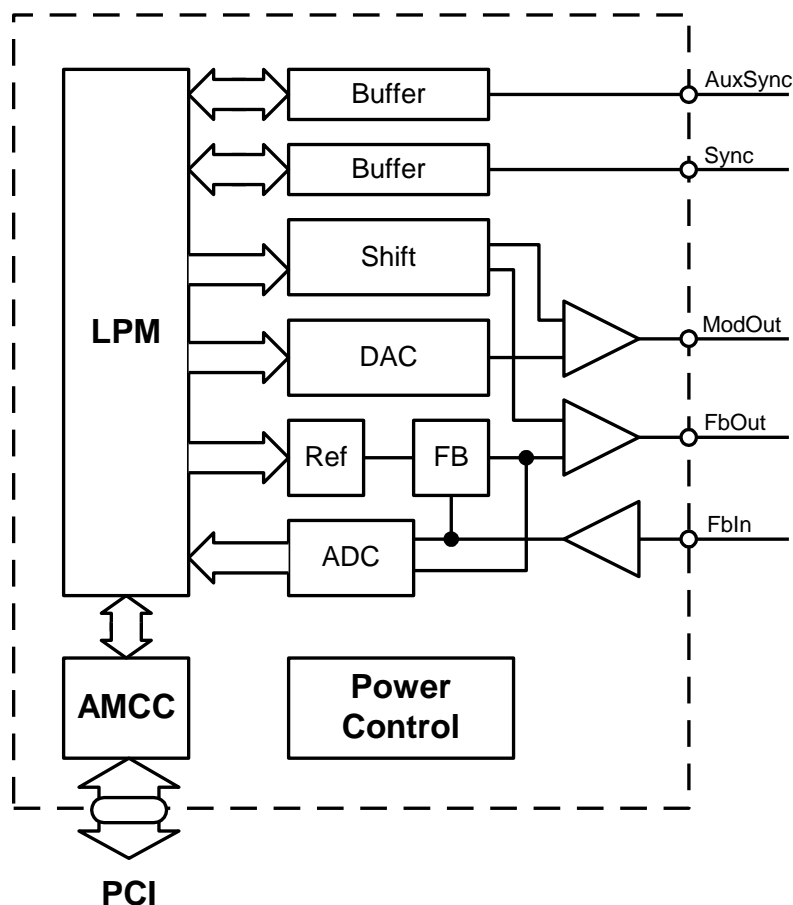


Рисунок 12 – Блок-схема векторного функционального генератора

Контроллер шины PCI AMCC осуществляет обмен данными между компьютером и генератором и обеспечивает своевременную подкачку данных. Логическая программируемая матрица LPM включает в себя блок управления синхронизацией SYNC, буфер FIFO, конечный автомат VFG, контроллер импульсной модуляции PM Control и блок управления контроля драйвера обратной связи FB. Выходной каскад драйвера содержит два цифро-аналоговых преобразователя (DAC), управляющих работой усилителя постоянного тока, один из них формирует выходной аналоговый сигнал (DAC), другой - задает смещение выходного каскада (Shift) и опорный уровень для драйвера обратной связи (Ref). В состав устройства так же входит аналоговая схема управления и аналогово-цифровой преобразователь ADC, с помощью которого осуществляется контроль напряжений управления и входного сигнала.

Функциональная схема векторного функционального генератора приведена на рисунке 13.

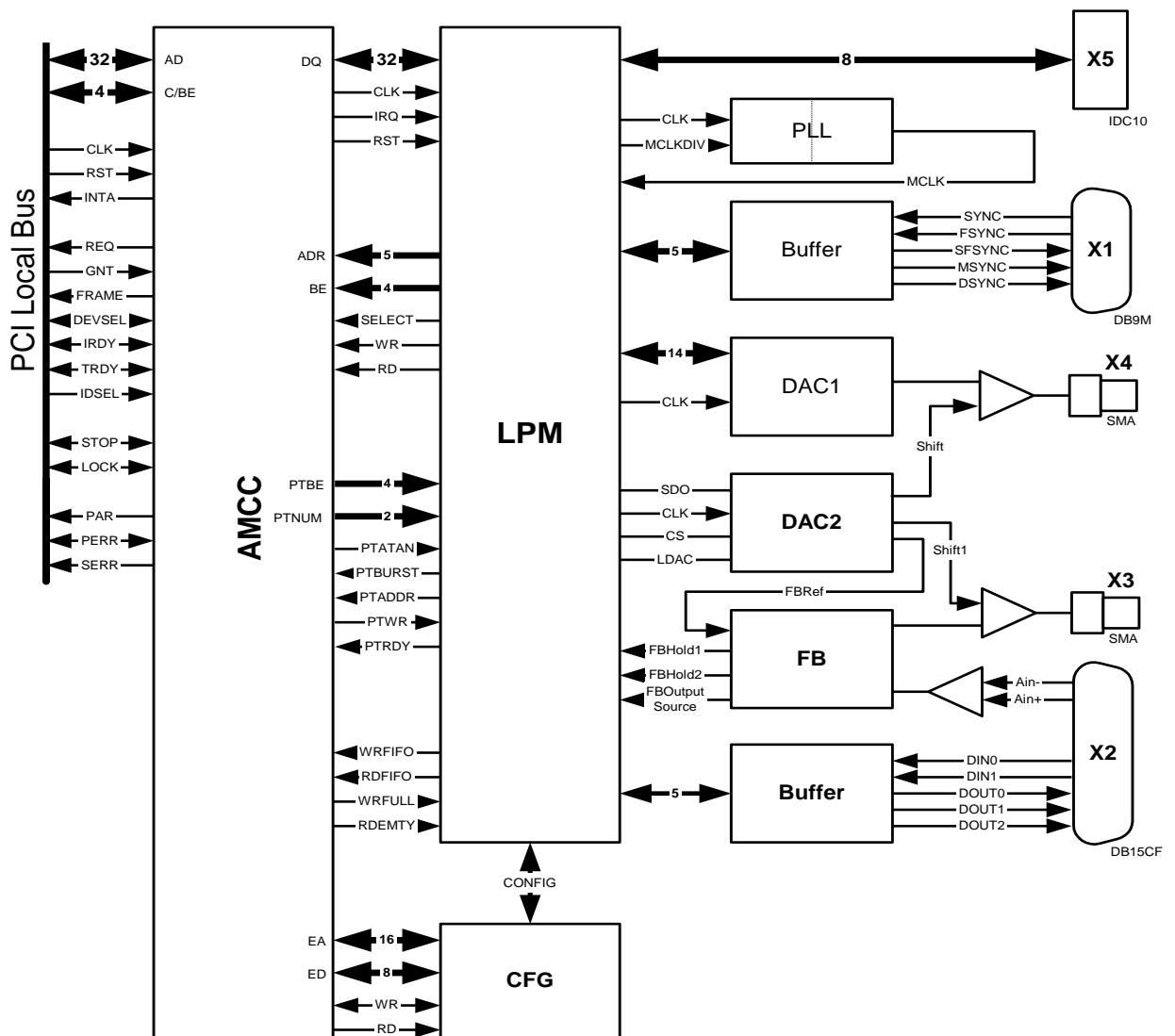


Рисунок 13 – Функциональная схема

Основные компоненты генератора:

- контроллер шины PCI AMCC;
- программируемая логическая матрица LPM (ALTERA);
- цифро-аналоговый преобразователь DAC;
- драйвер обратной связи FB;
- умножитель частоты PLL;
- буферы внешней синхронизации;
- разъемы основной платы X1-X4;
- разъем подключения дополнительной платы X5

Спецификация параметров векторного функционального генератора приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Спецификация параметров векторного функционального генератора

Параметры	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
СИНХРОНИЗАЦИЯ					
Стандарт сигнала	TTL				
Уровень логического нуля				0,7	В
Уровень логической единицы		2,7			В
Частота синхронизации		0		50	МГц
Частота синхронизации со встроенным умножителем		0,1		30	МГц
Стабильность частоты синхронизации при использовании внутреннего умножителя		0,01			%
Выходной уровень нуля				0,4	В
Выходной уровень единицы		4,5			В
Согласование с линией					
Входное сопротивление			200		Ом
Выходное сопротивление			50		Ом
АНАЛОГОВЫЙ ВЫХОД 1					
Управление модулятором					
Выходное напряжение		-1		0	В
Согласование с линией					
Входное сопротивление			50		Ом
Время фронта			20		нс
Время спада			20		нс
Уровень шума				0,1	%
АНАЛОГОВЫЙ ВЫХОД 2					
Управление модулятором					
Выходное напряжение					
Ревизия А		-1		0	В
Ревизия В		0		+5	В

Параметры	Формат	Min	Typ	Max	Ед. изм.
Время фронта			1		мкс
Время спада			1		мкс
Полоса обратной связи			1		МГц
Уровень шума				0,1	%
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ СИНХРОНИЗАЦИИ					
только Ревизия В	PECL				
Уровень логического нуля				0,7	В
Уровень логической единицы		2,7			В
ПИТАНИЕ					
Напряжение питания			+5		В
Потребляемый ток при напряжении питания +5В			0,5		А
Напряжение питания			-12		В
Потребляемый ток при напряжении питания -12В*			100		мА
Напряжение питания			+12		В
Потребляемый ток при напряжении питания +12В*			100		мА

*Без учета внешнего детектора

Устройство имеет 5 разъемов для подключения сигналов управления: 3 на основной плате и 2 на дополнительной плате (таблица 8, рисунок 14). Разъемы дополнительной платы приведены в таблице 9 и на рисунке 15.

Таблица 8 – Разъемы контрольной платы векторного функционального генератора

Разъем	Тип	Описание
X1	DB9M	Разъем синхронизации
X2	DB15CF	Разъем входа фотодетектора драйвера обратной связи
X3	SMA	Разъем выхода управляющего сигнала драйвера обратной связи
X4	SMA	Разъем выхода модулятора
X5	IDC10	Внешний разъем

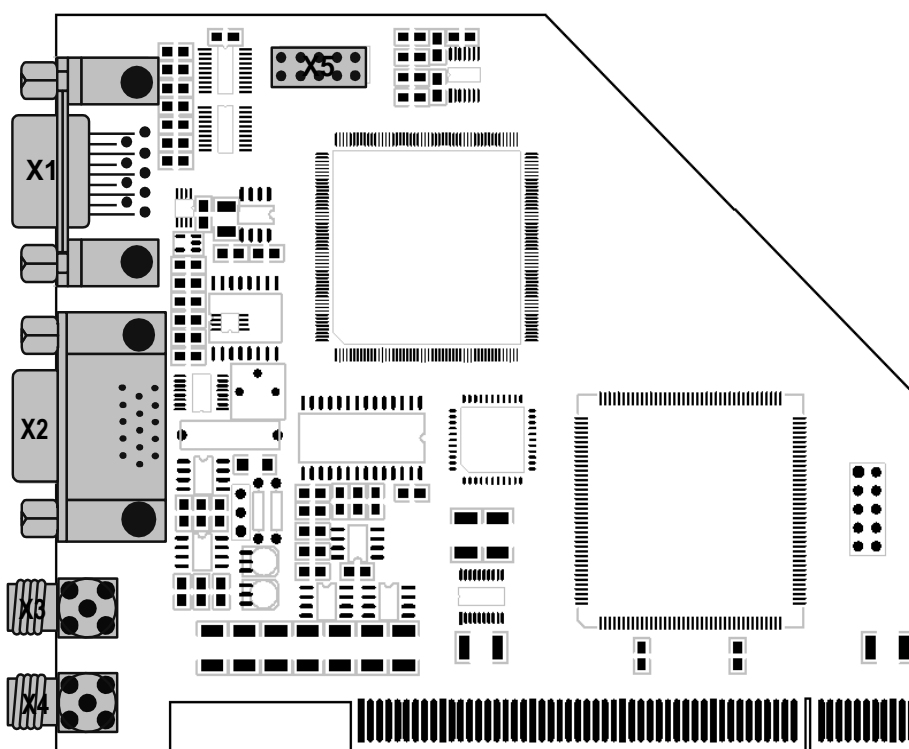


Рисунок 14 – Разъемы контрольной платы векторного функционального генератора

Таблица 9 – Разъемы дополнительной платы векторного функционального генератора

Разъем	Тип	Описание

X1a	DB9F	Разъем внешней синхронизации/ цифрового фотодетектора
X2a	RG45	Разъем цифрового выхода модуляции
X3a	IDC10	Разъем платы управления

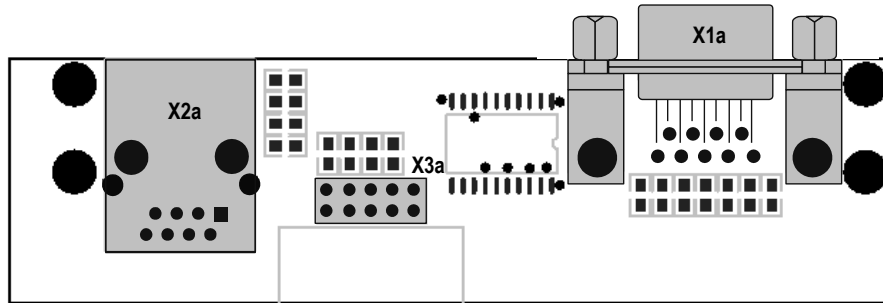


Рисунок 15 – Разъемы дополнительной платы

Разъемы контрольной платы

Разъем синхронизации

Обозначение на плате: **X1**

Тип: **DB9M**

Цоколевка (таблица 10)

Таблица 10 – Цоколевка разъема синхронизации

Контакт	Сигнал	Описание
1	SIN0	Синхронизация (импульсы)
2	SIN1	Кадровая синхронизация (импульсы)
3	SOUT0	Выход синхронизации #1
4	SOUT1	Выход синхронизации #2
5	SOUT2	Выход синхронизации #3
6-9	GND	Цифровая земля

Разъем фотоприемника
обратной связи

Обозначение на плате: X2

Тип: DB15CF

Цоколевка (таблица 11)

Таблица 11 – Цоколевка разъема фотоприемника
обратной связи

Контакт	Сигнал	Описание
1	-11 В	Плюс источника питания
2	+11 В	Минус источника питания
3	GNA	Аналоговая земля
4	Ain1	Положительный аналоговый вход
5	Ain0	Отрицательный аналоговый вход
6	GND	Земля
7	GND	Земля
8	GND	Земля
9	+5 В	Цифровое напряжение питания
10	+5 В	Цифровое напряжение питания
11	SO6	Выход
12	SO5	Выход
13	SO4	Выход
14	SI3	Вход
15	SI2	Вход

Разъем выхода управляющего
сигнала обратной связи

Обозначение на плате: X3

Тип: SMA

Цоколевка (таблица 12)

Разъем выхода модулятора

Обозначение на плате: X4

Тип: SMA

Цоколевка (таблица 13)

Таблица 12 – Цоколевка разъема выхода управляющего
сигнала обратной связи

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	OUT	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

Таблица 13 – Цоколевка разъема выхода модулятора

Контакт	Сигнал	Описание
1(core)	OUT	Выход
2(cover)	GND	Сигнальная земля

Разъем подключения
дополнительной платы

Внешние разъемы IDC10
являются разъемами
управляющей и внешних плат.
Используется внешний "точка-
точка" кабель для соединения
плат.

Обозначение на плате: **X5, X3a**

Тип: IDC10

Цоколевка (таблица 14)

Таблица 14 – Цоколевка разъема подключения
дополнительной платы

Контакт	Сигнал	Описание
1	VCC	+ 5 В
2	GND	Земля
3	I/O	Вход / выход
4	I/O	Вход / выход
5	I/O	Вход / выход
6	I/O	Вход / выход
7	I/O	Вход / выход
8	I/O	Вход / выход
9	I/O	Вход / выход
10	I/O	Вход / выход

Разъемы дополнительной платы

Разъем подключения к плате
управления

Внешние разъемы IDC10
являются разъемами
управляющей и внешних плат.
Используется внешний "точка-
точка" кабель для соединения
плат.

Обозначение на плате: **X5, X3a**

Тип: IDC10

Цоколевка (таблица 15)

Таблица 15 – Цоколевка разъема подключения
контрольной платы

Контакт	Сигнал	Описание
1	VCC	+ 5 В
2	GND	Земля
3	I/O	Вход / выход
4	I/O	Вход / выход
5	I/O	Вход / выход
6	I/O	Вход / выход
7	I/O	Вход / выход
8	I/O	Вход / выход
9	I/O	Вход / выход
10	I/O	Вход / выход

Разъем внешней синхронизации / цифрового фотодетектора

Обозначение на плате: **X1a**

Тип: **DB9M**

Цоколевка (таблица 16)

Таблица 16 – Цоколевка разъема внешней синхронизации/цифрового фотоприемника

Контакт	Сигнал	Описание
1	SIN0	Вход синхронизации #1
2	SIN1	Вход синхронизации #2
3	SOUT0	Выход синхронизации #1
4	SOUT1	Выход синхронизации #2
5	SOUT2	Выход синхронизации #3
6-8	GND	Цифровая земля
9	VCC	Цифровое напряжение питания

Разъем цифрового выхода модуляции

Обозначение на плате: **X2a**

Тип: **RG48**

Цоколевка (таблица 17)

Контакты 1 и 2 соединены на плате у первого источника сигнала и используются для различных систем управления.

Таблица 17 – Цоколевка разъема цифрового выхода модуляции

Контакт	Сигнал	Описание
1	TTL	TTL выход синхронизации
2	PECL+	PECL выход синхронизации
3	PECL-	PECL выход синхронизации
4		
5		
6	GND	Цифровая земля
7	VCC	Цифровое напряжение питания
8	RESET	Сброс

Схема включения векторного функционального генератора с маркировкой кабелей представлена на рисунке 16.

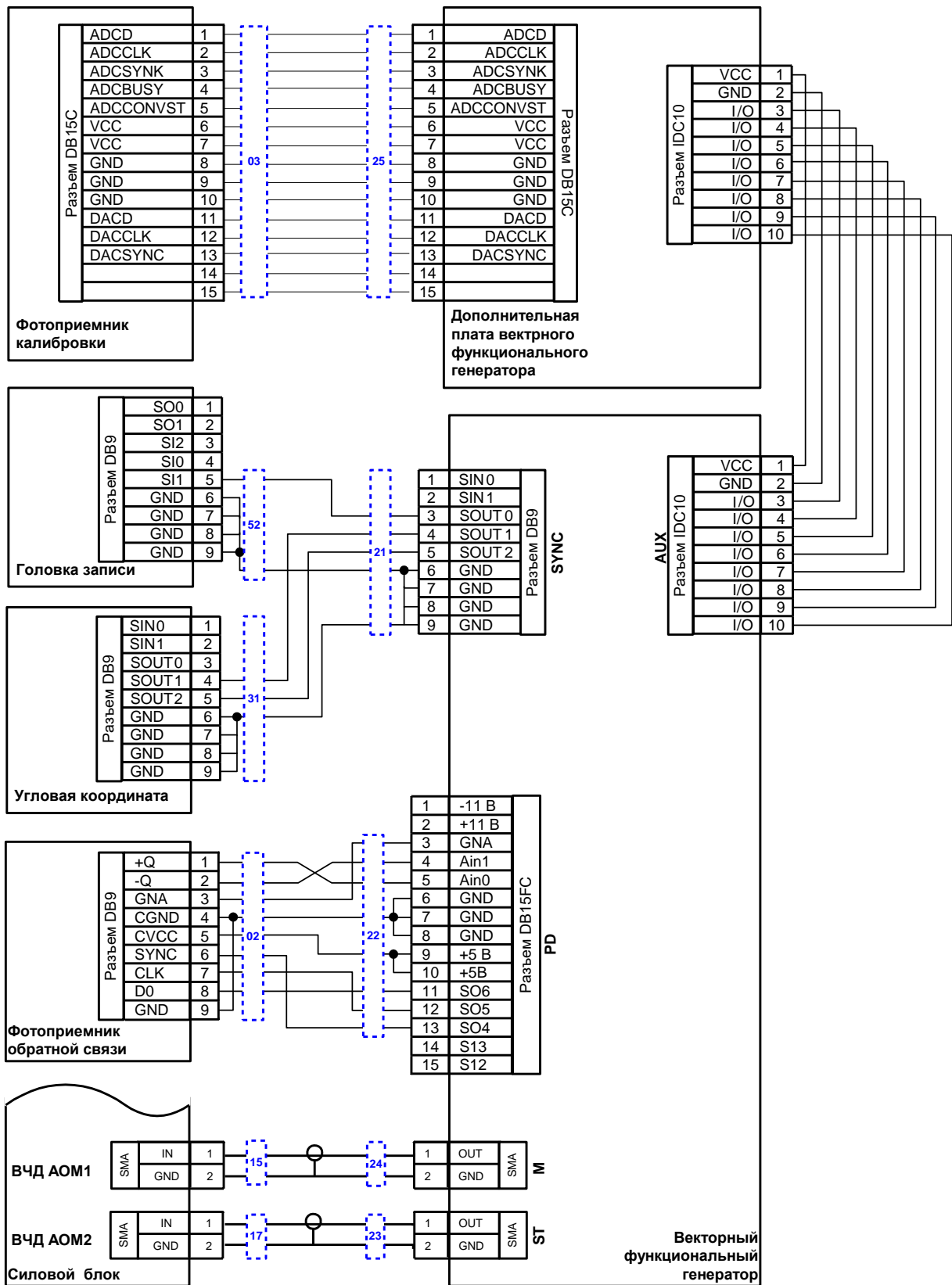


Рисунок 16 – Схема подключения векторного функционального генератора

4.2.8 Аэростатический шпиндель

В гранитной плите основания выполнено посадочное отверстие, в котором размещена шпиндельная группа привода вращения, имеющая три опоры, используемые для регулировки его горизонтального положения. В состав шпиндельной группы входят: шпиндель на аэростатических опорах, планшайба, электродвигатель, устройство вакуумного прижима подложек, оптоэлектронный датчик угла поворота шпинделя, плата управления приводом вращения. Шпиндель представляет собой аэростатический подшипник на газовой смазке, который вращается с помощью двигателя.

Установочный стол в горизонтальной плоскости лежит на трех точках опоры, расположенных под углом 120° . Все три точки опоры имеют регулировочные винты для перемещения по высоте. Такая конструкция стола позволяет довольно легко выставить его рабочую поверхность в горизонтальной плоскости.

Подложки крепятся к планшайбе и удерживаются посредством вакуумного прижима.

4.2.9 Датчики углового положения и начала оборота

Устройство имеет два датчика углового положения и один датчик начала оборота. Датчики углового положения состоят из стеклянного лимба, считывающих головок платы с электронными узлами для предварительной обработки сигналов. Датчики располагаются в нижней части шпинделя. Лимб жестко связан с валом шпинделя и вращается вместе с ним. Для устранения радиальных биений оси вращения вала используются две диаметрально расположенные по отношению к лимбу считывающие головки. Головки и печатная плата неподвижны. Они жестко закреплены на корпусе аэростатического подшипника. Лимб имеет 18000 штрихов на один оборот.

Каждая считывающая головка имеет встроенный осветитель и матрицу фотоприемников.

4.2.10 Система линейного перемещения

Основное назначение системы линейного перемещения заключается в прецизионном управлении перемещениями каретки. Каретка линейной координаты перемещается на аэростатических подшипниках по прямоугольным направляющим с помощью линейного двигателя. В качестве датчика текущей координаты каретки служит лазерный интерферометр, состоящий из гелий-неонового лазера, интерферометра и блока

фотоприемников. Управление перемещениями осуществляется контроллером линейной координаты, конструктивно находящимся в PCI слоте управляющего компьютера. Сигналы управления поступают на линейный двигатель.

Принцип работы блока линейной координаты рассмотрим по упрощенной структурной схеме (рисунок 17).

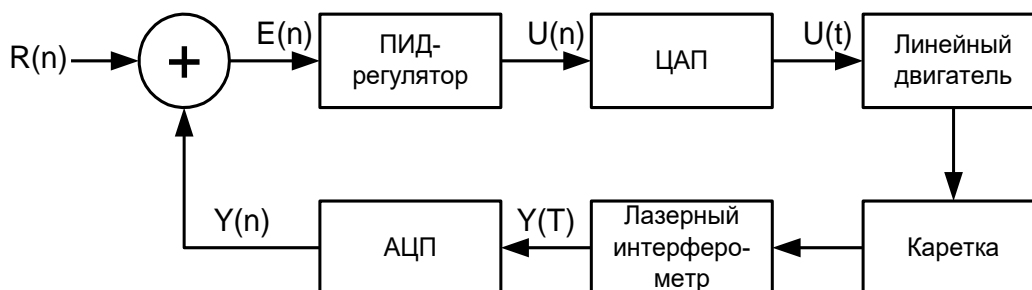


Рисунок 17 – Структурная схема работы блока линейной координаты

Непрерывная информация о положении каретки $Y(T)$ поступает с лазерного интерферометра на АЦП, где преобразуется в дискретный сигнал обратной связи $Y(n)$. Сигнал $Y(n)$ вычитается из опорного сигнала $R(n)$, где $R(n)$ - требуемое положение каретки. Полученная разность $E(n)$ сигнала рассогласования используется ПИД-регулятором для расчета соответствующего управляющего воздействия $U(n)$. Дискретный сигнал $U(n)$, поступающий на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), преобразуется им в непрерывный электрический сигнал, используемый для управления линейными двигателями.

В основе алгоритма работы ПИД-регулятора лежит рекуррентное уравнение, описывающее в дискретном виде выбранный закон управления:

$$U_n = U_{n-1} + K_1 \cdot E_n + K_2 \cdot E_{n-1} + K_3 \cdot E_{n-2} \quad (1)$$

где U_n и U_{n-1} – вычислительное управляющее воздействие на текущем и предыдущем тактах;

E_n , E_{n-1} и E_{n-2} – значения сигнала ошибки на последних трех тактах квантования.

Коэффициенты K_1 , K_2 и K_3 равны, соответственно:

$$K_1 = K_p + \frac{K_D}{T} + K_I \cdot T,$$

$$K_2 = K_I \cdot T - 2 \cdot K_D / T,$$

$$K_3 = K_D / T - K_P, \quad (2)$$

где K_P , K_D и K_I - коэффициенты при пропорциональной, дифференциальной

и интегральной составляющих соответственно;

T – период дискретизации, $T=60$ мкс.

Коэффициенты регулятора подбираются экспериментально.

4.2.10.1 Каретка линейной координаты

Перемещение по радиусу сфокусированного на подложку пучка осуществляет подвижная каретка, на которой закреплен микроскоп. В основу конструкции каретки положен принцип направляющей на газовой смазке.

Подвижная каретка линейной координаты, на которой закреплена головка записи, соединяет два ползуна. Каретка осуществляет перемещение по радиусу пучка, сфокусированного на подложку. В основу конструкции положен принцип направляющей на газовой смазке (направляющие на воздушной подушке). В ползуны поступает сжатый воздух для поддержания давления в направляющих в диапазоне от 0,7 до 3 атмосферы. Ползуны изготовлены из хорошо отстаренного чугуна (~40 лет) и их рабочие поверхности отшлифованы таким образом, чтобы клиновидность не превышала 6 мкм.

ВНИМАНИЕ! НЕДОПУСТИМО:

– осуществлять перемещение подвижной каретки без подачи воздуха в направляющие или при давлении ниже, чем 0,7 атмосферы;

– устанавливать или помещать между направляющими на основании какие-либо предметы и устройства, которые могут привести к повреждению рабочих поверхностей;

– протирать поверхности направляющих грубыми салфетками и другими не предназначенными для протирки оптики материалами.

4.2.10.2 Линейный двигатель

Линейный двигатель предназначен для перемещения каретки линейной координаты. Управление линейным двигателем осуществляется с помощью сигналов управления контроллера линейной координаты.

4.2.10.3 Контроллер линейной координаты

Контроллер линейной координаты предназначен для приема и обработки квадратурного сигнала с блока фотоприемников лазерного интерферометра, интерполяции и преобразование его в текущее значение координаты, управления линейными перемещениями каретки линейной координаты в составе системы CLWS-200.

Контроллер линейной координаты обеспечивает:

- расчет текущего значения координаты;
- удержание каретки линейной координаты в точке с заданными координатами с точностью не хуже ± 0.05 мкм;
- перемещение каретки линейной координаты в точку с заданными координатами;
- перемещение с постоянной, заданной скоростью в произвольном направлении;
- синхронное, совместно с контроллером угловой координаты, перемещение по спиральной траектории;
- поиск точки начала отсчета (репера) в автоматическом режиме;
- определение момента пересечения предварительно заданной координаты и информирование об этом событии;
- определение момента пересечения точки остановки в «спиральном режиме»;
- автоматическое прекращение «спирального режима» и информирование об этом событии;
- слежение и отображение состояния датчиков аварийной ситуации (датчик давления воздуха и т.д.);
- безопасное завершение работы при обнаружении аварийных ситуаций;
- слежение за уровнем мощности HE-NE лазера;
- управление параметрами входных сигналов (усиление, сдвиг) и управление параметрами пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора.

Конструктивно контроллер представляет собой печатную плату, вставляемую в свободный слот расширения (PCI) управляющего компьютера.

Функциональная схема контроллера линейной координаты приведена на рисунке 18.

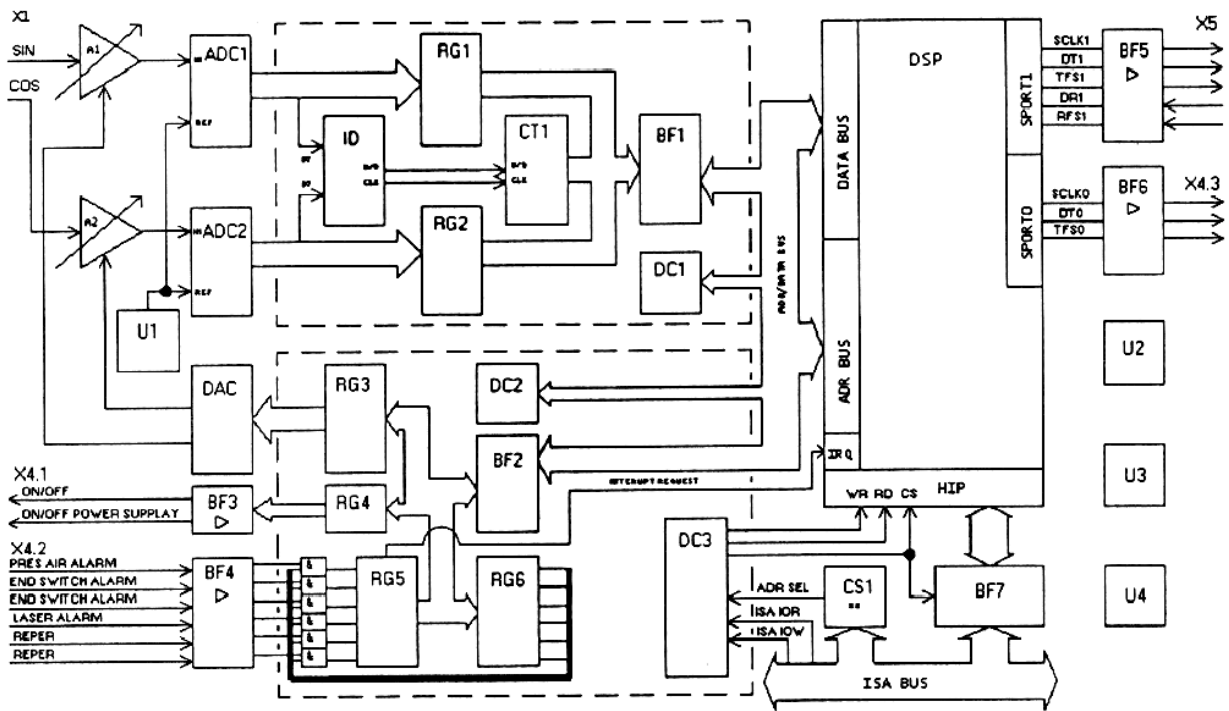


Рисунок 18 – Функциональная схема контроллера линейной координаты

Принцип работы контроллера линейной координаты заключается в следующем:

Квадратурный сигнал (sin и cos) из блока фотоприемников, несущий информацию о положении каретки линейной координаты, через разъем X1 поступает на нормирующие усилители A1, A2 и далее на аналого-цифровые преобразователи ADC1, ADC2, осуществляющие дискретизацию и преобразование каждой компоненты сигнала в цифровую форму. Необходимое для работы ADC1, ADC2 опорное напряжение формируется источником U1.

Цифровые значения квадратурного сигнала фиксируются в регистрах-защелках RG1, RG2. Старшие (знаковые) разряды используются также интерполятором-дискриминатором направления UD1 для формирования счетных импульсов (CLK) и сигнала направления счета (U/D) для двоичного реверсивного счетчика CT1. Интерполятор обеспечивает формирование четырех счетных импульсов на один период входного квадратурного сигнала. Цифровые значения каждой компоненты и учетверенное количество периодов квадратурного сигнала через шинный формирователь BF1 поступают на внутреннюю магистраль контроллера (ADR/DATA BUS) по команде "чтение" процессора цифровой обработки сигналов DSP.

Используя эту информацию, процессор цифровой обработки сигналов производит дополнительную интерполяцию текущего значения координаты и осуществляет расчет требуемого значения тока линейного двигателя, необходимого для удержания каретки линейной координаты в заданной

точке, в соответствии с алгоритмом работы ПИД-регулятора. Цифровое значение тока через последовательный порт SPORT0 процессора цифровой обработки сигналов и магистральный усилитель BF6 передается на разъем X4 и далее в управляемый источник тока.

Конструктивно интерполятор-дискриминатор U1, регистры RG1, RG2, счетчик CT1, шинный формирователь BF1 и дешифратор адреса DC1 представляют собой программируемую логическую схему. Управление режимом работы нормирующих усилителей A1, A2 осуществляется сигнальным процессором посредством цифро-аналогового преобразователя DAC и регистра RG3.

Для своевременной реакции контроллера линейной координаты на сигналы от датчиков (датчик нуля, датчик давления воздуха, концевые выключатели и т.д.) используется система прерываний. Она состоит из входного формирователя BF4 регистра-защелки RG5 и регистра-маски RG6. При обнаружении любого сигнала, если установлен соответствующий бит в регистре-маске, на входе IRQ сигнального процессора формируется сигнал запроса прерывания (interrupt request).

Регистр RG4 и буфер BF3 используются для управления режимом работы источника питания линейного двигателя. Обмен данными между регистрами и внутренней магистралью контроллера (ADR/DATA BUS) осуществляется через шинный формирователь BF2 и дешифратор адреса DC2.

Для связи контроллера линейной координаты с управляющим компьютером используется 16 разрядный порт интерфейса с хост-процессором (HIP). Селектор адреса CS1 и дешифратор DC3 используются для формирования соответствующих управляющих сигналов (host iow, host ior, host sel). Собственно передача данных осуществляется через шинный формирователь BF7.

Следующие функциональные узлы контроллера: регистры RG3-RG6, дешифраторы DC2, DC3, шинный формирователь BF2 сконфигурированы внутри программируемой логической схемы.

Последовательный порт SPORT1 процессора цифровой обработки сигналов и магистральный усилитель BF5 используются для приема и передачи сигналов синхронизации контроллеру угловой координаты.

Источники вторичного электропитания U2, U3 и U4 вырабатывают необходимые для работы контроллера напряжения.

Для подключения сигналов управления на плате контроллера линейной координаты есть два разъема: входной типа DBH-15F и выходной DBH-15V

Обозначение на схеме: X1 Цоколевка (таблица 18).

Таблица 18 – Цоколевка входного разъема платы контроллера линейной координаты

Контакт	Сигнал	Описание
1	SINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
2	COSINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
3	REPER	Не используется
4	+ 12 V	Напряжение питания
5	+12 V	Напряжение питания
6	- SINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
7	- COSINUS	Дифференциальный вход квадратурного сигнала
8	- REPER	Не используется
9	-12 V	Напряжение питания
10	-12 V	Напряжение питания
11	GND	Аналоговая земля
12	GND	Аналоговая земля
13	GND	Аналоговая земля

Обозначение на схеме: X2 Цоколевка (таблица 19).

Таблица 19 – Цоколевка выходного разъема платы контроллера линейной координаты

Контакт	Сигнал	Описание
1	LIGHT ON/OFF	Не используется
2	POWER ON/OFF	Не используется
3	INPUT3	Не используется
4	INPUT2	Не используется
5	INPUT1	Не используется
6	GND	Цифровая земля
7	GND	Цифровая земля
8	GND	Цифровая земля
9	INPUT5	Не используется
10	INPUT4	Не используется
11	SDATA	Данные управления усилителем
14	TFS	Кадровая синхронизация
15	SCLK	Синхроимпульсы

Схема подключения платы контроллера линейной координаты представлена на рисунке 19.

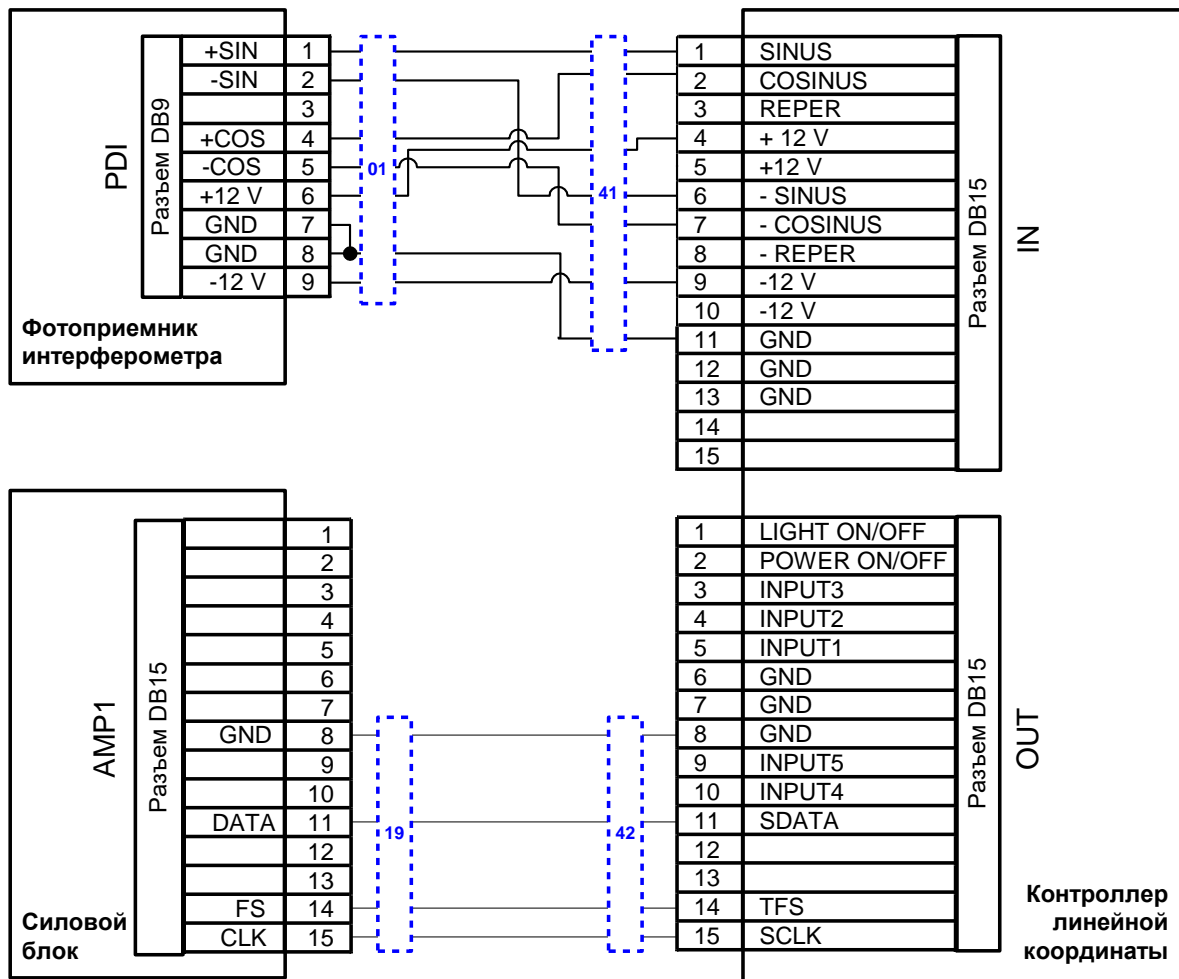


Рисунок 19 – Схема включения контроллера линейной координаты

4.2.10.4 Лазерный интерферометр

Для контроля перемещений каретки линейной координаты (в схеме обратной связи) применен лазерный поляризационный интерферометр производства фирмы Renishaw.

При перемещении каретки 14 величина отрезка перемещения определяется из соотношения:

$$L = k \cdot n \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad 3)$$

где λ – длина волны красной линии гелий-неонового лазера, равная для нормальных условий $\lambda=0.63298$ мкм;

n – показатель преломления воздуха в плече интерферометра;

k – порядок интерференции или число полос, прошедших через окно одного из фотоприемников.

Порядок интерференции состоит из целой и дробной частей. Электронный блок после интерферометра позволяет отсчитывать значение,

равное $\lambda/2048$.

При изготовлении особо точных деталей, когда необходимы абсолютные значения измеряемой длины в измерения необходимо вносить поправку на отступление условий изготовления детали от нормальных ($p=760$ мм рт. ст, $t=20$ °С, $e=10$ мм рт. ст). Здесь p , t и e , давление, температура и влажность воздуха в формуле для расчета поправки:

$$dL \cdot 10^6 = [0.937(t - 20) - 0.361(p - 760) + 0.056(e - 10)] \cdot L. \quad (4)$$

4.2.11 Головка записи с узлом визуального контроля

Головка микроскопа записи входит в состав оптического канала записи системы CLWS-200 и предназначена для автоматической фокусировки выходного записывающего пучка в точку с диаметром порядка 0,6 мкм, а также для обеспечения визуализации и контроля записи при тестировании светочувствительного материала. Для управления головкой записи и контроля результатов записи существуют системы управления/контроля головки записи и визуализации записи.

В состав головки записи входят:

- оптическая схема головки записи
- головка (Датчик) автофокуса
- исполнительный элемент (актюатор)

Система управления/контроля головки записи предназначена для обеспечения заданного (минимального) размера пятна записывающего пучка света на поверхности рабочей пластины во время записи. Основная задача системы состоит в поддержании постоянного расстояния между плоскостью пластины и объективом (эквивалентной линзой) и обеспечении заданного (нулевого) рассогласования на датчике расфокусировки.

В состав системы управления/контроля головки записи входят:

- плата управления/контроля головки записи
- затвор (перекрывает канал записи) со светодиодным осветителем
- фотоприемник контроля мощности записывающего пучка
- усилитель тока (актюатор)

Система контроля и визуализации записи предназначена для автоматического считывания результатов записи в режимах поиска центра вращения пластины и тестирования светочувствительного материала.

В состав системы визуализации записи входят:

- фотоприемник контроля отраженного света, выполненный по той же схеме, что и фотоприемник калибровки,
- USB видеокамера (3 Мпиксела).

На рисунке 20 приведена принципиальная схема датчика автофокусировки (ДАФ), в которую входят полупроводниковый лазер с волоконным коллимированным выходом с длиной волны излучения 640 нм, рабочий микрообъектив с числовой апертурой 0,65, нож Фуко (стальная пластина с заостренным до 0.1 мм краем), линза ($f = 40$ мм), фокусирующая отраженное от поверхности заготовки излучение на двухэлементный фотоприемник. В качестве меры измерения расстояния до объекта используется неравномерность распределения интенсивности отраженного света на элементах фотоприемника.

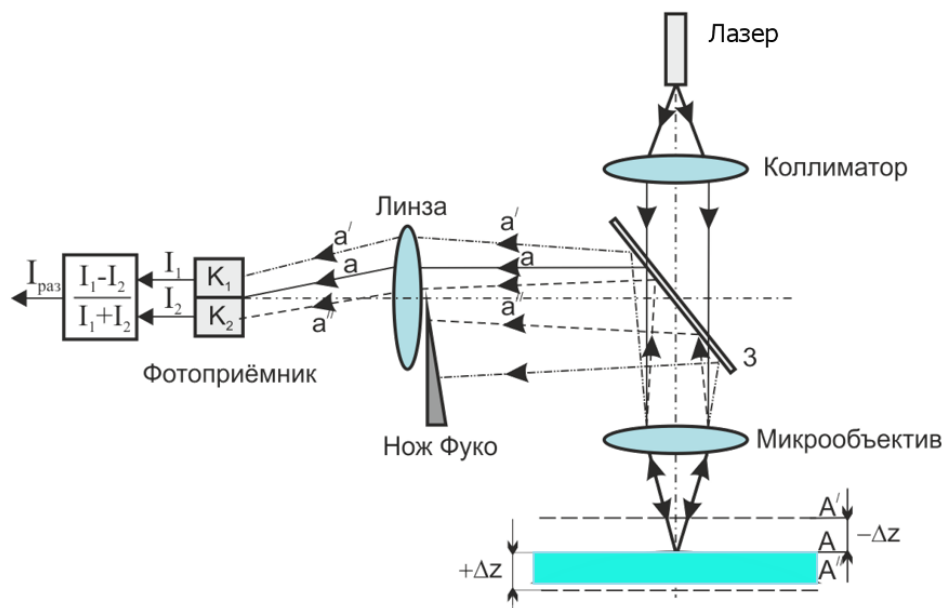


Рисунок 20 – Принципиальная схема ДАФ

4.2.12 Гранитный стол

Гранитный стол предназначен для размещения узлов системы CLWS-200. Гранитный стол представляет собой плиту, изготовленную из плотного природного мелкозернистого гранита. Верхняя рабочая поверхность плиты стола полируется, параметр шероховатости R_a равен 0,32 мкм, плоскостность поверхности не менее 0,006 мм. В плите высверлены технологические отверстия для размещения шпинделя, подводки соединительных кабелей и ряд глухих отверстий для вклеивания крепежных втулок.

Гранитный стол монтируется на металлическом основании. Металлическое основание представляет собой несущий каркас, имеющий встроенный ресивер.

4.2.13 Пневматическая и вакуумная системы (ПВС)

ПВС обеспечивает защиту от вибраций гранитного основания, установленного на пневматическую виброзащитную платформу (ВЗП) на котором размещены все блоки. Кроме этого, ПВС снабжает сжатым воздухом аэростатические линейные направляющие и шпиндель. Вакуумный насос обеспечивает прижим подложки к торцу аэростатического шпинделя. Специальные датчики следят за подачей сжатого воздуха и наличием вакуума в системе фиксации подложки

Пневматическая система предназначена для питания сжатым воздухом аэростатических опор шпинделя и ползунов. Она включает в себя датчики давления, переходники, штуцеры, шланги, манометры. На лицевой стороне основания располагается панель управления и индикации пневматической системы. Принцип работы пневматической системы рассмотрим по схеме пневматической, представленной на рисунке 21.

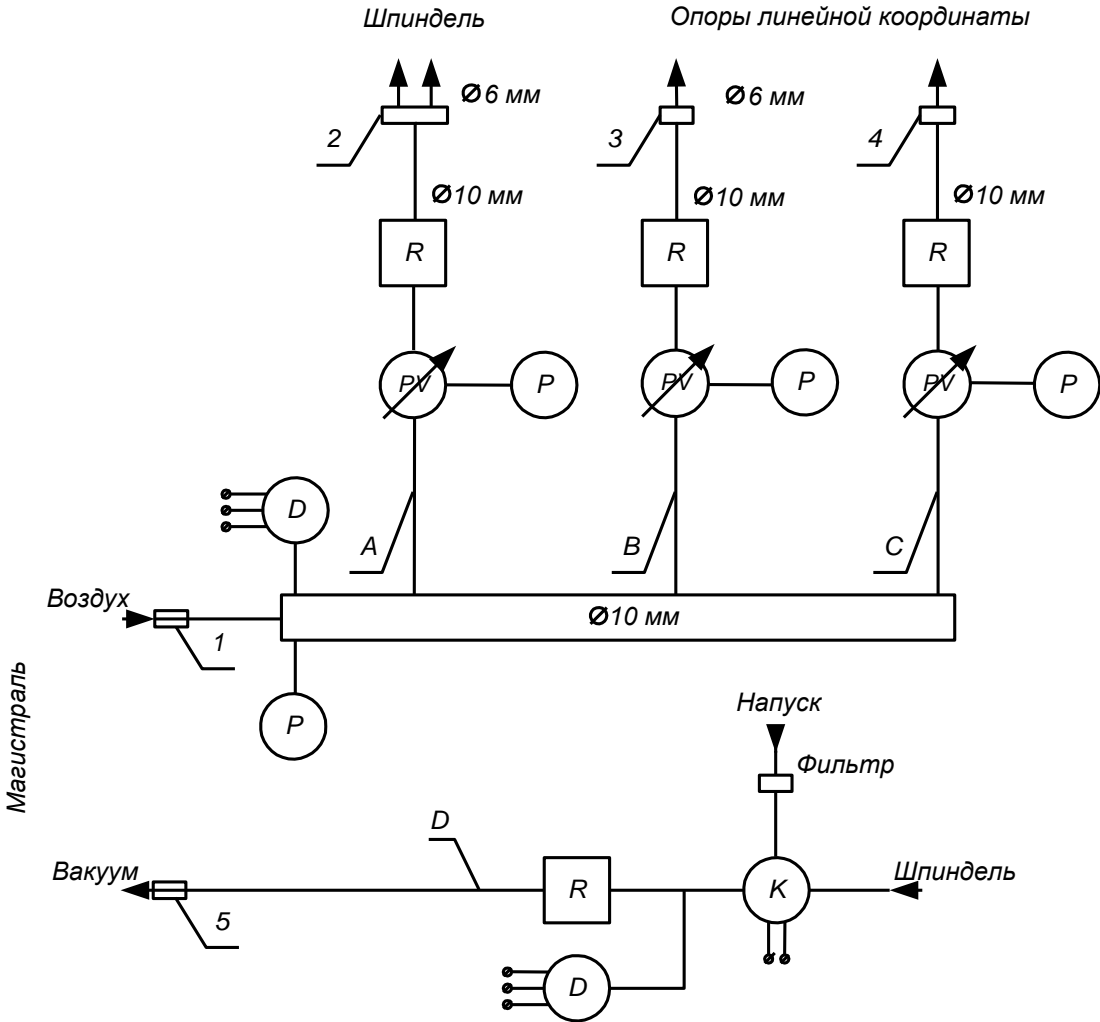


Рисунок 21 – Пневматическая схема

С помощью пневмораспределителей 1, 2, 3, 4 и манометров Р производится подача и выставление рабочего давления в аэростатические подшипники шпинделя и каретки линейной координаты. Величина рабочего

давления равна 0,5 мПа и 0,4 мПа соответственно.

Сжатый воздух в шпindel подается через ресивер R, который в аварийных ситуациях отсекается от пневмомагистрали обратным клапаном.

Цифровые датчики давления D предназначены для мониторинга состояния магистрали пневматической системы.

Манометры P и пневмораспределители 2, 3, 4 расположены на лицевой стороне пневмопанели и имеют соответствующие надписи (фото ниже).



Вакуум подается с поста очистки и откачки воздуха.

Пост очистки и откачки воздуха должен размещаться на расстоянии не более 5 м от КЛЗС за пределами чистой комнаты. В стене чистой комнаты должны быть предусмотрены технологические отверстия для подключения пневматической и вакуумной магистралей.

К посту должна быть подведена пневмомагистраль с номинальным давлением 6 атм. При расходе не менее 0,7 м³/мин. воздух должен быть очищен от пыли, паров масел, аэрозолей, токсичных и агрессивных газов. Температура подаваемого воздуха – (20±1) °С.

4.2.14 Система виброзащиты

Система виброзащиты предназначена для снижения влияния вибраций на точностные характеристики составных частей системы.

Система виброзащиты представляет собой четыре виброопоры. Конструктивно каждая виброопора состоит из воздушной камеры из эластомера, усиленной стальным каркасом. Подача воздуха осуществляется через вентиль автомобильной камеры.

Принцип действия системы виброзащиты заключается в создании воздушного зазора между поверхностью пола и основанием фотопостроителя.

5 Использование по назначению

5.1 Технология термохимической записи

Пленки хрома являются оптимальным материалом для изготовления амплитудных голограмм и фотошаблонов. Это обусловлено прочностью, высокой поглощаемостью света и хорошей адгезией напылённых плёнок хрома со стеклянными подложками. (Технологии нанесения плёнок хрома и условия травления в различных травителях были разработаны в течение многих лет в микроэлектронной промышленности).

В стандартной технологии изготовления фотошаблонов хромовая плёнка покрыта дополнительным слоем фоторезиста, который используется как фоточувствительный материал. Применяемая в системе CLWS-200 технология термохимической записи существенно упрощает изготовление бинарных фотошаблонов.

Облучение плёнки хрома сфокусированным лазерным пучком вызывает нарастание плёнки оксида хрома, которая устойчива ко многим травителям хрома. Таким образом, реализуется негативный метод генерации изображений в плёнках хрома.

При сканирующей лазерной записи с использованием термохимического метода пучок аргонового лазера фокусируется в пятно диаметром 0,6 мкм, скорость записывающего пятна варьируется в зависимости от диаметра заготовки от 0 до 2,5 м/сек, толщина плёнок хрома может меняться от 100 до 200 нанометров. Оптимальная мощность записи находится в пределах 15 - 30 милливольт. Эффект формирования негативного изображения имеет место для нанесённых любым методом плёнок хрома. Однако наилучшие результаты по пространственному разрешению и области термохимических изменений достигаются для плёнок хрома, нанесённых в атмосфере аргона.

Предельное разрешение определяется скоростью сканирования. Для высоких скоростей сканирования, разрешение достигает 1200 линий на миллиметр и определяется размером записывающего пятна. Когда скорость сканирования становится менее, чем 0,4 м/сек, разрешение начинает уменьшаться, что объясняется тепловым механизмом записи.

Основным недостатком термохимической записи по сравнению с записью в фоторезисте является более низкая чувствительность (примерно в 10 раз) к свету и сильная зависимость ширины записанной линии от мощности записывающего пучка и скорости сканирования. Однако, эти проблемы возможно разрешить методами компьютерного контроля мощности записывающего пучка от радиуса записи (то есть скорости

сканирования) в соответствии с предварительными экспериментальными данными.

5.1.1 Тестирование пленок хрома

Пленки хрома, изготовленные путём теплового напыления толщиной 50 нм и 80 нм, были протестированы с использованием светового пятна диаметром 0,8 мкм по (уровню e-1). Скорость записывающего пятна менялась от 4,4 до 88 см/сек. Затем они травились в рабочем растворе, состоявшем из 6 частей 25 % раствора $K_3Fe(CN)_6$ и 1 части 25 % раствора NaOH. Время травления составляло 2 минуты для подложек с плёнкой хрома толщиной 50 нм и 2,5 минуты для подложек с 80 нм хрома. Оптимальная мощность записывающего пучка для термохимической записи была в пределах от 10 до 23 милливатт для данного диапазона скоростей сканирования.

5.1.2 Травление пленок хрома

Рабочий травитель состоит из 6 частей 25 % раствора $K_3Fe(CN)_6$ и 1 части 25 % раствора NaOH. Не рекомендуется повышать концентрацию, поскольку 30 % раствор $K_3Fe(CN)_6$ при температуре 20 °C становится насыщенным.

Наилучшим путём проконтролировать концентрацию N этих растворов является измерение их плотности, особенно для NaOH, поскольку он поглощает воду из воздуха. Для этой цели здесь представлена таблица для температуры 20 °C, где N - концентрация (вес материала, делённый на вес раствора), T – титр (содержание материала в граммах на один миллилитр раствора), ρ - плотность раствора.

Раствор $K_3Fe(CN)_6$

N	T	ρ
0,02	0,0202	1,009
0,04	0,0408	1,0201
0,06	0,0619	1,0314
0,08	0,0834	1,0427
0,1	0,1054	1,0542
0,12	0,1278	1,0656
0,14	0,1510	1,0789
0,16	0,1745	1,089
0,18	0,1985	1,101
0,2	0,2230	1,113
0,23	0,2596	1,1288
0,25	0,2851	1,141

Раствора NaOH

N	T	ρ
0,0465	0,0489	1,05
0,0919	0,1011	1,10
0,1373	0,1579	1,15
0,1509	0,1758	1,165
0,1825	0,2190	1,20
0,2007	0,2449	1,22
0,2282	0,2852	1,25
0,2510	0,320	1,275
0,2741	0,3562	1,3
0,302	0,4016	1,33
0,3501	0,4832	1,38
0,4	0,572	1,43

Зависимость $\rho(N)$ можно аппроксимировать с точностью около 0.001 следующей формулой:

$$\rho = 1 + \alpha N, \quad (5)$$

где $\alpha=0,56$ для $K_3Fe(CN)_6$ и $\alpha=1,094$ для NaOH.

Также возможно просто получить следующие полезные формулы:

$$N = \frac{(\rho - 1)}{\alpha}, \quad (6)$$

$$T = \rho N = N(1 + \alpha N) = \frac{\rho(\rho - 1)}{\alpha}, \quad (7)$$

$$\rho = 0.5 + \sqrt{0.25 + \alpha T}. \quad (8)$$

После смешивания двух растворов значения меняются, и соотношение не сохраняется. Поэтому плотность рабочего раствора ρ_e можно выразить как:

$$\rho_e = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}, \quad (9)$$

где ρ_1 и V_1 – плотность и объём $K_3Fe(CN)_6$, ρ_2 и V_2 – для раствора Na OH.

Вес $K_3Fe(CN)_6$ в одном миллилитре раствора:

$$T_{1e} = \frac{T_1 V_1}{V_1 + V_2}, \quad (10)$$

а вес NaOH в одном миллилитре:

$$T_{2e} = \frac{T_2 V_2}{V_1 + V_2}, \quad (11)$$

где T_{1e} и T_{2e} означают титры исходных растворов.

Определим следующие параметры:

$$M = V_2 (V_1 + V_2), \quad (12)$$

где M объёмная фракция NaOH в травителе,

$$L = \frac{T_{2e}}{T_{1e} + T_{2e}} = \frac{T_2 V_2}{T_1 V_1 + T_2 V_2}, \quad (13)$$

где L вес фракции NaOH в смешанных материалах.

Было измерено значение pH в зависимости от M для смеси 25 % растворов. В рабочей области $M=0,1-0,3$ изменение pH составляет 0,05. Это очень маленькое изменение для гарантированного контрольного измерения травителя.

Термально напылённые плёнки хрома с толщиной 100 нм были проэкспонированы сфокусированным лазерным пучком диаметром 0,8 мкм по уровню $e-1$ с шагом 0,7 мкм и линейной скоростью от 1 до 1,8 м/сек. Мощность была выбрана на уровне 0,8 от границы испарения хрома. После этого подложки были разделены на экспонированную и неэкспонированную части. Для измерения скорости травления был измерен коэффициент пропускания в течение процесса травления. Кривые пропускания экспонированной и неэкспонированной плёнок отличаются. Таким образом, термохимические изменения происходят по всей толщине плёнки.

Скорость травления понижается, когда коэффициент пропускания достигает 1. Время, при котором пропускание достигает 0,5, означает, что толщина плёнки стала около 8 нм. Разделив стравленную толщину на это время, можно получить среднюю скорость травления.

Коэффициент селективности K определяется как отношение скоростей травления экспонированной и неэкспонированной плёнок. Оптимальное значение $M = 0,14$. Время травления в данном травителе составляет около 2 минут, когда плёнка хрома имеет толщину от 50 до 80 нм. Это очень

короткое время для травления очень больших и тяжёлых подложек, покрытых плёнками хрома. Чтобы увеличить время травления, была понижена концентрация раствора N_e путём разбавления 1 мл раствора W мл воды. В данном случае мы имеем:

$$N_e = \frac{0.29}{1.16 + W} \text{ и } T_e = \frac{0.29}{1 + W} \text{ гр./мл.} \quad (14)$$

В таблице приведены полученные при экспериментах травления данные:

W	0	0.5	1	2	4	6
N_e	0,25	0,175	0,134	0,092	0,056	0,041
T_e [гр/мл]	0,29	0,193	0,145	0,097	0,058	0,0414
V[нм/сек]	0,80	0,44	0,33	0,175	0,1	0,06
K	4,86	4,84	4,5	4,2	5,3	4,7

Кривые $V(N_e)$ и $K(N_e)$ показаны на рисунке 22. Скорость травления очень сильно зависит от степени разбавления, причём коэффициент селективности практически остаётся одинаковым.

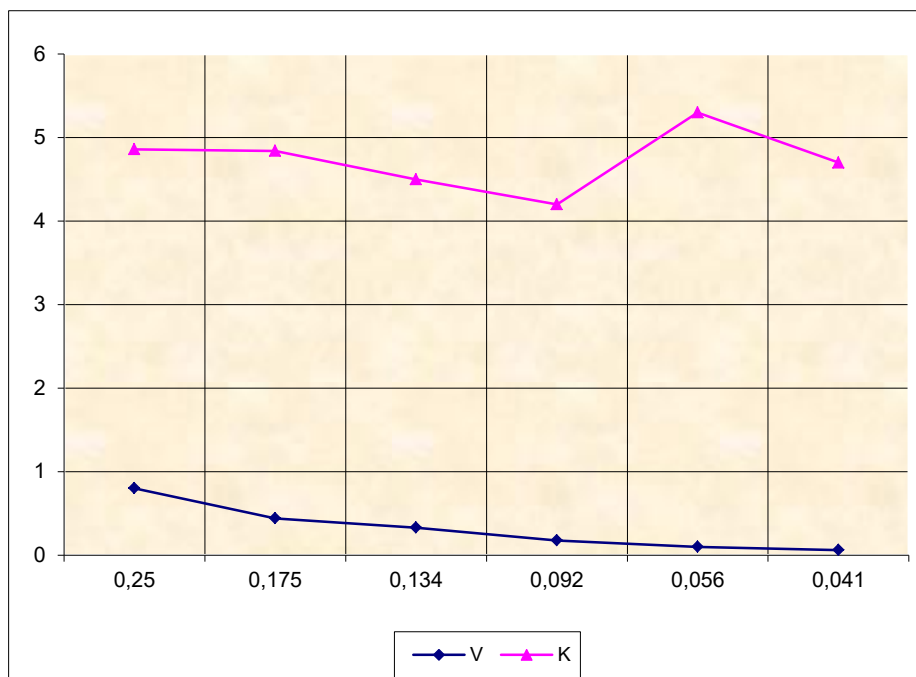


Рисунок 22 – Зависимость скорости травления и коэффициента селективности от концентрации раствора

Была исследована динамика процесса травления ($t=22\text{ }^{\circ}\text{C}$) путём наблюдения пропускания через микроскоп с использованием капли раствора. Это позволило выделить, что коэффициент селективности сильно зависит от мощности записывающего пучка.

Таким образом, следует важный вывод, что коэффициент селективности определяется мощностью записывающего пучка и отношением весов $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ и NaOH в травителе и практически не зависит от температуры и концентрации. Когда не требуется высокого разрешения (если период дифракционной структуры более 1 мкм) лучше выбрать отношение Р/РС около 0,9 вместо 0,8 для лучшей селективности.

Также была сделана попытка оценить возможности раствора, и были проведены эксперименты по травлению 8 подложек 100×100 мм с толщиной плёнки хрома 100 нм в 40 мл раствора и не было замечено заметных отклонений в скорости травления.

Из результатов экспериментов по травлению экспонированных и неэкспонированных плёнок хрома можно сделать вывод, что излучение лазера вызывает не только поверхностное окисление плёнки хрома, также имеют место термохимические изменения по всей толщине плёнки хрома. Скорость травления зависит от степени растворения, в то время как коэффициент селективности остаётся практически одинаковым. Коэффициент селективности определяется мощностью записи и отношением весов $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ и NaOH в растворе и практически не зависит от температуры и концентрации.

5.1.3 Выбор пленок хрома

Пленка хрома является оптимальным материалом для изготовления амплитудных ДОЭ и фотошаблонов, так как имеет высокую твердость, высокое поглощение излучения при достаточно малой толщине слоя (менее 100 нм), хорошую адгезию к материалу подложки – стеклу или кварцу.

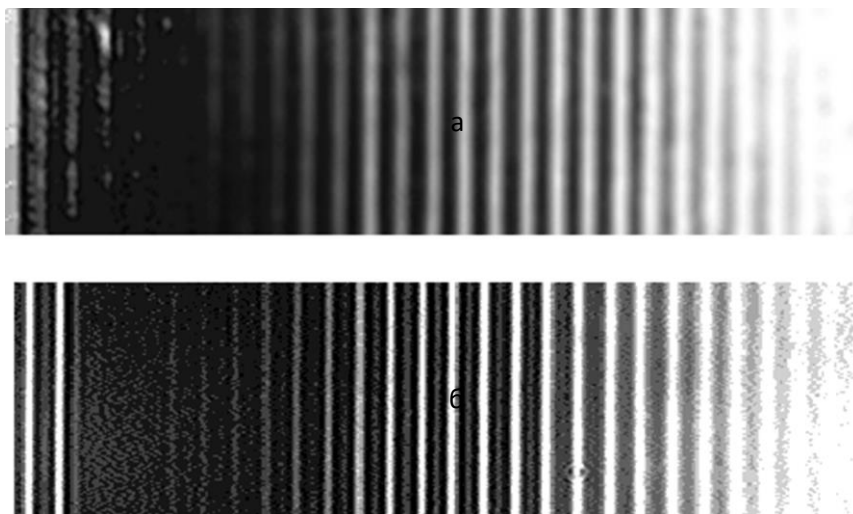


Рисунок 23 - Микрофотографии фрагментов тестовых дорожек, записанных с различной мощностью на пленках хрома, полученных термическим напылением (а) и магнетронным распылением (б). Период дорожек 1,5 мкм, скорость движения записывающего пятна 100 см/с.

Различные технологии напыления и обработки пленок хрома были разработаны в электронной промышленности. Выбор толщины пленки зависит от назначения записываемой структуры (фотошаблон, отражающий или пропускающий бинарный ДОЭ), требуемого пространственного разрешения и технологических ограничений. Эксперименты показали, что формирование скрытого термохимического изображения происходит в пленках хрома, нанесенных любыми методами. Однако наилучшие результаты были получены при напылении хрома методом распыления в атмосфере аргона. Пространственное разрешение лазерной записи на таких пленках достигает 2000 мм^{-1} при толщине от 50 до 80 нм. Благодаря высокой плотности и аморфности такой пленки, можно уменьшить ее толщину и устранить образование микрокристаллов при лазерном нагреве. Термическое напыление, используемое для нанесения хрома на большие поверхности, позволяет достичь хорошей равномерности, однако пространственное разрешение при этом не превышает от 700 до 1000 мм^{-1} , а неровность края за счет образования микрокристаллов составляет обычно от 0,2 до 0,5 мкм. Образование скрытого термохимического изображения на таких пленках сопровождается значительным изменением коэффициента отражения (до нескольких процентов), что позволяет контролировать процесс записи до травления. На рисунке 23 показаны микрофотографии фрагментов тестовых структур, записанных с различной мощностью излучения на пленках хрома, полученных термическим напылением (а) и магнетронным распылением (б).

Видно, что качество края линий, записанных на пленках хрома методом распыления, значительно выше.

5.1.4 Выбор функции мощности пучка от радиальной координаты

Предварительное экспериментальное исследование проводится путем записи на вращающейся подложке, покрытой пленкой хрома. Записываются группы дорожек с шагом от 0,25 до 0,5 мкм. Запись тестовых дорожек проводится на радиусах от 0,1 до максимально возможного на данной подложке радиуса при скорости вращения подложки 5-10 с⁻¹. Мощность лазерного пучка при записи каждой группы от дорожки к дорожке постепенно увеличивалась. На рисунке 24а приведена микрофотография группы тестовых дорожек с периодом 5 мкм до и после травления хрома. Мощность лазерного луча изменялась в пределах от 0 до 35 мВт с шагом 0,7 мВт. На этой фотографии можно наблюдать процессы, происходящие при записи. При большой мощности записывающего пятна происходит испарение материала пленки (область I) и образование «брустверов» из расплавленного металла, что хорошо видно на рисунке 24а. Дальнейшее снижение мощности лазера приводит к прекращению испарения и образованию скрытого изображения, которое проявляется после травления (область II). Мощность излучения $P_{кр}$, при которой прекращаются процессы плавления и испарения пленки хрома, называется «критической». При снижении подводимой мощности действие лазерного излучения на пленку прекращается и скрытое изображение не образуется (область III). Образование достаточно устойчивого к действию травителя слоя пленки происходит при плотности мощности записывающего лазерного пучка $(1-3) \cdot 10^6$ Вт/см². Зависимость положения области скрытого изображения от скорости движения пленки хрома приведена на рисунке 24б. Она получена по результатам контроля тестовых записей, аналогичных приведенным на рисунке 24а и сделанных на радиусах от 0,5 до 40 мм при скорости вращения подложки 10 с⁻¹. Из графика следует, что рабочая область увеличивается с уменьшением времени экспозиции.

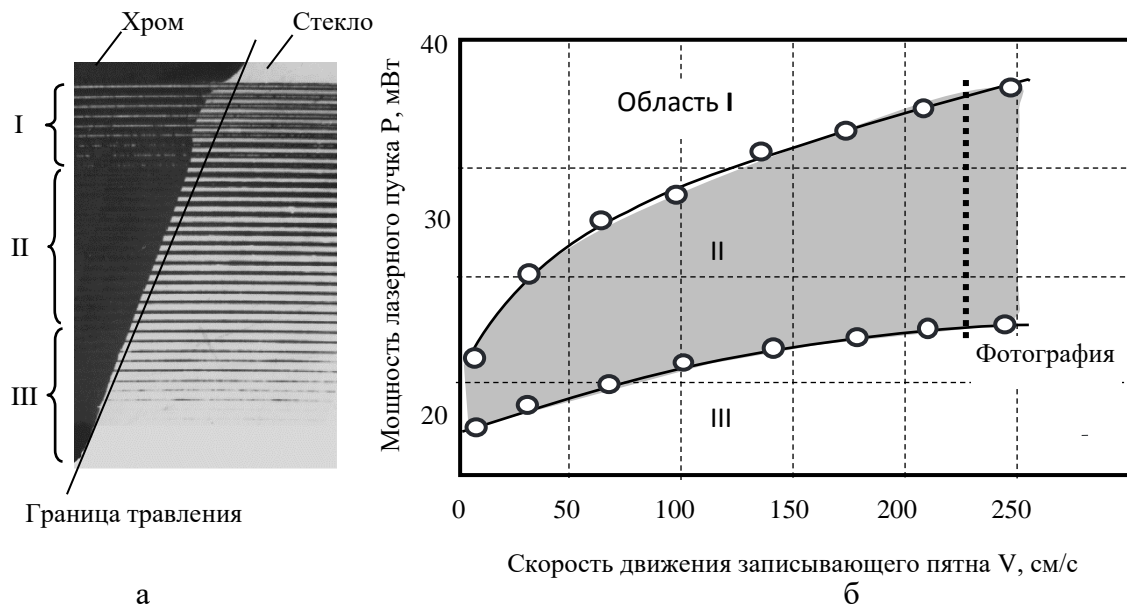


Рисунок 24 – Микрофотография фрагмента серии тестовых дорожек до и после травления (а) и зависимость положения области образования скрытого изображения (б).

5.1.5 Пространственное разрешение.

Одним из основных критериев, показывающих пригодность того или иного материала в качестве регистрирующей среды, является пространственное разрешение. Оно определяется величиной записывающего пятна и свойствами материала. В КЛЗС фокусирующая оптика (микрообъектив $NA=0,65$) формирует пятно с гауссовым распределением интенсивности излучения. Диаметр пятна составлял 0,7-0,8 мкм.

При термохимическом способе записи наблюдается расширение дорожек за счет теплопроводности в пленке и подложке. Однако, тщательно выдерживая режим записи с помощью управляющего компьютера, можно получить пространственное разрешение свыше 1500 мм^{-1} и даже 2000 мм^{-1} . На рисунке 25 показаны полученные экспериментально зависимости пространственного разрешения от скорости движения записывающего пятна относительно пленки и (для сравнения) характерное время экспозиции. Кривые получены для двух типов пленок, полученных путем термического напыления и магнетронного распыления. Микроструктуры на пленках, полученных термическим напылением, имеют более низкое разрешение из-за образования микрокристаллов на краях линий («волосатость»), что хорошо видно на рисунке 25а. Это становится особенно заметным при малых временах экспозиции. При больших скоростях движения пленок магнетронного распыления пространственное разрешение превышает 1600 мм^{-1} , что близко к пределу разрешения оптической системы ЛЗС. При скоростях ниже 30 см/с разрешение начинает ухудшаться, что обусловлено тепловым механизмом записи. Однако даже вблизи центра вращения

пластины, когда скорость вращения менее 1 см/с, пространственное разрешение не падает ниже 400-500 мм⁻¹ рисунок 25б).

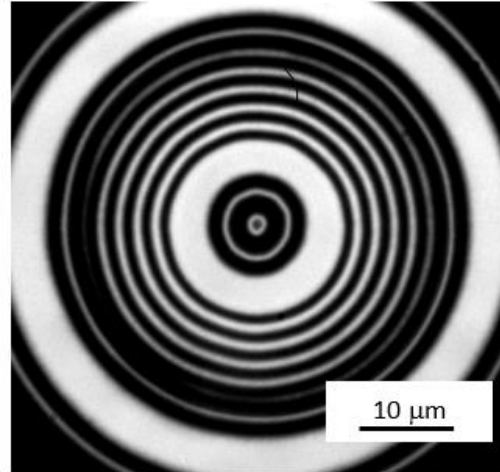
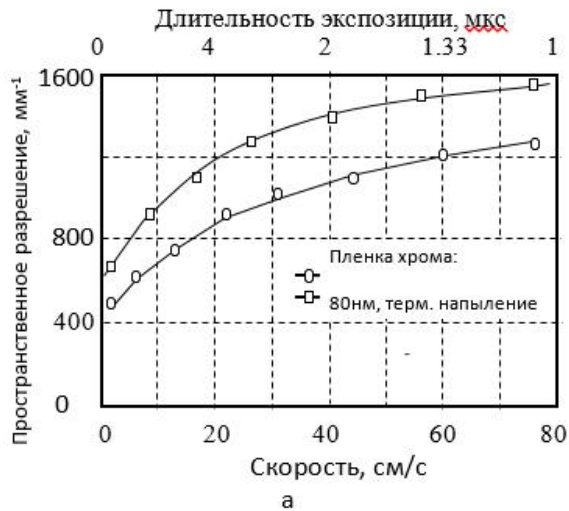


Рисунок 25 – Зависимость пространственного разрешения от скорости сканирования пучка

Пространственное разрешение зависит от типа записываемой структуры. В полярной системе координат, в которой работает ЛЗС, наибольшее разрешение достигается при записи круговых структур, так как отсутствует дискретизация. На рисунке 26а показана полученная на электронном микроскопе фотография участка поверхности с линиями шириной 0,3 мкм (более 3000 мм⁻¹). Линии записывались за один проход на пленке хрома толщиной 50 нм, полученной магнетронным распылением. Произвольные структуры записываются, как правило, за много проходов лазерного пятна с перекрытием, что уменьшает пространственное разрешение. На рисунок 26б приведена фотография рагмента теста на пространственное разрешение при записи произвольных структур в полярной системе координат. Направление движения записывающего пятна – под углом 45° к линиям миры. Видно, что пространственное разрешение превышает 1200 мм⁻¹. На рисунке 26, в приведена фотография миры, составленной из равнобедренных треугольников с высотой 4 мкм, а на рисунке 26г – полученная на электронном микроскопе фотография участка зон осесимметричного дифракционного элемента (период 1,2 мкм), записанного по лазерной термохимической технологии. Видно, что неровность края зон не превышает 0,1 мкм.

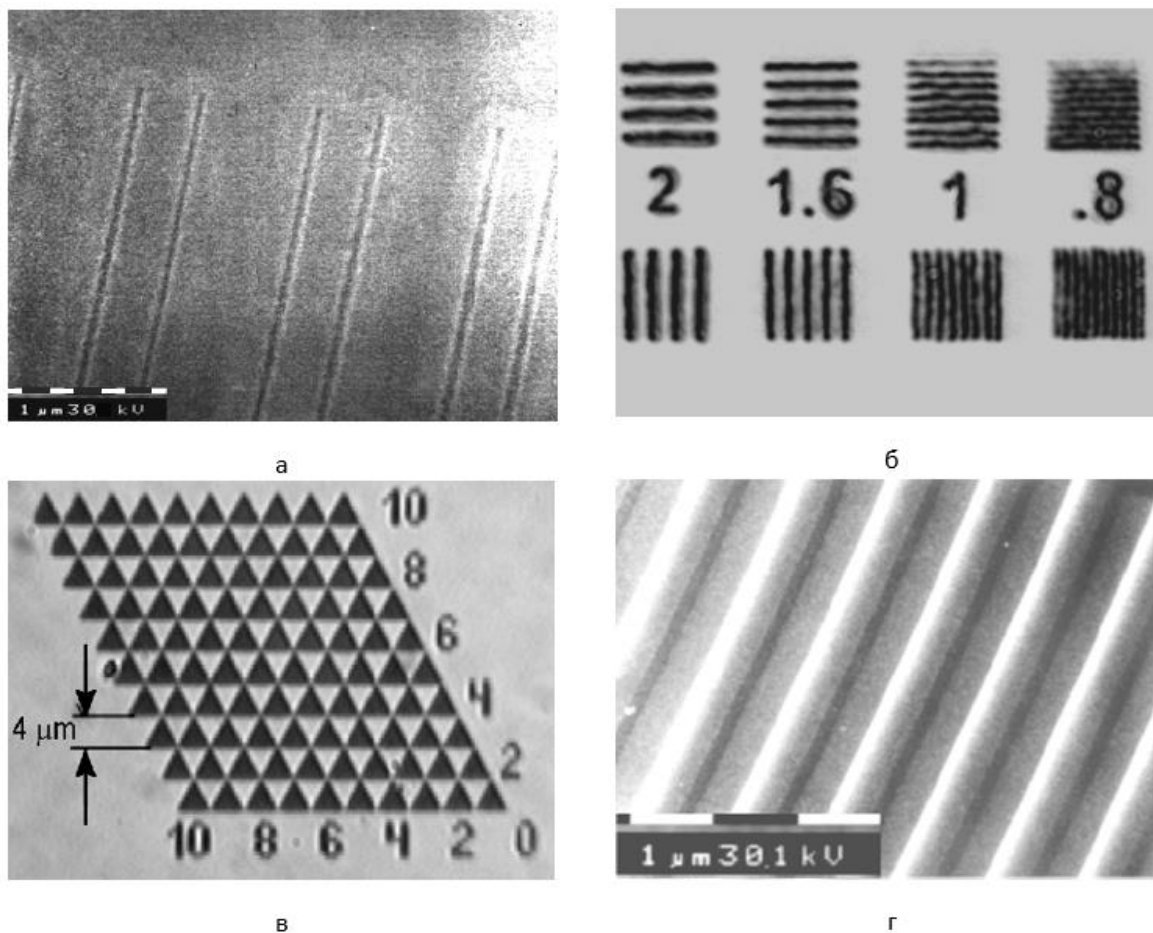


Рисунок 26– Фотографии фрагментов тестовых структур, записанных на пленках хрома, с использованием термохимической технологии

5.2 Технология прямой лазерной записи на фоторезисте и ее моделирование

Прямая лазерная запись (ПЛЗ) по фоторезисту хорошо зарекомендовала себя при изготовлении дифракционных оптических элементов с непрерывным профилем. Этот метод формирования рельефа основан на создании необходимого распределения экспозиции в фоторезисте путем сканирования сфокусированного пучка по поверхности пленки фоторезиста, нанесенной на подложку, и последующего проявления фоторезиста в жидком щелочном проявителе. В качестве фоторезистов обычно используют позитивные низкоконтрастные фоторезисты для ближнего УФ диапазона, например, из серии S1800 (Shipley), AZ1500, AZ6600, AZ9000 (Clariant), а также российский фоторезист ФП-383 (ФРАСТ-М). Нанесение фоторезиста производится на центрифуге, если подложка достаточно легкая. Для покрытия толстых и тяжелых подложек используется аэрозольное распыление через форсунку, окунание, менисковое нанесение, накатка валиком, наливка широкой струей, экструзия. Сушка фоторезиста,

нанесенного на тонкие подложки, осуществляется на нагревательной плите, а на толстых подложках – в печи при температуре порядка 90-96 градусов. Экспонирование фоторезиста может производиться на актиничной длине волны в диапазоне от 300 до 470 нм. В традиционной фотолитографии используются источники света на основе ртутных ламп высокого давления с основными линиями 365, 405 и 436 нм. Типичная чувствительность фоторезистов лежит в диапазоне от 50 до 100 мДж/см². Низкоконтрастные проявители изготавливаются из промышленных концентрированных растворов на основе щелочей КОН или NaOH. Отличные результаты дает приготовленный самостоятельно раствор КОН с концентрацией 0.7-0.8%. Экспозиция фоторезиста подбирается так, чтобы время проявления было в диапазоне от 30 до 60 с. При большем времени может произойти отслоение фоторезиста от подложки, а при меньшем ухудшается воспроизводимость процесса. Температура проявителя оказывает большое влияние и необходимо, чтобы ее нестабильность была в пределах 1 градуса. Сушка проявленного фоторезиста производится на центрифуге и струей сжатого воздуха. Рельеф, сформированный на поверхности пленки фоторезиста, может переноситься в материал подложки с помощью реактивного ионного травления на установках диодного типа или с источником индуктивно-связанной плазмы. Установки диодного типа менее производительны, но дают высокую равномерность скорости травления на подложках размером до сотен миллиметров.

В сравнении с полутонным фотолитографическим процессом ПЛЗ на фоторезисте лучше всего подходит для мелкосерийного производства и создания прототипов по причине низких затрат на изготовление и отсутствия дополнительных искажений профиля, возникающих при переносе изображения методом контактного копирования или проекционной фотолитографии. Последняя причина очень важна для высокоэффективных и высокоточных ДОЭ.

Одним из преимуществ ПЛЗ по фоторезисту является практически линейная зависимость глубины профиля от дозы экспозиции (после некоторого значения). На рисунке 27 приведена интерферограмма в белом свете микрорельефа, записанного в фоторезисте Shipley S1818 с линейным нарастанием дозы экспозиции. Участок DF является практически линейным. Выход на этот участок без потери динамического диапазона управления мощностью лазерного излучения возможен за счет равномерной предэкспозиции светом ртутной лампы. Это приводит после проявления к некоторой потере толщины фоторезиста (разность глубин между CD и AB) на 0,15-0,3 мкм. Использование предэкспозиции необходимо не только с точки зрения линеаризации характеристической кривой для лазерной записи,

но и с точки зрения уменьшения влияния ошибок позиционирования и флуктуаций мощности лазерного пучка на неровность микрорельефа в фоторезисте (она приводит к заметной волнистости интерференционных полос на участке DF).

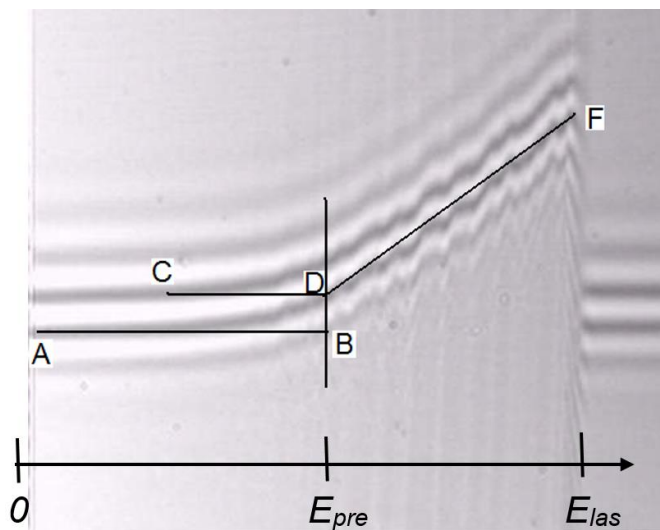


Рисунок 27 – Интерферограмма микрорельефа с линейным нарастанием дозы экспозиции.

Точка А соответствует нулевой экспозиции, точка F – максимальной.

Общая плотность энергии, поглощенной фоторезистом во время предэкспозиции E_{pre} и прямой лазерной записи E_{las} при наличии шумов лазерной экспозиции ΔE_{las} , вызванных как ошибками позиционирования, так и флуктуациями мощности лазера может быть вычислена следующим образом:

$$E_{total} = E_{pre} + E_{las} \cdot \left(1 + \frac{\Delta E_{las}}{E_{las}}\right) = (E_{pre} + E_{las}) \cdot \left[1 + \frac{\Delta E_{las}}{E_{las}} \cdot \frac{E_{las}}{(E_{las} + E_{pre})}\right], \quad (14)$$

Отсюда коэффициент уменьшения влияния относительных шумов $\Delta E_{las}/E_{las}$ лазерной экспозиции определяется как:

$$K_f = \frac{E_{las} + E_{pre}}{E_{las}}. \quad (15)$$

Для глубины микрорельефа 1,2-1,5 мкм величина E_{las} примерно равна E_{pre} (см. рисунок 27). Следовательно, коэффициент K_f равен 2 для такой глубины и увеличивается с ее уменьшением (с уменьшением E_{las}).

5.2.1 Выбор зависимости мощности пучка от радиальной координаты при записи на фоторезисте

В круговых записывающих системах при изготовлении элемента подложка со светочувствительным материалом непрерывно вращается, в то время как записывающий луч медленно движется в радиальном направлении. Движение по радиальной координате может быть, как непрерывным (спиральное сканирование), так и дискретным (круговое сканирование). При прямой записи на фоторезисте динамический диапазон модуляции мощности записывающего пучка должен компенсировать изменение линейной скорости при радиальном диапазоне перемещения пучка 1-150000 мкм и при этом обеспечивать локальный диапазон изменения экспозиции 1:100 для записи дифракционных элементов с кусочно-непрерывным рельефом. Суммарный динамический диапазон, превышающий 1:1000000, не может быть достигнут даже при использовании двух акустооптических модуляторов. Эта проблема была решена с помощью использования вблизи центра вращения импульсного режима записи, объединяющего амплитудную модуляцию, определяемую локальной фазой дифракционной формируемой структуры и частотно-импульсной модуляции (рисунок 28), зависящей от радиальной координаты микрообъектива r . Угловой период α подачи световых импульсов вычисляется из условия, что величина перекрытия δ областей экспонирования соседними световыми импульсами постоянна: $\alpha = \delta / 2\pi r$. Длительность импульсов также постоянна и выбирается минимально возможной для максимальной мощности лазера (для Уф лазера - 60 мВт) для того, чтобы вращение подложки не расширяло зону экспонирования одного импульса. При переходе от непрерывной записи к импульсной записи уровень мощности P_{pulse} пучка выбирается равным $P_{\text{cw}} \cdot \tau / T_{\text{pulse}}$, где T_{pulse} – длительность импульсов, P_{cw} - уровень мощности для непрерывной записи. Как правило длительность импульсов выбирается равной 200-300 нс.

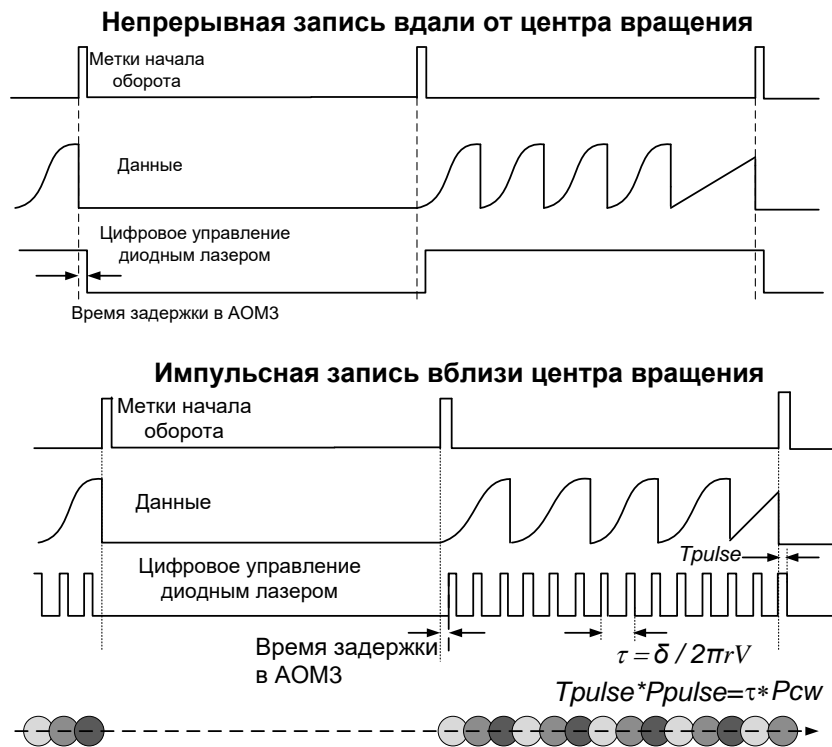


Рисунок 28 – Временная диаграмма работы УФ канала 2

Из-за того, что динамический диапазон цифровой импульсной модуляции (P_{on}/P_{off}) не превышает согласно спецификации диодного УФ лазера 1: 250 вблизи центра вращения может возникнуть переэкспонирование. При $\tau/T_{pulse} \geq 250$ доза экспозиции от выключенного состояния пучка УФ лазера будет превышать дозу экспозиции от включенного состояния ($E_{off} \geq E_{on}$). Здесь доза экспозиции от выключенного состояния $E_{off} = P_{off} \cdot (\tau - T_{pulse})$, а от включенного $E_{on} = P_{on} \cdot T_{pulse}$. Если принять $E_{off} < 0.1 \cdot E_{on}$, то $\tau/T_{pulse} < 25$. Для обеспечения независимости дозы экспозиции от радиуса вблизи центра $2\pi rV \cdot T_{pulse} < \delta/4$ необходимо, чтобы $4 < \tau/T_{pulse} < 25$. Для расширения диапазона применимости импульсной модуляции необходимо дополнительное увеличение динамического диапазона экспозиции. Это осуществляется путем синхронной с лазером импульсной модуляции сигнала для АОМ (рисунок 29). Но для лазера производится задержка импульсов на величину задержки в АОМ. Свертка двух импульсов ведет к уменьшению дозы экспозиции на $T_{front}/(2T_{pulse})$. Диапазон изменения периода импульсов при контрасте модуляции АОМ, равном 200, увеличивается до $4 < \tau/T_{pulse} < 5000$.

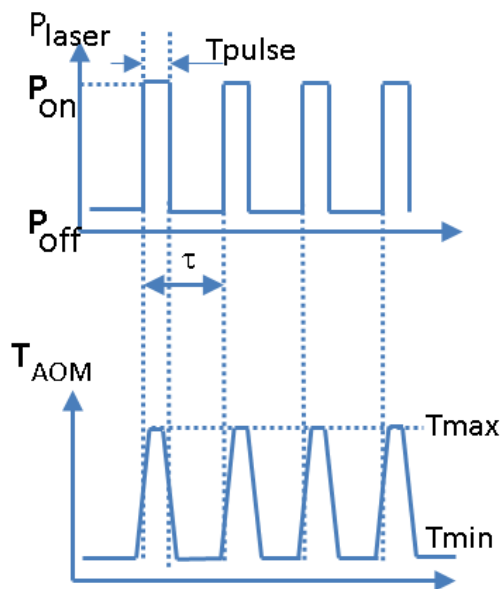


Рисунок 29 – Синхронизация импульсной модуляции УФ лазера и АОМ

В таблице 20 и на рисунке 29 показан пример управления мощностью лазера при записи многоуровневого ДОЭ. В данном примере показан график изменения мощности записывающего пучка от радиуса. От максимального радиуса до 7000 мкм используется аттенюатор от 1:3 до 1:5 в зависимости от типа и толщины фоторезиста. Аттенюатор 1:1 используется только когда необходимо записать тестовые маркеры путем проплавления фоторезиста. Для фотопроцесса нужна мощность существенно меньшая. С радиуса 7000 микрон используется импульсная запись с постоянной мощностью и шагом между точками включения импульсов импульсами 0,5 мкм. Вблизи самого центра вращения с радиуса 5 мкм используется шаг 0,1 мкм и аттенюатор 1:15 для соответствующего ослабления мощности пучка.

В первом канале модуляции с мощным (>1 Вт) DPSS лазером первый модулятор АОМ1, охваченный обратной связью по сигналу с первого фотоприемника (ФП1), используется для стабилизации и медленной (установка уровня мощности на один оборот подложки) модуляции мощности излучения. АОМ2 предназначен для скоростной модуляции в угловом направлении сканирования. Он используется без обратной связи, но с периодической калибровкой по сигналу с фотоприемника калибровки при перекрытом электромагнитным затвором пути к фокусирующему объективу.

Затвор предотвращает экспонирование регистрирующего материала в процессе калибровки.

Во втором канале с УФ лазером для медленной модуляции мощности в зависимости от радиальной координаты пучка используется прямое управление током диодного лазера. Для импульсной модуляции используется вход цифровой модуляции с частотным диапазоном до 100 мГц. При этом возникает задержка между установлением заданного уровня пропускания АОМЗ и появлением световых импульсов в результате подачи сигнала на вход цифровой модуляции из-за задержки ультразвуковой волны в АОМЗ. Эта проблема решается введением задержки при формировании импульсов векторным функциональным генератором.

Таблица 20 – Пример управления мощностью лазера при записи многоуровневого ДОЭ

Радиус, мкм	Мощность, отн. единицы	Режимы и параметры
0	25	Импульсная модуляция $\delta=0,1$ мкм, аттенюатор 1:15
5	25	
5,5	25	Импульсная модуляция $\delta=0.5$ мкм, аттенюатор 1:1
6999,5	25	
7000	5	Непрерывная запись, аттенюатор от 1:3 до 1:5
142500	100	

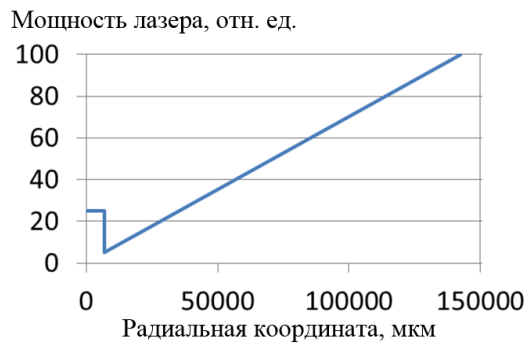


Рисунок 30 – Пример зависимости мощности лазерного пучка от радиальной координаты при записи

В оба оптических канала модуляции введены моторизованные аттенюаторы. Для DPSS лазера он необходим в силу того, что DPSS лазеры оптимизированы для работы на одном уровне мощности, а при записи больших и малых элементов желательно изменять уровень мощности лазера для сохранения количества уровней мощности в диапазоне модуляции. Для УФ лазера аттенюатор необходим для переключения между режимами проплавления и фотоэкспонирования резиста. Режим проплавления пленки используется для записи референтных маркеров при определении начала полярной системы координат. Управляющее программное обеспечение синхронизирует работы всех входов модуляции и моторизованных аттенюаторов в различных тестовых и рабочих режимах КЛЗС.

5.3. Поиск центра вращения шпинделя КЛЗС

Практически все специфические ошибки КЛГИ связаны тем или иным образом с вращением подложки с регистрирующим материалом. Для измерения этих ошибок необходимо определять с высокой точностью положение оси вращения шпинделя относительно центра записывающего пятна.

Для измерения относительного положения оси вращения шпинделя и центра записывающего пятна в процессе записи дифракционного оптического элемента (ДОЭ) нами необходимо записывать на поверхности заготовки ДОЭ небольшое кольцо (с радиусом от 10 до 100 мкм) вокруг центра вращения и измерять его радиусы слева и справа от центра вращения с помощью фотоэлектрической системы сканирования. Для осуществления

этого метода заготовка с регистрирующим слоем для записи ДОЭ фиксируется на планшайбе шпинделя КЛГИ и приводится во вращение. Записывающий лазерный пучок располагается в районе центра вращения и осуществляется сброс счетчика радиальной координаты. На вращающейся подложке на некотором расстоянии от центра вращения (например, $R_0 = 10 - 50$ мкм) записывается кольцо с радиусом R_0 (см. рисунок 31a) или две небольшие дуги (см. рисунок 31b). Значение мощности записывающего пучка выбирается экспериментально для каждого типа пленки хрома с целью получения достаточного изменения отражения пленки (за счет окисления или плавления). Сканирующее фотоэлектрическое считывание осуществляется с помощью фотоприемника отраженного света, установленного на каретке линейного перемещения КЛГИ. В качестве пробного пучка используется тот же записывающий пучок, но с низкой мощностью.

Считывающее пятно смещается на первый внешний радиус $r_1 = R_0 + d/2$, где d – диапазон сканирования, и осуществляется сканирование с шагом радиального перемещения от 30 до 50 нм по направлению к центру. Траектория сканирования считывающего лазерного пятна и типичные распределения интенсивности (в относительных единицах) отраженного света от радиальной координаты показаны на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Диапазон сканирования обычно составляет от 3 до 6 мкм. Затем производится сканирование в диапазоне $\pm d/2$ относительно противоположного радиуса $-R_0$. После поиска координат точек с минимальным отражением (R_1 и R_2) определяется ошибка координаты центра вращения через выражение $x_0 = (R_1 - R_2)/2$.

Для регистрации температурного дрейфа узлов КЛГИ было предложено автоматически повторять поиск центра вращения в процессе записи с определенным шагом по радиальной координате. С этой целью процесс записи прерывается и осуществляется поиск координаты центра вращения. Текущая погрешность определения начала координат запоминается для последующей математической обработки (коррекции) волнового фронта изготовленного ДОЭ. Может быть также использован периодический сброс счетчика радиальной координаты в точке найденного центра вращения при длительной записи ДОЭ. Подобная процедура весьма эффективно уменьшает температурный дрейф реальной радиальной координаты, так как ошибка не накапливается. Однако это приводит к скачкам фазы волнового фронта ДОЭ.

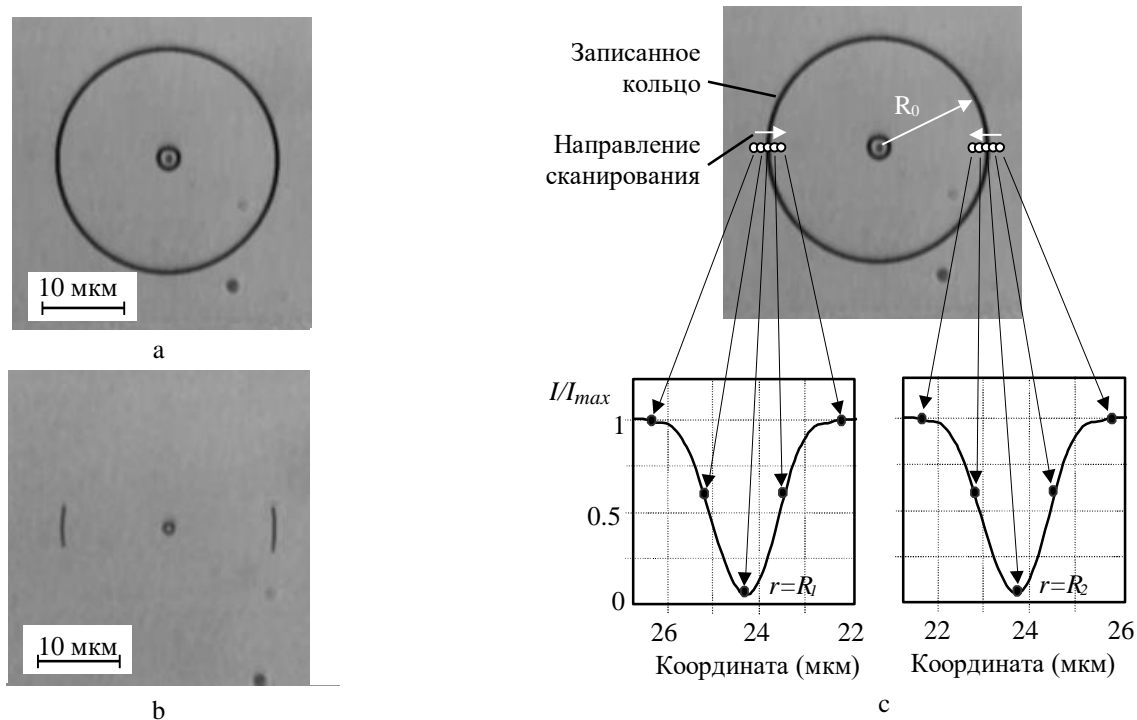


Рисунок 31 – Поиск центра вращения: а, б – микрофотографии кольца (а) и двух дуг (б); (с) - траектория сканирования лазерного пятна при поиске центра и типичные зависимости мощности отраженного считывающего пучка от координаты.

5.4 Описание алгоритмов работы расчетных программ

Расчетные программы являются подключаемыми программными модулями и используются в составе управляющего программного обеспечения для круговой лазерной записывающей системы (КЗЛС). Программные модули предназначены для расчета данных для записи микроструктур различной топологии в полярной системе координат. Каждый расчетный модуль представляет собой динамически загружаемую библиотеку DLL и предназначен для использования в среде Windows. Библиотека имеет программный интерфейс, позволяющий создавать объект для расчета данных, задавать параметры расчета, рассчитывать данные на заданном диапазоне радиусов, сохранять и загружать установленные параметры в файл. Программный модуль может содержать только один тип расчетного элемента.

Набор расчетных программ представляет собой библиотеку программных модулей для расчета различных элементов, таких как: текстовая метка, метки совмещения, лимб, осесимметричный дифракционный оптический элемент, растровый файл в полярных координатах, файл в формате DWG, полутоновая решетка и т.д. Библиотека программных модулей может быть дополнена новыми расчетными программами без изменения управляющего программного обеспечения. Управляющее программное обеспечение может одновременно использовать

несколько расчетных программ из библиотеки, а также может создавать несколько расчетных объектов, поддерживаемых одним расчетным модулем.

Библиотека расчетного модуля содержит экспортируемую функцию для создания объекта расчетного элемента в управляющем программном обеспечении:

```
extern "C" __declspec(dllexport) CDOE_Object* CreatDOE(void)
```

Расчетный модуль создается на основе абстрактного базового класса CDOE_Object и имеет ряд виртуальных функций, реализация которых индивидуальна для каждого расчетного элемента. Управляющее программное обеспечение использует описание класса CDOE_Object для работы с объектом расчетного элемента. Класс CDOE_Object является связующим интерфейсом для работы с расчетными программами.

5.4.1 Описание функций и данных класса CDOE_Object:

- short Init(Control_& Control) – функция инициализации расчета;
- short Line(const double& r) – функция расчета данных на заданном радиусе;
- void Finish(void) – функция завершения расчета;
- void Inform(std::ostream& OutInf) – функция для формирования текстовой информации о расчетном элементе;
- void SetData(const cCfgSection& Data) – функция установки параметров расчетного элемента в формате CFG;
- const cCfgSection& GetData() – функция получения параметров расчетного элемента в формате CFG;
- BOOL Dialog(void) – функция вызова диалога расчетного элемента для установки параметров расчета пользователем;
- void Destroy() – функция удаления объекта расчетного элемента;
- TrackArray_ *pTrackArray – подготовленные данные на заданном радиусе;
- tpDoubleVector ZoneRad – список радиусов зон расчетного элемента.

Для реализации расчета данных для записи управляющее программное обеспечение работает с библиотекой расчетных программ по следующему алгоритму:

- загружает библиотеку заданного расчетного модуля, определяет точку входа в функцию CreatDOE(void) и создает объект расчетного элемента с помощью этой функции. Необходимый расчетный модуль выбирается из списка, который задает набор типов расчетных элементов с привязкой к имени файла в библиотеке расчетных модулей;

- устанавливает параметры расчетного элемента, используя функцию SetData(const cCfgSection& Data), если данные были сохранены ранее в файле или вызовом диалога параметров с помощью функции Dialog(void) для установки параметров пользователем. Для передачи параметров расчетного элемента в функции SetData используется класс

cCfgSection, который позволяет описывать параметры в бинарном или текстовом виде. Управляющее программное обеспечение может получить текущие параметры расчетного элемента при помощи функции `const cCfgSection& GetData()` для сохранения их в файле.

– инициализирует расчетный элемент с помощью вызова функции `Init(Control_& Control)`. При вызове данной функции расчетный элемент производит инициализацию расчета в соответствии с заданными параметрами расчета и структуры `Control`. Структура `Control` задается управляющим программным обеспечением и описывает общие параметры записи такие как: тип записи, шаг записи, угловой и радиальный размер записывающего пятна и т.д. В процессе инициализации расчетный элемент загружает необходимые файлы для расчета, создает и инициализирует необходимые структуры данных для расчета, а также создает список радиальных зон `ZoneRad`, в пределах которых расчетный элемент может производить расчет данных. Список радиальных зон используется управляющим программным обеспечением для определения радиусов расчета и для управления процессом записи.

– для расчета данных на определенном радиусе управляющее программное обеспечение вызывает функцию `Line(const double& r)`. После выполнения функции расчета данные для заданного радиуса доступны по указателю `pTrackArray` и представляют собой массив структур типа `CBiColorRange`. Структура `CBiColorRange` описывает дугу в формате `[StartAngle, EndAngle, BeginLevel, EndLevel]`, где `StartAngle` – начало дуги в радианах, `EndAngle` – конец дуги в радианах, `BeginLevel` – номер уровня в начале дуги, `EndLevel` – номер уровня в конце дуги. Данные в массиве упорядочены по возрастанию по полям `StartAngle` и дуги не имеют взаимных пересечений. Порядок расчетных радиусов определяется управляющим программным обеспечением на основе данных списка зон `ZoneRad`, типа записи, шага записи, типа расчетного элемента и других параметров.

– после окончания процесса расчета управляющее программное обеспечение вызывает функцию `Finish(void)` для выполнения расчетным элементом операций по освобождению выделенной памяти, закрытию файлов и потоков, которые использовались в процессе расчета.

– после завершения работы с расчетным модулем управляющее программное обеспечение удаляет все созданные расчетные элементы при помощи функции `Destroy()` и выгружает программные модули.

5.4.2 Описание расчетных программ и их назначение

5.4.2.1 `LabelText` – модуль для расчета данных для записи текстовой строки.

Данный модуль предназначен для расчета данных для записи произвольного текста с заданным шрифтом, вписанного в дуговой сектор. Алгоритм расчета основан на создании растрового изображения с заданным текстом и последующим его перерасчетом в полярную систему координат на

необходимом радиусе расчета. Расчетный элемент имеет следующие параметры:

- текстовое поле «Text String» задает текстовую строку произвольного содержания. Строка вводится пользователем или загружается из файла, используя кнопку «Read from file». Также строка может быть сохранена в файл, используя кнопку «Write to file»;

- числовое поле «Inner radius» задает внутренний радиус области расчета в микронах;

- числовое поле «Outer radius» задает внешний радиус области расчета в микронах;

- числовое поле «Angle shift» задает угловое положение центра надписи в углах относительно начала оборота. Длина надписи рассчитывается автоматически из длины текстовой строки и внутреннего и внешнего радиусов области расчета;

- блок кнопок «Reading type» задает тип расположения надписи. Надпись может быть рассчитана с зеркальным отражением относительно радиальной и/или угловой координаты.

- кнопка «Font» позволяет выбрать тип шрифта для текста.

5.4.2.2 DrawPSC – модуль для расчета данных для записи растровых изображений в формате PSC.

Данный модуль предназначен для расчета данных записи из файлов в формате PCS (Polar System Coordinate). Формат PCS используется для описания произвольных растровых изображений в полярной системе координат. Растровое изображение может быть как бинарным, так и многоуровневым. Алгоритм расчета основан на преобразовании данных из растрового формата PSC во внутренний формат данных с использованием структуры `SViColorRange` с учетом шага записи, радиального и углового размера пятна записи. Также алгоритм позволяет производить растеризацию каждой точки PSC раstra произвольной маской. Параметры расчетного элемента:

Текстовое поле «PSC file» отображает имя выбранного для расчета PSC файла. Выбор PSC файла производится из стандартного диалога загрузки файла, который открывается нажатием на кнопку «browse», находящуюся справа от поля.

Текстовое поле «Raster File» отображает имя файла с растровой маской. Выбор файла растеризации производится из стандартного диалога загрузки файла, который открывается нажатием на кнопку «browse», находящуюся справа от поля.

Числовое поле «Inner Radius» задает внутренний радиус области расчета PSC файла.

Числовое поле «Outer Radius» задает внешний радиус области расчета PSC файла.

Кнопка-флажок «Link» активируется, если необходимо использовать несколько растровое изображение состоящее из нескольких PCS файлов.

Поле «Step» отображает расчетный шаг текущего PSC файла.

Поле «Num bits» отображает количество уровней точки раstra текущего PSC файла.

5.4.2.3 DrawDWG – модуль расчета данных записи из фалов в формате DWG.

Данный модуль предназначен для преобразования данных из фалов в формате DWG (drawing) во внутренний формат в полярных координатах для записи. DWG формат используется для описания 2D чертежей. Алгоритм расчета основан на использовании внешнего конвертера (bCad) для преобразования файла DWG в набор объектов типа линий и дуг с последующим преобразованием этих объектов во внутренний формат данных с использованием класса Rasterizer. Параметры расчетного элемента:

Поле «Path to converter» задает путь к внешнему конвертеру bCad. Задать путь можно при помощи кнопки «browse» справа от поля.

Поле «Path to DWG file» задает DWG файл для расчета. Задать файл можно при помощи кнопки «browse» справа от поля.

Числовое поле «Begin radius» задает внутренний радиус области расчета в микронах.

Числовое поле «End radius» задает внешний радиус области расчета в микронах.

Кнопка-флажок «Negative» задает тип преобразования области расчета негатив/позитив.

5.4.2.4 Axial DOE – модуль для расчета осесимметричных дифракционных оптических элементов.

Данный модуль предназначен для расчета данных записи из файлов в формате DAT. Формат DAT описывает осесимметричные дифракционные оптические элементы в виде концентрических зон. Файл DAT создается внешней программой «Kinoform». Алгоритм расчетного элемента использует данные файла для расчета концентрических окружностей на необходимых радиусах. Параметры расчетного элемента:

Текстовое поле «File name» отображает имя файла в формате DAT для записи. Выбор файла может быть выполнен с использованием кнопки «Browse».

Числовое поле «Inner radius» задает внутренний радиус расчета в микронах.

Числовое поле «Outer radius» задает внешний радиус расчета в микронах.

Числовое поле «Start angle» задает начальный угол расчета в градусах.

Числовое поле «End angle» задает конечный угол расчета в градусах.

Числовое поле «Number sectors on circle» задает количество секторов на обороте.

GrayScaleGrate – модуль для расчета полутоновой линейной решетки.

Данный модуль предназначен для расчета полутоновой линейной решетки с заданным количеством уровней, периодом и поворотом относительно начала оборота. Алгоритм расчета основан на определении пересечений линейной решетки с окружностью заданного диаметра и расчета данных записи во внутреннем формате с использованием структуры CBiColorRange. Параметры расчетного элемента:

Числовое поле «Period» задает период решетки в микронах.

Числовое поле «Number of phase levels» задает количество уровней в одном периоде решетки в диапазоне от 2 до 256.

Числовое поле «Angle of turn» задает угол поворота решетки относительно начала оборота.

Блок параметров «Clip parameters» определяет область ограничивающей маски для расчета линейной решетки. Область может быть трех типов: кольцо, прямоугольник, угловой сегмент. Область кольца задается начальным и конечным радиусами в микронах. Область прямоугольника задается двумя точками (левым верхним углом и нижним правым) в микронах. Область углового сегмента задается: начальным и конечным радиусом в микронах, начальным и конечным углом в градусах.

6 Технические характеристики КЛЗС

6.1 Максимальный диаметр поля записи – 285 мм.

6.2 Максимальная толщина обрабатываемой детали 20 мм.

6.3 Минимальный размер дискретности элементов записываемой структуры:

поле диаметром до 150 мм – 0,2 мкм;

– поле диаметром от 150 до 285 мм – 0,4 мкм.

6.3 Дискретность позиционирования записывающего пучка, не более:

– по радиусу (линейная координата) – 1 нм;

– по углу (круговая координата) при 600 об/мин – 0,45 угловых сек.

6.5 Среднеквадратическая погрешность позиционирования записывающего пучка, не более:

– по радиусу (линейная координата) – 20 нм;

– по углу (круговая координата) при 600 об/мин – 1,5 угловых сек.

6.6 Виды элементов топологии:

– прямые линии;

– концентрические окружности;

– кривые, описываемые различными математическими функциями;

– различные символы (арабские цифры и буквы латинского и славянского алфавита).

7 Сдача КЛЗС в эксплуатацию

Сдача в эксплуатацию смонтированной КЛЗС производится комиссией, созданной из представителей Исполнителя совместно с представителями Заказчика, прошедшими обучение и имеющими удостоверение на право эксплуатации КЛЗС.

Сдача в эксплуатацию состоит в проверке основных параметров системы путем проведения приемосдаточных испытаний (ПСИ). Программа и методика испытаний изложены в «Программе приемосдаточных испытаний круговой лазерной записывающей системы».

Состав комиссии согласовывается и утверждается сторонами не позднее, чем за 15 дней до момента проведения ПСИ.

ПСИ проводятся при наличии акта о технологической подготовленности помещения, в котором отражается соответствие эксплуатационных параметров помещения, где установлена система, техническим характеристикам, необходимым для эксплуатации КЛЗС.

Приемосдаточные испытания заканчиваются составлением акта сдачи-приемки системы. Дата двухстороннего подписания акта считается датой ввода системы в эксплуатацию.