Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ

На правах рукописи

УДК 621.38

Минибаев Тагир Ильдарович

РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ В ХОДЕ РАДИАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Выпускная квалификационная работа специалиста

Направление подготовки (специальности)

14.05.04 Электроника и автоматика физических установок

|  |
| --- |
| Выпускная квалификационная работа защищена  « »\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2020 г. |
| Оценка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
| Секретарь ГЭК \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

г. Москва, 2020

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**К ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТУ НА ТЕМУ:**

Разработка испытательных стендов для исследования оптоэлектронных модулей в ходе радиационного эксперимента.

Студент-дипломник: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Минибаев Т. И. /

подпись ФИО

Руководитель проекта: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / /

подпись ФИО

Соруководитель проекта от НИЯУ МИФИ: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / Уланова А. В. /

подпись ФИО

Рецензент проекта: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / /

подпись ФИО

Зам. Заведующего кафедрой №3\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / Барбашов В.М. /

подпись ФИО

г. Москва, 2020 г.

Оглавление

[Аннотация 4](#_Toc47109006)

[Введение 5](#_Toc47109007)

# Аннотация

# Введение

Цель данного дипломного проекта в разработке быстродействующего спектрометра на диапазон 400нм-1100нм на базе монохроматора/спектрографа м150, проектировании модуля-детектора на основе кремниевой линейной ПЗС-матрицы с временем регистрации «кадров» меньше 1мс, разработка программного обеспечения для управления спектрометром, передачи, обработки и вывода данных.

План:

1. Введение
2. Теоретическая часть
   1. Регистрация спектра излучения в видимом диапазоне во времени
   2. Изменение спектра во время радиационного воздействия
      1. Импульсное радиационное воздействие на оптоволокно
      2. Megajoule
      3. Активная среда твердотельного лазера
      4. Детектирование спектра плазмы при быстрых процессах
3. Аппаратная часть
   1. Структурная схема стенда
   2. Выбор элементной базы
4. Программная часть
   1. ПО для ПЛИС
   2. ПО для ПК
5. Экспериментальная часть
   1. Описание оптических модулей
   2. Описание эксперимента

Ссылки

1. **Scientific Charge-coupled Devices** James R. Janesick

# Глава 2 Теоретическая часть

## Регистрация спектра излучения в видимом диапазоне во времени

# Глава 3 Разработка аппаратной части

В данной главе приведено описание аппаратной части и выбор элементной базы.

## 3.1 Структурная схема стенда

Блок-схема разработанного спектрометра представлена на Рис. 1.

## 

Рис. 1 Блок-схема стенда

Излучение от источника поступает на входную щель монохроматора-спектрографа М150 (Рис. 2), работающего в режиме спектрографа. Наличие турели фильтров 3 позволяет отсечь ненужные диапазоны длин волн, интенсивность излучения регулируется положением затвора 5, диапазон длин волн на выходе спектрографа задается одной из дифракционных решеток 8 (Табл. 1), смещение диапазона длин волн задается поворотом дифракционной решетки, излучение поступает на выходную щель бокового порта 12 благодаря поворотному зеркалу 10, установленному в соответствующее положение.

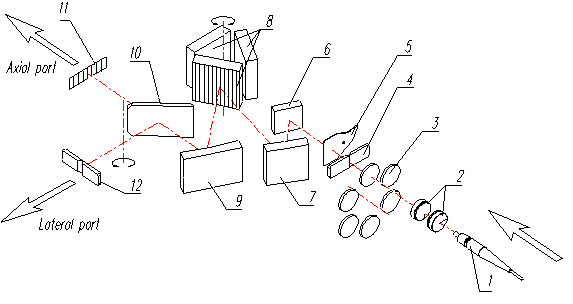


Рис. 2 Оптическая схема монохроматора/спектрографа M150

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Оптическое волокно 2. Конденсор 3. Турель фильтров 4. Входная щель 5. Затвор 6. Поворотное зеркало | 1. Коллиматорное зеркало 2. Дифракционные решётки 3. Камерное зеркало 4. Поворотное зеркало 5. Многоканальный детектор (осевой порт) 6. *Выходная щель (боковой порт)* |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Кол-во штрихов на мм | Диапазон, нм |
| 1 | 1800 | 0-700 |
| 2 | 600 | 0-2000 |
| 3 | 100 | 11000 |

*Таблица* *1 Виды дифракционных решеток*

Излучение с выходной щели спектрографа поступает на детектор — кремниевый линейный ПЗС-фотоприемник ILX751A фирмы SONY, выполненный в отдельном корпусе. Основные характеристики приведены в таблице 2. Спектральная чувствительность приведена на Рис.3

|  |  |
| --- | --- |
| Динамический диапазон | 6000 |
| Размер пикселя | 14 мкм x 14 мкм |
| CLK (max) | 5 МГц |
| Количество пикселей | 2048 |

*Таблица 2 Характеристики ПЗС-фотоприемника ILX751A*

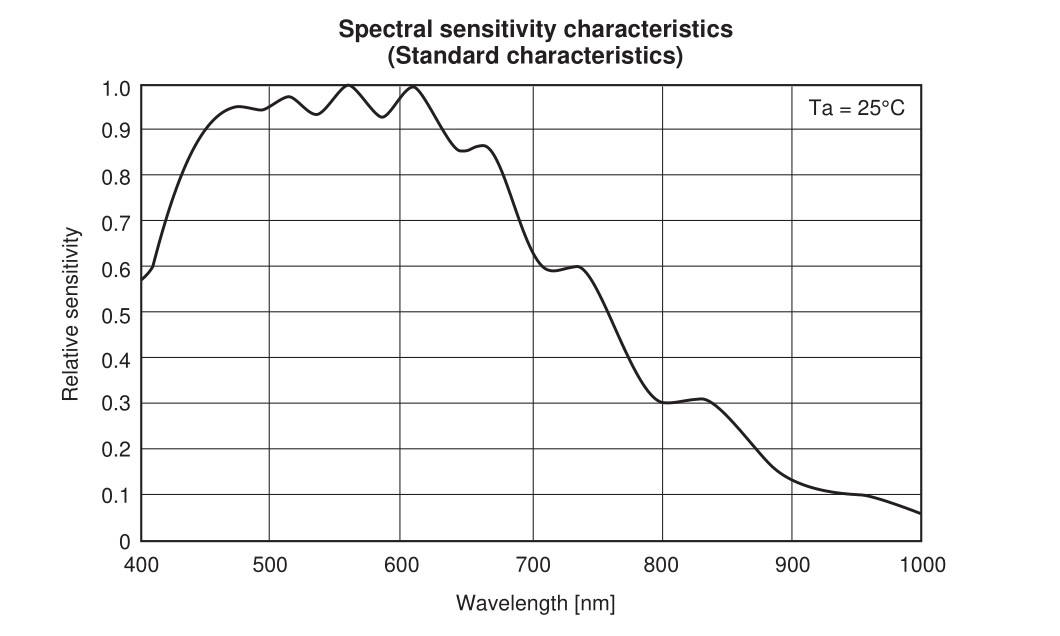


Рис. 3 Спектральная чувствительность линейного ПЗС-фотоприемника

Благодаря тактовой частоте fclk = 5МГц и количествепикселей *Npix =* 2048 минимальное время измерения спектра составляет приблизительно 0,5 мс.

Накопленное каждым пикселем кол-во фотонов преобразуется в напряжение и поступает на вход повторителя на основе операционного усилителя. Дальнейшее преобразование напряжения, аналоговой величины, в цифровой вид осуществляется АЦП.

Выбор АЦП диктуется следующими условиями:

1. Частота выборки кадров не ниже тактовой частоты ПЗС-фотоприемника (5МГц)
2. Максимально возможное разрешение

Таким образом выбрано 12-битное АЦП AD9220 фирмы Analog Devices конвейерного типа (Таблица 3). АЦП имеет параллельный интерфейс данных. Преобразованное в цифровой вид значение напряжения пикселя считывается ПЛИС для дальнейшей передачи на ПК.

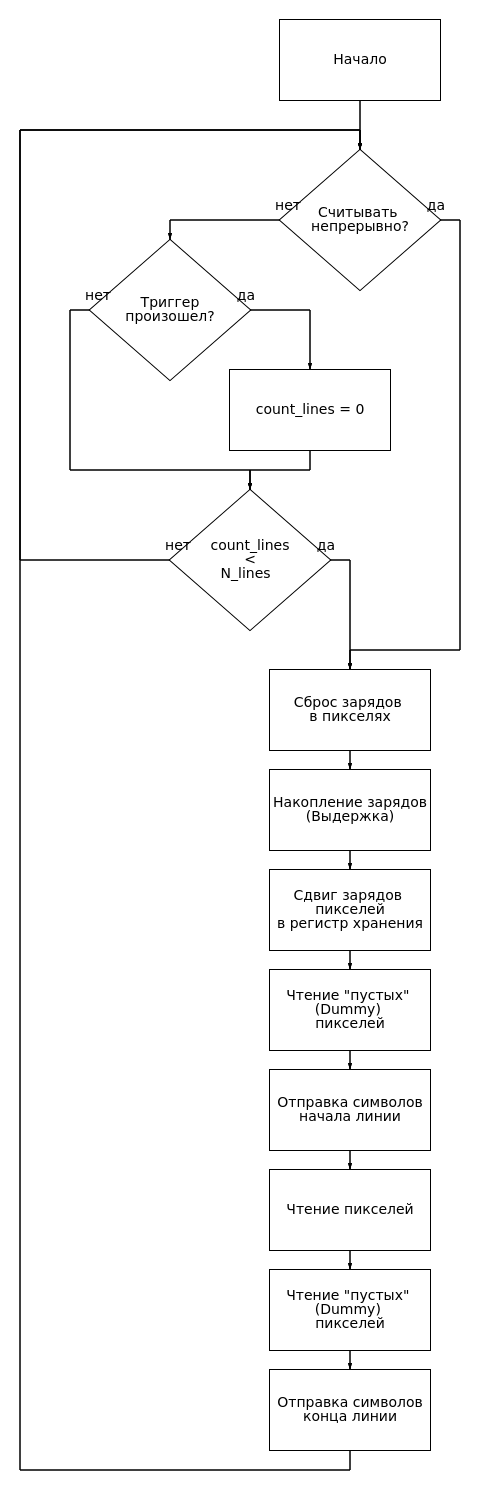
В данном случае выбрана ПЛИС EP4CE10F17 фирмы Altera, для упрощения процесса разработки было решено использовать готовую макетную плату с минимальным набором необходимых элементов, а именно кварцевого генератора с частотой 50МГц, SDRAM для записи программы. ПЛИС выполняет функции:

* управления АЦП и ПЗС-фотоприемником, производится отправка тактовых и управляющих сигналов;
* обработки полученного спектра, каждая линия помечается последовательностью символов начала и конца строки для возможности разделения линий после передачи на ПК, так как данные поступают в виде массива байтов;
* передачи линий на преобразователь интерфейсов FT2232HL.

Микросхема FT2232HL представляет собой двухканальный аппаратный USB-мост, работающий в высокоскоростном режиме USB. Он способен работать в нескольких конфигурациях, основные из которых следующие: UART, асинхронное FIFO, MPSSE и синхронное FIFO. В данном случае использован режим синхронного FIFO, позволяющего отправлять данные со скоростью больше 200 Мбит/с, теоретически скорость передачи может достигать 416 Мбит/с. Таким образом нет необходимости сохранять значения пикселей линий в памяти ПЛИС или внешней памяти, и есть возможность отправлять значения пикселей сразу после их получения с АЦП, за счет того что скорость отправки данных микросхемой FT2232HL в несколько раз превышает скорость их получения с АЦП. Конфигурация и передача данных на ПК осуществляется с помощью драйвера, предоставляемого вместе с микросхемой. Было решено использовать готовый модуль с микросхемой FT2232HL и со всей необходимой для работы периферией.

Конечная обработка полученных данных с последующим построением графиков осуществляется на ПК под управлением программы, написанной на QT.

## ПО для ПЛИС



## ПО для ПК