**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |
| Факультет | О | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | О1 | | | | | | |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |
| Выпускающая кафедра | О1 | |  | | Иванов Н.И. | | |  | | | |  | | | | | | | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | О1М31 | |  | «\_\_\_\_\_» | |  | | | | | | | | | | 2019 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | | | | производственной практики: преддипломной | | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Батенькина Виктора Владимировича | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | | 20.04.01 | | | |  | | Техносферная безопасность | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | | код | | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики от БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:** | | | | | | | | Куклин Д.А., д.т.н., профессор каф. О1 | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики от**  **профильной организации:** | | | | | | | | Коновалов Г.Г., к.ф.-м.н., н.с. | | | | | | | | | | | | | |
|  | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | | с | | 10.04.2019 | | | | | | | г. |  | по | 07.06.2018 | | | г. |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | | | Лаборант | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики от БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:** | | | |  | |  | | **Руководитель практики от профильной организации:** | | |  | | | |
|  | |  | | Куклин Д.А. | |  | |  | |  | | | Коновалов Г.Г. | |
| Подпись | |  | | Фамилия ИО | |  | | Подпись | |  | | | Фамилия ИО | |
| «07» | июня . |  | 2019 г. | |  | | «07» | | июня . |  | | 2019 г. | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

**Содержание**

[Введение 3](#_Toc10685047)

[1 Разработка и создание лабораторного макета газоаналитического устройства. Его основные структурные элементы 4](#_Toc10685048)

[2 Источник ИК излучения 7](#_Toc10685049)

[3 Приемник ИК излучения 13](#_Toc10685050)

[4 Источник питания светоизлучающего диода 16](#_Toc10685051)

[4.1 Режимы работы источника питания светоизлучающего диода 18](#_Toc10685052)

[4.2 Характеристики DLT-37М 19](#_Toc10685053)

[5 Усилитель сигнала электрического импульса фотодиода 19](#_Toc10685054)

[6 Оптическая кювета 21](#_Toc10685055)

[7 Проведение эксперимента 22](#_Toc10685056)

[Заключение](#_Toc10685047) 25

# Введение

Базой прохождения конструкторско-технологической практики была лаборатория инфракрасной оптоэлектроники ФГБУН «ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН». Продолжительность конструкторско-технологической практики – восемь недель.

Целями преддипломной практики являются подбор материалов в соответствии с индивидуальным заданием для подготовки магистерской диссертации.

Задачами преддипломной практики являются:

– приобретение навыков инженерной и организационно-управленческой деятельности;

– разработка рекомендаций по рациональной организации природопользования и управления воздействием на среду обитания;

– изучение средств и методов защиты окружающей среды;  
– приобретение опыта анализа источников опасности, проведения экологической экспертизы, расчета экологического ущерба и платежей за загрязнение окружающей среды;– сбор материалов для подготовки и написания магистерской диссертации.

# Разработка и создание лабораторного макета газоаналитического устройства. Его основные структурные элементы

Метод светопропускания (оптической абсорбционной спектроскопии) используется для определения изменения интенсивности зондирующего излучения, прошедшего через поглощающую газовую среду [49]. Исследуемый газ в газовой смеси является «фильтром», поглощающим излучение источника с определенной длиной волны. По изменению интенсивности излучения можно сделать вывод о концентрации анализируемого газа.

На рисунке 1 приведены спектральные полосы поглощения в диапазоне длин волн 3,0- 5 мкм ряда химических элементов.

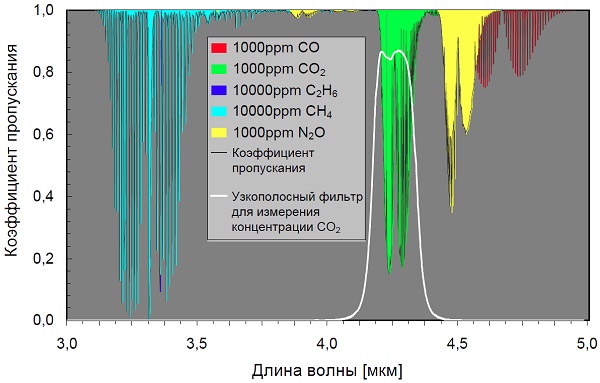


Рисунок 15 – Спектр поглощения химических соединений: СО, СО2, С2Н6, СН4, NO2 ( мкм).

Анализ рисунка 1 показывает, что на длинах волн 4,0-4,5 мкм наблюдается сильное поглощение излучения, вызванное углекислым газом. Из рисунка 15 видно, что максимум спектра поглощения соответствует длине волны , что следует учитывать при выборе источника и приемника излучения.

К основным источникам инфракрасного излучения, которые могут быть использованы для определения концентрации углекислого газа, можно отнести ленточные вольфрамовые лампы, глобар, штифт Нернста, оптические квантовые генераторы (лазеры) и светоизлучающие диоды.

Большим недостатком первых трех источников ИК излучения является высокая потребляемая мощность. Например, рабочая температура штифта Нернста составляет 1700оК. Данные источники обладают довольно широким спектром излучения, что накладывает дополнительные условия для использования их в газоаналитических приборах (применение узкополосных ИК фильтров на определенной длине волны пропускания).

Преимуществом лазеров является их возможность излучать узкий спектр электромагнитного излучения. К недостаткам можно отнести высокое энергопотребление и необходимость во внешнем охлаждении.

Оптимальными источниками ИК излучения, которые могут использоваться для определения концентрации СО2 являются светоизлучающие диоды с узким спектром излучения, максимум интенсивности которых расположен в спектральной полосе поглощения углекислого газа. К преимуществам использования светоизлучающих диодов можно отнести: малое энергопотребление, широкий диапазон рабочих температур, высокая селективность и быстродействие. Возможность использования светоизлучающих диодов позволит создать прибор для анализа газов.

К приемникам средней ИК области спектра оптического излучения относятся: тепловые, фотоэлектрические, фотохимические приемники.

Тепловые приемники основаны на принципе регистрации изменений свойств материала при поглощении оптического излучения. К ним относятся болометры, термоэлектрические детекторы, пироэлектрические приемники, оптико-акустические приемники, основанные на различных физических методах.

К фотохимическим приемникам оптического излучения можно отнести различные материалы чувствительные к ИК излучению, для получения фотографического изображения.

Фотоэлектрические приемники излучения разделяются по принципу действия на приемники, основанные на внутреннем фотоэффекте, и приемники, основанные на внешнем фотоэффекте. К первой группе относят фотоумножители, электронно-оптические преобразователи и фотодиоды.

В качестве приемника излучения можно использовать фотодиод, в котором под действием электромагнитного излучения происходит генерация электронно-дырочных пар внутри полупроводниковой структуры.

Фотодиоды имею ряд характерных преимуществ, таких как высокая чувствительность к излучению и высокое быстродействие.

Исходя из данных рассуждений, можно построить принципиальную схему оптического газового анализатора углекислого газа, основными элементами которого являются источник и приемник ИК излучения (рисунок 2).

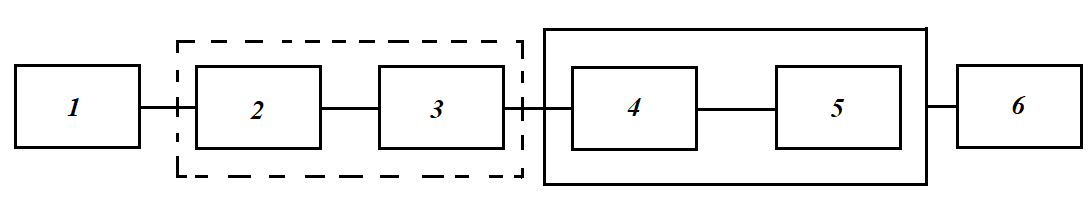


Рисунок 2 – Принципиальная схема оптического газоанализатора.

В состав оптического газоанализатора входят:

* управляющее устройство источником излучения (1);
* источник излучения (2);
* приемник излучения (3);
* усилитель сигналов приемника излучения (4);
* измеритель амплитуды электрических сигналов (5);
* внешнее измерительное устройство (6).

На основе принципиальной схемы оптического газоанализатора создается лабораторный макет для определения концентрации углекислого газа. Блок-схема разрабатываемого лабораторного макета представлена на рисунке 3.

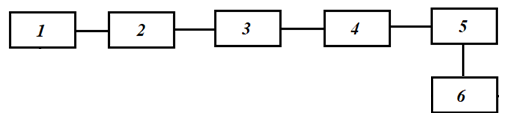


Рисунок 3 – Блок-схема разрабатываемого лабораторного макета газоанализатора. 1 – источник питания светоизлучающего диода, 2 –светоизлучающий диод, 3 – оптическая кювета, 4 – фотодиод, 5 – усилитель сигналов фотодиода, 6 – внешнее измерительное устройство.

В разрабатываемом лабораторном макете в качестве источника ИК излучения используется светоизлучающий диод, который имеет максимум спектральной характеристики на длине волны 4,3 мкм, соответствующей фундаментальной полосе поглощения углекислого газа. Для обеспечения постоянных характеристик светоизлучающего диода необходимо использовать драйвер, задающий рабочий режим работы LED. Приемником ИК излучения является фотодиод, максимум спектральной чувствительности которого находится на длине волны 4,3 мкм. Усилитель сигналов фотодиода преобразует фототок в напряжение с последующим его усилением, а так же обеспечивает его индикацию. В качестве внешнего измерительного устройства могут использоваться аналого-цифровые преобразователи, осциллографы.

Лабораторный макет газоанализатора работает по следующему принципу. Исследуемый газ непрерывно прокачивается через оптическую кювету. Зондирующее излучение от источника излучения (светоизлучающего диода) проходит через исследуемым газом и попадает на фоточувствительную площадку приемника оптического излучения (фотодиода). Сигнал с приемника поступает входной тракт усилителя, после усиления преобразуется АЦП, входящим в состав измерителя. Измеритель и усилитель электрических сигналов расположены в одном устройстве.

Для проведения аналитических измерений и выбора оптимального режима работы оптоэлектронных и электронных компонентов рассмотрим принцип их работы и технические характеристики.

# Источник ИК излучения

В качестве источника излучения при создании лабораторного макета газового анализатора углекислого газа был выбран светоизлучающий диод LED43-TEC-PRW. Светоизлучающий диод обладает максимумом спектральной полосы излучения .

Светоизлучающий диод ранее был разработан и создан в лаборатории инфракрасной оптоэлектроники ФТИ им. Иоффе РАН.

Диоды серии LED43 были изготовлены на основе гетероструктур узкозонных полупроводников типа А3В5. В качестве основы для роста гетероструктур применялась подложка InAs. Активной областью являлся четверной твердый раствор InAsSbP. Энергетическая диаграмма двойной гетероструктуры представлена на рисунке 4.

Гетероструктура InAs/InAs0,94Sb0,06/InAs0,50Sb0,20P0,30/InAs0,88Sb0,12/ In0,50Sb0,20P0,30 выращивалась методом жидкофазной эпитаксии. Первым слоем гетероструктуры является буферный слой InAs0,94Sb0,06 толщиной 3,3 мкм, который обеспечивает уменьшение деформации активной области. Далее были выращены: эмиттерный слой InAs0.50Sb0.20P0.30, активный слой InAs0,88Sb0,12 и широкозонный эмиттерный слой In0,50Sb0,20P0,30.

Метод ЖФЭ заключается в кристаллизации материала из переохлажденного материала на подложке. Процесс эпитаксии осуществляется при глубоком охлаждении (в атмосфере азота). Он состоит в следующем, расплав наносится на поверхность подложки, частично расплавляя ее и удаляя дефекты, затем начинается глубокое охлаждение. Расплав переходит из насыщенного состояния в перенасыщенное состояние, и его избытки осаждаются на подложку.

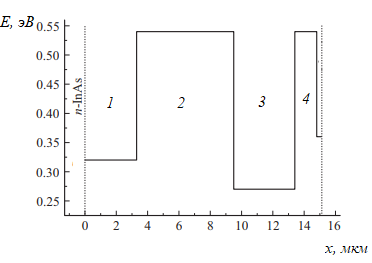


Рисунок 4 – энергетическая диаграмма слоев структуры. 1 – InAs0,94Sb0,06 толщиной 3,3 мкм, 2 – InAs0,50Sb0,20P0,30 толщиной 6,2 мкм, 3 - InAs0,88Sb0,12 толщиной 2,5 мкм, 4 - In0,50Sb0,20P0,30 толщиной 1,4 мкм.

Из гетероструктуры методом стандартной фотолитографии и жидкостного химического травления был изготовлен светодиодный чип (рисунок 5, а).

Светодиодный чип имел форму равностороннего прямоугольника со стороной 400 мкм, на поверхности которого формировался лицевой омический контакт в форме кольца с внешним диаметром 260 мкм. Чип светоизлучающего диода монтировался подложечной стороной на керамическую подложку с металлическим (золотым) напылением. Подложка была приклеена к термоэлектрическому модулю стандартного металлостеклянного корпуса для оптоэлектронных приборов ТО-5. К лицевому контакту чипа припаивалась золотая проволока диаметром 30 мкм (рисунок 5, б).

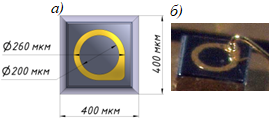


Рисунок 5 – Схема чипа светоизлучающего диода (а), фото (б).

LED43-TEC-PRW имеет сапфировое окно, термоэлектрический модуль для обеспечения неглубокого термоэлектрического охлаждения и стабилизации температуры чипа LED (TEC), терморезистор для осуществления термоконтроля.

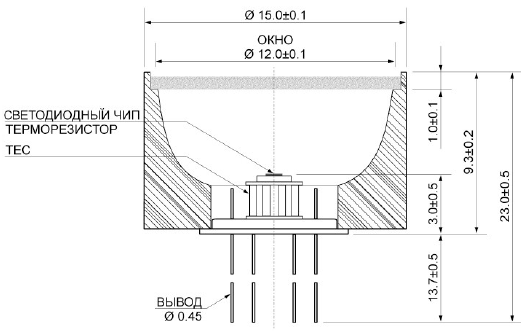


Рисунок 6 – Продольный разрез светоизлучающего диода с однокаскадным термоэлектрическим модулем (TEC), параболическим рефлектором (ПР), окном (О) и его габаритные размеры.

Для уменьшения расходимости ИК излучения использовался металлический параболический рефлектор, в фокусе которого расположен чип светоизлучающего диода.

Диаграммы направленности излучения с (без) параболическим (-ого) рефлектором (-а) представлены на рисунке 7 (а, б).

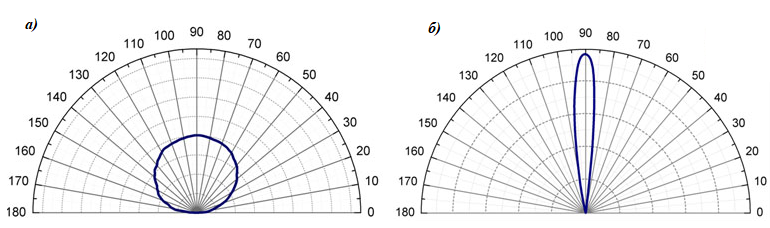


Рисунок 7 – Диаграмма направленности без параболического рефлектора (а), с параболическим рефлектором (б).

Термоэлектрический модуль является термоэлектрическим преобразователем, в основе работы которого лежит эффект Пельтье. При протекании тока в цепи, состоящей из полупроводников разного типа проводимости (n- и p-), в местах их контакта происходит процесс выделения (поглощения) тепла

Единичным элементом термоэлектрического модуля является термопара, состоящая из одного проводника p-типа и одного проводника n-типа. При последовательном электрическом соединении нескольких таких термопар теплота, поглощаемая на контакте типа n-p, выделяется на контакте типа p-n. Термоэлектрический модуль представляет собой совокупность таких термопар. Термопары помещаются между керамическими пластинами.

При прохождении через термоэлектрический модуль электрического тока, образуется перепад температур между сторонами: одна нагревается, вторая охлаждается.

В качестве термоэлектрического модуля для охлаждения гетероструктуры светоизлучающего диода использовался одноступенчатый TEC 1MC04-007-10 производства компании ООО «RMT» (г. Москва). Данная модель термоэлектрического модуля позволяет обеспечить разность температур 70 К с максимальной мощностью охлаждения 0,41 Вт, что является хорошим показателем для приборов такого класса. Максимальная сила тока, протекающего через TEC при максимальной разности температур пластин, не превышает величину 0,8 А при максимальном напряжении 0,9 В.

Терморезистор представляет собой полупроводниковый прибор, сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры. Его основной задачей является контроль изменения температуры, выставленной TEC.

На рисунке 8 представлены основные характеристики светоизлучающего диода, используемого в работе.

При увеличении величины тока, протекающего через светоизлучающий диод, наблюдается увеличение его оптической мощности излучения (рисунок 8, а). Зависимость «оптическая мощность – ток» при малом значении тока прямолинейна, при увеличении тока до порогового значения (ток насыщения) оптическая мощность светоизлучающего диода не изменяется. Стоит отметить, что при сильном увеличении тока, светоизлучающий диод может выйти из строя. Это связано с тем, что сильный ток, протекающий через диод, вызовет нагревание кристаллической решетки. Твердое полупроводниковое соединение при высокой температуре расплавится.

Уменьшение интенсивности излучения с ростом температуры (рисунок 8, б) является характерным для всех светоизлучающих диодов. Уменьшение интенсивности излучения связано с факторами, зависящими от температуры, включая безызлучательную рекомбинацию на глубоких уровнях, поверхностную рекомбинацию, а также потери носителей на барьерах гетероструктуры. Вместе с тем, максимум излучения смещается в длинноволновую область при увеличении температуры. Светодиодный чип размещается в корпусе с термоэлектрическим модулем (элементом Пельтье), который позволяет осуществить неглубокое термоэлектрическое охлаждение и термостабилизацию температуры в широком диапазоне, что дает возможность зафиксировать максимум спектра излучения светоизлучающего диода.

Определение спектральной характеристики излучения светоизлучающего диода проводилось в атмосферном воздухе. Наличием углекислого газа в воздухе обусловлено резкое снижение интенсивности излучения светоизлучающего диода на длине волны 4,3 мкм (рисунок 8 а, б).

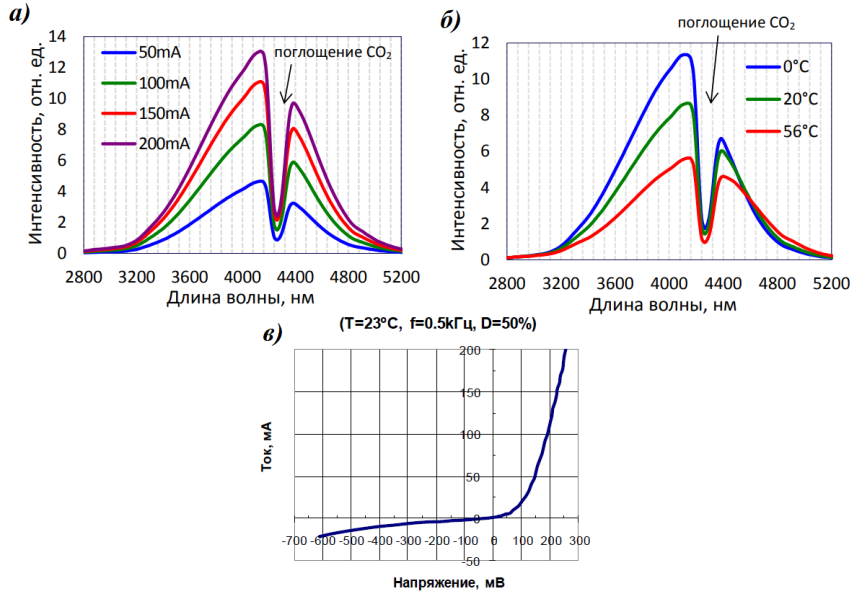


Рисунок 8 – Спектры электролюминесценции (а), температурная зависимость (б), вольт-амперная характеристика (в).

Согласно рисунку 8, в, при протекании тока через светоизлучающий диод 150 мА значение напряжения составит 50 мВ, при токе 200 мА уже 100 мВ. Резкое увеличение тока в области прямого смещения при небольших изменениях напряжения накладывает дополнительные ограничения при выборе источника питания светоизлучающего диода.

При понижении температуры светоизлучающего диода снижается вероятность безизлучательной рекомбинации носителей заряда. С уменьшением температуры изменится форма кривой ВАХ. Уменьшение температуры приведет к сдвигу кривой в области прямого смещения напряжения от вертикальной оси, т.е. для изменения тока, протекающего через светоизлучающий диод, необходимо приложить большее напряжение. В области обратного смещения, наоборот, понижение температуры приведет к уменьшению роста темнового тока.

Максимальная импульсная мощность светоизлучающего диода LED43-TEC-PRW при приложенном прямом напряжении смещения 100 мВ и токе 200 мА составляет 26 мкВт в квазинепрерывном режиме работы светоизлучающего диода. В импульсном режиме данный показатель составит 120 мкВт, при протекающем токе прямого смещения со значением 1 А.

Максимальное быстродействие светоизлучающего диода, т.е. время нарастания и спада импульса излучения, составляет 30 нс. Быстродействие обусловлено выбором полупроводниковой гетероструктуры InAs/InAs0,94Sb0,06/InAs0,50Sb0,20P0,30/InAs0,88Sb0,12/ In0,50Sb0,20P0,30.

Ширина спектральной линии излучения на полувысоте интенсивности для LED43-TEC-PRW не превышает 1000 нм.

# Приемник ИК излучения

В качестве приемника ИК излучения в лабораторном макете газоанализатора используется фотодиод PD48-05-NS-TEC-PRW с широким спектральным диапазоном чувствительности .

Фотодиод был разработан и создан в лаборатории инфракрасной оптоэлектроники ФТИ им. Иоффе РАН на основе гетероструктур узкозонных полупроводниковых соединений типа А3В5. В качестве основы для роста светоизлучающей гетероструктур применялась подложка InAs. Активной областью фотодиода – тройной твердый раствор InAsSb.

Энергетическая диаграмма гетеросструктуры представлена на рисунке 9.

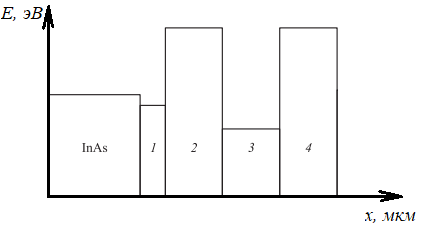


Рисунок 9 – энергетическая диаграмма фотодиодной структуры. 1 - InAs0,95Sb0,05 толщиной 5 мкм, 2 – InAsSbP0,30 толщиной 2,5 мкм, 3 - InAs0,88Sb0,12 толщиной 3,5 мкм, 4 - InAsSbP0,30 толщиной 2,5.

Структура InAs/InAsSbP0,30/InAs0,88Sb0,12/InAsSbP0,30 выращивалась методом жидкофазной эпитаксии. На подложке InAs с проводимостью n-типа последовательно выращивались широкозонный эмиттерный слой InAsSbP0,30, активная область InAs0,88Sb0,12 и широкозонный эмиттерный слой InAsSbP0,3.

Из гетороструктуры InAs/InAsSbP/InAs/InAsSbP был изготовлен фотодиодный чип размером 500×500 мкм методом стандартной фотолитографии с использованием химического травления. Омические контакты создавались методом взрывной фотолитографии и методом термического напыления системы металлических пленок Cr – Au – Ni – Au. Контактная область (меза) представляет собой прямоугольник 60 × 60 мкм с дополнительными ответвлениями (рисунок 10, а).

Чипы фотодиодов напаивались контактом со стороны подложки в стандартный металлостеклянный корпус для оптоэлектронных приборов ТО-5. К лицевому контакту припаивалась золотая проволока диаметром 30 мкм.

На рисунке 10, б изображено фото чипа фотодиода в корпусе ТО-18.

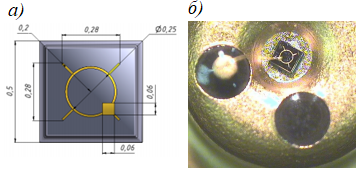


Рисунок 10 – Схема фотодиодного чипа (а), фото чипа на основании корпуса ТО-18 (б).

Фотодиод PD48-05-NS-TEC-PRW оснащен металлическим параболическим рефлектором, в фокусе которого расположен чип фотодиода, сапфировым окном, однокаскадным темоэлектрическим модулем для неглубокого охлаждения и стабилизации температуры чипа PD, терморезистором для осуществления термоконтроля.

Структурные элементы фотодиода (ТЕС, терморезистор) аналогичны тем, которыми оснащается светоизлучающий диод LED43-TEC-PRW.

На рисунке 11 представлены основные характеристики фотодиода PD48-05-NS-TEC-PRW.

Определение спектральной характеристики фотодиода проводилось, аналогично светоизлучающему диоду, в атмосферном воздухе. Наличием углекислого газа в воздухе обусловлен резкий провал спектра чувствительности фотодиода на длине волны 4,3 мкм (рисунок 11, б).

Максимальный спектральный диапазон чувствительности λр на уровне высокого опорного значения сигнала (~ 90%) фотодиода PD48-05-NS-TEC-PRW лежит в полосе от 4,3 до 4,6 мкм (рисунок11 б). На уровне опорного значения сигнала в 90% токовая монохроматическая чувствительность при температуре фотодиодного чипа –20 оС составила 0,8 А/Вт и 0,7 А/Вт при температуре чипа 0 оС и 0,6 А/Вт при 20 оС.

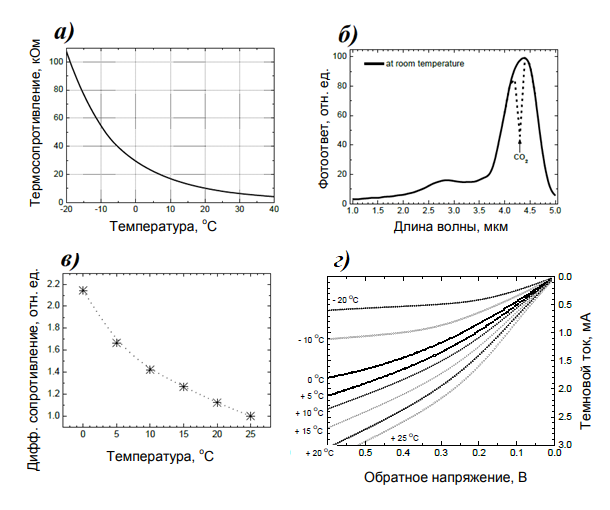


Рисунок 11 – зависимость термосопротивления от температуры (а), спектр фоточувствительности фотодиода (б), зависимость дифференциального сопротивления от температуры (в), зависимость тока обратного смещения при приложенном к нему обратном напряжении от температуры (г).

Удельная обнаружительная способность фотодиода в максимуме спектра (4,3 до 4,6 мкм) достигает величины D\* = 8·108 при температуре чипа фотодиода –20 оС. При увеличении температуры чипа фотодиода данный показатель уменьшается за счет увеличения теплового шума фотодиода, связанного с колебанием кристаллической решетки гетероструктуры. При увеличении температуры чипа фотодиода до 0 оС D\* = 7·108 , а при температуре 20оС вовсе составляет 5·108  .

Темновой ток при приложенном обратном смещении напряжения U=-0,1 В составляет 0,2-0,4 мА при температуре –20 оС. С ростом тепературы темновой ток увеличивается по экспоненциальному закону (рисунок 31, г).

Максимальное быстродействие, определяемое временем диффузии созданных излучением пар носителей заряда до области пространственного заряда и величинами емкости и нагрузочного сопротивления p-n перехода, составляет не менее 20 нс.

На рисунке 20, в представлена зависимость максимального дифференциального сопротивления фотодиода от температуры. При приложенном обратном напряжении U=−10 мВ и температуре чипа фотодиода –20 оС дифференциальное сопротивление составляет 300 Ом .

# Источник питания светоизлучающего диода

Светоизлучающий диод не может работать в постоянном режиме. Это связано с увеличением безизлучательной рекомбинации носителей заряда, в результате которой энергия в виде тепла передается кристаллической решетке полупроводниковой структуры.

Возникает необходимость в источнике питания, предназначающего для формирования импульсов тока, питающего светоизлучающий диод и позволяющего выбирать его рабочий режим работы.

Для достижения этой цели был выбран драйвер DLT-37М со встроенным термоконтроллером, обеспечивающим стабилизированное по току питание термоэлектрического модуля светоизлучающего диода. Температурный контроллер позволяет осуществить неглубокое термоэлектрическое охлаждение чипа светоизлучающего диода и стабилизацию рабочей температуры для обеспечения постоянных во времени характеристик и параметров.

Внешний вид драйвера и его электрическая схема представлены на рисунке 12 (а, б).

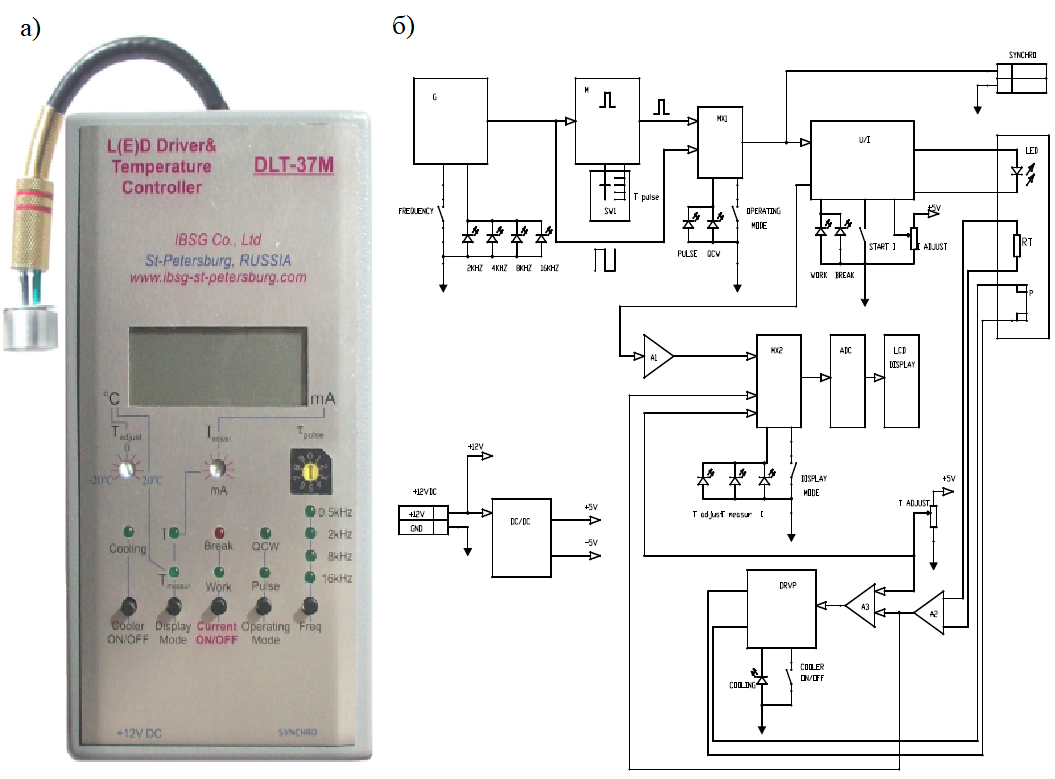


Рисунок 12 – внешний вид драйвера (а) и его структурная электрическая схема (б).

К основным преимуществам драйвера DLT-37М для осуществления питания светоизлучающего диода можно отнести возможность обеспечения двух режимов работы светоизлучающего диода: квазистационарного (режим максимальной средней оптической мощности светоизлучающего диода) и импульсного режим (режим максимального пика оптической мощности светоизлучающего диода). Для стабилизации температуры и неглубокого термоэлектрического охлаждения чипа светоизлучающего диода в драйвер встроен температурный контроллер. Температура чипа может изменяться в пределах от –15оС до +20оС. Регулировка температуры позволяет влиять на спектр излучения светоизлучающего диода и его оптическую мощность излучения.

Для выбора оптимального режима работы светоизлучающего диода DLT-37М позволяет регулировать амплитуду, частоту следования и длительность импульсов тока, протекающего через светоизлучающий диод.

Наличие аналогового выхода позволяет подключать внешние устройства (селективные усилители, осциллографы, аналого-цифровые преобразователи).

Для вывода информации о величине тока, протекающего через светоизлучающий диод, и о температуре чипа в драйвер DLT-37М встроен ЖК-дисплей.

## Режимы работы источника питания светоизлучающего диода

Драйвер имеет возможность работать в двух режимах: квазистационарный (меандр) и импульсный.

Квазистационарный режим – режим, при котором драйвер генерирует сигнал в форме симметричного униполярного меандра. Данный режим обеспечивает максимальную среднюю оптическую мощность излучения светоизлучающего диода. Регулировка тока светоизлучающего диода лежит в диапазоне от 20 до 250 мА. Доступно четыре значения частоты сигнала: 512 Гц, 2 кГц, 8 кГц и 16 кГц. Длина импульса соответственно равна 250 мкс, 100 мкс, 62 мкс и 31мкс.

Импульсный режим – режим, при котором питание светоизлучающего диода осуществляется последовательностью импульсов. Данный режим обеспечивает максимальную пиковую оптическую мощность светоизлучающего диода.

Аналогично квазистационарному режиму можно плавно изменять ток светоизлучающего диода в значительно более широком диапазоне от 0,1 до 2,0 А, а также дискретно изменять частоту сигнала от 0,5 до 16 кГц. Изменение длительности импульса лежит в пределах от 0,6 до 20 мкс.

## Характеристики DLT-37М

Драйвер светоизлучающего диода, позволяет проводить термоэлектрическое охлаждение и термостабилизацию чипа светоизлучающего диода в температурном диапазоне −10 оС до +25 оС. В квазистационарном режиме обеспечивается регулировка длительности импульсов электрического сигнала от 31 до 1000 мкс и от 0,6 до 20 мкс в импульсном режиме работы с частотой следования от 0,5-16 кГц вне зависимости от заданного режима.

Драйвер обеспечивает регулировку амплитуды тока, протекающего через светоизлучающий диод в пределах от 20 до 250 мА (в квазистационарном режиме работы) и от 0,1 до 2,0 А (в импульсном режиме работы).

# Усилитель сигнала электрического импульса фотодиода

Для работы фотодиода с термоэлектрическим модулем, используемого в лабораторном макете газоанализатора, необходим усилитель сигнала электрического импульса. Усилитель предназначен для преобразования выходного модулированного фототока ИК фотодиода в напряжение с последующим его усилением. Коэффициент усиления может изменяться от 1 до 100. Внешние устройства (селективные усилители, осциллографы и т.д.) подключаются к усилителю при помощи аналогового выхода. В усилителе предусмотрен вход для синхроимпульса, который подается на встроенный синхродетектор. Постоянный ток с синхродетектора пропорционален сигналу на выбранной частоте измерения. Выходной сигнал в относительных единицах отражается на ЖК-дисплее. Термоконтроллер позволяет поддерживать рабочую температуру кристалла фотодиода на заданном уровне в широком диапазоне.

Внешний вид усилителя и его электрическая схема работы представлена на рисунке 13 (а, б).

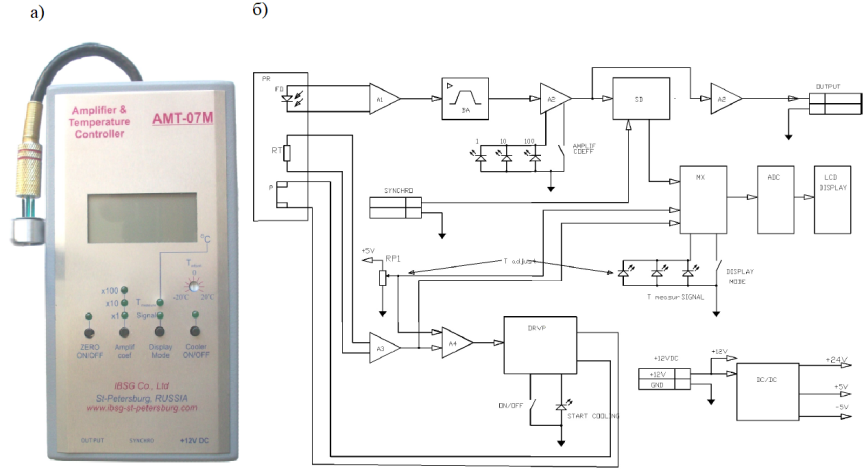


Рисунок 13 – внешний вид усилителя сигналов фотодиода (а) и его принципиальная электрическая схема (б).

К основным преимуществам, которыми обусловлен выбор данного прибора для использования в лабораторном макете газоанализатора углекислого газа, можно отнести возможность дискретно изменять коэффициент усиления сигнала электрического импульса с фотодиода для точного измерения величины сигнала. Наличие аналогового выхода позволяет подключать внешние устройства (селективные усилители, осциллографы, аналого-цифровые преобразователи), однако может работать и без них, ввиду наличия дисплея на основе жидких кристаллов (ЖК-дисплея), используемого для отображения уровня электрического сигнала и температуры чипа фотодиода.

Компенсация уровня фона, то есть отсечение постоянной составляющей, осуществляется встроенной в усилитель сигналов фотодиода функцией «Zero».

Для обеспечения стабильности характеристик фотодиодного чипа в усилитель встроен термоконтроллер, позволяющий поддерживать его температуру постоянной.

Усилитель сигналов фотодиода AMT-07M позволяет осуществлять неглубокое термоэлектрическое охлаждение и термостабилизацию чипа фотодиода в диапазоне температур от −10 оС до +25 оС.

АМТ-07М усиливает сигнал электрического импульса фотодиода с максимальным коэффициентом усиления 6,4×106 В/А в диапазоне частот от 0,5 кГц до 20 кГц.

Максимальная амплитуда выходного напряжения равна 4 В. Выходное сопротивление усилителя сигналов фотодиода составляет 50 Ом.

# Оптическая кювета

Для увеличения точности измерений концентрации исследуемого газа необходима герметичная кювета. Исследуемый газ, прокачиваемый через кювету, будет изолирован от внешнего атмосферного воздуха, чье наличие может повлиять на результаты измерений.

Для обеспечения герметичности и с целью более точного позиционирования оптоэлектронных компонентов лабораторного макета газоанализатора была разработана и изготовлена оптико-измерительная кювета из химически неактивного стекла. В ходе работы были изготовлены две кюветы: для измерения СО2 в проточном газе, для измерения СО2 в окружающем атмосферном воздухе (рисунок 14 a, б). Расчетная длина оптического пути в данных кюветах равна .

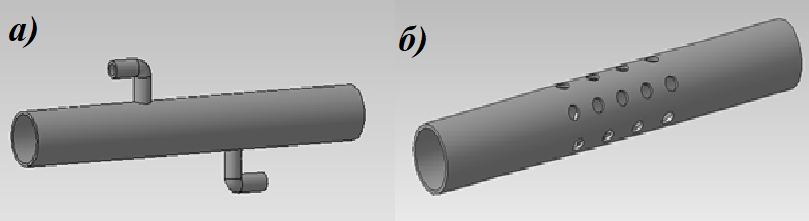


Рисунок 14 – Кювета для анализа проточного (а) и наружного (б) воздуха

На рисунке 15 схематически изображена конструкция оптической кюветы с помещенными в нее светоизлучающим диодом и фотодиодом.

Длина оптического пути в кювете обусловлена оптической мощностью светоизлучающего диода (26 мкВт) и предельной удельной обнаружительной способностью фотодиода (8-10)·108 см·Гц1/2·В-1 при температуре чипа в −20 оС.

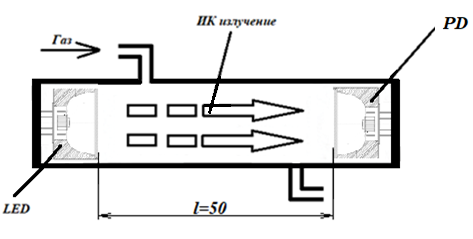


Рисунок 15 – Конструкция оптической кюветы.

# Проведение эксперимента

В качестве источников газовых смесей для апробации лабораторного макета были выбраны два газа в баллонах высокого давления.

В одном из них для калибровки «нуля», то есть для определения максимального оптического сигнала поступающего на фотодиод, находился газ азот первого сорта по ГОСТ 9593-74 «Азот жидкий и газообразный». Объемная доля азота составляла не менее 99,999% в баллоне.

Для проверки возможности регистрировать лабораторным макетом газоанализатора концентрацию углекислого газа во всем диапазоне от 0 до 100% оптическая кювета подключалась к баллону с углекислотой высшего сорта по ГОСТ 8050-85 «Двуокись углерода газообразная и жидкая» с содержанием углекислого газа не менее 99,8%».

Давление газовой смеси, протекающей через оптическую кювету регулируется с помощью редукторов для СО2 и N2.

Так же через лабораторный макет газового анализатора прокачивался комнатный атмосферный воздух. Для прокачки воздуха использовалась переносная компрессорная станция.

Испытание лабораторного макета газоанализатора углекислого газа проводилось при следующих заданных параметрах:

* режим работы светоизлучающего диода – импульсный;
* значение тока, протекающего через светоизлучающий диод – 1009 мА;
* температура чипа светоизлучающего диода – +27,5°С;
* температура чипа фотодиода – –9,7°С;
* коэффициент усиления, выставленный на усилителе сигнала фотодиода - ×10;
* частота следования импульсов – 2 кГц;
* время следования импульсов – 19,5 нс.

Для калибровки «нуля» оптическая кювета подключалась к баллону с азотом. Азот пропускался через оптическую кювету в течении 30 секунд, после чего снимались показания с усилителя сигналов фотодиода и осциллографа. Далее оптическая кювета подключалась к компрессору для прокачки атмосферного воздуха, время прокачки воздуха составляет 30 секунд.

Ввиду отсутствия точной информации о концентрации углекислого газа в окружающем воздухе, его концентрация принималась в соответствии с IDA-4.

Перед прокачкой через оптическую ячейку углекислого газа, она вновь продувалась азотом, после чего соединялась с источником газовой смеси с содержанием СО2 не менее 99,999%. Время прокачки углекислого газа через оптическую кювету составило 30 секунд.

Результаты эксперимента отображены в таблице 1.

Таблица 1 – результаты испытания №1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Газовая смесь | Концентрация СО2, % | Амплитуда сигнала, В | | | Показания усилителя, отн. ед. | | | Среднее значение | |
|  |  | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | Осц. | Усил. |
| N2 | 0 | 1,57 | 1,58 | 1,58 | 134,1 | 134,5 | 135,2 | 1,577 | 134,6 |
| Воздух комнатный | 0,1 | 1,52 | 1,55 | 1,54 | 133,4 | 133,5 | 133,2 | 1,537 | 133,37 |
| СО2 | 99,999 | 1,45 | 1,48 | 1,47 | 126,6 | 126,5 | 127,3 | 1,467 | 126,8 |

Анализ таблицы 1 показывает уменьшение сигнала на выходе усилителя фотодиода на 5,8% при пропускании через оптическую кювету газовой смеси с концентрацией углекислого газа не менее 99,999%.

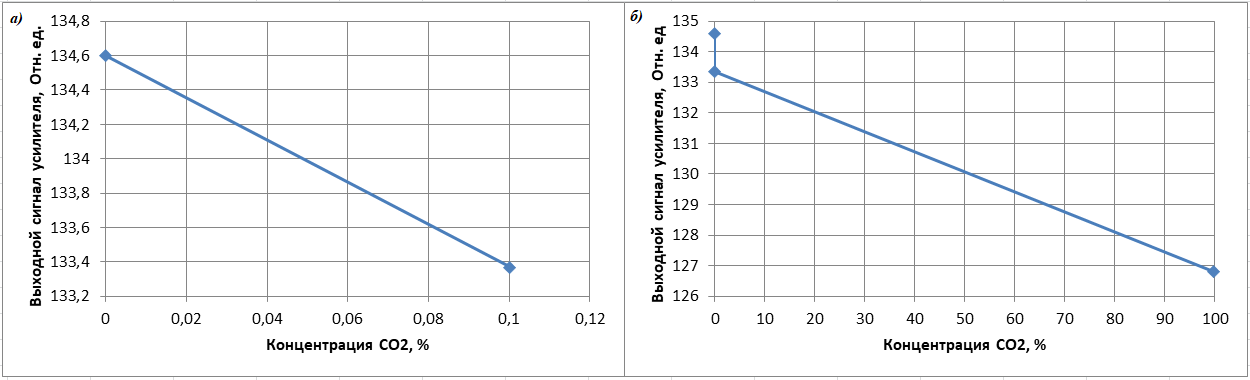


Рисунок 16 – Кривая зависимости сигнала фотодиода от концентрации углекислого газа, построенная по показаниям усилителя (а – в диапазоне концентраций от 0 до 0,1%, б – от 0 до 99,999%), эксперимент 1.

**Заключение**

В результате прохождения преддипломной практики в лаборатории инфракрасной оптоэлектроники ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН были значительно расширены профессиональные навыки, необходимые специалисту в области газового анализа.

В ходе практики были проанализированы основные характеристические полосы поглощения ряда химических элементов. На основе данного анализа были подобраны соответствующие приемник и источник инфракрасного излучения, необходимых для создания газоаналитических приборов для определения концентрации углекислого газа СО2 в окружающем атмосферном воздухе. Произведена разработка оптико-измерительных кювет для проточного газа и атмосферного воздуха. Из комплектующих средств был собран лабораторный макет оптического газоанализатора для определения концентрации СО2. С помощью построенного прибора проведены первые измерения.