ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г.ШЕВЧЕНКО
Физико-математический факультет
Кафедра квантовой радиофизики и систем связи

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ И КВАНТОВЫЕ ПРИБОРЫ

Методические рекомендации

Тирасполь, 2019

УДК 621.375 (07)

ББК 385.73+В3.73

Ф50

Составители:

И.Г.Стамов, доктор физико-математических наук, профессор

Д.В.Ткаченко, кандидат физико-математических наук, доцент

Рецензенты:

Н.А. Константинов, кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики

В.М. Ишимов, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры твердотельной электроники и микроэлектроники

Оптоэлектронные и квантовые приборы: Методические рекомендации/Сост.: И.Г.Стамов, Д.В.Ткаченко – Тирасполь, ПГУ, 2019 - 52 с.

Методические рекомендации по оптоэлектронным и квантовым приборам предназначен для студентов направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» физико-математического факультета. Приведены описания лабораторных работ и порядок их выполнения, а также краткие рекомендации по сборке оптоэлектронной схемы и работе с приборами.

УДК 621.375 (07)

ББК 385.73+В3.73

Ф50

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г.Шевченко

© И.Г. Стамов, Д.В. Ткаченко, составление 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 4

Лабораторная работа №1. Исследования характеристик вакуумного фотоэлемента 7

Лабораторная работа №2. Определение характеристик полупроводниковых фотосопротивлений 13

Лабораторная работа №3. Изучение характеристик полупроводниковых фотодиодов и фототранзисторов 17

Лабораторная работа №4. Исследование частотных характеристик полупроводниковых фотоприемников 21

Лабораторная работа №5. Измерение спектральных характеристик светоизлучающих приборов 24

Лабораторная работа №6. Изучение полупроводниковых лазеров 31

Лабораторная работа №7. Изучение принципов работы и определение параметров оптического затвора 35

Лабораторная работа №8. Определение глубины модуляции и граничной частоты оптического модулятора 40

Лабораторная работа №9. Изучение характеристик оптрона 45

Цитированная литература 50

Введение

Лабораторные средства и методики измерения характеристик и определения параметров оптоэлектронных и квантовых приборов

Измерение электрических, фотоэлектрических и оптоэлектронных параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов производится с помощью установок, построенных на базе стандартных оптических и электронных приборов, таких как, монохроматор МДР-23, измеритель мощности ИК излучения, учебный измерительный комплекс К-4826 и др.

Спектральная установка на основе монохроматора МДР-23 предназначена для измерения оптических и фотоэлектрических свойств материалов в диапазоне 0.2 – 40 мкм. Регистрация сигналов производится с помощью фотоэлектронного умножителя или пироэлектрического приемника в зависимости от диапазона длин волн. Полезный сигнал измеряется АЦП.

Программное обеспечение состоит из программы MDR-23, полностью реализующей процесс автоматического сканирования и программных модулей математического пакета MATLAB 6, позволяющих решать функциональные задачи, связанные с обработкой спектров.

Программа MDR-23 разработана в среде визуального проектирования Delphi 4, обладает стандартным визуальным интерфейсом, позволяющим задавать все необходимые параметры сканирования, коррекции позиции и смены фильтров в полуавтоматическом режиме, сохранять, открывать и просматривать данные, а также производить первичную их фильтрацию от помех. Программа содержит средства тестирования и диагностики плат ПВВ, ПВВ2. Кроме этого, программа имеет в составе файл типа dll (файл динамической библиотеки), в который входят функции нижнего уровня управления: чтения/записи портов, управления сигналами и функции работы с АЦП.

Лабораторный комплекс позволяет изучать различные методы измерения

оптических констант приборами последовательного и параллельного действия, регистрацию световых потоков непосредственным измерением сигнала с выхода фотоприемника и методами синхронного детектирования и счета фотонов, а также изучить основные принципы автоматизации спектральных измерений.

Электрические характеристики оптоэлектронных приборов измеряются с помощью учебного стенда по электротехнике и электронике.

В комплект учебного стенда входят: устройство лабораторное по электротехнике К4826, два универсальных измерительных прибора (тестера), электронно-лучевой осциллограф, три электронных вольтметра переменного тока, два измерительных генератора. При измерении активных и реактивных проводимостей оптоэлектронных и квантовых приборов используется измеритель иммитанса Е7-25, краткое описание по работе с которым дано в приложении 1.

Устройство лабораторное по электротехнике К4826 содержит: встроенные три блока питания (регулируемые +15 В, -15 В и нерегулируемый - 5 В.), генератор сигналов различной формы с регулируемой амплитудой и частотой следования импульсов, встроенный вольтметр постоянного тока для измерения напряжения источников напряжения 15 В, а также набор радиокомпонентов.

К выполнению лабораторных заданий студенты допускаются после изучения теоретического материала, устройства и принципов работы лабораторного стенда и измерительных приборов, входящих в его состав.

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать правила техники безопасности. Все подключения на стенде производятся при выключенных источниках питания. Сетевые приборы должны быть заземлены. Включение вилок сетевых шнуров питания приборов должно производиться при выключенном тумблере питания, при отсутствии повреждений приборов и стенда. Об обнаруженных неисправностях следует немедленно сообщить преподавателю. Студенты, не изучившие правила техники безопасности, не допускаются к выполнению лабораторных работ.

После выполнения лабораторной работы все источники питания обесточиваются, лабораторная схема разбирается (кроме тех случаев, когда она используется в

следующей лабораторной работе), лабораторное место приводится в исходное положение.

Отчет о лабораторных работах оформляется в тетради индивидуально каждым студентом. Экспериментальные и расчетные данные представляются в виде таблиц и графиков с использованием ЭВМ. Графики строятся по программам, учитывающим погрешности измерений. Промахи в измеренных данных при этом исключаются.

Отчет должен содержать таблицы с экспериментальными данными и графики, объяснение полученных результатов, сравнение их со справочными данными и теорией. На обложке отчета указывается название вуза, кафедры и факультета, фамилия, имя и отчество студента, номер группы и дата выполнения работы.

При сдаче отчета студент должен знать цели и задачи, поставленные в лабораторной работе и методы их реализации, свойства исследуемых приборов, назначение и основные принципы работы приборов, входящих в состав измерительной установки. Студент должен уметь объяснить полученные результаты и сделать выводы об обнаруженных отклонениях между теоретическими и экспериментальными результатами.

Лабораторная работа №1

Исследование характеристик фотоэлектронного умножителя

Цель работы: изучение принципов работы, определение параметров и характеристик фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

1. Введение.

Фотоэлектронный умножитель представляет собой вакуумный фотоэлектронный прибор, принцип действия которого основан на внешнем фотоэффекте и умножении потока эмитированных электронов вторично электронным умножителем. Фотоэлектронный умножитель позволяет регистрировать предельно слабые и довольно интенсивные потоки от единиц до 10^{10} …10^{12} фотонов в секунду. Постоянная времени, порядка 10^{-8} …10^{-10} с, допускает весьма высокие частоты модуляции. ФЭУ впервые разработан Л.А. Кубецким в 1930–34 г.г.

Схема ФЭУ приведена на рис. 1. Фотоэлектронный умножитель состоит из фотокатода (1), катодной камеры (1 – 3), динодной системы (3 – 14) и анодного узла (14 – 16), размещенных внутри вакуумного объема.

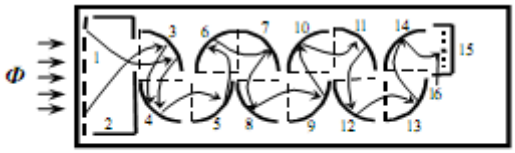

Рис.1.1. Схематическое изображение устройства ФЭУ.

Световой поток поглощается фотокатодом, эмитирующим в вакуум электроны. В электростатическом поле, создаваемом электродами катодной камеры, электроны ускоряются и фокусируются на первый динод (3). Ускоренный первичный электрон способен выбить с поверхности несколько вторичных, медленных. Умноженные на первом диноде, вторичные электроны ускоряются и фокусируются на второй динод. Далее этот процесс повторяется на всех каскадах и с последнего динода усиленный электронный поток собирается анодом. Каждый динод работает и анодом, собирая электроны с предыдущего, и катодом, эмитируя усиленный поток. Отсюда и

название – динод. Катоды ФЭУ выполнены из материалов с высоким значением квантового выхода.

Принцип работы ФЭУ прост: фотон выбивает из фотокатода "первичный" электрон, который ускоряется электрическим полем до 50–200 эВ и вытягивается на первый динод. Там его энергия на очень малой глубине проникновения, порядка размеров атома, целиком рассеивается на возбуждение собственных электронов материала динода, при этом возникает несколько вторичных электронов способных преодолеть поверхностный потенциальный барьер и выйти в вакуум. Этот процесс называется вторично-электронной эмиссией.

Основными характеристиками ВФЭ являются: спектральная, световая, вольт - амперная (анодная) и частотная. Основными параметрами таких приборов являются: спектральная и интегральная чувствительности, область спектральной чувствительности и длина волны излучения, соответствующая максимальной чувствительности, порог фоточувствительности (определяется красной границей фотоэффекта), предельная частота работы прибора или параметры, характеризующие быстродействие, темновой ток.

Питание ФЭУ осуществляется от источника высокого напряжения $U_{пит}$= (1…2,5) кВ через резисторный делитель (рис. 1.2).

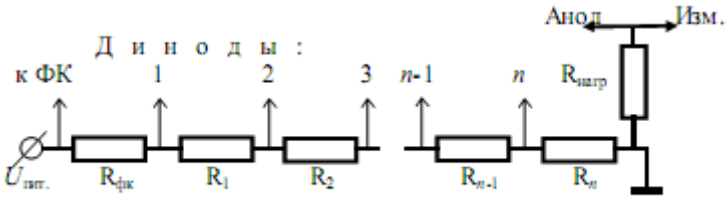

Рис.1.2. Схема питания ФЭУ.

Все сопротивления в делителе, как правило, одинаковы (разброс потенциалов на динодах увеличивает шумы прибора). Ток через делитель должен существенно превышать средний ток сигнала ФЭУ. Обычно он составляет от долей до единиц миллиампер. К коэффициенту стабильности напряжения источника питания предъявляются высокие требования - не хуже 10^{-4} – 10^{-5}.

2. Описание экспериментальной установки.

Лабораторная установка для исследования оптических и фотоэлектрических материалов и приборов построена на основе решеточного монохроматора МДР-23 (Рис.1.3). В качестве диспергирующего элемента используется дифракционная решетка с 1200 штрих/мм (разрешение 22Å/мм). Для обрезания излучения высших порядков используются селективные фильтры (1 – 0.6) мкм и (0.6÷0.2) мкм. Точность установления длины волны составляет 0.05нм. Излучение от кварцевой лампы мощностью 150 Вт фокусируется на входную щель монохроматора с помощью кварцевого объектива. Световой пучок лампы модулируется по интенсивности с помощью механического модулятора на шаговом двигателе, частота вращения которого определяется генератором стандартных сигналов. Объекты измерения помещаются в светонепроницаемый ящик, в котором размещены также система формирования светового монохроматического луча и регистрирующие свет фотоприемники.

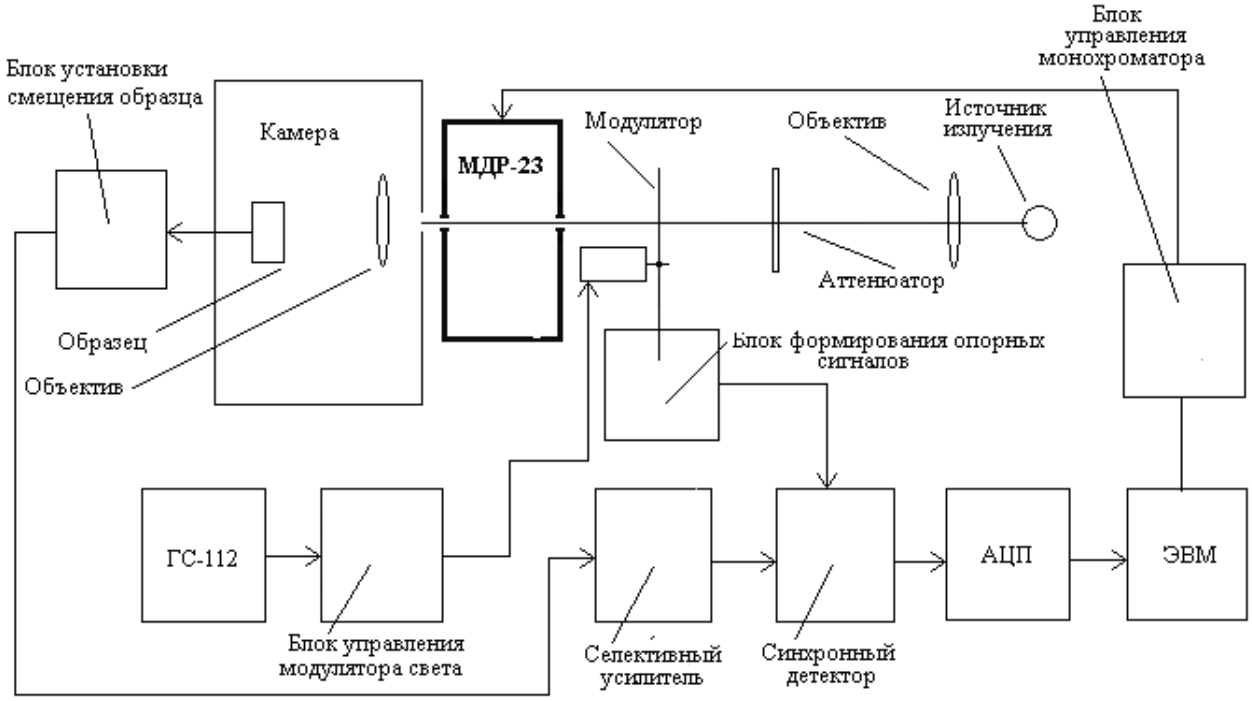

Рис.1.3 Блок - схема установки для оптических и фотоэлектрических измерений.

При исследовании фотоэлектрических свойств приборов и материалов монохроматическое излучение фокусируется на исследуемый образец объективом.

Измерительная система построена по схеме синхронного детектирования. Она содержит селективный усилитель, настроенный на частоту модуляции света; блок задающий смещение на образце, синхронный детектор, источник опорного сигнала и АЦП тестируемый ЭВМ. Источник опорного сигнала представляет собой устройство, содержащее оптопару, внешний оптический канал которой, прерывается диском с прорезями механического модулятора, усилитель и формирователь импульсов. Напряжение, для формирования опорного сигнала, снимается с нагрузочного сопротивления, включенного в цепь обратно смещенного фотодиода оптопары. Напряжения с выхода селективного усилителя и блока опорного сигнала поступают на входы синхронного детектора. Сигнал с выхода синхронного детектора подается на АЦП. Для считывания оцифрованных данных из АЦП и управления работой АЦП и измерительной установкой на базе МДР-23 используется компьютер и специально разработанное для нее программное обеспечение, позволяющее не только управлять прибором, но и проводить первичную математическую обработку данных.

После проверки правильности подключения всех приборов, установить тумблеры подключения питания в выключенное состояние. Последовательность включения приборов следующая:

включается ЭВМ и производится запуск управляющей программы «МДР-23»,

включают ГСС и блок питания шаговым двигателем, убеждаются, что крыльчатка модулятора вращается свободно,

переключатель установки напряжения источника питания лампы накаливания устанавливается на минимальное значение, включается тумблер питания сети, напряжение питания лампы устанавливается равным 20 В,

при необходимости производится фокусировка нити лампы накаливания на входную щель монохроматора с помощью входного объектива,

переключатель аттенюатора селективного вольтметра устанавливается на максимальный предел измерения напряжения,

включается напряжение питания синхронного детектора.

После прогрева всех приборов в течение 10-15 минут, производится настройку селективного усилителя на частоту входного сигнала в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Источником сигнала в этом случае является напряжение с выхода блока опорного сигнала.

На мониторе компьютера в меню настройка установить опцию «коррекция длины волны» и записать текущее значение длины волны по показаниям счетчика монохроматора. Установить в этом же меню тип дифракционной решетки, единицы измерения длины волны, скорость сканирования. Нажать кнопку сканирования и в окне установить значения начальной и конечной длины волны. Нажать кнопку на клавиатуре «Ввод». При остановке сканирования для смены фильтра, поменять фильтр и нажать «Ввод».

3. Подготовка к работе и лабораторное задание.

1. Изучить рекомендуемую литературу и порядок выполнения лабораторной работы.

2. Вывести длину волны монохроматического излучения в видимую область, убедиться, что выходной световой поток сфокусирован на фотокатоде ФЭУ.

3. Закрыть дверь камеры и установить размеры щелей монохроматора 0.015 мм. Включить высокое напряжение блока питания ФЭУ.

4. Исследовать анодные характеристики ФЭУ при нескольких уровнях освещенности и для нескольких длин волн по указанию преподавателя.

4. Измерить спектральное распределение чувствительности фотоэлемента.

5. Из полученных данных определить основные параметры ФЭУ и сравнить полученные результаты со справочными.

4. Методические указания

1. Установить напряжение питания ФЭУ U_a = 1700 В. Определить длину волны, соответствующую максимальному значению сигнала. Измерения спектральной характеристики произвести в пределах линейности усилительного тракта.

2. Напряжение U_a на аноде при измерении анодной характеристики изменять от 1200 до 2100 В.

4.3. Спектральную характеристику эталонного фотоприемника измерять при тех же условиях что и спектральную характеристику ФЭУ. Рассчитать спектральное распределение мощности излучения на выходе монохроматора по формуле $P(\lambda) = U_{эт}(\lambda) / S_{эт}(\lambda)$. Найти спектральную чувствительность ФЭУ: $S(\lambda) = U_{фэ}(\lambda) / (P(\lambda) \cdot R_н)$.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение внешней фотоэлектронной эмиссии и опишите основные характеристики явления. Какие материалы используются для создания фотокатодов?

2. Опишите явление и основные характеристики вторичной электронной эмиссии.

2. Какими параметрами и характеристиками описываются ФЭУ?

3.Для чего используются ФЭУ? Нарисуйте схему включения ФЭУ для регистрации света.

Литература.

[1-3]

Лабораторная работа № 2

Исследование характеристик полупроводниковых сопротивлений

Цель работы: изучение устройства, принципов работы и определение параметров и характеристик полупроводникового сопротивления.

1. Введение.

Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на явлении фотопроводимости в полупроводниках [1]. Такие приборы представляют собой пластинку или пленку из однородного полупроводникового материала, на которой нанесены два металлических невыпрямляющих контакта, являющиеся выводами прибора.

Основными характеристиками фоторезисторов являются: вольт- амперные характеристики (ВАХ) при разных уровнях освещенности прибора, световые (люкс – амперные характеристики), спектральные и частотные.

Параметрами фоторезисторов являются: спектральная и интегральная чувствительности, удельная чувствительность, область спектральной чувствительности, величина темнового сопротивления, предельная рабочая частота или постоянная времени, характеризующие инерционные свойства фоторезисторов, пороговая чувствительность или уровень собственных шумов, величины рабочего и предельно допустимого напряжений и предельно допустимая мощность рассеяния фоторезистором.

Схема замещения фоторезистора в электрических схемах представлена на рис. 2.1. Особенностью этой схемы является частотная зависимость проводимости G и низкое значение паразитной емкости C. В этой схеме фототок в цепи задается генератором тока I_{ph}, а R_n и C_n - сопротивление и емкость цепи нагрузки.

2. Описание экспериментальной установки.

Лабораторная установка для исследования фотоэлектрических материалов и приборов построена на основе решеточного монохроматора МДР−23 (Описание устройства в лабораторной работе №1).

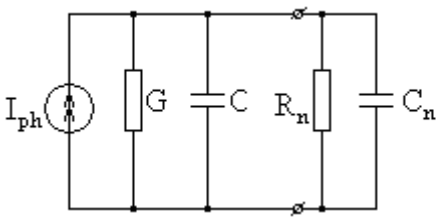

Рис.2.1. Малосигнальная эквивалентная схема замещения фоторезистора.

В качестве диспергирующего элемента для исследования фоторезисторов используются дифракционные решетки с 1200 штрих/мм, 600 штрих/мм или 300 штрих/мм, в зависимости от типа исследуемого прибора. Для обрезания излучения высших порядков используются селективные фильтры, соответствующего диапазона, входящие в комплект монохроматора.

Схема подключения фоторезистора при исследовании его фотоэлектрических свойств показана на рис.2.2.

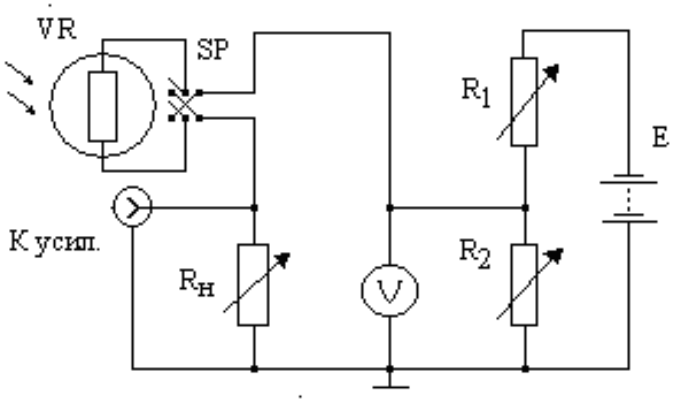

Рис.2.2. Упрощенная схема включения исследуемых структур в измерительную схему установки для исследования их фотоэлектрических свойств.

3. Подготовка к работе и лабораторное задание

1. Изучить материалы, соответствующие теме лабораторной работы по рекомендуемой литературе, устройство и порядок работы на экспериментальной установке и инструкции по выполнению настоящей лабораторной работы.

2. Установить фотосопротивление в светонепроницаемый корпус установки и подключить к выводам разъема, соединяющего электрическую часть схемы корпуса установки с блоком смещения.

3. Перемещая ФС относительно оптической оси прибора добиться попадания светового пучка на фотоприемную площадку прибора.

4. Исследовать вольтамперные характеристики ФС при нескольких уровнях освещенности при обоих полярностях приложенного напряжения к прибору.

4. Измерить спектральное распределение чувствительности.

5. Из полученных данных определить основные параметры фотоприемника, его тип и сравнить полученные результаты со справочными.

4. Методические указания

1. Включить источник питания блока смещения и установить напряжение на ФП U = 10 В. Измерить величину фототока в области максимальной чувствительности фотосопротивления. Укрепить на место фотосопротивления эталонный фотоприемник. При тех же условиях определить величину э.д.с. и рассчитать мощность падающего излучения. По полученным данным рассчитать спектральную чувствительность.

2. Вольтамперная характеристика ФС измеряется при нескольких значениях напряжения на лампе накаливания.

Устанавливаемое напряжение на выходе источника питания не должно превышать номинальное значение напряжения лампы накаливания!

3. Установить напряжение U_a = 10 В и измерить спектральную зависимость напряжения $U_{фэ}$ (λ) на нагрузке ФС. При тех же условиях измерить сигнал с эталонного фотоприемника (сопротивление нагрузки при этом устанавливается 100 Ом). Рассчитать спектральное распределение мощности излучения на выходе монохроматора по формуле $P(\lambda) = U_{эт}(\lambda) / 100 \cdot S_{эт}(\lambda)$. Найти спектральную зависимость чувствительности ФС: $S(\lambda) = U_{фэ}(\lambda) / (R_н \text{ II } R_{ус}) \cdot P(\lambda)$. Чувствительность эталонного ФЭ $S_{эт}(\lambda)$ дана в его паспорте. Усредненные значения $S_{эт}(\lambda)$ для промышленных фотоприемников даны в справочнике [1]. Удельная

чувствительность ФС рассчитывается по формуле $S_{уд}(\lambda)=S(\lambda)/U_a$ (в случае, когда $R_н<<1/G$).

Контрольные вопросы

1. Опишите основные характеристики фотопроводимости.
2. Какими параметрами и характеристиками описывается внутренний фотоэффект?
3. Для чего используются фотосопротивления? Нарисуйте схему включения ФС для регистрации света.
4. Как влияет температура окружающей среды на характеристики и параметры фотосопротивления?
5. Каковы основные критерии выбора фотосопротивлений для практических целей?

Литература.

[3-9]

Лабораторная работа № 3.
Исследование характеристик полупроводниковых фотодиодов и фототранзисторов

Цель работы: изучение устройства и принципов работы полупроводниковых фотодиода и фототранзистора и определение их параметров и характеристик.

1. Введение.

Фотодиодами называют полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на явлении вентильного фотоэффекта в полупроводниках [1]. Фотодиоды представляют собой приборы с *n-p* переходом и с омическими контактами к областям перехода, в которых конструктивно предусмотрена возможность освещения перехода и областей, прилегающих к нему, светом. Полупроводниковые приборы со структурой биполярного транзистора, в которых предусмотрена возможность освещения эмиттерного перехода и областей, прилегающих к нему, называют фототранзистором. В фототранзисторах базовый вывод необязателен. При освещении светом таких приборов происходит изменение их вольт – амперных характеристик.

Основными характеристиками фотодиодов и фототранзисторов являются: вольт-амперные характеристики (ВАХ) при разных уровнях освещенности прибора, световые (люкс – амперные характеристики), спектральные и частотные.

Параметрами фотодиодов и фототранзисторов являются: спектральная и интегральная чувствительности, область спектральной чувствительности, величина темнового тока при обратном включении, предельная рабочая частота или постоянная времени, характеризующие инерционные свойства приборов, пороговая чувствительность или уровень собственных шумов, величины рабочего и предельно допустимого напряжений и предельно допустимая мощность рассеяния.

Фотодиоды включаются для работы в двух вариантах – в вентильном и в фоторезистивном режимах. В вентильном режиме фотодиод включается в электрических схемах без постоянного смещения *n-p* перехода, в фотодиодном к

переходу приложено обратное смещение, а фотоответ снимается с резистора, включенного последовательно с обратно смещенным фотодиодом.

2. Описание экспериментальной установки.

Лабораторная установка для исследования оптических и фотоэлектрических материалов и приборов построена на основе решеточного монохроматора МДР–23. В качестве диспергирующего элемента используются дифракционные решетки с 1200 и 600 штрих/мм при исследовании кремниевых и германиевых фотодиодов. Для обрезания излучения высших порядков использовались селективные фильтры 1.06мкм, (0.6 – 0.2) мкм и (1.5 – 0.6) мкм. При исследовании фотоэлектрических свойств приборов монохроматическое излучение фокусируется на фотоприемную площадку прибора. Напряжение смещения на образец подается от блока смещения в соответствии со схемой, представленной на рис.3.1.

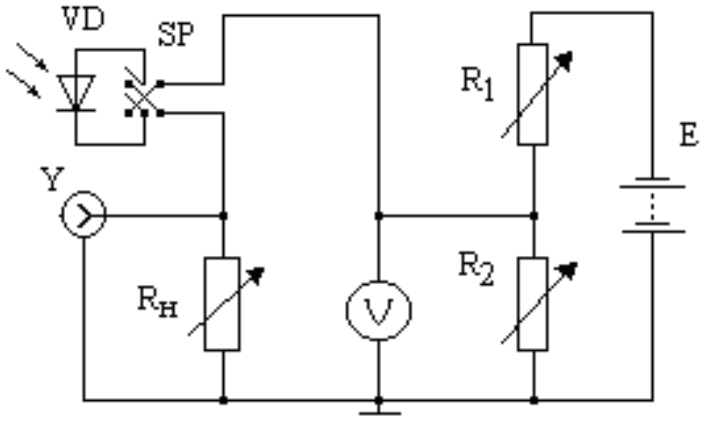

Рис.3.1. Упрощенная схема включения исследуемых структур в измерительную схему установки для исследования их фотоэлектрических свойств.

3. Подготовка к работе и лабораторное задание

1. Изучить рекомендуемую литературу, устройство и порядок работы на экспериментальной установке и инструкции по выполнению настоящей лабораторной работы.

2. Установить фотодиод (фототранзистор) в светонепроницаемый корпус установки и подключить к выводам разъема, соединяющего электрическую часть схемы корпуса установки с блоком смещения.

3. Перемещая ФП относительно оптической оси прибора добиться попадания светового пучка на фотоприемную площадку прибора.

4. Исследовать вольтамперные характеристики ФП при нескольких уровнях освещенности от приложенного напряжения к прибору.

4. Измерить спектральное распределение чувствительности.

5. Из полученных данных определить основные параметры фотоприемника, его тип и сравнить полученные результаты со справочными.

4. Методические указания

2.1. Фототок диода и коллекторный ток фототранзистора в зависимости от приложенного смещения к диоду измеряется при разных уровнях освещения. Световой поток регулируется установлением соответствующего напряжения лампы накаливания или с помощью аттенюатора, установленного на пути светового пучка.

2. Спектральная характеристику ФП измеряется при заданном напряжении на приборе и величине нагрузочного сопротивления, соответствующей условию $R_н << R_{обр.д}$. Спектральная чувствительность ФП определяется по методике изложенной в лабораторной работ №2.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение внутреннего фотоэффекта и опишите основные характеристики явления.

2. Какими параметрами и характеристиками описываются фотоприемники с внутренним квантовым выходом?

Какие материалы используются для создания фотодиодов и фототранзисторов?

3. Каково назначение фотодиодов? Нарисуйте схему включения ФД для регистрации света.

4. Как влияет температура окружающей среды на характеристики и параметры фотоприемников с *n-p* переходом?

5. Какие основные отличия в характеристиках фотодиодов и фототранзисторов?

Литература.

[3, 4]

Лабораторная работа №4

Исследование частотных характеристик полупроводниковых фотоприемников

Цель работы: изучить методы исследования частотных характеристик фотоприемников, измерить частотные характеристики темнового тока и фототока полупроводникового фотоприемника и определить граничную частоту его работы.

1. Общие положения.

Свойства полупроводниковых фотоприемников можно охарактеризовать параметрами и зависимостями, основными из которых являются: световая характеристика, интегральная чувствительность, постоянная времени, спектральная характеристика.

Фотопроводимостью называют изменение проводимости полупроводника при его освещении. Изменение проводимости $\Delta\sigma$ связано с изменением концентрации носителей заряда электронов - Δn и дырок - Δp. При освещении полупроводника светом из области собственного поглощения, поглощении световых квантов сопровождается переводом электронов из валентной зоны в зону проводимости, к появлению неравновесных носителей заряда. При этом:

$$\Delta\sigma = e\,(\mu_n\,\Delta n + \mu_p\,\Delta p) \qquad (1).$$

Предполагая, что концентрация неравевесных электронов и дырок пропорциональна интенсивности света:

$$\Delta\sigma = e\,\beta\,\alpha\,I\,(\mu_n\,\tau_n + \mu_p\,\tau_p) \qquad (2)$$

где β-внутренний квантовый выход фотоэффекта, α – коэффициент поглощения света, I – интенсивность света, τ – время жизни неравновесных носителей заряда.

Частотная характеристика фотопроводников определяется зависимостью $\Delta\sigma$ или $\Delta\sigma/\sigma_o$ от частоты модуляции светового потока и определяется в основном постоянными времени носителей заряда в полупроводнике и свойствами локальных уровней в запрещенной зоне.

2. Подготовка к работе и лабораторное задание.

Изучить теоретические основы фотопроводимости полупроводников и методы измерения временных характеристик фотопроводимости. Ознакомиться с работой измерителя иммитанса У7-25. Измерить частотную зависимость сопротивления фотопроводника, определить постоянные времени и провести интерпретацию полученных результатов.

3. Порядок выполнения работы и методические рекомендации.

1. Установить исследуемый фотоприемник в измерительную ячейку и собрать на стенде схему в соответствии с рис. 4.1.

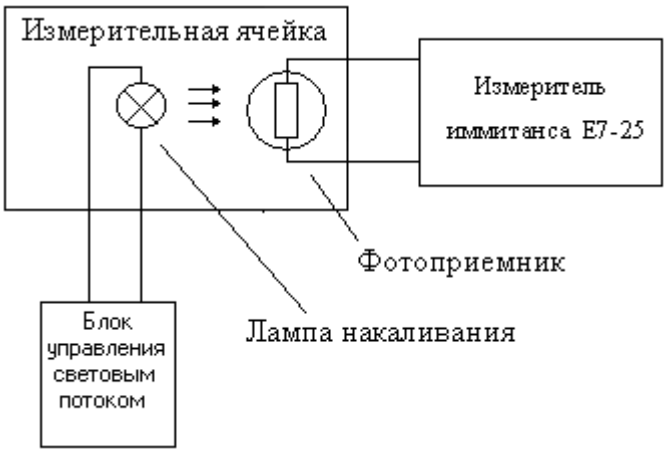

Рис. 4.1. Электрическая схема измерения частотной характеристики фотоприемника.

2. Измерить частотную характеристику темновой проводимости фотоприемника. Для этого выбрать режим работы измерителя иммитанса «Частотный анализ».
3. Измерить частотные характеристики фотоприемника для нескольких значений светового потока в пределах линейности его световой характеристики.

(Величина светового потока регулируется напряжением, приложенным к лампе накаливания).

4. Построить полученные зависимости. Определить граничные частоты фотоприемника и постоянные времени τ.
5. Сравнить полученные результаты с известными из литературы и сделать выводы.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение фотопроводимости в полупроводниках и ее основные особенности.
2. Как зависит время жизни неравновесных носителей заряда от интенсивности светового потока в случае межзонной генерации? При наличии центров рекомбинации, прилипания?
3. Какие методы измерения частотной характеристики фотоприемников вы знаете? Перечислите основные источники ошибок при этих измерениях.
4. Объясните ход частотной характеристики фотосопротивления. Какими физическими процессами формируется частотная характеристика?
5. Какие методические ошибки возникают при исследовании частотной характеристики фотоприемника?
6. Зависит ли граничная частота фотосопротивления от интенсивности света? Если да, то почему?

Литература.

[3, 5-10]

Лабораторная работа №5

Исследование спектральных характеристик светоизлучающих диодов

Цель работы: изучение методов определения параметров и характеристик излучающих полупроводниковых приборов.

1. Общие положения

Светодиодом или светоизлучающим диодом (СИД) называется полупроводниковый прибор с *p-n* переходом, преобразующий энергию протекающего тока в оптическое некогерентное излучение.

В зависимости от назначения, выделяют светодиоды видимого диапазона, для освещения и индикации, инфракрасные (ИК), для волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) и другие. Основными параметрами и характеристиками светодиодов являются:

- сила света J_o, которая определяется как поток излучения определенного спектрального состава, излучаемый СИД при заданном прямом токе (измеряется в канделах или в ваттах для ИК - диодов),

- световая характеристика СИД, определяемая как зависимость силы света или мощности излучения от прямого тока $J_o = F(I_{пр.})$ (рис.5.1),

- спектральная характеристика, которая определяется как зависимость силы света или мощности излучения от длины волны излучения при постоянном прямом токе, $J_o = F(\lambda)$ (рис.5.2).

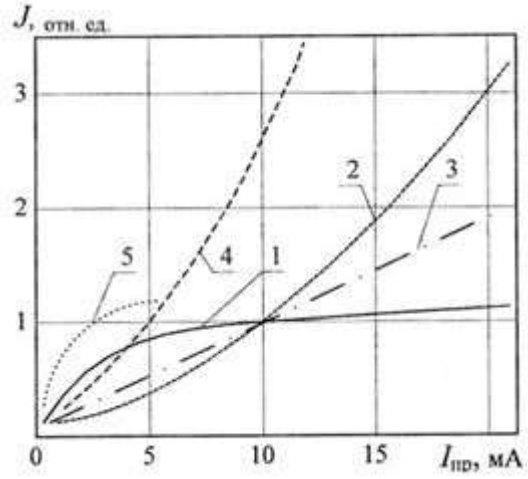

Рис.5.1. Световые (энергетические) характеристики светодиодов.

При малых токах зависимость J_o = F($I_{пр.}$) нелинейна из-за влияния безизлучательных процессов, а также особенностей зависимости тока от напряжения в некоторых типах светодиодов.

Для светодиодов выбирают главным образом материалы с прямозонной структурой минимума межзонного промежутка, однако в некоторых типах светодиодов видимого спектра используют непрямозонные полупроводники с легирующими примесями.

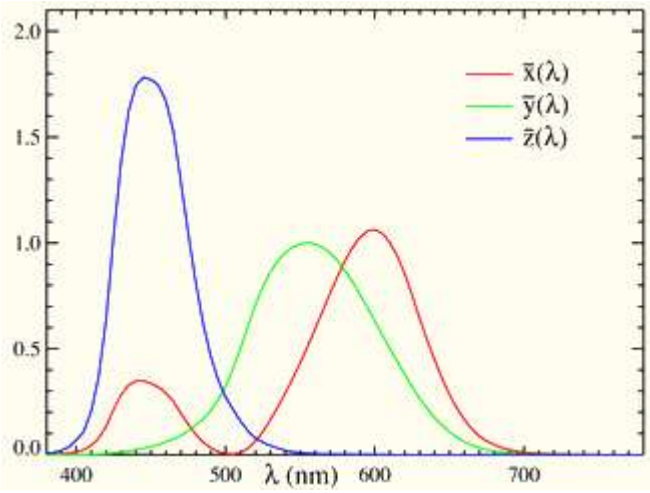

Рис.5.2. Спектральные характеристики светодиодов синего, зеленого и красного цвета излучения, изготовленных их различных полупроводников.

Спектр излучения светодиода характеризуется двумя основными параметрами: длиной волны максимума спектрального распределения $\lambda_{макс.}$ и шириной спектра излучения по уровню 0,5 от максимальной интенсивности $\Delta\lambda_{0,5}$.

Для светодиодов видимого диапазона вводят калориметрические характеристики (диаграммы цветности), которые отражают цветовое восприятие излучение человеком (рис.5.3).

В 1931 году Международной комиссией по освещению (CIE) были измерены реакции на цвет нескольких тысяч людей и введено понятие «стандартного наблюдателя». Реакцию такого абстрактного наблюдателя на цвета различного спектра описали через tristimulus — три кривые, названные X, Y и Z (см. рис. 5.2).

Система tristimulus базируется на условии, что каждый цвет — это комбинация трёх первичных цветов: красного, зелёного и синего. Диаграмма цветности CIE получена из значений tristimulus следующим образом: X = X / (X+Y+Z) или X = Красный / (Красный + Зелёный + Синий) Y = Y / (X+Y+Z) или Y = Зелёный / (Красный + Зелёный + Синий). Поскольку, (X + Y + Z) = 1, третья ось Z = 1 — (X + Y)

Обычно координаты цветности определяются только осями X и Y. Но если светодиод не имеет «белого» свечения, большинство спецификаций, предоставляемых изготовителями, содержат не координаты цветности, а пиковую и доминирующую длины волн. Доминирующая длина волны используется для обозначения цвета в координатах CIE и измеряется в нанометрах (нм). Это, по существу, цвет, фактически воспринимаемый человеческим глазом. Пиковая длина волны — это длина волны максимальной спектральной интенсивности. Пиковое значение легко определить, и поэтому оно является наиболее частым параметром, указываемым изготовителями светодиодов. Однако пиковая длина волны имеет меньшее практическое значения для применений в области спектра, воспринимаемой человеческим зрением: два светодиода могут иметь одинаковую пиковую длину волны, но будут оценены человеком как имеющие различные цвета.

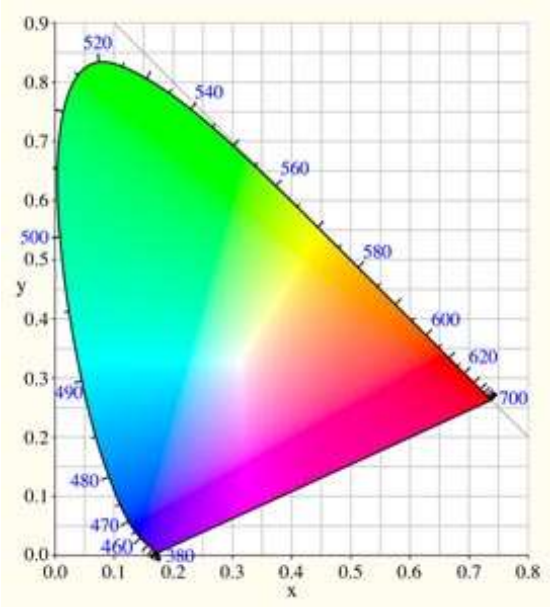

Рис. 5.3. Диаграмма цветности.

В настоящее время самый точный метод измерения цвета, с использованием спектрорадиометра. Данное устройство регистрирует и измеряет спектральное распределение мощности источника света, после чего могут быть математически вычислены все фотометрические, радиометрические и колориметрические параметры. Точность определения оборудованием длины волны должна быть не хуже, чем 0,5 нм (желательно 0,1 нм).

Кроме этого свойства светодиодов определяются вольт - амперной характеристикой, о.е. зависимостью тока через диод от приложенного напряжения и диаграммой направленности, зависимостью интенсивности или мощности излучения в зависимости от направления. Диаграмма направленности зависит в основном от конструкции и материала корпуса светодиода и формы оптической линзы (рис.5.4).

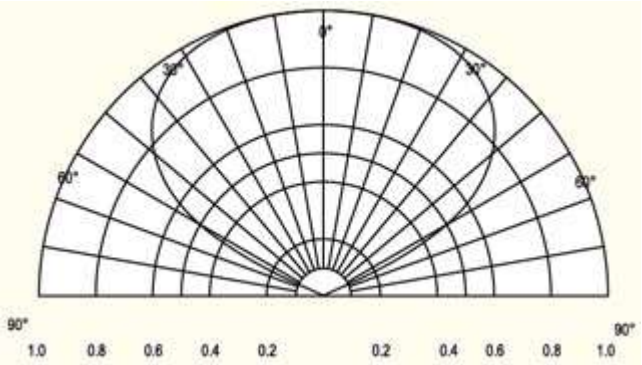

Рис.5.4. Диаграмма пространственного распределения силы света (мощности излучения) светодиода.

2. Описание экспериментальной установки и методика измерения параметров светоизлучающих приборов.

Установка для определения мощности излучения $P_{изл}$ светодиода состоит из электронного блока и выносного манипулятора. Принцип работы основан на преобразовании мощности излучения светодиода, собранного фотометрическим шаром, в электрический сигнал на выходе фотоприемника. Электронный сигнал

преобразуется в цифровой код и индицируется в величине и размерности мощности. Светоизлучающий диод помещается в выносной манипулятор. Ток через диод задается генератором тока и контролируется миллиамперметром. При нажатии крышки выносного блока индицируется мощность излучения в милливаттах и на вольтметре устанавливается напряжение, приложенное к диоду.

Для измерения спектрального распределения излучения светодиода используется установка, описанная в лабораторной работе №1. Вместо лампы накаливания в специальном держателе устанавливается исследуемый светодиод (рис.5.5).

Излучение светодиода проектируется осветителем на входную щель монохроматора МДР-23. Излучение спектрального участка $\delta\lambda$ выделяемого выходной щелью, регистрируется фотоэлектронным приемником (ФП). Напряжение, пропорциональное интенсивности света, с выхода ФП подается на вход селективного усилителя. Ток через исследуемый диод задается стабилизированным источником напряжения.

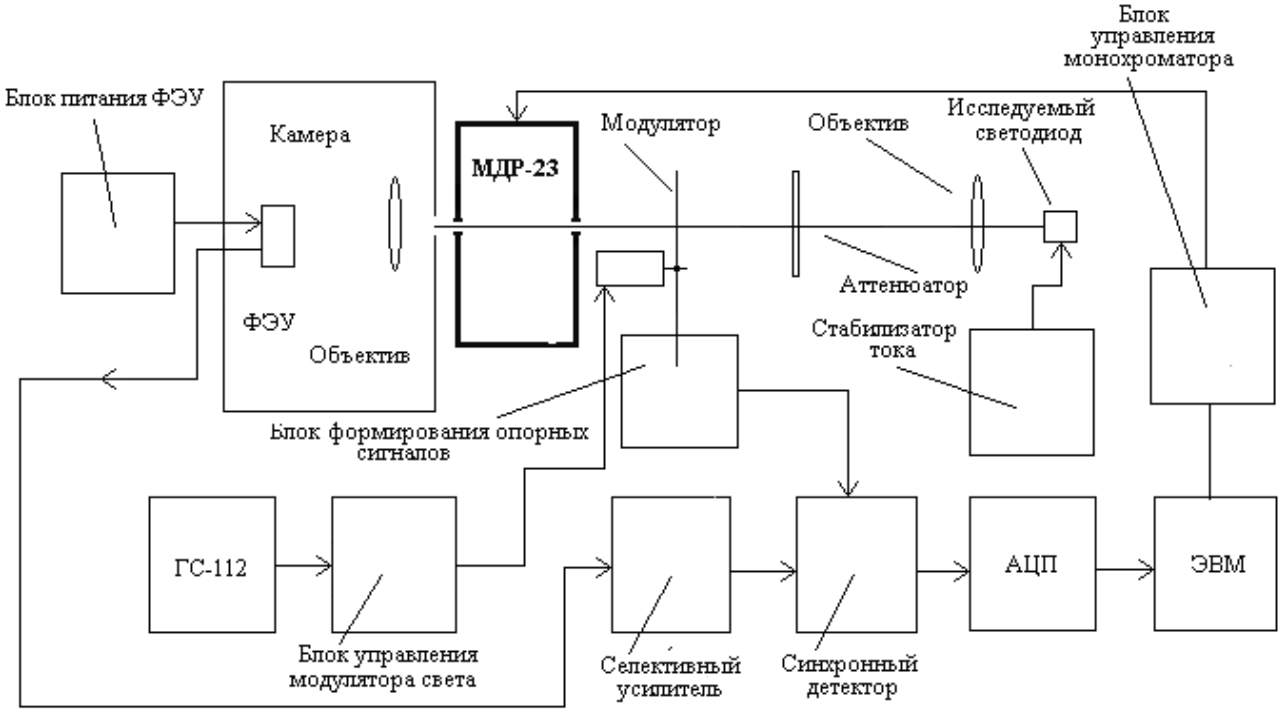

Рис.5.5. Структурная схема установки для исследования электролюминесцентных свойств полупроводников и полупроводниковых излучающих приборов

В качестве фотоприемника выбирается фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), пироприемник, фотосопротивление или кремниевый фотодиод в зависимости от спектрального диапазона излучения исследуемого светодиода.

ФЭУ и пироприемник имеют собственные источники питание и цепи коммутации. Выходной сигнал с этих устройств подается непосредственно на вход усилителя. В случае, когда ФП является фотосопротивление или кремниевый фотодиод, схема регистрации излучения как в лабораторных работах №(1 – 3).

При регистрации излучения ФЭУ доступ постороннего света в измерительную камеру должен быть исключен!

3. Лабораторное задание

1. Установить светодиод в выносной блок измерителя мощности излучения.

Измерить зависимость мощности излучения от тока и напряжения. Пределы изменения тока через диод определить по справочнику в соответствии с его маркировкой.

При больших значениях тока светодиода время измерения свести к минимуму!

2. Построить графики зависимости мощности излучения от тока и напряжения.
3. Построить ВАХ исследуемого светодиода.
4. Подготовить для измерения спектральных характеристик установку и установить исследуемый диод в держатель.
5. Установить пределы сканирования длин волн монохроматора и ввести в память процессора. Установить длину волны, соответствующую максимуму излучения светодиода. Установить ток через диод $I \approx 0{,}5\ I_{max}$. Сканируя длину волны и изменяя величины входной и выходной щелей $d \approx$ (0,01 - 0,1) мм, установить размах амплитуды выходного сигнала в пределах динамического диапазона усилителя. Записать спектр излучения светодиода.
6. Перевести значение длин волн в значения энергий

$$E_{\hbar\omega}[эВ] = 1.239/\lambda[мкм]$$

Ввести поправку на спектральную чувствительность ФП, считая, что $\Phi(h\nu)$ пропорционально $U^*(h\nu)/S(h\nu)$, где $U^*(h\nu)$ – показание прибора, $S(h\nu)$ – спектральная

чувствительность ФП. Определить спектральную ширину щели по формуле: $\Delta\lambda = R_{600}d$, где R_{600} – дисперсия прибора, d – ширина выходной щели и указать на графике.

Определить максимальный размах интенсивности излучения в относительных единицах и полуширину спектра.

7. По полученным результатам определить коэффициенты m, n, η и η'.
8. Сравнить полученные результаты с известными из литературы и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электролюминесценции и характеристику основных механизмов ее возбуждения.
2. В каких единицах измеряется яркость инжекционного излучения? Как яркость излучения зависит от тока через *p-n* переход и температуры?
3. При каких условиях внешний квантовый выход светодиода будет максимальным?
4. Каким образом можно измерить мощность излучения светодиода? Перечислите основные источники ошибок при этих измерениях.
5. Зарисуйте блок-схему установки для определения параметров светодиода, необходимых при расчете КПД и внешнего квантового выхода светодиодов. Дайте краткую характеристику методик этих измерений.
6. Объясните ход спектральной характеристики излучения *p-n* перехода. Какими физическими процессами формируется полуширина полосы излучения?
7. Какие методические ошибки возникают при исследовании спектра излучения светодиода?

Литература

[6, 11-14]

Лабораторная работа №6.

Изучение принципов работы и определение характеристик полупроводниковых лазеров.

Цель работы: изучение устройства, принципов работы и определение параметров и характеристик полупроводниковых источников когерентного излучения.

1. Общие положения

Инжекционные полупроводниковые лазеры представляют собой структуры с гомо– или гетеро–- *n-p*–переходом, в которых лазерная генерация достигается за счет эффективной излучательной рекомбинации неравновесных электронов и дырок в переходе, смещенном в прямом направлении и смежных с ним областях. Для создания условий, наиболее благоприятствующих взаимодействию возбужденной до состояния инверсной населенности электронной подсистемы с оптической, переход конструктивно встроен в резонатор типа Фабри – Перо. Кроме того, область взаимодействия подсистем выполняется таким образом, чтобы она обладала волноводными свойствами. Последнее уменьшает потери излучения в смежных с переходом пассивных областях.

Для возникновения оптического излучения в такой системе необходимо чтобы вероятность оптических переходов с испусканием света превышала вероятность переходов с поглощением, а это выполняется при прямом смещении перехода, когда:

$$\Delta E_n - \Delta E_p > h\nu \qquad (1)$$

где ΔE_n – энергетическое положение уровня Ферми в электронном полупроводнике относительно дна зоны проводимости, ΔE_p – энергетическое положение уровня Ферми в дырочном полупроводнике относительно потолка валентной зоны, h – постоянная Планка, ν – частота света.

Когда напряжение на переходе и ток достигают некоторой критической величины, усиление излучения в активной области начинает превышать потери и мощность на выходе резонатора пороговым образом увеличивается. Широкая полоса спектрального распределения излучения *n-p* перехода, характерная для

спонтанного характера оптических переходов, трансформируется в линейчатый спектр излучения, отвечающий модам собственных колебаний резонатора (рис.6.1.).

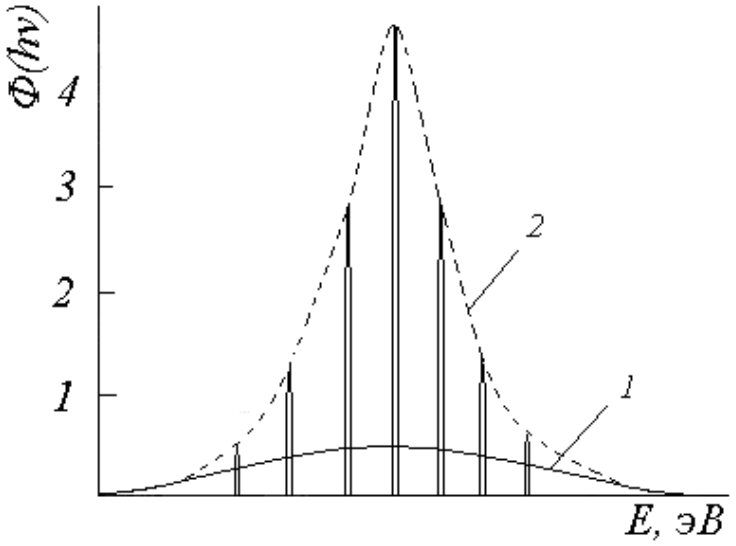

Рис. 6.1. Спектральное распределение излучения в плоскости *n-p* перехода лазера в зависимости от режима его работы: 1 – спонтанное излучение ($I < I_{пор}$), 2 – когерентное излучение ($I > I_{пор}$).

Пороговая плотность тока, при которой происходит переход от спонтанного излучения к лазерному определяется следующим образом:

$$I_{пор} = I_o + [\alpha + (\ln R^{-1}) / L] / \Gamma \cdot \beta \qquad (2)$$

где I_o – плотность тока при которой достигается инверсная населенность, α – потери на поглощение, R – коэффициент отражения зеркал резонатора, L – длина резонатора, Γ – коэффициент оптического ограничения, β – коэффициент оптического усиления, приведенный к единичной плотности тока.

2. Описание экспериментальной установки и методика измерения параметров светоизлучающих приборов

Для измерения спектрального распределения излучения лазера используется установка, описанная в лабораторной работе №5. Исследуемый лазер устанавливается в специальном держателе вместо светодиода (рис.6.2).

Излучение проектируется осветителем на входную щель монохроматора МДР-23. Излучение спектрального участка $\delta\lambda$, выделяемого выходной щелью монохроматора, регистрируется фотоэлектронным приемником (ФП). Напряжение,

пропорциональное интенсивности света, с выхода ФП подается на вход селективного усилителя. Ток через исследуемый диод задается стабилизированным источником напряжения.

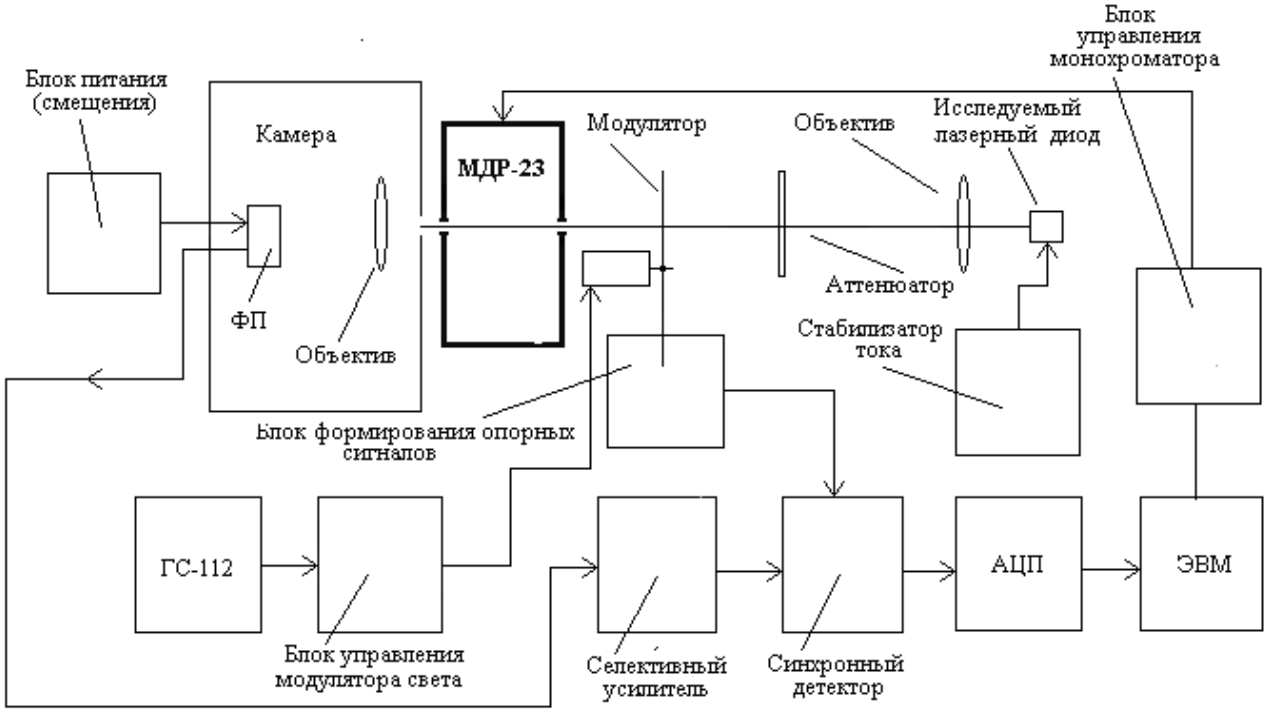

Рис.6.2. Структурная схема установки для исследования электролюминесцентных свойств полупроводников и полупроводниковых излучающих приборов.

В качестве фотоприемника выбирается пироприемник, фотосопротивление или Si (Ge) фотодиоды, в зависимости от спектрального диапазона излучения исследуемого диода и частоты модуляции светового потока.

Пироприемник имеет собственный источник питания и цепи коммутации. Выходной сигнал с этих устройств подается непосредственно на вход усилителя. В случае, когда ФП является фотосопротивление или фотодиоды, схема регистрации излучения как в лабораторных работах № (1 – 3, 6).

3. Лабораторное задание

1. Подготовить установку для измерения спектральных характеристик и установить исследуемый диод в держатель. Измерить зависимость мощности излучения от силы тока и напряжения на лазерном диоде. Пределы изменения тока через диод определить по справочнику в соответствии с его маркировкой.

2. Построить графики зависимости мощности излучения от тока и напряжения.
3. Построить ВАХ исследуемого диода.
4. Измерить спектральную характеристику излучения лазера при различных режимах его работы. Определить характерные параметры спектра излучения лазера и параметры режима его работы.
5. Сравнить полученные результаты с литературурными и сделать выводы.

4. Методические указания

1. При измерении энергетических характеристик напряжение на выходе стабилизатора тока не должно превышать 3 В, а ток – предельно допустимого значения для данного прибора указанного в его паспорте.
2. Измерение мощности необходимо производить на частоте генерации (по максимуму сигнала). Коррекция максимума сигнала производится после установления тока лазера сканирование длины волны на малых скоростях.
3. Для измерения спектральной характеристики установить пределы сканирования длин волн монохроматора, захватывающие области спонтанного и индуцированного излучения. Скорость сканирования устанавливается минимальной.

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и принципы работы инжекционного лазера на полупроводниковом *p-n* переходе.
2. Как яркость и характер спектра излучения зависит от тока через *p-n* переход?
3. Каким образом компенсируются потери излучения в РБО и РОС лазерах?
4. Какие основные параметры и характеристики полупроводникового лазера Вы знаете?
5. Дайте краткую характеристику методик определения основных параметров лазера.

Литература

[14-17]

Лабораторная работа №7.

Изучение принципов работы и определение параметров оптического затвора.

Цель работы: исследования характеристик пропускания оптического затвора в открытом и закрытом состояниях и определение некоторых основных параметров прибора.

1. Общие положения.

Оптический затвор - оптоэлектронное устройство, коэффициент пропускания которого изменяется под действием управляющего напряжения (сигнала) в пределах близких к 100%. По принципу действия оптические затворы делятся на следующие типы: электрооптические, магнитооптические, фототропные, интегрального излучения (широкодиапазонные), лазерного излучения, интегральные и др.

Действие электрооптического затвора основано на использовании линейного (эффекта Поккельса) или квадратичного (эффекта Керра) электрооптического эффекта - зависимости двулучепреломлення среды от напряжённости приложенного к ней электрического поля. Такой оптический затвора состоит из электрооптической ячейки, помещённой между двумя параллельными (или скрещенными) поляризаторами (рис.7.1). Напряжение, при котором возникающее в среде двойное лучепреломление приводит к сдвигу фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами на величину π радиан, называют полуволновым напряжением. Управление затвором осуществляется подачей на электрооптическую ячейку полуволнового напряжения.

В технике измерений сверхкоротких лазерных импульсов для управления электрооптическим затвором вместо электрических импульсов используются мощные импульсы поляризованного света (затвор Дюге и Хансена), которые, распространяясь в ячейке Керра, приводят вследствие нелинейности среды к возникновению оптически наведённого двулучепреломления. Скорость переключения таких оптических затворов очень высока (до 10^{-13} с).

Действие магнитооптического затвора основано на линейном магнитооптическом эффекте (эффекте Фарадея) - зависимости угла поворота

плоскости поляризации света, распространяющегося в среде, от напряжённости магнитного поля, приложенного к ней. Оптический затвор содержит ячейку Фарадея (оптическая среда с большой Верде постоянной, находящаяся в магнитном поле соленоида), которая установлена между двумя скрещенными поляризаторами. Управление затвором осуществляется изменением тока соленоида. Важным свойством, отличающим магнитооптический затвор от других, является его невзаимность: будучи открытым для пучка излучения, проходящего затвор в прямом направлении, затвор закрыт для пучка, идущего в обратном направлении, что позволяет использовать его в качестве оптического изолятора.

Фототропный (пассивный) затвор применяется для модуляции добротности резонатора лазеров и для получения режима самосинхронизации мод в лазере. Действие его основано на явлении насыщения поглощения (просветлении) среды при воздействии на неё интенсивного оптического. Быстродействие фототропных оптических затворов определяется свойствами используемой среды (стекла, красители и др.) и составляет (10^{-10} - 10^{-12}) с.

Свойства оптического затвора определяются спектральными характеристиками коэффициента пропускания в открытом и закрытом состоянии $T_{max}(\lambda)$, $T_{min}(\lambda)$ и глубиной модуляции светового потока $M(\lambda)$:

$$M(\lambda) = (1 - T_{min}(\lambda)/ T_{max}(\lambda)) \qquad (1)$$

Оптические потери затвора определяются соотношением:

$$\xi[\text{дб}] = 10\lg (\Phi_o(\lambda)/ \Phi_{max}(\lambda)) \qquad (2)$$

где $\Phi_{max}(\lambda)$ – величина светового потока на выходе затвора в открытом состоянии, $\Phi_o(\lambda)$) - величина светового потока на входе затвора.

Кроме того, затвор характеризуется спектральным диапазоном работы (полосой прозрачности), в пределах которого величина коэффициента модуляции составляет 1% от максимальной величины, граничной частотой работы $f_в$ или параметрами характеризующими быстродействие и потребляемой мощностью на переключение.

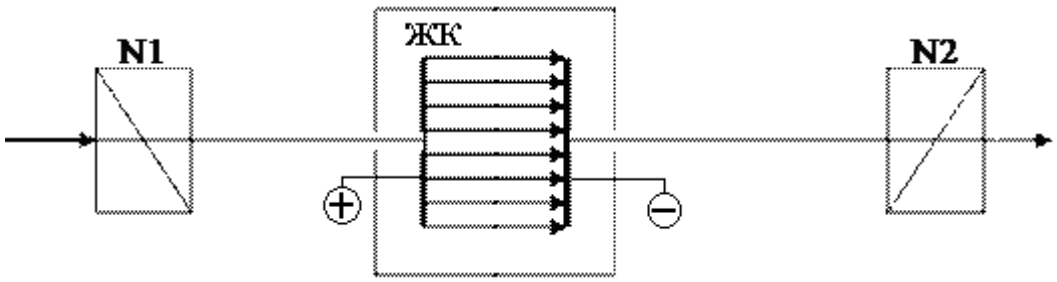

Рис. 7.1. Структурная схема оптического затвора: N1, N2 – поляризатор и анализатор соответственно, ЖК – жидкокристаллическая ячейка.

2. Описание экспериментальной установки и методика измерения параметров оптического затвора

Установка для определения характеристик и параметров оптического затвора представлена на рис.7.2.

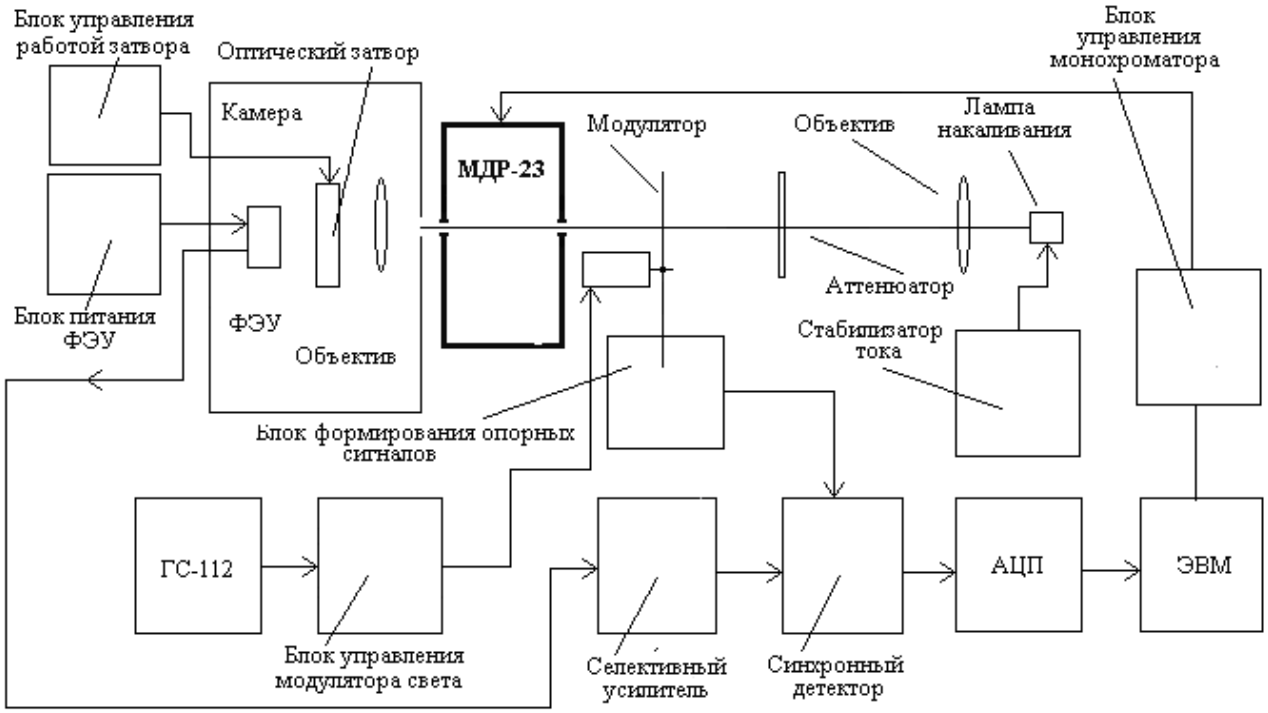

Рис.7.2. Структурная схема установки для исследования оптических затворов.

Интегральное излучение нити лампы накаливания проектируется осветителем на входную щель монохроматора МДР-23. Излучение спектрального участка $\delta\lambda$, выделенного выходной щелью, проходит через оптический затвор и регистрируется фотоэлектронным приемником (ФП). Напряжение, пропорциональное интенсивности света, с выхода ФП подается на вход селективного усилителя.

В качестве фотоприемника выбирается фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), пироприемник, фотосопротивление или кремниевый фотодиод в зависимости от спектрального диапазона работы исследуемого прибора.

ФЭУ и пироприемник имеют собственные источники питание и цепи коммутации. Выходной сигнал с этих устройств подается непосредственно на вход усилителя. В случае, когда ФП является фотосопротивление или кремниевый фотодиод, схема регистрации излучения как в лабораторных работах № (1 – 3).

При регистрации излучения ФЭУ доступ постороннего света в измерительную камеру должен быть исключен!

Напряжение управления работой оптического модулятора задается соответствующим блоком. Схема подачи напряжения представлена на рис.7.3.

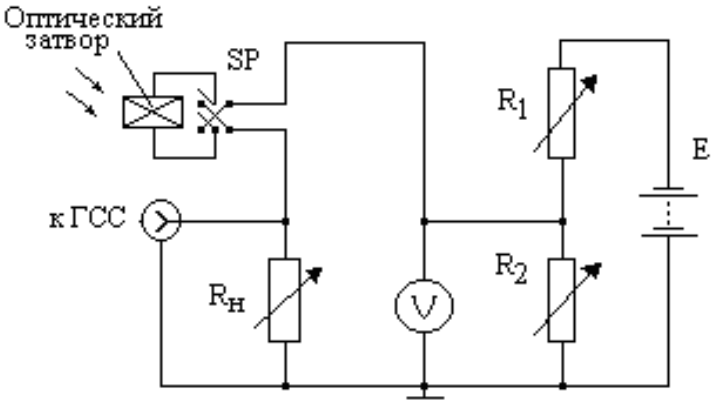

Рис.7.3. Схема подключения управляющего напряжения к оптическому затвору.

Для измерения спектрального распределения излучения светодиода используется установка, описанная в лабораторной работе №1.

При подаче на затвор переменного напряжения с выхода генератора стандартных сигналов происходит модуляция светового потока на выходе. Сигнал, пропорциональный величине светового потока, измеряется электронным осциллографом, подключенным к линейному выходу селективного усилителя (на схеме не показаны).

3. Лабораторное задание.

1. Установить оптический затвор в камеру установки.

2. Измерить зависимость величины светового потока на выходе затвора от постоянного напряжения приложенного к нему. Определить глубину модуляции светового потока и пороговое напряжение.

3. Измерить спектральное распределение коэффициента пропускания при напряжениях на затворе соответствующих открытому и закрытому состоянию.

4. Определить оптические потери затвора.

5. Сравнить полученные результаты с известными из литературы и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристики основных типов оптических затворов.

2. Какими параметрами определяются функциональные свойства затворов?

Литература

[[9, 14, 16, 18, 19]

]

Лабораторная работа №8.
Определение глубины модуляции и граничной частоты оптического модулятора

Цель работы: исследование принципов работы и определение некоторых основных параметров оптических модуляторов.

1. Общие положения.

Оптический модулятор - оптоэлектронное устройство, предназначенное для изменения по закону модуляции одного из параметров оптического излучения. По принципу действия оптические модуляторы делятся на следующие типы: электрооптические, магнитооптические, фототропные, интегрального излучения (широкодиапазонные), лазерного излучения, интегральные и др.

Действие электрооптических модуляторов основано на использовании линейного (эффекта Поккельса) или квадратичного (эффекта Керра), электрооптического эффекта - зависимости двулучепреломления среды от напряжённости приложенного к ней электрического поля. Такой оптический модулятор состоит из электрооптической ячейки, помещённой между двумя параллельными (или скрещенными) поляризаторами (рис.8.1). Напряжение, приложенное к модулятору, приводит к сдвигу фаз между обыкновенной и необыкновенной волной в двулучепреломляющей среде и изменению интенсивности излучения на выходе модулятора:

$$\Phi_{вых}(\lambda) = \Phi_{max}(\lambda)\sin^2(\pi\cdot U/2\cdot U_{\lambda/2}) \qquad (1)$$

где $\Phi_{max}(\lambda)$ – величина светового потока на выходе затвора в открытом состоянии.

Напряжение $U = U_{\lambda/2}$, приводящее к максимальному сдвигу фаз на величину π радиан, называют полуволновым напряжением.

Действие магнитооптического модулятора основано на линейном магнитооптическом эффекте (эффекте Фарадея) - зависимости угла поворота плоскости поляризации света, распространяющегося в среде, от напряжённости магнитного поля, приложенного к ней. Оптический модулятор содержит ячейку

Фарадея (оптическая среда с большой Верде постоянной, находящаяся в магнитном поле соленоида), которая установлена между двумя скрещенными поляризаторами. Управление затвором осуществляется изменением тока соленоида.

Фототропный (пассивный) модулятор применяется для модуляции добротности резонатора лазеров и для получения режима самосинхронизации мод в лазере. Действие его основано на явлении насыщения поглощения (просветлении) среды при воздействии на неё интенсивного оптического.

Свойства оптического модулятора определяются следующими спектральными характеристиками пропускания света в открытом и закрытом состояниях $\Phi_{max}(\lambda)$,, $\Phi_{min}(\lambda)$ и глубиной модуляции светового потока $M(\lambda)$:

$$M(\lambda) = (\Phi_{max}(\lambda) - \Phi_{min}(\lambda)/ \Phi_{max}(\lambda)) \qquad (2)$$

Оптические потери модулятора определяются следующим соотношением:

$$\xi[дб] = 10\lg (\Phi_o(\lambda)/ \Phi_{max}(\lambda)) \qquad (3)$$

где $\Phi_o(\lambda))$ - величина светового потока на входе модулятора.

Кроме того, модулятор характеризуется спектральным диапазоном работы (полосой прозрачности), в пределах которого величина коэффициента модуляции незначительно уменьшается от максимальной величины, граничной частотой работы $f_в$ или параметрами, характеризующими быстродействие и потребляемой мощностью на переключение.

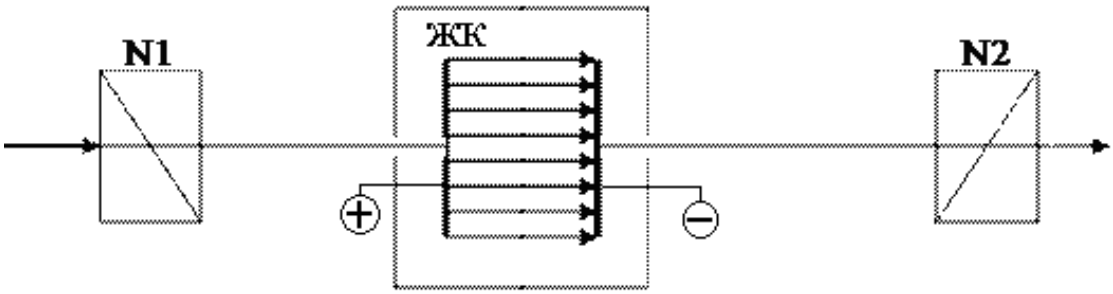

Рис. 8.1. Структурная схема оптического модулятора: N1, N2 – поляризатор и анализатор соответственно, ЖК – жидкокристаллическая ячейка.

2. Описание экспериментальной установки и методика измерения параметров оптического модулятора.

Установка для определения характеристик и параметров оптического затвора представлена на рис.8.2.

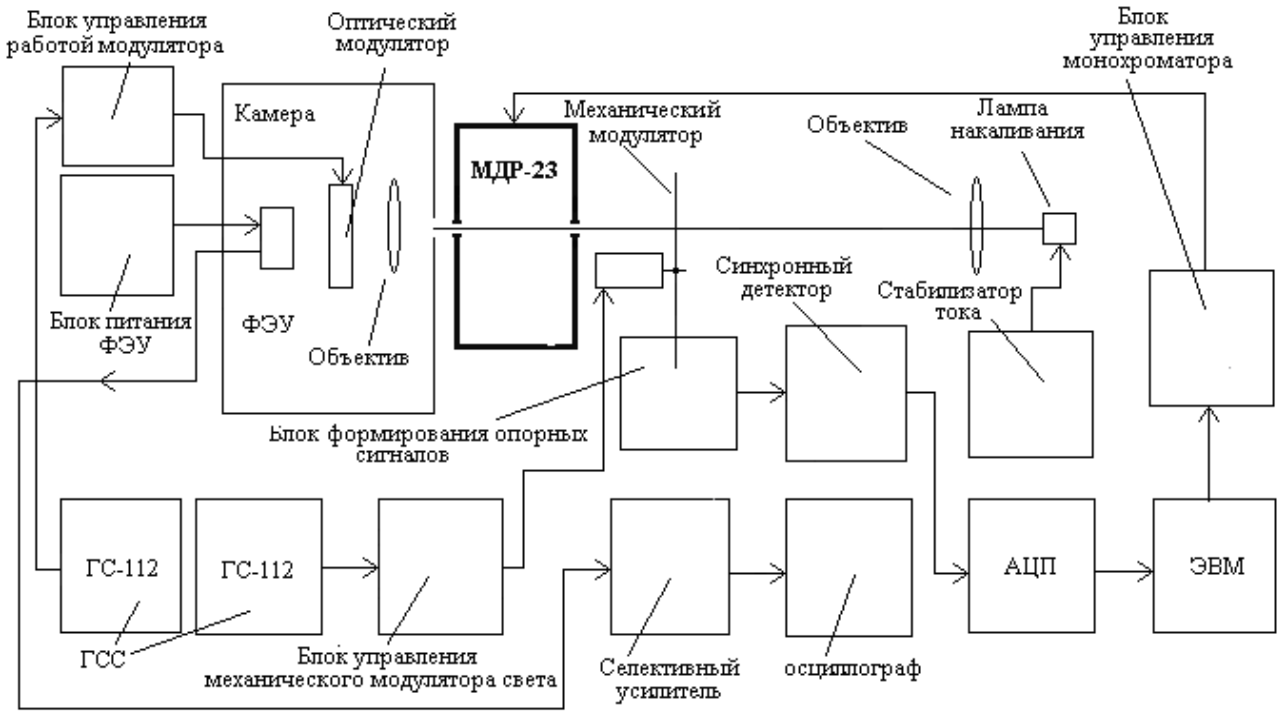

Рис. 8.2. Структурная схема установки для исследования оптических модуляторов.

Интегральное излучение нити лампы накаливания проектируется осветителем на входную щель монохроматора МДР-23. Излучение спектрального участка $\delta\lambda$, выделенного выходной щелью, проходит через оптический затвор и регистрируется фотоэлектронным приемником (ФП). Напряжение, пропорциональное интенсивности света, с выхода ФП подается на вход селективного усилителя.

В качестве фотоприемника выбирается фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), пироприемник, фотосопротивление или кремниевый фотодиод в зависимости от спектрального диапазона работы исследуемого прибора.

ФЭУ и пироприемник имеют собственные источники питание и цепи коммутации. Выходной сигнал с этих устройств подается непосредственно на вход усилителя. В случае, когда ФП является фотосопротивление или кремниевый фотодиод, схема регистрации излучения как в лабораторных работах № (1 – 3).

При регистрации излучения ФЭУ доступ постороннего света в измерительную камеру должен быть исключен!

Напряжение управления работой оптического модулятора задается соответствующим блоком. Схема подачи напряжения представлена на рис.8.3.

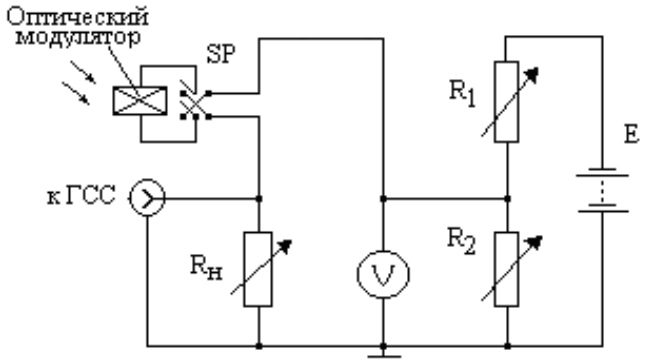

Рис.8.3. Схема подключения управляющего напряжения к оптическому затвору.

При подаче переменного напряжения с выхода генератора стандартных сигналов (ГСС) происходит модуляция светового потока на выходе. Сигнал, пропорциональный величине светового потока, измеряется электронным осциллографом, подключенным выходу селективного усилителя.

3. Лабораторное задание.

1. Установить оптический модулятор в камеру установки.
2. Определить глубину модуляции светового потока и граничную частоту.
3. Определить оптические потери модулятора.
4. Сравнить полученные результаты с известными из литературы и сделать выводы.

4. Методические указания.

Для определения глубины модуляции необходимо к модулятору подать постоянное напряжение, соответствующее 50% глубине модуляции. От ГСС подается напряжение синусоидальной формы с частотой f, существенно меньшей частоты модуляции светового потока механическим модулятором. Напряжение на выходе ГСС устанавливают таким по величине, чтобы форма сигнала на экране осциллографа была неискаженной. Коэффициент модуляции определяют по формуле:

$$M_a = (\Phi_{max}(\lambda) - \Phi_{min}(\lambda)) / (\Phi_{max}(\lambda) + \Phi_{min}(\lambda)) \quad (4)$$

Граничную частоту работы модулятора определяют по спаду М на 3дб. Для этого, определяют зависимость напряжения на выходе усилителя в широкополосном режиме усиления сигнала от частоты генератора. Амплитуду переменного напряжения на модуляторе поддерживают постоянной.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристики основных типов оптических модуляторов.
2. Какими параметрами определяются функциональные свойства модуляторов?

Литература

[9, 14, 16, 18, 19]

Лабораторная работа № 9

Изучение характеристик оптрона

Цель работы: Изучение основных характеристик диодных оптопар в вентильном и фотодиодном режимах.

1. Общие положения

Оптопарой называют оптоэлектронный прибор, в котором в одном общем корпусе конструктивно объединены излучатель и фотоприемник, взаимодействующие друг с другом оптически и электрически. Связи между компонентами оптопары могут быть как прямыми, так и обратными, как положительными, так и отрицательными, кроме того, одна из связей (электрическая или оптическая) может отсутствовать. В состав единого прибора вместе с оптопарой или несколькими оптопарами могут входить дополнительные микроэлектронные или оптические элементы. Такие приборы существенно отличаются от элементарных оптопар, поэтому принято использовать для их названия термин оптрон, при этом имеется в виду оптоэлектронный прибор любого произвольного вида с внутренними оптическими связями.

Оптопара с прямой оптической, без электрической связи между компонентами входа и выхода, используется как элемент электрической развязки в электронных схемах и устройствах. Оптроны с оптическим входом и выходом, представляют собой преобразователи световых сигналов для усиления или ослабления интенсивности света, преобразования спектра сигнала или направления поляризации, преобразования некогерентного излучения в когерентное и т.д. Если в таком оптроне фотоприемник и излучатель являются многоэлементными, то он может выполнять функцию преобразователя изображений. Оптрон с электрической и оптической связями получил название регенеративного оптрона. В нем могут реализоваться любые комбинации видов входных и выходных сигналов, в частности, при определенных условиях может осуществляться частичное или даже полное восстановление (регенерация) входного сигнала за счет энергии обратной

связи. Характерной частью оптопары является оптический канал между излучателем и фотоприемником, предназначенный для передачи энергии излучения на фотоприемник. В зависимости от устройства оптического канала различают оптроны со световодом, выполненным в виде прозрачной иммерсионной среды, с зазором между излучателем и фотоприемником для доступа излучения извне или с открытым оптическим каналом и, иммерсионная среда которого выполнены из материала, светопропускание которого изменяется от внешних воздействий, с управляемым оптическим каналом.

В качестве элементов электрической развязки оптопары получили широкое промышленное распространение из-за многих принципиальных достоинств, таких как, идеальная электрическая развязка, высокое напряжение изоляции, однонаправленность распространения информации, широкополосность, а также совместимость оптопар с изделиями микроэлектроники – технологическую, эксплуатационную и по уровням входных и выходных сигналов. В оптопарах, используемых для электрической развязки, в качестве излучателей используются лампы накаливания, люминесцентные излучатели, светодиоды, лазерные диоды, в качестве фотоприемников используются фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. Оптопары с фотодиодом могут работать как в вентильном, так и фотодиодном режимах.

Основными параметрами диодных оптопар являются следующие: - входное напряжение $U_{вх}$ - постоянное прямое напряжение на диоде-излучателе при заданном входном токе; - максимальное входное обратное напряжение $U_{вх.обр.max}$, приложенное ко входу диодной оптопары, при котором обеспечивается ее надежная работа (для входной цепи оптопары указывается значение максимального постоянного $I_{вх.max}$ или импульсного $I_{вх.и max}$ входного тока, при которых обеспечивается надежная работа прибора); - максимальное выходное обратное постоянное и импульсное напряжение $U_{вых.обр.max}$ и $U_{вых.обр.и\ max}$ определяют максимальные напряжения в выходной цепи оптопары, при которых обеспечивается ее надежная работа. Выходной обратный ток (темновой) $I_{вых.обр.т}$ - ток, протекающий в выходной цепи диодной оптопары при отсутствии входного

тока и заданном напряжении на выходе; - время нарастания выходного сигнала $t_{нр}$ - интервал времени, в течение которого выходной сигнал оптопары изменяется от 0,1 до 0,5 максимального значения; - время спада выходного сигнала $t_{сп}$ – интервал времени, в течение которого выходной сигнал изменяется от 0,9 до 0,5 максимального значения; - статический коэффициент передачи K_I – отношение разницы выходного тока и выходного темнового тока к входному току, выраженное в процентах. Коэффициент передачи тока в диодных оптопарах составляет единицы процентов и примерно равен значению квантового выхода светодиода. Так как темновой выходной ток обычно значительно меньше светового, коэффициент передачи тока выражают как $K_I \approx I_{вых} / I_{вх}$. Для описания свойств диодных оптопар обычно используются входные и выходные вольтамперные характеристики, передаточные характеристики в вентильном и фотодиодном режимах. Выходная характеристика оптопары аналогична обратной ветви вольтамперной характеристики фотодиода. Обратный ток практически не зависит от напряжения. Передаточная характеристика оптрона, в фотодиодном режиме, представляет собой зависимость выходного тока от входного тока и практически линейна в широком диапазоне входного тока. Передаточная характеристика в вентильном режиме нелинейная. Фото-ЭДС при увеличении входного тока стремится к насыщению. При этом фото-ЭДС не превышает контактной разности потенциалов на p - n- переходе фотодиода и составляет обычно 0,5 – 0,8 В для кремниевых фотодиодов.

2. Описание экспериментальной установки.

Лабораторная установка для исследования характеристик оптрона собрана на основе измерительного комплекса К4826.

Схема подключения фоторезистора при исследовании его фотоэлектрических свойств показана на рис.9.1.

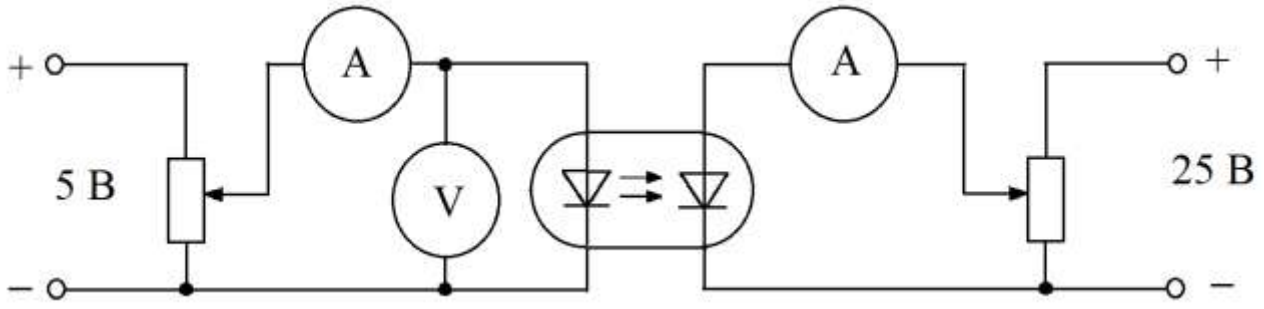

Рис.9.1. Схема включения оптопары для исследования электрических и передаточных характеристик.

3. Подготовка к работе и лабораторное задание

1. Изучить материалы, соответствующие теме лабораторной работы по рекомендуемой литературе, устройство и порядок работы на экспериментальной установке и инструкции по выполнению настоящей лабораторной работы.

2. Ознакомиться с исследуемой оптопарой (внешним видом, принципиальной электрической схемой, назначением выводов, электрическими параметрами, предельно допустимыми электрическими режимами эксплуатации).

3. Ознакомиться с приборами экспериментальной установки (блоки питания, вольтметры, микроамперметры и др. Исследовать зависимость входного тока $I_{вх}$, выходного тока $I_{вых}$ и отношения $I_{вых}/I_{вх}$ от входного напряжения $U_{вх}$ оптопары, работающей в вентильном режиме.

4. Вычислить коэффициент передачи по току при заданном $I_{вх}$ (в %%).

5. Исследовать зависимость выходного тока $I_{вых}$ и отношения $I_{вых}/I_{вх}$ от входного напряжения $U_{вх}$ для оптопары, работающей в фотодиодном режиме.

5. Из полученных данных определить основные параметры фотоприемника, его тип и сравнить полученные результаты со справочными.

4. Методические указания

1. При измерении входных и переходных характеристик оптрона напряжения на выходе установить равным нулю. Напряжение на выходе прибора, при измерении

переходных характеристик в фотодиодном режиме, увеличивать от нулевого значения, не превышая максимально допустимых токов на выходе.

2. Устанавливаемые напряжения на электродах оптрона и токи в измеряемых цепях, не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в справочнике.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой оптрон? Его назначение и устройство?
2. Назовите достоинства и недостатки оптронов.
3. Какие разновидности оптронов Вы знаете, и в чем состоят их особенности?
4. Назовите основные параметры и характеристики оптронов.

Литература

[8, 14, 20-22]

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. А.Г.Берковский и др. Вакуумные фотоэлектронные приоры. М.Радио и связь (1988).
2. И.П. Жеребцов “Основы электроники”, Ленинград, Энергоатомиздат, 1989г.
3. И.Аут, Д.Генцов, К.Герман. Фотоэлектрические явления. М.: Мир, 1980.
4. Роуз А. Основы теории фотопроводимости. М.: Мир, 1966.
5. Мосс Т. Фотопроводимость. Под ред. Ш.М. Когана. М.: Сов. Радио, 1967.
6. Сердюк В.В., Чемересюк Г.Г. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках. Киев, изд. «Лебедь», 1993.
7. Н.А.Соболева, А.Е.Меламид. Фотоэлектрические приборы. М.: Высшая школа, 1974.
8. В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа, 1987г.
9. Мосс Г., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. М., Мир, 1976.
10. Измеритель иммитанса Е7-25. Руководство по эксплуатации. Приложение 1.
11. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения. Справочник. М.: Радио и связь, 1987.
12. Баюков А.В. и др. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1987.
13. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1989.
14. Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику. М.: Высшая школа, 1991.
15. Справочник по лазерам, пер. с англ., под ред. А. М. Прохорова, т. 2, М., 1978.
16. Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. М.: Советское радио, 1973.
17. Справочник по лазерам, пер. с англ., под ред. А. М. Прохорова, т. 2, М., 1978.
18. Мустель Б. Р., Парыгин В. Н., Методы модуляции и сканирования света, М., 1970.
19. А.С.Сонин. Лекции о жидких кристаллах. М.: изд. МГУ, 1979.
20. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989.
21. Гребнев А.К., Гридин В.Н., Дмитриев В.П. Оптоэлектронные элементы и устройства./Под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Радио и связь, 1998.
22. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М.: Высшая школа, 2001

Учебно-методическое издание

Оптоэлектронные и квантовые приборы

Методические рекомендации

Издается в авторской редакции

Электронное издание
Опубликовано на портале http://moodle.spsu.ru