

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОПТРОНОВ

Утверждено
редакционным советом института
в качестве методических
указаний к лабораторной работе № I

Куйбышев 1984

УДК 621.383

В методических указаниях рассматриваются физические основы работы полупроводниковых источников и приемников света, приводятся их характеристики и типичные конструкции, используемые в оптопарах. Изучаются конструктивно-технологические особенности оптопар, приводится их классификация и система параметров. Описываются схемы и методики измерения основных параметров диодных оптопар в вентильном и фотодиодном режимах.

Работа составлена на кафедре МиАП и предназначена для студентов специальности 0701 и 0705.

Составители: П.В. Буренин, А.В. Волков

Рецензенты: доц. В.Ф. Соколов, доц. В.А. Рожков

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОПТРОНОВ

Редактор Е.Д. Антонова
Техн. редактор Н.М. Каленюк
Корректор С.С. Рубан

Подписано в печать 31.05.84. Формат 60x84 I/16
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл. п. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,6. Т. 300 экз.
Заказ № 6895 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П. Королева, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П. Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.

Ц е л ь р а б о т ы - изучение топологии и исследование основных (вольт-амперных, передаточных и др.) характеристик оптронов типа АОДЮОВ в вентильном (без подачи обратного напряжения на фотоприемник) и фотодиодном (с подачей обратного напряжения на фотоприемник) режимах.

З а д а н и е:

1. Ознакомиться с назначением, устройством, различными типами и основными характеристиками оптронов.

2. Экспериментально изучить работу оптронов типа АОД ЮОВ в вентильном и фотодиодном режимах.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

1.1. Элементная база и устройство оптронов

Элементную основу оптронов составляют фотоприемники и излучатели, а также оптическая среда между ними.

Функционально (как элемент схемы) оптрон характеризуется в первую очередь тем, какой вид фотоприемника в нем используется. Поэтому, с точки зрения применения, именно фотоприемники являются определяющим элементом оптрона, а излучатель выбирается "под фотоприемник". Конечно, с точки зрения конструкторско-технологической, оба элемента - приемник и излучатель - являются эквивалентными, более того, поскольку излучателем в большинстве случаев определяются ограничения и передаточно-преобразовательных и временных характеристик прибора, ему при разработке оптрона обычно уделяется большое внимание. Тем не менее схемотехническое "лицо" оптрона определяет именно тип фотоприемника.

Наиболее универсальными являются приемники с р-п- переходами: диоды, транзисторы, тиристоры. По сравнению с фоторезисторами они обладают более высоким быстродействием и широкими функциональными возможностями.

Для использования в оптронах доступны несколько разновидностей излучателей: миниатюрные лампочки накаливания, неоновые лампочки, порошковые и тонкопленочные электролюминисцентные ячейки, светодиоды, полупроводниковые лазеры. Основным наиболее универсальным видом излучателя, используемым в оптронах, является полупроводниковый светоизлучающий диод - с в е т о д и о д . Это обусловлено такими его достоинствами, как высокое значение к.п.д. преобразования; узкий

спектр излучения (квазимонохроматичность); направленность излучения; возможность работы как в импульсном, так и непрерывном режиме; линейность ватт-амперной характеристики в широком диапазоне входных токов и т.д.

Немаловажный факт имеет и практическое совпадение оптической плотности (показателей преломления) основных материалов, из которых изготавливаются излучатели (арсенид галлия и соединения на его основе) и фотоприемника (кремний). Это, по крайней мере, позволяет принципиально рассчитывать на полное согласование генераторного и приемного блоков оптрона. Принятая система обозначений отечественных оптронов учитывает все конструктивно-технологические и схемотехнические особенности последних. Для наиболее распространенных оптопар используются следующие сокращения: Д - диодная, Т - транзисторная, R - резисторная, У - тиристорная, Т² - с составным фототранзистором. Обозначение (за исключением резисторных) семизначное: первая буква - материал излучателя, вторая (О) - оптрон, третья - вид фотоприемника, далее, трехзначный порядковый номер и, наконец, буква, определяющая группу. Например АОД101В - диодная оптопара с арсенидогаллиевым излучателем.

По степени сложности структурной схемы среди изделий оптронной техники (оптронов) выделяют две группы приборов. О п т о п а р а (рис.1) (говорят также "элементарный оптрон") представляет собой оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми имеется оптическая связь, обеспечивающая электрическую изоляцию между входом и выходом. О п т о э л е к т р о н - н а я и н т е г р а л ь н а я м и к р о - с х е м а представляет собой микросхему, состоящую из одной или нескольких оптопар и электрически соединенных с ними одного или нескольких согласующих или усилительных устройств.

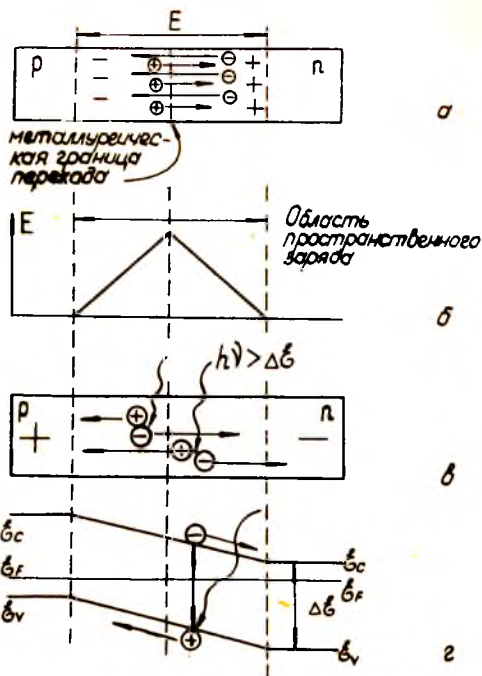


Р и с. 1. Электрическая схема диодного оптрона

1.2. Физические принципы действия фотодиода

При освещении р-*n*-перехода светом возникает фотоэдс, которая носит название в е н т и л ь н о й э.д.с.. В р-*n*-переходе, как известно, в термодинамическом равновесии (без приложенного напряжения смещения) возникает внутреннее электрическое поле. Последнее обусловлено диффузией свободных носителей заряда. Дырки (рис.2, а) из

р-области диффундируют в n -область, а электроны из n -области в р-область. В результате чего в р-области возникает объемный отрицательный заряд, а в n -области - положительный. Эти заряды вызывают появление напряженности электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) р- n -перехода (рис.2,б). При освещении ОПЗ из-за поглощения квантов света в этой области генерируются пары электрон-дырка. Неравновесные носители заряда, генерируемые светом, разделяются внутренним полем р- n -перехода (рис.2,в). В результате накопления электронов в n -области и дырок в р-области между этими областями возникает дополнительная разность потенциалов - фотоэдс (плюс на р-области).



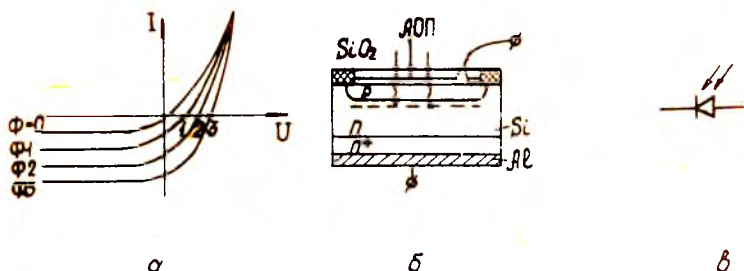
Р и с. 2. Разделение неравновесных носителей заряда в ОПЗ р- n -перехода

С точки зрения энергетической диаграммы р- n -перехода (рис.2,г) неравновесные электроны скатываются с потенциального барьера и попадают в n -область, а дырки, наоборот, в р-область.

Накопление неравновесных носителей в соответствующих областях не может продолжаться беспрестанно, так как одновременно с накоплением дырок в р-области и электронов в n -области происходит понижение высоты потенциального барьера на величину возникшей фотоэдс. Уменьшение высоты потенциального барьера или напряженности внутреннего электрического поля р- n -перехода приводит к появлению дополнительных потоков основных носителей заряда. Стационарное состояние установится тогда, когда число создаваемых пар электрон-дырка сравняется с числом носителей заряда, уходящих за счет потока через р- n -переход и во внешнюю нагрузку, по которой в результате этого

потечет ток. По отношению ко внешней цепи освещенный р-п- переход будет являться фотоэлементом.

В фотодиодном режиме (с подачей обратного смещения на фотодиод) при поглощении квантов света в ОПЗ или в прилегающих к нему областях кристалла полупроводника образование неосновных носителей заряда (пары электрон-дырка) приводит к увеличению обратного тока через р-п- переход. Рис.3 характеризует работу фотодиода.

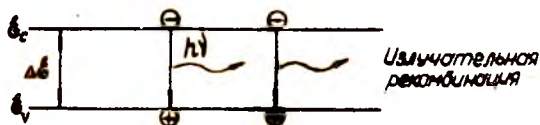


Р и с. 3. Вольт-амперные характеристики планарного фотодиода при различных световых потоках Φ (а), его структура с антиотражающим покрытием (АОП) (б) и его условное обозначение (в). (Точки 1 и 2 на оси U характеризуют значение фотоздс при световых потоках Φ_1 и Φ_2)

1.3. Физические принципы действия светодиода

У полупроводников, находящихся в возбужденном состоянии, может наблюдаться испускание электромагнитного излучения – люминесценция. Явление люминесценции обусловлено рекомбинацией неравновесных носителей заряда.

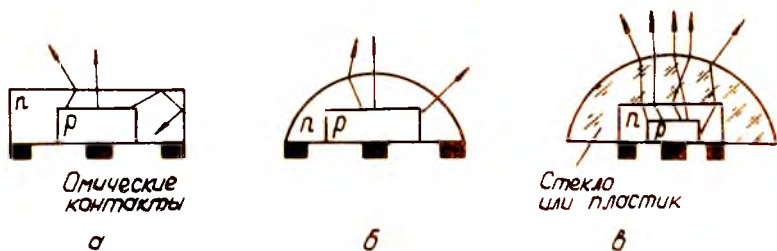
Если рекомбинация заключается в переходе электрона из зоны проводимости непосредственно в валентную зону и уничтожении электрона и дырки как свободных носителей заряда, то ее называют **межзонной**. При межзонной рекомбинации испускается квант света (происходит выделение энергии) $h\nu > \Delta\varepsilon = \varepsilon_c - \varepsilon_v$ (рис.4). Поэтому межзонная рекомбинация называется еще и **излучательной**. В зависимости от источника возбуждения неравновесных носителей заряда различают следующие типа люминесценций: фотолюминесценция, включающая возбуж-



Р и с. 4. Энергетическая диаграмма прямой излучательной рекомбинации

дение оптическим излучением; катодолюминесценция – возбуждение пучком электронов, электролюминесценция – возбуждение электрическим током, протекающим через контакт.

Наиболее просто электролюминесценцию можно получить, используя инжекцию носителей через $p-n$ – переход при пропускании через него прямого тока. В этом случае концентрация неосновных носителей у границ $p-n$ – перехода резко повышается и становится выше равновесной. Диффундируя в глубь полупроводника, неравновесные носители рекомбинируют. Если при этом существенная доля актов рекомбинации происходит с излучением света, то создав условия для выхода этого света наружу, полупроводниковый диод можно использовать как источник излучения (рис.5).



Р и с. 5. Структура светодиодов: а – плоская планарная; б – полусферическая; в – плоская с прозрачным полусферическим покрытием

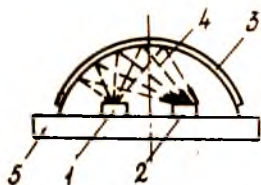
Иногда возбужденное состояние носителей заряда в светодиоде создают подачей обратного напряжения, при котором происходит ударная ионизация атомов полупроводника в $p-n$ – переходе с последующей рекомбинацией неравновесных носителей заряда.

Если бы рекомбинация электронов и дырок после создания тем или иным способом неравновесного состояния, происходила только с излучением квантов света, то внутренний квантовый выход (отношение излученных фотонов к числу рекомбинированных пар носителей) был бы близок к 100%. Однако значительная часть процессов рекомбинации заканчивается выделением энергии в виде элементарных квантов тепловых колебаний кристаллической решетки – фотонов. Такие переходы электронов между энергетическими уровнями называют **б е з и з л у ч а т е л ь н ы м и** (рекомбинация через ловушки). Соотношение между излучательными и безизлучательными переходами зависит от ряда причин, в частности от структуры энергетических зон полупроводника, наличия в

кристалле примесей (ловушек) с большой эффективностью безизлучательных захватов электронов и дырок. Наилучшими с точки зрения величины внутреннего квантового выхода являются светодиоды из арсенида галлия, где получен внутренний квантовый выход, близкий к 100%. В светодиодах на основе других полупроводниковых материалов внутренний квантовый выход значительно ниже (иногда составляет единицы процентов), но и при таких значениях внутреннего квантового выхода излучения светодиода оказывается достаточным для практического использования.

2. КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОПТРОНОВ

Конструкция оптронов могут иметь следующий вид (рис.6):



Р и с. 6. Конструкция оптрона: 1 - светодиод; 2 - фотоприемник; 3 - светоотражающий материал; 4 - световод; 5 - изолирующая подложка

Элементы оптрона связаны прозрачным изолирующим световодом, наружная поверхность которого покрыта слоем светоотражающего материала. Распределение освещенности в плоскости фотоприемников определяется диаграммой направленности светодиода и формой отражающей поверхности световода (см.рис.6, пунктирные линии). Для изготовления оптронов в стандартный технологический цикл создания ГИС добавляются операции формовки световода из эпоксидной смолы ЭД-20 и нанесения светоотражающего покрытия (материал -алюминий).

3. СИСТЕМА ПАРАМЕТРОВ ОПТОПАР

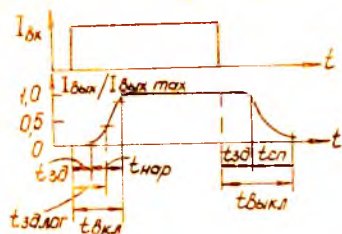
Система формируется из четырех групп параметров и режимов. Первая группа характеризует входную цепь оптопары (входные параметры), вторая - ее выходную цепь (выходные параметры), третья - объединяет параметры, характеризующие степень воздействия излучателя на фотоприемник и связанные с этим особенности прохождения сигнала через оптопару как элемента связи (параметры передаточной характеристики), наконец, четвертая группа объединяет параметры гальванической развязки, значения которых показывают, насколько приближается оптопара к идеальному элементу развязки (см. табл.).

Т а б л и ц а

Наименование параметров	Обозначение
Входное управляющее напряжение	$U_{вх}$
Ток включения или управления (значение тока во входной цепи)	$I_{вкл}$
Максимальное коммутируемое напряжение	$U_{ком макс}$
Максимальный коммутируемый ток (пост)	$I_{ком макс}$
Максимальный коммутируемый ток (имп)	$I_{ком макс имп}$
Максимально допустимое обратное напряжение на управляющих электродах	$U_{упр обр макс}$
Коэффициент передачи тока	K_I
Ток утечки в закрытом состоянии	$I_{ут}$
Нулевое остаточное напряжение	$U_{ост}^0$
Выходная емкость	$C_{вых}$
Время включения	$t_{вкл}$
Время выключения	$t_{выкл}$
Максимально допустимое напряжение между входными и выходными электродами	$U_{изол макс}$
Сопротивление изоляции между входными и выходными электродами	$R_{изол}$
Прходная емкость между входными и выходными электродами	$C_{пр}$
Динамическая помеха	$t_{пом}; U_{пом пор}$

Важнейшим из параметров передаточной характеристики диодной и транзисторной оптопар является коэффициент передачи тока. В некоторых случаях используют дифференциальное значение K_I , определяемое отношением приращений выходного и входного токов, но чаще всего то его значение, которое определяется отношением тока на выходе оптопары к входному току.

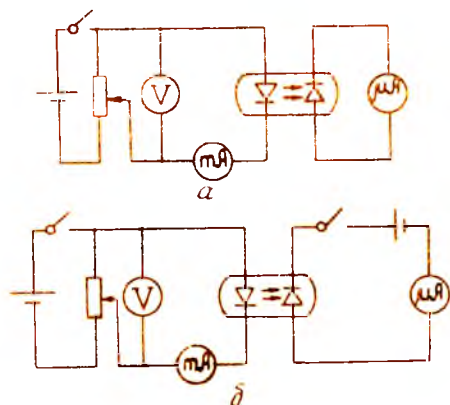
Импульсные параметры оптронов определяются по осциллограммам входных и выходных токов (рис.7). Отсчетными уровнями при изменении параметров $t_{нар(сп)}$, $t_{зад}$ и $t_{вкл(выкл)}$ обычно служат уровни 0,1 и 0,9, полное время логической задержки сигнала определяется по уровню 0,5 амплитуды импульса.



Р и с. 7. Осциллограммы входного и выходного импульсных токов

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Блок-схема установки для изучения оптрона представлена на рис.8.



Р и с. 8. Схемы исследования характеристик оптрона в режимах: а - рентильном, б - фотодиодном

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с исследуемым оптроном типа А0Д101В (внешний вид, топология, принципиальная электрическая схема, назначение выводов, электрические параметры, предельно допустимые электрические режимы эксплуатации).
2. Ознакомиться с приборами экспериментальной установки.
3. Исследовать зависимость входного тока $I_{вх}$, выходного тока $I_{вых}$

и отношении $I_{вых}/I_{вх}$ от входного напряжения $U_{вх}$ в вентильном режиме.

4. Вычислить коэффициент передачи по току при $I_{вх} = 10$ мА.

5. Исследовать зависимость $I_{вых}$ и отношения $I_{вых}/I_{вх}$ от входного напряжения для оптрона в фотодиодном режиме (при обратном напряжении на фотодиоде $U = 5В$).

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Топология оптрона.

2. Чертеж конструкции оптрона в корпусе с обозначением электродов.

3. Таблицы экспериментальных данных.

4. Построить графики и определенные области оптимальной работы по току и напряжению на входе.

5. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

1. Определение оптопары.

2. Классификация и обозначения оптопар.

3. Физические принципы действия фото- и светодиодов.

4. Конструкция и технология оптронов.

5. Основные параметры оптопар.

6. Каково значение K_T в диодном и вентильном режимах.

7. Назовите основные свойства, характерные для оптронов.

8. Основное применение оптронов, достоинства и недостатки.

Л и т е р а т у р а

Носов Ю.Р., Сидоров А.С. Оптоны и их применение. - М.: Радио и связь, 1981. - 280 с.

Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. - М.: Сов. радио, 1977.

Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинко А.Д. Полупроводниковые приборы / Под ред. В.В. Пасынкова. - М.: Высшая школа, 1981.

Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоиздат, 1982. - 744 с.

Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 184 с.