Принцип действия фотодиода

Полупроводниковый фотодиод — это полупроводниковый диод обратный ток которого зависит от освещенности.

Обычно в качестве фотодиода используют полупроводниковые диоды с р-п переходом, который смещен в обратном направлении внешним источником питания. При поглощении квантов света в р-n переходе или в прилегающих к нему областях образуются новые носители заряда. Неосновные носители заряда, возникшие в областях, прилегающих к р-п переходу на расстоянии, не превь,’ ,ающем диффузионной длины, диффундируют в р-п переход и проходя\* через него под действием электрического поля. То есть обратный ток при освещении возрастает. Поглощение квантов непосредственно в р-п переходе приводит к аналогичным результатам. Величина, на которую возрастает обратный ток, называется фототоком.

Характеристики фотодиодов

Свойства фотодиода можно охарактеризовать следующими характеристиками:

Вольт-амперная характеристика фотодиода представляет собой зависимость светового тока при неизменном световом потоке и темнового тока 1т от напряжения.

Световая характеристика фотодиода обусловлена зависимостью фототока от освещенности. При увеличении освещенности фототок возрастает.

Спектральная характеристика фотодиода — это зависимость фототока от длины волны падающего света на фотодиод. Она определяется для больших длин волн шириной запрещенной зоны, а при малых длинах волн большим показателем поглощения и увеличения влияния поверхностной рекомбинации носителей заряда с уменьшением длины волны квантов света. То есть коротковолновая граница чувствительности зависит от толщины базы и от скорости поверхностной рекомбинации. Положение максимума в спектральной характеристике фотодиода сильно зависит от степени роста коэффициента поглощения.

Постоянная времени — это время, в течение которого фото- ток фотодиода изменяется после освещения или после затемнения фотодиода в е раз (63%) по отношению к установившемуся значению.

Темновое сопротивление — сопротивление фотодиода в отсутствие освещения.

Интегральная чувствительность определяется формулой:

где 1ф — фототок, Ф — освещенность.

Инерционность

Существует три физических фактора, влияющих на инерционность:

1. Время диффузии или дрейфа неравновесных носителей через базу т;

2. Время пролета через р-n переход т,;

3. Время перезарядки барьерной емкости р-п перехода, характеризующееся постоянной времени RC6ap.

Толщина р-п перехода, зависящая от обратного напряжения и концентрации примесей в базе, обычно меньше 5 мкм, а значит, т, — 0,1 не. RC6ap определяется барьерной емкостью р-п перехода, зависящей от напряжения и сопротивления базы фотодиода при малом сопротивлении нагрузки во внешней цепи. Величина RC6ap обычно составляет нескольких наносекунд.

Расчет КПД фотодиода и мощности

КПД вычисляется по формуле:

где Росв — мощность освещенности; I — сила тока;

U — напряжение на фотодиоде.

Расчет мощности фотодиода иллюстрирует рис. 2.12 и таблица 2.1.

Рис. 2.12. Зависимость мощности фотодиода от напряжения и силы тока

Максимальная мощность фотодиода соответствует максимальной площади данного прямоугольника.

Таблица 2.1. Зависимость мощности от КПД

Мощность освещенности, мВт

Сила тока, мА

Напряжение, В

КПД, %

1

0,0464

0,24

1,1

3

0,1449

0,41

2

5

0,248

0,26

1,3

7

0,242

0,45

1,6

Применение фотодиода в олтоэлектронике

Фотодиод является составным элементом во многих сложных оптоэлектронных устройствах:

• Оптоэлектронные интегральные микросхемы.

Фотодиод может обладать большим быстродействием, но его коэффициент усиления фототока не превышает единицы. Благодаря наличию оптической связи оптоэлектронные интегральные микросхемы обладают рядом существенных достоинств, а именно: почти идеальная гальваническая развязка управляющих цепей от силовых при сохранении между ними сильной функциональной связи.

• Многоэлементные фотоприемники.

Эти приборы (сканистор, фотодиодная матрица с управлением на МОП-транзисторе, фоточувствительные приборы с зарядовой связью и другие) относятся к числу наиболее быстро развивающихся и прогрессирующих изделий электронной техники. Оптоэлектрический «глаз» на основе фотодиода способен реагировать не только на яркостно-временные, но и на пространственные характеристики объекта, то есть воспринимать его полный зрительный образ.

Число фоточувствительных ячеек в приборе является достаточно большим, поэтому кроме всех проблем дискретного фотоприемника (чувствительность, быстродействие, спектральная область) приходится решать и проблему считывания информации. Все многоэлементные фотоприемники представляют собой сканирующие системы, то есть устройства, позволяющие производить анализ исследуемого пространства путем последовательного его просмотра (поэлементного разложения).

Как происходит восприятие образов?

Распределение яркости объекта наблюдения превращается в оптическое изображение и фокусируется на фоточувствительную поверхность. Здесь световая энергия переходит в электрическую, причем отклик каждого элемента (ток, заряд, напряжение) пропорционален его освещенности. Яркостная картина преобразуется в электрический рельеф. Схема сканирования производит периодический последовательный опрос каждого элемента и считывание содержащейся в нем информации. Тогда на выходе устройства мы получаем последовательность видеоимпульсов, в которой закодирован воспринимаемый образ.

При создании многоэлементных фотоприемников стремятся обеспечить наилучшее выполнение ими функций преобразования и сканирования. • Оптроны.

Оптроном называется такой оптоэлектронный прибор, в котором имеются источник и приемник излучения с тем или иным видом оптической связи между ними, конструктивно объединенные и помещенные в один корпус. Между управляющей цепью (ток в которой мал, порядка нескольких мА), куда включен излучатель, и исполнительной, в которой работает фотоприемник, отсутствует электрическая (гальваническая) связь, а управляющая информация передается посредством светового излучения.

Это свойство оптоэлектронной пары (а в некоторых видах оптронов присутствует по несколько не связанных друг с другом даже оптически оптопар) оказалось незаменимым в тех электронных узлах, где нужно максимально устранить влияние выходных электрических цепей на входные. У всех дискретных элементов (транзисторов, тиристоров, микросхем, являющихся коммутационными сборками, или микросхем с выходом, позволяющим коммутировать нагрузку большой мощности) управляющие и исполнительные цепи электрически связаны друг с другом. Это часто недопустимо, если коммутируется высоковольтная нагрузка. К тому же, возникающая обратная связь неминуемо приводит к появлению дополнительных помех.

Конструктивно фотоприемник обычно крепится на дне корпуса, а излучатель — в верхней части. Зазор между излучателем и фотоприемником заполнен иммерсионным материалом — чаще всего эту роль выполняет полимерный оптический клей. Этот материал исполняет роль линзы, фокусирующей излучение на чувствительный слой фотоприемника. Иммерсионный материал снаружи покрыт специальной пленкой, отражающей световые лучи внутрь, чтобы препятствовать рассеянию излучения за пределы рабочей зоны фотоприемника.

Роль излучателей в оптронах, как правило, выполняют светодиоды на основе арсенид-галлия. Светочувствительные элементы в оптопарах могут представлять собой фотодиоды (оптопары серии АОД…), фототранзисторы, фототринисторы (оптопары серии АОУ.,.) и высокоинтегрированные схемы фотореле. В диодной оптопаре, например, в качестве фотоприемного элемента используется фотодиод на основе кремния, а излучателем служит инфракрасный излучающий диод. Максимум спектральной характеристики излучения диода приходится на длину волны около 1 мкм. Диодные оптопары применяются в фотодиодном и фотогенераторном режимах.

Транзисторные оптроны (серия АОТ…) имеют некоторые преимущества относительно диодных. Коллекторным током биполярного транзистора управляют как оптически (воздействуя на светодиод), так и электрически по базовой цепи (в данном случае работа фототранзистора при отсутствии излучения управляющего светодиода оптрона практически не отличается от работы обыкновенного кремниевого транзистора). У полевого транзистора управление осуществляется через цепь затвора.

Кроме того, фототранзистор может работать в ключевом и усилительных режимах, а фотодиод — только в ключевом. Оптроны с составными-транзисторами (например, АОТ1ЮБ), имеют наибольший коэффициент усиления (как и обычный узел на составном транзисторе), могут коммутировать напряжение и ток достаточно больших величин и по данным параметрам уступают только тиристорным оптронам и оптоэлектронным реле типа КР293КП2 — КР293КП4, которые приспособлены для коммутации высоковольтных и сильноточных цепей. Сегодня в розничной продаже появились новые оптоэлектронные реле серий К449 и К294. Серия К449 позволяет коммутировать напряжение до 400 В при токе до 150 мА. Такие микросхемы в четырехвы- водном компактном корпусе DIP-4 приходят на смену маломощным электромагнитным реле и имеют по сравнению с реле массу преимуществ (бесшумность работы, надежность, долговечность, отсутствие механических контактов, широкий диапазон напряжения срабатывания). Кроме того, их доступная цена объясняется тем, что нет необходимости использовать драгметаллы (в реле ими покрываются коммутирующие контакты).

В резисторных оптронах (например, ОЭП-1) и-злучателями являются электрические минилампы накаливания, помещенные также в один корпус.

Графическим обозначениям оптронов по ГОСТу присвоен условный код — латинская буква U, после которой следует порядковый номер прибора в схеме.

В главе 3 книги описаны приборы и устройства, иллюстрирующие применение оптронов.

Применение фотоприемников

Любое оптоэлектронное устройство содержит фотоприемный блок. И в большинстве современных оптоэлектронных устройств фотодиод составляет основу фотоприемника.

обладают наилучшим сочетанием фотоэлектрических параметров, основных с точки зрения использования в оптоэлектронике: высокие значения чувствительности и быстродействия, малые значения паразитных параметров (например, тока утечки). Простота их устройства позволяет достигнуть физического и конструктивного оптимума и обеспечить наиболее полное использование падающего света.

В сопоставлении с другими, более сложными фотоприемниками, они обладают наибольшей стабильностью температурных характеристик и лучшими эксплуатационными свойствами.

Основной недостаток, на который обычно указывают, — отсутствие усиления. Но он достаточно условен. Почти в каждом оп- тоэлектронном устройстве фотоприемник работает на ту или иную согласующую электронную схему. И введение усилительного каскада в нее значительно проще и целесообразнее, чем придание фотоприемнику несвойственных ему функций усиления.

Высокая информационная емкость оптического канала, связанная с тем, что частота световых колебаний (около 1015 Гц) в 103…104 раз выше, чем в освоенном радиотехническом диапазоне. Малое значение длины волны световых колебаний обеспечивает высокую достижимую плотность записи информации в оптических запоминающих устройствах (до 108 бит/см2).

Острая направленность (кучность) светового излучения, обусловленная тем, что угловая расходимость луча пропорциональна длине волны и может быть меньше одной минуты. Это позволяет концентрированно и с малыми потерями передавать электрическую энергию в любую область пространства.

Возможность двойной — временной и пространственной — модуляции светового луча. Так как источник и приемник в опто- электронике не связаны друг с другом электрически, а связь между ними осуществляется только посредством светового луча (электрически нейтральных фотонов), то они не влияют друг на друга. И поэтому в оптоэлектронном приборе поток информации передается лишь в одном направлении — от источника к приемнику. Каналы, по которым распространяется оптическое излучение, не воздействуют друг на друга и практически не чувствительны к электромагнитным помехам, что определяет их высокую помехозащищенность.

Важная особенность фотодиодов — высокое быстродействие. Они могут работать на частотах до нескольких МГц. обычно изготовляют из германия или кремния.

Фотодиод является потенциально широкополосным приемником. Этим обуславливается его повсеместное применение и популярность.

ИК спектра

Инфракрасный излучающий диод (ИК диод) представляет собой полупроводниковый диод, который при протекании через него прямого тока излучает электромагнитную энергию в инфракрасной области спектра.

В отличие от видимого человеческим глазом спектра излучения (какое, например, производит обычный светоизлучающий диод на основе фосфида галлия) ИК излучение не может быть воспринято человеческим глазом, а регистрируется с помощью специальных приборов, чувствительных к данному спектру излучения. Среди популярных фотоприемных диодов ИК спектра можно отметить фоточувствительные приборы МДК-1, ФД263-01 и подобные им.

Спектральные характеристики ИК излучающих диодов имеют выраженный максимум в интервале волн 0,87…0,96 мкм. Эффективность излучения и КПД данных приборов выше, чем у светоизлучающих диодов.

На основе ИК диодов (которые в электронных конструкциях занимают важное место передатчиков импульсов ИК спектра) конструируются волоконно-оптические линии (выгодно отличающиеся своим быстродействием и помехозащищенностью), многоплановые электронные бытовые узлы и, конечно же, электронные узлы охраны. В этом есть свое преимущество, т.к. ИК луч невидим человеческим глазом и в некоторых случаях (при условии использования нескольких разнонаправленных ИК лучей) определить визуально наличие самого охранного устройства невозможно до его перехода в режим «тревога»). Опыты работы в сфере производства и обслуживания систем охраны на основе ИК излучателей позволяют все же дать некоторую рекомендацию по определению рабочего состояния ИК излучателей.

Если близко всмотреться в излучающую поверхность ИК диода (например, АЛ147А, АЛ156А), когда на него подан сигнал управления, то можно заметить слабое красное свечение. Световой спектр этого свечения близок к цвету глаз животных альбиносов (крыс, хомяков и т.д.). В темноте ИК свечение еще более выражено. Необходимо заметить, что длительное время всматриваться в излучающий ИК световую энергию прибор нежелательно с медицинской точки зрения.

Кроме систем охраны, ИК излучающие диоды в настоящее время находят применение в брелоках сигнализации для автомобилей, различного рода беспроводных передатчиках сигналов на расстояние. Например, подключив к передатчику модулированный НЧ сигнал от усилителя, с помощью ИК приемника на некотором расстоянии (зависит от мощности излучения и рельефа местности) можно прослушивать звуковую информацию, телефонные переговоры также можно транслировать на расстояние. Этот способ сегодня менее эффективен, но все же является альтернативным вариантом домашнему радиотелефону. Самым популярным (в быту) применением ИК излучающих диодов являются пульты дистанционного управления различными бытовыми приборами.

Как может легко убедиться любой радиолюбитель, вскрыв крышку ПДУ, электронная схема этого прибора не сложна и может быть повторена без особых проблем. В радиолюбительских конструкциях, некоторые из которых описаны в третьей главе данной книги, электронные устройства с ИК излучающими и приемными приборами намного проще, чем промышленные устройства.

Параметры, определяющие статические режимы работы ИК диодов (прямое и обратное максимально допустимое напряжение, прямой ток и т.д.) сходны с параметрами фотодиодов. Основными специфическими параметрами, по которым их идентифицируют, для ИК диодов являются:

Мощность излучения — Ризл — поток излучения определенного спектрального состава, излучаемого диодом. Характеристикой диода, как источника ИК излучения, является ватт-амперная характеристика — зависимость мощности излучения в Вт (милливаттах) от прямого тока, протекающего через диод. Диаграмма направленности излучения диода показывает уменьшение мощности излучения в зависимости от угла между направлением излучения и оптической осью прибора. Современные ИК диоды различаются между имеющими остронаправленное излучение и рассеянное.

При конструировании электронных узлов следует учитывать, что дальность передачи ИК сигнала прямо зависит от угла наклона (совмещения передающей и приемной частей устройства) и мощности ИК диода. При взаимозаменах ИК диодов необходимо учитывать этот параметр мощности излучения. Некоторые справочные данные по отечественным ИК диодам приведены в табл. 2.2.

Данные по взаимозаменам зарубежных и отечественных приборов приведены в приложении. Сегодня наиболее популярными типами ИК диодов среди радиолюбителей считаются приборы модельного ряда АЛ 156 и АЛ147. Они оптимальны по универсальности применения и стоимости.

Импульсная мощность излучения — Ризл им — амплитуда потока излучения, измеряемая при заданном импульсе прямого тока через диод.

Ширина спектра излучения — интервал длин волн, в котором спектральная плотность мощности излучения составляет половину максимальной.

Максимально допустимый прямой импульсный ток 1пр им (ИК диоды в основном используются в импульсном режиме работы).

Таблица 2.2. Излучающие диоды инфракрасного спектра

ИК диод

Мощность излучения, мВт

Длина волны, мкм

Ширина спектра, мкм

Напряжение на приборе, В

Угол излучения, град

АЛ107Б

9

0,94…0,96

0,03

2

60

АЛ107Г

12

0,94…0,96

0,03

2

60

АЛ145Д

20

0,93…0,98

0,06

1,6

40

АЛ156В

12

0,82…0,9

0,04

1,8

35

АЛ161А

8

0,83…0,9

0,07

1,5

10

АЛ165Б

15

0,85…0,89

0,04

2

35

АЛ165В

400

0,85…0,9

нет данных

1,6

нет данных

АЛ170В

100

0,85…0,89

0,1

1,5

4

Время нарастания импульса излучения tHap изл — интервал времени, в течение которого мощность излучения диода нарастает с 10 до 100% от максимального значения.

Параметр времени спада импульса tcnM3J1 аналогичен предыдущему.

Скважность — Q — отношение периода импульсных колебаний к длительности импульса.

В основе предлагаемых к повторению электронных узлов (глава 3 данной книги) лежит принцип передачи и приема модулированного ИК сигнала. Но не только в таком виде можно использовать принцип работы ИК диода. Такие оптореле могут работать и в режиме реагирования на отражение лучей (фотоприемник размещается рядом с излучателем). Этот принцип воплощен в электронные узлы, реагирующие на приближение к объединенному приемо-передающему узлу какого-либо предмета или человека, что также может служить датчиком в системах охраны.

Вариантов применения ИК диодов и устройств на их основе бесконечно много и они ограничиваются только эффективностью творческого подхода радиолюбителя.