10апреля гр.22М Электротехника.

 Тема урока: Фотоэлектрические приемники электрической энергии Фоторезисторы, фототранзисторы: устройство, принцип работы, схемы включения

Источники уч. «Электротехника и электроника» Немцов М.В. Немцова М.Л Стр.370 -- 375

Интернет ресурсы.

 ***Фоторезисторы***

*Фоторезистором называют полупроводниковый фотоэлектрический прибор с внутренним фотоэффектом, в котором используется явление фотопроводимости, т. е. изменения электрической проводимости полу- проводника при его освещении.* Впервые явление фотопроводимости было обнаружено у селена в 1873 г. У. Смитом. Хотя внутренний фотоэффект наблюдается во всех полупроводниках, в фоторезисторах используют лишь некоторые из них, обладающие наиболее высокой фотопроводимостью. К ним относятся сульфиды, селениды и теллуриды таких металлов, как кадмий, висмут, свинец и таллий, некоторые окислы, интерметаллические соединения, а также селен, германий и кремний.

Одной из основных является энергетическая характеристика фото­тока фоторезистора, т. е. зависимость фототока /Ф от потока излучения Ф, измеряемого в люменах (рис. 5.2). Видно, что при малых значениях светового потока характеристику можно считать линейной, а при боль­ших значениях фототок не пропорционален световому потоку.

Вольт-амперные характеристики большинства фоторезисторов ли­нейны (рис. 5.3), однако в некоторых случаях при повышении напря­жения линейность нарушается,

 

На величину фототока /Ф оказывает влияние также спектральный состав светового потока. Зависимость относительной величины фототока от длины волны излучения ***X*** при постоянном световом потоке опреде­ляет спектральную характеристику. На рис. 5.4 приведена в качестве примера зависимость /Ф//Ф max (X) фоторезистора из сульфида кадмия. Спектральные свойства фоторезисторов принято характеризовать дли­ной волны Ашах, соответствующей максимуму чувствительности, и порогом фотоэффекта, равным длине волны ***Х0,*** при которой чувстви­тельность составляет ***1%*** от максимальной. Длинноволновый порог фотоэффекта составляет для фоторезисторов из сульфида кадмия (сернистого кадмия) 0,8—0,9 мкм, из селенида кадмия — 3,3 мкм, из селенида свинца — 4,6 мкм. Фоторезисторы с большим порогом фотоэффекта ***Х0*** используют в качестве приемников инфракрасного из­лучения.

Фоторезисторы обладают значительной инерционностью, обу­словленной временем генерации и рекомбинации электронов и дырок, происходящих при изменении освещенности фоторезистора. Время установления стационарной величины фотопроводимости называется временем фотоответа фоторезистора. Время фотоответа определяет мак­симально допустимую частоту модуляции светового потока, т. е. час­тотный диапазон работы фоторезистора.

**Фотодиоды —** полупроводниковые фотоэлектрические приборы с внутренним фотоэффектом, имеющие один электронно-дырочный переход и два вывода. Фотодиоды могут работать в одном из двух режимов:
1) без внешнего источника питания (режим фотогенератора); 2) с внешним источником питания (режим фотопреобразователя).

В первом режиме используется фотогальванический эффект —разновидность внутреннего фотоэффекта, связанная с образованием разности потенциалов (фото-э. д. с.) при освещении неоднородного полупроводника. В этом случае фотодиод представляет собой фотогальванический элемент, преобразующий лучистую энергию в электрическую. Фотодиоды, как и обычные полупроводниковые диоды, состоят из двух примесных полупроводников с различными типами электропроводности, на границе между которыми создается р-п-переход Фотодиоды изготовляют из германия, кремния, селена, сернистого серебра, арсенида галлия, арсенида индия, сульфида кадмия, теллурида кадмия и других полупроводниковых материалов. Обычно устройство фотодиодов таково, что световой поток при освещении прибора направлен перпендикулярно плоскости р-п-перехода (рис. 5.6). При отсутствии освещения и внешнего источника питания в области *р-п*-перехода возникает, как и в любом полупроводниковом диоде, потенциальный барьер, обусловленный неподвижными носителями заряда — положительными
ионами в «-области и отрицательными ионами в р-области.

При падении светового потока на фотодиод, фотоны, проходя в толщу полупроводника, сообщают части валентных электронов энергию, достаточную для перехода их в зону проводимости. В результате в обеих областях увеличивается число пар свободных носителей заряда
(основных и неосновных), т. е. дырок и электронов. Под действием контактной разности потенциалов (потенциального барьера) р-п-перехода
неосновные носители заряда «-области — дырки — переходят в р-область, а неосновные носители заряда р-области — электроны — в «-область.

 Устройство фотодиода

Режим фотопреобразователя соответствуют подаче напряжения на фотодиод в запирающем направлении (участок *ав* на рис. ). Вольт- амперные характеристики фотодиода в этом режиме при разных зна­чениях световых потоков показаны на рис. 5.9. Эти характеристики аналогичны коллекторным характеристикам транзистора, включенно­го по схеме с общей базой, только параметром является не ток эмитте­ра, а световой поток фотодиода. При наличии нагрузочного резистора *RH,* включенного последовательно с источником э. д. с. *Еа* (рис. 5.10), величины тока / и напряжения £/вых можно определить, построив

 ВВольтамперная характе

Вольтамперные ристика фотодиода в режиме фотогенератора.

характеристики фотодиода



Вольтамперная характеристика

Фотодиода в режиме фотопреобразователя.

***Лавинные фотодиоды.*** Если в фотодиодах использовать электрический пробой, сопровождающийся лавинным умножением носителей заряда, как в полупроводниковых стабилитронах, то фототок, а следовательно, и чувствительность значительно возрастут. Темновой ток лавинного фотодиода имеет примерно ту же величину, что и обычный фотодиод, однако при освещении характеристики этих фотодиодов существенно отличаются. Чувствительность лавинных фотодиодов может быть на несколько порядков больше, чем у обычных фотодиодов

(у германиевых в 200—300 раз, а у кремниевых в 104—10е раз). Спектральный диапазон чувствительности кремниевых лавинных фотодиодов составляет 0,35—1,13 мкм. Лавинные фотодиоды являются быстродействующими фотоэлектрическими приборами, их частотный

диапазон может достигать 10 ГГц. Недостатком лавинных фотодиодов является более высокий уровень шумов по сравнению с обычными фотодиодами. Лавинные фотодиоды можно применять для обнаружения световых сигналов и счета световых импульсов в релейных устройствах автоматики. Поскольку рабочая поверхность мала, в конструкции этих приборов иногда предусматривают фокусирующие световоды.

***Фототранзисторы.*** Фототранзистор — полупроводниковый фотоэлектрический прибор с двумя р-п-переходами. Чаще всего фототранзистор изготовляют как обычный плоскостной транзистор из германия или кремния, но лишь с двумя выводами — коллекторным и эмиттериым. Устройство и схема включения фототранзистора приведены на рис.. В фототранзисторе типа р-п-р используют источник коллекторного напряжения, который включают так, чтобы коллектор имел отрицательный относительно эмиттера потенциал. Световой поток Ф падает на базовую область, поэтому эмиттер делают тонким и небольших размеров. Под действием фотонов в базе образуются новые пары носителей заряда — электроны и дырки. В фототранзисторе типа р –п –р неосновные носители заряда в базе (дырки) движутся через коллекторный переход, поле которого является для них ускоряющим, на коллектор, создавая фототок. Электроны, оставшиеся в базе, воздействуют на эмиттерный переход, уменьшая высоту потенциального барьера, что способствует переходу дырок из эмиттера в базу, Эти дырки движутся через базу на коллектор, вызывая усиления фототока фототранзистора.

 Устройство (а) и схема включения (б) фототранзистора

***Фототиристоры. Фототиристор*** — полупроводниковый фотоэлектрический прибор с тремя р-п-переходами, в вольт-амперной характеристике которого имеется участок, соответствующий отрицательному дифференциальному сопротивлению.

Фототиристоры. Аналогично обычным тиристорам их изготовляют обычно из кремния в виде структуры р-п-р-п (рис ) Источник напряжения подключают к фототиристору, таким образом, чтобы напряжение на переходы П1 и П3 подавалось в прямом направлении, а на переход П., — в обратном. При отсутствии освещения работа фототиристора не отличается от работы обычного тиристора. Вольт-амперная характеристика фототиристора при световом потоке Ф — О (рис. 5.16) соответствует характеристике тиристора при управляющем токе /у = 0. Если напряжение, подведенное к фототиристору, не превышает напряжения Uвкл, при котором происходит резкое увеличение тока тиристора за счет лавинного умножения, то ток фототиристора, обусловленный движением неосновных носителей заряда через переход /7а, имеет очень небольшую величину и представляет собой тем-новой ток.

При освещении фототиристора при определенной частоте светового излучения за счет энергии фотонов в. освещаемой области полупроводника возникают новые свободные носители заряда (электроны и дырки). Электроны, возникшие в р2-области базы и являющиеся для нее неос­новными носителями заряда, диффундируют к переходу Я2, поле ко­торого является ускоряющим, и попадают в *п*х-область базы. Часть электронов проходит через переход *П1* и попадает на анод, увеличивая ток фототиристора. Другая часть электронов, приближаясь к пере­ходу *П1,* рекомбинирует с неподвижными положительными ионами, уменьшая тем самым толщину р-п-перехода и высоту потенциально­го барьера. Благодаря этому облегчаются условия для инжекции дырок из рх-области базы в %-область базы, что приводит к увеличению тока фототиристора. В то же время дырки, образованные в р2-областибазы за счет ее освещения, уменьшают высоту потенциального барьера перехода *П*3, что также способствует увеличению тока фототиристора.

Из сопоставления рис. 5.14 и 5.16 видно, что вольт-амперные ха­рактеристики фототранзисторов и фототиристоров существенно от­личаются друг от друга

 

Схема включения фототиристора. Вольтамперные характеристики

 фототиристора.

Ответить на вопросы.

1 Объяснить устройство фоторезистора. Назвать области применения.

2. Объяснить работу фотодиодов, изобразить вольтамперные характеристики фотодиодов.

3.Что представляет собой фототиристор, его работа и применение.

**Отчет присылать на электронную почту nade2hda.boyko@yandex**