

Электроника для любознательных.

Часть 6. Фотоэлектронные приборы.

1. Свет и его особенности.

▪ **Источником света называется тело, испускающее свет самостоятельно.**

Например, Солнце, звёзды, электрические лампы, пламя и т. д.

▪ **Свет представляет собой электромагнитные волны очень малой длины волны (вспомни радиоволны).**

▪ **Скорость распространения света около 300 000 км/с.**

▪ **Световые волны переносят энергию от источника света к другим предметам прямолинейно.**

Например, если Солнце светит вам в глаза, то вы закрываете их ладонью и от ладони образуется тень.

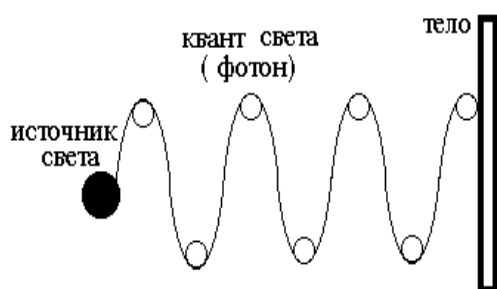


Рис. 1. Распространение света.

Хотя свет распространяется волнами, источник света излучает свет не непрерывно, а отдельными порциями, получившими название **квантов света** или **фотонов (Рис. 1)**.

Свет представляет собой электромагнитные волны очень малой длины волны – в несколько десятых микрона. Причём, глаз видит только в определённом диапазоне длин волн.

Белый свет, который мы видим, состоит из семи цветов: **красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего и фиолетового.**

Чувствительность глаза к свету различной длины волны (разного цвета) весьма различна. Так, при одной и той же мощности потока, зрительное ощущение от лучей зелёного цвета будет примерно в 100 раз больше, чем от лучей красного или сине-фиолетового цвета. Поэтому для зрительной оценки световых потоков необходимо знать чувствительность глаза к свету различной длины волны или так называемую кривую видимости (**рис. 2**). На этой кривой показана относительная чувствительность v_λ человеческого глаза в зависимости от длины волны λ . Так красный свет имеет длину волны 675 мкм, голубой 470 мкм, зелёный 555 мкм. Источники света испускают также свет, который человеческий глаз не видит. Это волны короче 370 мкм (ультрафиолетовые) и длиннее 800 мкм (инфракрасные волны). Свет с такой длиной волны могут улавливать специальные приборы. На **рис. 3** представлена шкала электромагнитных волн.

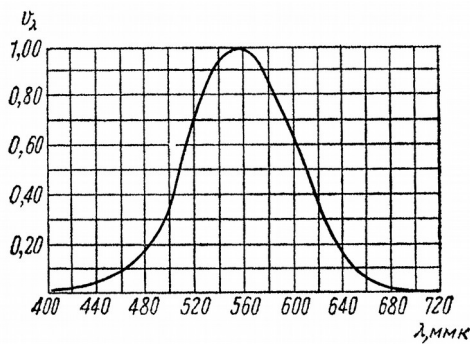


Рис. 2. Кривая видимости.

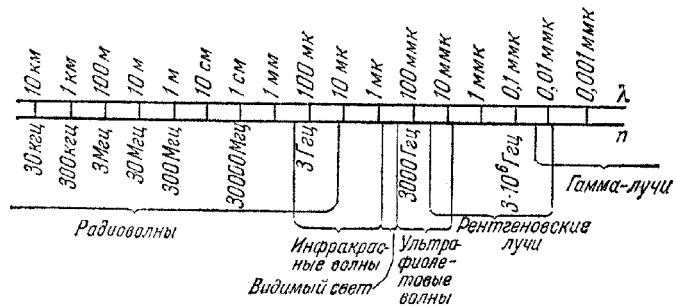


Рис. 3. Шкала электромагнитных волн. 1 микрон (мк) = 0,001 мм; 1 миллимикрон (ммк) = 0,001 мк = 10^{-6} мм; 1 Гц = 10^6 МГц = 10^{12} Гц.

2. Действие света на вещество.

Световая волна, падающая на тело, частично отражается от него, частично проходит насквозь, частично поглощается (рис. 4).

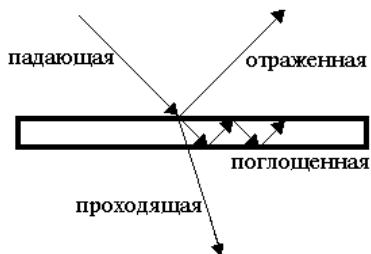


Рис. 4. Распределение падающей световой волны на тело.

В большинстве случаев энергия поглощённой световой волны целиком переходит в тепло, т. е., нагревает тело. Например, камень в солнечный день нагревается на солнце.

Нередко, однако, часть этой поглощённой энергии вызывает и другие явления: **фотоэлектрический эффект** (образование тока), **фотолюминесценцию** (образование свечения), **фотохимические превращения** (под действием света образуются новые вещества).

превращения (под действием света образуются новые вещества).

3. Фотоэлектрический эффект.

▪ Если мы будем облучать некоторые вещества светом, то кванты света будут сталкиваться с электронами атомов и отдавать им свою энергию, которая позволит электрону не только покинуть свой атом, но и покинуть вещество — такое явление называется **внешним фотоэффектом**.

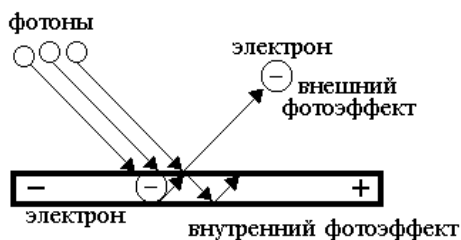


Рис. 5. Фотоэлектрический эффект.

▪ Когда электроны под действием света покидают свой атом, но не покидают вещество, то такое явление называется **внутренним фотоэффектом** (обычно это происходит в полупроводниках).

Теперь, если мы создадим электрическое поле, то выбитые светом электроны начнут двигаться вдоль поля, образуя электрический ток (рис. 5).

4. Фотоэлектронные приборы.

▪ **Фотоэлектронные приборами называют приборы, в которых осуществляется преобразование светового излучения в электрический ток.**

По виду рабочей среды фотоэлектронные приборы делятся на электровакуумные (электронные, ионные) (рис. 6) и полупроводниковые (рис. 7).



Рис. 6. Фотоэлектронные приборы с внешним фотоэффектом.

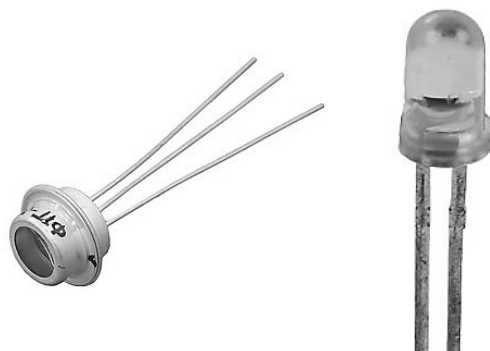


Рис. 7. Фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом.

По виду фотоэлектрического эффекта, лежащего в основе действия прибора, различают:

- **фотоэлектронные приборы с внешним фотоэффектом (электронные и ионные фотоэлементы, фотоумножители);**
- **фотоэлектрические приборы с внутренним фотоэффектом в однородных структурах (фоторезисторы);**
- **фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом в р-п структурах (полупроводниковые фотоэлементы, фотодиоды, фототранзисторы).**

4.1. Фотоэлектронные приборы с внешним фотоэффектом.

Устройство электровакуумного фотоэлемента показана на рис. 8. В стеклянном баллоне, в высоком вакууме, размещены два электрода – катод и анод. Анодом обычно является небольшое металлическое кольцо, расположенное в центре баллона, катодом – тонкий светочувствительный слой, нанесённый на внутреннюю поверхность баллона.

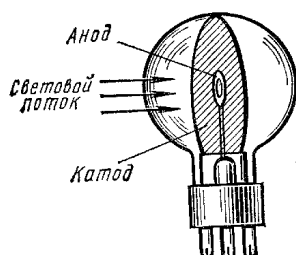


Рис. 8. Электровакуумный фотоэлемент.

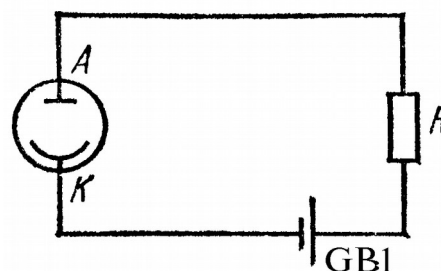


Рис. 9. Схема включения фотоэлемента.

Схема включения фотоэлемента показана на **рис. 9**. В цепи анода *A* находится источник постоянного напряжения $150 - 200 \text{ В}$ и нагрузка *R*. При освещении фотоэлемента его катод *K* начинает эмитировать электроны и в анодной цепи возникает ток, величина которого пропорциональна интенсивности светового потока.

4.2. Ионные фотоэлементы.

При наполнении фотоэлемента инертным газом (гелием, неоном и др.) появляется возможность повысить чувствительность прибора за счёт несамостоятельного газового разряда. Принцип работы ионного (газонаполненного) фотоэлемента показан на **рис. 10**.

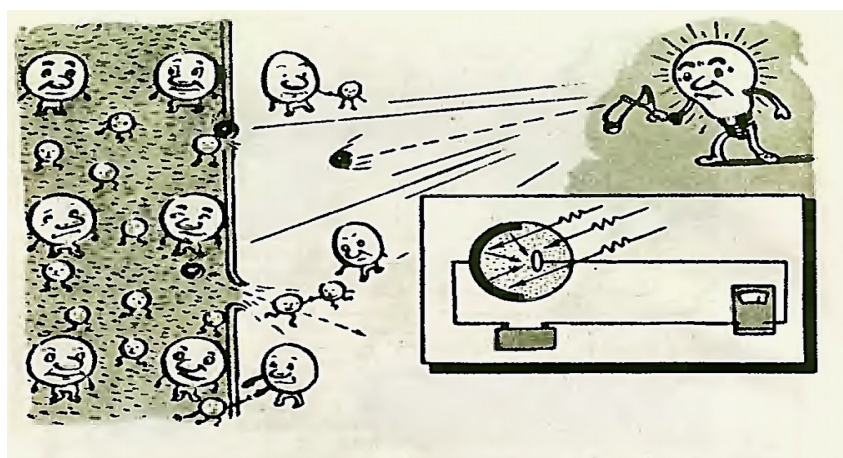


Рис. 10. Газонаполненный фотоэлемент. Вылетающие из катода электроны отрывают от молекул газа новые электроны. Ионы газа, ударяясь о катод, также выбивают дополнительные электроны. Всё это увеличивает фототок.

4.3. Фотоэлектронные умножители.

Фототок электронных фотоэлементов очень мал, и практически необходимо его значительное усиление. Для этого используется вторичная эмиссия.

Электроны, вылетающие из фотокатода (**рис. 11**) под действием света, направляются электрическим (или магнитным) полем на обладающий значительным коэффициентом вторичной эмиссии электрод **Э1**, называемый динодом.

Материал, из которого электрон при столкновении может выбить более одного электрона, называется материалом, обладающим **вторичной эмиссией**, а выбитые из него электроны **вторичными электронами**).

Выбитые из динода вторичные электроны направляются на следующий динод, имеющий более высокий потенциал, и также выбивают из него вторичные электроны в ещё большем количестве (лавинообразный процесс) и т. д.

На **рис.12** представлен общий вид и обозначение на схемах фотоэлектронного умножителя.

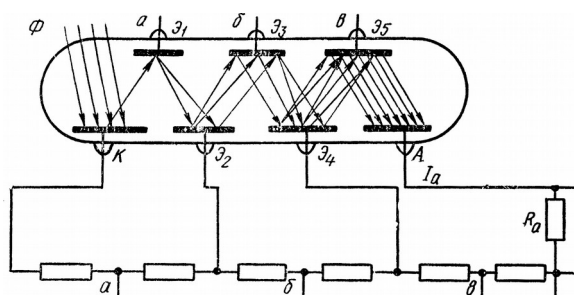
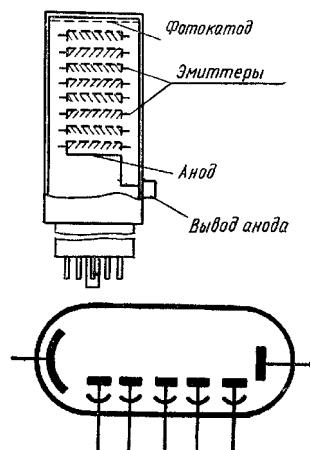


Рис. 11. Устройство и схема включения фотоэлектронного умножителя.



а). б).

Рис. 12: а). Общий вид ФЭУ; б). Обозначение на схемах.

5. Фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом.

▪ **Явление, когда поток фотонов, падающий на полупроводник, создаёт в нём значительное количество подвижных носителей заряда – электронов и дырок, называется внутренним фотоэффектом.**

Фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом не нуждаются во вспомогательной батарее, имеют небольшие размеры и могут быть изготовлены различной формы.

5.1. Фоторезисторы.

Представляют собой тонкий слой полупроводника, нанесённый на стеклянную или кварцевую пластину, запрессованную в круглый, овальный или прямоугольный пластмассовый корпус небольших размеров.

Материалом для изготовления токопроводящего слоя фоторезистора может служить ряд полупроводниковых веществ: сернистый свинец PbS (фоторезисторы ФСА), селенид кадмия CdSe (фоторезисторы ФСД), сернистый кадмий CdS (фоторезисторы ФСК), а также селенид свинца PbSe. Каждый материал чувствителен к свету определённой длины волны на **рис. 13** представлены спектральные характеристик этих материалов.

Под действием света в полупроводнике образуется много электронов, которые захватываются электрическим полем, образуют электрический ток (**рис. 14**).

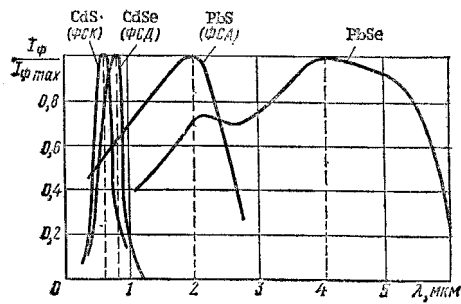


Рис. 13. Спектральные характеристики фоторезисторов.

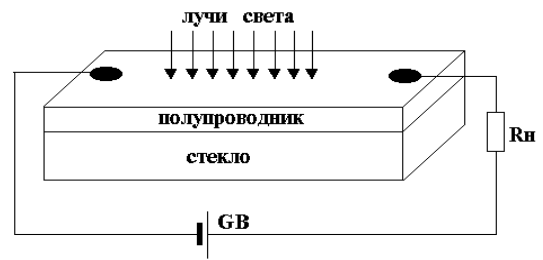
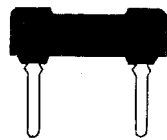


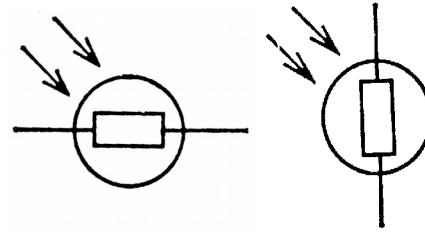
Рис. 14. Принцип работы фоторезистора.

Чем больше ток, тем меньше сопротивление (закон Ома при постоянном напряжении). Значит, под действием света фоторезистор меняет своё сопротивление (от самого большого при темноте, до самого маленького при сильном освещении).

Общий вид фоторезистора **ФСК-1** и обозначение его на схемах приведены на **рис. 15, а, б**.



а).



б).

Рис. 15. Фоторезисторы: **а).** Общий вид фоторезистора ФСК-1; **б).** Обозначение на схемах фоторезисторов.

5.2. Фотодиоды.

▪ Это полупроводниковый диод, в котором возможно управление величиной обратного тока с помощью света.

Фотодиоды создаются на основе р – n перехода.

При воздействии света на полупроводник образуются только неосновные носители. Чем больше света попадает на поверхность, тем больше неосновных носителей и тем больше становится обратный ток (**рис. 16**).

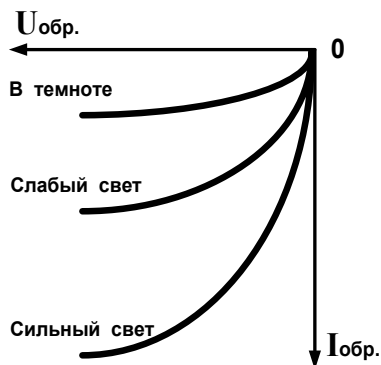


Рис. 16. Зависимость тока от

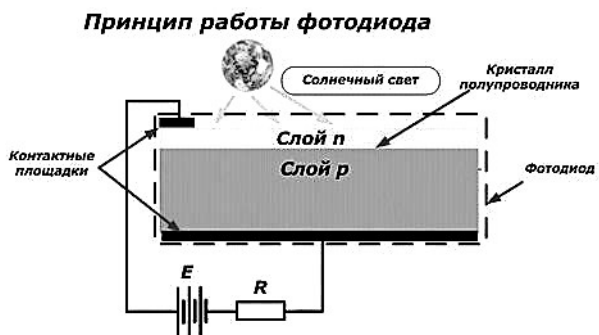


Рис. 17. Принцип работы фотодиода.

освещения полупроводника.

При освещении р – n перехода кванты света передают свою энергию электронам на внешней орбите атомов и они покидают его. Образуется пара «дырка» (свободное место у атома) и свободный электрон. Так как эти носители неосновные, то они направляются в противоположные области: электрон в "р-область", дырка в "n-область" (рис. 17). В этих областях они начинают накапливаться (как у конденсатора). При замыкании внешней нагрузкой двух этих областей в цепи образуется электрический ток.



Рис. 18. Устройство фотодиода.

Устройство фотодиода показано на рис. 18. На тонкую пластину кремния наплавлен тонкий слой бора (у бора на последней орбите 3 электрона).

Атомы бора проникают в кремний и создают в пластине кремния зону с дырочной проводимостью (смотри образование дырочной проводимости).

Зона с дырочной проводимостью и кремний образуют р – n переход. Снизу на кремний нанесён толстый контактный слой металла. Поверхность бора покрыта прозрачной для света плёнкой металла, являющей электрическим контактом.

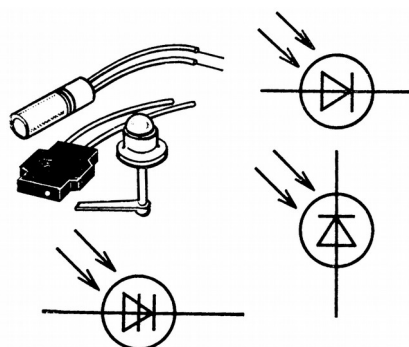


Рис. 19. Общий вид фотодиодов и их обозначение на схемах.

Фотодиод, имеющий площадь поверхности светочувствительного слоя около 1 см², при прямом солнечном освещении может дать ток 20 – 25 мА.

Общий вид фотодиодов и их обозначения на схемах представлены на рис. 19 и они маркируются ФД (например: ФД-1, ФД-9).

5.3. Фототранзистор.

▪ Фототранзисторы представляют собой плоскостные полупроводниковые триоды без вывода базы.

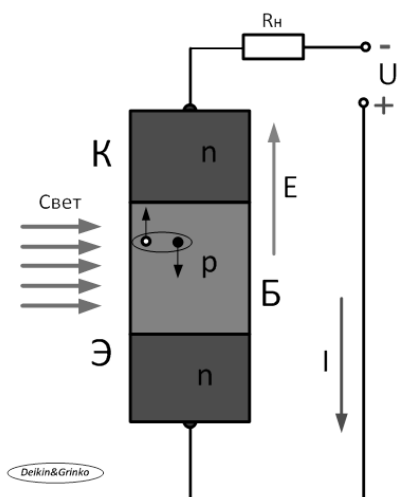


Рис. 20. Работа фототранзистора.

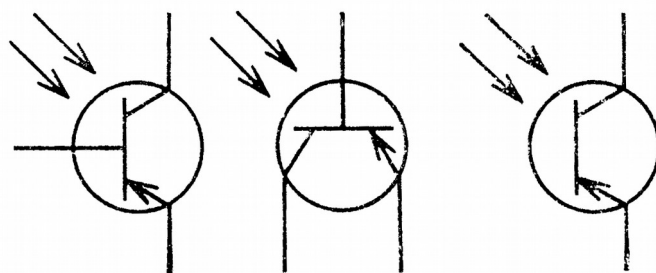


Рис. 21. Обозначение фототранзисторов на схемах.

Свет воздействует на область базы, создавая пары «дырка» – электрон, как у фотодиода. Дырки сразу затягиваются в коллекторную область, т. к., на коллекторе «минус» (–) (**рис. 20**). Электроны не могут попасть в коллектор (одноимённые заряды отталкиваются) и, накапливаясь в базе, создают в ней отрицательную область, которая затаскивает из эмиттера дырки. На одну образованную пару в базе эмиттер может отдать базе до 100 – 200 дырок. Такое умножение тока в 100 – 200 раз обеспечивает очень высокую чувствительность фототранзистора.

Фототранзисторы обозначаются на схемах (**рис. 21**) и маркируются **ФТ** (например: ФТ-1).

Трудно перечислить все применения фотоэлементов, поэтому укажем лишь на наиболее важные. Это реле автоматического замыкания и размыкания цепи постоянного электрического тока, звуковое кино (на фотоплёнках), фототелеграфия, телевидение, телемеханика, в аэронавигации, в военном деле (приборы ночного видения) и т. д.