

Змістовий модуль 15. Фотоелектронні прилади
Тема 15.2. Фотоелементи із внутрішнім фотоелементом

Питання теми

1. Фоторезистор
2. Фотодіод
3. Фототранзистор
4. Світлодіод

1. Фоторезистор.

Фотоелементи із внутрішнім фотоелементом називаються **фоторезисторами** (фотоопорами). Вони (мал. 1) являють собою напівпровідникові прилади, електричний опір яких різко змінюється під дією падаючого на них світлового випромінювання.

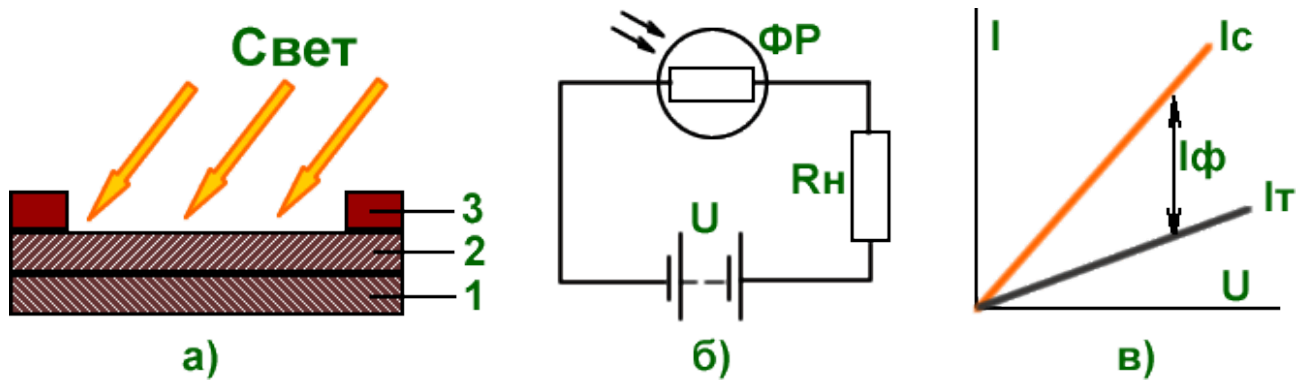


Мал. 1. Фоторезистори

У якості напівпровідників застосовують сірчистий свинець (фоторезистор ФСА), селенід кадмію (фоторезистор ФСД), сірчистий кадмій (фоторезистор ФСК).

Фоторезистори ФСА застосовуються в інфрачервоній, а інші - у видимій області світла. Чутливість фоторезисторів значно вище чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом, тому в низці обладнань фоторезистори заміняють раніше використовувані фотоелементи із зовнішнім фотоелементом.

Фоторезистор являє собою (мал. 2, а) скляну пластинку 1, на яку нанесений тонкий шар напівпровідника 2, покритий прозорим лаком для захисту від механічних ушкоджень і вологи. По краях виведено два металеві електроди 3. Фоторезистор поміщений у пластмасовий корпус із двома ніжками, до яких приєднуються електроди. Умовна позначка й схема включення фоторезистора показані на мал. 2, б.



Мал. 2. Фоторезистор: *а* – устрій; *б* – схема включення й умовне графічне позначення; *в* – вольт-амперна характеристика.

Фоторезистор працює тільки від зовнішнього джерела живлення й має однаковий опір в обох напрямках.

Неосвітлений фоторезистор має більший «темновий» опір R_T (від сотень кілоом до декількох мегаом) і через нього проходить малий «темновий» струм I_T .

При освітленому фоторезисторі його опір різкий зменшується й струм збільшується до деякого значення I_c , що залежить від інтенсивності освітлення. Різниця між струмами при освітленні й «темновим» називається фотострумом, тобто $I_\phi = I_c - I_T$.

Вольт-амперна характеристика фоторезистора (мал. 2, в), тобто залежність фотоструму від напруги джерела живлення при незмінному світловому потоці $I_\phi = f(U)$ при $\Phi = \text{const}$ лінійна. Видно, що пряма затіненого струму більш полого, ніж освітленого. Це говорить про меншу чутливість неосвітленого елемента.

До недоліків фоторезисторів належить їхня інерційність (при освітленні фотострум не відразу досягає свого кінцевого значення, а лише через якийсь час), нелінійність світлової характеристики (фотострум зростає повільніше, ніж сила світла), залежність електричного опору й фотоструму від температури навколишнього середовища.

Фоторезистори застосовуються при низьких інтенсивностях світла. Вони можуть витримувати високі робочі напруги до 200-300 В при малім споживанні потужності - до 300 мВт.

Фоторезистори використовуються для виміру інтенсивності світла у фотографічній устаткуванні, в охоронних датчиках, в обладнанні автоматичного відкривання дверей.

2. Фотодіод

Фотоелементи з фотоелементом у замикаючому шарі, що називаються вентильними фотоелементами, мають замикаючий шар між напівпровідниками з p - і n -провідностями. У цих фотоелементах під впливом світлового випромінювання виникає ЕРС, названа фото-ерс.

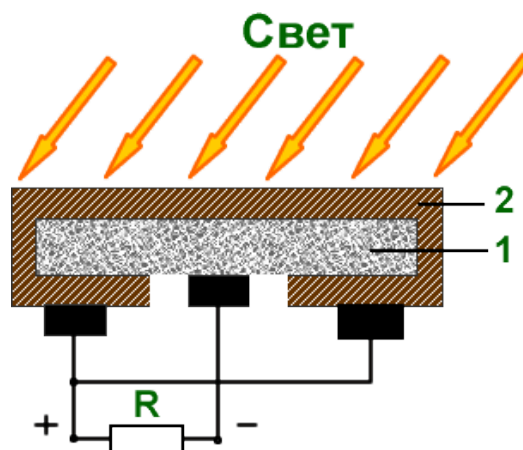
Для виготовлення вентильних фотоелементів застосовують селен, сірчистий талій, сірчисте срібло, германій і кремній.

Освітлення поверхні фотоелемента поблизу p - n -переходу викликає іонізацію атомів кристала й утвір нових пар вільних носіїв зарядів - електронів і дірок.

Під дією електричного поля p - n -переходу електрони, що утворюються в результаті іонізації атомів кристала, переходять у шар n , а дірки - у шар p , що приводить до надлишку електронів у шарі n і дірок у шарі p .

Під дією різниці потенціалів (фото-ерс) між шарами p і n у зовнішньому ланцюзі проходить струм I , спрямований від електрода p до електрода n . Цей струм залежить від кількості носіїв зарядів - електронів і дірок, тобто від сили світла.

Чутливість вентильних фотоелементів висока (до 10 мА/лм), вони не вимагають джерела живлення й знаходять широке застосування в різних областях електроніки, автоматики, вимірювальної техніці і т.д. Принцип обладнання кремнієвого фотоелемента із замикаючим шаром показаний на мал. 3.



Мал. 3. Вентильний фотоелемент

На пластину кремнію 1 з домішкою, що створює електронну провідність, вводять домішку бору шляхом дифузії у вакуумі, у результаті цього утворюється шар напівпровідника з дірковою провідністю 2 дуже малої товщини, тому світлові промені вільно проникають у зону переходу.

Батареї кремнієвих елементів знаходять застосування для безпосереднього перетворення сонячної енергії в електричну. Такі перетворювачі, названі *сонячними батареями*, застосовують, наприклад, на штучних супутниках Землі для живлення їх апаратури.

Напівпровідниковий фотоелемент із двома електродами, розділеними *p-n*-переходом, називаний *фотодіодом*, може працювати як із зовнішнім джерелом живлення (перетворювальний режим), так і без зовнішнього джерела (генераторний режим).

При роботі в генераторному режимі фотодіода його освітлення викликає виникнення фото-ерс, під дією якої в зовнішньому ланцюзі через навантаження проходить струм, тобто джерелом живлення є фотодіод.

При роботі у фотоперетворювальному режимі напруга зовнішнього джерела живлення прикладена зустрічно фото-ерс і фотодіод подібний фоторезистору з більш високою чутливістю.

Якщо фотодіод не освітлений, то через нього проходить невеликий зворотний струм (темновий струм) під дією зовнішнього джерела живлення. При освітленні електронної області фотодіода утворюються носії зарядів - електрони й дірки. Дірки доходять до *p-n*-переходу й під дією електричного поля переходять у *p*-область, тобто освітлення викликає збільшення числа неосновних носіїв, що перейшли з *n*-області в *p*-область, і, отже, струм у ланцюзі зростає (виникає фотострум).

3. Фототранзистор

Фототранзистор (мал. 4) являє собою тришаровий напівпровідниковий прилад із двома p-n-переходами, що володіє властивістю посилення фотоструму при впливі променевої енергії.



Мал. 4. Фототранзистори

Фототранзистор, як правило, виконаний у вигляді звичайного площинного транзистора з германія або кремнію. Світловий потік падає на базу, тому емітер роблять тонким, невеликих розмірів.

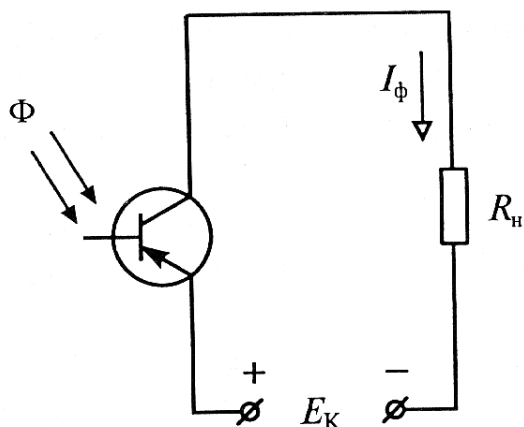
На мал. 5 представлена двополюсна схема включенні фототранзистора структури $p-n-p$.

Під дією світла в області бази утворюються пари носіїв зарядів - електрони й дірки.

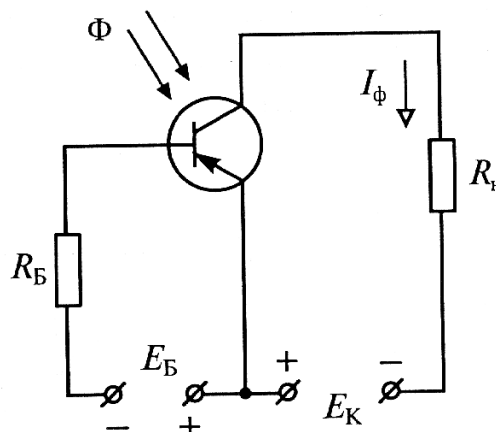
Дірки (неосновні носії бази) під дією електричного поля джерела E_K рухаються через колекторний перехід, утворюючи фотострум I_Φ , що проходить через навантаження R_H . Електрони, що не пройшли через емітерний перехід, і залишилися в базі, знижують потенційний бар'єр.

Це полегшує перехід дірок з емітера в базу, збільшуючи колекторний фотострум. Чутливість фототранзистора сильно перевищує чутливість фотодіодів і має значення порядку 0,5-1 А/лм.

На мал. 6 показана схема з підключеною базою. Можливості такої схеми ширше, тому що на її вхід можна подавати крім світлового електричний сигнал. Звичайно електричний вхід використовують для вибору робочої точки на лінійній ділянці характеристики, а також для зменшення зовнішніх впливів.



Мал. 5. Двополюсна схема включення фототранзистора з відключеною базою



Мал. 6. Схема включення фототранзистора з підключеною базою

Фототранзистори широко застосовуються в різних областях: фототелеграфії, фототелефонії, в обчислювальній техніці, реєстрації видимого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювання.

4. Світлодіод

Напівпровідниковий діод, що випромінює світло (світлодіод, мал. 7) - це найпоширеніше напівпровідникове світловипромінювальне обладнання.

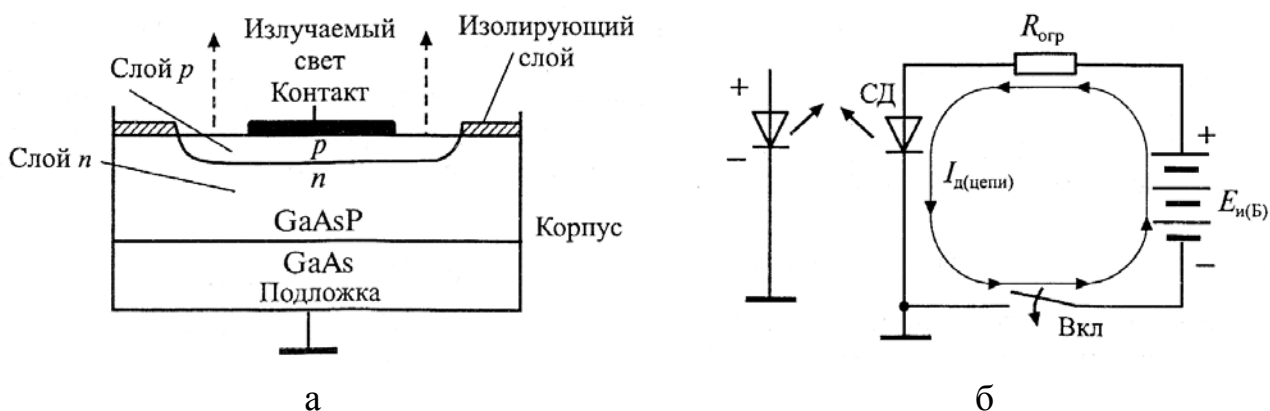
Кожний $p-n$ - перехід може випромінювати світло, коли через немає протікає струм.



Мал. 7. Зовнішній вигляд світлодіодів

Світло виникає, коли вільні електрони рекомбінують із дірками й «зайва» енергія звільняється у вигляді кванта енергії, тобто світла.

На мал. 7 показане обладнання світлодіода (а) і схема його включення (б), де $R_{обм}$ - для обмеження прямого струму й напруги, щоб не вивести світлодіод з ладу; $GaAs$ - арсенід галію випромінює світло в інфрачервоному діапазоні, яким не сприймається людським оком; $GaAsP$ - арсенід-фосфат галію випромінює видиме червоне світло; змінюючи вміст фосфору, можна отримати світлодіоди, що випромінюють кванти світла різної частоти (кольору); шар p робиться тонкішим і слабкіше легованим, ніж шар n , щоб не перешкоджав проходженню променя, народжуваного в $p-n$ -переході.



Мал. 7. Обладнання світлового діода (а); схема включення (б)

Світлодіод постачаний лінзою, яка збирає світло й збільшує його інтенсивність. Для нормальної роботи світлодіода на нього повинне бути подане пряме зміщення (напруга) близько 1,2 В.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть принцип роботи фоторезистора. Наведіть його умовне графічне позначення.
2. Поясніть принцип роботи фотодіода. Наведіть його умовне графічне позначення. Назвіть режими роботи.
3. Поясніть принцип роботи фототранзистора. Наведіть його умовне графічне позначення. Назвіть режими роботи.
4. Поясніть принцип роботи світлодіода. Наведіть його умовне графічне позначення. Від чого залежить довжина хвилі випромінювання?

Література

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – §§ 17.4 – 17.6 (с. 517 – 524).
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – § 11.7 (с. 301 – 309).
3. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. § 12.10 (с. 356 – 363).