

Приймачі оптичного випромінювання

к.ф.-м.н., ст. викл.

Пилипенко О.В.

Методи приймання оптичного випромінювання

прямого фотодетектування

фотозмішування

полягає у вимірюванні фотоструму або в підрахунку кількості імпульсів на виході фотодетектора

Когерентне приймання випромінювання

струмовий режим

режим рахунку фотонів

при фотодетектуванні корисний сигнал на виході фотодетектора пропорційний квадрату амплітуди світлової хвилі і не несе ніякої інформації про її частоту і початкову фазу .

реєструються імпульси напруги, що відповідають поглинанню фотодетектором окремих квантів випромінювання.

Метод рахунку фотонів

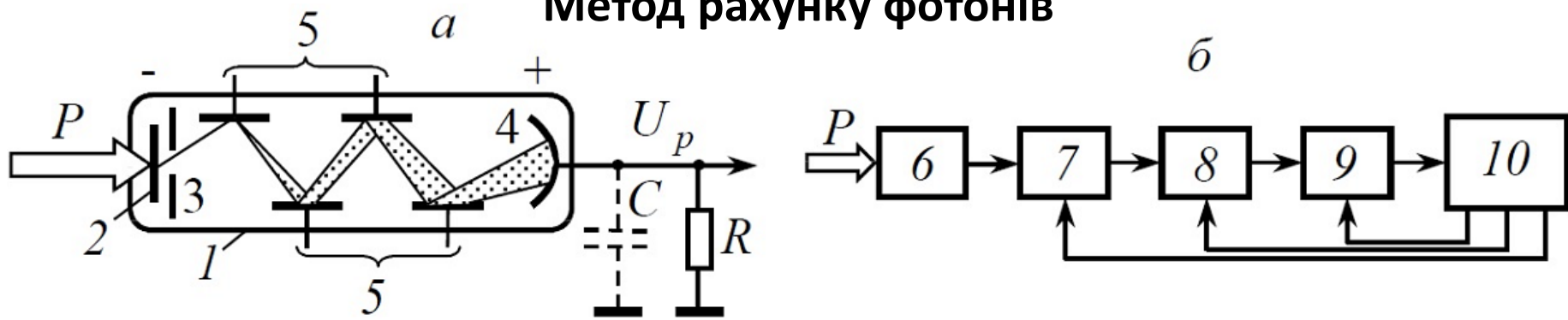


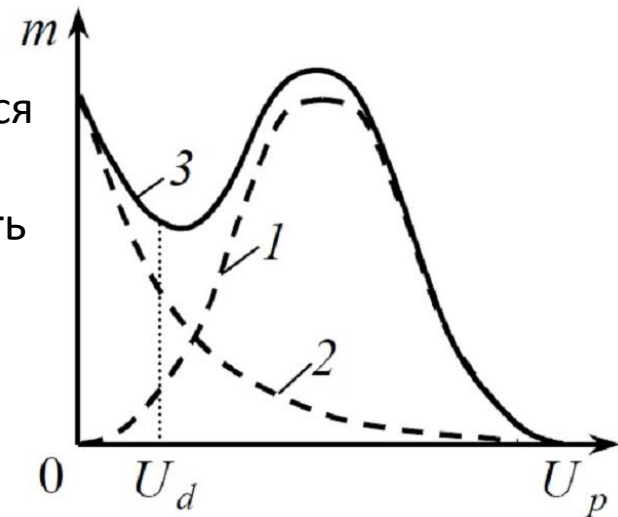
Рис.1 Принцип побудови лічильника фотонів:

а – формування одноелектронних імпульсів в ФЕП; б – схема лічильника фотонів; 1 – вакуумна колба; 2 – фотокатод; 3 – фокусуюча система; 4 – анод; 5 – динодна система; 6 – фотодетектор; 7 – підсилювач; 8 – амплітудний дискримінація; 9 – лічильник імпульсів; 10 – комп'ютер

Кількість електронів у лавині визначається **коефіцієнтом внутрішнього підсилення** ФЕП (типові значення $10^5 - 10^8$)

Електрони заряджають розподілену вихідну ємність помножувача С ($\sim 4 - 20$ пФ). Якщо ємність встигає розрядитися через навантаження R до приходу наступної лавини, на навантаженні формуються імпульси напруги, що відповідають поглинанню окремих квантів випромінювання. Такі імпульси називають **одноелектронними**.

Рис.2 Амплітудний розподіл імпульсів на виході ФЕП у режимі рахунку фотонів: 1 – сигнальні імпульси; 2 – темнові імпульси; 3 – сумарний розподіл; U_d – поріг амплітудного дискримінації



Когерентне приймання випромінювання

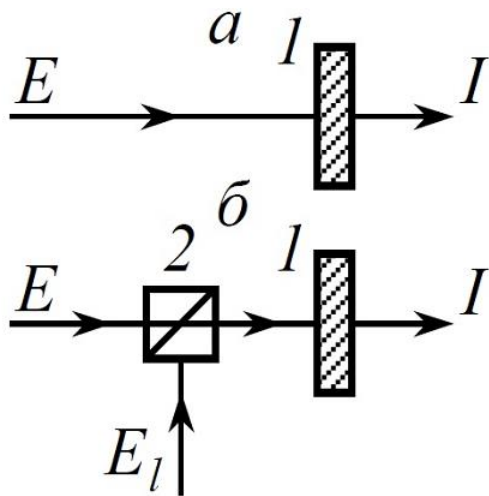


Рис. 3. Схеми приймання випромінювання в методах прямого фотодетектування (а) і фотозмішування (б): 1 – фотодетектор; 2 – дільник світла (оптичний змішувач)

Амплітуда фотоструму на різницевій частоті прийнятої і опорної світлових хвиль ($\omega - \omega_l$) залежить від потужності опорного випромінювання, існує можливість "підсилення" слабого корисного сигналу за рахунок потужного опорного випромінювання. Крім того, у фотострумі зберігається інформація про частоту і фазу прийнятої світлової хвилі.

Режим фотозмішування, при якому $\omega_l \neq \omega$, називається *оптичним гетеродинаванням*, а при $\omega_l = \omega$ – *оптичним гомодинаванням*. Термін *когерентне приймання* випромінювання означає, що інформацію про частоту і фазу можна отримувати тільки при взаємній когерентності досліджуваного і опорного полів. Тому практична реалізація когерентного приймання стала можливою тільки з появою лазерів.

Класифікація приймачів оптичного випромінювання.

теплові

оптична енергія спочатку перетворюється в теплову, а потім відбувається температурна зміна параметрів приймача. До них належать: термоелементи; болометри; піроелектричні; оптоакустичні

фотонні

Безпосередня зміна електричних властивостей під дією світла.

Поділяють:

- **фотоелектронні**, в основі роботи яких лежить явище зовнішнього фотоелектричного ефекту, (фотоелементи, фотоелектронні помножувачі, електронно-оптичні перетворювачі, передавальні телевізійні трубки)

- **фотоелектричні**, які використовують явище внутрішнього фотоелектричного ефекту в напівпровідниках.

фотохімічні

випромінювання викликає хімічні процеси, за результатами яких судять про інтенсивність падаючого світлового потоку



ефект фотопровідності (зміна опору фотодетектора під дією світла)

фотогальванічний ефект (виникнення фотоерс у структурах із внутрішніми потенціальними бар'єрами)

Шуми при фотодетектуванні.

Тепловий шум

зумовлений хаотичним тепловим рухом носіїв заряду на кінцях будь-якого омичного опору виникає напруга,

$$U_n^T = \sqrt{4kT\Delta f R_i}$$

Тут Δf – ширина смуги реєстрованих частот;
 R_i – внутрішній опір фотодетектора. Спектр теплового шуму рівномірний (білий) до частот порядку 100 ГГц.

Дробовий шум (або шум Шотткі)

зумовлений тим, що електричний струм є потоком дискретних заряджених частинок, що створює на навантаженні з опором R шумову напругу

$$U_n^I = R\sqrt{2eI\Delta f}$$

де I – середнє значення струму. Спектр цього шуму також рівномірний.

Фотонний шум.

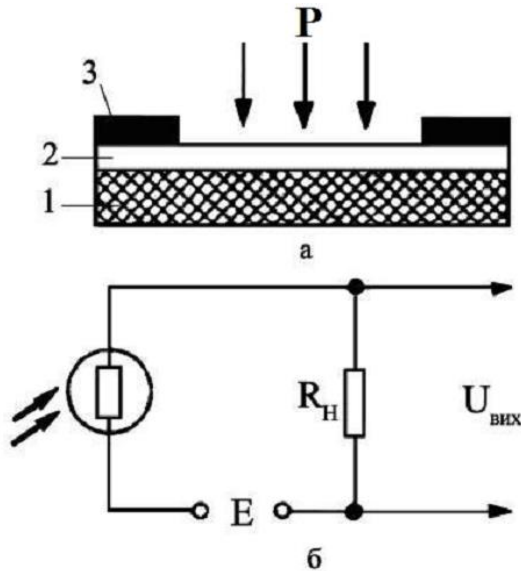
зумовлений флуктуаціями дискретних частинок світла (фотонів)

Порогом чутливості фотодетектора називається значення падаючої на детектор оптичної потужності, при якому сигнал дорівнює середньоквадратичному значенню шуму в заданій смузі частот.

Квантова межа детектування для прямого фотодетектування всього лише у два рази гірша, ніж для оптичного гетеродинування, і в чотири рази гірша, ніж для оптичного гомодинування. Однак слід врахувати, що для досягнення квантової межі при прямому фотодетектуванні необхідно забезпечити ретельне екранування фонового випромінювання, мати фотодетектор із прямуючим до нуля значенням темного струму і працювати в умовах глибокого охолодження приймача. На противагу цьому досягнення квантової межі при фотозмішуванні порівняно просто забезпечується шляхом збільшення потужності опорного лазерного випромінювання.

Принципи фотоелектронного перетворення

Внутрішній фотоэффект – це зміна електричного опору напівпровідника за рахунок генерації додаткових вільних носіїв заряду під дією падаючого на нього випромінювання. Фотодетектори, дія яких базується на цьому явищі, називають фоторезисторами (ФР)



Коефіцієнт підсилення фоторезистора це величина що дорівнює відношенню кількості вільних електронів, які пройшли через поперечний переріз пластинки, до кількості електронів, створених світлом за той же час.

Параметри фоторезисторів :

1. Темновий струм
2. Світловий струм
3. Температурний коефіцієнт фотоструму
4. Робоча напруга
5. Темновий опір
6. Питома чутливість
7. Постійна часу
8. Потужність розсіювання
9. Опір ізоляції.
10. Довгохвильова межа.

Основні характеристики:

- вольт-амперна
- світлова або люкс-амперна
- частотна

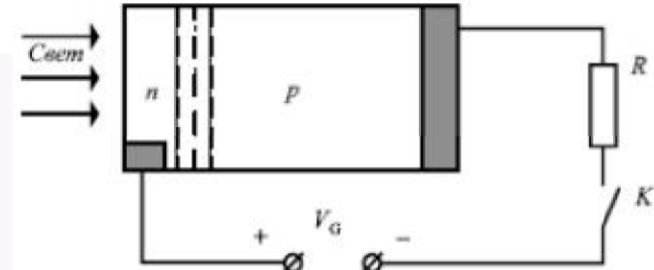
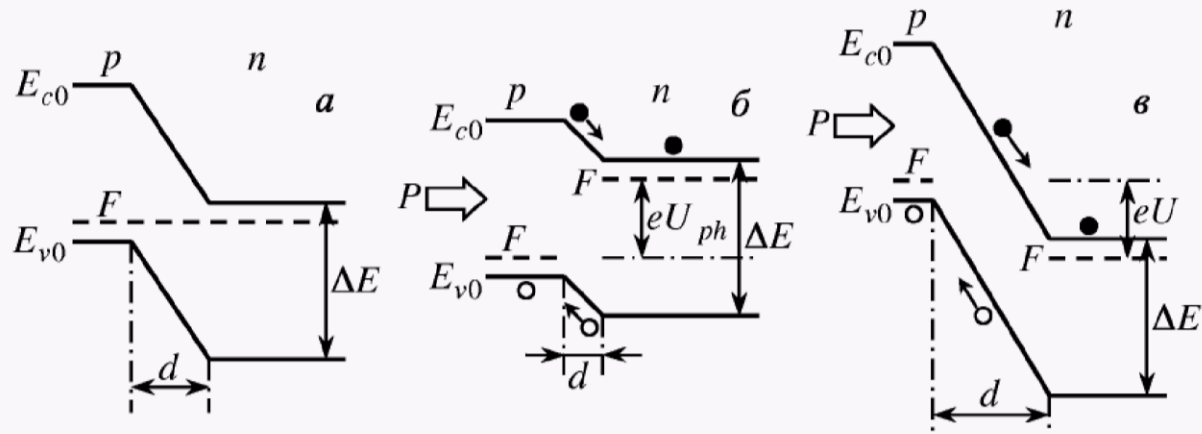
Рис. 4. Будова (а) та схема ввімкнення (б) фоторезистора:
1 – діелектрик;
2 – монокристалічна плівка напівпровідника;
3 – металеві контакти

фотодетектування в структурі з р-п-переходом

Фотодіод - напівпровідниковий пристрій, що містить один *p-n*-перехід в якому реалізується **фотогальванічний ефект**

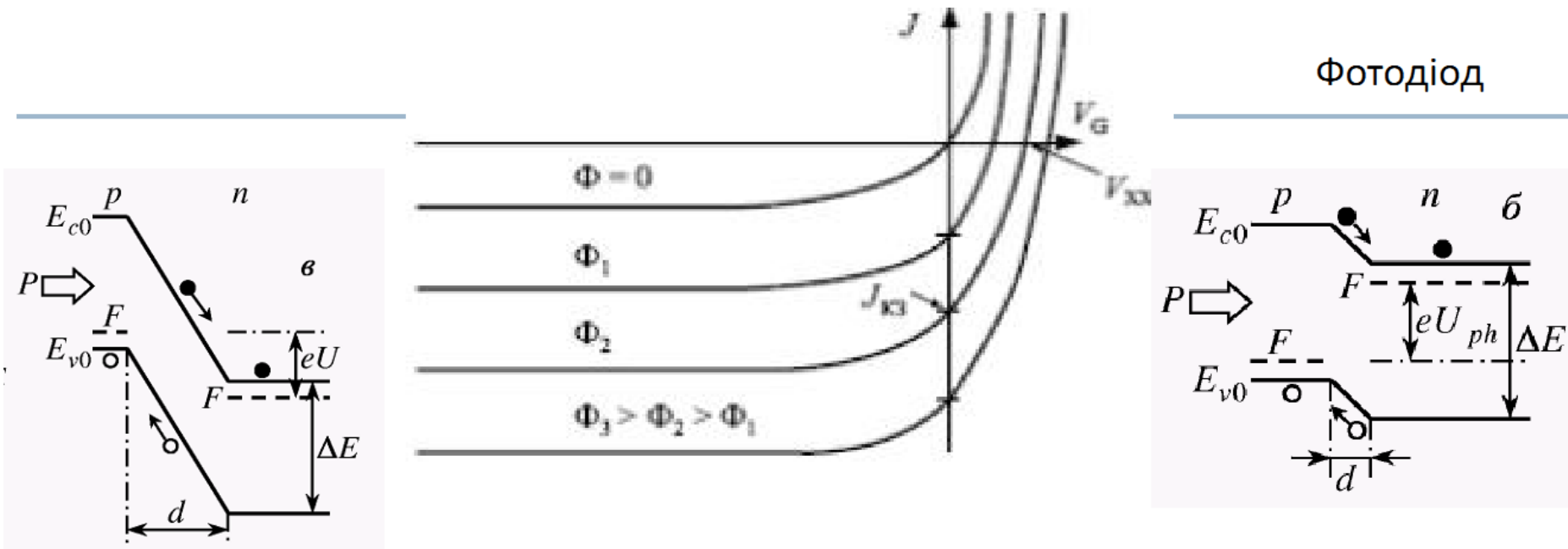


Фотогальванічний ефект- виникнення фотоЕРС при генерації нерівноважних носіїв заряду світлом в області *p-n*-переходу



При освітленні переходу шириною d світлом в ньому **виникають пари вільних носіїв заряду**. Пари, що виникають розділяються полем. При цьому **неосновні** носії проходять **через** *p-n*-перехід, а **основні залишаються** в тій області, де вони були створені світлом. Освітлення приводить до накопичення електронів в *n*-області, а дірок - в *p*-області. Різниця потенціалів U_{ϕ} (**фотоЕРС**) **зміщує** *p-n*-перехід в прямому напрямі і знижує висоту потенціального бар'єру для електронів і дірок. В результаті збалансування двох процесів в напівпровіднику встановлюється стаціонарний стан, а **величина фотоЕРС U_{ϕ} стає пропорційною потужності падаючого світлового потоку**

Зворотнє ввімкнення фотодіоду



Під впливом світлового потоку в електронно-дірковому переході і прилеглих областях відбувається **генерація** пар носіїв, **провідність** діода **зростає** і зворотний **струм збільшується**.
 Додавка до зворотного струму, пов'язана з освітленням, називається **фотострумом** I_ϕ .
 Повна величина зворотного струму $I = I_T + I_\phi$

Темновий струм $I_\delta = I_0 [\exp(qU / kT) - 1]; U < 0$

Режим холостого ходу $V_{xx} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_\delta}{I_0} + 1\right)$

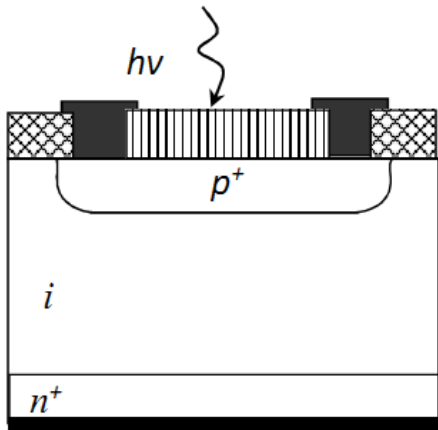
Режим короткого замикання ($V_g = 0$) $I_{\hat{e}\zeta} = I_\delta = const \cdot \hat{O}$

I_0 – зворотний струм p-n- переходу

$$I = I_\delta + I_0 (e^{\beta V_g} - 1)$$

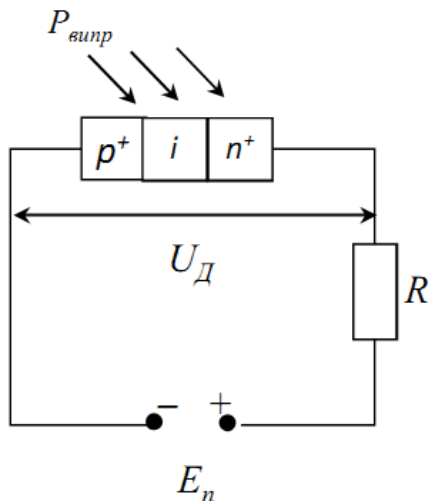
p-i-n - фотодіоди

В p-i-n -фотодіоді на підкладці з n-типом провідності сформовано слабологований i-шар (напівпровідник з власним типом провідності) і шар з p-провідністю товщиною до 0,3 мкм.



При подачі зворотної напруги між p і n областями створюється електричне поле, в результаті збідненім виявляється весь i-шар. Ємність переходу зменшується, розширюється область поглинання падаючого випромінювання і підвищується чутливість приладу.. Електричне поле збідненого шару ($E=10^3$ В/см), прискорює носії до швидкості 10^7 см/с). Електричне поле змушує електрони дрейфувати до позитивно зарядженої n-області, а дірки до негативно зарядженої p-області.

Результат - створюється фотострум



p-i-n -фотодіод є базовим елементів для всіх оптичних ліній зв'язку.

Використання i-шару дозволяє реєструвати неосновні носії заряду і забезпечує високу швидкодію (10^7 - 10^9 Гц).

