

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

VIỆN ĐIỆN



CẢM BIẾN VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU

Nguyễn Thị Huế

BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp

Nội dung môn học

- ❖ Chương 1: Tổng quan về cảm biến và Các mạch xử lý trong đo lường
- ❖ Chương 2: Chuyển đổi nhiệt điện
- ❖ Chương 3: Chuyển đổi điện trở
- ❖ Chương 4: Cảm biến tĩnh điện(áp điện, điện dung)
- ❖ Chương 5: Chuyển đổi điện từ
- ❖ **Chương 6: Chuyển đổi tĩnh điện Chuyển đổi điện tử và ion**
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác

Tài liệu tham khảo

➤ Sách:

- ❖ Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Sĩ Hồng

➤ Bài giảng và website:

- ❖ Bài giảng kỹ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
- ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong, Lê Q. Huy
- ❖ Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN

➤ Website: [sciencedirect.com/sensors](https://www.sciencedirect.com/sensors) and actuators A and B

Chuyển đổi điện tử và ion.

- Nhóm các chuyển đổi điện tử và ion là nhóm gồm nhiều kim loại chuyển đổi khác nhau. Nguyên lý làm việc của các loại chuyển đổi này dựa vào sự thay đổi dòng ion và dòng điện tử dưới tác dụng của các đại lượng đo. Người ta chia các chuyển đổi điện tử và ion thành 2 loại cơ bản là:
 - ❖ Chuyển đổi điện tử và ion
 - ❖ Chuyển đổi ion hoá
- Các chuyển đổi điện tử và ion lại được phân thành các loại:
 - ❖ Chuyển đổi tự phát xạ điện tử
 - ❖ Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử
 - ❖ Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

Chuyển đổi tự phát xạ điện tử

- **Nguyên lý hoạt động:** dưới tác dụng của điện trường mạnh (với điện áp trên anốt và catốt cỡ 3kV), các điện tử bị bắn ra khỏi catốt, trên đường đi chúng ion hoá các phân tử khí tạo thành ion dương và âm. Dòng điện chạy từ anốt đến catốt thay đổi theo mật độ không khí trong đèn hai cực.
- **b) Ứng dụng:** chế tạo các thiết bị đo áp suất thấp còn gọi (các chân không kế).

Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử

- **Nguyên lý hoạt động:** các loại chuyển đổi này được chế tạo dưới dạng đèn điện tử hai cực và ba cực. Khi catốt bị đốt nóng các điện tử bắn ra khỏi nó và dưới tác dụng của điện trường, các điện tử chuyển động từ anốt đến catốt. Trên đường đi các điện tử ion hoá không khí tạo thành các ion dương và âm.
- **b) Ứng dụng:** cũng như loại chuyển đổi phát xạ điện tử, chuyển đổi loại này dùng cho độ chân không tới 10^{-6} mmHg.
- Nếu giữ cho đèn có độ chân không ổn định thì dòng điện chạy trong mạch phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai cực anốt và catốt. Ứng dụng hiện tượng trên, người ta chế tạo các thiết bị đo các đại lượng cơ học như đo độ di chuyển.

Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

- ***Nguyên lý hoạt động:*** nguyên lí cơ bản của các chuyển đổi quang điện dựa trên hiện tượng giải phóng điện tích dưới tác dụng của dòng ánh sáng do hiệu ứng quang điện gây nên sự thay đổi tính chất của vật liệu.
- Chuyển đổi phát xạ quang điện tử bao gồm các dạng cơ bản là:
 - ❖ Tế bào quang điện
 - ❖ Quang điện trở
 - ❖ Phôtô điốt
 - ❖ Phôtô tranzito

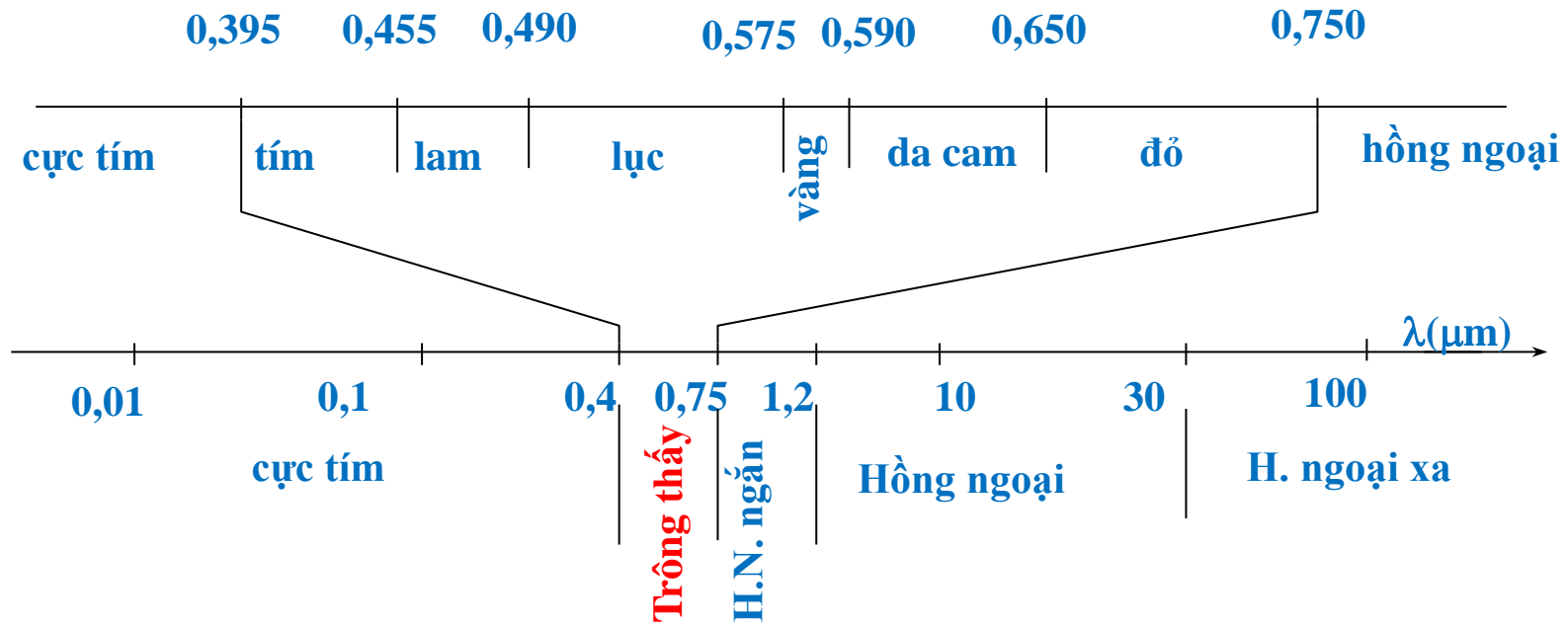
Cảm biến quang

- Ánh sáng và các thông số của ánh sáng
- Hiệu ứng quang điện trong với chế độ quang dẫn
 - ❖ Quang trở
 - ❖ Photodiode quang
 - ❖ Phototransistor
- Hiệu ứng quang điện trong với chế độ quang thể
- Hiệu ứng quang điện ngoài

1. Tính chất và đơn vị đo

1.1 Tính chất ánh sáng

a) **Tính chất sóng:** một dạng của sóng điện từ:



Phổ ánh sáng

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

1. Tính chất của ánh sáng

Ánh sáng có hai tính chất cơ bản: sóng và hạt.

➤ Tính chất

- ❖ Dạng sóng của ánh sáng là sóng điện từ, phát ra khi có sự dịch chuyển điện tử giữa các mức năng lượng của nguyên tử của nguồn sáng.
- ❖ Các sóng này truyền đi trong chân không với vận tốc: $c = 299792\text{km/s}$.
- ❖ Trong vật rắn, ánh sáng có vận tốc: $v = c/n$, với n : chiết suất của môi trường.
- ❖ Mối liên hệ giữa tần số và bước sóng $\lambda = v/f$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

- Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác của nó với vật chất.

- ❖ Ánh sáng bao gồm các hạt photon, với năng lượng W_ϕ phụ thuộc duy nhất vào tần số:

$$W_\phi = h\nu = hc/\lambda \quad h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{J.s} : \text{hằng số Planck}$$

- ❖ Khi một photon được hấp thụ sẽ có một điện tử được giải phóng nếu $W_\phi \geq W_{lk}$.

$$W_\phi = hc / \lambda \geq W_{lk} \quad \text{hay} \quad \lambda \leq hc / W_{lk} = 1,237 / W_{lk} \quad (\mu m)$$

W_{lk} : năng lượng liên kết điện tử và ion

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

- ❖ Với mỗi loại vật liệu khi bị chiếu sáng, loại điện tích được giải phóng là khác nhau
 - ✓ Với điện môi và bán dẫn tinh khiết, loại điện tích được giải phóng là cặp điện tử - lỗ trống.
 - ✓ Với bán dẫn pha tạp:
 - Bán dẫn loại n: loại điện tích được giải phóng là điện tử.
 - Bán dẫn loại p: loại điện tích được giải phóng là lỗ trống.
- Hiện tượng giải phóng hạt dẫn dưới tác dụng của ánh sáng bằng hiệu ứng quang điện → sự thay đổi tính chất điện của vật liệu.
- Đây là nguyên lý cơ bản của cảm biến quang

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

2. Các thông số ánh sáng

Đơn vị đo năng lượng

- Năng lượng bức xạ Q: Năng lượng phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ dưới dạng bức xạ, đơn vị Jun (J)
- Thông lượng ánh sáng Φ : Công suất phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ, đơn vị oát (W)

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

- Cường độ sáng I: luồng năng lượng phát ra theo một hướng cho trước dưới một đơn vị góc khối

Đơn vị cd

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

- Độ chói năng lượng L : Tỷ số giữa cường độ ánh sáng bởi một phần tử bề mặt dA theo một phương xác định và diện tích hình chiếu của phần tử này dA_n trên mặt phẳng vuông góc với hướng đó:

$$L = \frac{dI}{dA_n}$$

$$dA_n = dA \cos \theta$$

- Độ dọi năng lượng (E) là tỷ số giữa luông năng lượng thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó

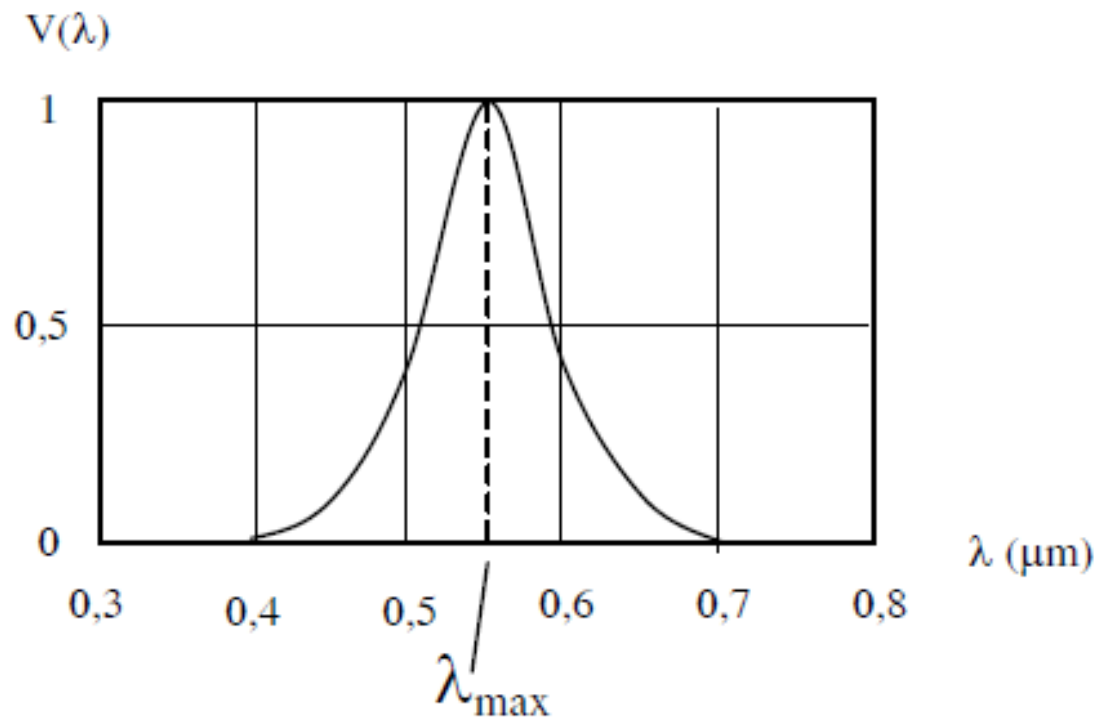
Đơn vị: W/m^2 hoặc lux

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

Đơn vị đo thị giác

- ❖ Độ nhạy của mắt người đối với ánh sáng có bước sóng khác nhau là khác nhau.



Đường cong độ nhạy tương đối của mắt

Đơn vị đo quang

Đơn vị đo thị giác:

Đại lượng đo	Đơn vị năng lượng	Đơn vị thị giác
Thông lượng	W	lumen(lm)
Cường độ	W/sr	cadela(cd)
Độ chói	W/sr.m ²	cadela/m ² (cd/m ²)
Độ rọi	W/m ²	lumen/m ² hay lux (lx)
Năng lượng	J	lumen.s (lm.s)

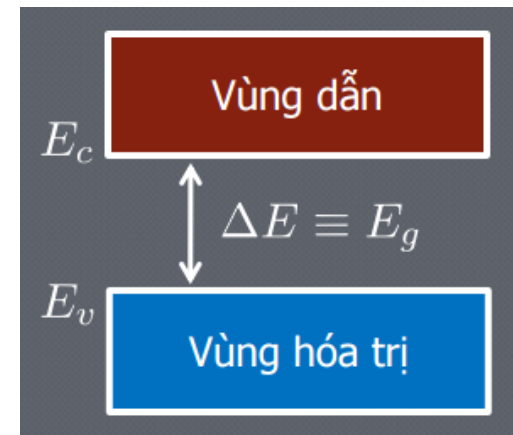
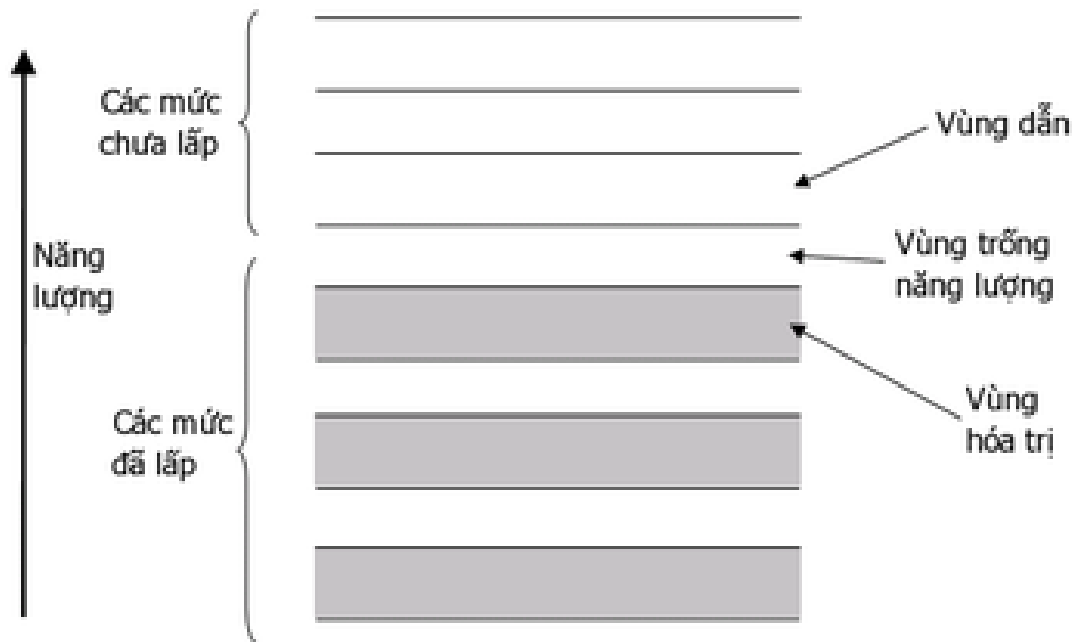
Hiệu ứng quang điện trong

Định nghĩa: là hiện tượng giải phóng các electron liên kết của chất bán dẫn để trở thành các electron quang dẫn do tác dụng của bức xạ thích hợp.

- Hạt dẫn được giải phóng do chiếu sáng phụ thuộc vào bản chất của vật liệu bị chiếu sáng.
 - ❖ Đối với các chất bán dẫn tinh khiết các hạt dẫn là cặp điện tử - lỗ trống.
 - ❖ Đối với trường hợp bán dẫn pha tạp, hạt dẫn được giải phóng là điện tử nếu là pha tạp dono hoặc là lỗ trống nếu là pha tạp aczepto.

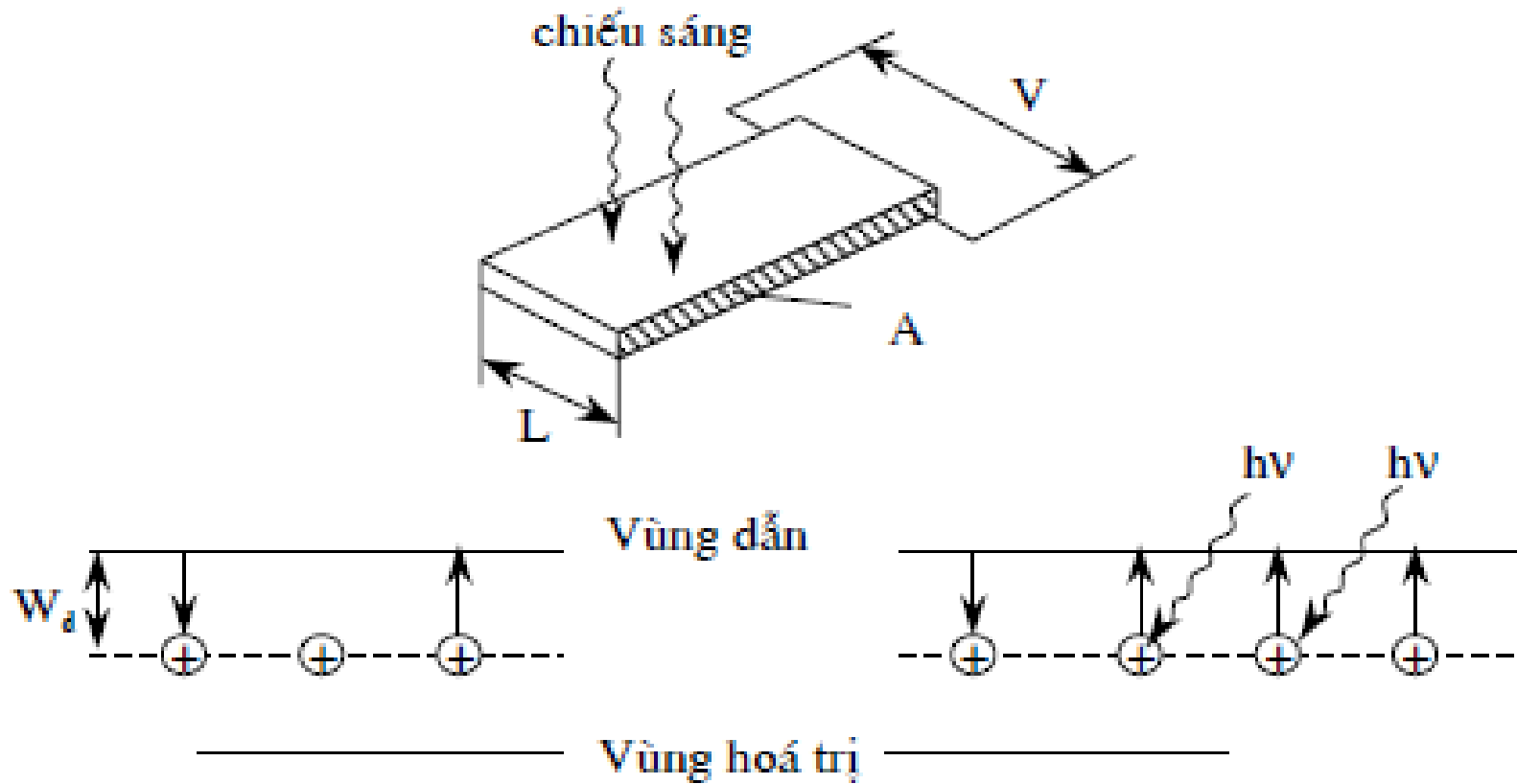
Hiệu ứng quang điện trong

- Người ta phân biệt chất dẫn điện, bán dẫn và cách điện dựa trên độ rộng vùng cấm
- Với chất bán dẫn độ rộng vùng cấm khoảng 0.3 đến 3eV



Hiệu ứng quang điện trong

Xét vật liệu bán dẫn



Hiệu ứng quang dẫn

- Mật độ điện tử trong tối:

$$n_0 = \frac{a}{2.r} + \left(\frac{a^2}{4r^2} + \frac{a.N_d}{r} \right)^{1/2}$$

$N_d \rightarrow$ Nồng độ tạp chất loại N

$a = \exp\left(-\frac{qW_d}{kT}\right) \rightarrow$ Hệ số tỉ lệ giải phóng e.

$r \rightarrow$ Hệ số tái hợp.

Hiện tượng quang điện trong:

■ Độ dẫn trong bóng tối

$$\delta_0 = q\mu n_0$$

■ Trong đó

- ❖ Q: là giá trị của điện tích
- ❖ n_0 mật độ điện tử trong đối
- ❖ μ : là độ linh động của điện tử

Hiện tượng quang điện trong:

- Đối với vật liệu có hệ số phản xạ R lớn và được chiếu sáng bởi ánh sáng đơn sắc

- ❖ Số photon chiếu tới trong 1s:

$$n_p = \frac{\Phi}{h\nu} = \frac{\Phi\lambda}{hc}$$

- λ - bước sóng ánh sáng.
- Φ - thông lượng ánh sáng.
- h - hằng số Planck.

- ❖ Số photon bị hấp thụ trong 1s:

$$n_{pht} = 1 - R \quad n_p = 1 - R \frac{\Phi\lambda}{hc}$$

- ❖ Số điện tử hoặc lỗ trống được giải phóng trong 1s

$$G = \eta n_{pht} = \eta \left(1 - R \frac{\Phi\lambda}{hc} \right)$$

Hiện tượng quang điện trong:

- Số điện tử (g) được giải phóng do bị chiếu sáng trong một giây ứng với một đơn vị thể tích vật liệu, xác định bởi công thức:

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A.L} \cdot \frac{\eta (1-R)}{h\nu} \Phi$$

- Trong đó:
 - G - số điện tử được giải phóng trong thể tích V trong thời gian một giây.
 - $V=A.L$, với A , L là diện tích mặt cạnh và chiều rộng tấm bán dẫn
 - η - hiệu suất lượng tử (số điện tử hoặc lỗ trống trung bình được giải phóng khi một photon bị hấp thụ).

Hiện tượng quang điện trong:

- Mật độ điện tử ở điều kiện cân bằng dưới tác dụng chiếu sáng:

$$n = \left(\frac{g}{r} \right)^{1/2} \quad r \text{ là hệ số tái hợp}$$

- Độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử:

- Trong đó : $\sigma = q\mu n$

- q : giá trị tuyệt đối của điện tích điện tử
- μ : độ linh động của điện tử
- Nhận thấy độ dẫn là hàm không tuyến tính của thông lượng ánh sáng, nó tỉ lệ với $\Phi^{1/2}$. Thực nghiệm cho thấy số mũ của hàm Φ nằm trong khoảng 0,5 - 1.

Cảm biến quang trở

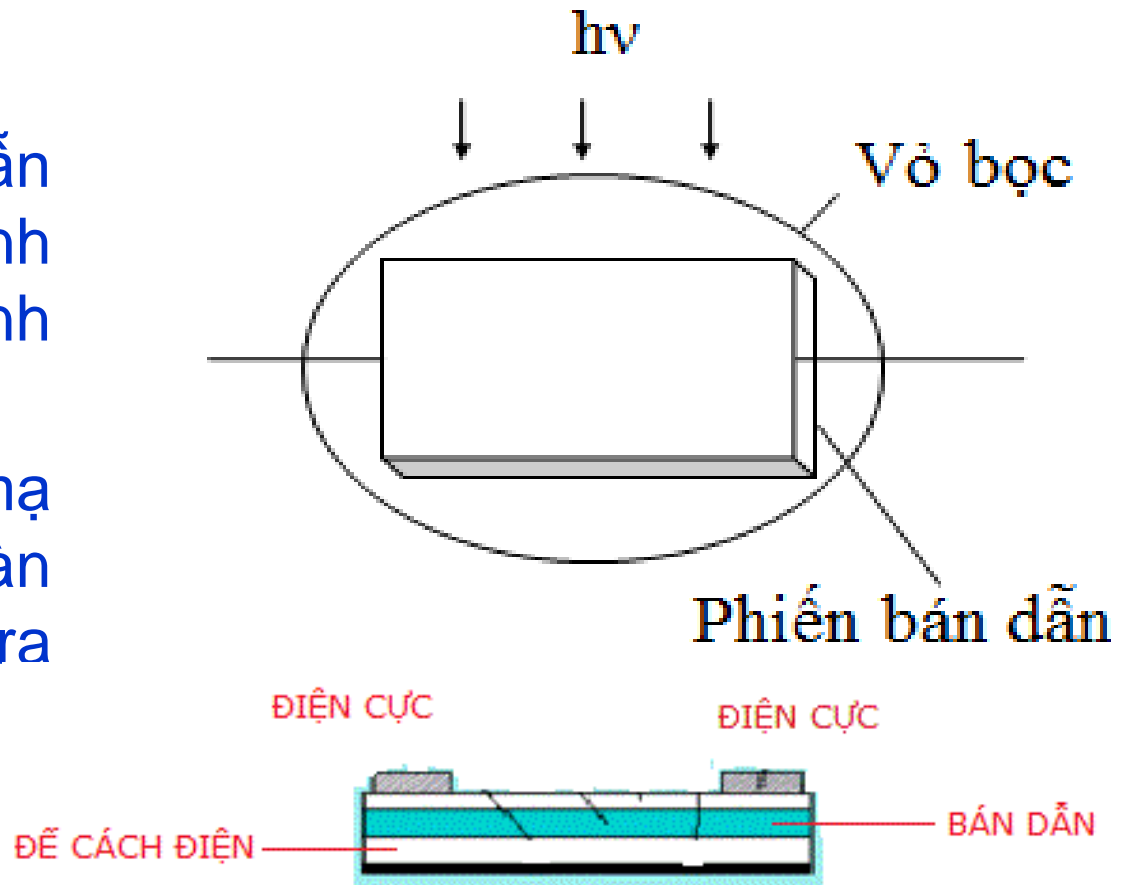
- Quang trở là:
 - ❖ Một linh kiện bán dẫn hai cực,
 - ❖ Có điện trở thay đổi theo năng lượng ánh sáng chiếu vào,
 - ❖ Hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện nội (quang dẫn).
- Khi chiếu ánh sáng vào quang trở, các hạt mang điện trong bán dẫn nhận thêm được năng lượng từ photon trở thành điện tử tự do làm thay đổi điện trở suất (hay độ dẫn) trong bán dẫn.



Cảm biến quang trở

Cấu tạo

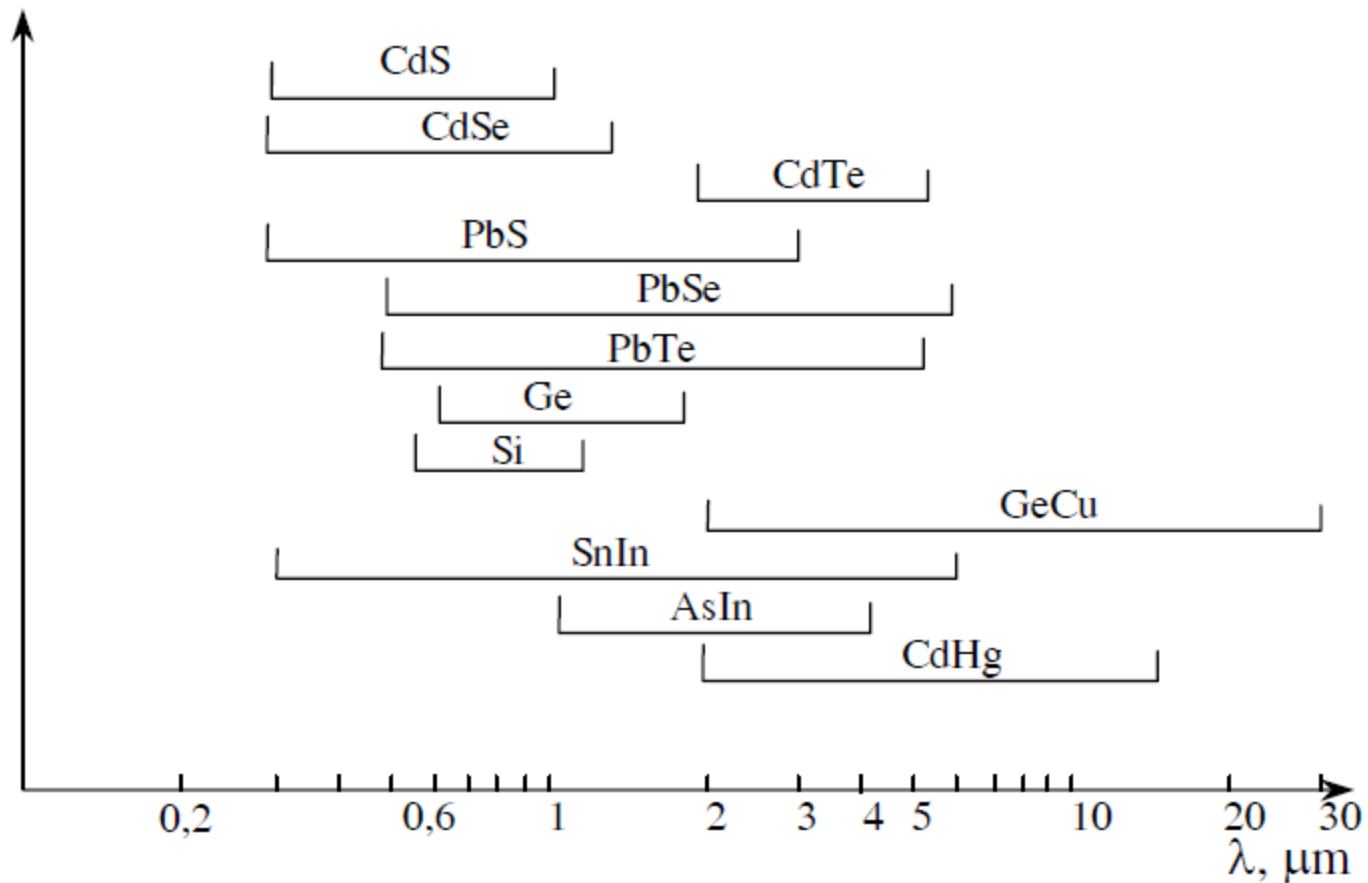
- ❖ Một phiến bán dẫn nhạy sáng đa tinh thể hay đơn tinh thể.
- ❖ Hai đầu được mạ kim loại để hàn điện cực dẫn ra ngoài



- ❖ Toàn bộ phiến bán dẫn được bọc trong vỏ kim loại hoặc chất dẻo có cửa sổ trong suốt để ánh sáng có thể chiếu vào phiến bán dẫn.

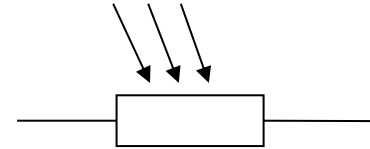
Cảm biến quang trở

■ Vật liệu và vùng làm việc của một số vật liệu quang dẫn

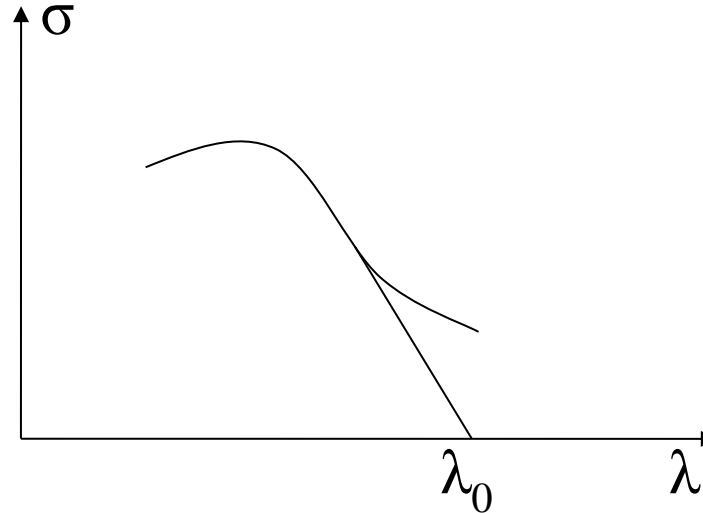


Cảm biến quang trở

- Ký hiệu trong mạch điện :



- Mỗi quang trở có một đặc tính quang phổ riêng: sự phụ thuộc giá trị độ dẫn suất vào độ dài của bước sóng ánh sáng.



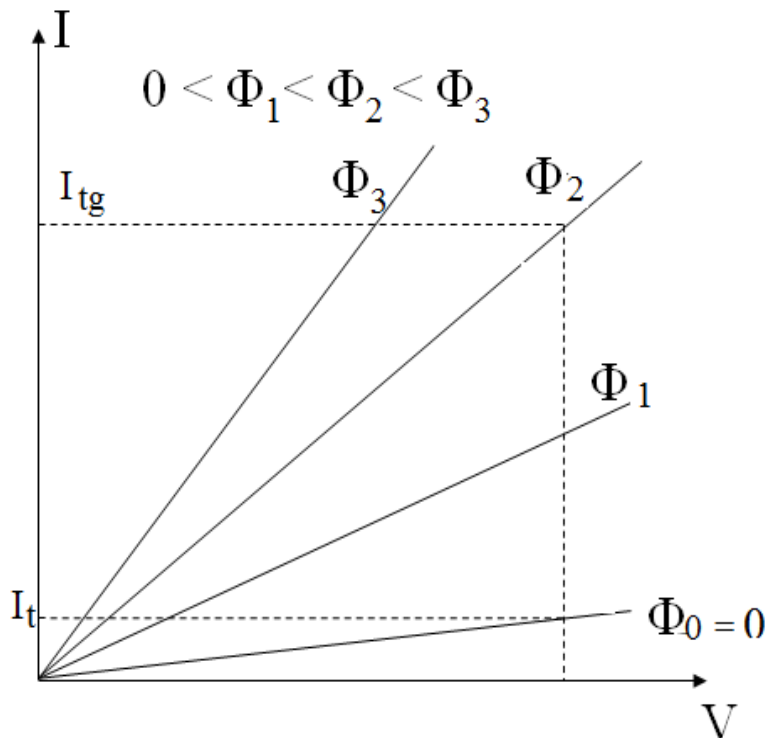
Đặc tuyến quang phổ riêng $\sigma = f(\lambda)$

Cảm biến quang trở

Đặc tuyến và tham số của quang trở

■ Đặc tuyến Volt ampere (V-A)

- ❖ Mô tả quan hệ giữa dòng điện qua quang trở và điện áp hạ trên nó ứng với các mức độ chiếu sáng khác nhau.



- ❖ Khi không chiếu sáng, nếu đặt điện áp vào hai đầu quang trở thì vẫn có dòng chạy qua: dòng tối I_t .

- ❖ Khi chiếu sáng, nếu đặt điện áp vào hai đầu quang trở, dòng qua quang trở tăng lên: dòng tổng I_{tg} .

⇒ Dòng sáng: $I_\phi = I_{tg} - I_t$.

- $I_\phi = f(\Phi)|_{U=\text{const}}$

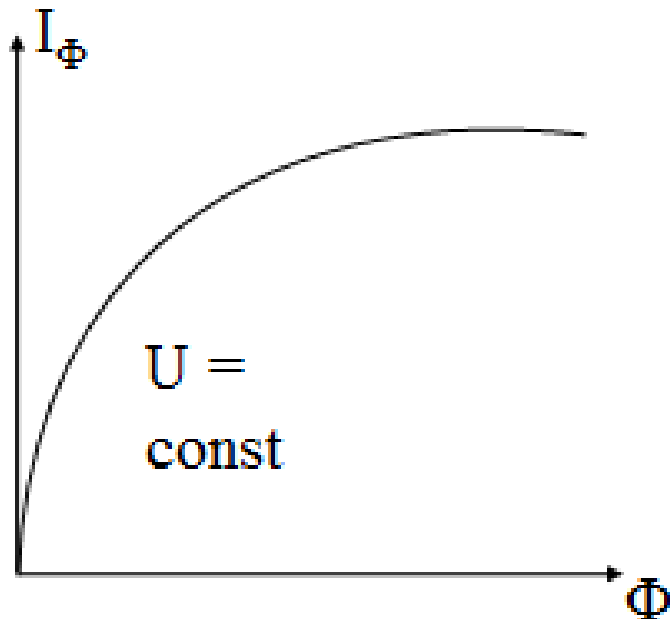
Cảm biến quang trở

■ Đặc tuyến năng lượng dòng sáng

- ❖ Mô tả quan hệ giữa cường độ dòng sáng và năng lượng ánh sáng chiếu vào khi điện áp đặt vào hai đầu quang trở không đổi.

$$I_{\Phi} = f(\Phi)|_{U=\text{const}}$$

- ❖ Khi năng lượng chùm sáng Φ thấp, quan hệ gần như tuyến tính.
- ❖ Khi năng lượng chùm sáng Φ tăng lên, đặc tuyến mang tính phi tuyến rõ nét. ($\Phi \nearrow \rightarrow$ nồng độ các hạt tải $\nearrow \rightarrow$ tốc độ tái hợp bởi các bẫy $\nearrow \rightarrow$ thời gian sống của các hạt tải $\searrow \rightarrow$ dòng \nearrow chậm lại.).



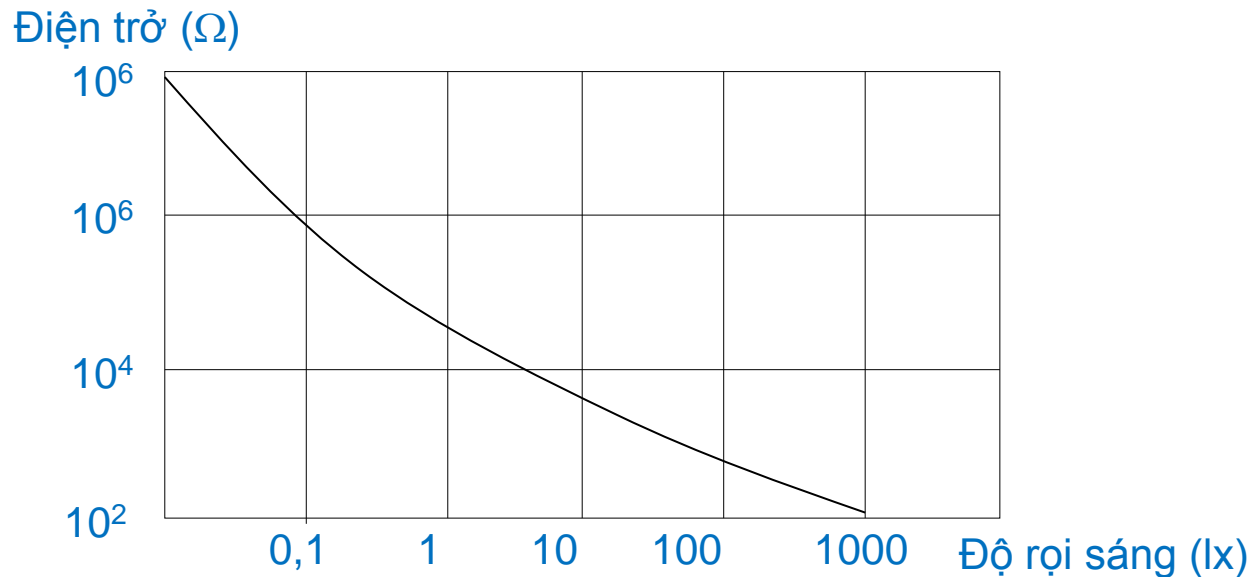
■ Đặc tuyến phổ tương đối

- ❖ Đặc tuyến phổ tương đối xác định quan hệ giữa tần số ánh sáng chiếu vào và độ nhạy đơn sắc của dụng cụ.
 - ❖ Với các bán dẫn khác nhau, độ nhạy của chúng đối với ánh sáng đơn sắc cũng khác nhau.
- ⇒ Các bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau → có điểm hấp thụ cực đại tại các tần số khác nhau.

Cảm biến quang trở

■ Đặc tuyến điện trở

- ❖ Mô tả quan hệ giữa điện trở của dụng cụ với độ rọi của chùm tia sáng chiếu vào.



$$E = \frac{\Phi}{A}$$

E: Độ rọi

Φ Quang thông

- ❖ Đây là đặc tính thường gặp và được ứng dụng nhiều trong thực tế.

Cảm biến quang trở

- Tế bào quang dẫn có thể coi như một mạch tương đương gồm hai điện trở R_{co} và R_{cp} mắc song song:

$$R_o = \frac{R_{co} R_{cp}}{R_{co} + R_{cp}}$$

- Trong đó

- R_{co} - điện trở trong tối
- R_{cp} - điện trở khi chiếu sáng $R_{cp} = a.\Phi^{-\gamma}$
- a - hệ số phụ thuộc vào bản chất vật liệu, nhiệt độ, bức xạ
- γ - hệ số có giá trị từ 0.5 đến 1

Cảm biến quang trở

- Thông thường $R_{cp} \ll R_{co}$, nên có thể coi $R_c = R_{cp}$.
- Công thức (2.12) cho thấy sự phụ thuộc của điện trở của tế bào quang dẫn vào thông lượng ánh sáng là không tuyến tính, tuy nhiên có thể tuyến tính hóa bằng cách sử dụng một điện trở mắc song song với tế bào quang dẫn.
- Mặt khác, độ nhạy nhiệt của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ, khi độ rọi càng lớn độ nhạy nhiệt càng nhỏ.

Cảm biến quang trở

■ Độ nhạy:

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{A} \Phi^{\gamma-1}$$

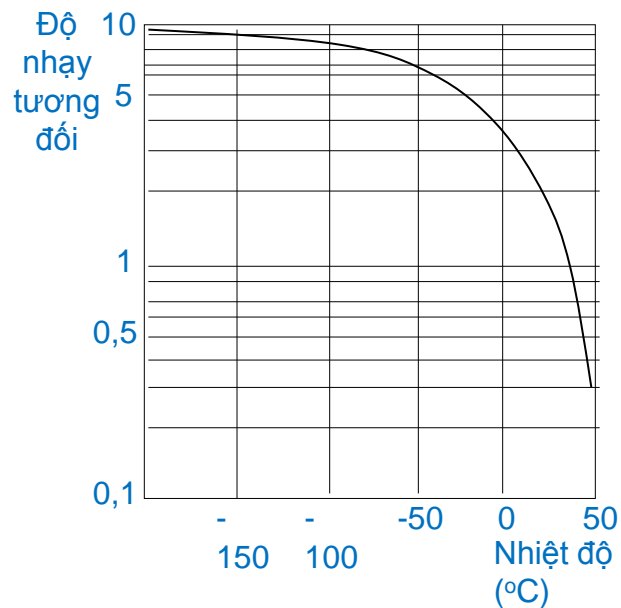
■ Nhận xét:

- + Độ nhạy giảm khi Φ tăng (trừ $\gamma = 1$)
- + Độ nhạy giảm khi tăng nhiệt độ, khi điện áp đặt vào lớn.
- + Độ nhạy phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

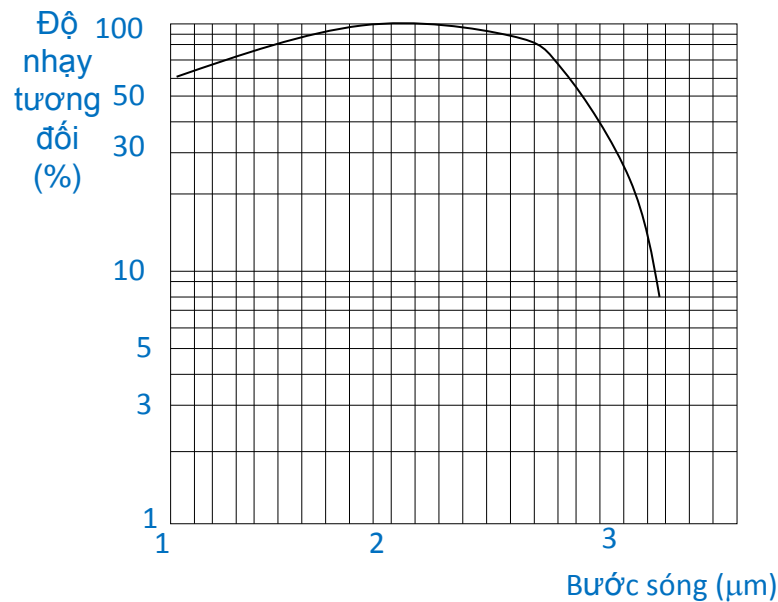
❖ Đặc điểm

- Tỷ lệ chuyển đổi tĩnh cao.
- Độ nhạy cao.
- Hồi đáp phụ thuộc không tuyến tính Φ .
- Thời gian hồi đáp lớn.
- Các đặc trưng không ổn định do già hoá.
- Độ nhạy phụ thuộc nhiệt độ, một số loại đòi hỏi làm nguội.

Cảm biến quang trở



Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhạy của tế bào quang dẫn



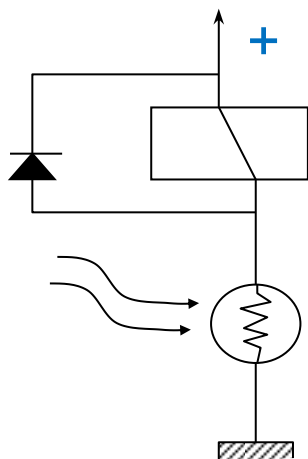
Ảnh hưởng bước sóng đến độ nhạy của tế bào quang dẫn

Cảm biến quang trở

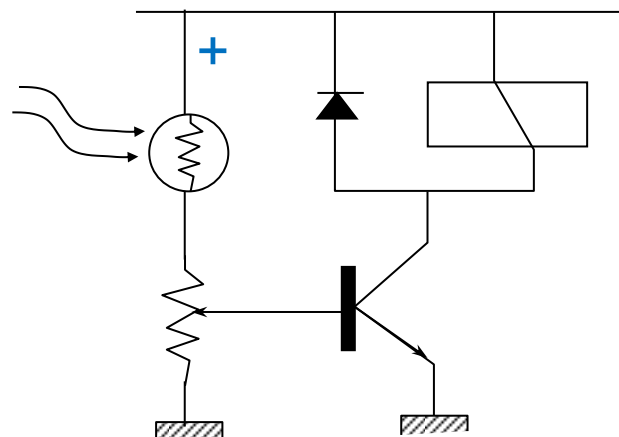
Ứng dụng:

- Điều khiển rơ le: khi có bức xạ ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn, điện trở giảm, cho dòng điện chạy qua đủ lớn → sử dụng trực tiếp hoặc qua khuếch đại để đóng mở rơ le.
- Thu tín hiệu quang: dùng tế bào quang dẫn để thu và biến tín hiệu quang thành xung điện.

Cảm biến quang trở



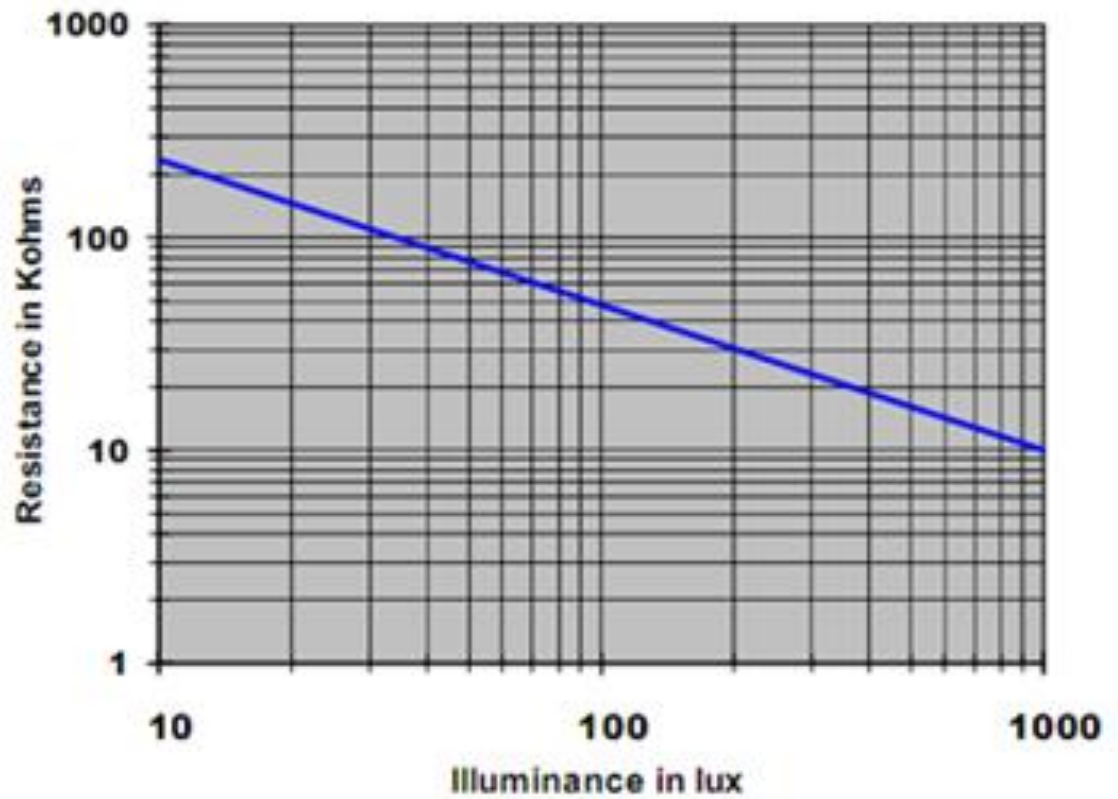
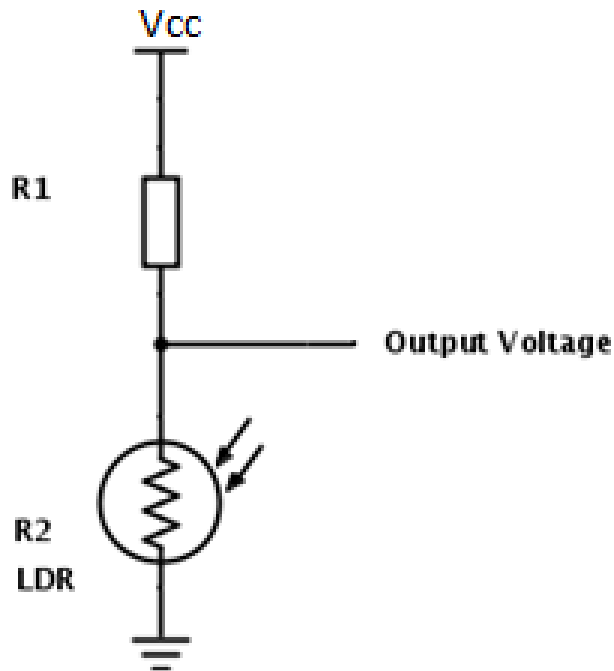
Điều khiển trực tiếp



Điều khiển thông qua
tranzito khuếch đại

Cảm biến quang trở

Câu 3: Cho quang trở có đặc tính như sau, biết Biết $V_{cc}=9V$, $R1=10k\Omega$, tính độ rọi của ánh sáng khi điện áp ra là $6V$; $7.87V$

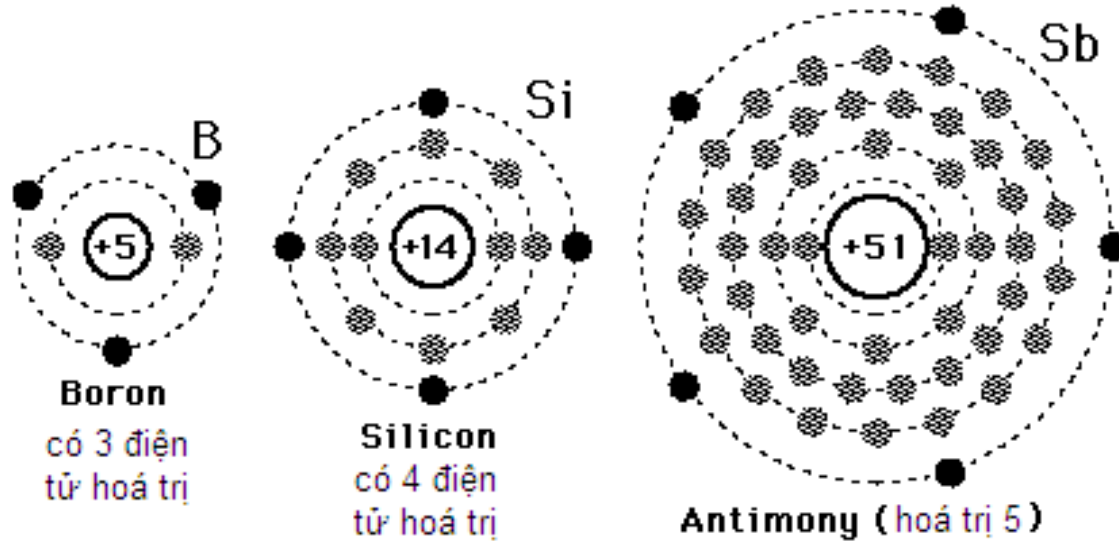


Photodiode



- Nguyên lý của photodiode

Điện tử hoá trị

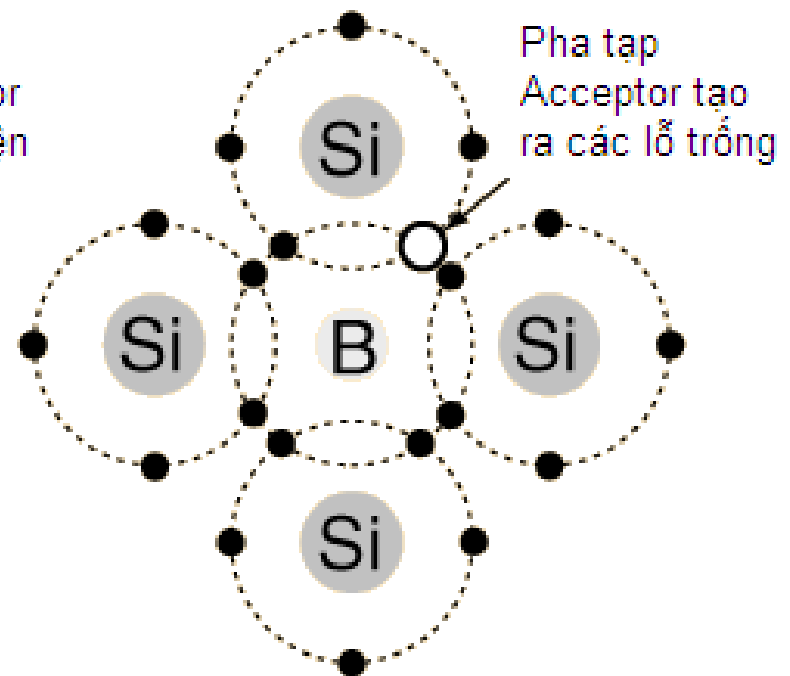
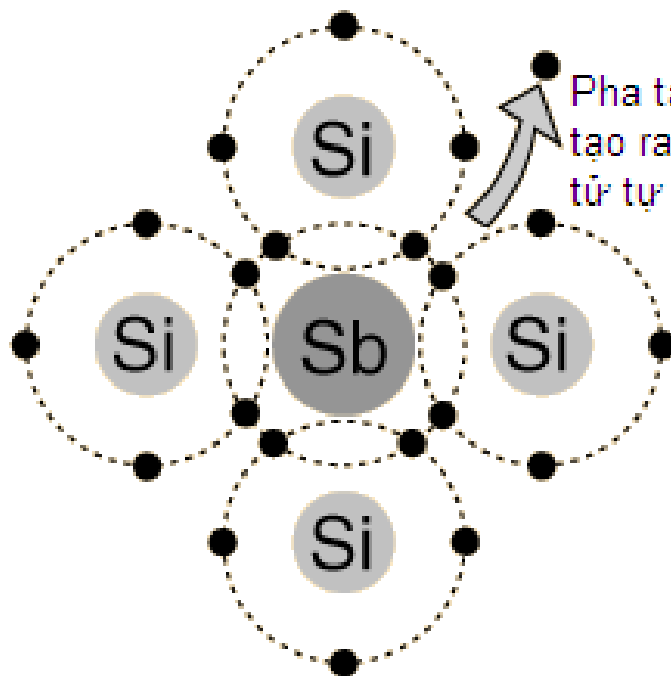


- Các điện tử ở vòng ngoài cùng của mỗi nguyên tử được gọi là các điện tử hoá trị; chúng quyết định tính chất hoá học và cũng quyết định cả tính dẫn điện của vật liệu.
- Tính dẫn điện của vật liệu được giải thích bằng lý thuyết về các giải năng lượng (mức năng lượng cần để giải phóng một điện tử hoá trị thành điện tử tự do).

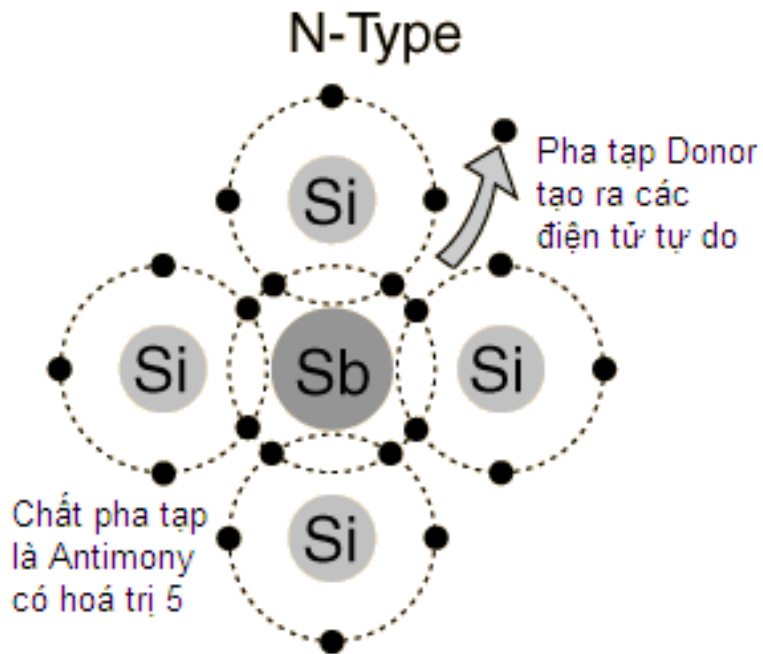
Pha tạp (doping) chất bán dẫn

- Pha tạp một lượng nhỏ các nguyên tử ngoại lai vào cấu trúc mạng tinh thể của silicon hoặc germanium sẽ làm thay đổi đáng kể tính chất dẫn điện của chúng.
- Các nguyên tử pha tạp có 5 điện tử hoá trị sẽ làm xuất hiện điện tử thừa ở mỗi liên kết đồng hoá trị và tạo ra chất bán dẫn **pha tạp loại n** (negative). Chất pha tạp trong trường hợp này được gọi là “Donor”.
- Các nguyên tử pha tạp có 3 điện tử hoá trị sẽ làm xuất hiện “lỗ trống” do bị thiếu điện tử ở mỗi liên kết đồng hoá trị. Pha tạp này được gọi là **pha tạp loại p** (positive), còn nguyên tố pha tạp được gọi là “Acceptor”.

Pha tạp loại N và loại P



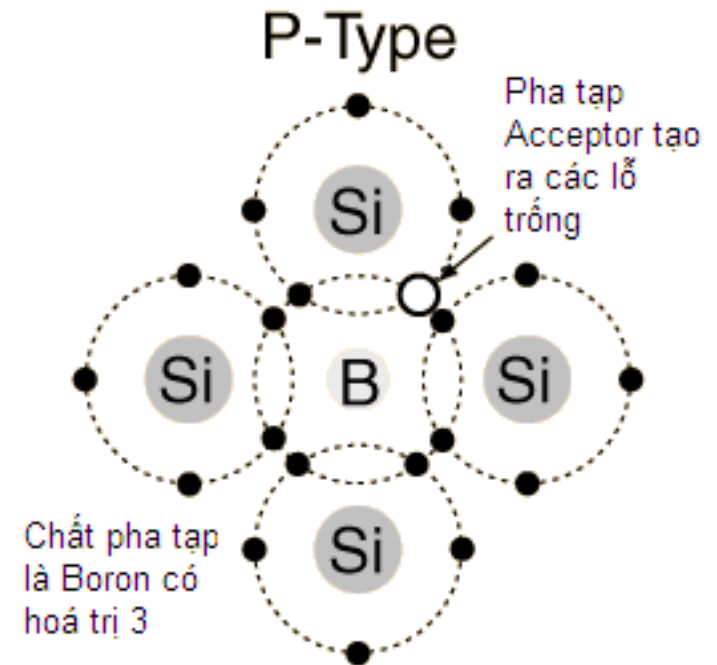
Bán dẫn pha tạp loại N



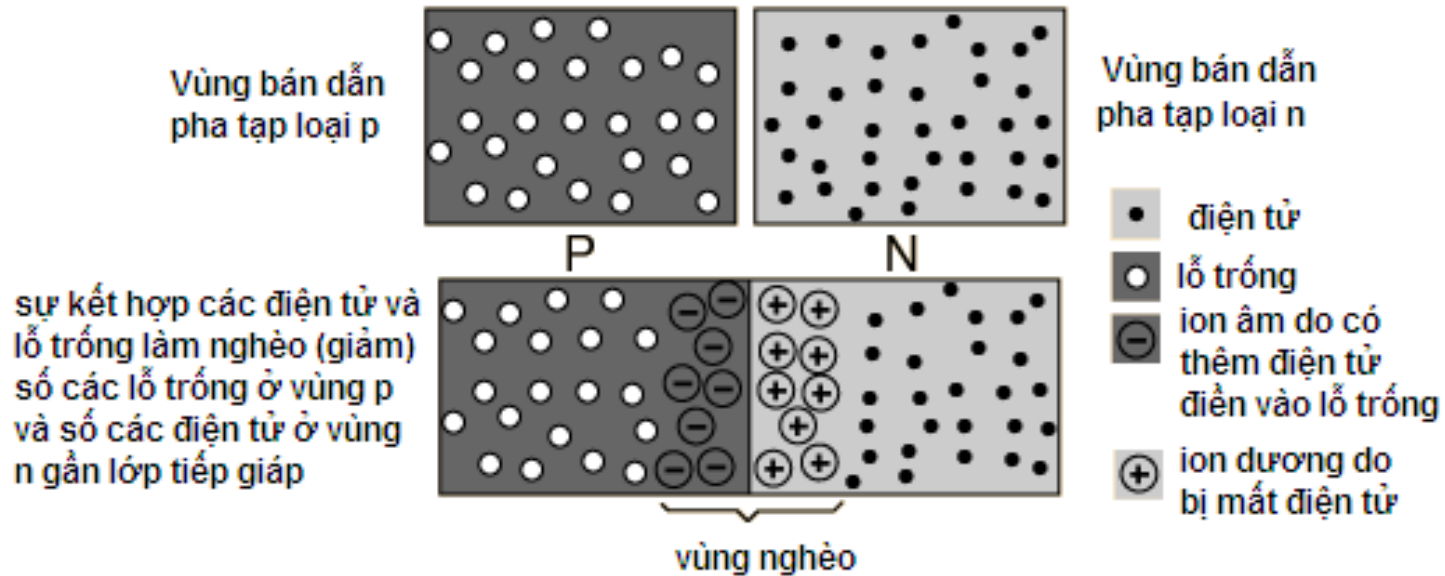
- Pha tạp thêm các nguyên tử của các nguyên tố có hoá trị năm như là antimony, arsenic hoặc phosphorous sẽ tạo ra thêm các điện tử tự do làm tăng đáng kể tính dẫn điện của chất bán dẫn.
- Có thể pha tạp phosphorous bằng cách cho khuếch tán khí phosphine (PH_3).

Bán dẫn pha tạp loại P

- Pha tạp thêm các nguyên tử của các nguyên tố có hoá trị ba như là boron, aluminum hoặc gallium vào silicon sẽ tạo ra các “lỗ trống”. Điều này cũng làm tăng độ dẫn điện của silicon.
- Người ta thường dùng khí diborane B_2H_6 để khuếch tán boron vào mạng tinh thể silicon.



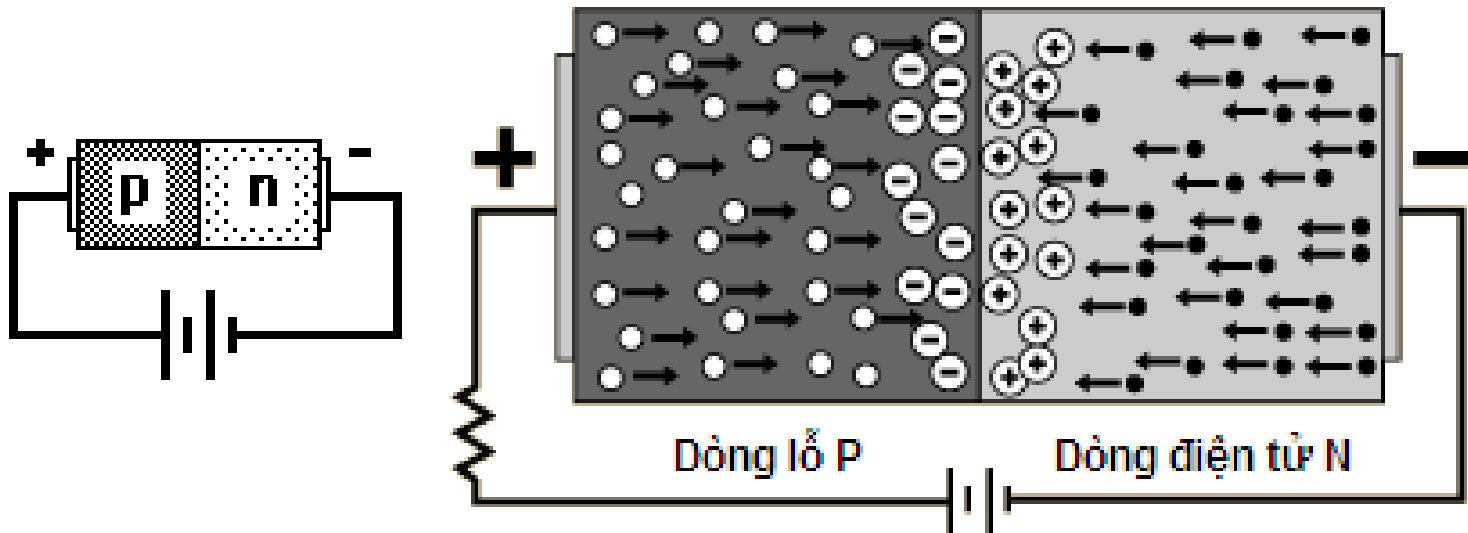
Vùng nghèo



- Khi một tiếp giáp p-n được hình thành, một số điện tử tự do ở vùng n khuếch tán qua tiếp giáp và kết hợp với các lỗ trống để tạo nên các ion âm ở vùng p.
- Đồng thời, các nguyên tử ở vùng n do bị thiếu điện tử nên trở thành các ion dương.
- Vùng chứa các ion âm và dương ở lân cận tiếp giáp được gọi là vùng nghèo.

Tiếp giáp P-N phân cực thuận

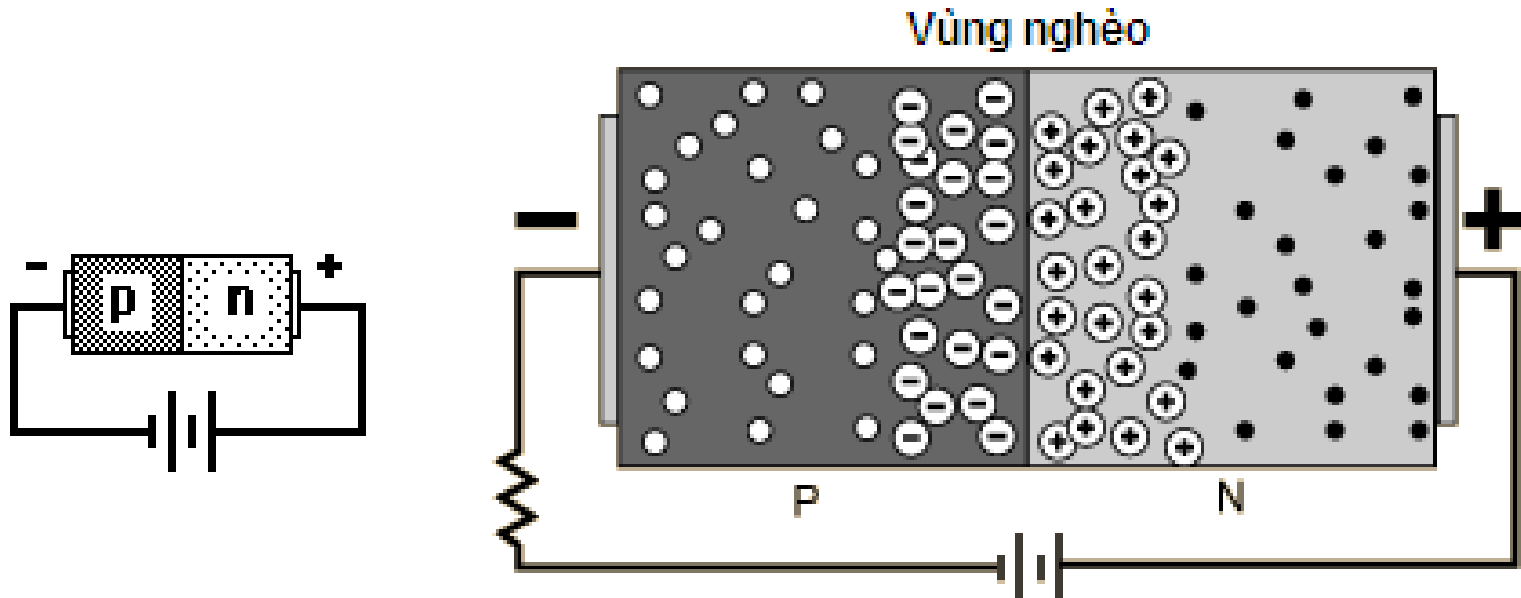
- Một tiếp giáp p-n được phân cực thuận làm cho các lỗ trống ở vùng bán dẫn pha tạp loại p và các điện tử ở vùng bán dẫn pha tạp loại n chuyển động tới miền tiếp xúc.
- Tại vùng tiếp xúc các điện tử và lỗ trống tái hợp, tạo nên một dòng điện liên tục đi qua tiếp giáp p-n, dòng điện này phụ thuộc vào điện áp phân cực thuận.



Tiếp giáp P-N phân cực ngược

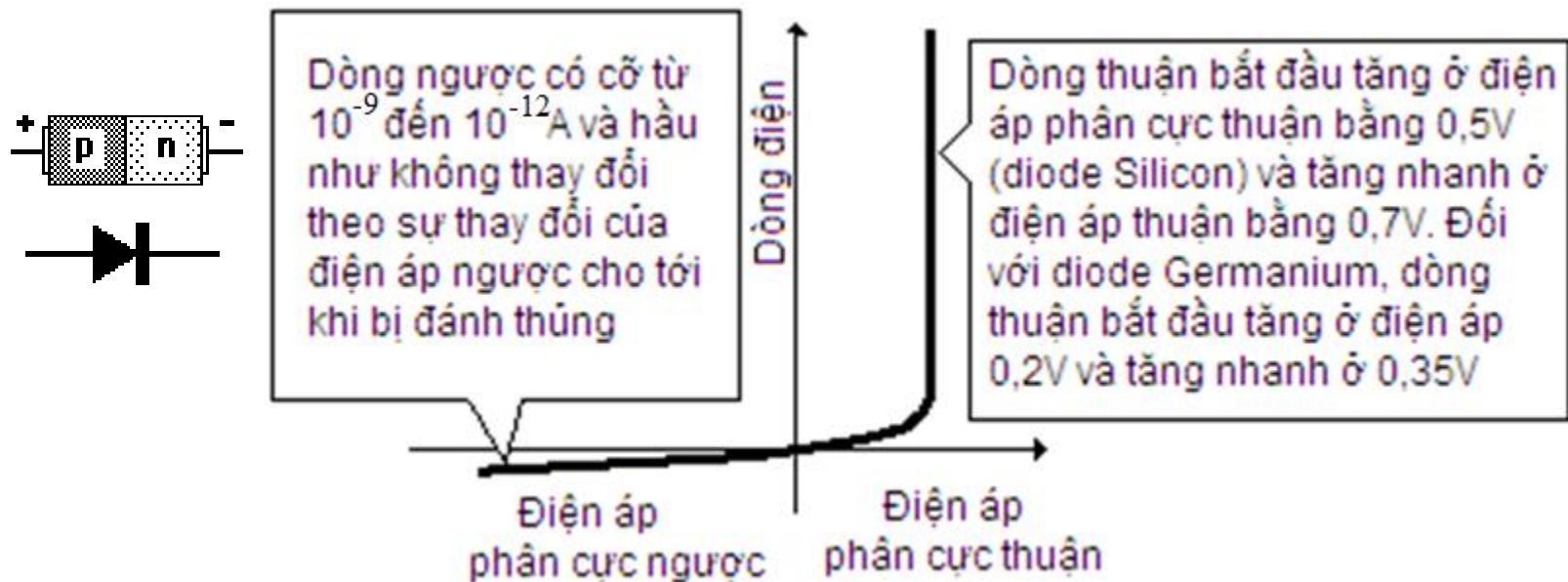


- Nếu đặt một điện áp ngược lên tiếp giáp p-n, cả điện tử và lỗ trống đều bị kéo xa khỏi vùng tiếp xúc tạo nên một dòng điện quá độ có cường độ nhỏ.
- Vùng nghèo ở lân cận mặt tiếp xúc được mở rộng ra cân bằng với điện áp đặt vào, dòng điện ngược được duy trì với giá trị gần như không đổi và được gọi là dòng ngược bão hoà.



Diode bán dẫn P-N

- Bản chất của tiếp giáp p-n là chỉ dẫn dòng điện khi được phân cực thuận và không dẫn dòng khi phân cực ngược.
- Đây là linh kiện dùng để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều AC thành một chiều DC trong các mạch tạo nguồn cung cấp.



Đặc tính Volt-Amp của diode

$$I_D = I_S \left(e^{qV_D / kT} - 1 \right)$$

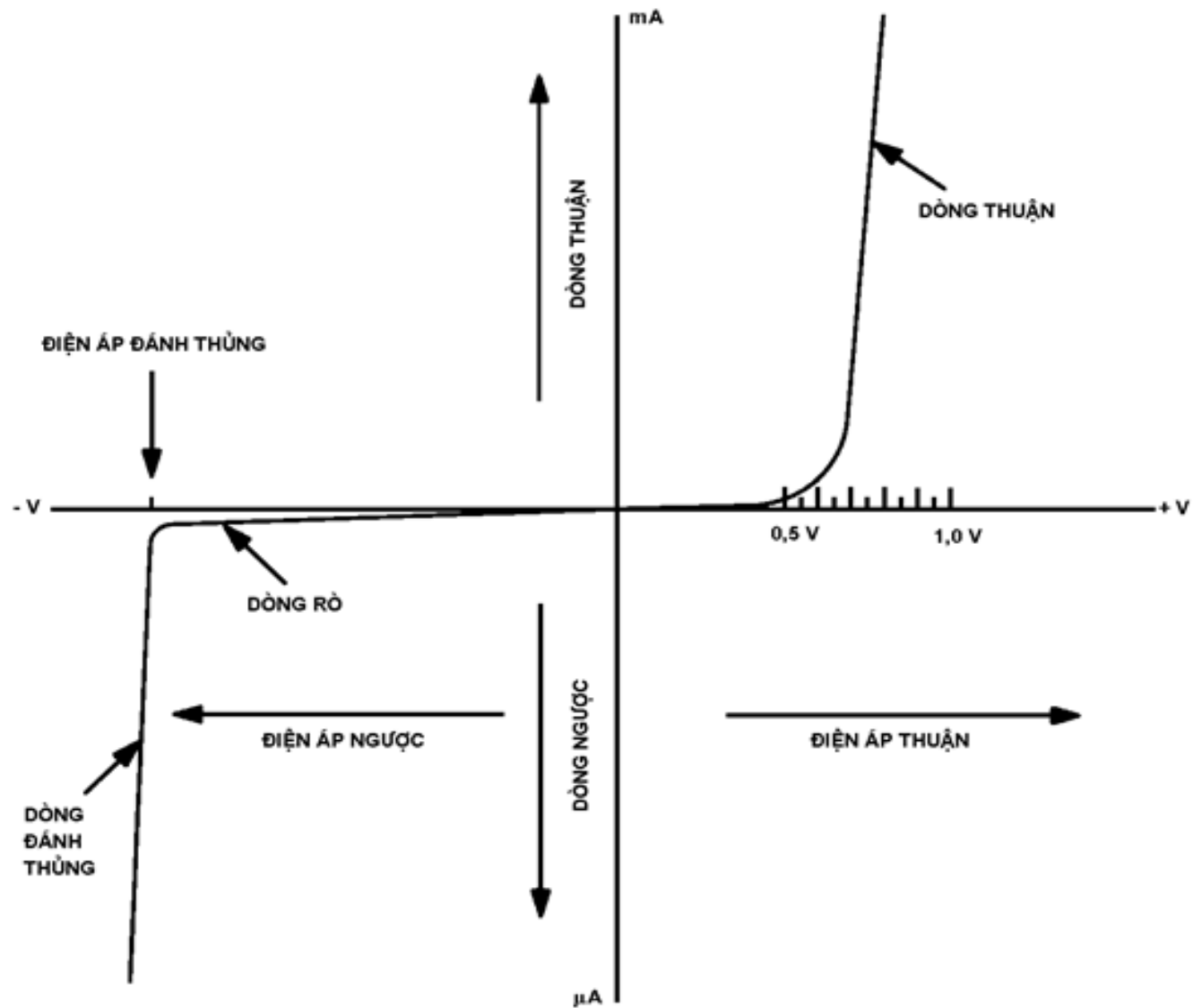
Trong đó,

- I_D = dòng qua diode, tính bằng amp
- I_S = dòng ngược bão hoà của diode, tính bằng amp
(có độ lớn cỡ 10^{-12} amp)
- e = hằng số Euler ($\sim 2,718281828$)
- q = điện tích của điện tử ($1,6 \times 10^{-19}$ coulomb)
- V_D = điện áp đặt lên tiếp giáp P-N
- k = hằng số Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$)
- T = nhiệt độ của tiếp giáp, tính theo thang độ Kelvin

Ở điều kiện nhiệt độ trong phòng ($T=300K$):

$$\text{thế nhiệt } \varphi_T = kT/q = 26\text{mV}$$

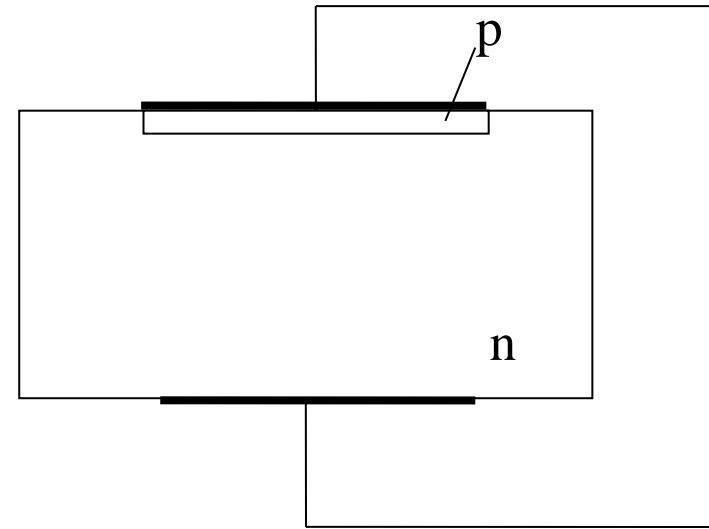
Đặc tính Volt-Amp của diode



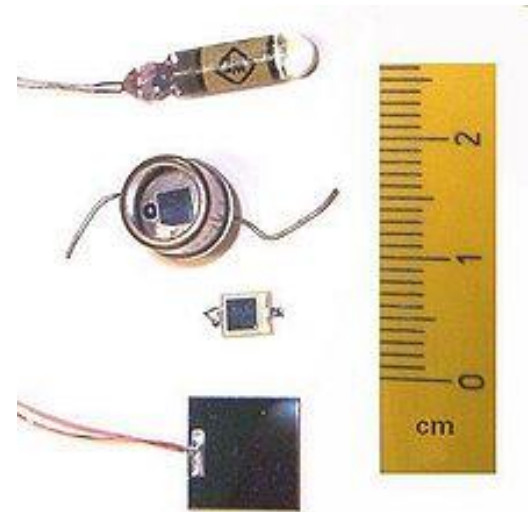
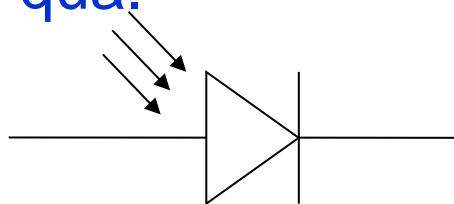
Photodiode P-N

Cấu tạo:

- Một phiến bán dẫn loại n (hay p), người ta khuếch tán loại tạp p (hay n) để tạo tiếp giáp p-n.
- Hai lớp bán dẫn n và p được gắn điện cực để đưa ra ngoài.
- Điện cực phía p phải trong suốt để ánh sáng đi qua.

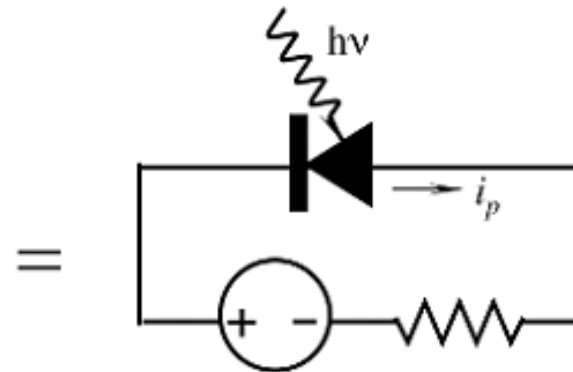
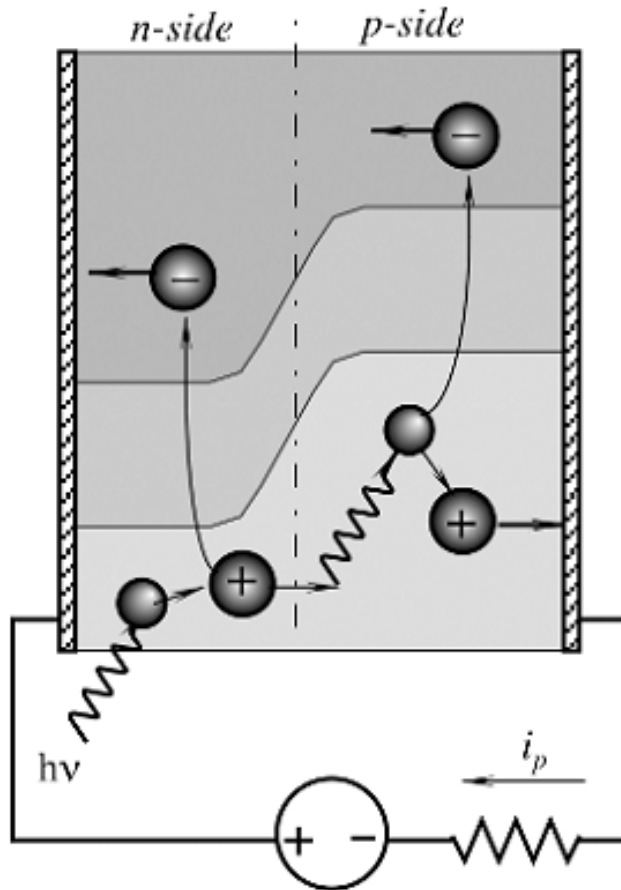


- Ký hiệu:



2.3. Photodiode

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



2.3. Photodiode

■ Nguyên lý hoạt động:

- Khi $\Phi = 0$ và $V = 0$, dòng điện chạy qua

$$I = I_{kt} - I_0 = I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] - I_0 = 0$$

$I_{kt} \rightarrow$ Dòng khuếch tán các hạt cơ bản. $I_0 \rightarrow$ Dòng hạt dẫn không cơ bản sinh ra do kích thích nhiệt.

- Khi $V > 0 \rightarrow$ dòng ngược: $I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 \neq 0$

- Khi V đủ lớn $-I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] \rightarrow 0$ và $I_r = I_0$.

Photodiode P-N

Khi không có ánh sáng và cấp áp thuận

- Khi không có ánh sáng chiếu vào, photodiode hoạt động như một diode bình thường.

Khi chiếu sáng và chưa cấp điện áp

- Khi có ánh sáng chiếu vào, chưa có điện áp cung cấp thì vẫn có dòng điện qua nó: dòng tối, và bề mặt bán dẫn có thể hiệu mới: suất điện động quang.
 - ❖ Dòng tối là một thông số quan trọng của photodiode.
 - ❖ Dòng này càng nhỏ, diode càng tốt vì dòng này sinh nhiễu tạp âm.

Photodiode P-N

Giải thích:

- Khi chiếu vào bán dẫn chùm ánh sáng có năng lượng đủ lớn $h\nu \geq \Delta E_g$:
 - ❖ Một phần ánh sáng bị phản xạ,
 - ❖ Một phần đi sâu vào bán dẫn và bị hấp thụ sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống.
- Tại miền này của bán dẫn p có sự không cân bằng nồng độ hạt dẫn, các điện tử - lỗ trống mới phát sinh khuếch tán về bờ miền nghèo chuyển tiếp p-n.
- Ở đây, điện tử bị điện trường tiếp xúc E_{tx} của chuyển tiếp p-n cuốn sang bán dẫn n: dòng tới; còn lỗ trống bị cản lại. Khi đó chuyển tiếp p-n đạt trạng thái cân bằng mới

Photodiode P-N

■ Thế hiệu mới trên tiếp xúc p-n :

$$U = U_{tx} - U_{\phi}$$

- ❖ U_{tx} : điện thế tiếp xúc vốn có của chuyển tiếp p-n.
- ❖ U_{ϕ} : điện thế tạo bởi các hạt dẫn mới phát sinh trong quá trình hấp thụ ánh sáng, và được gọi là sức điện động quang.

$$U_{\phi} < U_{tx}$$

■ Sức điện động quang phụ thuộc vào:

- ❖ Cường độ chùm sáng chiếu vào bán dẫn,
- ❖ Hiệu suất của photon,
- ❖ Và nhiều yếu tố khác.

2.3. Photodiode

- Khi chiếu sáng bằng luồng ánh sáng $\Phi_0 \rightarrow I_p$.

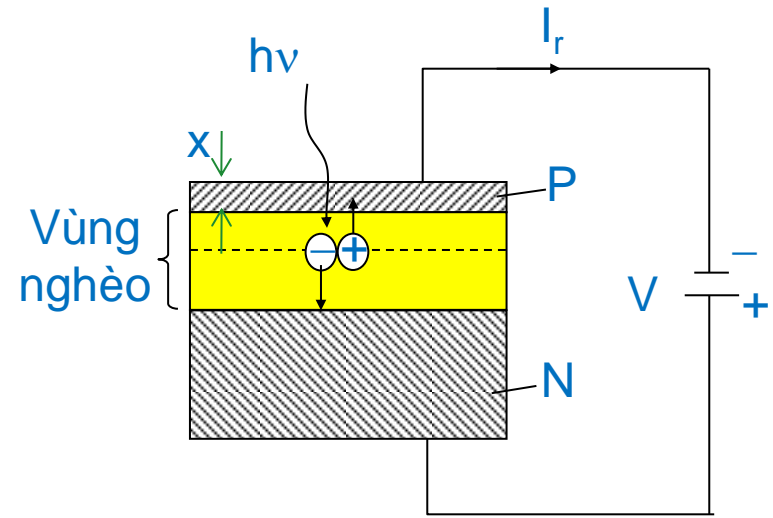
$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 \exp(-\alpha X)$$

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p$$

- Khi V đủ lớn:

$$I_r = I_0 + I_p \approx I_p$$

I_p : dòng quang điện



Hiệu ứng quang
điện khi chiếu
sáng

Photodiode P-N

Khi chiếu sáng và cấp điện áp ngược

- Khi chiếu ánh sáng vào bán dẫn và đặt điện áp ngược lên hai cực của chuyển tiếp p-n, trong mạch sẽ xuất hiện dòng điện I_p .
 - ❖ Chiều của dòng I_p trùng với chiều dòng ngược của diode.
 - ❖ I_p được tạo bởi các hạt thiểu số mới phát sinh do hấp thụ ánh sáng
- ⇒ Nó phụ thuộc vào tốc độ phát xạ cặp điện tử - lỗ trống khi bán dẫn hấp thụ ánh sáng.

2.3. Photodiode

■ Chế độ quang dẫn:

Phương trình mạch điện:

$$E = V_R - V_D$$

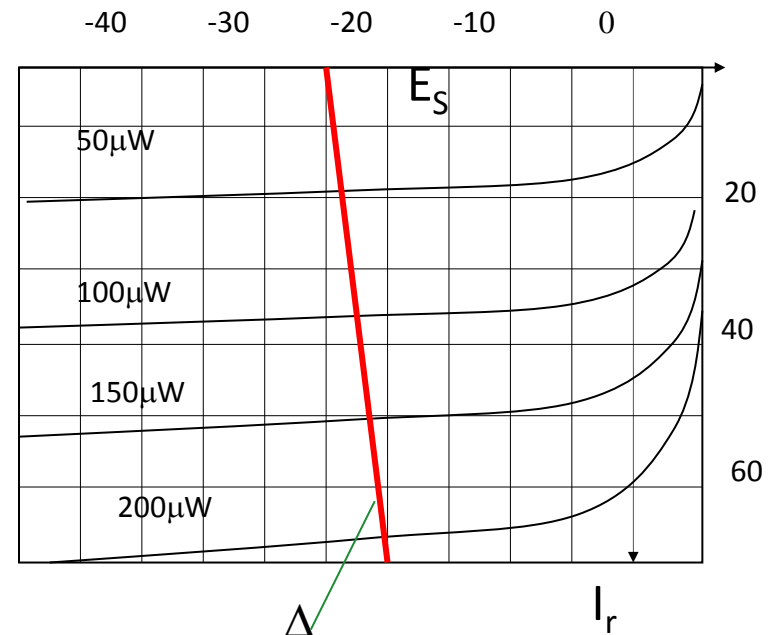
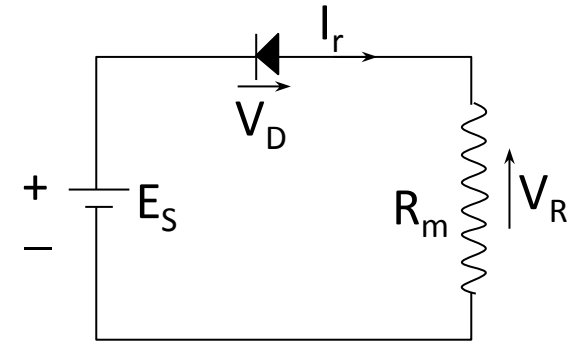
Tín hiệu ra: $V_R = R_m \cdot I_r$

⇒ đường thẳng tải Δ .

⇒ Dòng ngược:

$$I_r = \frac{E}{R_m} + \frac{V_D}{R_m}$$

Cảm biến làm việc ở chế độ tuyến tính $V_R \sim \Phi$.



2.3. Photodiode

- **Chế độ quang thế:** điện áp ngoài $V = 0$.

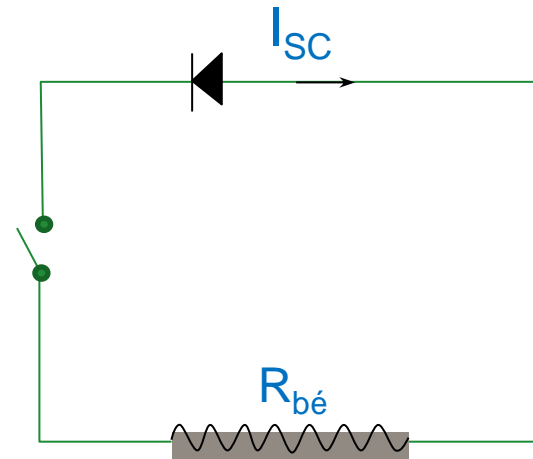
⇒ Đo thế hở mạch
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \log \left[1 + \frac{I_p}{I_0} \right]$$

Khi $I_p \ll I_0$: $V_{oc} \approx \frac{kT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_0} \Rightarrow$ nhỏ nhưng tỉ lệ với Φ .

Khi $I_p \gg I_0$: $V_{oc} = \frac{kT}{q} \log \frac{I_p}{I_0} \Rightarrow$ lớn nhưng tỉ lệ với $\log \Phi$.

⇒ Đo dòng ngắn mạch:

$$I_{sc} \approx I_p$$

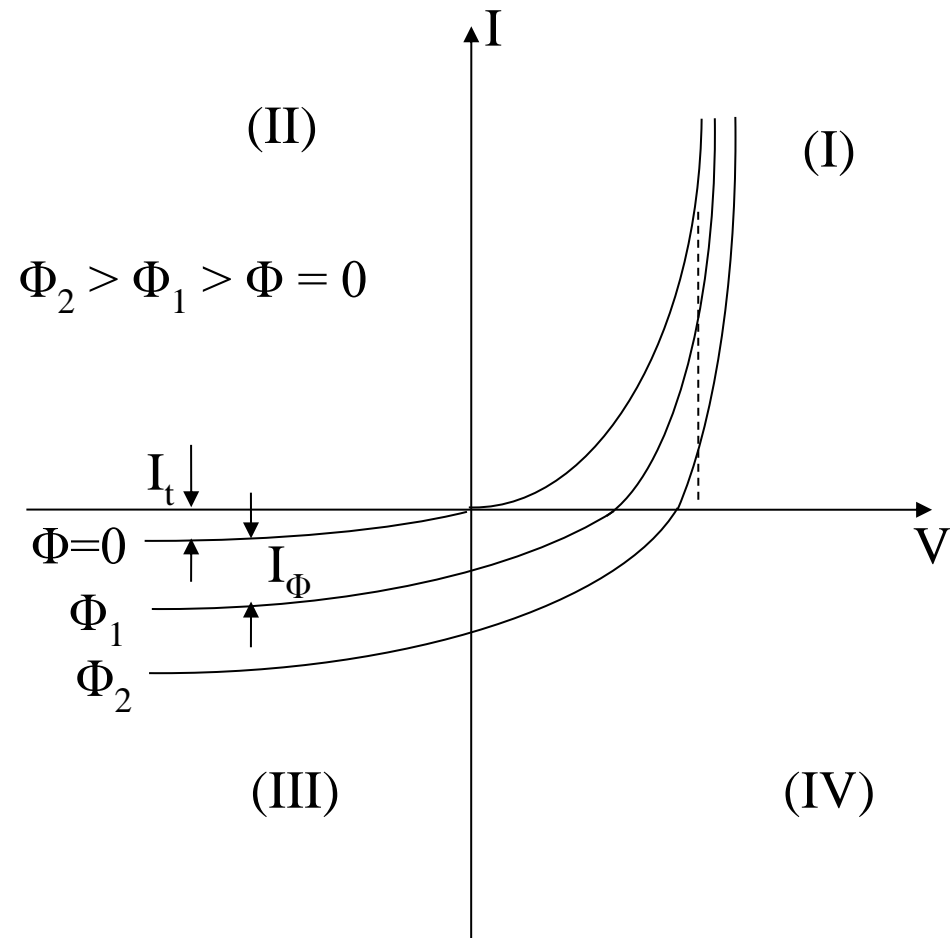
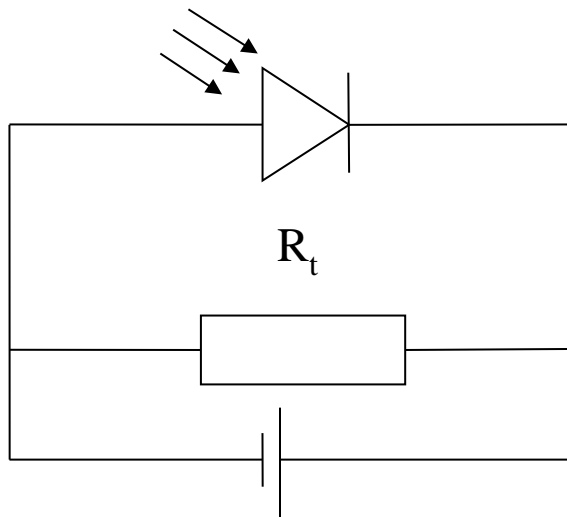


Photodiode P-N

■ Các đặc tuyến và tham số

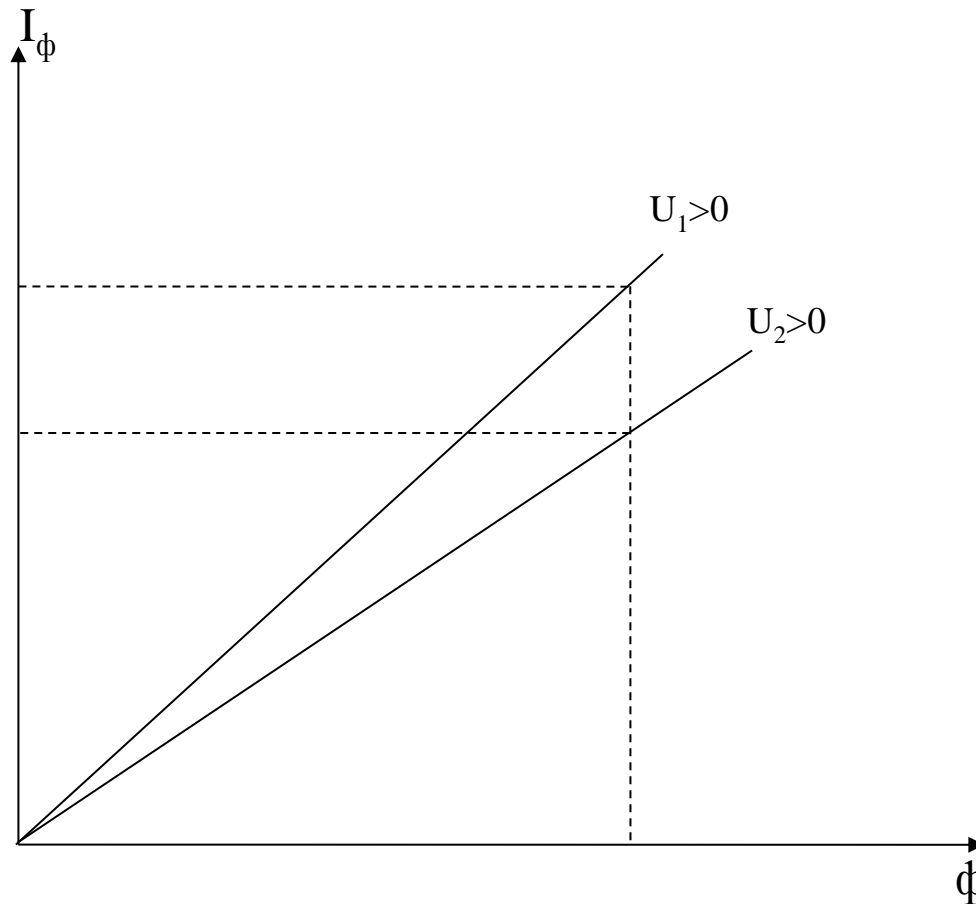
❖ Đặc tuyến V-A:

Sử dụng sơ đồ:



Photodiode P-N

Đặc tuyến năng lượng của photodiode:



- Dòng I_ϕ thay đổi tuyến tính trong khoảng biến thiên rộng của năng lượng chiếu sáng.
- Cùng một lượng chiếu sáng, điện áp phân cực ngược càng lớn \rightarrow dòng I_ϕ càng lớn.

Photodiode

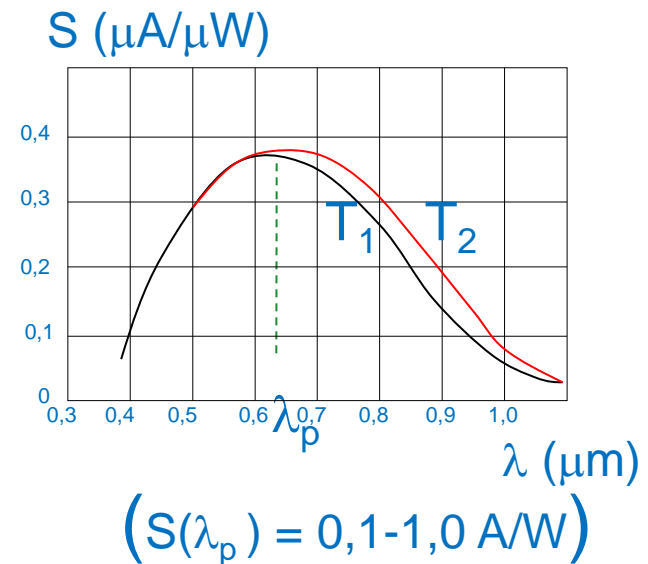
Độ nhạy:

- S không phụ thuộc thông lượng ánh sáng Φ .
- S phụ thuộc vào λ , với $\lambda \leq \lambda_s$:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_P}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda$$

$S \rightarrow S_{\max}$ khi $\lambda = \lambda_p$

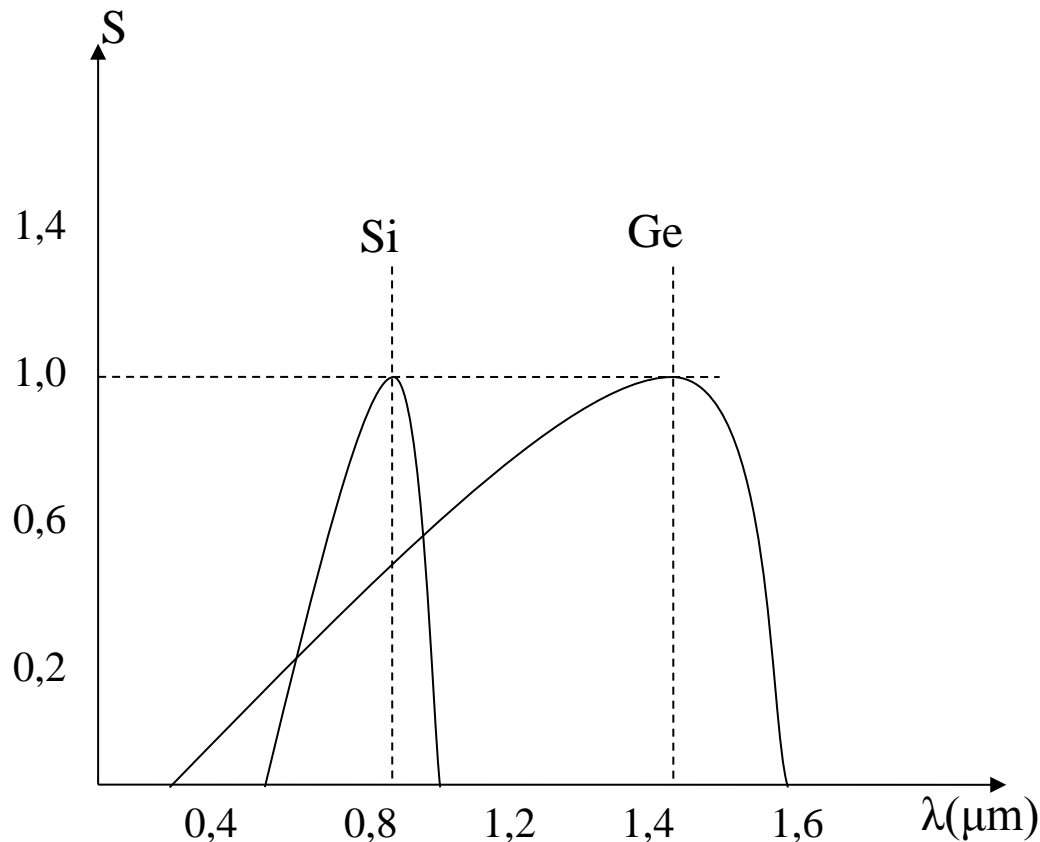
- Khi nhiệt độ tăng, λ_p dịch sang phải.
- S phụ thuộc hiệu suất lượng tử η , hệ số phản xạ R, hệ số hấp thụ α .



Photodiode P-N

▪ Đặc tuyến phổ tương đối của photodiode:

Thể hiện quan hệ độ nhạy của photodiode với bước sóng ánh sáng chiếu vào bán dẫn.



- ❖ Ở vùng sóng ngắn, độ nhạy của photodiode giảm nhỏ.
- ❖ Bán dẫn có độ rộng vùng cấm càng lớn \rightarrow có bước sóng giới hạn càng bé, và ngược lại.
- ❖ Silic có $\Delta E_g = 1,1\text{eV}$.
- ❖ Ge có $\Delta E_g = 0,7\text{eV}$.

Photodiode P-N

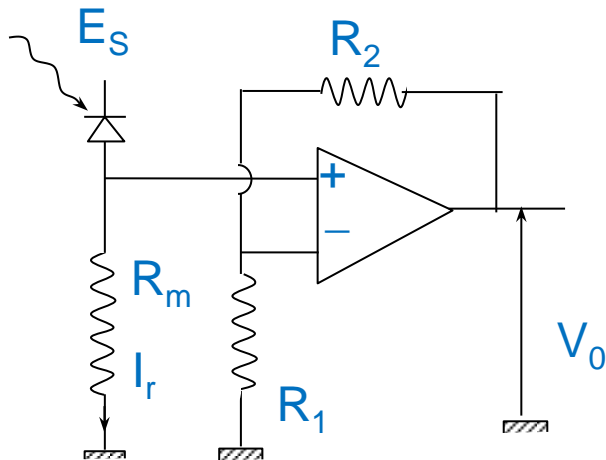
- Các tham số quan trọng của photodiode:
 - ❖ Điện áp công tác và điện áp đánh thủng là hai tham số cho biết chế độ điện áp để photodiode làm việc an toàn.
 - ❖ Độ nhạy, tần số giới hạn và chùm sáng ngưỡng cho biết đặc tính của cảm biến.

Photodiode



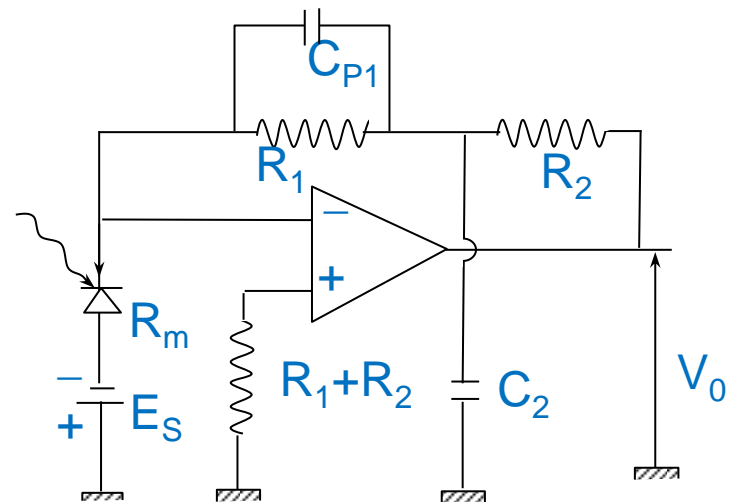
Ứng dụng:

- Sơ đồ mạch làm việc ở chế độ quang dẫn:



Sơ đồ cơ sở

$$V_0 = R_m \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] I_r$$



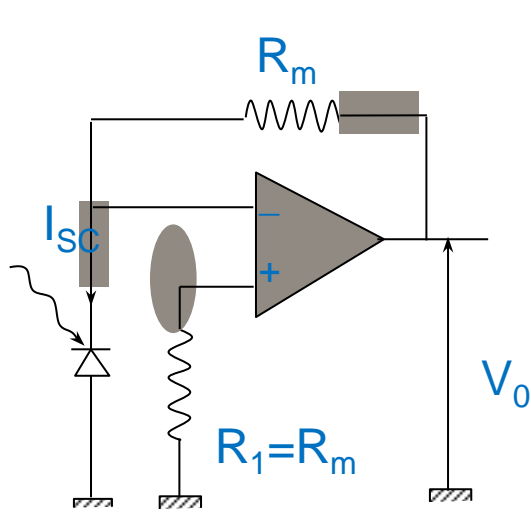
Sơ đồ tác động nhanh

$$V_0 = R_1 + R_2 \cdot I_r$$

Photodiode

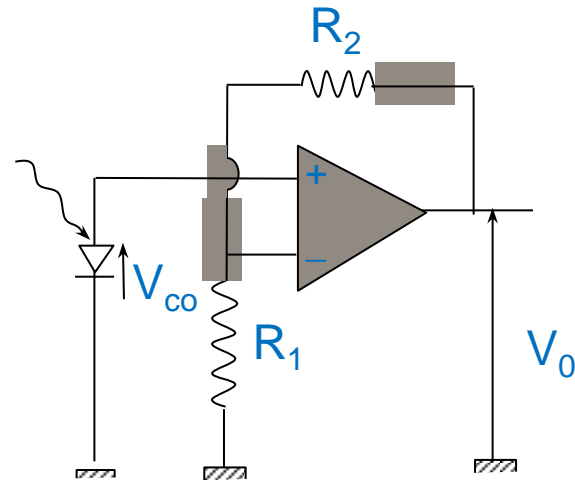


- Sơ đồ làm việc ở chế độ quang thế:



Sơ đồ tuyến
tính

$$V_0 = R_m \cdot I_{sc}$$



Sơ đồ logarit

$$V_0 = \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] V_{oc}$$

Chế độ quang dẫn:

- + Độ tuyến tính cao.
- + Thời gian hồi đáp ngắn.
- + Dải thông lớn.

Chế độ quang thế:

- + Có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc logarit.
- + Ít nhiễu.
- + Thời gian hồi đáp lớn.
- + Dải thông nhỏ.
- + Nhạy cảm với nhiệt độ ở chế độ logarit.

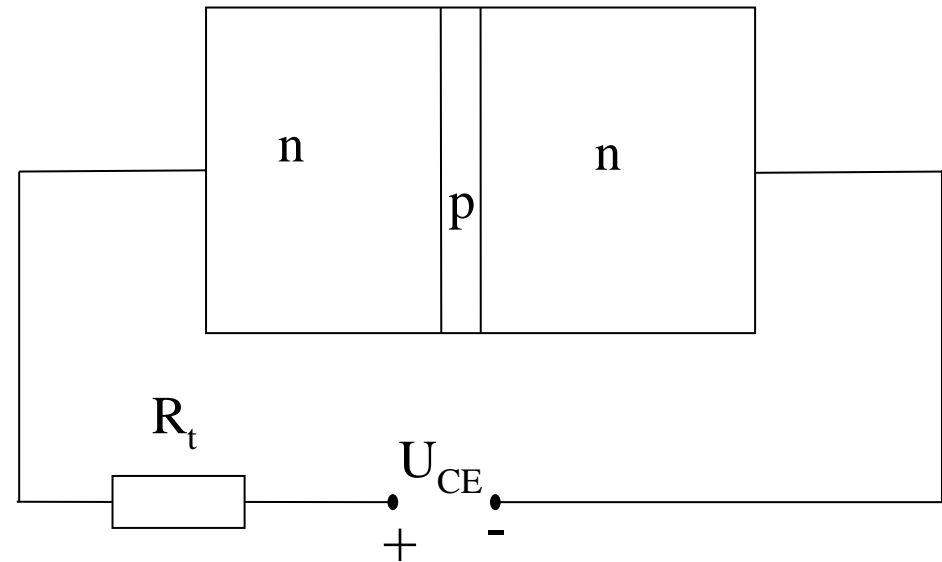
2.3. Photodiode

c) Ứng dụng:

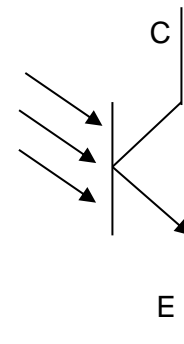
- Chuyển mạch: điều khiển rơ le, cổng logic,
- Đo ánh sáng không đổi (Chế độ tuyến tính)

Phototransistor

- PT có cấu tạo giống như transistor thường.
- Chỉ khác là:
 - ❖ Ở vỏ bọc phải có cửa sổ trong suốt để ánh sáng chiếu qua đến vùng Bazơ.
 - ❖ Không tác dụng dòng lên Bazơ mà tác dụng ánh sáng lên Bazơ.



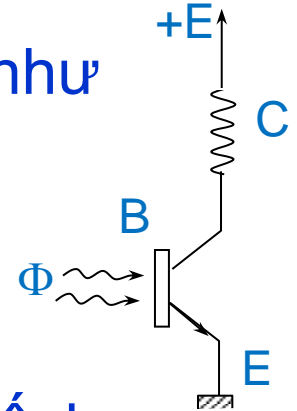
Ký hiệu:



Phototransistor

■ 5.2. Nguyên lý hoạt động:

- Khi sử dụng, PT được mắc mạch tương tự như transistor mắc E chung:



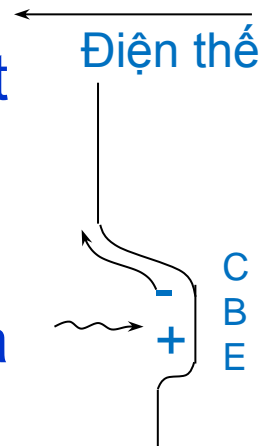
- ❖ Tiếp giáp B - E phân cực thuận
- ❖ Tiếp giáp B - C phân cực ngược

⇔ Khi làm việc, PT được phân cực ở chế độ khuếch đại.

- Khi chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó sẽ hoạt động giống như photodiode với dòng ngược:

$$I_r = I_0 + I_p$$

- ❖ I_0 : dòng ngược của chuyển tiếp p-n khi chưa chiếu sáng
- ❖ I_p : dòng quang điện.
- ❖ I_r : đóng vai trò của dòng I_B .



Phototransistor

- I_r đóng vai trò của dòng $I_B \Leftrightarrow I_r$ gây nên dòng I_C :

$$I_C = (\beta + 1)I_r$$

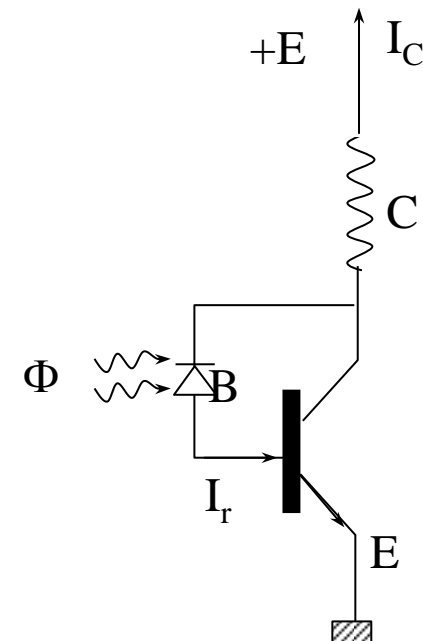
$$= (\beta + 1)I_0 + (\beta + 1)I_p$$

- ❖ β : hệ số khuếch đại dòng của transistor khi đầu E chung.

- Sơ đồ tương đương của phototransistor:

Có thể coi PT như một tổ hợp gồm:

- ❖ Một photodiode cung cấp dòng quang điện tại Bazor,
- ❖ Một transistor cho hiệu ứng khuếch đại

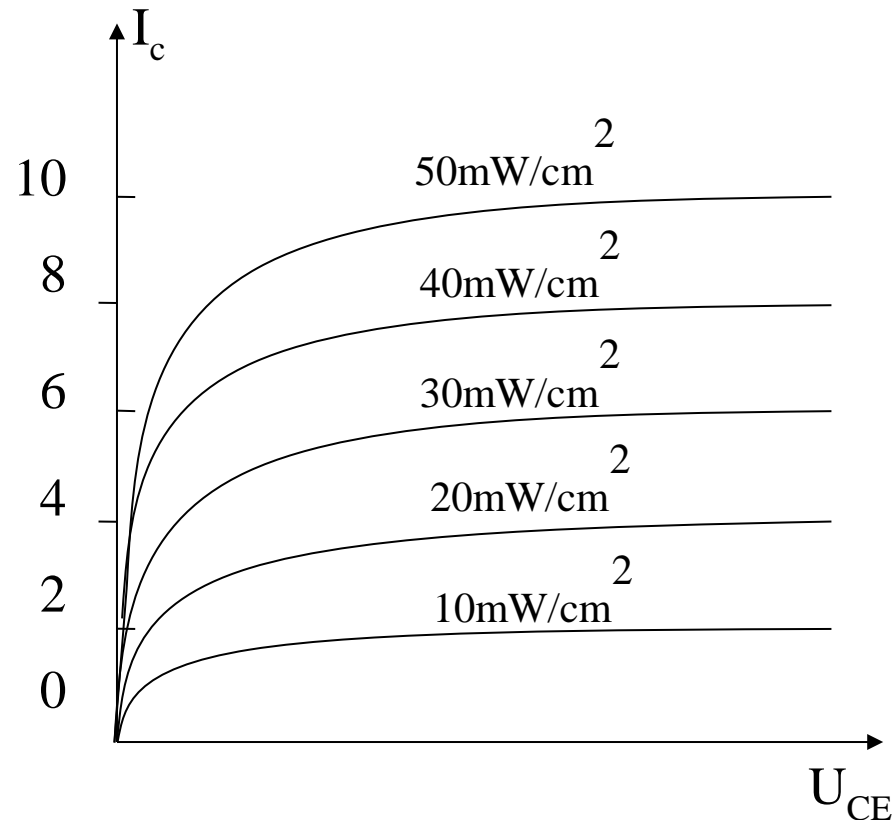


Phototransistor

Đặc tuyến và các tham số

■ Đặc tuyến V-A

- ❖ Tương tự như đặc tuyến của transistor thường.
- ❖ Điểm khác ở đây là các tham số không phải là dòng I_B mà là lượng chiếu sáng Φ .



Các đặc tuyến khác: Tương tự như của photodiode.

2.4. Phototranzito

c) Độ nhạy:
$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_c}{\Delta \Phi_0}$$

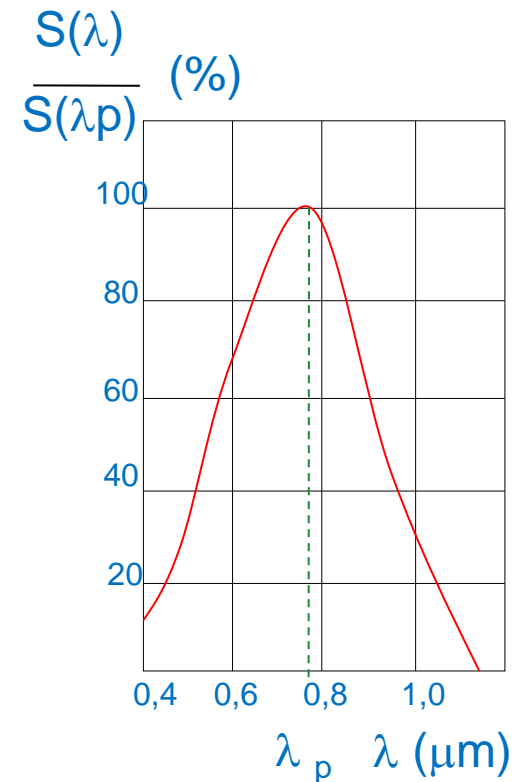
$$I_c = \beta + 1 \cdot I_r = \beta + 1 \cdot I_0 + \beta + 1 \cdot I_p$$

$$I_c \in I_p \in \Phi \text{ và } \beta \in I_c \rightarrow \beta \in \Phi$$

$\Rightarrow S \in \Phi \Rightarrow$ độ nhạy phụ thuộc thông lượng ánh sáng.

■ Độ nhạy phụ thuộc λ
(hình vẽ)

$$S(\lambda_p) = 1 \div 100 \text{ A/W}$$

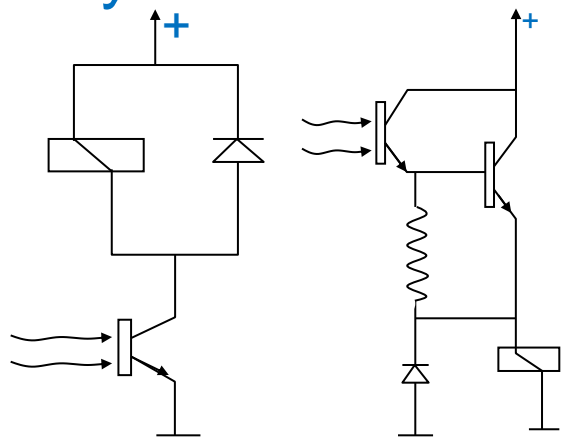


Đường cong phổ hồi đáp

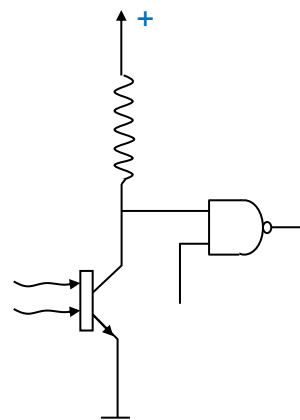
2.4. Phototranzito

d) Ứng dụng phototranzito:

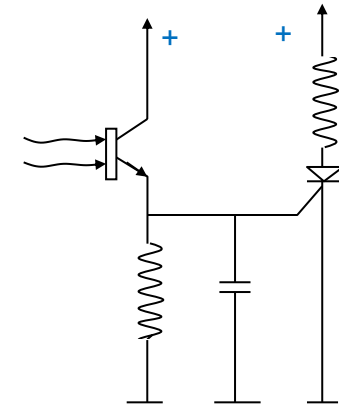
- **Chuyển mạch:** thông tin dạng nhị phân (có hay không có bức xạ, bức xạ nhỏ hơn hoặc lớn hơn ngưỡng) → điều khiển rơle, cổng logic hoặc thyristo.



Điều khiển rơle



Điều khiển cổng logic



Điều khiển thyristo

⇒ Cho độ khuếch đại lớn có thể dùng ĐK trực tiếp.

Cảm biến tiệm cận quang

■ Cấu tạo

❖ Bộ phát sáng:

- ✓ Thường dùng LED: **LED đỏ, LED hồng ngoại, LED lazer, ...**
- ✓ Ánh sáng được phát ra theo xung

❖ Bộ thu sáng:

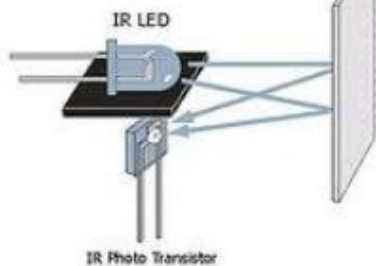
- ✓ Thường dùng Phototransistor
- ✓ Cảm nhận ánh sáng và chuyển đổi thành tín hiệu điện tỉ lệ

❖ Mạch tín hiệu ra:

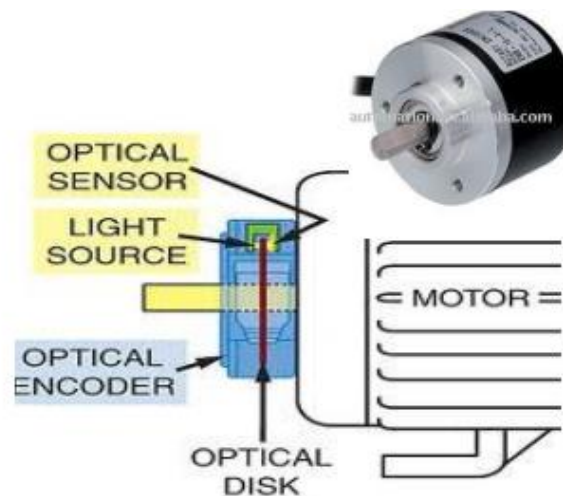
- ✓ Chuyển tín hiệu tỉ lệ từ bộ thu sáng thành tín hiệu ON/OFF được khuếch đại

Ứng dụng

Phát hiện đối tượng



CCD-Camera



Đo tốc độ quay của động cơ



Scanner & Printer



Dò đường cho ro-bot



Cảm biến tiệm cận quang

■ Một số hình ảnh thực tế

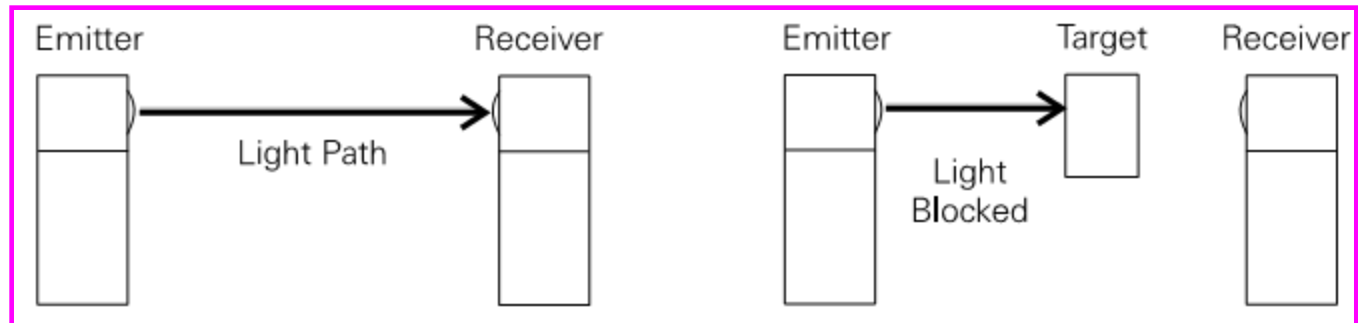


Cảm biến tiệm cận quang

■ Hoạt động

❖ Thu phát:

- ✓ Bộ thu và phát tách riêng biệt nhau
- ✓ Nếu có vật chắn ngang nguồn sáng sẽ có tín hiệu ra



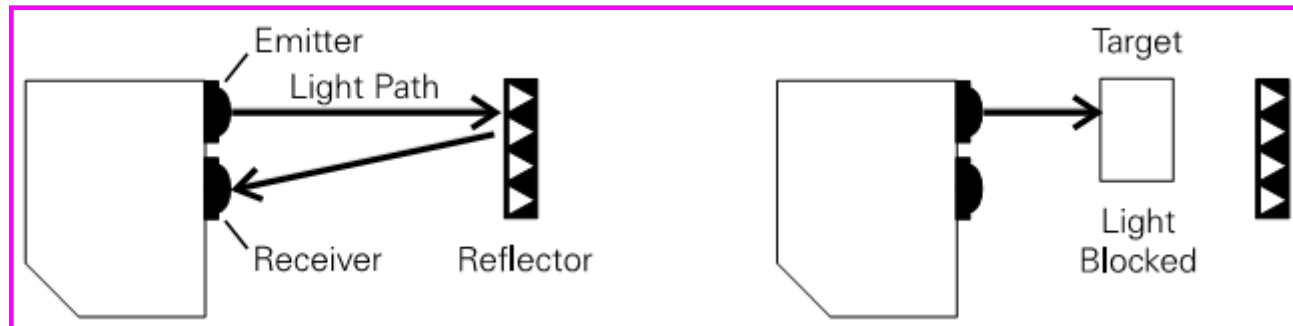
- ✓ **Ưu điểm:** khoảng cách phát hiện xa (có thể đến 30 m), độ tin cậy và độ chính xác vị trí cao, phát hiện được mọi vật thể (trừ trong suốt).
- ✓ **Nhược điểm:** mất nhiều thời gian cho việc lắp đặt, giá thành cao.

Cảm biến tiệm cận quang

■ Hoạt động

❖ Phản xạ gương:

- ✓ Nguồn sáng phát ra tới gương và phản xạ lại bộ thu
- ✓ Nếu có vật chắn ngang nguồn sáng sẽ có tín hiệu ra



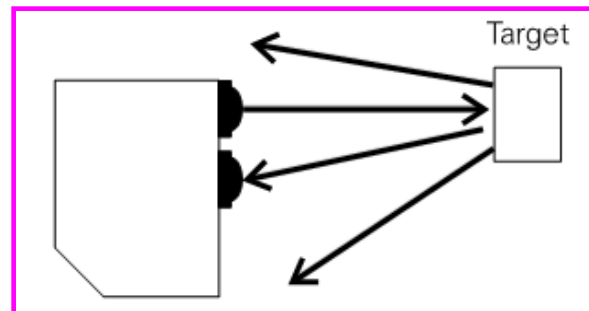
- ✓ **Ưu điểm:** giá thành thấp hơn loại thu phát, dễ lắp đặt và hiệu chỉnh, tin cậy.
- ✓ **Nhược điểm:** khoảng cách phát hiện ngắn, vẫn cần 2 điểm lắp đặt cảm biến và gương

Cảm biến tiệm cận quang

■ Hoạt động

❖ Phản xạ khuếch tán:

- ✓ Bộ phát sáng phát nguồn sáng tới đối tượng
- ✓ Đối tượng này sẽ phản xạ một phần ánh sáng (phản xạ khuếch tán) ngược lại bộ thu sáng, kích hoạt tín hiệu ra



- ✓ **Ưu điểm:** giá thành thấp, dễ lắp đặt (chỉ cần 1 điểm lắp đặt duy nhất)
- ✓ **Nhược điểm:** khoảng cách phát hiện ngắn và phụ thuộc vào kích thước, bề mặt và hình dáng của đối tượng.

Cảm biến tiệm cận quang

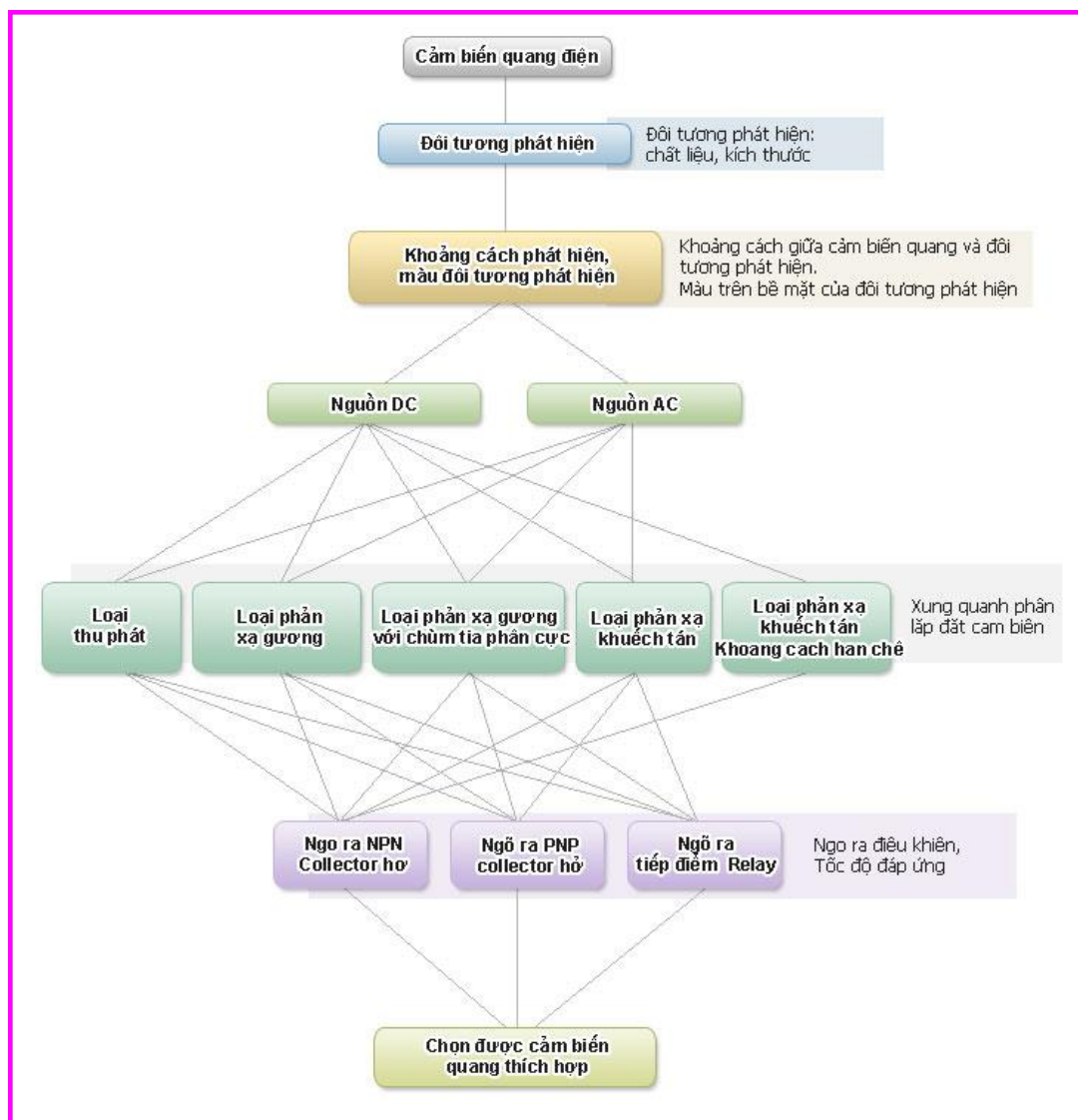
■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được mọi vật liệu
- ❖ Ổn định và tốc độ cao
- ❖ Độ phân giải tốt
- ❖ Giá thấp

■ Nhược điểm

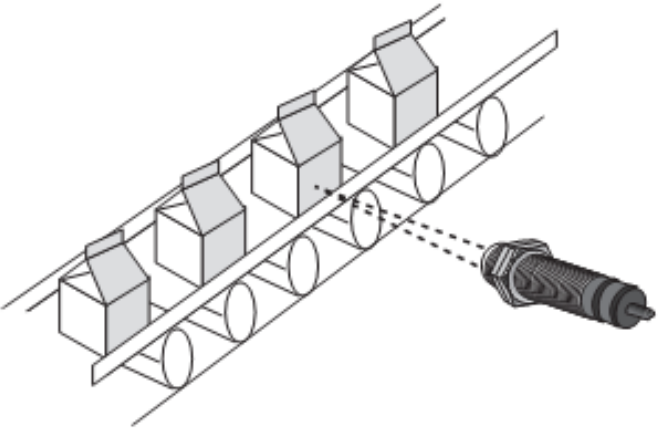
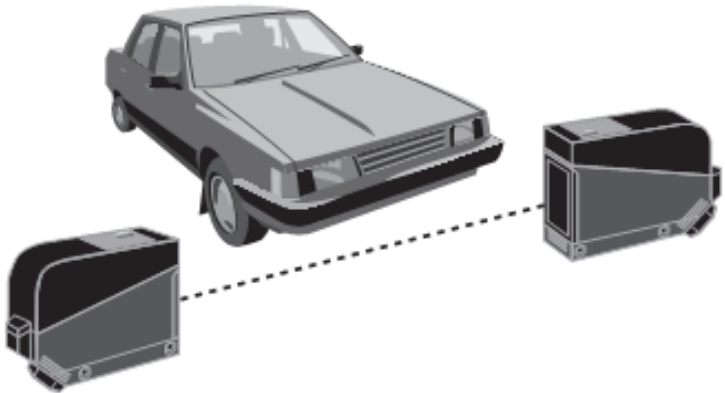
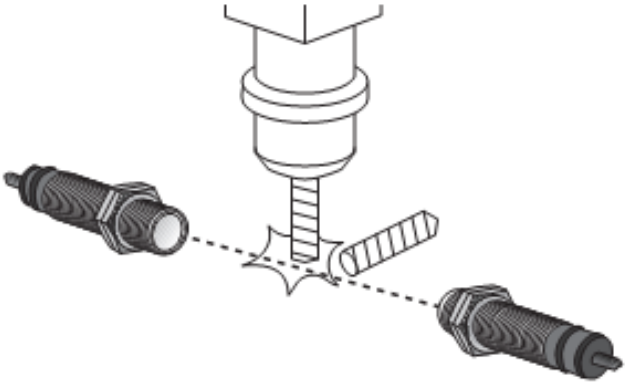
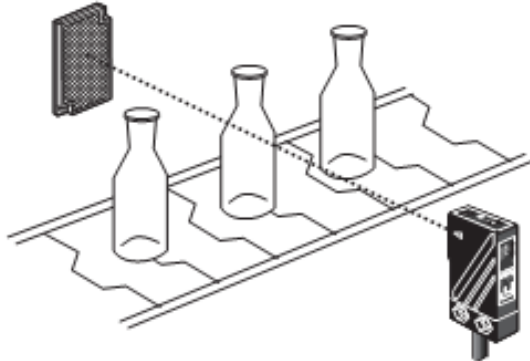
- ❖ Ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm
- ❖ Khó thiết kế
- ❖ Độ tuyến tính không cao
- ❖ Không chính xác bằng cảm biến loại cảm ứng

Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang



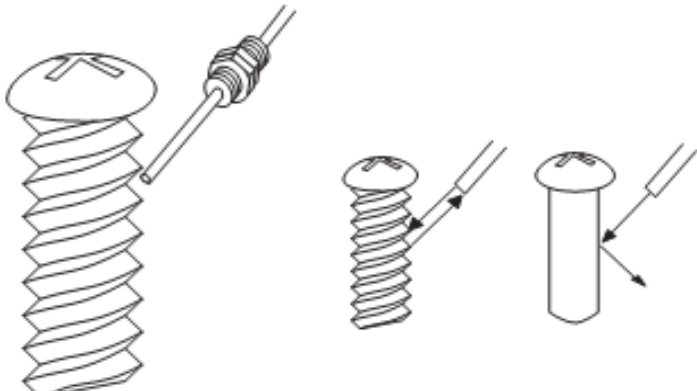
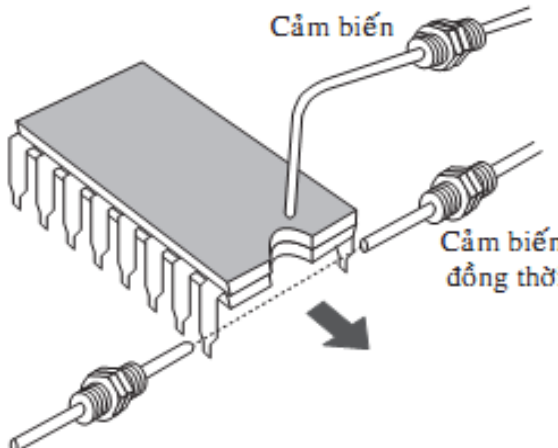
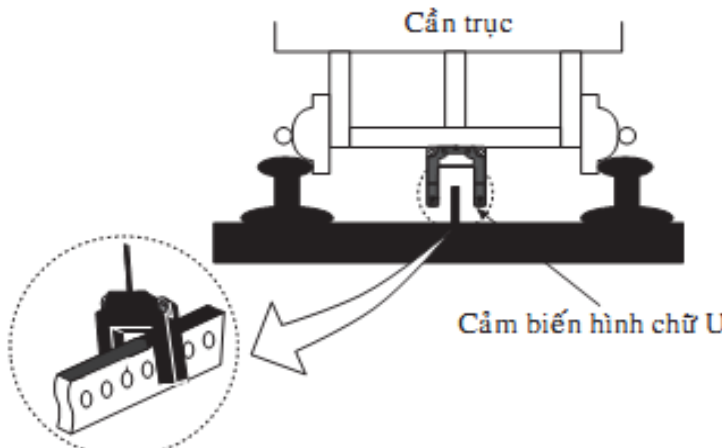
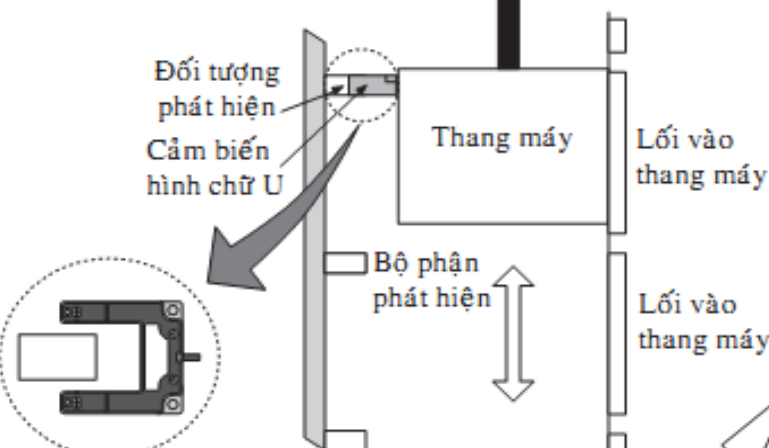
Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang

■ M

<p>Phát hiện hộp sữa</p> 	<p>Phát hiện xe đi qua</p> 
<p>Phát hiện mũi khoan bị gãy</p> <p>※ Nếu mũi khoan quá nhỏ, nó không thể phát hiện bởi vì BR4M-TDT□ phát hiện vật trên 15mm</p> 	<p>Phát hiện có mặt / thiếu chai trong suốt</p> <p>※ Loại phản xạ gương (Có thể điều chỉnh độ nhạy)</p> 

Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang

■ N

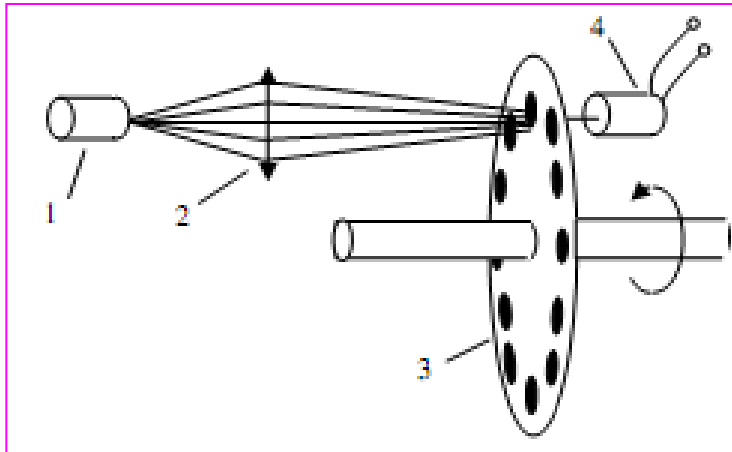
Phát hiện có / thiếu đường ren	Phát hiện chiều của IC
	
Phát hiện vị trí di chuyển vật	Phát hiện vị trí thang máy
	

Ứng dụng - Cảm biến đo vận tốc

c) Đo vận tốc góc

■ Tốc độ kế xung

❖ Quang



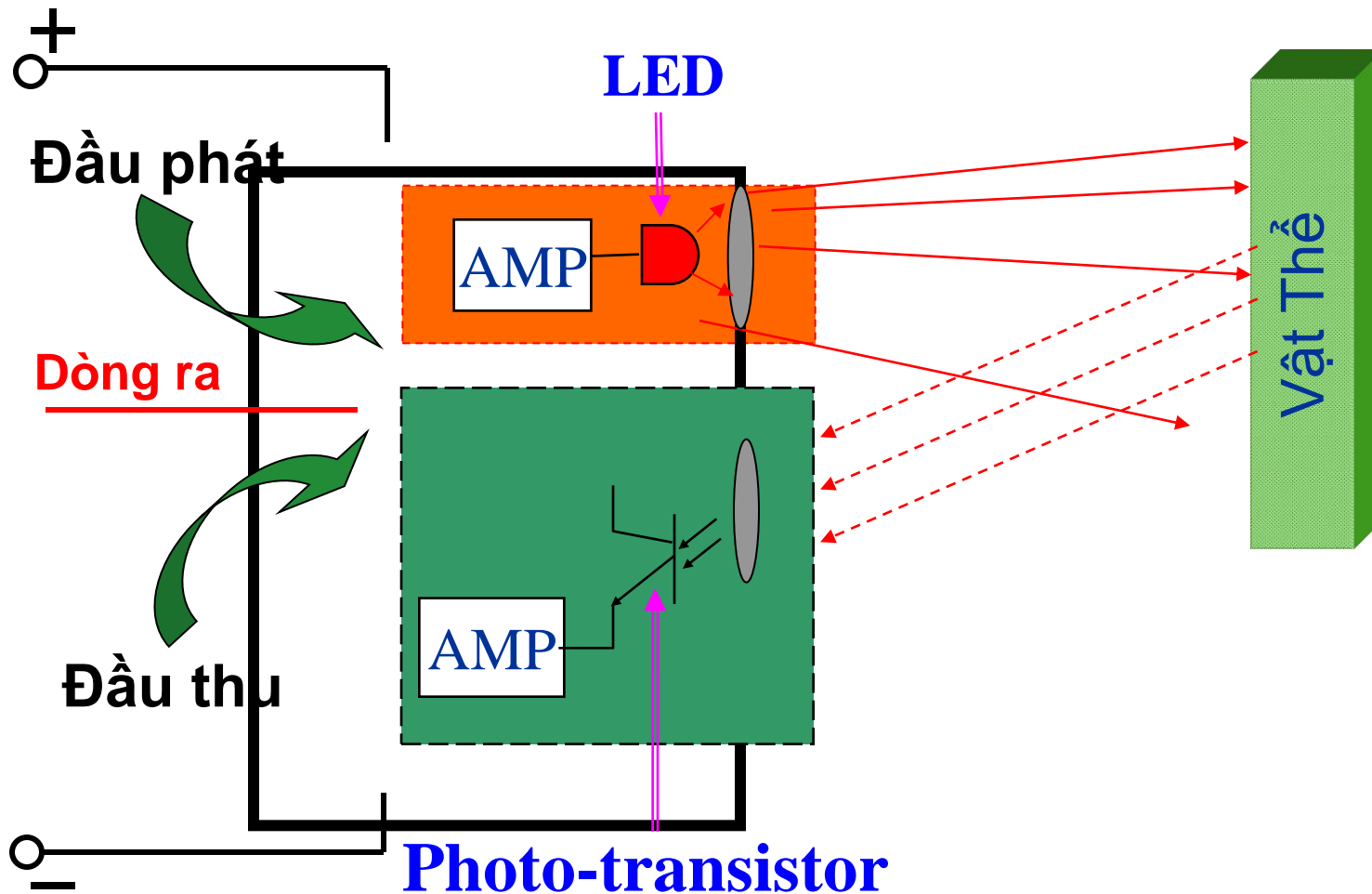
- 1) Nguồn sáng 2) Thấu kính hội tụ
3) Đĩa quay 4) Đầu thu quang

- Nguồn sáng là một diot phát quang
- Đĩa quay: đặt giữa nguồn sáng và đầu thu, có các lỗ bố trí cách đều trên một vòng tròn.
- Đầu thu là một photodiode hoặc phototranzitor.

Hoạt động

- Khi đĩa quay, đầu thu chỉ chuyển mạch khi nguồn sáng, lỗ, nguồn phát sáng thẳng hàng.
- Đầu thu quang nhận được một thông lượng ánh sáng thay đổi và phát tín hiệu có tần số tỉ lệ với tốc độ quay nhưng biên độ không phụ thuộc tốc độ quay.

Ứng dụng phát hiện đối tượng



Cấu Tạo Và Nguyên Tắc Hoạt Động

Cảm biến hồng ngoại



Đèn báo cảm biến mắt thông minh bật sáng khi dò thấy chuyển động

Cảm biến mắt thông minh

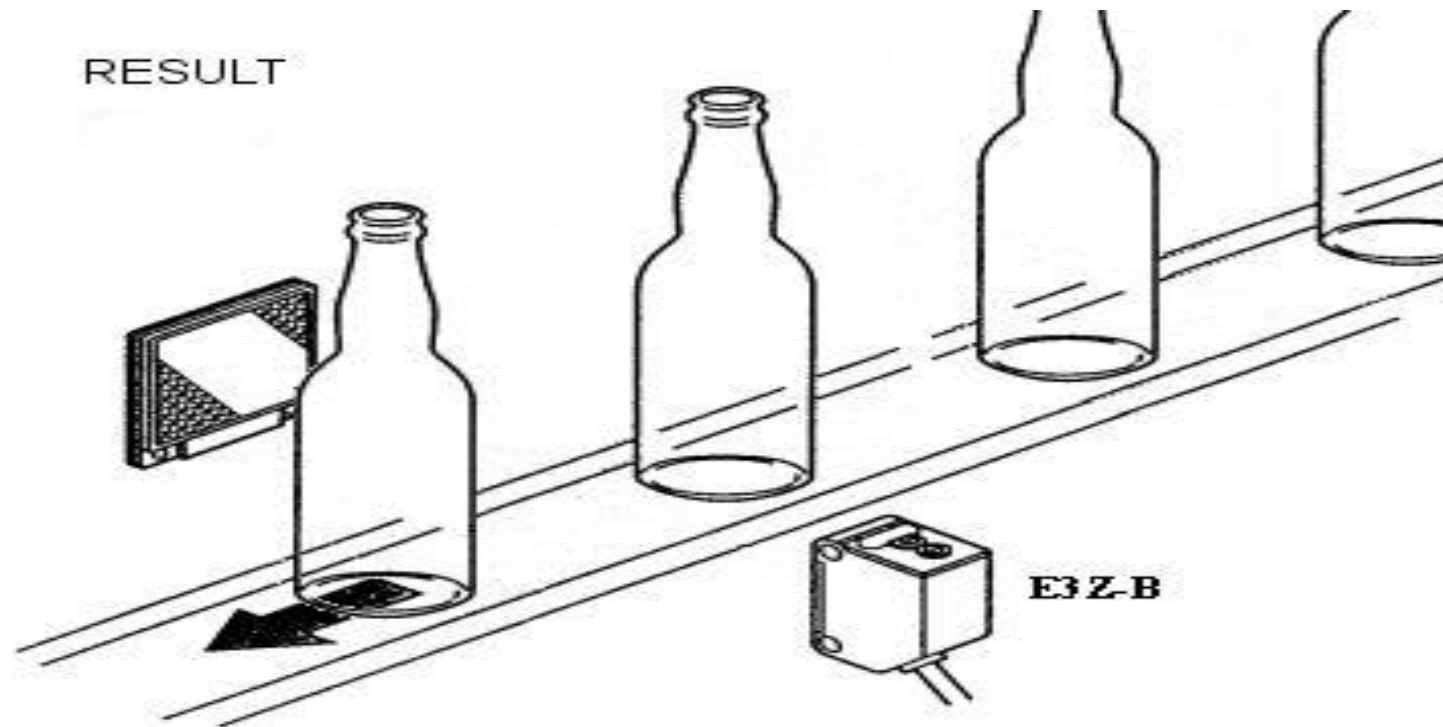


Cảm biến hồng ngoại ở cửa tự động

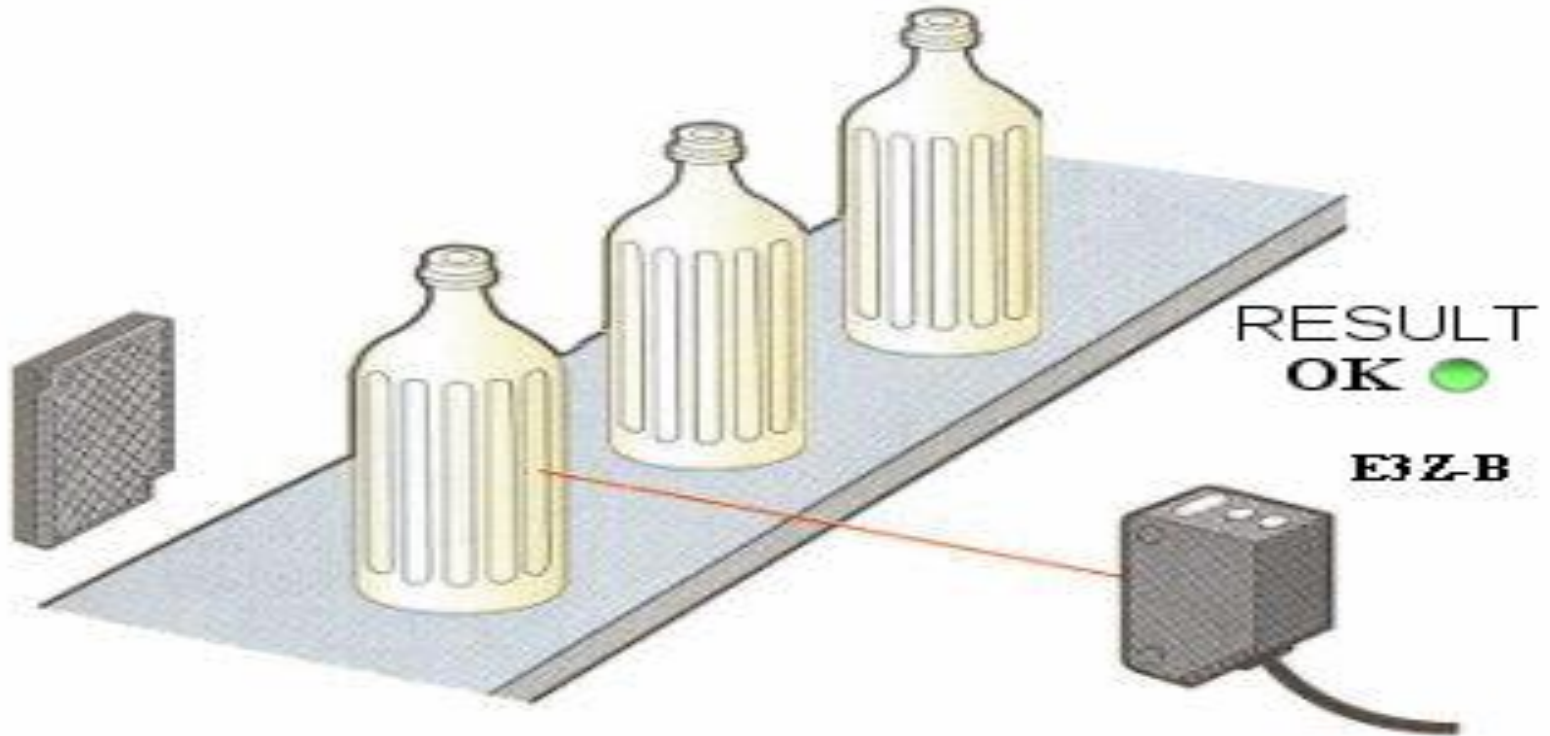
-Trong chế tạo các thiết bị cảm ứng hồng ngoại : cửa tự động,,,,,,



Một số Ứng dụng

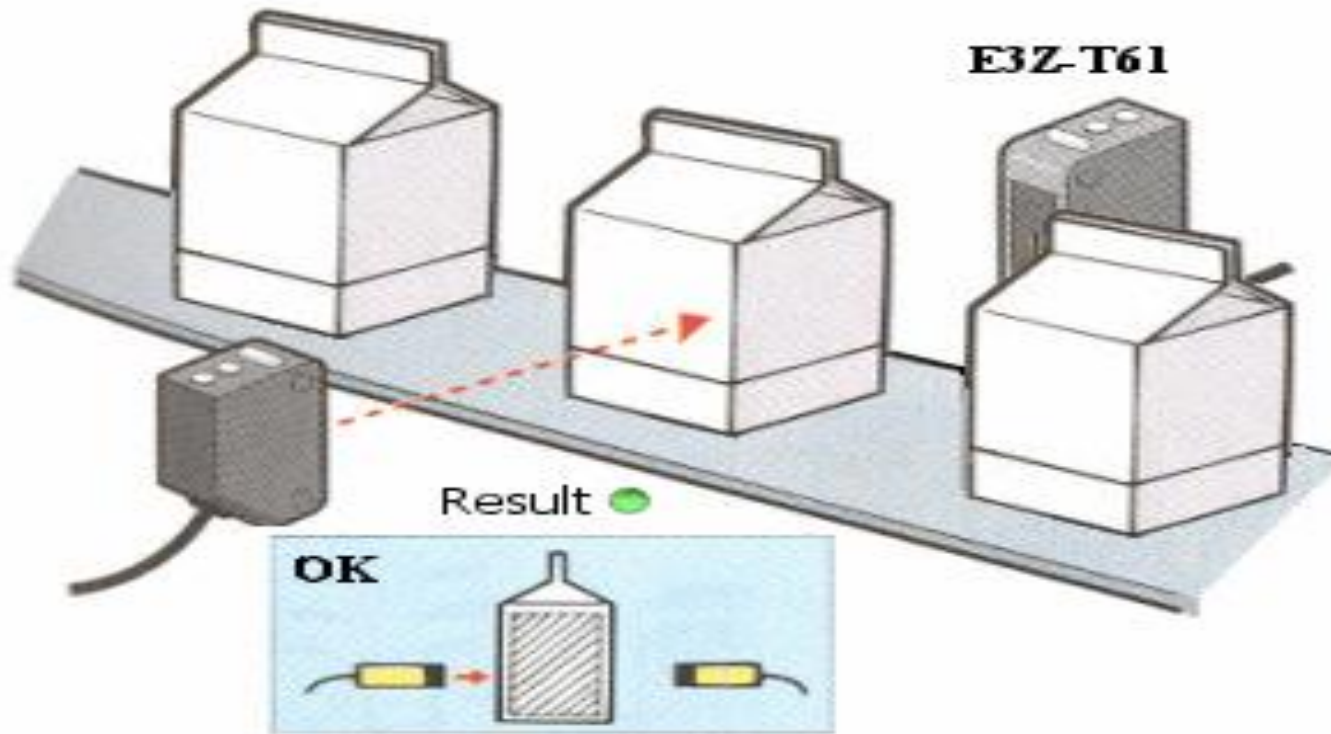


E3Z-B là loại sensor mới của Omron chuyên dùng để nhận biết các chai PET và chai trong suốt. Bạn cũng có thể dùng model cũ là E3S-CR67 .



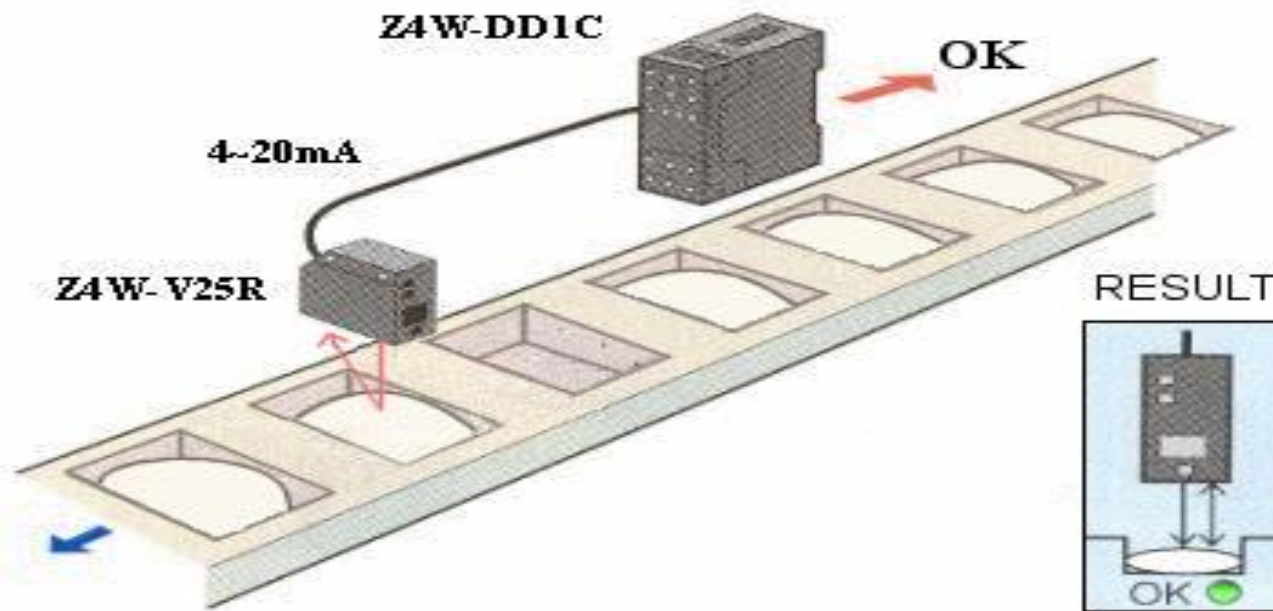
Nếu sử dụng các sensor thường để phát hiện chai PET trong thì đôi lúc không ổn định. Sensor E3Z-B có khả năng phát hiện tốt với độ tin cậy rất cao.

Một số Ứng dụng



E3Z-T61, với tia sáng mạnh có thể xuyên qua vỏ bọc giấy bên ngoài và vì vậy có thể phát hiện được sữa / nước trái cây tại thời điểm hiện tại cũng như phát hiện được mức của chất lỏng này.

Một số Ứng dụng



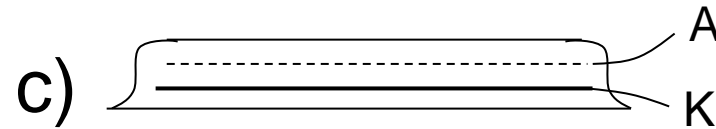
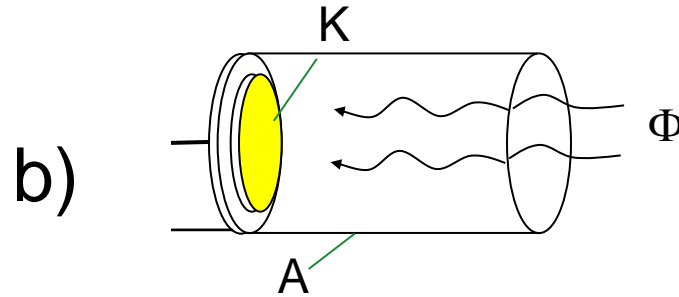
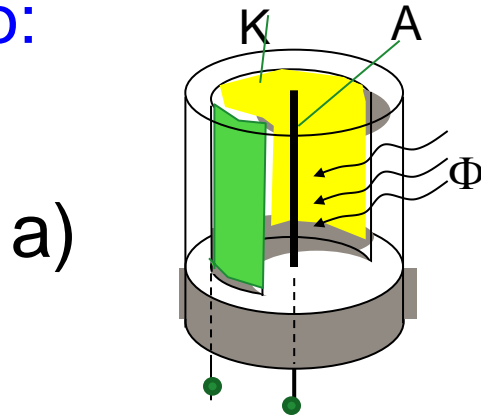
Z4W-V là loại Laser sensor và nó có thể phát hiện được chiều cao của bánh được làm ra với độ chính xác tới vài micromet.

3. Cảm biến quang điện phát xạ

- Cơ chế phát xạ điện tử khi chiếu sáng:
 - Hấp thụ photon và giải phóng điện tử.
 - Điện tử được giải phóng di chuyển \rightarrow bề mặt.
 - Điện tử thoát khỏi bề mặt vật liệu.
- Do nhiều nguyên nhân \Rightarrow số điện tử phát xạ trung bình khi một photon bị hấp thụ (hiệu suất lượng tử) thường nhỏ hơn 10% và ít khi vượt quá 30%.

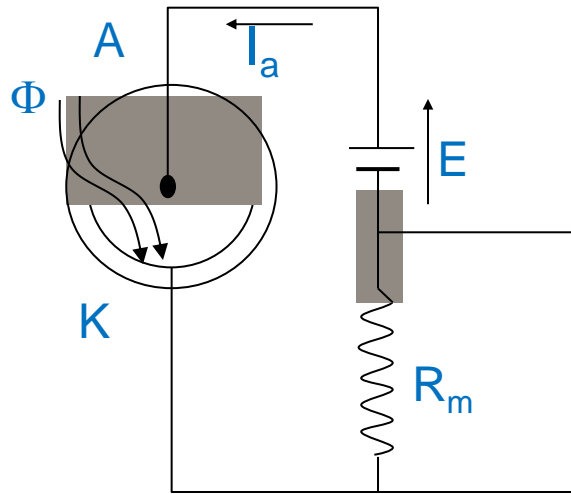
3.2. Tế bào quang điện chân không

a) Cấu tạo:

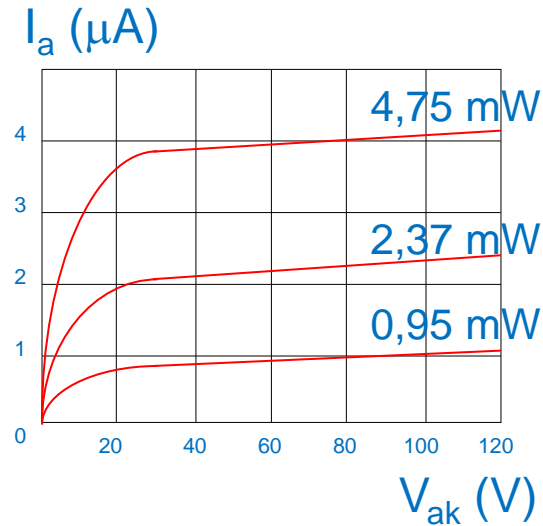


- **Catot:** có phủ lớp vật liệu nhạy với ánh sáng (Cs_3Sb , K_2CsSb , Cs_2Te , Rb_2Te , CsTe ...) đặt trong vỏ hình trụ trong suốt (b) hoặc vỏ kim loại có một đầu trong suốt (b) hoặc hộp bên trong được hút chân không (áp suất $\sim 10^{-6} - 10^{-8}$ mmHg).
- **Anot:** bằng kim loại.

3.2. Tế bào quang điện chân không



Sơ đồ tương đương



Đặc tính V - A

- Khi chiếu sáng catot (K) các điện tử phát xạ và dưới tác dụng của điện trường do V_{ak} tạo ra tập trung về anot (A) → tạo thành dòng anot (I_a).

3.2. Tế bào quang điện chân không

- Đặc tính $V - A$ có hai vùng:
 - Vùng điện tích không gian.
 - Vùng bão hòa.
- TBQĐ làm việc ở vùng bão hòa \rightarrow tương đương nguồn dòng, cường độ dòng chủ yếu phụ thuộc thông lượng ánh sáng. Điện trở trong ρ của tế bào quang điện rất lớn:

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{dI_a}{dV_{ak}} \right)_{\Phi}$$

$$\text{Độ nhạy: } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta \phi} = 10 \div 100 \text{ mA/W}$$

3.2. Tế bào quang điện chân không

c) Đặc điểm và ứng dụng:

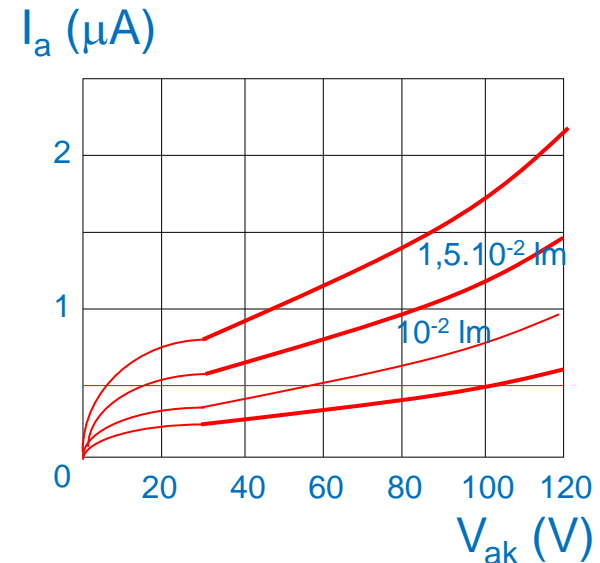
- Độ nhạy lớn ít phụ thuộc V_{ak} .
- Tính ổn định cao

⇒ Chuyển mạch hoặc đo tín hiệu quang.

3.3. Tế bào quang điện dạng khí

a) Cấu tạo và nguyên lý làm việc: cấu tạo tương tự TBQĐ chân không, chỉ khác bên trong được điền đầy bằng khí (acgon) dưới áp suất cỡ $10^{-1} - 10^{-2}$ mmHg.

Khi $V_{ak} < 20V$, đặc tuyến $I - V$ có dạng giống TBQĐ. Khi điện áp cao, điện tử chuyển động với tốc độ lớn \rightarrow ion hoá các nguyên tử khí $\rightarrow I_a$ tăng $5 \div 10$ lần.



3.3. Tế bào quang điện dạng khí

c) Đặc điểm và ứng dụng:

- Dòng I_a lớn.

- S phụ thuộc mạnh vào V_{ak} .

⇒ Chuyển mạch và đo tín hiệu quang.

