

Composants et capteurs

Introduction aux composants optoélectroniques

1ère année IFIPS
Département Electronique

2008-2009

Cédric KOENIGUER

Plan

I. Généralités

- 1) Interaction rayonnement-semiconducteur
- 2) Etudes spectrales
- 3) Caractérisation des dispositifs

II. Etude de quelques composants

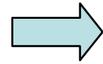
- 1) Les différents modes de fonctionnement
- 2) La photoconducteur
- 3) La photodiode
- 4) La diode électroluminescente

Rappels sur les énergies du photon et de l'électron

Energie d'un photon :

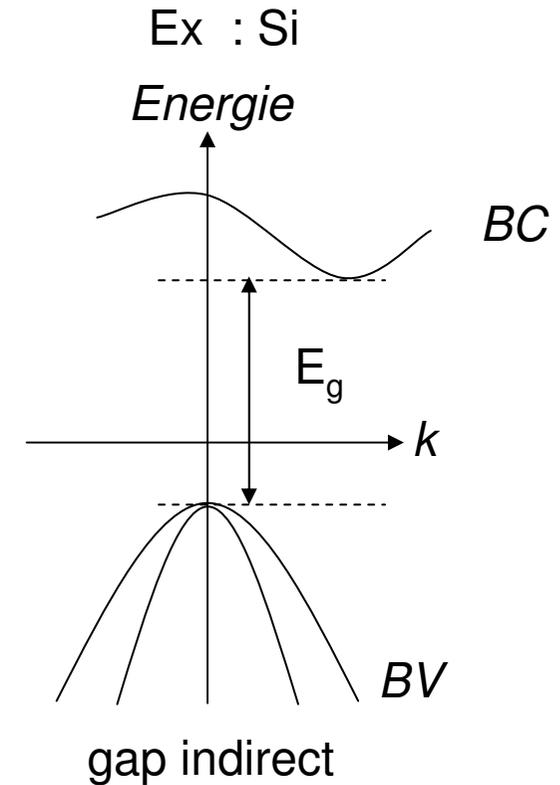
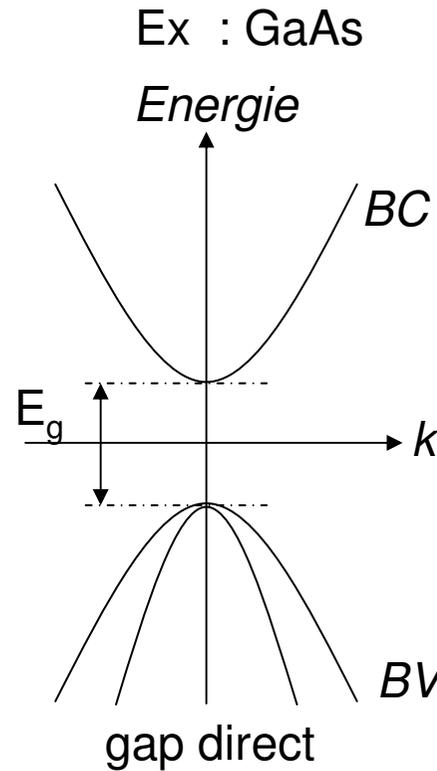
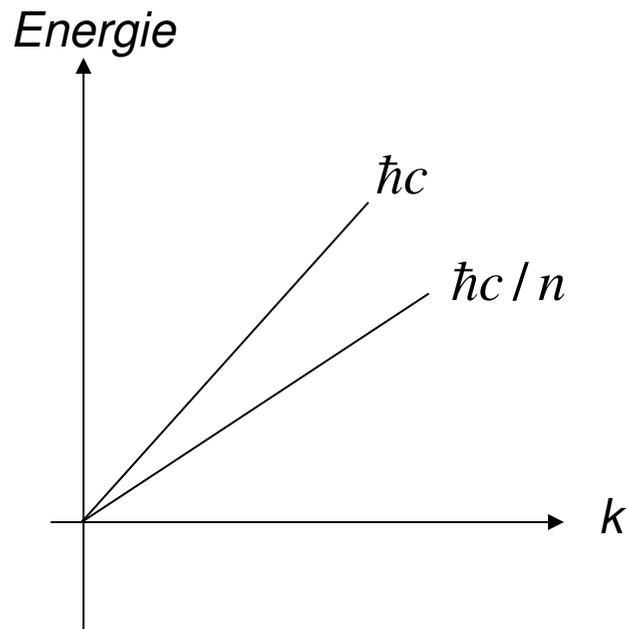
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E = \hbar c k$$



$$E_{(eV)} = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)}$$

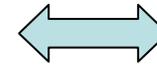
Energie d'un électron dans un SC :



Liens entre les vecteurs d'onde

interaction photon-électron : choc élastique

- conservation de la quantité de mouvement
- conservation de l'énergie cinétique



$$\begin{cases} E_f - E_i = \pm h\nu \\ k_f - k_i = \pm k_{ph} \end{cases}$$

$$k_{ph} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \frac{6.28}{600 \text{ nm}} \approx 10^7 \text{ m}^{-1}$$

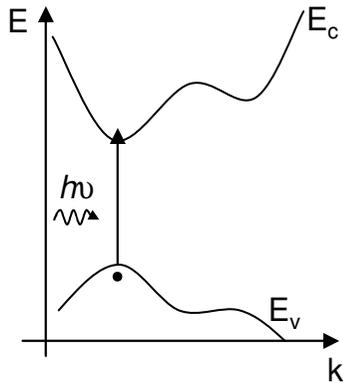
$$k_{electron} = \frac{\pi}{a} \approx \frac{6.28}{10^{-10}} \approx 10^{10} \text{ m}^{-1}$$

$$k_{electron} \gg k_{ph}$$

Les transitions radiatives
sont verticales

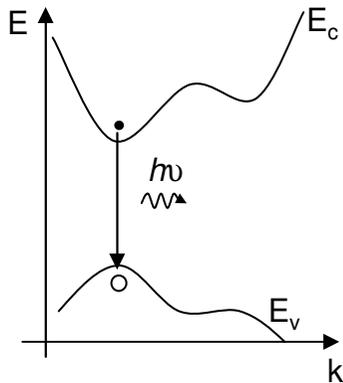
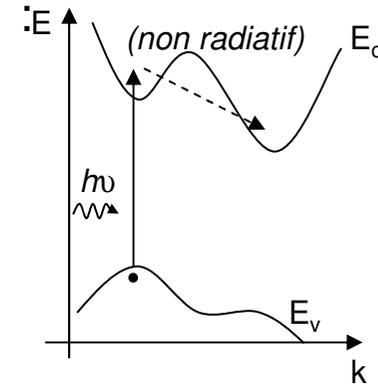
Transitions radiatives

Gap directs :

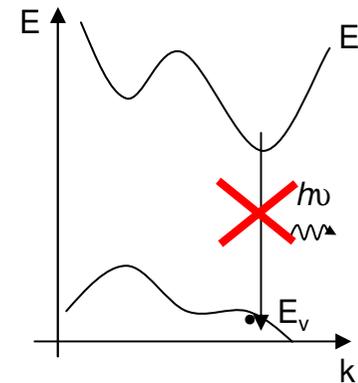


absorption

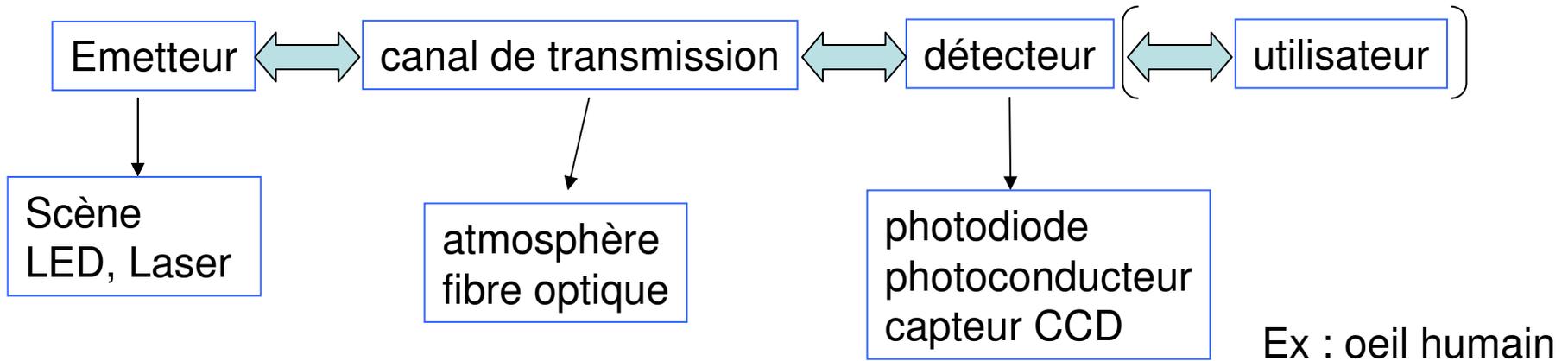
Gap indirects



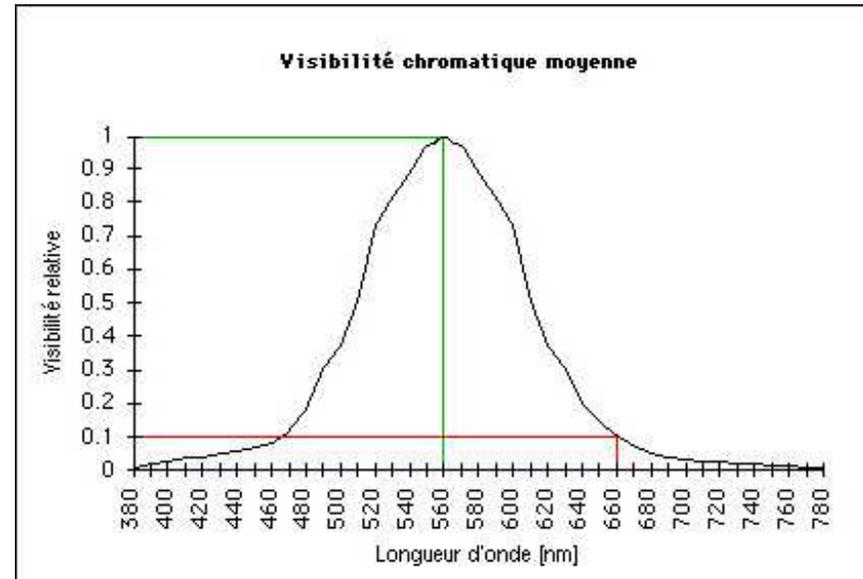
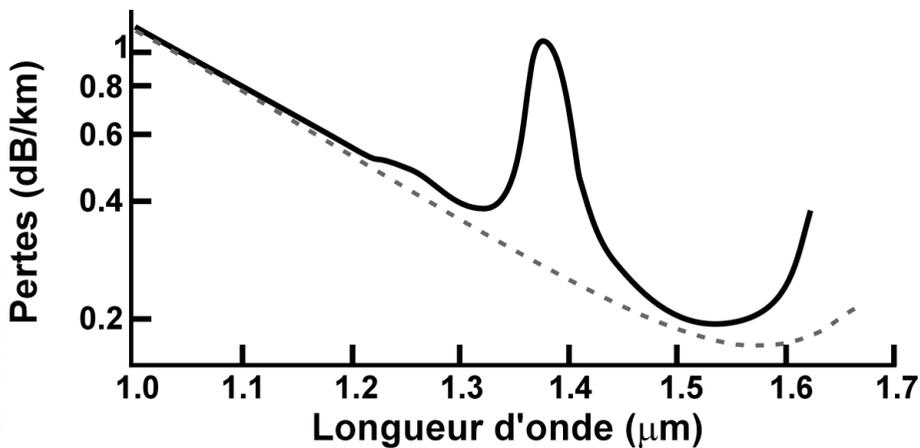
émission



Les différents spectres



Ex : transmission d'une fibre



Principales grandeurs

- coefficients de réflexion/transmission

- coefficient d'absorption du matériau :

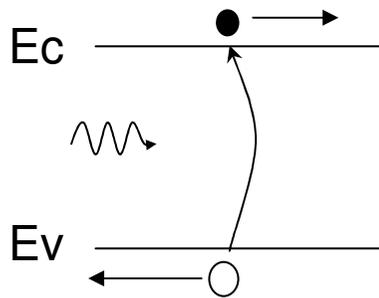
α en cm^{-1} \longleftrightarrow taux de génération de porteurs : $g(x) = \alpha\varphi_0 e^{-\alpha x}$

- rendement quantique interne : $\eta_i = \frac{\text{nb d'e}^- \text{ photogénérés dans le circuit}}{\text{nb de photons incidents}}$

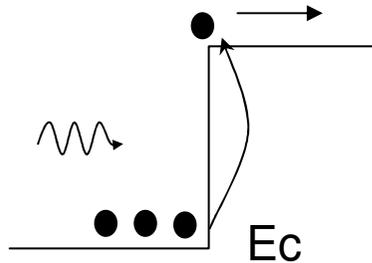
- Pour les photodétecteurs : réponse spectrale en A/W

$$R = \frac{\text{Photocourant généré}}{\text{Puissance optique}}$$

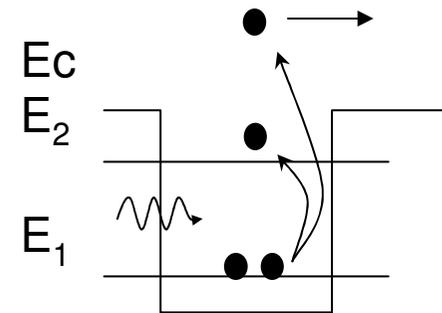
Les grands types de détection quantique



détection interbande
(photoconducteur,
photodiode)



détection par
photoémission interne
(photodiodes Schottky)



détection par transitions
intrabandes
(structure à puits quantiques)

2 modes :

- photoconducteur : on applique une tension pour repérer une variation de conductance (donc pour faire circuler les charges)
- photovoltaïque : la structure n'a pas besoin de tension pour faire circuler les charges

Photorésistance (photoconducteur) cf TD3

Sans éclairage : $V = G_0 I_0$

Sous éclairage :

création de paires électrons/trous

⇒ augmentation de la conductivité σ

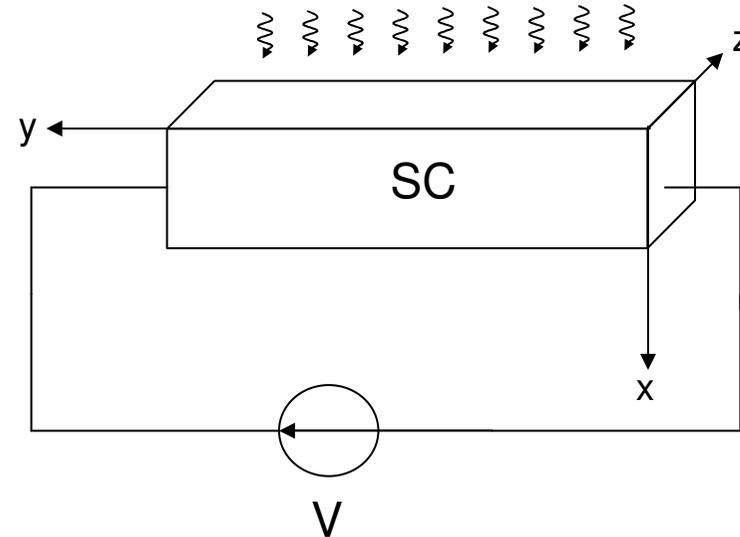
⇒ $G = G_0 + \Delta G$

⇒ $I = I_0 + \Delta I$

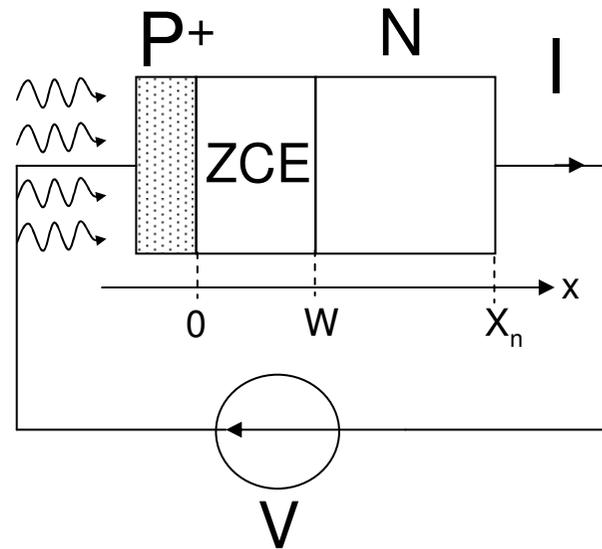
On détecte cette variation de courant.

On montre que :

$\Delta I = A \times \text{Flux de photons}$



Photodiode : structure



Flux de photons incidents (côté P) pénètre dans les 3 zones
⇒ création de paires électrons trous dans les 2 zones

Zone P : étroite (devant la longueur de diffusion)
Zone N : longue

Photodiode : photocourant de diffusion

Dans les deux zones quasi-neutres : augmentation de porteurs minoritaires
 ⇒ courants de diffusions de minoritaires

Région de type P étroite ⇒ courant de diffusion négligeable

Dans la région de type N :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -\frac{1}{q} \frac{dj_p}{dx} + g(x) - \frac{\Delta p}{\tau_p} \\ j_p = qD_p \frac{d\Delta p}{dx} \\ g(x) = \alpha\varphi_0 e^{-\alpha x} \end{array} \right. \quad \boxed{\frac{d^2\Delta p}{dx^2} - \frac{1}{L_p^2} \Delta p = -\frac{\alpha\varphi_0}{D_p} e^{-\alpha x}}$$

Conditions aux limites, si V proche de 0 ou en polarisation inverse :

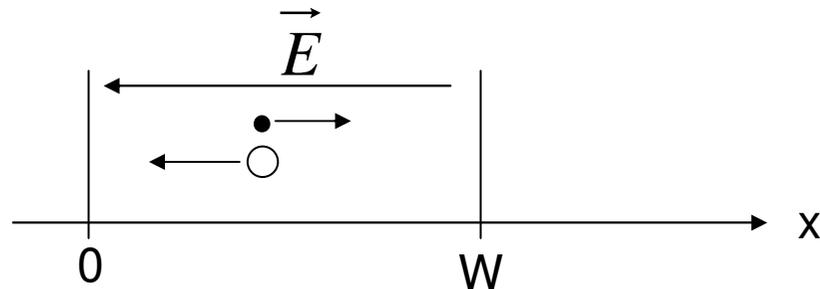
$$\Delta p(x = W) = 0 \quad (\text{champ électrique})$$

$$\Delta p(x = X_n) = 0 \quad (\text{contact ohmique})$$

$$\boxed{j_p(x = W) \approx -q\varphi_0 \frac{\alpha L_p}{1 + \alpha L_p} e^{-\alpha W}}$$

Photodiode : photocourant de génération (cf TD4)

Dans la ZCE : génération de paire électrons trous



Sous l'action du champ :

- les e- sont accélérés vers la zone N
- les trous sont accélérés vers la zone P

⇒ peu de recombinaisons

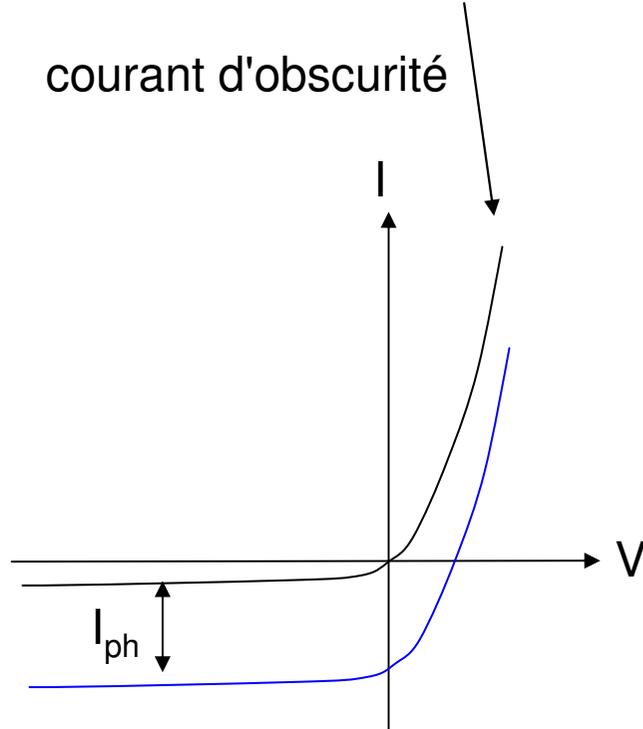
peu d'électrons en $x=0$: $j_n(0)=0$
 peu de trous en $w=W$: $j_p(W)=0$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \frac{1}{q} \frac{dj_n}{dx} + g(x) - \frac{\Delta n}{\tau_n} \\ g(x) = \alpha \varphi_0 e^{-\alpha x} \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad j_n(W) = \int_0^W -qg(x)dx$$

$$j_n(W) = -q\varphi_0(1 - e^{-\alpha W})$$

Photodiode : courant

$$J = \underbrace{J_s(e^{qV/k_B T} - 1)}_{\text{courant d'obscurité}} - \underbrace{q\varphi_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha L_p} e^{-\alpha W} \right)}_{\approx -q\varphi_0 \text{ photocourant}}$$



Photodiode : améliorations

Favoriser le courant de génération dans la ZCE \Rightarrow grande ZCE

2 solutions :

- polarisation inverse de la diode

- on intercale une zone de SC intrinsèque entre N et P : c'est une photodiode PIN

