**Chapitre 4**

**Les détecteurs de lumière**

**4.1 Introduction**

Le rôle d’un récepteur (photo détecteur) de lumière, est de convertir le signal lumineux en un signal électrique.

**4.2 Principe de fonctionnement d’un détecteur**

Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, elle est peut être absorbée si l’énergie des photons incidents est suffisante pour faire transiter un électron de la bande de valence vers la bande de conduction, c’est le phénomène d’absorption intrinsèque.

L’absorption du photon crée un électron dans la BC et un trou dans la BV, il ya création d’une paire (électron-trou) pour chaque photon absorbé. Si on arrive à récupérer les électrons dans un circuit extérieur, il ya création d’un courant électrique qu’on appelle : photo courant.

**4.3 Les différents types de photo détecteurs**

***3.4.1 : la photorésistance***

Appelé aussi cellule photoconductrice ou LDR pour  (light dependent resistor).

La photorésistance est constituée de cristaux mixtes, comme le Sulfure de Cadmium, le séléniure de cadmium, ou bien des combinaisons de plomb et d’indium, de germanium dopé à l’or, au mercure ou au cuivre.

1. **principe de fonctionnement**

Son principe de fonctionnement repose sur l’augmentation de la conductivité électrique du semi-conducteur, provenant de la création de porteurs par le rayonnement incident. Comme il ya peu d’impuretés dans la photorésistance, il faut un temps important pour les porteurs excédentaires se recombinent.

En effet ce composant passif exploite le principe de la photoconduction.

Les performances d’une cellule photoconductrice sont :

Le gain de la cellule, le temps de réponse et le seuil de détection.

* Son symbole est schématisé ci-dessous.



Figure 4.1 : Symbole d’une photorésistance

***Remarques***

* Dans l’obscurité la valeur de la résistance est supérieure à 10 MΩ et peut chuter à 75Ω pour un éclairement intense.
* Le temps de réponse étant relativement important (ordre de grandeur : 20 à 100 ms) ce type de composant est peu intéressant pour les communications.
1. **Caractéristiques des photorésistances**
* **Loi de la variation de la résistance** $R$

$R=\frac{R\_{0}}{R\_{p}}$ (4.1)

$R\_{0}$ : Résistance de la cellule dans l'obscurité ;

$R\_{p}$ : Résistance déterminée par l'effet photoélectrique du flux incident ;

$R\_{p}=aE^{-γ}$ (4.2)

$E$ : Éclairement (flux incident)

$a$ : Constante dépendant du matériau et de la température

$γ$ : Coefficient compris, en général, entre $0.5$ et $1$.

La courbe théorique qui présente les variations de la résistance en fonction du flux reçu est représentée sur la figure suivante :

* ***Gain en photocourant***

$Gain=\frac{N\_{e^{-}}:Nombre des électrons}{N\_{ph}:Nombre des photons}$ (4.3)

$N\_{e^{-}}=\frac{I\_{ph}}{q}$ (4.4)

$N\_{ph}=G.V=G.L.l.h$ (4.5)

$V $: Volume de la structure.

La génération en régime stationnaire :

$G=\frac{∆n}{τ}=R$ (4.6)

$τ $: La durée de vie des porteurs en excés

En remplaçant dans l’expression du gain :

$G=\frac{q.μ\_{n}.δn.\frac{V}{L}.h.l}{q.\frac{δn}{τ}.h.l.L}$ (4.7)

Le gain devient :

$G=\frac{μ\_{n.V.τ}}{L^{2}}$ (4.8)

On a aussi :

$E=\frac{V}{L}$ (4.9)

$G=\frac{μ\_{n}.E.τ}{L}=\frac{v\_{n}.τ}{L}$ (4.10)

$v\_{n}=μ\_{n}.E $: La vitesse de propagation des électrons

$\frac{L}{v\_{n}}=t\_{t} $: Temps de transition

L’expression du gain sera :

$G=\frac{τ}{t\_{t}}$ (4.11)

* ***Sensibilité :***

$S=\frac{I\_{ph}}{P\_{i}}=\frac{I\_{ph}}{N\_{ph}.hν}$ $\left[^{A}/\_{W}\right]$ (4.12)

$P\_{i} $: Puissance incidente d’éclairement

* **Expression du photo courant**

$J\_{ph}=σ.E$ (4.13)

$σ $: La conductivité

$μ $: La mobilité

$σ=q\left(μ\_{n}+μ\_{p}\right).δn$ $δn=δp$ (4.14)

$E=\frac{V}{L}$ (4.15)

Comme $μ\_{p}\ll μ\_{n}$

$J\_{ph}=q.μ\_{n}.δn.\frac{V}{L}$ (4.16)

$I=J\_{ph}.S=q.μ\_{n}.δn.\frac{V}{L}.h.l$ (4.17)

* + 1. ***La photodiode PIN***
1. **Principe de fonctionnement**

Elle utilise la photo détection (conversion d’un photon en une paire électron-trou, dans un semi-conducteur. Sa structure est une simple diode PN polarisée en inverse, les photons sont absorbés dans la zone intrinsèque qui, du fait de la polarisation, est vide de porteurs mobile

Les électrons et les trous ainsi crées ont une faible probabilité d’être recombinés, ils sont séparés par le champ électrique ‘E’ qui règne dans la zone intrinsèque et qui les dirige vers la zone N et P, où ils sont majoritaires.

La zone traversée par la lumière doit être de faible épaisseur et protégée par une couche antireflet qui améliore le rendement externe et protège le matériau.

1. **Caractéristiques de la photodiode**

La photodiode est le plus souvent caractérisée par son rendement quantique interne et sa sensibilité

* ***Rendement quantique interne***:

Il définit comme étant le rapport du nombre des électrons photo générés sur le nombre de photons.

ηint =I.hν/qΦi

 Avec :

 Φi : flux incident en Watt ;

 I : courant électrique (A) ;

 h : constante de planck, h = 6.62.10-34J.s

 q : charge de l’électron, q = 1.6.10-19C

 ν : fréquence, ν = C/λ

* ***Sensibilité***

Elle est désignée par S, et son expression est donnée par :

S= ηq/hν

Avec :

 η : Rendement quantique

 q : charge de l’électron ; q = 1.6.10-19C

 h : constante de Planck ; h = 6.62.10-34J.S

La sensibilité augmente avec la longueur d’onde, jusqu'à une valeur où elle est maximale, puis chute brusquement à l’approche de la longueur d’onde limite λc=hC/Eg. Au delà le matériau est devient transparent.



Figure 4.2 : Réponse spectrale de la photodiode

Le courant établit dans la photodiode est : i= is+iD,

Où : is = S.P photo courant proportionnel à la puissance optique P.

 iD : courant d’obscurité, qui circule dans la jonction en absence d’éclairement, il provient à la fois de courants de fuite et de génération thermique, il augmente avec la température et la tension de polarisation.

## c) Schéma électrique équivalant de la photodiode et caractéristiques électriques

Le circuit équivalent d’une photodiode est représenté sur la figure (4.3)

****

Figure 4.3 : Schéma électrique équivalant à de la photodiode avec son symbole.

Une photodiode peut être représentée par une source de courant Iph (dépendant de l’éclairement), en parallèle avec la capacité de jonction Cj et une résistance de shunt Rsh d'une valeur élevée (caractérisant la fuite de courant), l'ensemble étant en série avec une résistance interne Rs.

* **Résistance de shunt**: la résistance de shunt d'une photodiode idéale est infinie. En réalité cette résistance est comprise entre 100kΩ et 1GΩ selon la qualité de la photodiode. Cette résistance est utilisée pour calculer le courant de fuite (ou bruit) en mode photovoltaïque, c'est-à-dire sans polarisation de la photodiode.
* **Capacité de jonction** : cette capacité est due à la zone de charge ; elle est inversement proportionnelle à la largeur de charge d'espace (W). Où A est la surface de coupe de la photodiode. W est proportionnel à la polarisation inverse et la capacité diminue si la polarisation augmente. Cette capacité oscille autour de 100 pF pour les faibles polarisations à quelques dizaines de pF pour les polarisations élevées.
* **Résistance interne** : cette résistance est essentiellement due à la résistance du substrat et aux résistances de contact. Rs peut varier entre 10 et 500Ω selon la surface de la photodiode.

**3.4.3 Le Phototransistor**

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est accessible au rayonnement lumineux. Si elle est flottante (dépourvue de connexion). Sans éclairement, le transistor est parcouru par le courant de fuite ICE0.

Lorsque la base est éclairée, il apparait dans la photodiode constituée par la jonction collecteur-base, un photo courant Iph qui commande le transistor.

Ic = βIph+ICE0

Le courant d’éclairement du phototransistor est donc le photo courant de la photodiode collecteur-base multiplié par le gain β du transistor.



Figure 4.4 : Symbole du phototransistor

**3.4.4 Photo coupleur**

Le photo coupleur est un dispositif composé de deux éléments électriquement indépendants mais optiquement couplés. Les deux éléments constitutifs de ces dispositifs sont à l’entrée un photoémetteur et à la sortie un photorécepteur (photodiode ou le plus souvent un phototransistor).

Le couplage en circuit intégré est optimisé par rapport à un couplage réalisé par l’utilisateur et évite les perturbations lumineuses extérieures.

Le but de l’utilisation de l’optocoupleur est réalisé la protection des personnes, circuits et éviter les perturbations des circuits. Ce dispositif isole aussi les circuits jusqu’à quelques milliers de volts.



Figure 4.5 : Construction d’un Opto-coupleur

**3.4.4 La photopile (cellule solaire)**

Le terme « photovoltaïque » désigne le processus physique qui consiste à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique par le transfert de l'énergie des photons aux électrons d’un matériau. Le préfixe Photo vient du grec « phos » qui signifie lumière, et « Volt » vient du patronyme d’Alessandro Volta (1745-1827), physicien qui a contribué aux recherches sur l’électricité. Photovoltaïque (PV) signifie donc littéralement électricité lumineuse.

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie $hν$ à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.