

LES CAPTEURS OPTIQUES

I/ INTRODUCTION

Un capteur optique est un dispositif capable de détecter l'intensité ou la longueur d'onde des photons.

On les utilise pour détecter un grand nombre de phénomènes :

- l'intensité lumineuse bien-sûr
- la chaleur (capteur pyrométrique) :
- la présence
- la couleur (et donc certains gaz ou produits chimiques)

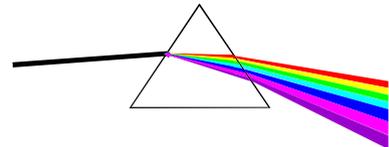
mais aussi pour :

- acquérir des informations numériques transmises par des conducteurs (fibres) optiques
- des images

II/ DÉFINITIONS ET PRINCIPES

II.1 Définitions

Le photon : un photon est un grain d'énergie de valeur $E=h \cdot \nu$ où $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{J/s}$ (constante de Planck) et ν la fréquence de radiation de ce photon.

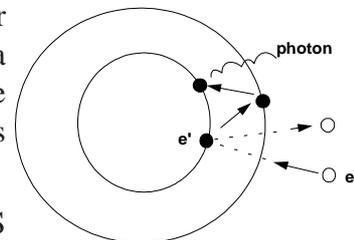


Longueur d'onde : une longueur d'onde (en mètre) caractérise un phénomène vibratoire. La relation entre fréquence et longueur d'onde est $\lambda = 3 \cdot 10^8 / \nu$ où $3 \cdot 10^8$ est la vitesse de la lumière en m/s et ν la fréquence de vibration. Chaque couleur est caractérisée par une longueur d'onde particulière.

II.2/ L'effet photoélectrique

Albert EINSTEIN a montré en 1905 que l'impact d'un photon de fréquence ν sur un métal suffisait à en extraire un électron si l'énergie du photon $h \cdot \nu$ dépassait l'énergie d'extraction W nécessaire pour dégager l'électron du métal. C'est le phénomène photoélectrique mis en oeuvre dans la plupart des capteurs.

Réciproquement, si un électron libre e percute un électron e' . Si l'énergie apportée est suffisante, ce dernier se déplace sur une orbite d'atome de plus grand diamètre. En retrouvant sa position d'origine, il restitue l'énergie reçue sous forme de photons. C'est le principe mis en oeuvre dans les émetteurs photoélectriques (diodes électroluminescentes).



Exemple d'application : une photorésistance en CdS nécessite une énergie de 2,4eV pour déplacer un électron. La fréquence du photon émis sera de :

$$W=2,4\text{eV} \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 6,62 \cdot 10^{-34} \times \nu \text{ où } 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ est la charge de l'électron en Coulomb}$$

ainsi $\nu=5,8 \cdot 10^{14} \text{Hz}$ soit une longueur d'onde de $0,52 \mu\text{m}$. Un capteur fait avec ce matériau serait particulièrement sensible à la couleur jaune.

III/ LES CAPTEURS PASSIFS

Un composant passif est un composant ne disposant d'aucune source interne. L'énergie de sortie est délivrée par l'environnement.

Les composants passifs de base sont les résistances, les condensateurs, les inductances.

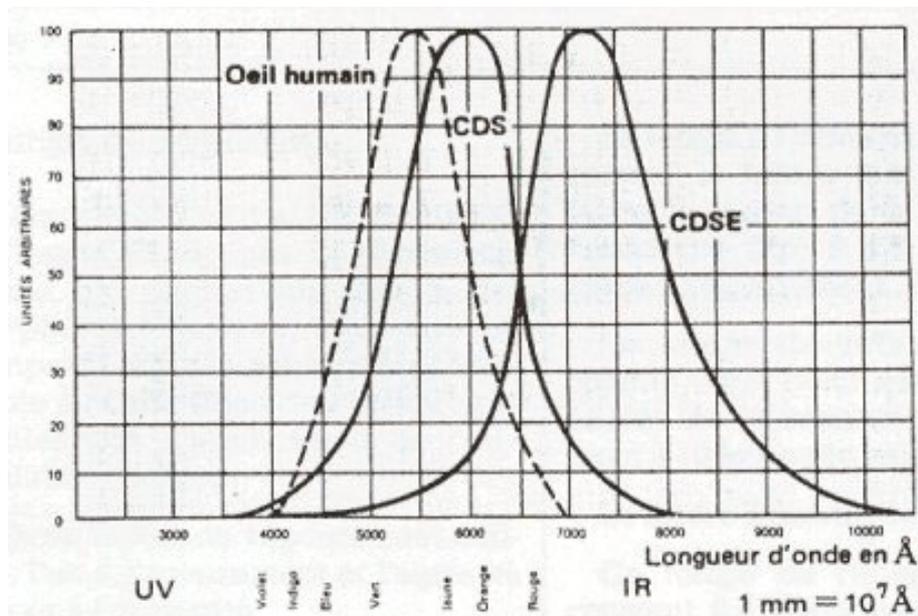
III.1/ Les photorésistances

Comme on l'a vu précédemment, certains semiconducteurs voient leur résistance varier lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Cette caractéristique a été mise à profit pour donner naissance aux photorésistances.



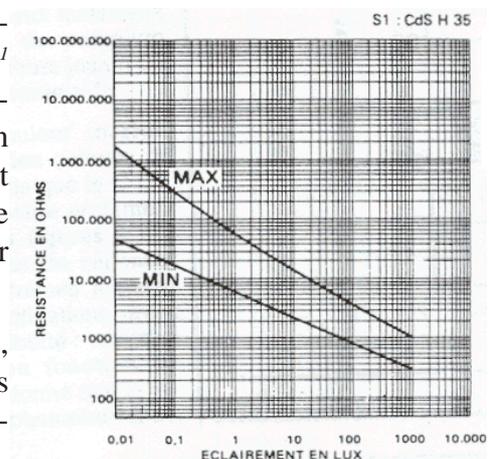
Les photorésistances sont les seuls capteurs optiques passifs utilisés.

Selon les semiconducteurs utilisés (*CdS* ou *CdSe*) la sensibilité spectrale n'est pas la même, comme la montre la courbe ci-dessous. Le choix du capteur sera donc conditionné par la longueur d'onde de la lumière qu'il devra détecter, et bien sûr par la valeur résistive en fonction de la quantité de lumière.



sources Electronique application n°57

La courbe ci-contre présente cette dernière caractéristique. On remarque l'échelle logarithmique¹ pour les deux axes. Les valeurs résistives des photorésistances varient également légèrement en fonction de la température, ce qui explique la courbe MIN et MAX. Par ailleurs ces capteurs présentent une légère dérive de leur caractéristique les premiers mois de leur utilisation.



L'application des photorésistances est multiple, mais on les utilise le plus souvent dans des structures ne nécessitant pas une grande précision et où l'encombrement n'est pas un critère essentiel.

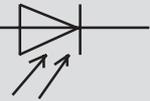
¹: **Echelle logarithmique** : elle est telle que chaque unité de distance correspond à une décade de la grandeur à représenter

IV/ LES CAPTEURS ACTIFS

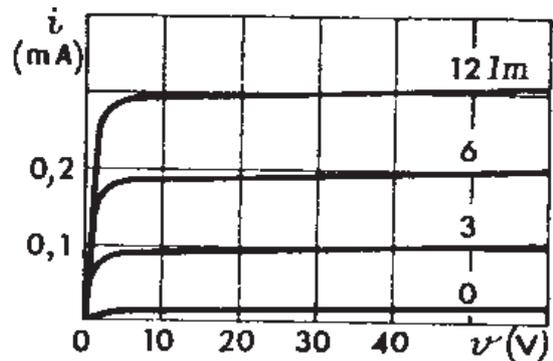
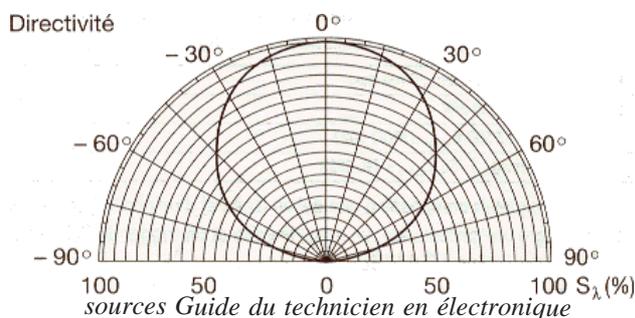
Un capteur actif, lorsqu'il est bien polarisé se comporte comme un générateur de courant ou de tension dont l'amplitude de la grandeur de sortie dépend de la grandeur à mesurer.

IV.1/ Les photodiodes

Les photodiodes sont des diodes au silicium qui exploitent l'effet photoélectrique. Sous éclairage, les photons libèrent des paires électron trous. Sa **polarisation en inverse** produit un courant (I_R) qui augmente proportionnellement à l'intensité lumineuse.



Comme pour les photorésistances, la **sensibilité spectrale** dépend du type de diode : Une diode infrarouge ne détectera que très mal une lumière rouge par exemple.



La directivité est également une caractéristique importante. Elle exprime la capacité d'une photodiode (mais aussi d'un phototransistor, d'un phototriac, etc...) à détecter un faisceau lumineux présentant un angle par rapport à la normale de la surface.

La directivité est également une caractéristique importante. Elle exprime la capacité d'une photodiode (mais aussi d'un phototransistor, d'un phototriac, etc...) à détecter un faisceau lumineux présentant un angle par rapport à la normale de la surface.

En l'absence complet de lumière, la photodiode génère un courant appelé **courant d'obscurité**.

Ces capteurs disposent d'une très bonne répétabilité.

Les photodiodes sont beaucoup utilisées en raisons de leur grande stabilité, de leur faible encombrement, de leur coût réduit. Elles ont été par ailleurs utilisées pour développer des

Spécifications techniques

Pointe de réponse spectrale: 800 nm
 Plage de longueur d'onde: 400-1000 nm
 Sensibilité ($V_R = 5$ V, $\lambda = 820$ nm): 0,35 A/W
 Temps de montée du courant photo ($R_L = 50 \Omega$, $V_R = 5$ V, $\lambda = 820$ nm): 1 ns
 Capacité ($V_R = 5$ V) (typ.): 6 pF
 Courant d'obscurité (max.): 10 nA
 Bruit équivalent puissance ($V_R = 5$ V): $6,8 \times 10^{-14}$ W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
 Tension de claquage (max.): 30 V
 Température d'utilisation: -55°C à +120°C

sources Catalogue Radiospares



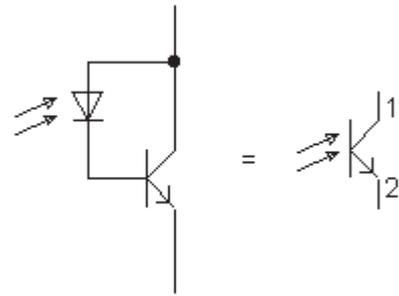
capteurs plus performant.

IV.2/ Les phototransistors

Le faible courant électrique transmis par les photodiodes a poussé les constructeurs de semiconducteurs à rajouter à ce composant un transistor donnant ainsi naissance au phototransistor.

Les caractéristiques sont sensiblement les mêmes que celle des photodiodes. Mais on remarque un courant beaucoup plus important.

Certains phototransistors disposent d'une troisième patte permettant d'affiner la sensi-



Spécifications techniques

Tension collecteur-émetteur BV_{CEO} : 30 V max.
 Tension émetteur-collecteur BV_{ECO} : 5 V max.
 Puissance dissipée max. à 25°C: 150 mW
 Température d'utilisation (à l'air libre): -55°C à +125°C
 Dimensions: $\varnothing = 4,5$ à 4,8 mm ; h = 6 mm
 photocourant: 7,0 à 22,0 mA ($H=1,5$ mW/cm²)
 $I_{D=}$ 100 nA ($V_{CE} = 10$ V)
 angle de détection : 12°
 Référence : Honeywell SD5491-005

sources Catalogue Radiospares

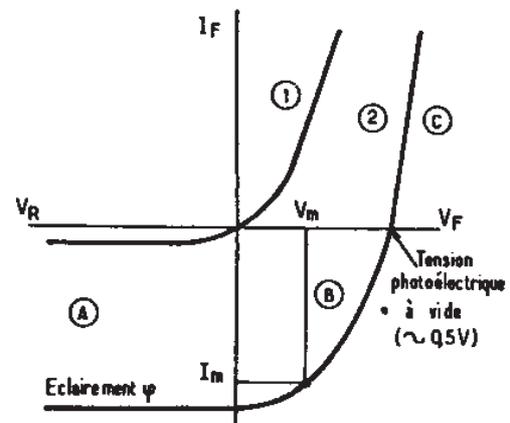


bilité du capteur.

IV.3/ Les cellules photovoltaïques

Utilisant le principe de la photodiode, une cellule photovoltaïque (aussi appelée souvent pile solaire) se comporte comme un générateur en présence de lumière. On la distingue d'une photodiode par le fait que sa surface est nettement plus grande afin d'obtenir un courant plus important.

La courbe caractéristique est la suivante :



- la courbe 1 est celle d'une cellule dans l'obscurité
- La deuxième courbe correspond à une cellule soumise à un éclaircissement :
 - Dans le cadran C, cette courbe ne passe plus par 0 mais par une tension photoélectrique d'environ 0,5v.
 - Dans le cadran A, un courant inverse existe, la cellule travaille en photodiode (**dans la pratique ce mode de fonctionnement conduirait à la destruction de la cellule**).
 - Dans le cadran B enfin, la cellule travaille en générateur d'énergie. Les valeurs V_m , I_m permettent d'obtenir une puissance maximale.

Paramètres de choix :

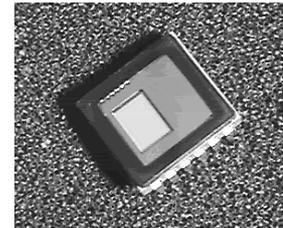
- courant de court-circuit : I_{cc}

- tension à vide : V_{co}
- courant optimal : I_m
- tension optimale : V_m
- rendement : rapport entre l'énergie solaire reçue et l'énergie électrique restituée (entre 5 et 14%)
- température limite de fonctionnement : environ 100°C

Le coût élevé de ces cellules rend leur utilisation comme source d'énergie encore difficile mais le taux de pénétration dans le marché augmente d'année en année.

IV.4/ Les capteurs CCD

Un capteur CCD est un circuit intégré optoélectronique dont la fonction est de capter une image. Afin de récupérer cette dernière, le capteur est composé d'une matrice de capteurs optoélectronique dont chaque point de mesure est appelé pixel.

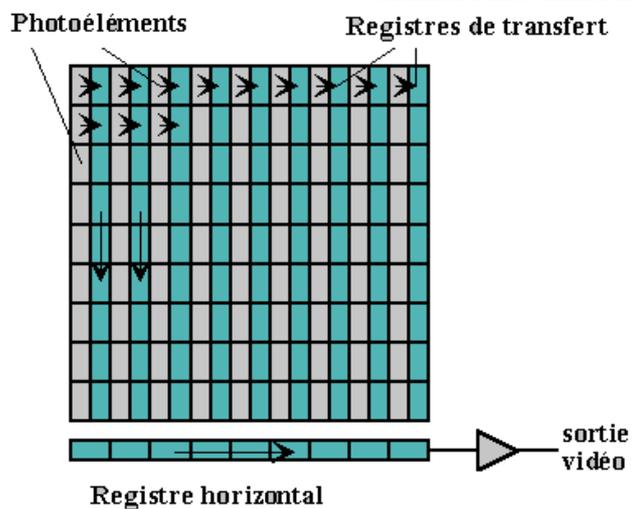


Pour reconstituer l'image, il faut scruter les pixels du capteur les uns après les autres puis les transférer vers un fil de sortie.

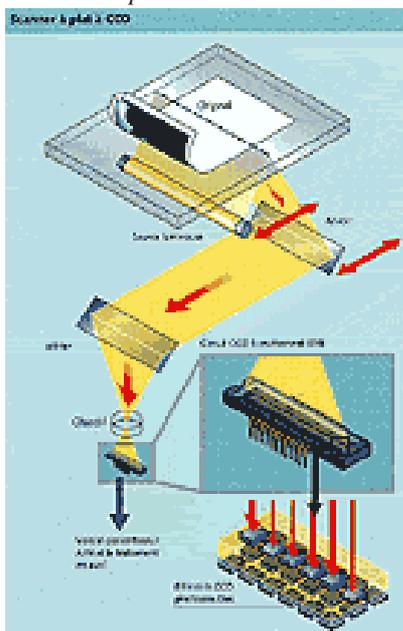
Dans le cas d'une image couleur, chaque pixel est défini par l'intensité lumineuse du rouge du vert et du bleu. Il faut donc pour un même pixel trois capteurs photo électriques.

La structure logique permettant le balayage des pixels en ligne et en colonne est intégré également dans le circuit.

Ce type de capteurs sont mis en oeuvre dans les scanners, les caméras, les appareils photos numériques, etc...



Principe du scanner



V/ LA TRANSMISSION OPTIQUE PAR FIBRE

V.1/Définitions

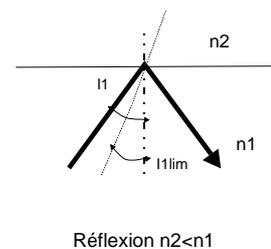
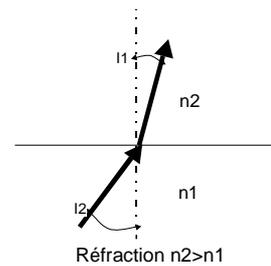
Indice de réfraction : C'est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (300000km/s) et la vitesse de la lumière dans le matériau considéré. L'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde (*la couleur*) du faisceau lumineux. Un changement d'indice de réfraction se traduit par une déviation du faisceau lumineux (Cf prisme)

Réfraction : Modification de la direction des rayons lumineux due à un changement de l'indice de réfraction. Elle se produit lorsque l'indice du milieu duquel provient le faisceau ($n1$) est inférieur à l'indice du milieu vers lequel va le faisceau ($n2$)

$$n1 \cdot \sin I1 = n2 \cdot \sin I2$$

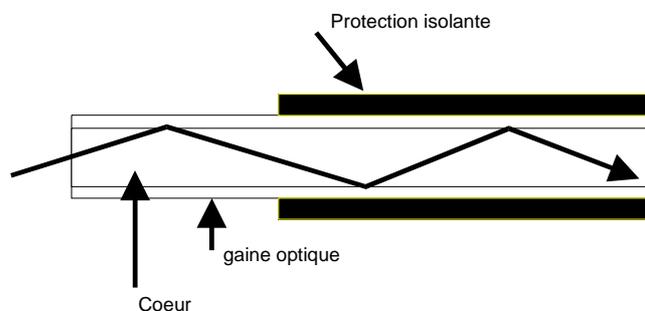
Réflexion totale : Absence de toute transmission de lumière à l'interface entre deux milieux lorsque l'angle d'incidence des rayons lumineux ($I1$) est supérieur à l'angle limite de réfraction ($I1lim$).

$$I1lim = \text{arc sin} (n2/n1)$$



V.2/ Principe de la fibre optique

Une fibre optique est constituée d'un **coeur** d'indice de réfraction $n1$ et de forme cylindrique, entouré par une seconde partie, la **gaine optique**, d'indice de réfraction $n2$ plus faible. La différence d'indice permet ainsi un guidage de lumière malgré les courbes de la fibre.



L'épaisseur de la gaine est très faible par rapport au diamètre du coeur et les matériaux utilisés sont soit le plastique soit des matériaux organiques à base de silice.

V.3/ Les différentes fibres

• **Fibre à saut d'indice :** Seuls deux indices sont utilisés (comme dans la figure ci-dessus) celui du coeur et celui de la gaine. Les rayons lumineux sont réfléchis et effectuent donc des sauts. Ces fibres sont le plus souvent réalisées en plastique et leurs performances sont faibles.

Leur diamètre varie de 50 microns à 1mm.

• **Fibres multimodes ou à gradient d'indice :** L'indice de réfraction du coeur n'est pas constant, il décroît du centre vers le bord. De ce fait les rayons lumineux sont réfléchis de façon plus amortie au niveau de la surface de séparation. Leur bonnes performances expliquent l'utilisation massive dans les transmissions de données.

Elles sont réalisées en Silice et leur diamètre varie de 50 à 200 microns.

•**Fibres monomodes** : Le coeur de cette fibre a un diamètre très petit, afin d'être le plus près



possible de la longueur d'onde ($d=c/v$). Les émetteurs doivent être des diodes laser.



VI/ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

•Guide du technicien en électronique C. CIMELLI et R. BOURGERON HACHETTE

•Les fibres optiques plastiques Ed MASSON

•**Sites internet :**

http://eleves.mines.u-nancy.fr/~larchet/cd/Les_composants/ccd.html

<http://perso.wanadoo.fr/bernard.dalstein/Capteur1.html>

