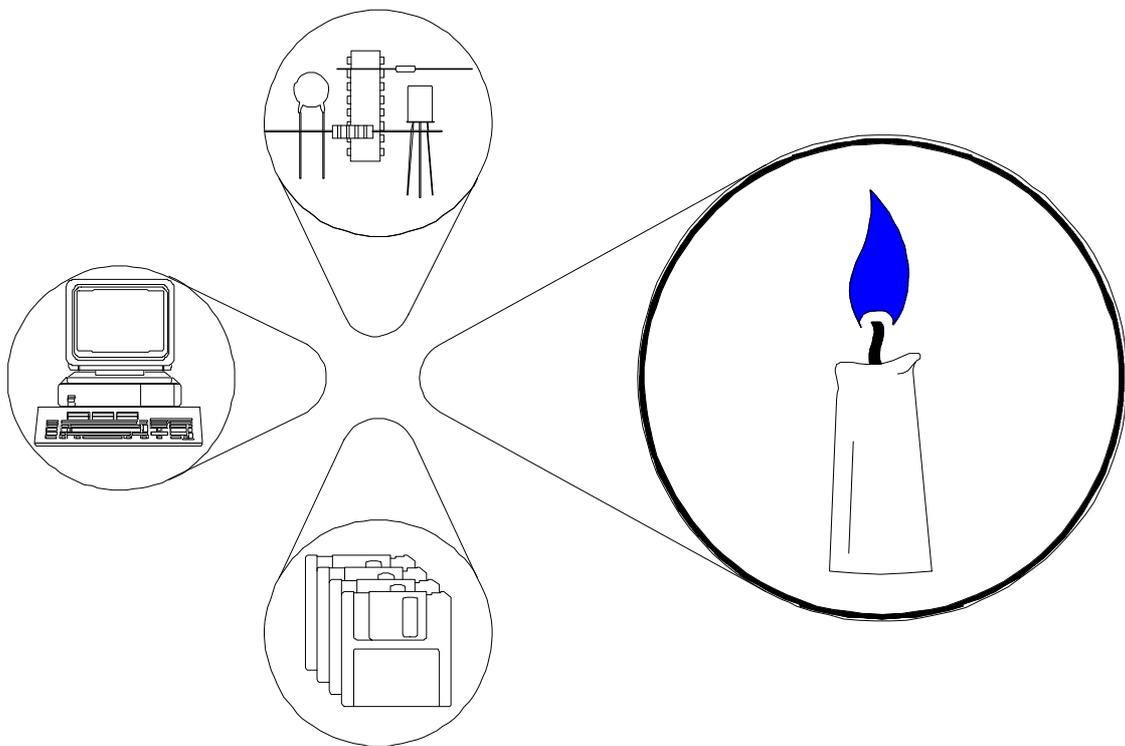


L'opto-électronique

Electroluminescence et photoréception



L'opto-électronique

Annexe

L'opto-électronique.

L'opto-électronique exploite essentiellement les phénomènes d'électroluminescence dans les semi-conducteurs pour les photo-émetteurs et les phénomènes en quelque sorte inverses pour les photo-récepteurs.

L'électroluminescence, phénomène par lequel une excitation électrique donne lieu à l'émission d'une radiation électromagnétique, fût constatée voilà plus de 70 ans, mais son explication donnée bien plus tard sur la base d'une théorie des semi-conducteurs et par la recombinaison radiative des porteurs de charges injectés au voisinage d'une jonction PN.

Parallèlement au développement des émetteurs, la technique des semi-conducteurs a permis de réaliser des photo-récepteurs présentant des caractéristiques en parfaite concordance avec les émetteurs et de concevoir des associations opto-électroniques de qualité.



Analysez les documents figurant en annexe, sur "La lumière et son mesurage" et sur "Les définitions des grandeurs optiques" (Document RTC).

L'électroluminescence.

I. Principe physique et principales caractéristiques.

Sous certaines conditions, la recombinaison de porteurs de charge provoque l'émission d'une radiation lumineuse. En opto-électronique, le procédé utilisé est celui de l'injection de porteurs par polarisation en *direct* d'une jonction à semi-conducteur. Afin d'obtenir une émission lumineuse en quantité suffisante, le matériau de base dans lequel est formée la jonction, est dopé jusqu'à la dégénérescence.

Les semi-conducteurs employés, pour réaliser les diodes électroluminescentes (D.E.L ou LED en anglo-saxon), de type voyants ou émetteurs infrarouge, utilisent des composés intermétalliques (groupe III-V: arséniure de gallium GaAs, phospho-arséniure de gallium GaAsP, phosphure de gallium GaP, ...), plutôt que le silicium Si ou le germanium Ge (groupe IV).

CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS

I_A II_A III_A IV_A V_A VI_A VII_A VIII I_B II_B III_B IV_B V_B VI_B VII_B O

1																	2
H	Element 31 - Gallium (Ga) - Atomic Weight 69.735																He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106												
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	106												

Element 33 - Arsenic (As) - Atomic Weight 74.9216

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

X Caractéristiques électro-optiques.

Les caractéristiques électro-optiques dépendent de la nature des matériaux semi-conducteurs employés:

- ❖ La longueur d'onde λ de la radiation émise:

$$\lambda = h.c/E_g$$

h: constant de Planck $4,136 \cdot 10^{-15}$ (eV.s)

c: vitesse de la lumière dans le vide ($2,99792 \cdot 10^8$ m/s) $\rightarrow 3 \cdot 10^8$ m/s

E_g: largeur de bande interdite (eV), qui dépend du matériau semi-conducteur.

Exemple: Semi-conducteur Arséniure de gallium GaAs $E_g \approx 1,35$ eV

soit $\lambda \approx 920$ nm (Infrarouge proche)

- ❖ La barrière de potentiel V_0 de la jonction (\approx tension de seuil)

Exemple typique:

Infrarouge	GaAs	$\lambda = 930$ nm	$V_F = 1,2$ v @ $I_F = 20$ mA
Rouge standard	GaAsP	$\lambda = 650$ nm	$V_F = 1,7$ v @ $I_F = 20$ mA
Jaune	GaPAs	$\lambda = 590$ nm	$V_F = 2,1$ v @ $I_F = 10$ mA

Vert

GaP

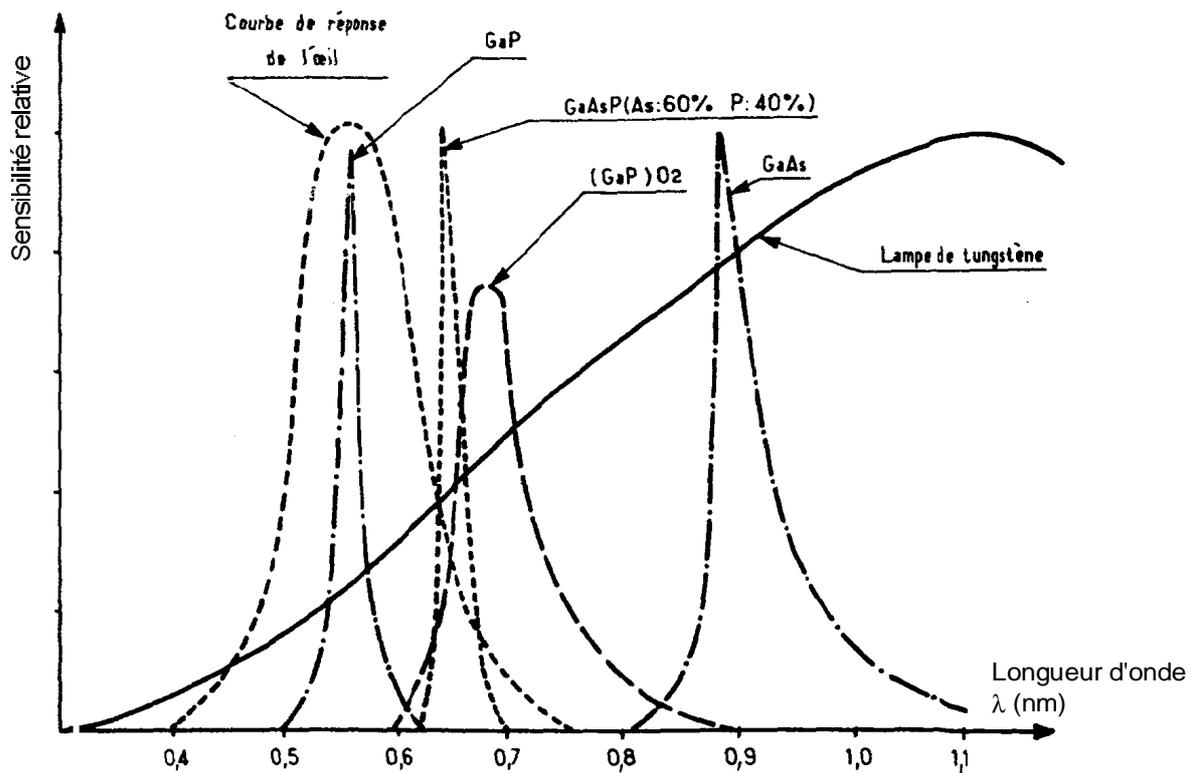
$\lambda = 565 \text{ nm}$

$V_F = 2,2 \text{ v @ } I_F = 10 \text{ mA}$

⇒ **Attention:** Les LED dites Ultra rouge, Hyper rouge et Super rouge utilisent des composés semi-conducteurs plus complexes, et de ce fait la tension de seuil peut être supérieure à la valeur indiquée ci-dessus. Ces LED, plus récentes, apportent des nuances dans les teintes de rouge et des rendements quantiques externes plus élevés.

Diodes couleurs	Sensibilité de l'œil lm/W	Semi-conducteur	Rendement quantique externe	Rendement énergétique	Flux lumineux par Ct injecté lm/A
Rouge . . .	75	GaAsP	0,1 à 0,5 %	0,05 à 0,25 %	0,14 à 0,7
Orange . . .	200	GaAsP	0,2 %	0,1 %	0,8
Jaune . . .	500	GaAsP	0,1 %	0,05 %	1
Vert	400	GaP	0,05 à 0,1 %	0,02 à 0,05 %	0,4 à 0,8
Bleu	70	GaN	1 %	0,5 %	11
		GaN	0,3 %	0,15 %	0,6

Rappel : Rendement quantique externe : nombre de photons émis sur nombre d'électrons injectés.
 Rendement énergétique : puissance rayonnée sur puissance injectée.
 Flux lumineux par courant injecté : sensibilité spectrale de l'œil sur rendement quantique externe par la tension.





Analysez le tableau de synthèse du constructeur RTC, pour les diodes électroluminescentes, en mettant en évidence la différence des matériaux semi-conducteurs employés (cristal), la longueur d'onde λ de la radiation émise, l'intensité lumineuse émise et l'ordre de grandeur de la tension de seuil.

Conclusion: L'intérêt des diodes électroluminescentes (émetteurs et voyants) réside principalement dans les caractéristiques suivantes: localisation de la source, luminescence élevée, tension d'alimentation faible, rapidité de réponse, encombrement réduit, grande fiabilité et forme variée.

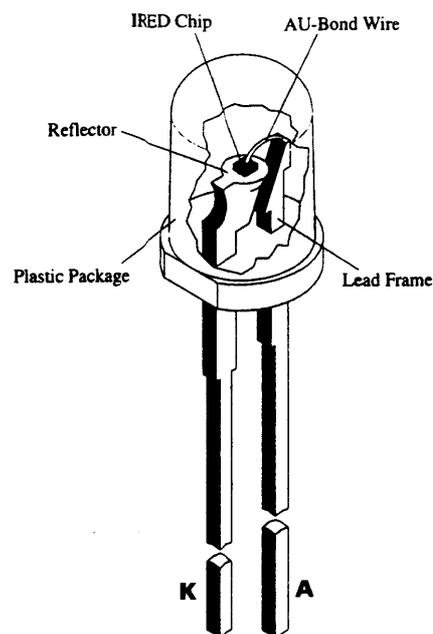
II. Les diodes électroluminescentes infrarouges.

Les diodes électroluminescentes infrarouges sont utilisées dans les applications telles que: transport de l'information en vis à vis (utilisable même dans les endroits dangereux ou contaminés), télécommande, détection de passage (barrière infrarouge)...

Diodes électroluminescentes infrarouges (document RTC)										
Infrarouge GaAs et GaAlAs/GaAs										
Type	λ_p typ (nm)	I_F max. (mA)	I_{RFM} max. (mA)	V_R max. (V)	\varnothing_e typ (μ W)	I_e à I_F (mW/sr) (mA)	θ typ (°)	t_r/t_f typ (ns)	Boîtier	
CQY11B CQY11C	880	30	200	2	100 50	0.064 1.25	20	70	30	SOT 29/1 SOT 29/2
CQY23 *	830	50	1 000	5	1 500	3	20	20	30	\varnothing 3 latéral
CQY49B CQY49C	930	100	1 000	5	—	> 5 > 5	50 50	80 16	600/350 600/350	SOT 29/1 SOT 29/2
CQY50 CQY52	930	100	800	5	300 800	> 0.18 > 0.45	20	35	600	SOT 71B
CQY52A *	830	100	800	5	—	> 0.45	20	35	30	SOT 71B
CQY58A CQY58A-1 CQY58A-2	930	50	200	5	—	> 2 1-5 > 3	20	20	3 000	SOT 53F
CQW89A * CQW89A-1 * CQW89A-2 *	830	130	1 000	5	—	> 9 > 12 > 15	100	35	30	SOD 63D2
CQY89A-1 CQY89A-2	930	130	1 000	5	7 000 15 000	> 9 > 15	100	40	—	SOD 63B2

*GaAlAs/GaAs

Boîtier SOD63 (T-1 $\frac{3}{4}$)



Analysez la documentation constructeur de la diode électroluminescente infrarouge CQY89A, en mettant en évidence les limites technologiques d'emploi et les caractéristiques électro-optiques.

Etudiez la répartition spatiale d'émission de cette diode et justifiez-la au regard de son domaine d'application principal.

Remarque: Les diodes infrarouges utilisées dans les applications de télécommande ne sont pas commandées de manière continue mais impulsionnellement, afin d'accroître leur portée et leur immunité aux rayonnements infrarouges parasites. De nombreux fabricants de matériels audiovisuels (grands consommateurs de télécommandes) ont définis des codes de transmission, basés sur une commande impulsionnelle des diodes infrarouges (code RC5 de Philips, par exemple).

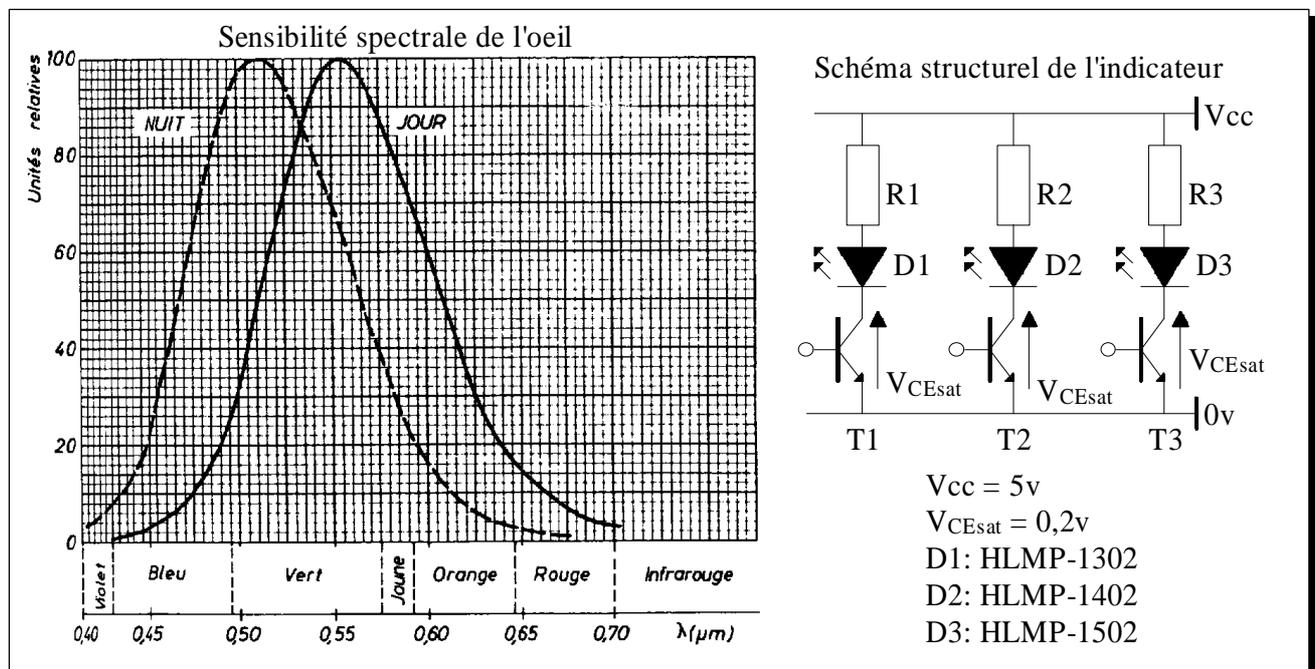
III. Les diodes électroluminescentes visibles.

Les diodes électroluminescentes visibles sont bien sûr utilisées dans les applications de signalisation (Vumètre, Indicateur d'état, ...). Elles se présentent sous des formes (ronde Ø5mm, Ø3mm, carrée, rectangulaire, CMS ...) et des couleurs (rouge, jaune, vert, bleu) variées, simples, doubles ou en réseaux.



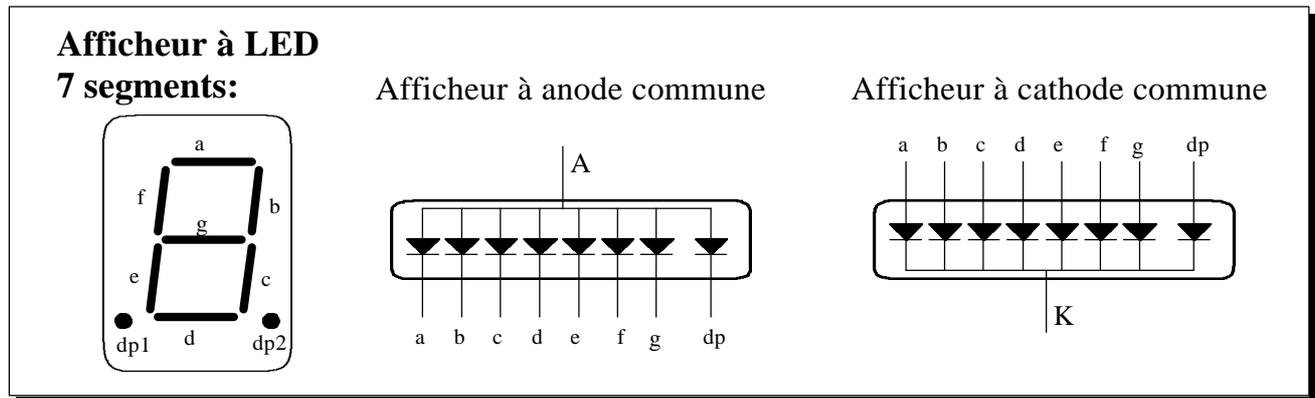
Un indicateur d'état utilise trois LED commandées, pour afficher le niveau d'eau dans un bassin: rouge (niveau maximum atteint), jaune (niveau minimum atteint) et vert (fonctionnement normal: niveau d'eau entre le minimum et le maximum).

Déterminez la valeur des résistances R1 à R3 et choisissez leur valeur normalisée dans la série E24, afin d'obtenir un affichage axial homogène pour les trois couleurs et un courant dans la LED verte de 12,5 mA. Faites l'étude en prenant en considération uniquement les valeurs typiques des différents paramètres que vous manipulerez.



IV. Les afficheurs à diodes électroluminescentes.

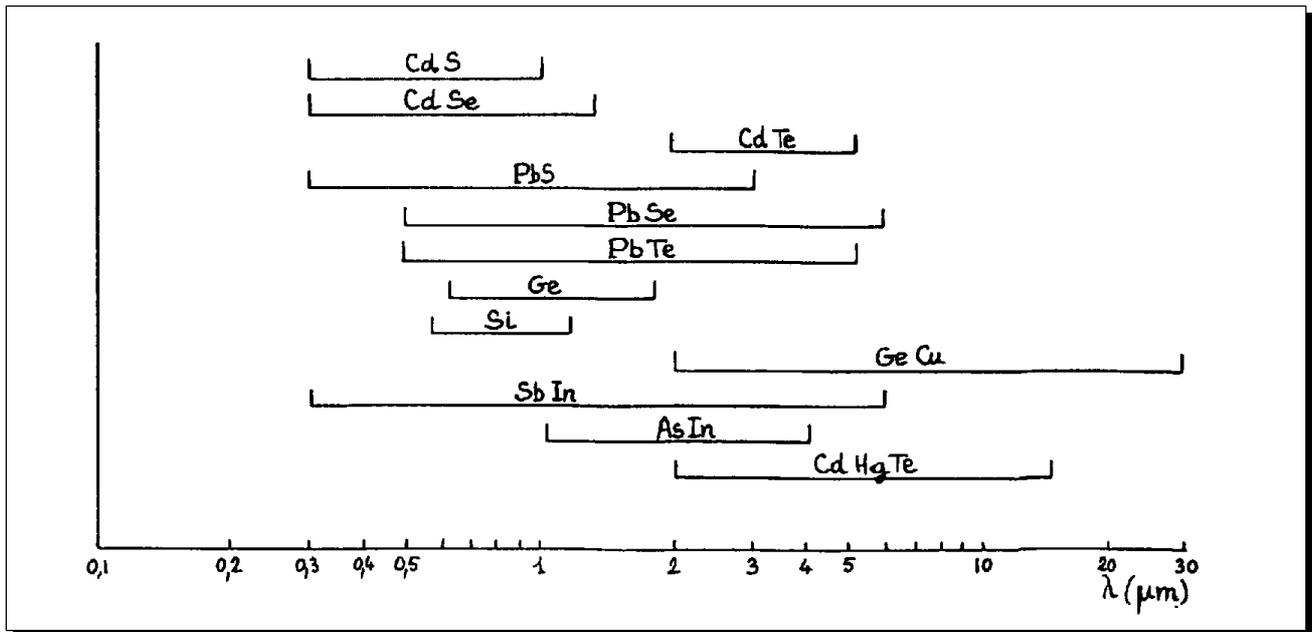
Les afficheurs à diodes électroluminescentes sont utilisés pour afficher une valeur ou un message court. Il en existe de nombreux types: afficheur numérique 7 segments, afficheur alphanumérique 14 segments, afficheur à matrice de points 5x7; simple ou multiple; avec ou sans circuit de commande et de différentes couleur et taille. L'afficheur à diodes électroluminescentes le plus répandu est l'afficheur 7 segments à anode ou à cathode commune, il possède en plus un point décimal droit ou un point décimal gauche, voire les deux.



La photoréception.

Le sélénium (Se) a été le premier élément photorésistant connu et utilisé dans l'industrie (mise en évidence de l'effet photovoltaïque du sélénium en 1877). De nos jours, de nombreux matériaux semi-conducteurs intrinsèques (purs) ou extrinsèques (dopés) sont employés dans la fabrication de photorécepteurs:

- ❖ le sulfure de cadmium (CdS) et le séléniure de cadmium (CdSe), pour une détection dans le spectre visible.
- ❖ le sulfure de plomb (PbS), avec une sensibilité spectrale maximale située entre 1,8 μm et 2,5 μm est utilisé principalement dans les détecteurs de flamme.
- ❖ le silicium (Si) présente la meilleur sensibilité spectrale aux longueurs d'onde émises par l'arséniure de gallium (GaAs): infrarouge proche. Par conséquent, c'est le semi-conducteur qui entre le plus souvent dans la réalisation des photorécepteurs associés aux émetteurs infrarouges.
- ❖ le tellure de plomb (PbTe), le tellure de cadmium (CdTe) ...



I. Les photorésistances ou cellules photoconductrices.

Ces composants passifs exploitent le principe de la photoconduction. La photoconduction est un effet photoélectrique qui se manifeste par une diminution de la résistivité d'un matériau irradié: la libération dans le matériau de charges électriques (paires électron-trou) sous l'influence du rayonnement provoque une diminution de sa résistivité.

<p>Symbole d'une photorésistance</p>	<p>Loi de variation de la résistance R</p> <p>$R = R_0/R_p$</p> <p>R_0: Résistance de la cellule dans l'obscurité</p> <p>R_p: Résistance déterminée par l'effet photoélectrique du flux incident</p> <p>$R_p = a E^{-\gamma}$</p> <p>E: Eclairage (flux incident)</p> <p>a: constante dépendant du matériau et de la température</p> <p>γ: coefficient compris en général entre 0,5 et 1</p>
--------------------------------------	--

Conclusion: Une photorésistance est un capteur non linéaire ayant une sensibilité décroissante lorsque le flux incident augmente, sauf dans le cas particulier où $\gamma=1$. Cependant, un fonctionnement quasi linéaire demeure possible en "petits signaux", lorsque l'information est associée à de faibles variations du flux incident, autour d'une valeur constante très supérieure.



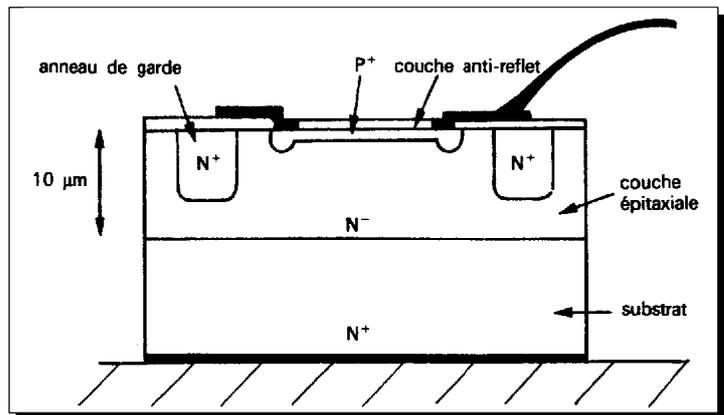
Analysez la documentation constructeur de la photorésistance LDR720, en mettant en évidence ses propriétés photoélectriques.

1 Foot Candle = 10,764 Lux

II. Les photodiodes.

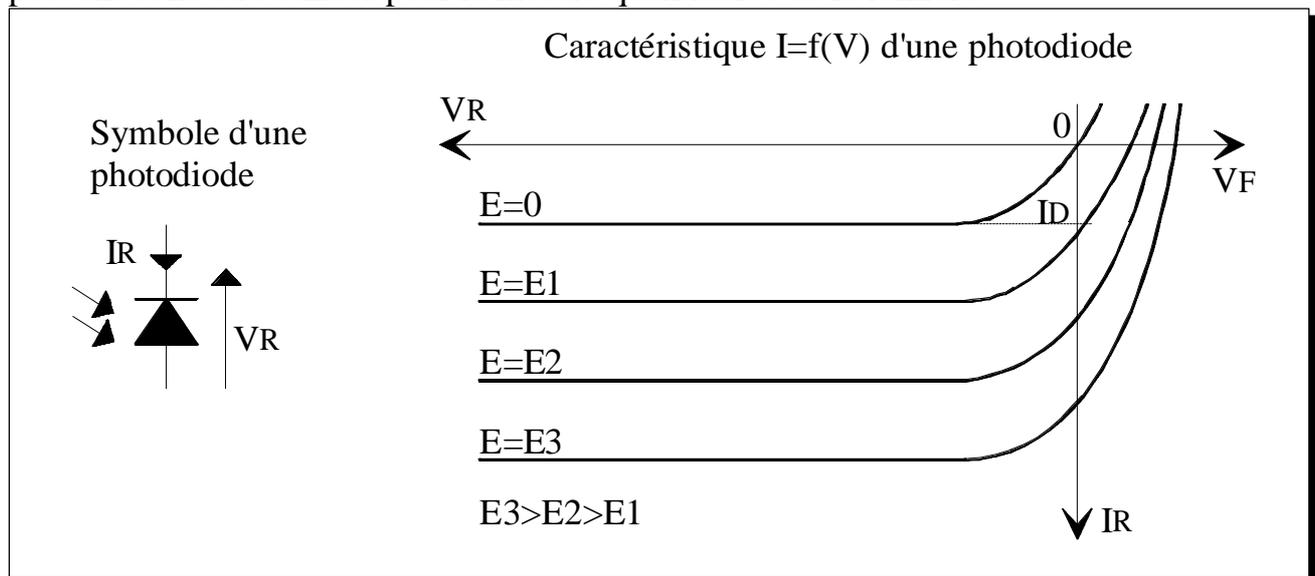
Le matériau de base pour la fabrication des photodiodes sensibles dans le domaine visible ou le proche infrarouge, est le silicium. La structure PIN est la plus répandue. Elle consiste à intercaler entre la zone N et la zone P, d'une jonction PN classique, une zone intrinsèque "I" ou très faiblement dopée. L'intérêt d'une telle structure réside, pour les fabricants, dans le fait qu'il est possible de résoudre au mieux le compromis sensibilité-rapidité en jouant sur les caractéristiques de cette zone I.

Coupe d'une photodiode PIN au silicium, obtenue par épitaxie d'une couche résistive (N-) et diffusion localisée d'une mince zone fortement dopée (P+), qui après les opérations de métallisation, est recouverte d'une couche anti-reflet.

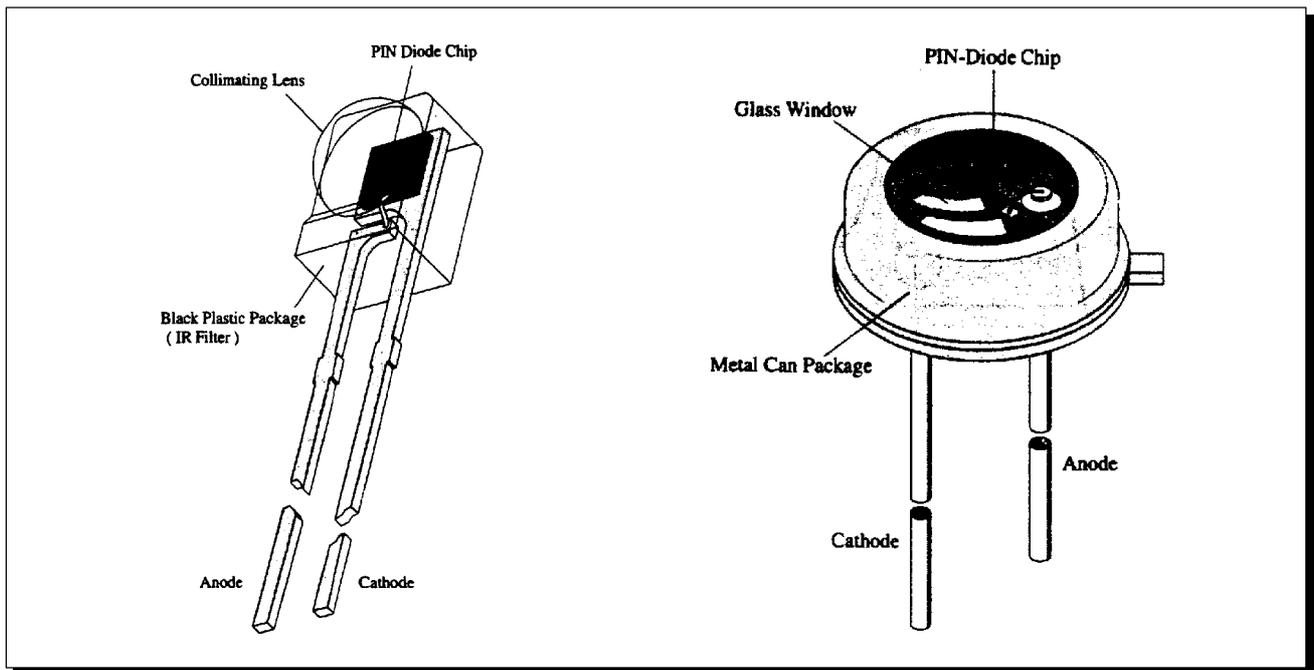


En l'absence d'éclairement, le courant qui traverse la jonction est uniquement d'origine thermoïonique. Il est appelé courant d'obscurité I_D (dark current).

Sous éclairement, le bombardement photonique provoque la génération de paires électron-trou au voisinage de la jonction, qui conduisent à l'accroissement du courant inverse ($I_R = I_D + I_P$), et ce proportionnellement à l'intensité du flux incident. De tels dispositifs peuvent donc être utilisés pour la mesure quantitative de la lumière.



Les photodiodes se présentent sous des boîtiers variés (rond $\varnothing 5\text{mm}$, TO-92, TO-5 métallique, CMS ...), qui permettent bien sûr la traversée au flux incident vers la jonction. Certains de ces boîtiers sont équipés de filtres optiques, essentiellement des filtres infrarouges (parfois réalisés par la nature même de l'époxy du boîtier). Ces filtres infrarouges augmentent la sélectivité spectrale des photodiodes dédiées aux applications utilisant des diodes électroluminescentes infrarouges.



Une photodiode possède plusieurs modes de fonctionnement, suivant la structure du circuit, dans lequel elle est placée.

X Mode photoconducteur (Photodiode mode).

La photodiode est polarisée en *inverse*. Le courant inverse IR est alors proportionnel au flux incident E , au courant d'obscurité I_D près. Les avantages de cette polarisation sont l'obtention d'une bonne linéarité, des temps de réponse courts et une bande passante étendue.