

Cellules photovoltaïques

1 - Les matériaux semi-conducteurs

1. Albert Einstein a repris l'hypothèse des quanta, à l'origine de la mécanique quantique formulée par Max Planck. Il postula pour cela l'existence des photons, particules qui transportent une quantité déterminée d'énergie lumineuse.

2. D'après le diagramme proposé, un photon d'énergie 1,20 eV ne peut pas être absorbé par l'atome d'hydrogène, il n'y a aucune transition entre deux niveaux qui correspond exactement à cette énergie. Par contre, un photon d'énergie $E = 0,97 \text{ eV}$ permet le passage du niveau $n = 3$ au niveau d'énergie $n = 5$ ($E = -0,54 - (-1,51)$ soit $E = 0,97 \text{ eV}$). Ce photon sera donc absorbé.

3. Le photon d'énergie $E = 0,97 \text{ eV}$ ne peut pas être absorbé dans le cas du silicium, car la valeur de son énergie est inférieure au gap à franchir. Le photon d'énergie $E = 1,20 \text{ eV}$ pourra être absorbé, 1,20 eV étant supérieur à 1,12 eV.

4. On voit à l'aide du doc 4 qu'un photon d'énergie $E = 1,12 \text{ eV}$, correspondant au gap du silicium, a une longueur d'onde de l'ordre de 1 100 nm. On voit plus précisément que tous les photons entre 300 et 1 100 nm peuvent être absorbés : ils ont tous une énergie supérieure à celle du gap du silicium.

Synthèse

Les photons absorbés par un semi-conducteur permettent de fournir de l'énergie à des électrons qui deviennent conducteurs du courant électrique, en passant dans la bande de conduction. De l'énergie lumineuse (portée par les photons) sera ainsi transformée en énergie électrique (mouvement de particules chargées, ici des électrons).

2 - Des semi-conducteurs aux cellules photovoltaïques

1. Une liaison de valence est la mise en commun de deux électrons entre deux atomes, chaque atome apportant un électron. Des atomes autres que des atomes d'hydrogène qui forment des liaisons de valence ont huit électrons sur leur couche externe.

L'atome de silicium possède 4 électrons de valence, il peut donc former 4 liaisons de valence avec un autre atome de silicium.

Un atome de phosphore possède 5 électrons de valence, mais l'atome de silicium n'en possède que 4 ; un atome de phosphore et un atome de silicium ne pourront former que 4 liaisons de valence.

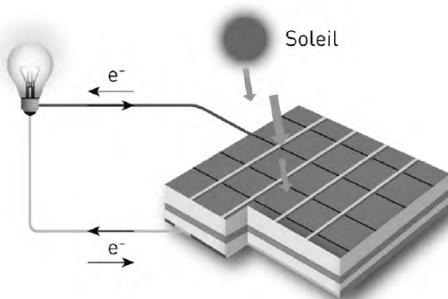
Un atome de bore possède 3 électrons de valence et l'atome de silicium en possède 4 ; un atome de silicium et un atome de bore ne pourront former que 3 liaisons de valence.

2. Un des 5 électrons de valence de l'atome de phosphore ne peut être mis en commun avec les électrons de valence de l'atome de silicium. Le matériau ainsi formé est dopé N car il possède un excédent d'électrons (charge globale négative).

Il va manquer un électron de valence à l'atome de bore pour former 4 liaisons entre les atomes de bore et de silicium. Le matériau ainsi formé est dopé P car il possède un défaut d'électrons (charge globale positive).

3. Le contact supérieur est chargé négativement, le contact inférieur est chargé positivement. Les contacts supérieur et inférieur sont dans des états électriques différents : il existe donc une tension entre les contacts supérieur et inférieur.

4.



Le sens du courant est indiqué sur les fils de connexion, le sens de déplacement des électrons est indiqué en dehors du circuit.

Synthèse

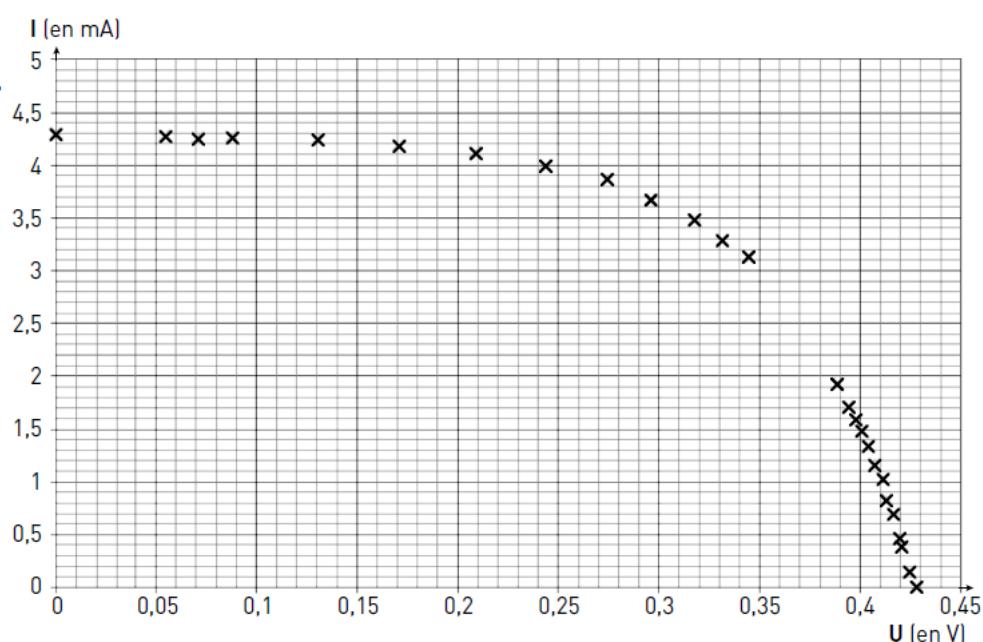
Quand un photon d'énergie suffisante arrache un électron d'un atome de silicium, il crée un trou ; l'électron (-) et le trou (+) se déplacent en sens contraires. Les électrons s'accumulent dans la zone dopée N et les trous s'accumulent dans la zone dopée P. Le déplacement des charges électriques est à l'origine d'un courant continu dans le circuit extérieur.

3- La cellule photovoltaïque

R en Ω	U en V	I en mA	P en mW
5,00E+06	0,4285	0	0
5,00E+04	0,4279	0,0083	0,0036
2,00E+03	0,4251	0,1414	0,060
1,00E+03	0,4208	0,383	0,161
8,00E+02	0,4201	0,467	0,196
5,00E+02	0,4164	0,692	0,288
4,00E+02	0,4136	0,826	0,342
3,00E+02	0,4115	1,025	0,422
2,50E+02	0,4075	1,158	0,472
2,00E+02	0,4042	1,344	0,543
1,70E+02	0,4009	1,482	0,594
1,50E+02	0,3983	1,585	0,631
1,30E+02	0,3945	1,712	0,675
1,00E+02	0,3887	1,936	0,753
9,90E+01	0,3445	3,14	1,082
9,00E+01	0,3313	3,29	1,090
8,00E+01	0,3178	3,49	1,109
7,00E+01	0,2962	3,67	1,087
6,00E+01	0,2745	3,87	1,062
5,00E+01	0,2435	4	0,974
4,00E+01	0,2089	4,12	0,861
3,00E+01	0,1706	4,18	0,713
2,00E+01	0,1303	4,25	0,554
1,00E+01	0,0878	4,27	0,375
6,00E+00	0,0711	4,26	0,303
2,00E+00	0,0543	4,28	0,232
0,00E+00	0	4,3	0,000

Mesures, calculs de la puissance électrique et tracés des caractéristiques.

Caractéristique (U, I)
de la cellule photovoltaïque
(lampe à incandescence 25 W).



1. La caractéristique $I = f(U)$ ne passe pas par l'origine du repère de coordonnées $(0 ; 0)$ donc la cellule photovoltaïque est un générateur électrique.

2. Par lecture graphique, on a $P_{\max} = 1,12 \text{ mW}$.

3. Pour $P = P_{\max}$, on lit $U = 0,32 \text{ V}$ sur la caractéristique $P = f(U)$.

Pour $U = 0,32 \text{ V}$, on lit $I = 3,5 \text{ mA}$ sur la caractéristique $I = f(U)$.

La résistance optimale est obtenue avec la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique :

$$R = \frac{U}{I} \text{ donc } R = \frac{0,32}{3,5 \times 10^{-3}} \text{ soit } R = 91 \Omega.$$

Synthèse

La cellule photovoltaïque convertit l'énergie radiative qu'elle reçoit du Soleil en énergie électrique et en énergie thermique. La valeur de la résistance doit être judicieusement choisie afin que la cellule photovoltaïque délivre la plus grande puissance possible.

