

Etude d'une cellule photovoltaïque

Mots-clefs : Photovoltaïques, semi-conducteurs

Contexte du sujet :

La volonté de développer de nouvelles sources d'énergie en faveur du développement durable s'est notamment traduite par le développement des panneaux solaires pour produire de l'électricité. Un panneau solaire est composé de cellules photovoltaïques, composants électroniques constitués de semi-conducteurs reliés entre eux en série ou en parallèle, qui convertissent la lumière en électricité. Lorsqu'elle est éclairée par la lumière, une cellule photovoltaïque génère un courant électrique et une tension électrique apparaît entre ses bornes. Quelle est la caractéristique d'une cellule photovoltaïque ? Comment fonctionne-t-elle ?



Caractéristique et rendement d'une cellule photovoltaïque

A l'aide des documents suivants et de la liste de matériel disponible vous devrez :

1. *Proposer puis réaliser le protocole expérimental permettant de représenter la caractéristique de la cellule photovoltaïque.*
2. *A l'aide des valeurs obtenues, vous tracerez à l'aide d'un tableur grapheur, la caractéristique de la cellule mais également la puissance P en fonction de la tension U délivrée. $P = f(U)$.*
3. *A l'aide des documents, proposer une méthode de calcul du rendement de la cellule photovoltaïque utilisée. Calculer ce rendement et le comparer avec le rendement moyen d'une cellule photovoltaïque.*

Document 1 :

Les semi-conducteurs sont des matériaux qui ont une conductivité électrique intermédiaire entre celle des isolants et celle des conducteurs. Les matériaux supraconducteurs ont une résistance électrique nulle dans certaines conditions. **Comment expliquer ces différences de conductivité ?**

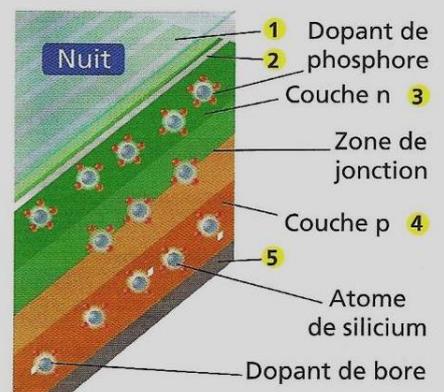
Document 1

Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique d'épaisseur comprise entre 0,2 et 0,3 mm, et de 10 cm de côté environ. Elle est composée de cinq couches différentes : une couche antireflet **1**, deux couches conductrices (cathode en forme de grille **2** et anode compacte **5**) et deux couches de silicium dopé **3** et **4**.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. La couche de silicium supérieure **3**, exposée au Soleil, est dopée avec des atomes de phosphore possédant 5 électrons périphériques, soit un de plus que les atomes de silicium.

La couche de silicium inférieure **4** est dopée avec des atomes de bore ayant 3 électrons périphériques, soit un de moins que les atomes de silicium (présence d'un trou). La couche **3** est donc excédentaire en électrons et la couche **4** est déficitaire. Lorsque les deux couches sont mises en contact, les électrons en excès de la couche **3** diffusent dans la couche **4**. Ainsi, la couche **3** se charge positivement, tandis que la couche **4** se charge négativement. Un équilibre se crée et un champ électrique interne apparaît.



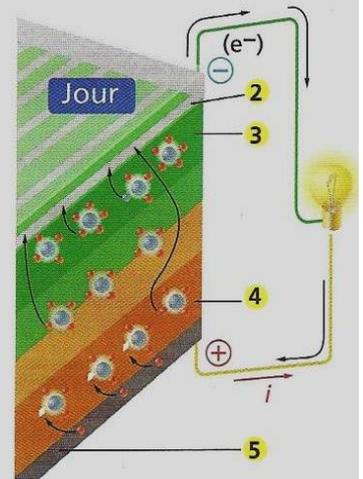
D'après F. MATHÉ et A. GANIER, Les défis du CEA, n° 131.

Document 2 Le rôle du Soleil

Les photons du Soleil qui pénètrent dans la cellule photovoltaïque peuvent arracher des électrons aux atomes de silicium présents dans les couches 3 et 4. Le champ électrique interne à la cellule entraîne les électrons libérés vers la cathode 2 (-), où ils empruntent un circuit extérieur, générant ainsi un courant électrique qui alimente, par exemple, une ampoule électrique. Les électrons rejoignent ensuite l'anode 5 (+), où ils se recombinent avec des trous.

Plus le nombre de photons absorbés est important, plus le nombre d'électrons libérés, et donc le courant généré, est important. Les cellules sont regroupées en modules formant des panneaux solaires. Aujourd'hui, les rendements énergétiques moyens des panneaux solaires sont de l'ordre de 15 %.

D'après F. MATHÉ et A. GANIER, *Les défis du CEA*, n° 131.

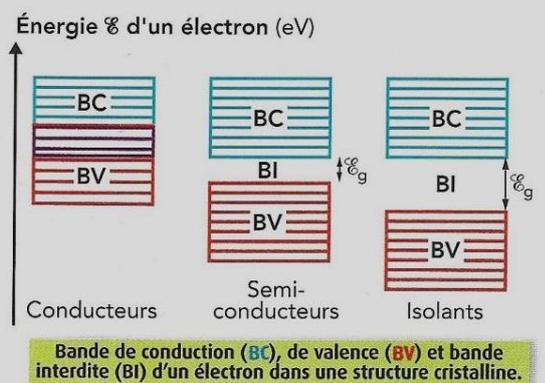


Document 3 Bandes d'énergie

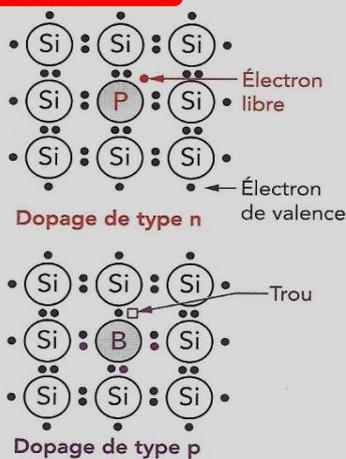
Le comportement électrique des conducteurs, des semi-conducteurs et des isolants est modélisé par la théorie des bandes énergétiques. Selon ce modèle, les niveaux d'énergie des électrons des atomes d'une structure cristalline forment des bandes d'énergie appelées bandes permises. Les bandes responsables des propriétés conductrices sont la bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC). Les énergies comprises entre deux bandes permises constituent une bande interdite (BI). Seuls les électrons de plus hautes énergies, présents dans la bande de conduction, peuvent se détacher de la structure cristalline et participer à la conduction du courant électrique.

Pour les conducteurs, les bandes de valence et de conduction se chevauchent. Ainsi, certains électrons sont libres d'évoluer dans la structure cristalline (cas des métaux). En revanche, pour les semi-conducteurs et les isolants, les bandes de valence et de conduction sont séparées par une bande interdite. La différence entre semi-conducteur et isolant est due à la valeur \mathcal{E}_g de cette bande interdite, voisine de 1 eV pour les semi-conducteurs et de 6 eV pour les isolants.

D'après J.-P. PEREZ et coll., « Électromagnétisme - Vide et milieux matériels », Masson, 1991.



Document 4 Dopage d'un semi-conducteur



Un réseau monocristallin d'atomes de silicium, Si, est un semi-conducteur. L'atome de silicium ayant quatre électrons de valence, il établit quatre liaisons covalentes avec quatre atomes voisins. Un semi-conducteur au silicium a une conductivité quasi nulle. Afin d'augmenter sa conductivité, on insère dans la structure cristalline des atomes d'autres éléments, appelés dopants.

Pour un semi-conducteur au silicium dopé au phosphore, un atome de phosphore, P, remplace un atome de silicium dans le réseau. L'atome P ayant cinq électrons de valence, il forme quatre liaisons covalentes avec des atomes de silicium voisins; il reste un électron libre qui peut participer à la conduction électrique. L'atome de phosphore étant donneur d'électron, on parle de dopage de type n (n pour négatif).

Par un raisonnement analogue, un atome dopant possédant trois électrons de valence, comme le bore, B, conduit à un déficit d'électron de valence dans le réseau, appelé trou. Ce trou peut être comblé par un électron de valence d'un atome de silicium voisin, déplaçant ainsi le trou. L'atome de bore étant accepteur d'électron, on parle de dopage de type p (p pour positif).

Les éléments dopants génèrent des niveaux d'énergies dans la bande interdite. Ces niveaux sont proches des bandes de valence ou de conduction.

D'après J.-P. PEREZ et coll., *Électromagnétisme - Vide et milieux matériels*, Masson, 1991.



Document 5 : Liste du matériel

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • <u>Sur table élève</u> <ul style="list-style-type: none"> - Cellule photovoltaïque - Lampe 40 W - Fils de connexion - adaptateurs pour fil de connexion - Boite à décade ou rhéostat 33 Ω - Voltmètre - Ampèremètre - ordinateur avec logiciel tableur | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Sur table prof :</u> <ul style="list-style-type: none"> - 1 Luxmètre |
|---|---|

Document 6 : Données du problème

- On peut calculer le rendement de la cellule : $\eta = \frac{P_{max}}{P_a}$
- avec η est le rendement de la cellule $0 < \eta < 1$
 P_{max} est la puissance électrique crête (maximale délivrée par la cellule en watt (W))
 P_a est la puissance lumineuse reçue par la cellule en watts (W)
- Un luxmètre mesure l'éclairement E d'une surface en lux.
 - L'éclairement E de la cellule correspond au flux lumineux Φ (en lumen lm) pour 1 m^2 ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$)
 - L'efficacité lumineuse k d'une lampe à incandescence de 40 W est $k = 10 \text{ lm/W}$
 - La puissance lumineuse reçue par la cellule est $P_a = \Phi / k$
 - La puissance électrique crête se calcule avec $P = U \times I$

Document 7 : Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est éclairée par une lampe de bureau.
 On note l'éclairement E de la lampe, mesuré en lux, par un luxmètre.
 Orienter la lampe pour que l'éclairement soit maximal.
 Relever la valeur de E et ne plus déplacer ni la lampe, ni la cellule.
 Vous pouvez obtenir la caractéristique en faisant varier la résistance du montage. La valeur $I = 0 \text{ mA}$ est obtenue en retirant la résistance (circuit ouvert).
 Il s'agit de tracer le graphique $I = f(U)$

