Spécialité : Les cellules photovoltaïques multi-jonctions

Bac S 2017 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Calculer les rendements des cellules triple-jonction de Sharp et Microsol au silicium.

Données utiles ensoleillement $E = 1000\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; Sharp : $S = 8{,}9\times10^{-5}\ \text{m}^2$, courbe de puissance ; Microsol : $S' = 2{,}43\times10^{-2}\ \text{m}^2$, $P_{\max} = 4{,}210\ \text{W}$

Le rendement est $r = \dfrac{P_{\text{él,max}}}{P_{\text{lum}}}$, avec une puissance lumineuse reçue $P_{\text{lum}} = E \times S$.

Cellule Sharp. La courbe de puissance (trait épais, axe de droite) passe par un maximum, pour une tension voisine de 2,7 V : $P_{\text{él,max}} \approx 33\ \text{mW}$.

$$P_{\text{lum}} = 1000 \times 8{,}9 \times 10^{-5} = 8{,}9\times10^{-2}\ \text{W} = 89\ \text{mW}$$

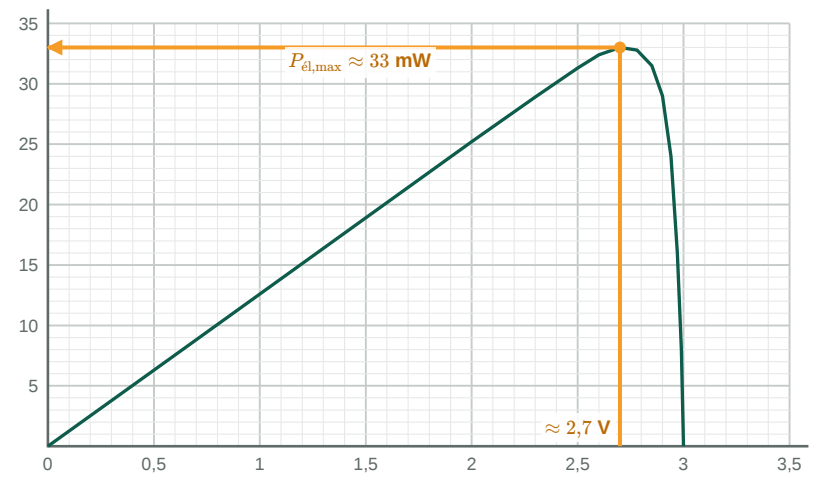
$$r_{\text{Sharp}} = \frac{33}{89} = 0{,}37$$

Cellule Microsol. Le tableau donne directement $P_{\max} = 4{,}210$ W.

$$P'_{\text{lum}} = 1000 \times 2{,}43 \times 10^{-2} = 24{,}3\ \text{W}$$

$$r_{\text{Si}} = \frac{4{,}210}{24{,}3} = 0{,}173$$

$r_{\text{Sharp}} \approx 37\ \%$ et $r_{\text{Si}} \approx 17\ \%$: la cellule triple-jonction a un rendement environ deux fois plus grand.



1 · Courbe de puissance de la cellule Sharp (axe de droite du sujet) et lecture du maximum

PIÈGE

Lire la puissance sur l'axe de gauche (celui de l'intensité, en mA), ou diviser des milliwatts par des watts. Les deux puissances du quotient doivent être dans la même unité.

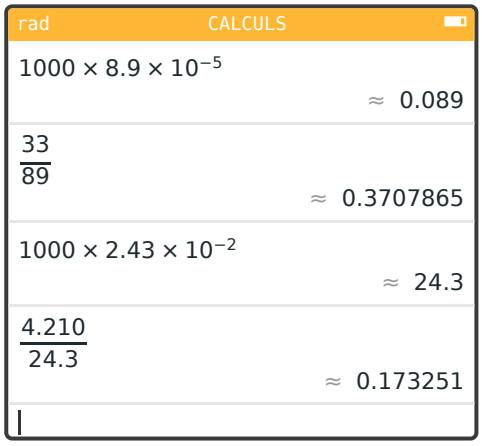
COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs pour Sharp, comme la surface et la lecture graphique. Pour Microsol, les données en autorisent trois : 17,3 %.

MÉTHODE

Pour une lecture graphique précise, mesurer à la règle : distance entre deux graduations de l'axe, distance jusqu'au sommet de la courbe, puis proportionnalité.

À LA CALCULATRICE



2 Déterminer l'énergie de chacun des deux photons, de longueurs d'onde $\lambda_1 = 1{,}0\ \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0{,}65\ \mu\text{m}$.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$

L'énergie d'un photon de longueur d'onde λ dans le vide est $\mathcal{E} = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, avec λ en mètre.

$$\mathcal{E}_1 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}0 \times 10^{-6}} = 2{,}0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{0{,}65 \times 10^{-6}} = 3{,}1 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

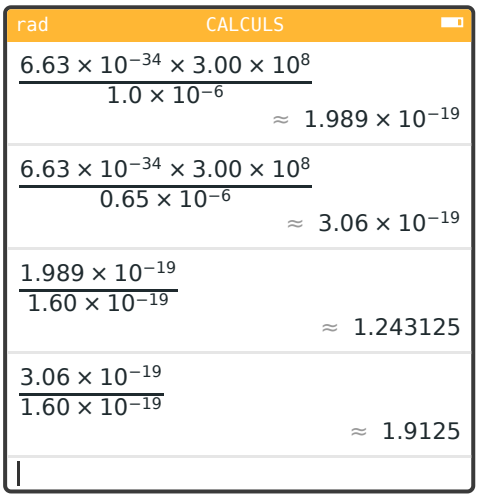
Les gaps étant donnés en électronvolt, on convertit en divisant par $1{,}60 \times 10^{-19}$:

$\mathcal{E}_1 = 2{,}0 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}2\ \text{eV}$ et $\mathcal{E}_2 = 3{,}1 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}9\ \text{eV}$

PIÈGE
Laisser λ en micromètre : $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ m. Pour la conversion, garder la valeur non arrondie de la calculatrice, et diviser (ne pas multiplier) par $1{,}60 \times 10^{-19}$.

COMPRENDRE
Plus la longueur d'onde est courte, plus le photon est énergétique : le photon rouge (0,65 µm) transporte davantage d'énergie que le photon infrarouge (1,0 µm).

À LA CALCULATRICE



3 Les deux photons arrivent sur la cellule en silicium monocristallin. Déterminer l'énergie électrique maximale récupérée.

Données utiles gap du silicium : 1,1 eV ; $\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV (Q2)

Un photon est absorbé si son énergie dépasse le gap du matériau. Ici $\mathcal{E}_1 = 1{,}2\ \text{eV} > 1{,}1\ \text{eV}$ et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9\ \text{eV} > 1{,}1\ \text{eV}$: le silicium absorbe les deux photons.

Chaque photon absorbé fournit au mieux une énergie électrique égale au gap, le surplus étant converti en chaleur :

$\mathcal{E}_{\text{Si}} = 2 \times 1{,}1 = 2{,}2\ \text{eV}$

Énergie électrique maximale récupérée par le silicium : $\mathcal{E}_{\text{Si}} = 2{,}2\ \text{eV}$

PIÈGE
Additionner les énergies des photons (3,1 eV). L'énergie récupérable par photon absorbé est plafonnée à la valeur du gap, quelle que soit l'énergie du photon.

COMPRENDRE
Sur les 3,1 eV apportés, 0,9 eV part en chaleur, dont 0,8 eV pour le seul photon rouge. La notion de gap ne figure plus au programme actuel de spécialité : elle est ici fournie par le document.

4 Les deux photons arrivent sur la cellule triple-jonction de Sharp. Indiquer par quelle couche chaque photon est absorbé et déterminer l'énergie maximale récupérée. Conclure.

Données utiles gaps, de haut en bas : InGaP 1,8 eV ; GaAs 1,4 eV ; InGaAs 1,0 eV ; $\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV et $\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV (Q2) ; silicium : 2,2 eV (Q3)

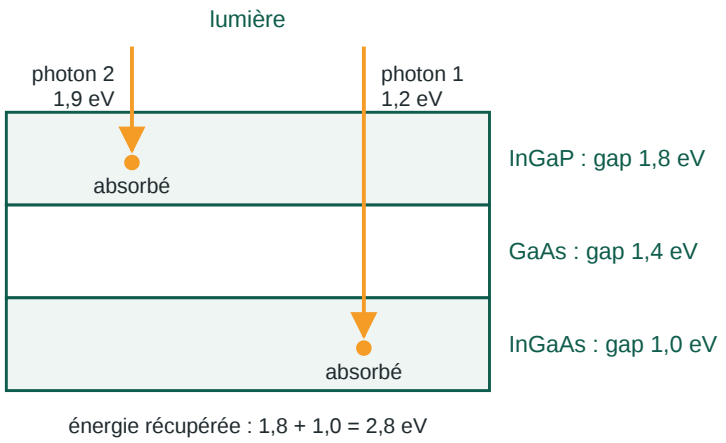
La lumière rencontre d'abord InGaP, puis GaAs, puis InGaAs.

Photon 2 ($\mathcal{E}_2 = 1{,}9$ eV) : $1{,}9 > 1{,}8$, il est absorbé dès la couche supérieure en InGaP, qui restitue au mieux 1,8 eV.

Photon 1 ($\mathcal{E}_1 = 1{,}2$ eV) : $1{,}2 < 1{,}8$ et $1{,}2 < 1{,}4$, il traverse InGaP puis GaAs ; $1{,}2 > 1{,}0$, il est absorbé par la couche inférieure en InGaAs, qui restitue au mieux 1,0 eV.

$\mathcal{E}_{\text{Sharp}} = 1{,}8 + 1{,}0 = 2{,}8$ eV

$\mathcal{E}_{\text{Sharp}} = 2{,}8$ eV contre 2,2 eV pour le silicium : avec les mêmes photons, la cellule triple-jonction récupère plus d'énergie électrique, d'où son meilleur rendement.



4 · Trajet des deux photons dans la cellule triple-jonction

PIÈGE
Oublier que le photon 1 doit d'abord traverser les deux premières couches : il faut comparer son énergie à chaque gap, dans l'ordre où la lumière rencontre les couches.

COMPRENDRE
Chaque photon est absorbé par la couche dont le gap est juste inférieur à son énergie : la perte en chaleur tombe à 0,3 eV, contre 0,9 eV dans le silicium.

5 Expliquer en quoi la constitution et l'ordre des couches de la cellule Sharp lui confèrent une meilleure performance que la cellule au silicium lorsqu'elles sont éclairées par la lumière du Soleil.

La lumière du Soleil est polychromatique : d'après le document, son énergie se répartit sur des longueurs d'onde allant d'environ 300 nm à 2000 nm, donc sur des photons d'énergies très variées.

Cellule au silicium. Un seul gap (1,1 eV) : tout photon absorbé ne fournit que 1,1 eV, même s'il en apporte deux ou trois fois plus. Pour les photons du visible, majoritaires dans le rayonnement solaire, une grande part de l'énergie est perdue en chaleur.

Cellule Sharp : constitution. Les trois gaps (1,8 eV, 1,4 eV, 1,0 eV) découpent le spectre en trois domaines, visibles sur le document : chaque couche convertit les photons dont l'énergie est proche de son gap, ce qui réduit l'énergie gaspillée par photon.

Cellule Sharp : ordre. Les gaps décroissent du haut vers le bas. La couche supérieure retient les photons de plus de 1,8 eV et laisse passer les autres ; la couche intermédiaire absorbe ceux compris entre 1,4 eV et 1,8 eV ; la couche inférieure, ceux compris entre 1,0 eV et 1,4 eV. Dans l'ordre inverse, la couche de gap 1,0 eV absorberait tout dès l'entrée et la cellule ne ferait pas mieux qu'une cellule à un seul gap.

Chaque photon est converti par la couche dont le gap est le plus proche de son énergie : moins de pertes thermiques, donc un rendement plus élevé (37 % contre 17 %, Q1).

PIÈGE
Affirmer que la cellule Sharp absorbe plus de photons. Son seuil (1,0 eV) est voisin de celui du silicium (1,1 eV) : le gain vient surtout de l'énergie mieux récupérée par photon absorbé.

MÉTHODE
Question de synthèse : s'appuyer sur chaque document (spectre solaire, gaps, schéma des couches), traiter séparément « constitution » et « ordre », puis conclure en reliant au rendement calculé.