mble

Application des

SEMICONDUCTEURS

LES CELLULES SOLAIRES

APPLICATION DES

SEMICONDUCTEURS

LES CELLULES SOLAIRES

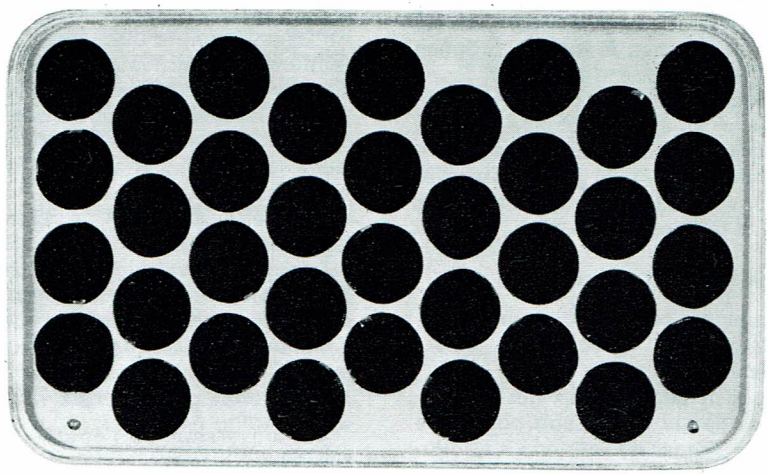
ET LEURS APPLICATIONS

mble

ÉDITÉ PAR LE DÉPARTEMENT DOCUMENTATION
DE LA DIVISION COMMERCIALE ÉLECTRONIQUE

MANUFACTURE BELGE DE LAMPES ET DE MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE, S.A.
80, rue des Deux-Gares - BRUXELLES
TÉLÉPHONE : 21-82-00 (40 Lignes)

LES CELLULES SOLAIRES
ET LEURS APPLICATIONS



Les photopiles ou cellules solaires sont des diodes au silicium, à jonction diffusée, de grande surface, dont on utilise l'effet photovoltaïque pour la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

L'effet photovoltaïque, exploité dans divers dispositifs dont le plus connu est la cellule à couche d'arrêt au sélénium, se manifeste aussi lorsque la jonction d'une diode au silicium est exposée à la lumière. Une partie des photons qui pénètrent dans la diode y libèrent des électrons, donnant naissance à autant de paires " électrons-trous " qui formeront le courant photovoltaïque, pour autant qu'elles ne se recombinent pas avant d'atteindre la jonction.

Constitution des cellules solaires

Les cellules solaires ou photopiles sont constituées par une lame de silicium monocristallin dopé, généralement de type P, dont l'une des faces porte une mince couche de silicium de conductivité opposée, soit N quand le substrat est de la conductivité du type P. Ces deux couches P et N forment une jonction qui doit se trouver aussi près que possible de la surface afin d'obtenir un bon rendement énergétique. La couche de type N, sur le substrat P, est donc de très faible épaisseur et c'est elle qui sera exposée à la lumière.

La cellule est complétée par la prise de contacts ohmiques, c'est-à-dire non redresseurs, sur les couches P et N ; ces contacts sont à très faible résistivité, afin de limiter la chute de tension lorsque la cellule débite.

Les cellules solaires sont présentées sous deux formes courantes : rectangulaires ou rondes. Les formes rectangulaires sont en principe destinées aux satellites et aux applications spéciales où la surface est réduite ; placées bord à bord, elles ne laissent pas d'espace libre et permettent de tirer le maximum d'énergie par unité de surface. Les cellules rondes proviennent directement du tronçonnage de barreaux cylindriques de silicium ; toute la surface de la plaquette est utilisée, il n'y a pas de chute ni d'opération supplémentaire de découpage comme c'est le cas pour les cellules rectangulaires. Les cellules rondes sont donc plus économiques et c'est pourquoi elles sont préférées dans les applications générales.

Les photopiles du type BPY 15 sont des cellules solaires de forme circulaire de 19 mm de diamètre et de 0,25 mm d'épaisseur, environ.

Elles sont formées d'une plaquette de silicium monocristallin dopé au bore, donc de type P à faible résistivité (de l'ordre de 0,1 Ω cm). Après les opérations habituelles de polissage, surfaçage, décapage, on procède à une diffusion gazeuse de phosphore pour créer une couche de type N et réaliser une diode de grande surface, à jonction PN.

La diffusion étant faite sur toute la plaquette, il faut décaper une partie de la face inférieure pour laisser apparaître le matériau de type P sur lequel sera pris un contact ohmique qui formera la connexion positive au centre de la cellule.

La connexion négative de la cellule est formée par un contact annulaire entourant le contact P et pris

à la périphérie de la plaquette, sur la partie de la couche N non décapée (voir la fig. 1).

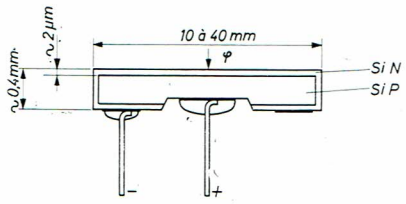


Fig. 1.

Les connexions positives et négatives des cellules BPY 15 sont, en fait, des bornes à souder, formées d'un alliage à basse température de fusion.

Pour réunir les cellules entre elles ou à la charge, il est conseillé d'utiliser un fil de câblage souple, étamé, un alliage d'apport d'étain plomb 60/40 et un fer à souder de faible puissance (≤ 30 watts). Chauffer ensuite l'ensemble borne-fil-soudure rapidement. La température ne doit pas dépasser 220° C.

Fonctionnement des cellules solaires

Lorsqu'une cellule solaire est éclairée, une partie des photons qui la frappent est réfléchie sur la surface, l'autre partie pénètre dans le cristal.

Parmi les photons qui pénètrent, ceux qui ont une énergie supérieure à l'énergie nécessaire pour faire franchir aux électrons la largeur de la bande interdite, libèrent chacun une paire " électron-trou ".

Les porteurs de charges libérés se propagent dans le cristal par diffusion ou sous l'influence d'un champ électrique. Les électrons et trous peuvent se recombiner durant leur parcours dans le cristal, mais si un porteur minoritaire (électron dans la zone P, trou dans la zone N) atteint la limite de la couche de charge d'espace, il est attiré par le champ électrique de cette couche et pénètre dans la région où les porteurs du même signe sont majoritaires.

D'autre part, le champ de la couche de charge d'espace retient les porteurs majoritaires dans la région où ils ont été libérés.

Ainsi, quelle que soit la région où le photon est absorbé et les porteurs de charges libérés, l'effet photoélectrique donne naissance à un courant électrique circulant de la région N vers la région P (voir la fig. 2).

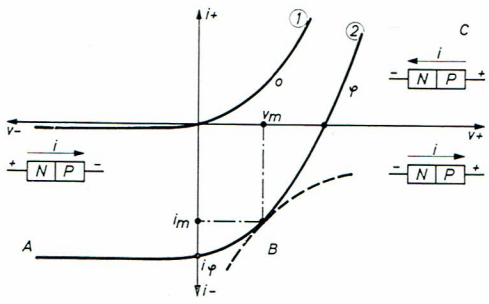


Fig. 2.

Si la totalité des porteurs de charges minoritaires libérés par l'absorption des photons atteignait la couche de charge d'espace, le courant photoélectrique I serait une fonction du nombre q de photons absorbés suivant la relation :

$$I = q\varphi$$

si l'on ne tient pas compte des conventions de signe.

Comme il a déjà été dit, il existe une probabilité qu'un certain nombre des porteurs se recombinent avant d'atteindre la jonction. Cette probabilité π dépend de la nature du matériau (ici du silicium) et de la distance entre le lieu de libération et la jonction. Pour un matériau donné, la probabilité pour un porteur de participer au courant photovoltaïque décroît rapidement avec la distance. Le courant photovoltaïque mesurable est réduit à la valeur :

$$I = q\varphi\pi$$

en tenant compte du facteur de probabilité π de collection des charges par la jonction.

En résumé, lorsqu'une cellule solaire est exposée à la lumière, des charges électriques de signes opposés s'accumulent, de part et d'autre de la jonction, dans les régions N et P. La différence de potentiel entre les deux zones est de l'ordre de 0,5 V, à vide, c'est-à-dire mesurée en circuit ouvert, quand la cellule ne débite pas.

Lorsqu'une charge est connectée aux bornes de la cellule, le courant photovoltaïque s'écoule à travers la charge ; il circule de la borne P à la borne N à l'extérieur.

Conversion de l'énergie lumineuse

La conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique s'effectue en trois phases :

1 - Création de porteurs de charges au moment de l'absorption des photons.
2 - Diffusion des porteurs minoritaires libérés jusqu'à la jonction.
3 - Transfert à la charge placée aux bornes de la cellule de l'énergie des porteurs collectés par la jonction.

Représentation schématique de la conversion d'énergie dans une cellule solaire

La figure 3 représente schématiquement une jonction NP de cellule solaire dont les bornes P et N sont en court-circuit.

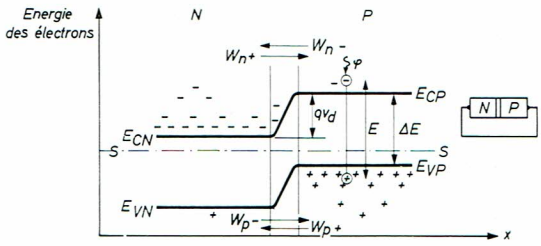


Fig. 3.

L'axe x indique la distance par rapport à la jonction, l'axe E représente l'énergie des électrons. ΔE est l'énergie nécessaire pour faire franchir à un électron la bande interdite du silicium, c'est-à-dire pour le faire passer de la bande de valence à la bande de conduction. E est l'énergie du photon incident considéré. E_{VP} indique le niveau d'énergie de la bande de valence et E_{CP} le niveau d'énergie de la bande de conduction pour la zone P. Il en est de même avec E_{CN} et E_{VN} pour la région N.

En l'absence de lumière les sommes des flux d'électrons et de trous qui passent d'une région à l'autre sont nulles :

$$W_n = W_n^+ + W_n^-$$
$$W_p = W_p^+ + W_p^-$$

Le courant total, dans le conducteur qui relie les bornes P et N, est donc nul.

Si un photon φ, dont l'énergie E est supérieure à Δ E, vient à pénétrer dans le cristal, il y libérera une paire " électron-trou " et les porteurs de charges, électrons et trous, vont diffuser dans le cristal. Si le porteur minoritaire, qui est un électron dans le cas de la figure 3, atteint la limite de la zone désertée, il sera happé par le champ électrique et il gagnera la région N, où les électrons sont majoritaires. Le trou libéré restera dans la région P, retenu par le champ. Des charges électriques s'accumuleront ainsi de chaque côté de la jonction. Un courant photovoltaïque circulera, par conséquent, dans le conducteur extérieur.

Rendement énergétique des cellules solaires

Le rendement énergétique des cellules solaires est le rapport entre l'énergie lumineuse reçue par la cellule et l'énergie électrique fournie.

Tous les photons qui atteignent la photopile ne participent pas au courant photoélectrique ; une partie est réfléchie par la surface polie de la cellule. Par ailleurs, tous les photons dont l'énergie est inférieure à ΔE (voir la fig. 3) sont sans utilité. Seuls les photons dont l'énergie est égale ou supérieure à ΔE peuvent libérer des électrons et ont une chance de participer à la formation du courant photovoltaïque : encore faut-il que les porteurs minoritaires libérés par les photons atteignent la jonction et, donc, ne se recombinent pas en route.

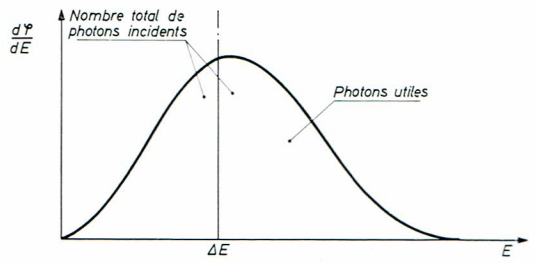


Fig. 4.

La figure 4 montre la répartition des photons d'un spectre lumineux continu, en fonction de leur énergie. Elle indique la proportion de photons utiles (ceux qui sont à droite de ΔE)

$d\varphi$ est le nombre des photons (flux)
dE la largeur de bande
E l'énergie des photons

Nous voyons que pour un semiconducteur donné et pour un type de cellule, le rendement énergétique de la lumière est fonction de la répartition spectrale des photons ; il dépend de la longueur d'onde de la lumière incidente.

Rendement de collection des charges minoritaires

Étant donné la composition de la lumière et la nature du matériau utilisé, le rendement énergétique d'une cellule dépend avant tout de la proportion des porteurs de charges qui atteindront la jonction après leur libération par les photons. Pour une cellule déterminée, le rendement dépend donc principalement de la probabilité (π) de collection des porteurs minoritaires.

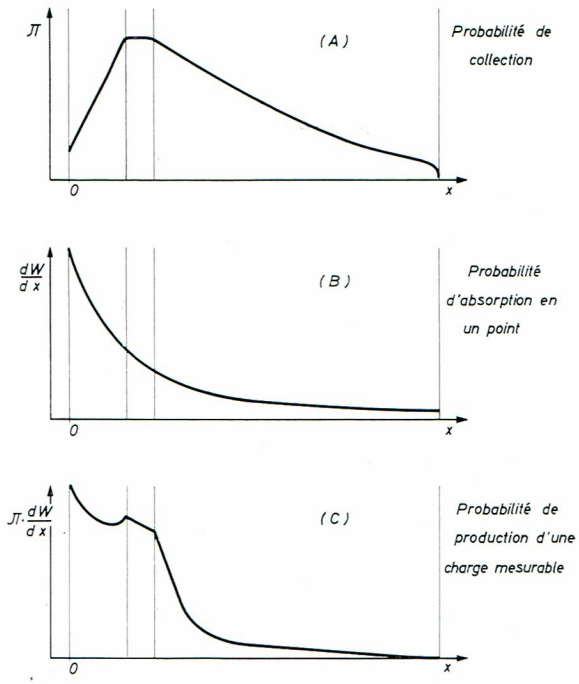


Fig. 5.

La figure 5 (A) représente graphiquement la variation de cette probabilité π en fonction de la distance x à laquelle les porteurs sont libérés par rapport à la jonction.

La probabilité pour qu'une charge minoritaire ne se recombine pas et puisse atteindre la jonction dépend de la distance, de la présence d'un champ électrique, de la longueur de diffusion, de la durée de vie dans le matériau considéré et de la vitesse de recombinaison des charges libres avoisinantes.

Si l'on considère une lumière monochromatique définie par sa longueur d'onde λ, par l'énergie de ses photons E ou par le coefficient d'absorption du matériau α, la probabilité dW pour qu'un photon soit absorbé dans une couche de largeur dx en libérant une paire " électron-trou " est une fonction exponentielle de x.

La figure 5 (B) représente graphiquement la variation de dW/dx en fonction de x, c'est-à-dire la probabilité pour qu'un photon soit absorbé à une distance déterminée x de la jonction.

Efficacité de collection

L'efficacité de collection K est la probabilité totale pour un photon de participer au courant photovoltaïque, quel que soit le lieu d'absorption dans le cristal ; l'efficacité K varie avec la longueur d'onde de la lumière incidente.

La figure 5 (C) indique les variations de la probabilité de création d'une charge mesurable, pour un photon absorbé entre x et x + dx. Cette probabilité de génération est le produit de la probabilité d'absorption et de la probabilité de collection π.

L'aire de la courbe (fig. 5 C) représentant les variations de π. dW/dx en fonction de x est l'image de l'efficacité de collection K. Elle est égale à la probabilité totale pour qu'un photon absorbé en un point quelconque puisse participer au courant photovoltaïque.

Cependant, le rendement énergétique des cellules solaires est encore affecté par le fait que l'énergie des photons utiles n'est pas entièrement transformée en électricité. En effet, les photons dont l'énergie E est supérieure à ΔE cèdent leur énergie aux électrons au moment de l'absorption, mais ceux-ci abandonnent rapidement l'énergie excédentaire $E - \Delta E$ et conservent seulement l'énergie propre à une paire " électron-trou ", soit ΔE. La puissance réellement utilisée est donc sensiblement inférieure à celle qui correspondrait à l'énergie lumineuse reçue, dans le cas d'un spectre continu.

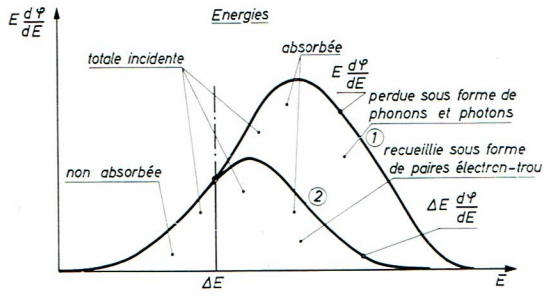


Fig. 6.

La figure 6 montre, en " 1 ", la courbe représentant l'énergie lumineuse transportée par le flux frappant la cellule et en " 2 ", l'énergie réellement utilisée ; la partie de la courbe à gauche de ΔE en abscisses représente la puissance des photons non absorbés, leur énergie étant trop faible pour libérer des électrons.

De ce qui vient d'être dit au paragraphe *" Rendement énergétique "* et de l'examen des figures 5 A, B et C, on peut conclure que le rendement d'une cellule solaire augmente lorsque la jonction se rapproche de la surface, par suite de l'augmentation corrélative de l'efficacité de collection K.

Cette hypothèse se trouve d'ailleurs vérifiée expérimentalement.

Le rendement global d'une cellule dépend encore d'autres facteurs tels que le courant " d'obscurité " ou courant de fuite qui doit être aussi réduit que possible et des résistances " parasites " : résistance interne de la cellule, résistance des contacts, etc.

En définitive, le rendement énergétique des cellules solaires varie de 8 à 14 % environ, pour les meilleurs types.

Caractéristiques électriques des cellules solaires.

Les photopiles ou cellules solaires sont des diodes d'une structure particulière mais, du point de vue électrique, elles peuvent être comparées à des diodes au silicium courantes. La figure 7 montre les courbes caractéristiques en polarisation directe et inverse d'une cellule solaire. La courbe " 1 " est la courbe relevée dans l'obscurité ; elle est tout à fait semblable à celle d'une diode ordinaire. La courbe " 2 ", relevée pour un niveau d'éclairement donné, résulte d'une translation de la courbe " 1 " ; c'est l'allure classique de la courbe d'une photodiode éclairée.

Dans le quadrant C, nous voyons la diode en polarisation directe dans l'obscurité (courbe " 1 ") et éclairée (courbe " 2 ") ; dans ce dernier cas, la

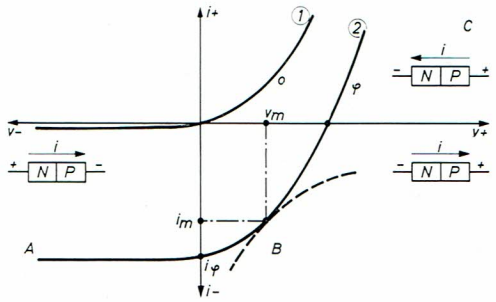


Fig. 7.

caractéristique ne part pas de zéro puisqu'il existe aux bornes de la cellule une tension due à l'effet photoélectrique. Ainsi, le coude de la caractéristique classique des diodes se trouve supprimé.

Dans le quadrant A, la courbe " 1 " montre le courant de fuite d'obscurité en fonction de la tension inverse ; la courbe " 2 " montre la variation de ce courant avec l'éclairement; la cellule travaille en photodiode.

Dans le quadrant B, la diode fonctionne en générateur d'énergie. C'est la région d'utilisation normale des cellules solaires. La puissance électrique $I \times V$ fournie par la photopile passe par un maximum pour une certaine valeur de I et V, soient I_m et V_m, pour une valeur déterminée de φ (flux lumineux), ou encore pour une valeur optimale de la résistance de charge : $R_m = V_m/I_m$.

Pratiquement, les cellules solaires peuvent assez difficilement travailler en dehors de la région B, en raison de leur structure. En particulier, la tension inverse qu'elles peuvent supporter est faible, ce qui, non seulement ne permet pas de les utiliser en photodiode, mais oblige à prévoir généralement une diode de protection en série pour éviter de les endommager par une tension inverse trop élevée.

Caractéristiques d'utilisation des cellules solaires

Du point de vue pratique, une cellule solaire est caractérisée par les six spécifications indiquées :

1° Le courant de court-circuit I_{cc} est le courant que peut débiter une cellule en court-circuit, pour un niveau d'éclairement déterminé.

2° La tension à vide V_{CO}, différence de potentiel mesurée aux bornes de la cellule en l'absence de débit, à un niveau d'éclairement fixé, pour une température déterminée.

3° Le courant optimal I_m, est le courant débité par la cellule au point de fonctionnement optimal, dans une résistance de charge de valeur R_m, optimale, de manière à fournir la puissance électrique maximale.

4° La tension optimale V_m, est la tension au point de fonctionnement optimal, mesurée aux bornes de la résistance de charge dont la valeur optimale, R_m, permettra d'obtenir la puissance électrique maximale (voir la fig. 7).

5° Le rendement ρ, variant de 5 à 14 % environ, est le rapport entre l'énergie lumineuse reçue et l'énergie électrique fournie.

6° La température limite de fonctionnement : 100° C, environ.

La figure 8 montre le réseau de caractéristiques

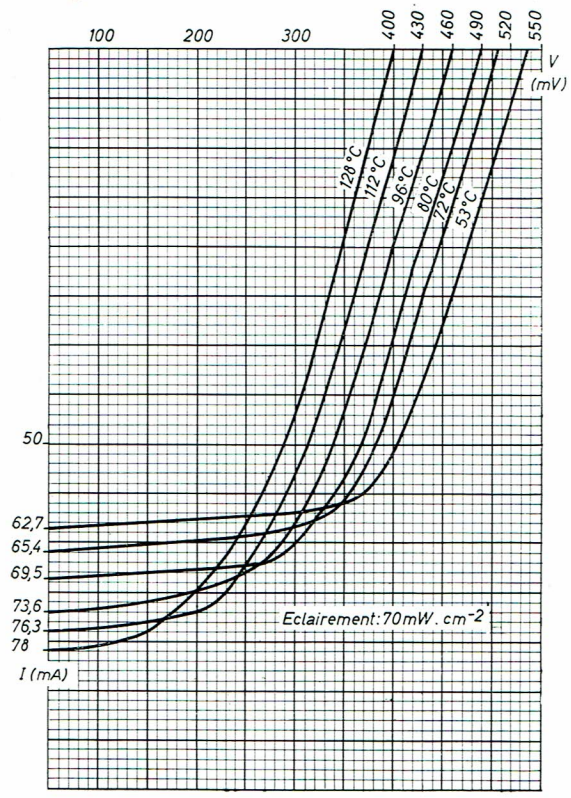


Fig. 8.

courant-tension d'une cellule solaire en fonction de la température, pour un niveau d'éclairement donné. Ici, c'est l'énergie du flux lumineux qui est donnée. Elle est de 70 mW par cm².

L'examen de ces caractéristiques permet de déterminer le point de fonctionnement optimal et les valeurs optimales de V, I et R. Ici, R_m est de l'ordre de 6 Ω.

Les caractéristiques électriques des cellules solaires varient naturellement avec le niveau d'éclairement. Comme la lumière solaire au niveau de la mer est assez instable à cause des variations des propriétés de l'atmosphère et de la nébulosité, les mesures sur cellules solaires sont faites en laboratoire à l'aide d'une réplique solaire. Il s'agit d'une lampe de tungstène, de puissance convenable, dont la température de filament est de 2 850° K, munie d'un filtre permettant d'obtenir une répartition spectrale comparable à celle du soleil au niveau de la mer (5 750° K).

L'énergie lumineuse reçue dans le plan de mesure peut être de 1 kW/m², soit 1,09 × 10^5 lux. On fait varier l'éclairement en éloignant la cellule de la source.

Les mesures se font à la température ambiante de 25° C pour noter les valeurs caractéristiques publiées.

Les courbes des figures 9 et 10 montrent les variations du courant et de la tension d'une cellule solaire en fonction de l'éclairement. On peut constater, sur la figure 9, que la tension est peu dépendante de l'éclairement ; en fait, V_{CO} ne varie que de 525 mV à 535 mV lorsque la lumière varie de 0,3 à 1 kW/m², mais V_m ne varie pratiquement pas dans le même rapport d'éclairement.

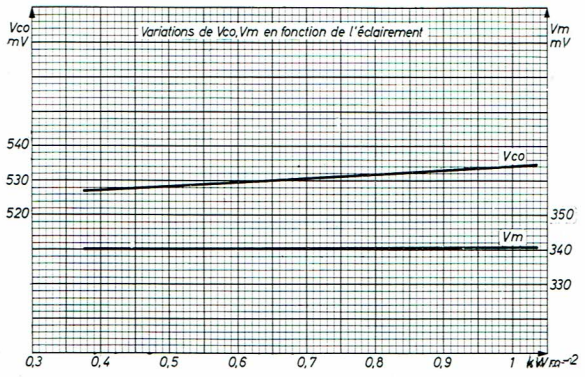


Fig. 9.

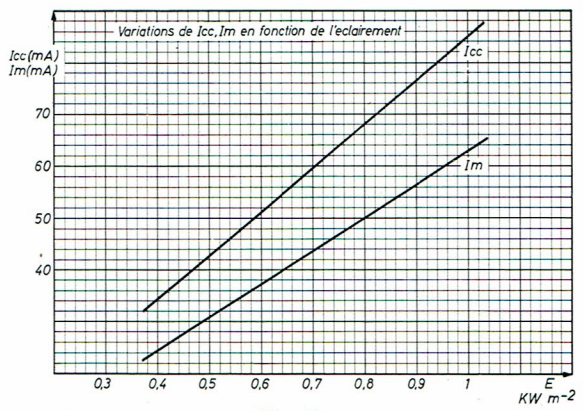


Fig. 10.

Influence de l'orientation des cellules par rapport au rayonnement

Les caractéristiques dépendant du niveau d'éclairement, la cellule recevra le flux maximal lorsqu'elle sera orientée perpendiculairement à la direction des rayons lumineux. Si les rayons lumineux font un angle φ avec la normale ON au plan des cellules dont la surface réelle est S, la surface active se trouvera réduite à :

$$S_a = S. \cos \varphi$$

Variation des caractéristiques en fonction de la température

La figure 8 montrait l'évolution de la caractéristique (I, V) avec la température, pour une énergie lumineuse reçue par la cellule de 70 mW par cm². On peut constater que la tension V diminue quand la température augmente, alors que le courant I augmente, mais la puissance électrique débitée diminue parce que V décroît plus rapidement que I n'augmente. La variation est de l'ordre de — 2 mV par °C.

L'échauffement de la cellule est causé, en partie, par l'élévation de la température ambiante, mais surtout par le rayonnement solaire. Pour maintenir un bon rendement énergétique, il y a intérêt à évacuer

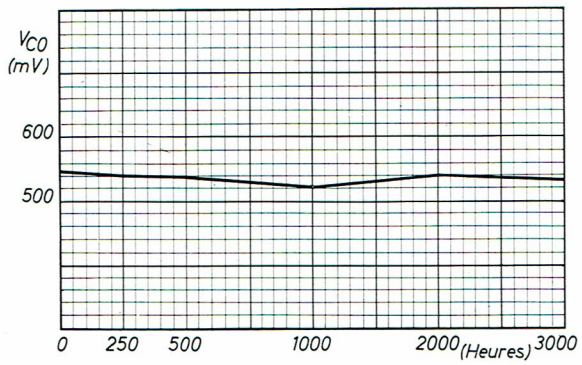
les calories, à refroidir la cellule. Il est possible de fixer les cellules sur des radiateurs munis d'ailettes qui les maintiendront à une température voisine de celle de l'air de refroidissement.

On peut encore inclure les photopiles dans une résine transparente : araldite, polyester, etc., polymérisant à basse température, sans exercer de contraintes mécaniques. La résine servira en même temps de protection mécanique, de support et de radiateur.

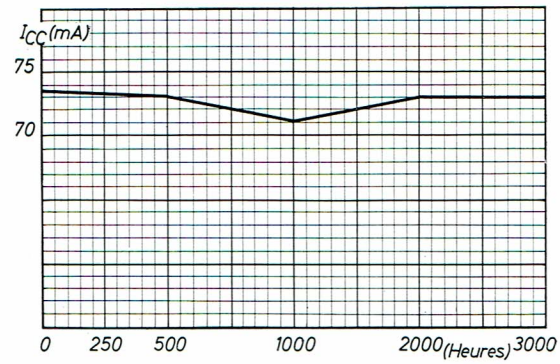
Évolution des caractéristiques dans le temps

La figure 11 comporte trois séries de courbes montrant la variation des caractéristiques I_{CC}, V_{CO} et I_m. V_m relevées dans une durée de 3000 heures :
1 - en stockage à l'extérieur
2 - en essai de dissipation.

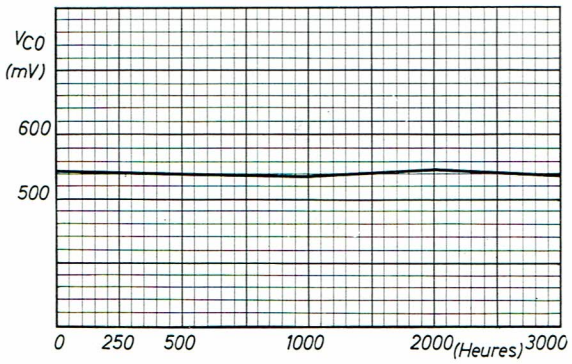
On peut conclure de l'examen de ces courbes que les caractéristiques paraissent stables dans le temps. On ne peut mettre en évidence un effet de vieillissement sensible.



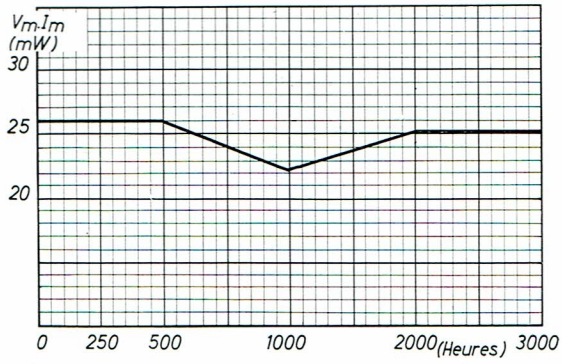
a



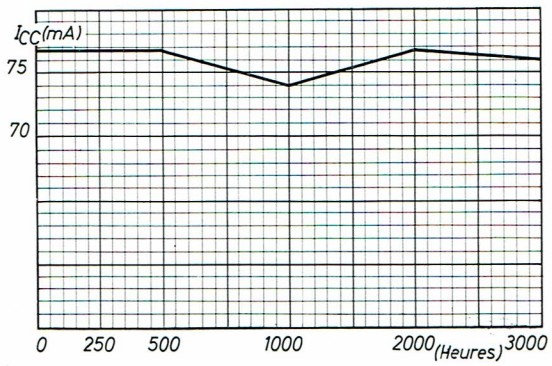
d



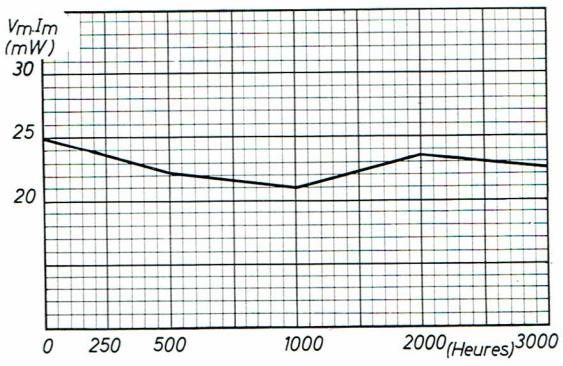
b



e



c



f

Fig. 11.

Répartition spectrale de la lumière solaire

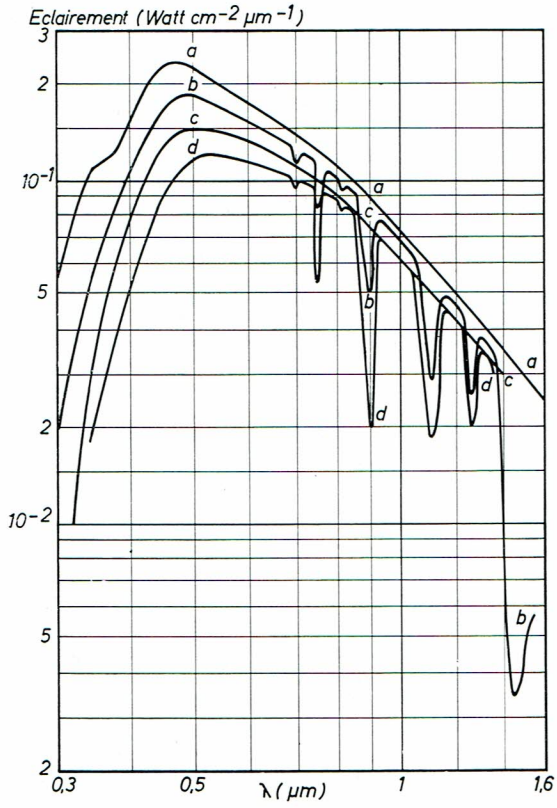


Fig. 12.

Répartition de l'énergie (voir la fig. 12).

La figure donne les répartitions spectrales publiées par divers auteurs :

Courbe a : hors de l'atmosphère, d'après Vassy

Courbe b : après traversée de l'atmosphère (rayonnement par diffusion et absorption) (ozone et 1 cm d'eau condensable), d'après Vassy

Courbe c : mêmes conditions qu'en b, d'après Villena

Courbe d : après traversée de l'atmosphère, avec un angle zénital de 60°, d'après Moon

Courbe e : rayonnement du corps noir, à 5760° K, provoquant un éclairement total de 1 kW/m².

On remarquera que la courbe c ne fait pas apparaître les bandes d'absorption de la vapeur d'eau, normalement présentes dans l'infrarouge (courbes b et d).

UTILISATION DES CELLULES SOLAIRES

Comme les piles et autres sources d'énergie, les photopiles peuvent être utilisées en série, en parallèle ou en association série-parallèle. La figure 13 illustre le groupement en série et en parallèle de cellules solaires BPY 15.

La borne positive (+) est au centre de la cellule, la borne négative (—) est de forme annulaire et concentrique à la borne positive.

Pour réaliser une batterie en série, il suffit de connecter la borne + d'une cellule à la borne — de la suivante à l'aide d'un fil isolé, soudé sur ces deux bornes.

Pour la mise en parallèle, relier entre elles les bornes positives et entre elles les bornes négatives.

Théoriquement, il serait plus avantageux de réunir en parallèle toutes les cellules nécessaires pour fournir la puissance désirée. En effet, en cas de coupure de connexion d'une cellule, la perte de puissance dans la charge serait alors limitée à 1/n, si n est le nombre total de cellules en parallèle. De plus, dans le montage en série, toutes les résistances du circuit s'additionnent, ce qui réduit le rendement.

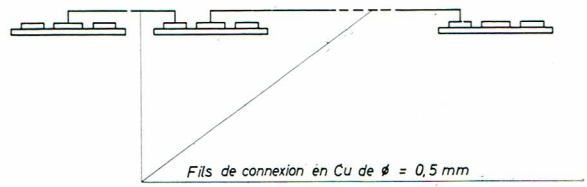
En fait, pour des raisons pratiques, étant donné la faible tension délivrée par la cellule, on est généralement conduit à utiliser des associations série-parallèle : on met en série autant de cellules qu'il est nécessaire pour obtenir la tension désirée et les rangées disposées en série seront connectées en parallèle, jusqu'à obtenir le courant demandé.

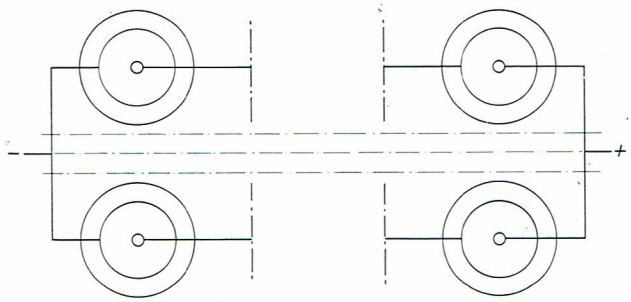
Les cellules solaires servent généralement à maintenir la charge des accumulateurs en tampon et c'est là une des applications les plus intéressantes.

Connaissant :

a) le courant de maintien de la batterie,

b) la consommation moyenne, sur une longue période de temps, de la charge alimentée par cette batterie, il est possible de connaître le nombre de cellules à prévoir pour assurer la charge de la batterie, si l'on connaît la valeur moyenne de l'ensoleillement au





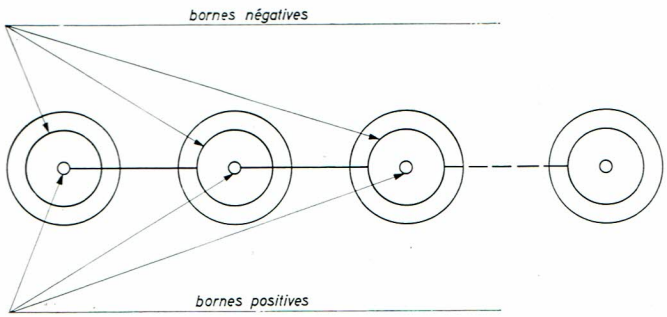


Fig. 13.

point considéré. Il existe des cartes qui fournissent des réseaux de courbes d'ensoleillement moyen pour la France et pour d'autres pays. Les services de la Météorologie Nationale peuvent fournir des renseignements sur l'ensoleillement moyen en France, région par région.

Méthode de calcul d'une batterie solaire

On connaît l'éclairement E au point considéré et la puissance instantanée P désirée. Elle s'obtient en divisant la puissance moyenne à fournir par le nombre d'heures d'ensoleillement pour la période considérée :

$$P = U \times I$$
$$I = f\ (V, \varphi)$$

Voir les courbes caractéristiques des cellules.

Le point intéressant de cette caractéristique est celui pour lequel I × U passe par un maximum pour un éclairement donné E, soit p = u i.

Le nombre de cellules nécessaires pour réaliser la batterie solaire de puissance P dans les conditions définies ci-dessus sera :

$$n = P/p$$

Mode d'assemblage

On peut poser :

$$U = u\ x$$
$$I = i\ y$$
$$n = x\ y$$

x étant le nombre de cellules à assembler en série et y le nombre de cellules mises en parallèle.

Exemple de calcul

E = 800 W/m² - valeur mesurée à Caen le 6-8-63, à 11 heures

P = 0,5 watt

Caractéristiques d'une cellule à :

E = 800 W/m² : i = 48 mA, u = 350 mV } p = 16,8 mW

n = 500/16,8 ≈ 30

x . y = 30 si x = 5 y = 6
x = 10 y = 3 et vice versa

Dans ces conditions, les valeurs de V et I seront :

V = 5 . 0,350 = 1,75 V	I = 6 . 48 = 288 mA
V = 10 . 0,350 = 3,5 V	I = 3 . 48 = 144 mA
V = 3 . 0,350 = 1,05 V	I = 10 . 48 = 480 mA
V = 6 . 0,350 = 2,10 V	I = 5 . 48 = 240 mA

Pour obtenir 0,5 W, on peut choisir entre quatre modes d'assemblages qui fournissent :

1° — U = 1,75 V	I = 288 mA
2° — U = 3,5 V	I = 144 mA
3° — U = 1,05 V	I = 480 mA
4° — U = 2,10 V	I = 240 mA

Les surfaces exposées à la lumière devront être dans un même plan ou dans des plans parallèles.

Dans l'exemple ci-dessus, seule la puissance était fixée, ce qui laisse une entière liberté pour le mode d'assemblage. Bien souvent, le choix est plus restreint parce que la tension est imposée également, ce qui fixe le nombre d'éléments à mettre en série ; le nombre de rangées à connecter en parallèle dépend alors de la puissance requise et des conditions d'ensoleillement locales.

Même lorsque l'on a besoin d'une tension élevée, on peut éviter de mettre un trop grand nombre de cellules en série, en utilisant des convertisseurs de tension qui peuvent employer éventuellement des transistors.

Il est même possible de connecter les cellules uniquement en parallèle et d'utiliser un convertisseur utilisant une diode tunnel, qui fonctionne, comme l'on sait, sous une très basse tension.

Application des cellules solaires

Les cellules solaires trouvent leur application la plus intéressante dans l'alimentation d'appareils électriques de petites puissances situés à distance des lignes électriques.

Étant donné le prix d'installation du kilomètre de ligne électrique, il suffit d'une assez faible distance pour qu'une batterie solaire soit rentable pour la fourniture de faibles puissances électriques.

D'une manière générale, les appareils alimentés sur batteries ou sur piles peuvent avantageusement être alimentés par batterie solaire, spécialement quand l'échange des piles ou la recharge des batteries risque de poser un problème par suite de l'éloignement, du danger ou du mauvais temps. C'est le cas des émetteurs de secours en montagne, des relais, répéteurs et réémetteurs placés sur des points hauts ou dans des endroits écartés, des balises en mer, etc.

Les batteries solaires semblent aussi bien indiquées pour l'alimentation des systèmes à fonctionnement intermittent ou veillant en permanence avec une faible consommation tels que : systèmes d'alarme, antivols, indicateurs de niveau d'eau, de trop plein, de crue, d'incendie, etc. Dans ce cas, une batterie solaire réduite a tout juste à compenser les faibles pertes de la batterie qui ne débite réellement qu'au moment de l'alerte.

En ce qui concerne les émetteurs de secours en montagne, les balises en mer et les réémetteurs, il semble que les cellules solaires chargeant des batteries en tampon apportent une solution à un problème difficile. En effet, ces dispositifs doivent être à même de fonctionner à tout moment et un arrêt de fonctionnement peut avoir de graves conséquences. Or, d'une part, l'échange des piles ou la recharge des batteries est une opération longue et coûteuse qui nécessite le déplacement d'une équipe, d'une vedette en mer et quelquefois d'un hélicoptère ; et, malgré tout, il arrive que par mauvais temps le remplacement des batteries ou des piles soit impossible. Le fonctionnement pourrait donc être compromis au moment où il deviendrait indispensable. Par ailleurs, le déplacement d'une équipe de maintenance se justifiera de moins en moins à mesure que les émetteurs seront transistorisés.

Les piles solaires peuvent également être utilisées d'une façon profitable dans le domaine du matériel pour le grand public, chaque fois que l'on devra s'éloigner d'une ligne électrique et qu'un fonctionnement intermittent permettra de n'utiliser qu'une batterie solaire réduite, donc pas trop onéreuse.

Nous citerons pour exemple : le maintien de la charge d'une lampe portative de secours pour automobi-

listes : les lampes électriques à piles servant en fait assez rarement et les piles ne sont pas toujours en état de servir au moment où l'on en a besoin.

— Alimentation de postes radio-récepteurs à transistors. Dans ce cas, la cellule solaire peut soit recharger un accumulateur, soit dépolariser les piles, ce qui prolonge considérablement la durée d'utilisation dans le cas des piles étanches.

— Commande automatique de l'éclairage à la tombée de la nuit. Allumage automatique des balises, etc.

— Maintien de la charge de l'accumulateur des pendules électriques, les piles solaires étant placées sur le cadran. La consommation, très faible, peut aisément être compensée par une photopile.

Si l'on charge des batteries d'accumulateurs à l'aide des cellules solaires, il y a lieu d'intercaler entre les cellules solaires et les batteries une diode semiconductrice afin d'éviter la décharge de la batterie lorsque la tension inverse est trop élevée.

Conclusion

Les photopiles ou cellules solaires sont des dispositifs de grande fiabilité, ne demandant aucun entretien. Étant donné leur grande insensibilité aux variations climatiques et aux agents atmosphériques, elles conviennent parfaitement pour l'alimentation d'appareils placés en des régions d'accès difficile, à l'écart des lignes électriques.

Dans certaines conditions économiques et pour une certaine puissance installée, elles constituent la source d'énergie la plus rentable et la plus sûre.

Bibliographie

— G. MARET et Y. SALLES, Caractéristiques des cellules solaires au silicium.

— Dans Colloque international sur les Semiconducteurs, Vol. 1 (Édit. Chiron).

— G. BEAUZEE, Comparaison entre les propriétés théoriques et expérimentales des cellules solaires au silicium.

— F. DESVIGNES, Étude physique et théorique du fonctionnement des cellules solaires photovoltaïques.

Les informations et schémas contenus dans cette documentation sont donnés sans garantie quant à leur protection éventuelle par des brevets.

Imprimé en France

Imprimerie J. Mersch - Paris - 4744