

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 460 544**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 79 16968**

(54) Procédé d'amélioration des performances des photopiles solaires, par irradiation laser et photopiles ainsi obtenues.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). H 01 L 31/18, 21/268, 31/06.

(22) Date de dépôt..... 29 juin 1979, à 15 h 53 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 4 du 23-1-1981.

(71) Déposant : LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE ET DE PHYSIQUE APPLIQUEE L.E.P., SA, résidant en France.

(72) Invention de : Emmanuel Fabre, Yvon Salles, Eric Fogarassy, Roland Stuck, Jean-Claude Muller, Dominique Salles et Paul Siffert.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Pierre Gendraud, Société civile S.P.I.D., 209, rue de l'Université, 75007 Paris.

La présente invention concerne un procédé de traitement par irradiation laser permettant d'améliorer les performances des photopiles solaires destinées à fonctionner sous concentration.

On sait que la concentration du rayonnement solaire est 5 une des méthodes susceptibles d'abaisser le prix de revient de l'électricité d'origine photovoltaïque. Toutefois, pour réaliser de tels systèmes il est nécessaire de disposer de photopiles de faible résistance interne. En effet, une simulation mathématique indique que pour des flux de photons intenses le rendement de 10 conversion décroît très rapidement lorsque la résistance série augmente. Ainsi, la figure 1 montre que pour une photopile à concentration de dimensions standard ( $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ), réalisée à partir de silicium type P, il faut que la résistance série soit inférieure à  $0,03 \Omega$  pour que le rendement de conversion ne diminue pas sous 15 concentration. Or, la résistance série dépend essentiellement de la résistance superficielle de la couche dopée formant l'électrode d'entrée du dispositif et de la qualité de la grille collectrice (épaisseur et espacement des conducteurs).

Pour diminuer la résistance superficielle de la couche 20 dopée, il faut introduire une concentration de dopants aussi élevée que possible sur une profondeur qui doit être limitée pour éviter la dégradation de la réponse spectrale due aux pertes dans la fenêtre d'entrée pour les rayonnements de courte longueur d'onde.

Les photopiles commercialisées actuellement sont généralement réalisées par diffusion de phosphore à haute température 25 dans un substrat de silicium monocristallin de type P. Par ce procédé on ne peut introduire dans le silicium, une concentration de phosphore électriquement actif supérieure à  $2 \times 10^{20} \text{ at./cm}^3$  aux températures de diffusions usuelles ( $\sim 850^\circ\text{C}$ ), le phosphore en 30 excès étant inactif parce qu'il s'associe à des lacunes doublement chargées et aussi parce qu'il précipite.

Compte tenu de cette limite et de la distribution du dopant résultant de la diffusion, pour des épaisseurs de jonction compatibles avec une bonne réponse spectrale ( $< 4000\text{\AA}$ ), il est 35 très difficile d'obtenir des résistances superficielles inférieures à  $40 \Omega/\square$  quel que soit le procédé de diffusion employé. Pour atteindre les résistances série suffisamment faibles pour permettre le fonctionnement sous concentration, on est conduit à utiliser des grilles collectrices spéciales dont les conducteurs 40 sont très rapprochés. Ainsi pour une photopile  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  réalisée

sur du silicium de résistivité  $1 \Omega \cdot \text{cm}$  il faut une grille de 20 branches pour que la valeur de la résistance série soit inférieure à  $0,03 \Omega$  et permette un bon fonctionnement sous les flux de photons intenses. Une telle grille ne peut être réalisée que par des 5 techniques de photogravure très coûteuses.

La présente invention concerne un procédé permettant de diminuer la résistance superficielle des couches dopées et d'atteindre ainsi des résistances série faibles sans utiliser de grille spéciale.

10 Ce procédé consiste à irradier des couches diffusées avant dépôt de la grille et de la couche anti-reflet par des impulsions de haute énergie (densité d'énergie  $\sim 1 \text{ J/cm}^2$ ), très brèves ( $< 50 \text{ ns}$ ) issues d'un laser par exemple à rubis ( $\lambda = 6943 \text{ Å}$ ). L'énergie de ce faisceau, absorbée sur une profondeur voisine de 15  $1000 \text{ à } 2000 \text{ Å}$ , est suffisante pour fondre superficiellement le silicium. La zone fondue recristallise ensuite en un temps très court ( $\sim 100 \text{ ns}$ ), suivant un processus analogue à une épitaxie en phase liquide. Ce traitement permet de diminuer sensiblement la résistance superficielle des couches diffusées. La figure 2 montre 20 que cette résistance peut être diminuée d'un facteur supérieur à 3 et que des valeurs de  $12 \Omega/\square$  peuvent être obtenues. Cette amélioration est liée à la réactivation des atomes de phosphore associés aux lacunes et à la dissolution des précipités formés lors de la diffusion. De ce fait, la résistance superficielle ne peut 25 être réduite sensiblement que si la couche diffusée comporte une concentration en dopant supérieur à la solubilité limite.

Cette diminution de la résistance superficielle a pour conséquence d'augmenter la tension en circuit ouvert de la photopile, qui atteint des valeurs supérieures à  $600 \text{ mV}$  sous un éclairage de  $100 \text{ mW/cm}^2$ , ainsi que d'accroître le facteur de remplissage de la photopile qui est supérieur à 0,75.

En outre, le traitement laser présente certains effets secondaires bénéfiques :

- amélioration de la qualité cristalline de la couche diffusée (élimination de dislocations, etc ...), dont il résulte 35 une augmentation de la durée de vie des porteurs et une meilleure collecte des porteurs ;

- suppression de la zone morte formée par les précipités et donc amélioration de la transmission optique.

Une évaluation du gain en rendement de conversion des photopiles à concentration, consécutive à une diminution de la résistance superficielle de 40 à 15  $\Omega$  après un tel traitement laser a été effectué par calcul pour un matériau de base 1  $\Omega$ . cm, une 5 surface de  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  et différentes grilles (20, 10 et 6 branches). Les résultats représentés sur la figure 3 montrent que l'amélioration est d'autant plus sensible que le nombre de branches est plus faible. Ceci suggère deux types d'applications du procédé décrit :

10 - réalisation de photopiles économiques pour la concentration moyenne ( $\sim 30$ ). Pour de tels flux, des rendements  $> 13\%$  peuvent être obtenus avec des grilles de moins de 10 branches, ne faisant pas appel aux techniques de photogravure. De telles photopiles peuvent être produites simplement en ajoutant l'étape 15 d'irradiation laser au processus standard de fabrication de photopiles fonctionnant sans concentration.

20 - réalisation de photopiles à concentration de très haut rendement. En combinant le procédé d'irradiation laser et l'utilisation de grilles optimisées (20 branches), on peut fabriquer 25 des photopiles de très faible résistance ( $< 0,02 \Omega$ ) capables en particulier de fonctionner à des concentrations supérieures à 50.

Remarquons que le procédé de traitement laser que nous avons décrit peut s'appliquer à des dopants autres que le phosphore et à des matériaux différents du silicium de type P (silium de type N et autres semiconducteurs).

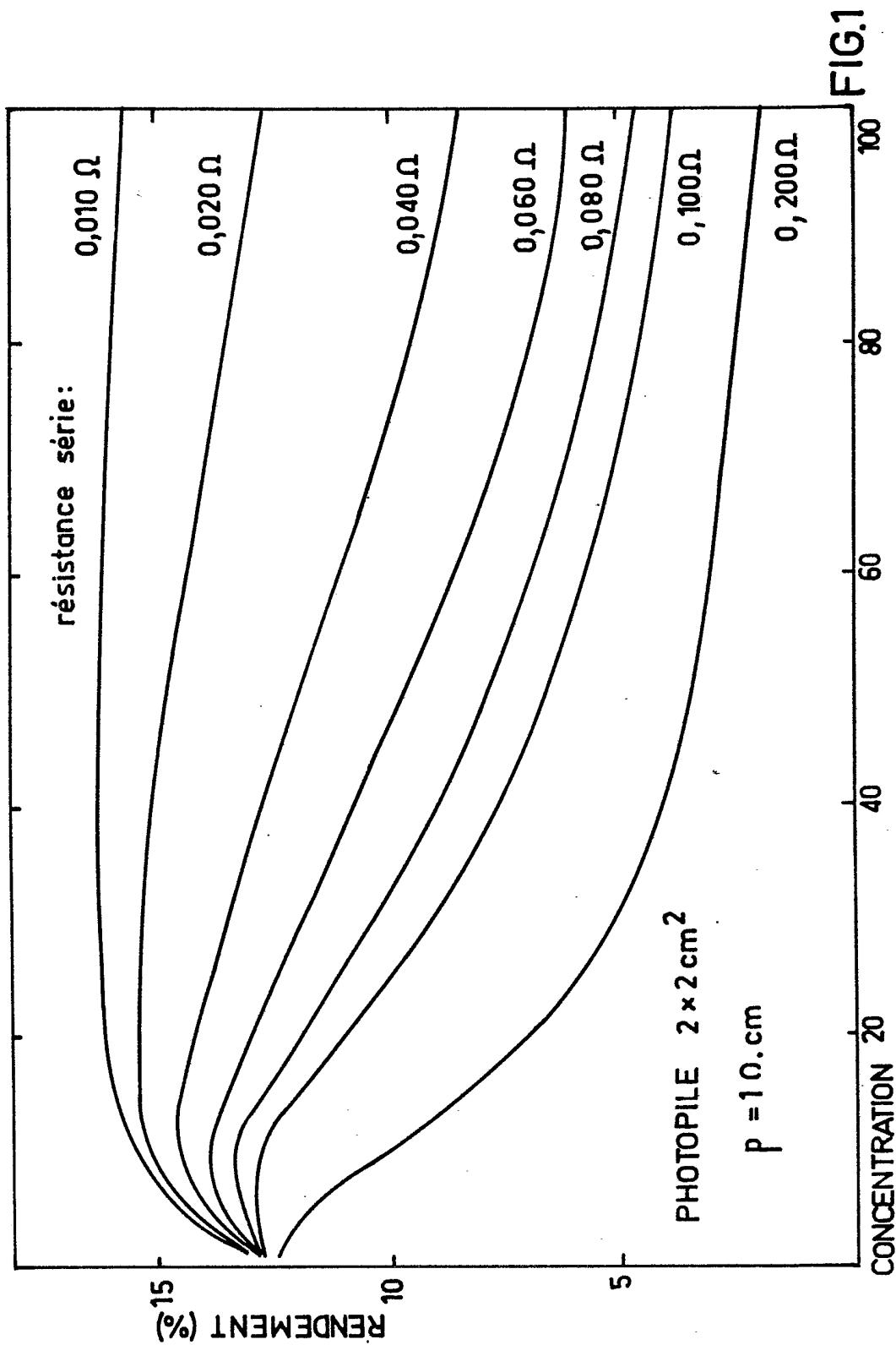
En outre, il reste valable même si le dopant est introduit par une méthode autre que la diffusion (implantation, effluvage, etc ...).

Enfin, des résultats identiques peuvent être obtenus 30 en utilisant des lasers différents, par exemple, des lasers continus du type  $\text{CO}_2$ .

REVENDICATIONS :

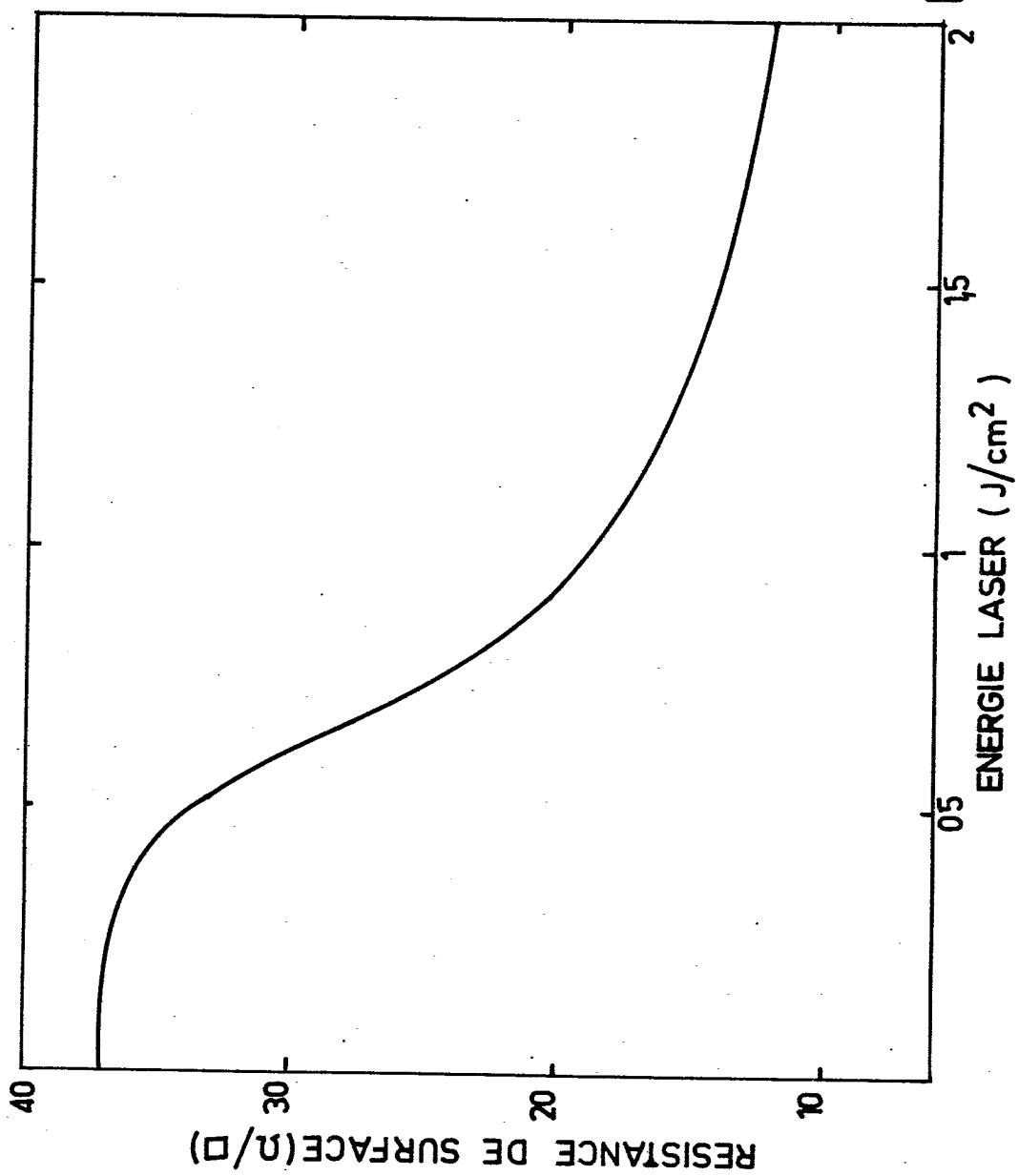
1. Procédé d'amélioration des performances de piles photovoltaïques fonctionnant sous concentration, caractérisé en ce que l'on traite les dispositifs en cours de fabrication par une 5 irradiation au moyen d'un laser.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la cellule photovoltaïque est réalisée à partir de silicium de type N ou P.
3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en 10 ce que la pile photovoltaïque est réalisée en un semiconducteur autre que le silicium.
4. Procédé suivant la revendication 2 ou 3 caractérisé en ce que l'on diminue la résistance série des piles photovoltaïques en réduisant la résistance superficielle de la couche 15 dopée.
5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que le dopant est un élément quelconque introduit par diffusion, implantation ou toute autre méthode.
6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en 20 ce que le laser est du type à impulsion.
7. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que le laser est du type continu.
8. Pile photovoltaïque, obtenue par la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 7.

1/3



2/3

FIG.2



3/3

