

# **HOMOUNIONES DE CdTe PARA CELDAS SOLARES**

por

**J. MIMILA-ARROYO,\* G. COHEN-SOLAL, A. BOUZZI**

**Laboratoire de Physique des Solides, CNRS. Meudon, Francia**

\* Investigador del I.P.N. - Esime (México). Bajo licencia

## RESUMEN

Películas delgadas de CdTe son acrecidas epitaxialmente por el proceso de transporte en fase vapor a corta distancia (CSVT).

Las películas, depositadas en sustratos de CdTe monocristalino, son generalmente policristalinas, pero con orientación impuesta por el sustrato. El tamaño de grano depende del estado de la superficie y del procedimiento de crecimiento. Las uniones se obtienen depositando capas de tipo P (impurificadas con As) sobre monocristales de CdTe, de baja resistividad, impurificados con In. Se describen y discuten algunos resultados preliminares, con intención de determinar los efectos de los parámetros básicos del material en las características de células solares.

## RESUM

Pel·lícules primes de CdTe són acrecudes epitaxialment pel procés de transport en fase vapor a curta distància (CSVT).

Les pel·lícules, dipositades sobre substrats de CdTe monocristallí, són generalment policristal·lines, però amb orientació imposada pel substrat. La mida del gra depèn de l'estat de la superfície i també del procediment d'acreixement. Les unions són obtingudes dipositant capes del tipus P (dopades amb As) damunt monocristalls de CdTe, de baixa resistivitat, dopats amb In. Hom descriu i discuteix alguns resultats preliminars amb la intenció de determinar els efectes dels paràmetres bàsics del material en les característiques de les cèl·lules solars.

## SUMMARY

The films deposited on monocrystalline Cd Te substrates are of polycrystalline nature and the orientation is determined by the substrate. The grain size will depend on the surface and the growth process conditions. The junctions are obtained by depositing layers of p-type (doped with As) on CdTe substrates of low resistivity and doped with In.

Some preliminary results are present and a discussion on the basic parameters of the material influencing the solar cell characteristics are viewed.

## INTRODUCCIÓN

El CdTe ha resultado desde los primeros estudios teóricos uno de los materiales más interesantes para la conversión fotovoltaica bajo iluminación solar. Esto debido a: Su ancho de banda prohibida ( $E_g=1.45$  eV) que corresponde al que deberá dar las homouniones más eficientes, 24 %.<sup>1</sup> Su elevado coeficiente de absorción óptica, que permite realizar estructuras fotovoltaicas extremadamente delgadas, con un espesor activo del orden de  $5 \mu\text{m}$ .<sup>2</sup> Buenas propiedades de transporte eléctrico ( $\mu_n=800 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{seg}$   $\mu_p=80 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{seg}$ ).<sup>3</sup> Posibilidad de elaborarlo de tipo N y de tipo P mediante la adición de impurezas ajenas a la matriz, In y As por ejemplo. Dentro del campo de fotopilas a efectos especiales, existen varios materiales semiconductores, con los cuales se puede alejar, para realizar estructuras de ancho de banda prohibida variable<sup>4,5</sup> y crear un cuasi-campo eléctrico entre la superficie iluminada y la unión P-N, cuya acción es reducir el efecto de la velocidad de recombinación superficial y de volumen y aproximar el rendimiento al de una estructura ideal, que resulta además poco sensible a malas condiciones de transporte, por ejemplo: tiempo de vida de minoritarios del orden de  $10^{-9}$  seg y velocidades de recombinación superficial elevadas,  $10^6 \text{ cm}/\text{seg}$ .<sup>6</sup> Finalmente, citemos el hecho de que puede obtenerse en películas delgadas conservando buenas propiedades eléctricas.<sup>7,8</sup>

Sin embargo, la investigación del efecto fotovoltaico en CdTe ha sido escasa; los trabajos más interesantes fueron los de D. A. CUSANO<sup>9</sup> quien realizó heterouniones  $\text{Cu}_x\text{Te}-\text{CdTe}$  con un rendimiento de 6 %.

1. J. WYSOCKI and P. RAPPAPORT, *J. Appl. Phys.*, Vol. 31, 1960, p. 691.
2. R. O. BELL, H. B. SERREZE and F. V. WALD, Eleventh Photovoltaics Specialists Conference, 497. Phoenix (U.S.A.), 1975.
3. R. TRIBOULET, *Rev.*
4. G. COHEN-SOLAL et al., *Rev. Phys. Appl.*, Vol. 1, 1966, p. 11.
5. F. F. MOREHEAD and G. MANDEL, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 5, 1964, p. 53.
6. A. BOUZZI et al., en este congreso.
7. S. N. MAXIMOVSKI et al., 2nd. Inter. Symp. on CdTe, Strasbourg, France, 1976.
8. YU. K. YEZHOVSKY et al., *Thin Sol. Films.*, Vol. 18, 1973, p. 127.
9. D. A. CUSANO, *Rev. de Phys. Appl.*, Vol. 1, 1966, p. 195.

En el presente trabajo se describe la realización de uniones P-N de CdTe obtenidas por crecimiento epitaxial de CdTe P sobre CdTe N, así como caracterización electrónica y propiedades fotovoltaicas.

#### EPITAXIA DE LAS CAPAS

El método escogido para realizar las capas es el de epitaxia por transporte en fase vapor a corta distancia (CSVV) en una atmósfera controlada ( $H_2$ ,  $N_2$ , etc.).<sup>10, 11</sup> El procedimiento de operación ha sido mejorado de manera que se puede efectuar un decapado térmico del sustrato de unas cuantas décimas de  $\mu m$ ; esto permite tener un buen estado de la superficie sobre la cual se iniciará la epitaxia. Las películas obtenidas son generalmente policristalinas, con la orientación de los granos impuesta por el sustrato; la dimensión de éstos depende de las condiciones de elaboración: temperatura de la fuente y sustrato, así como el gradiente térmico entre ellos. El transporte es de carácter reactivo en el que se ha puesto en evidencia el papel del vapor de agua en la velocidad de crecimiento; aumentando ésta con la concentración de vapor en el volumen de epitaxia. Mediante esta técnica puede crecer CdTe sobre CdTe a temperaturas relativamente bajas, lo que disminuye el problema de interdifusión de impurezas, por ejemplo: para temperaturas de fuente y sustrato  $600^\circ C$  y  $500^\circ C$  respectivamente con una separación entre ellos de 1 mm se tiene una velocidad de crecimiento de  $0.6 \mu m/min$ .

La obtención de contactos y montaje de las fotopilas puede verse en un artículo precedente;<sup>12, 11</sup> se precisa que la capa no siga ningún tratamiento adicional de recocido o difusión profundos, es decir, las características de la unión quedan determinadas por las condiciones de epitaxia.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación de los resultados ya publicados anteriormente, se realizó un estudio más profundo sobre el mecanismo de trans-

10. J. SARAIE et al., *Japan J. Appl. Phys.*, Vol 11, 1972, p. 1758.

11. F. H. NICOLL, *J. of Electrochemical Soc.*, Vol. 110, 1963, p. 1165.

12. J. MIMILA-ARROYO, A. BOUAZZI et G. COHEN-SOLAL, 2nd. Inter. Symp. on CdTe., Strasbourg, France, 1976.

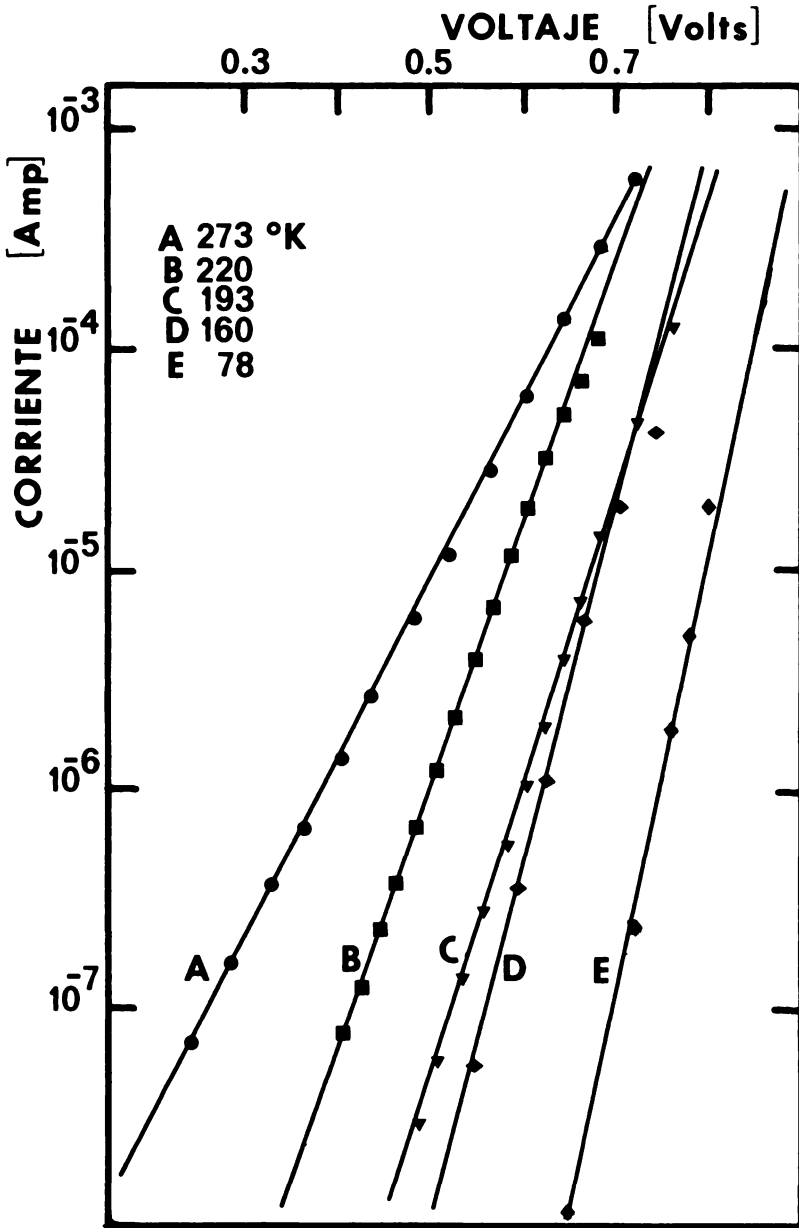


FIGURA 1. Características I-V en polarización directa con la temperatura como parámetro.

porte de carga a través de la unión. Para esto se trazaron curvas I-V a varias temperaturas; éstas se muestran en la figura 1. La curva de I directa en función de V es de la forma:

$$I = I_s \left[ \exp \frac{qV}{\beta kT} - 1 \right],$$

donde

$$I_s = 10^{-10} \text{ amp/cm}^2,$$

y

$$\beta = 1.3,$$

a temperatura ambiente. De las gráficas de la figura 1 se determina  $I_s$  para cada temperatura y en la figura 2 se muestran éstas en función de  $1/T$ . De esta gráfica se determina una energía de activación para el mecanismo de conducción, cuyo valor es

$$E_a = 0.61 \text{ eV.}$$

Se efectuó una segunda caracterización de acuerdo con la teoría de SAH y otros,<sup>13, 14</sup> es decir, estudiando la corriente inversa a polarización constante, en función de T. En la figura 3 se muestra la gráfica  $IT^{-5/2}$  en función de  $1/T$ ; la energía de activación encontrada tiene aproximadamente el mismo valor. Lo anterior permite proponer que el mecanismo de transporte de portadores de carga a través de la unión está dominado por la generación-recombinación en la zona de carga de espacio con una energía de activación de  $E_a = 0.61 \text{ eV}$ . O. BELL y otros<sup>2</sup> publican igualmente esta energía.

Mediciones de capacidad en función de la tensión de polarización, muestran que se trata de una unión gradual en la vecindad de la unión donde el gradiente de concentración de impurezas es del orden de  $a = 10^{21} - 10^{22} \text{ impurezas-cm}^{-4}$  para capas impurificadas con arsénico durante el crecimiento; para tensiones de polarización inversa mayores a 1 volt, la variación de C con V corresponde a la de una unión de impurificación homogénea en cada lado.

13. SAH et al., *Proc. I.R.E.*, Vol. 45, 1957, p. 1228.

14. R. LANCON et Y. MARFAING, *Le Journal de Physique*, Vol. 30, 1969, p. 97.

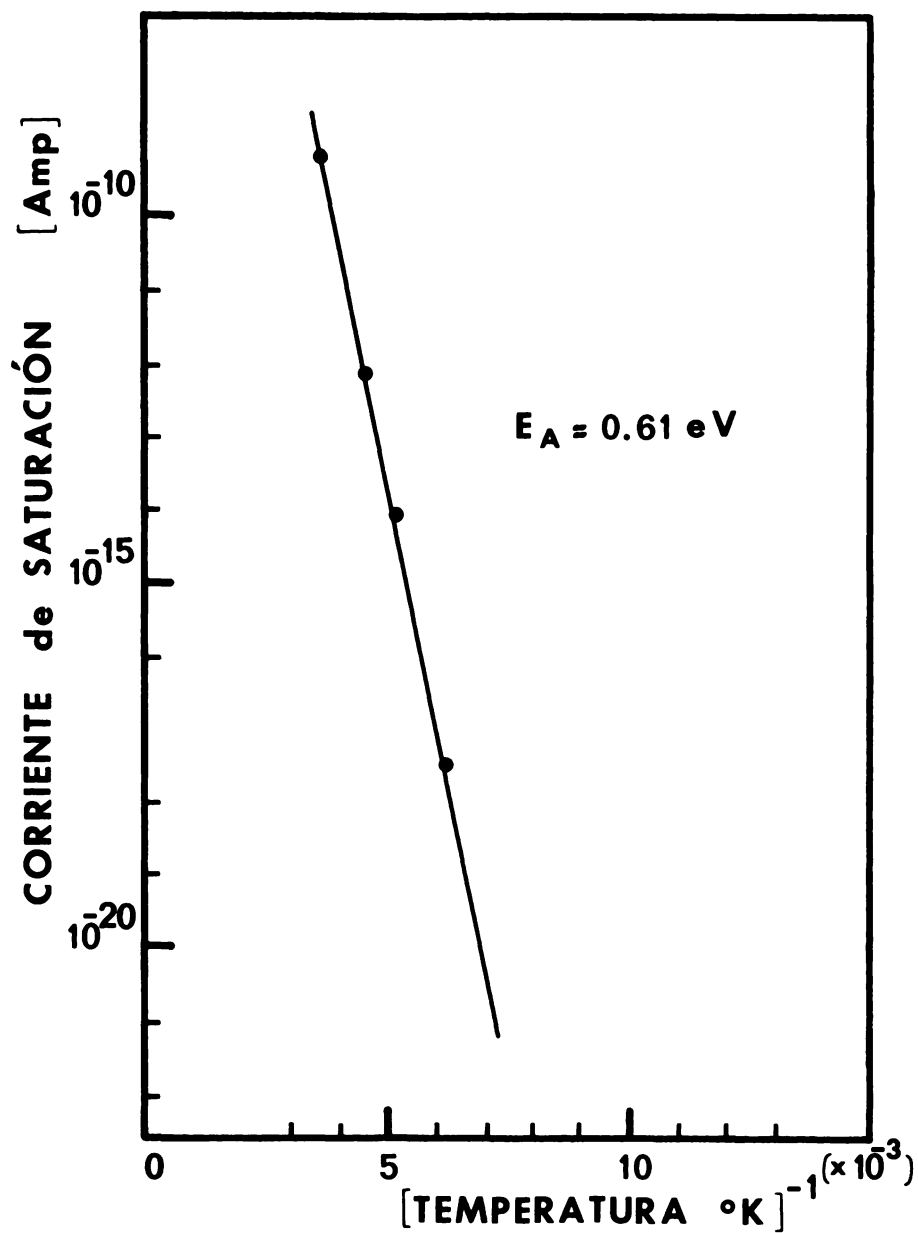


FIGURA 2. Corriente de saturación,  $I_s$ , en función de la temperatura.

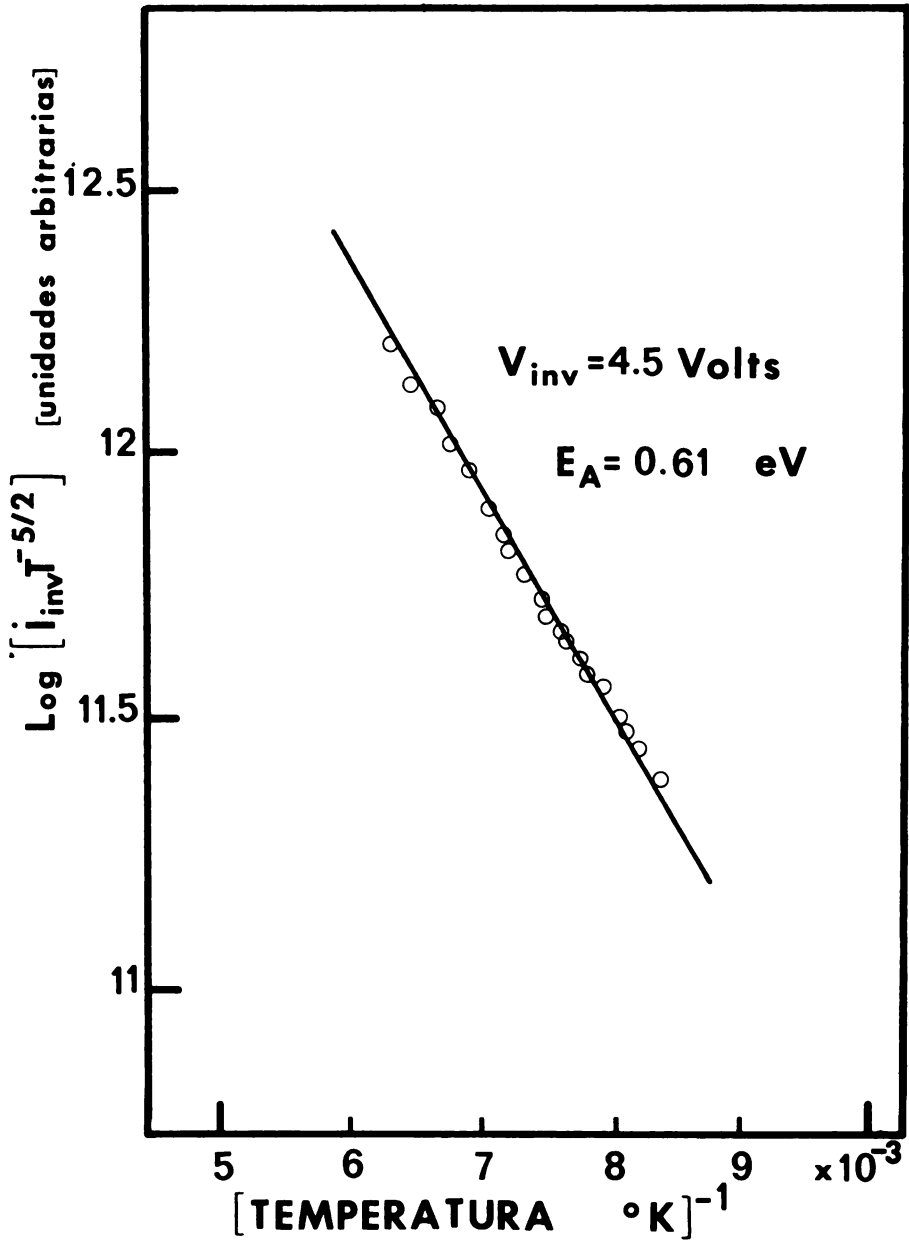


FIGURA 3. Corriente inversa en función de 1/T guardando la polarización.



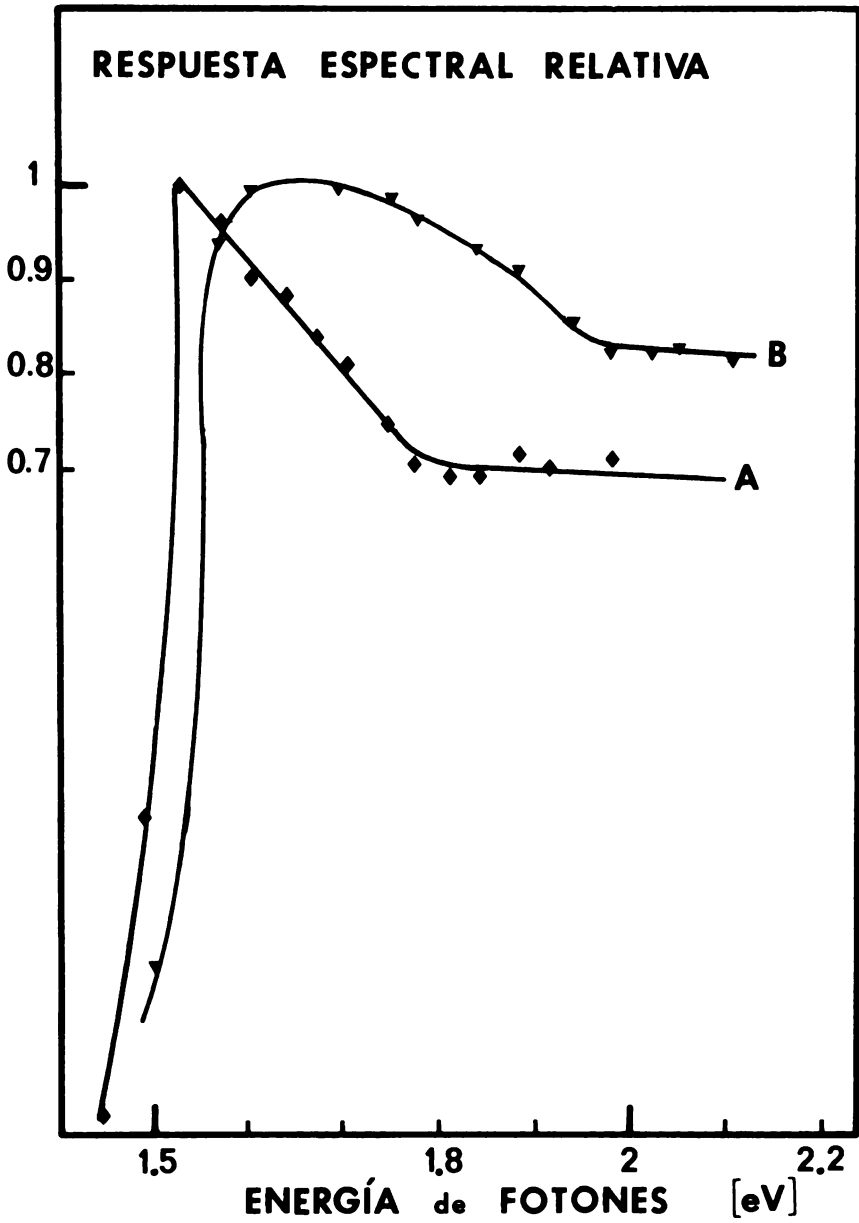


FIGURA 4. Respuesta espectral relativa a número de fotones constante  $Ax_j=1.6\mu$  y  $Bx_j=0.4\mu_o$ .

### CARACTERÍSTICAS FOTOVOLTAICAS

Los resultados que se presentan a continuación han sido obtenidos sin tener una geometría de contactos optimizada y sin corrección de las pérdidas debidas a la reflexión, iluminadas las muestras con una lámpara de tungsteno calibrada; valores típicos son los siguientes:

tensión de circuito abierto  $V_{co}=730$  mV,  
 densidad de corriente en cortocircuito  $J_{cc}=12$  mA/cm<sup>2</sup>,  
 resistencia en serie  $R_s=50$   $\Omega$ ,  
 factor de llenado a forma 0.62,  
 rendimiento  $\eta=5.4$  %.

La respuesta espectral relativa de dos de las fotopilas, con diferente profundidad de unión, se muestra en la figura 4: las profundidades de unión son 1.6  $\mu\text{m}$  y 0.4  $\mu\text{m}$  para las curvas A y B respectivamente; se observa que cuando la unión está más cerca de la cara iluminada se mejora la colección de portadores producidos por fotones de alta energía. El valor óptimo de la profundidad de unión está determinado fundamentalmente por el coeficiente de absorción óptica, la velocidad de recombinación en la superficie y la longitud de difusión de minoritarios; de un análisis simple basado en el modelo de difusión se encuentra que para iluminación solar la unión debe situarse entre 0.1 y 0.4  $\mu$  de profundidad.

### CONCLUSIONES

— Se han realizado fotopilas de CdTe por epitaxia en fase vapor con profundidades de unión perfectamente controlables y menores a 1  $\mu\text{m}$ . El sustrato es CdTe monocristalino de resistividad igual a 0.02  $\Omega\text{-cm}$  y la capa de tipo P impurificada con As; el rendimiento actual obtenido es de 5.4 %.

— Existe un mecanismo de generación-recombinación en la zona de carga del espacio que aumenta en varios órdenes de magnitud la corriente de saturación, respecto al valor predicho por la teoría de SCHOKLEY. Esto reduce considerablemente el valor de la fototensión y consecuentemente el rendimiento.

— La resistencia en serie, debida sobre todo a la resistencia de contacto y a la capa P, deberá ser reducida, pues el valor actual es

muy elevado para lograr un buen rendimiento de conversión fotovoltaica.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la cooperación de R. TRIBOULET, quien cedió los cristales utilizados en este estudio, y a Y. MARFAING por las interesantes discusiones y sugerencias.