

CÉLULAS SOLARES CON TIEMPO DE VIDA NO UNIFORME: ANÁLISIS MEDIANTE UN MODELO CON PARÁMETROS DISTRIBUIDOS

Francisco J. Llopis Cánovas

Departamento de Física Fundamental y
Experimental
Universidad de La Laguna
fllopis@ull.es

Ignacio Tobías Galicia

Instituto de Energía Solar.
Universidad Politécnica de Madrid
tobias@ies-def.upm.es

RESUMEN

En las células solares de silicio multicristalino la distribución de los defectos, y por tanto del tiempo de vida, no es uniforme en el área del sustrato [1]. Esto produce una degradación adicional de su rendimiento. Para el análisis de este efecto se plantea un modelo circuital en que la célula se representa por secciones con diferentes valores de los componentes que representan los procesos de generación y recombinación. La simulación del circuito mediante SPICE permite obtener las características $I-V$ para diferentes distribuciones del tiempo de vida.

1. MODELO EN PARÁMETROS DISTRIBUIDOS.

1.1. Distribución de los tiempos de vida

En el caso de células fabricadas con silicio multicristalino a menudo se presenta una discrepancia [2,3] entre las medidas de tensión en circuito abierto y de corriente de cortocircuito y los valores que se predicen con modelos unidimensionales como PC-1D [4]. Esto se relaciona con una distribución no uniforme del tiempo de vida en el área de la oblea que es inherente al material y a los procesos de fabricación [5]. Para representar adecuadamente el comportamiento de estas células debe tenerse en cuenta este hecho en el modelo utilizado. Los simuladores comerciales no permiten incorporar fácilmente esta posibilidad. Por este motivo se plantea un modelo circuital que permita analizar (al menos de forma aproximada) la influencia de la no uniformidad del tiempo de vida.

En el caso más simple, se supone que las diferentes regiones de la célula presentan sólo dos valores distintos τ_1 y τ_2 para el tiempo de vida, y que el emisor frontal es equipotencial. En estas condiciones, se puede obtener la característica $I-V$ de la célula a partir de la asociación paralelo de dos subcircuitos compuestos cada uno por un diodo que responde de la recombinación J_0 y una fuente para la densidad corriente de cortocircuito J_L de valor adecuado al tiempo de vida correspondiente y ponderadas por la fracción de área f ocupada por cada región. La célula se comporta entonces como una célula homogénea cuyos parámetros $J_{0,EQ}$ y $J_{L,EQ}$ corresponden a tiempos de vida diferentes:

$$J_{L,EQ} = fJ_L(\tau_1) + (1-f)J_L(\tau_2) \quad (1)$$

$$J_{0,EQ} = fJ_0(\tau_1) + (1-f)J_0(\tau_2) \quad (2)$$

Con este modelo elemental se han podido justificar las medidas de corriente de cortocircuito y de voltaje de circuito abierto de células multicristalinas fabricadas en el Instituto de Energía Solar y estimar los parámetros τ_1 , τ_2 y f .

1.2. Circuito equivalente

La influencia de la distribución espacial de las regiones en las que se reduce el tiempo de vida no puede estudiarse con el modelo anterior porque no tiene en cuenta las caídas de tensión asociadas al flujo lateral de corriente en la región de emisor. Para ello se plantea un modelo circuital [1] en el que queden representados los flujos de corriente en las regiones de emisor y base. Se considera que la célula puede ser descompuesta en un determinado número de elementos de volumen. Mediante la aplicación de las ecuaciones de continuidad a un elemento de volumen en el emisor de tipo n y en la base de tipo p , y suponiendo que el flujo lateral de portadores en la base es despreciable, se deriva el circuito equivalente representado en la Figura 1 en que cada sección representa una fracción de área de la célula a la que se pueden asignarse valores de los parámetros diferentes de acuerdo con la distribución espacial del tiempo de vida. Las resistencias horizontales tienen en cuenta el flujo lateral en el emisor.

Este circuito permite estudiar el efecto de la concentración o dispersión de las áreas defectuosas o de su proximidad a las zonas contactadas por la rejilla de metalización, y la influencia de la resistencia de capa del emisor.

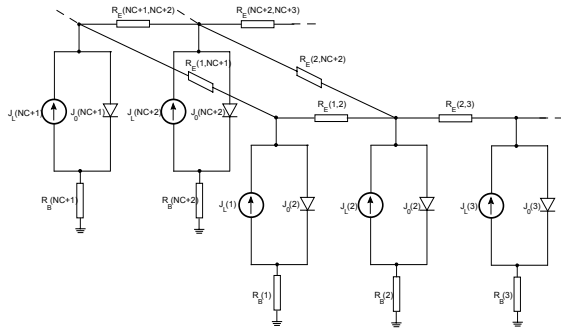


Figura 1. Modelo con parámetros distribuidos.

El dispositivo así caracterizado se puede simular con SPICE generando el correspondiente fichero de datos. La distribución de los tiempos de vida correspondientes a cada región puede generarse automáticamente o a partir de medidas locales.

1.3. Resultados.

Como ejemplo de aplicación del circuito, se han analizado los diferentes casos esquematizados en la Figura 2. La zona a estudiar se divide en 100 secciones. Las regiones sombreadas corresponden a zonas de la célula con tiempo de vida disminuido, y las marcadas con "D" a las zonas metalizadas. Los parámetros que se han considerado en las simulaciones se indican en la Tabla 1 y los resultados de la simulación con SPICE, en la Tabla 2. El valor obtenido para la densidad de corriente de cortocircuito en todos los casos es de 0.0302 mA/cm^2 , mientras que se aprecia una considerable influencia de la situación de los defectos, más perniciosos cuanto más próximos al contacto, sobre la tensión de circuito abierto y el factor de forma.

Tabla 1. Parámetros considerados en la simulación

τ_1	$90.0 \mu\text{s}$
τ_2	$0.4 \times 10^{-2} \mu\text{s}$
J_{L1}	0.036 A/cm^2
J_{L2}	0.016 A/cm^2
J_{01}	$0.42 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2$
J_{02}	$0.36 \times 10^{-9} \text{ A/cm}^2$
Longitud de los dedos de metalización	1.0 cm
Distancia entre dedos de metalización	2.0 mm
Resistividad de la base (ρ_B)	$1.0 \Omega\text{-cm}$
Anchura de la región de base (W_B)	$300 \mu\text{m}$
Resistencia de la capa de emisor (R_E)	$100.0 \Omega\text{-cm}$

Tabla 2. Resultados de la simulación con SPICE

Caso	$V_{OC} \text{ (mV)}$	$FF \text{ (\%)}$
A	532	74.8
B	530	75.2
C	509.5	78.3
D	508.5	78.0

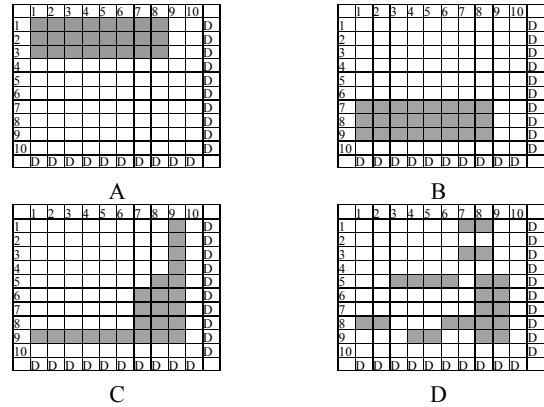


Figura 2. Distribución de los defectos en los diferentes casos.

2. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo circuital sencillo capaz de simular adecuadamente los efectos de la distribución espacial del tiempo de vida, lo que reviste interés para el análisis de las características eléctricas de células solares de silicio multicristalino. Para la resolución de los circuitos obtenidos se utiliza el simulador SPICE.

3. REFERENCIAS

- [1] B Sopori, 'Impurities and Defects in Photovoltaic Si Devices: A Review', informe interno de NREL (NREL/CP-520-2752), 1999.
- [2] A. El Moussaoui, 'Fabricación de células solares en silicio de bajo coste', Tesis Doctoral, ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 1998.
- [3] O. Breitenstein, K. Iwig e I. Konovalov, "Identification of factors reducing Voc in MC silicon solar cells". 25th IEEE PVSC (Washington 1996) pp. 453-456
- [4] P.A. Basore y D.A. Clugston, PC-1D, versión 5. Universidad de Nueva Gales del Sur, 1997.
- [5] J.M. Gee y B.L. Sopori, "The effect of gettering on areal inhomogeneities in large-area multicrystalline-silicon solar cells". 26th IEEE PVSC (Anaheim, California, 1996)