

J. A. Schmidt,^{a)} M. Cutrera,^{a)} R. D. Arce,^{a)} R. R. Koropecski,^{a,b)} y R. H. Buitrago^{a,b)}

^{a)} INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, 3000 - Santa Fe, Argentina
TE: 042-559190, Fax: 042-550944, e-mail: jschmidt@intec.unl.edu.ar

^{b)} Departamento de Física, Facultad de Ingeniería Química, UNL
Santiago del Estero 2829, 3000-Santa Fe, Argentina.

RESUMEN

A los efectos de optimizar los espesores de las capas intrínsecas en celdas solares de silicio amorfo dobles o tandem tipo *pinpin*, contemplando la igualdad de las fotocorrientes y buscando la menor degradación posible por Efecto Staebler-Wronski, se realizó un estudio sistemático bajo iluminación, en dispositivos tipo Schottky, variando sus espesores. Los resultados muestran que con campos eléctricos internos del orden de 10^4 V/cm, celdas con espesores de 2000 Å presentan una degradación mínima al cabo de 24 hs de exposición a la luz. A mayores espesores la corriente de corto circuito es el parámetro que presenta mayor variación.

INTRODUCCION

Entre la variedad de proyectos de energías renovables en desarrollo, el solar fotovoltaico se presenta como uno de los más promisorios. Una gran barrera que impide su expansión en grandes escalas es su costo, relativamente alto todavía. Las nuevas tecnologías de película delgada ofrecen la posibilidad de lograr objetivos de bajos costos con altas eficiencias. En particular, el silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H), en dispositivos con heteroestructura tipo pin, acoplado ópticamente en serie (tandem), se perfila como el mejor candidato.[1,2]

Es bien conocido que cuando el silicio amorfo hidrogenado es iluminado, se generan ligaduras colgantes (como consecuencia de la energía liberada en la recombinación de los pares electrón-hueco),[3] las que contribuyen con niveles de defecto en la banda prohibida del semiconductor. Este fenómeno, conocido como efecto Staebler -Wronski,[4] produce un incremento de la densidad de estados en el la banda prohibida, lo que disminuye la fotoconductividad del semiconductor. A su vez esto se manifiesta en las celdas solares como una disminución de la eficiencia de conversión. Resultados típicos publicados muestran que celdas de estructura *pin* retienen entre un 70/75 % de su eficiencia inicial al cabo del primer año, mientras que en las estructuras tandem *pinpin* este valor asciende al 80/85 %.[5]

Una forma alternativa de resolver el problema de la degradación, es evitar la recombinación de portadores mediante un campo eléctrico. Este campo debe existir a lo largo de todo el volumen de la zona de absorción de la celda (capa intrínseca), por lo que el espesor de esta capa no puede ser superior a 3000 Å, que es el doble de la longitud de Debye. El silicio amorfo requiere de un espesor de casi un micrón para absorber el 90% de la luz solar, por lo que una celda de 3000 Å perdería más del 50% de los fotones incidentes sobre su superficie. Para evitar esto, y para estabilizar las eficiencias aprovechando el efecto campo, es que se depositan dos o tres celdas superpuestas conectadas en serie.[6,7]

Debido a la composición espectral de la luz y a los diferentes coeficientes de absorción de los fotones, la fotocorriente generada en la primera celda es mayor que en las siguientes. Esto obliga a contemplar en el diseño de una estructura tandem los espesores de las capas intrínsecas, de modo que exista campo en todos sus puntos y que además se genere una fotocorriente igual en todas las celdas.

El objetivo de este trabajo es determinar, para un dado material amorfo, cual sería la combinación de espesores entre la primera y la segunda celda a los efectos de obtener máxima eficiencia y estabilidad. Los estudios preliminares que se informan en este trabajo consisten en determinar la degradación que presentan bajo iluminación dispositivos solares tipo Schottky con diferentes espesores de la capa intrínseca. La elección de una celda Schottky es debido no sólo a su sencillez constructiva sino también a su repetitividad.

Para espesores mayores a 2000 Å se observa una degradación de las características de las celdas con el tiempo de iluminación. Se discute el rol de la calidad fotovoltaica de los materiales y el comportamiento que se prevé en una estructura *pin*.

EXPERIMENTAL

Se depositaron estructuras del tipo: *vidrio/TCO/n⁺/i/Pd*, donde TCO es un óxido transparente y conductor (óxido de estaño dopado con flúor), *n⁺* es una capa de a-Si:H dopada fuertemente con fósforo, *i* es la capa de a-Si:H intrínseco y el paladio (*Pd*) se usó para formar una barrera tipo Schottky con el Si. Para preparar esta estructura se parte de un sustrato de vidrio cubierto con TCO comercial (ASAHI). Sobre este sustrato se depositan el a-Si:H *n⁺* e intrínseco usando la técnica de deposición química desde fase vapor asistida por plasma (PECVD), en un reactor tipo capacitivo. El Pd fue depositado por

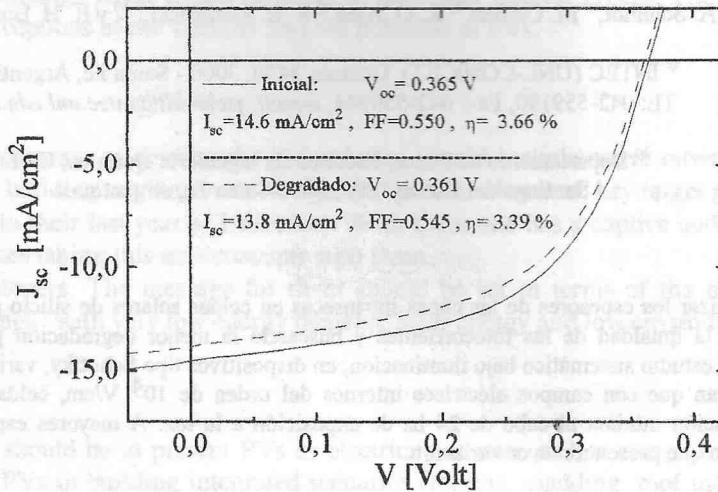


Figura 1: Características corriente-tensión para la celda con capa intrínseca de 3000 Å. Se muestran las curvas correspondientes al estado inicial y al estado degradado. Se indican además los parámetros que caracterizan a la celda en cada caso.

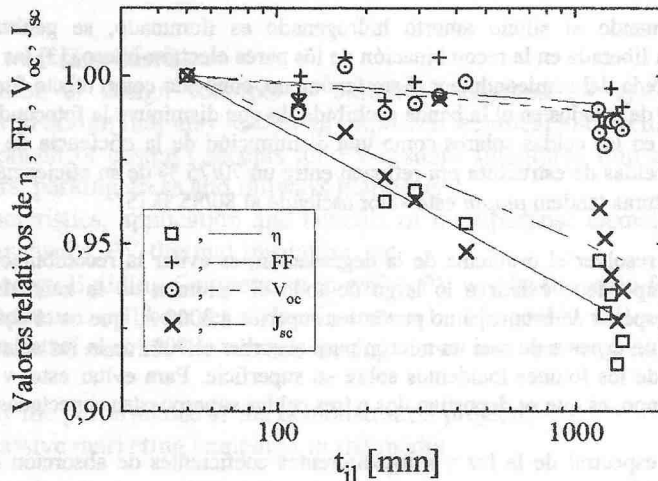


Figura 2: Variación con el tiempo de iluminación de los parámetros característicos de la celda con capa intrínseca de 3000 Å. Las líneas corresponden a un ajuste lineal, y son sólo una guía para el ojo.

evaporación en un sistema de vacío independiente al anterior. El espesor de la capa intrínseca fue variado, adoptando los valores de 2000, 3000 y 4000 Å. Su valor se estimó a partir del tiempo y la velocidad de deposición.

Para formar la barrera Schottky y eliminar los defectos metaestables; las estructuras preparadas se recoció a 180°C durante 2 horas en atmósfera de Argón, enfriándose luego a velocidad controlada de 2°C/min. Este procedimiento provee un estado inicial de referencia confiable.

La caracterización de las celdas involucró la medición de la curva corriente-tensión en función del tiempo de iluminación. Esta se realizó con una lámpara de Halogenuro metálico (OSRAM HQI TS 400/D), con distribución espectral similar a AM1.5 con intensidades entre 80 y 100 mW/cm². Las celdas fueron iluminadas por un lapso de aproximadamente 1400 minutos. Durante toda la exposición las celdas fueron mantenidas en cortocircuito excepto mientras se registraban las curvas corriente-tensión. Con un modelo de diodo ideal [8] se calcularon los voltajes de la barrera Schottky, del potencial de difusión y el ancho de la zona de vaciamiento con lo que se estimó el campo eléctrico interno de las celdas.

Dado que, cuando se ilumina una celda, se producen varios procesos competitivos en los primeros instantes tales como: recocido por calentamiento, recocido lumínico y degradación por S-W, se tomaron como parámetros del estado de referencia de la celda, aquellos a partir de los cuales ésta comienza a degradarse con tendencia definida.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Figura 1 se muestran dos curvas I-V para una celda Schottky de 3000 Å de espesor, correspondientes al estado de referencia (recocido a 180°C) y después de 1000 minutos de iluminación. Se puede apreciar una disminución de los parámetros característicos de la celda: corriente de cortocircuito (I_{sc}), tensión de circuito abierto (V_{oc}), factor de llenado (FF) y eficiencia de conversión (η). La evolución de los mismos en forma individual ha sido graficada en la Figura 2 para esta misma celda.

La eficiencia de conversión sufre una disminución provocada por la degradación, de alrededor del 8% al cabo de 1000 minutos de iluminación. Esta variación se debe fundamentalmente al cambio observado en la corriente de cortocircuito.

El mismo comportamiento de estos parámetros característicos se observó en la celda de 4000 Å de espesor, mientras que en la celda de 2000 Å las variaciones de los parámetros de referencia se ven notablemente atenuadas. En la Figura 3 se ha graficado la variación de la eficiencia de conversión en función del tiempo de iluminación para cada una de las estructuras Schottky preparadas.

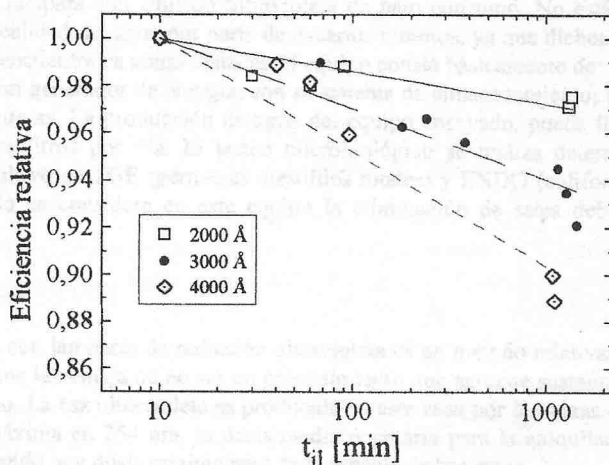


Figura 3: Variación con el tiempo de iluminación de la eficiencia relativa para los tres espesores de la capa intrínseca. Las rectas corresponden a un ajuste lineal, y son solo una guía para el ojo.

A partir de la curva I-V a oscuras se estimó la barrera de potencial en la interfase metal-semiconductor[8], resultando en todos los casos valores entre 0.93 y 0.95 eV. Los potenciales de difusión internos de la celda resultan del orden de 0.18 a 0.20 eV.

A pesar de que estos resultados son muy preliminares, los mismos muestran que la calidad fotovoltaica del silicio amorfo es buena, ya que para un espesor de 2000 Å la capa intrínseca de la celda Schottky se encuentra totalmente vaciada de carga, con un campo eléctrico efectivo de aproximadamente 10^4 V/cm. Para este valor de campo interno se observa una sustancial mejora en la estabilidad a medida que se disminuye el espesor. La variación porcentual de la eficiencia de la celda de 4000 Å es de 88% en 1000 minutos de exposición, mientras que para la celda de 2000 Å esta variación resulta de 97%.

REFERENCIAS

- [1] Y. Hamakawa. Proceedings of the Euroforum - New Energies Congress 1 (1988) 194.
- [2] Stone. Solar Energy Mat. 23 (1991) 117.
- [3] M. Stutzmann, W. B. Jackson, and C. C. Tsai. Phys. Rev. B 32 (1985) 23.
- [4] D. L. Staebler and C. R. Wronski. Appl. Phys. Lett. 31 (1977) 292.
- [5] H. S. Costa, Ph. Ragot, and D. Demestre. 2nd World Renewable Energy Congress, Reading (UK), 13-18 September 1992.
- [6] H. Sakai, T. Yoshida, S. Fujikake, and Y. Ichikawa. Mat. Res. Soc. Spring Meeting, San Diego, USA, April 24-28, 1989. p289.
- [7] S. Fujikake, S. Saito, H. Sato, T. Yoshida, Y. Ichikawa, and H. Sakai. Solar Energy Mat. 23 (1991) 289.
- [8] S. M. Sze. Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, New York, 1981, p. 245.