

Uso del acero inoxidable en la fabricación de células solares de capa fina

Julia Contreras, Andrés Núñez, Rafael Sánchez y Juan F. Almagro

Recibido: 22 de marzo de 2019 / Revisado: 16 de abril de 2019 / Aceptado: 24 de octubre de 2019 / Publicado: 30 de noviembre de 2020

RESUMEN

Intentando mejorar la eficiencia de generación, los costes de fabricación y la productividad de las células solares, la industria fotovoltaica ha impulsado el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías, en este caso con la denominada “capa fina”. Esta tecnología ofrece, además, nuevas posibilidades para su aplicación en sustratos flexibles como son los aceros inoxidables, lo que facilita su integración en edificios o vehículos donde existen áreas curvas. Sin embargo, la elección del sustrato para la célula fotovoltaica es un aspecto esencial, ya que las capas funcionales, por su espesor de micras, pueden verse afectadas durante o después del proceso de deposición de las mismas en base a la naturaleza del propio sustrato. Este artículo estudia la influencia del inoxidable, como sustrato, sobre la capa multifuncional y el contacto trasero, y analiza el efecto del proceso de deposición en la integridad del sustrato. Los resultados muestran el buen comportamiento de los inoxidables estudiados, cuyas propiedades permanecen inalteradas tras el proceso de deposición y por la ausencia de difusión de elementos de aleación hacia las capas depositadas.

Palabras clave: Acero inoxidable, energía fotovoltaica, célula solar, capa fina.

ABSTRACT

Trying to improve the efficiency of generation, manufacturing costs and productivity of the solar cells, the photovoltaic industry has driven the development of new materials and technologies, in this case with the so-called “thin film”. This technology also offers new possibilities for its application on flexible substrates such as stainless steel, which facilitates its integration into buildings or vehicles where there are curved areas. However, the choice of the substrate for the photovoltaic cell is an essential aspect, since the functional layers, due to their micron thickness, can be affected during or after the deposition process based on the nature of the substrate itself. This article studies the influence of stainless steel as a substrate on the multifunctional layer and the back contact, and analyses the effect of the deposition process on the integrity of the substrate. The results show the good behaviour of the studied stainless steel, whose properties remain unchanged after the deposition process and by the absence of the diffusion of alloy elements towards the deposited layers.

Keywords: Stainless steel, photovoltaic energy, solar cell, thin-film.

1. INTRODUCCIÓN

Cu(In,Ga)Se, conocido como CIGS, es un material muy prometedor para células solares de capa fina de alta eficiencia energética, ya que tiene la separación de banda adecuada y un alto coeficiente de absorción que reduce la cantidad de material semiconductor activo requerido (Contreras *et al.*, 1998: 311). La mayoría de los módulos solares CIGS disponibles comercialmente se producen en sustratos rígidos de vidrio de cal y sosa. Sin embargo, esta tecnología ofrece nuevas posibilidades para su aplicación en sustratos flexibles que facilitan la integración de las células solares en edificios

o vehículos, donde hay superficies curvas. Además de esto, las células solares en sustratos flexibles son muy interesantes para aplicaciones aeroespaciales debido a la reducción de peso y, por lo tanto, al ahorro de costes. Finalmente, otra ventaja de este tipo de células es la opción de reducir significativamente el coste de fabricación a través de procesos de *roll-to-roll*. Esto hace posible fabricar a bajo coste grandes producciones de células solares.

Este tipo de células solares se producen depositando varias capas delgadas sobre un sustrato, llegando estas a alcanzar hasta un grosor de tres micrómetros. Este apilamiento

comprende un contacto trasero formado por una capa de Mo, un absorbedor de CuInGaSe_2 semiconductor de tipo p, una capa búfer que actúa como semiconductor tipo n (generalmente CdS o In_2S_3) y un contacto frontal con ZnO intrínseco de alta resistividad dopado con una película de Al_2O_3 , como se muestra en la lámina 1. Debido al espesor micrométrico de las capas, estas pueden verse afectadas durante o después del proceso de deposición por la naturaleza del sustrato y, por tanto, la selección del mismo para células de capa fina es un tema muy importante.

Las células CIGS se fabrican según la configuración tipo sustrato, es decir, la capa multifuncional –barrera difusora– y el contacto trasero son las primeras capas depositadas en el sustrato de acero. Por lo tanto, estas son las que podrían influir más directamente en el comportamiento del sustrato. La función principal del contacto trasero es recoger y conducir las cargas eléctricas generadas en el absorbedor, por lo que se requiere de recubrimientos de alta conductividad. Además, el contacto trasero debe actuar como una capa reflectora de la luz que cruza la celda y aumenta así la absorción en la región infrarroja (Poortmans *et al.*, 2006: 204-205). El contacto trasero también debe ser compatible con la alta temperatura y los entornos de corrosión presentados en la deposición del absorbedor CIGS. Por lo tanto, las capas de Mo son óptimas para esta aplicación debido a su baja resistividad, sus buenas propiedades de adhesión al sustrato y absorbente CIGS y también, lo que es muy importante, su estabilidad durante la deposición de las capas CIGS, que crecen en un rango de temperatura de 500-600 °C (Sharfarman *et al.*, 2003: 567-616).

Durante el proceso de deposición del absorbedor CIGS, las temperaturas alcanzadas pueden producir la difusión de elementos del sustrato a través del contacto trasero que resultan en una disminución de la eficiencia de la célula solar CIGS (Kessler *et al.*, 2004: 685-695). Para el caso de los aceros inoxidable, en la familia de los ferríticos, el Cr y Fe son los elementos más dañinos, así como el Ni en el caso del acero austenítico. Para superar este posible inconveniente, es necesaria una capa multifuncional que actúe como barrera

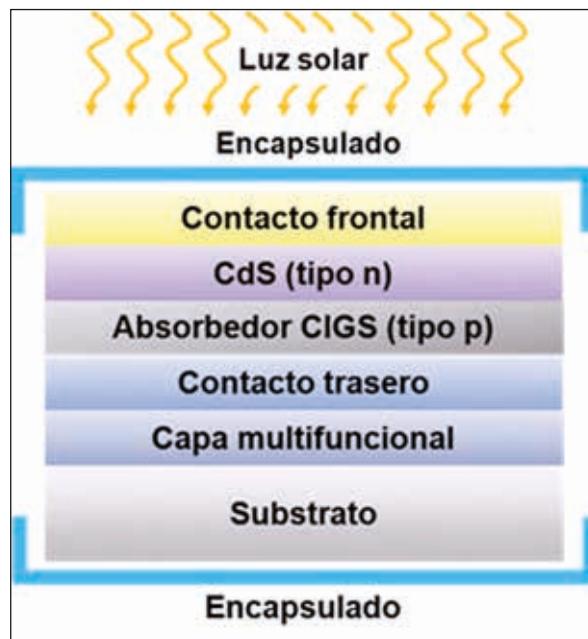


Lámina 1. Componentes de una célula solar

difusora de elementos desde el sustrato hasta el absorbedor. Entre las diferentes capas multifuncionales que existen (SiO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , ZrN ...), en el presente trabajo se ha seleccionado el recubrimiento Al_2O_3 ya que es uno de los más atractivos para la industria a gran escala debido a su alta tasa de deposición y proceso muy estable.

Además de la deposición de estas dos capas, la alta temperatura y los ambientes corrosivos presentados durante la deposición de las capas posteriores de CIGS se consideran parámetros críticos que influyen en el comportamiento del sustrato.

En relación con el sustrato, hay una serie de propiedades que un material tiene que cumplir para ser utilizado como un sustrato óptimo en células solares de tecnología CIGS, algunas de ellas son (Kessler *et al.*, 2004: 685-695):

- Buen comportamiento en vacío: las diferentes capas que forman parte de la célula solar se depositan mediante técnicas de alto vacío. Por lo tanto, el sustrato no debe emitir impurezas durante estos procesos que podrían quedar atrapados en el recubrimiento, deteriorando la eficiencia de la célula.

- Estabilidad térmica: durante los procesos de recubrimiento, el sustrato se expone a

una temperatura de 500-600 °C para fabricar absorbentes CIGS de alta eficiencia.

-Coeficiente de expansión térmica similar al del CIGS para lograr una buena adherencia y evitar grietas en los recubrimientos.

-Inerte: un sustrato óptimo debe ser resistente a la corrosión durante el almacenamiento, la deposición y su vida útil como célula solar. Una fase crítica es durante la deposición de la capa CIGS donde el sustrato está en contacto con Se. Además, el sustrato no debe contener elementos que puedan difundirse a las capas de la célula.

-Protector de la célula solar del medio ambiente, especialmente de la humedad.

-Baja rugosidad debido al bajo espesor de las capas, para evitar picos de sustrato que puedan cruzar el contacto trasero produciendo cortocircuitos. El espesor del contacto trasero está en el rango de 200-1000 nm. Si la rugosidad del sustrato es mayor, el contacto trasero presenta discontinuidades que podrían conducir a la inoperatividad de la célula.

-Alta conductividad térmica, para permitir la disipación de calor y así evitar pérdidas de eficiencia.

-Flexibilidad: permite que el sustrato sea adecuado para el proceso de *roll-to-roll* de células solares, lo que disminuye los costes de fabricación. Además, permite integrar las células solares en las superficies curvas de edificios, vehículos...

-Otras propiedades: fácil disponibilidad, bajo peso, bajo coste y bajo consumo de energía durante su fabricación.

Por lo tanto, los sustratos deben presentar características muy específicas para cumplir con todos los requisitos descritos. Los aceros inoxidable cubren la mayoría de estas necesidades y ofrecen grandes ventajas sobre los sustratos de vidrio tradicionales en cuanto a propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y composición, así como flexibilidad. En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar la idoneidad de varios aceros inoxidable para ser utilizados como sustratos para células solares CIGS.

En este estudio, se ha realizado un análisis exhaustivo sobre la influencia del contacto trasero y la deposición de la barrera difusora sobre las propiedades mecánicas y microestructurales de

varios sustratos de acero inoxidable. También se ha evaluado la influencia del ambiente corrosivo y la alta temperatura en las propiedades de esos sustratos. Se han seleccionado cuatro sustratos de inoxidable de acuerdo a sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión; uno austenítico EN-1.4301 y tres ferríticos EN-1.4016, EN-1.4509, EN-1.4521. En el caso del acero austenítico y del ferrítico EN-1.4016, estos han sido incluidos como materiales de referencia ya que existen trabajos en los que han utilizado estos aceros como sustrato para células solares de capa fina (Miettunen *et al.*, 2008: 4011-4017 y Beernink *et al.* 2007). En general, la selección de los ferríticos se basa en su coeficiente de expansión térmica, que es similar al de las capas fotovoltaicas de una célula solar CIGS ($8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), y en su mejor resistencia a la corrosión y oxidación a altas temperaturas en el caso de los estabilizados EN-1.4509 y 1.4521.

2. MATERIALES

La barrera difusora y el contacto trasero de la célula solar CIGS han sido depositados sobre chapas de acero inoxidable austenítico EN-1.4301 y ferríticos EN-1.4016, EN-1.4509, EN-1.4521, con 0.8 mm de espesor y acabado superficial 2R, excepto el EN-1.4521 con acabado 2B. La composición química de las muestras seleccionadas ha sido analizada mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) y analizadores Leco para el C, N y S, los resultados se recogen en la Tabla 1, y la rugosidad superficial ha sido caracterizada con microscopía óptica confocal. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La primera etapa de la presente investigación ha sido la deposición de la barrera difusora y del contacto trasero mediante la técnica de PVD, pulverización catódica de magnetron de CC —corriente continua— en un equipo semi-industrial diseñado en Tekniker, Midas 450. El sistema de deposición consiste en una cámara de vacío de pulverización magnetronica desequilibrada de campo cerrado, equipada con tres magnetrones rectangulares de tamaño 550 mm x 125 mm x 12 mm. Las muestras se ubican a una distancia de 120 mm de la fuente de evaporación en una mesa

	Composición Química										
	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Mo	N	Ti	Nb	S
1.4301	0.061	0.38	1.74	8.02	0.34	17.7	0.29	0.043	0.002	0.009	0.001
1.4016	0.054	0.35	0.30	0.19	0.04	16.2	0.01	0.032	0.011	0.005	0.001
1.4509	0.020	0.57	0.33	0.16	0.04	17.7	0.01	0.015	0.125	0.485	0.001
1.4521	0.018	0.61	0.29	0.13	0.05	17.8	1.92	0.021	0.167	0.397	0.001

Tabla 1. Composición química de los aceros en estudio (% en peso)

	1.4301	1.4016	1.4509	1.4521
Ra (nm)	37	24	36	138*

Tabla 2. Rugosidad media (nm) medida con microscopía confocal de las muestras seleccionadas

de sustrato de 400 mm de diámetro y que giran a 8 rpm, con un movimiento de dos planetarios dobles. Las condiciones de deposición aplicadas han sido las siguientes:

–Barrera difusora de alúmina (Al_2O_3): pulverización reactiva de magnetron pulsado con CC con un objetivo de Al puro (99,99% de pureza) e introduciendo flujo de O_2 en la cámara de deposición. La densidad de potencia de emisión fue de $5,8 W/cm^2$, que corresponde a una potencia de 4000 W con una frecuencia de 75 kHz con un ciclo de trabajo del 30%. La presión de trabajo fue de $4 * 10^{-3}$ mbar con un flujo de Ar de $70 cm^3/min$ y O_2 entre $20-30 cm^3/min$ para mantener el voltaje de pulverización catódica a 340 V.

–Contacto trasero de Mo: pulverización de magnetron de 4000 W con CC, a una presión de trabajo de $6 * 10^{-3}$ mbar con flujo de argón de $100 cm^3/min$.

Antes de depositar los recubrimientos, el sustrato se ha calentado por medio de calentadores industriales hasta $350 ^\circ C$. Después de la deposición de las capas, se ha llevado a cabo la siguiente caracterización de las muestras.

Análisis de la microestructura de los sustratos con microscopio óptico Olympus GX71 y medición del tamaño de grano a través del *software* de análisis de imágenes *Analysis Inclusion Inspector*.

–Verificación de las propiedades mecánicas de los sustratos con una Máquina Universal de Ensayos Zwick RKM100 y un durómetro Vickers Mitutoyo HM124.

–Caracterización de la microestructura y el grosor de las capas con microscopía electrónica de barrido (FEG-SEM) con el equipo Zeiss Ultra plus 55.

–Medición de la resistividad eléctrica de las capas mediante prueba de sonda de 4 puntos con multímetro Keithley 2400 SourceMeter y un soporte de medición de resistividad Lucas Lab S302-4 equipado con sonda de 4 puntos SP4-500855TRY.

–Comprobación de la adhesión del recubrimiento por la prueba de cinta.

–Evaluación de las propiedades aislantes de la barrera difusora con microscopía electrónica de barrido (FEG-SEM), equipo Zeiss Ultra 55 con detectores BSE y EDX, y mediante espectroscopía de emisión óptica de descarga incandescente (GD-OES), equipo Horiba Jobin Ivon GD-Profilier 2 mediante el análisis de las composiciones de perfil de profundidad.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización microestructural de los aceros inoxidables

El proceso de deposición de las capas puede afectar a la microestructura del acero de varias maneras: generando precipitados de

diferente naturaleza, crecimiento de grano y/o alteración de las tensiones internas del acero. Estos cambios modifican las propiedades químicas y mecánicas del material hasta tal punto que el comportamiento del acero en condiciones de servicio puede verse modificado significativamente (Contreras, 2012 y Sánchez, 2005).

El estudio de la microestructura de los aceros inoxidables, antes y después de la deposición de las capas, ha demostrado que su microestructura se mantiene sin cambios en todos los casos

después del proceso de deposición. Como ejemplo, la Lámina 2 muestra las micrografías para el acero austenítico, que se caracterizan por una matriz de maclas, típica de este tipo de material, y una microestructura totalmente recrystalizada.

Al igual que la microestructura, el tamaño de grano permanece inalterado por las condiciones del proceso de deposición. La Tabla 3 recoge los valores de tamaño de grano medidos por análisis de imagen para todos los casos.

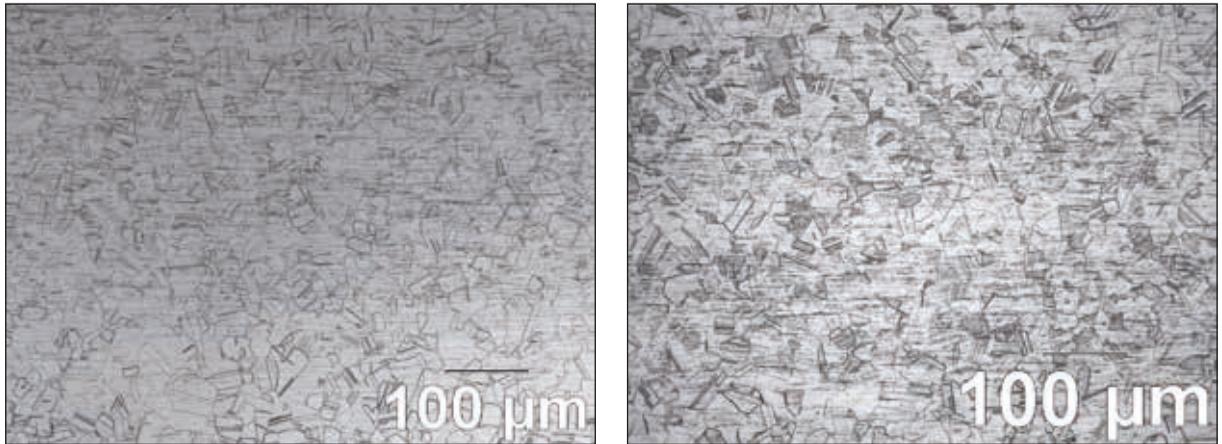


Lámina 2. Micrografías del acero austenítico EN-1.4301 antes (izquierda) y después (derecho) de la deposición de la barrera difusora y del contacto trasero

Tipo	Antes de la deposición	Después de la deposición
1.4301	24.2	22.5
1.4016	13.4	11.3
1.4509	37.9	33.0
1.4521	31.9	28.7

Tabla 3. Tamaño de grano (μm) medido por análisis de imagen antes y después de la deposición

4.2. Caracterización mecánica de los aceros inoxidables

Mediante ensayos de tracción y microdureza se ha comprobado si las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables en estudio han sido afectadas por los procesos de deposición de las capas funcionales de la célula fotovoltaica de capa fina. Para ello, se han comparado los resultados de límite elástico ($R_{p0.2}$), resistencia a la tracción (R_m) y porcentaje de alargamiento después de la fractura (A_{50}) antes (Acero) y después de la deposición (Acero + CMF + CT), obtenidos estos

a partir de ensayo de tracción según norma ASTM E8-M. La lámina 3 muestra la comparación de estos valores para el caso del acero austenítico y la lámina 4 para los aceros ferríticos.

En general, las diferencias medidas en las propiedades mecánicas están dentro de la variabilidad de estos parámetros. Particularmente, la variación más alta de la resistencia a la tracción debida a la deposición se registra en el acero ferrítico EN-1.4521 con un valor de +30 MPa (540 MPa antes y 570 MPa después de la deposición). En el caso del límite elástico, existen diferencias

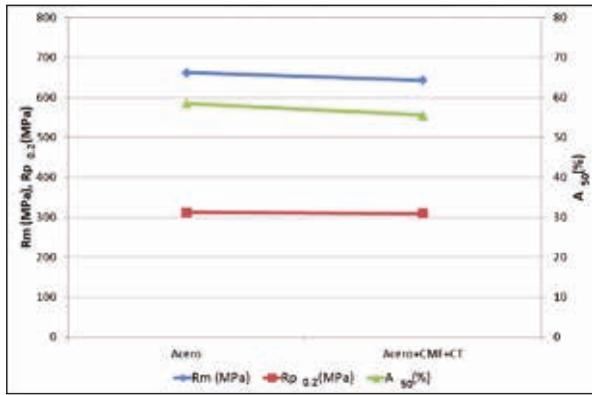


Lámina 3. Propiedades mecánicas del sustrato austenítico antes y después de la deposición

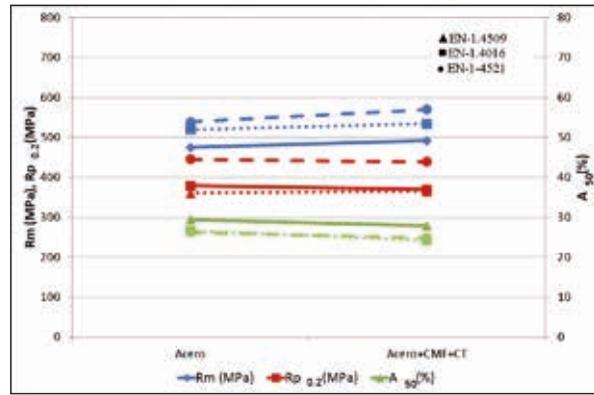


Lámina 4. Propiedades mecánicas de los sustratos ferríticos antes y después de la deposición

menores con un máximo de +20 MPa en el caso del ferrítico EN-1.4509 —350 MPa antes y 370 MPa después de la deposición—. Finalmente, con respecto al alargamiento, se ha medido una ligera reducción general de este parámetro con la mayor diferencia de -3% para el austenítico EN-1.4301 —58% antes y 55% después de la deposición—. Teniendo en cuenta las variaciones descritas, se considera que la deposición de capas no afecta a las propiedades mecánicas de los aceros estudiados ya que las ligeras diferencias de los parámetros medidos están dentro de la dispersión normal para estos grados de acero y estado —laminado y recocido en frío—.

Además de las pruebas de tracción, se ha verificado la microdureza mediante ensayo de dureza según norma UNE EN-ISO 6507-1 de las mismas muestras. La lámina 5 recoge este análisis antes y después de la deposición de las capas.

Excepto en el acero ferrítico EN-1.4521, la microdureza sufre un aumento de unos 6 puntos Vickers después de la deposición de las

capas (152-162 HV0.3 antes y 159-168 HV0.3 después). Como las propiedades mecánicas, estas diferencias están dentro del nivel de dispersión de este parámetro y, por consiguiente, no tienen ningún efecto sobre el comportamiento mecánico del acero inoxidable.

4.3 Caracterización del contacto trasero y de la barrera difusora

La morfología de las capas ha sido analizada por FEG-SEM en la sección transversal de la barrera difusora de Al₂O₃ y del contacto trasero de Mo, que ha mostrado un crecimiento denso y columnar, como se puede ver en la lámina 6 a modo de ejemplo para el caso del acero ferrítico EN-1.4016, donde además se observa la casi ausencia de poros superficiales que serían el motivo de problemas de cortocircuitos durante la operación de la célula fotovoltaica.

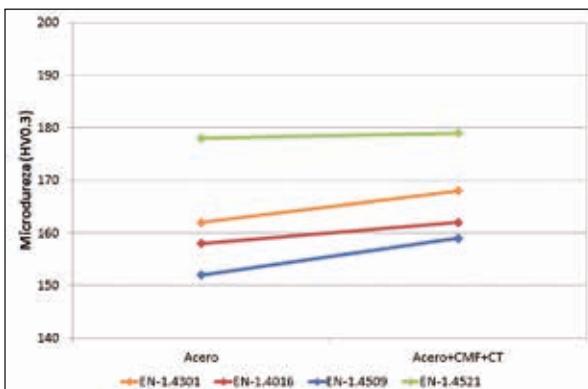


Lámina 5. Microdureza para todos los sustratos antes y después de la deposición

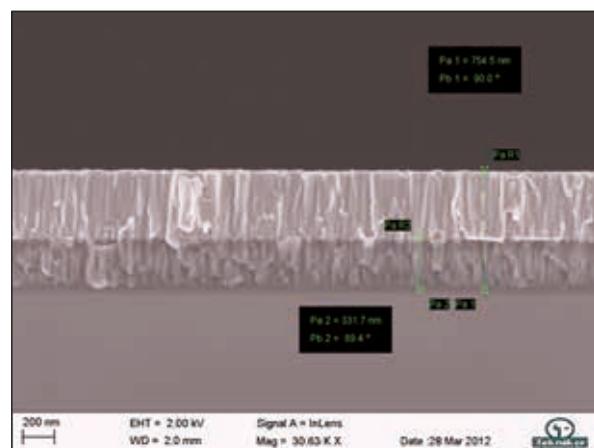


Lámina 6. Sección transversal del acero EN-1.4016 y de las capas de Al₂O₃ (300 nm), inferior, y Mo (700 nm), superior

La adhesión de las capas se ha verificado mediante la prueba de cinta según la norma ISO 2409:2013, mostrando una adhesión óptima. Posteriormente, se ha medido la resistividad del contacto con la prueba de la sonda de 4 puntos, obteniéndose valores de $0.15 \Omega/\text{in}^2$.

También se han investigado las propiedades de la barrera difusora mediante microanálisis EDS. A través de mapas de rayos X (RX) se obtiene información sobre los elementos más representativos del sustrato y de las capas fotovoltaicas (capa multifuncional y contacto trasero). La lámina 7 muestra, a modo de ejemplo, la imagen BSE y los mapas RX para el acero austenítico, los mapas de O y Al indican la capa de barrera difusora, el Mo identifica el contacto trasero y el Cr y Ni representan el sustrato.

Como resultado principal del microanálisis EDS a partir de los mapas de RX, no se ha detectado ninguna migración preferencial de elementos químicos desde el sustrato hacia las diferentes capas en ninguno de los cuatro aceros inoxidables diferentes considerados.

Por último, se han evaluado con análisis GD-

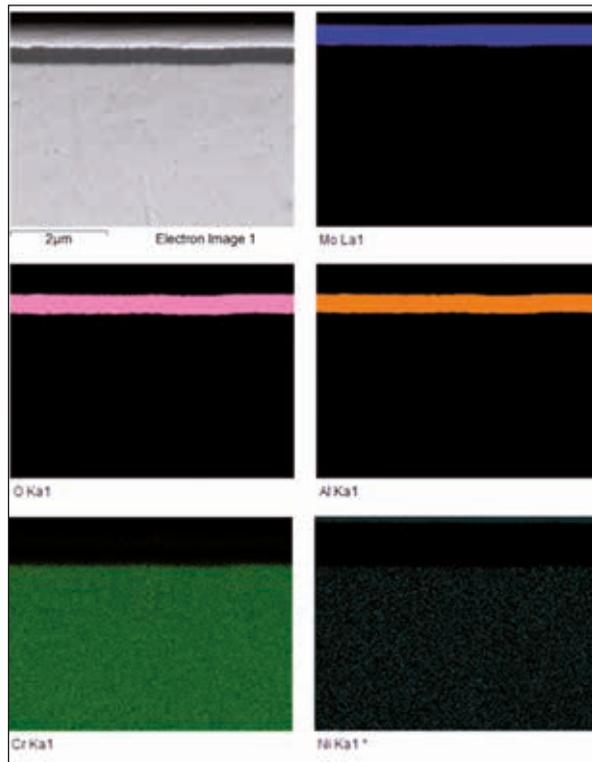


Lámina 7. Imagen BSE y mapas RX de los elementos más representativos del acero EN-1.4301

OES las propiedades de la barrera difusora después de calentar las muestras a $500 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura máxima alcanzada durante la deposición de las capas. La lámina 8 representa el recubrimiento de la barrera difusora de Al_2O_3 y el contacto trasero de Mo como ejemplo para el acero austenítico EN-1.4301. Fe, Cr, así como Ni, en el caso del acero austenítico, son los elementos del acero más representativos que pueden migrar a las capas depositadas debido a la temperatura. Esta lámina muestra el efecto barrera del Al_2O_3 , donde no se detecta la presencia de elementos del acero, ni en el Mo ni en el propio recubrimiento de Al_2O_3 .

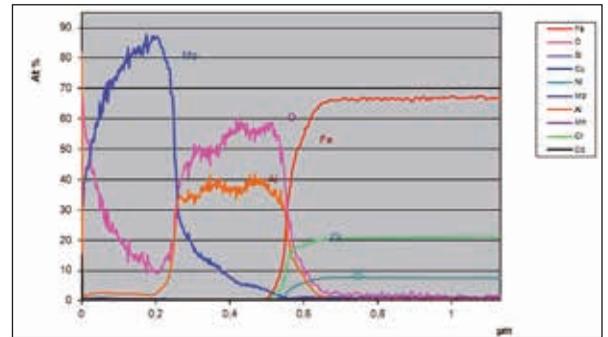


Lámina 8. Análisis con GD-OES de las capas de Al_2O_3 y Mo en el acero austenítico EN-1.4301 después de ser calentado a $500 \text{ }^\circ\text{C}$

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo ha abordado la fabricación de células solares de capa fina sobre sustrato de acero inoxidable; la selección del propio sustrato, cuya naturaleza puede afectar a las capas fotovoltaicas y, por lo tanto, a la eficiencia e integridad de la célula.

El trabajo de investigación se ha llevado a cabo a nivel de laboratorio en el acero inoxidable austenítico EN1.4301 y en los ferríticos EN-1.4016, EN-1.4509 y EN-1.4521, que han sido sometidos a procesos de deposición de capas fotovoltaicas (capa multifuncional y contacto trasero) y después han sido analizadas las siguientes propiedades:

- Acero inoxidable: microestructura y propiedades mecánicas.
- Capa multifuncional: difusión de elementos desde el sustrato hacia las capas.

-Contacto trasero: microestructura, espesor, resistividad eléctrica y adherencia.

Los resultados obtenidos muestran lo siguiente:

-Las condiciones del proceso de deposición tienen poco o ningún efecto sobre la microestructura, el tamaño de grano, las propiedades mecánicas y la microdureza del acero inoxidable.

-El acabado superficial de los aceros es el adecuado debido a la ausencia de discontinuidades de las capas.

-Las propiedades aislantes de la barrera difusora del recubrimiento PVD Al_2O_3 se han confirmado ya que no se ha detectado la presencia de elementos del acero (Fe, Cr y Ni) en el contacto trasero.

-El crecimiento del contacto trasero de Mo ha sido denso y columnar.

-La adhesión de los recubrimientos multifuncionales y contacto trasero ha sido óptima.

De acuerdo con todos estos resultados y los requisitos definidos al principio que debe reunir un sustrato, los aceros inoxidables tienen un buen comportamiento para ser utilizados como tal en células solares de capa fina debido a:

-Buen comportamiento al vacío: no se ha detectado ninguna impureza en los recubrimientos.

-Estabilidad térmica: ni la microestructura ni las propiedades mecánicas del sustrato han sido alteradas.

-Adecuado coeficiente de expansión térmica: buena adherencia y ausencia de grietas de las capas.

-Inerte: no se ha detectado óxido en la superficie inoxidable después de la deposición de las capas.

-Buena rugosidad: no se han encontrado discontinuidades en el contacto trasero.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

■ Beernink, K.; Guha, S.; Yang, J.; Banerjee, A.; Lord, K.; DeMaggio, G.; Liu, F.; Pietka, G.; Johnson, T.; Reinhout, M.; Younan, K. y Wolf, D. (2007). *Lightweight, flexible solar cells on stainless steel foil and polymer for space and stratospheric applications*. NASA/CP-2007-214494.

- Contreras, M. A.; Egaas, B.; Ramanathan, K.; Hiltner, J.; Swartzlander, A.; Hasoon F. y Noufi, R. (1998). "Progress Toward 20% Efficiency in $Cu(In,Ga)Se_2$ Polycrystalline Thin-film Solar Cells". *Prog. Photovolt. Res. Appl.* (7).
- Contreras, J.; Sánchez, R.; Bonany, J.; Grimaldi, E. y Castellanos, J. M^a (2012). "Efecto de la microestructura de recocido en las propiedades mecánicas y la tenacidad del acero super-ferrítico EN-1.4521". *XII Congreso Nacional de Materiales*.
- Kessler, F. y Rudmann, D. (2004). "Technological aspects of flexible CIGS solar cells and Modules". *Solar Energy* (77).
- Miettunen, K.; Halme, J.; Toivola, M. y Lund, P. (2008). "Initial performance of dye solar cells on stainless steel substrates". *J. Phys. Chem. C* (112).
- Poortmans, J. y Arkhipov V. (2006). *Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications*. John Wiley & Sons.
- Sánchez, R.; Martos, G. y Moreno, I. (2005). "Steel grade and microstructure dependence of the tensile properties in austenitic stainless steels". *The 5th European Congress Stainless Steel Science and Market*.
- Sharfarman, W. N. y Stolt, L. (2003). " $Cu(In,Ga)Se_2$ solar cells". *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (A. Luque y S. Hegedus ed.). John Wiley & Son Inc.

Julia Contreras, Andrés Núñez, Rafael Sánchez y Juan F. Almagro

Departamento Técnico/Sección Laboratorios e Investigación
Acerinox Europa S.A.U.

Cómo citar este artículo:

Julia Contreras, Andrés Núñez, Rafael Sánchez y Juan F. Almagro (2020). "Uso del acero inoxidable en la fabricación de células solares de capa fina". *Almoraima. Revista de Estudios Campogibaltareños* (53), noviembre 2020. Algeciras: Instituto de Estudios Campogibaltareños, pp. 97-104