

ELECTRODEPÓSITO DE NÍQUEL NEGRO SOBRE ALETAS DE COBRE PARA APLICACIONES EN COLECTORES SOLARES PLANOS

García-Valladares O.*, **Gómez-Espinoza V.***, **Pérez-Espinosa R.****, **Lizama-Tzec F.*****, **Vega-Poot A.*****, **Herrera-Zamora D.*****, **Becerril-González-Montecinos J.*****, **Padrón-Hernández W.*****, **Rodríguez-Gattorno G.*****, **Ares-Muzio O.*****, **Oskam G.*****

* Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM), Privada Xochicalco s/n, 62580, Temixco, Morelos, México.

**Módulo Solar S.A. de C.V., Calle 23 Este No. 3, Col. CIVAC, 62578, Jiutepec, Morelos, México.

*** Departamento de Física Aplicada, Centro de investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN), 97310, Mérida, Yucatán, México, flizama@cinvestav.mx

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2069>

RESUMEN

En este trabajo se reporta el desempeño de colectores solares construidos con aletas de cobre recubiertas con níquel/níquel negro con y sin SiO₂. Los recubrimientos de níquel y níquel negro fueron obtenidos mediante electrodeposición y la capa de SiO₂ por sol-gel y rocío pirolítico, los resultados se comparan con un colector construido con un recubrimiento selectivo comercial TiNOX. Los resultados muestran que el níquel negro con SiO₂ tiene una curva de desempeño cercana al colector construido con el recubrimiento comercial. El recubrimiento de níquel negro con SiO₂ fue obtenido por técnicas de bajo costo lo cual pudiera ser atractivo para las empresas dedicadas a la construcción de colectores solares.

PALABRAS CLAVE: electrodeposición, colector solar plano, superficies selectivas.

ABSTRACT

This work reports the performance of solar collectors built with nickel / black nickel coated copper fins with and without SiO₂. The nickel and black nickel coatings were obtained by electrodeposition, the SiO₂ layer by sol-gel and spray pyrolysis methods, the results are compared with a collector built with a commercial selective coating TiNOX. The results show that black nickel with SiO₂ have a near performance curve than the collector built with the commercial coating. The black nickel coating with SiO₂ was obtained by low cost techniques which could be attractive for companies dedicated to the construction of solar collectors.

KEYWORDS: electroplating, flat plate solar collector, selective surfaces.

INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente inagotable y limpia con la que cuenta el ser humano, una manera de aprovechar este recurso es mediante sistemas termosolares en los cuales la energía solar captada se transforma en calor útil. La energía termosolar es un tipo de energía que reduce la emisión de gases de efecto invernadero siendo considerada como un tipo de energía de gran potencial hacia la aplicación a gran escala para cubrir la demanda energética en los diversos sectores que la requieren. Este tipo de energía es aprovechada mediante colectores solares, los cuales son un intercambiador de calor donde la energía solar captada es transferida hacia el fluido caloportador para ser aprovechada posteriormente. Los colectores solares de uso doméstico típicamente operan entre los 25-85 °C siendo los sistemas planos los de una arquitectura simple y económica de construir (García-Valladares y Figueroa, 2017). Actualmente el mercado de los colectores solares de baja temperatura es muy competido, pequeños cambios en la tecnología utilizada de elaboración de los colectores pueden ser un parteaguas en el balance costo-beneficio del colector.

La eficiencia de los colectores solares planos es mejorada mediante el empleo de películas absorbedoras del espectro solar las cuales tienen como principal función absorber el espectro visible e infrarrojo para transformarlo en calor útil. Un tipo de películas absorbedoras son las pinturas negras formuladas con pigmentos negros y resinas las cuales absorben gran parte del espectro solar, pero también absorben casi totalmente la radiación infrarroja de longitud mayor a 2.5 μm , lo cual no es conveniente para este tipo de sistemas debido a que incrementa sus pérdidas. El empleo de recubrimientos selectivos baja las pérdidas de los colectores debido a una menor absorción de la radiación infrarroja mayor a 2.5 μm , manteniendo una alta absorción del espectro solar debajo de este valor.

La arquitectura de los recubrimientos selectivos para aplicaciones termosolares consiste en un sustrato metálico en el cual se deposita una película reflectora de infrarrojo y sobre esta se deposita la película absorbidora y sobre esta una película antirreflejante que ayuda a incrementar su absorción del espectro solar. Entre los recubrimientos selectivos de mejores propiedades ópticas son los obtenidos por sputtering o por deposición física por vapor (PVD), lo cual los hace caros, además que estas buenas propiedades ópticas no garantizan una mejor eficiencia del colector solar cuando este es construido. Una alternativa a los recubrimientos obtenidos por técnicas de vacío son los electrodepositados los cuales tienen la ventaja de ser económicos en la síntesis.

El níquel negro es un material absorbedor apto para aplicaciones termosolares debido a la facilidad de síntesis por electrodeposición, su buena propiedad de absorción del espectro solar (α) y su baja emisión térmica (ϵ_{100}). Inicialmente fue el primer material propuesto por Tabor (Tabor, 1959) como absorbedor solar, sin embargo, dejó de ser utilizado debido a su baja resistencia a la humedad, relacionado con la presencia de sulfuros en la composición de este material. Posteriormente fue reportado un níquel negro con composición estable a la humedad y de buena resistencia térmica, este se obtiene de un baño de composición simple, lo cual simplifica su mantenimiento y maximiza el rendimiento de este baño. La adición de una capa antirreflejante basada en dióxido de silicio (SiO_2) sobre el absorbedor fue reportado por Lira y colaboradores (Lira-Cantú et al., 2005) la cual ayuda al recubrimiento de níquel negro a incrementar su absorción solar y protegerlo de la humedad, sin embargo, son escasos los reportes en los cuales caractericen colectores con níquel negro con este material antirreflejante. Este trabajo se enfoca en comparar la eficiencia de dos colectores solares basados en níquel-níquel negro con y sin SiO_2 con respecto a un colector construido con un material selectivo comercial TiNOX.

EXPERIMENTAL

Las propiedades de los recubrimientos fueron inicialmente optimizadas en placas de cobre de 16 cm^2 , posteriormente el tamaño del sustrato fue incrementado hasta llegar al tamaño de aletas de 2 m, tamaño adecuado usado en un típico colector solar. Las láminas de cobre fueron lijadas y posteriormente lavadas y enjuagadas en isopropanol, posteriormente fueron activadas en HCl diluido antes de ser electrodepositadas con níquel.

El níquel fue depositado de un baño tipo Watts modificado a -5 mA/cm^2 por un tiempo de 585 s, el valor de pH del baño fue 4.5 a temperatura de 25 °C. El níquel negro fue depositado de un baño basado en cloruro de níquel aplicando dos pulsos de corriente según lo reportado previamente en un trabajo por nuestro grupo (Lizama-Tzec et al., 2014). Se utilizó níquel como contra electrodo en ambos casos. Las condiciones de depósito y preparación fueron similares para las láminas de 16 cm^2 y las aletas de cobre. Las aletas de cobre son 12.7 cm de ancho por 195 cm de largo, tienen un área a recubrir de 2476 cm^2 .

Después de recubrir los sustratos con níquel-níquel negro se aplicó el dióxido de silicio nanoestructurada en espesor grueso (G) de 500 nm y delgado (D) de 300 nm. El dióxido de silicio nanoporoso fue obtenido por sol-gel usando 10 ml de tetraetoxisilano (TEOS) disuelto en 100 ml de etanol a 25 °C con agitación. Luego 4 ml de HCl a pH 4 fue agregado lentamente a la solución con TEOS. La película de dióxido de silicio fue formada sobre los sustratos aplicando la solución con TEOS mediante rocío pirolítico. Con la intención de modular el índice de refracción de la película de dióxido de silicio la película fue formada mediante sucesivas aplicaciones.

Los recubrimientos selectivos fueron caracterizados mediante un espectrofotómetro Avantes, modelo Avaspec 2048 con una esfera de integración modelo ISP-50-8- R-GT, con un rango espectral de 200 nm a 2500 nm. La reflectancia infrarroja fue medida con un espectrofotómetro FTIR Perkin Elmer (Frontier MIR/NIR) con una esfera de integración

de 2 a 15 μm . Las películas también fueron analizadas con un microscopio de barrido electrónico de emisión de campo (SEM) JEOL JSM-7600F. El espesor de la película se midió con un perfilómetro KLA-Tencor D-120.

RESULTADOS

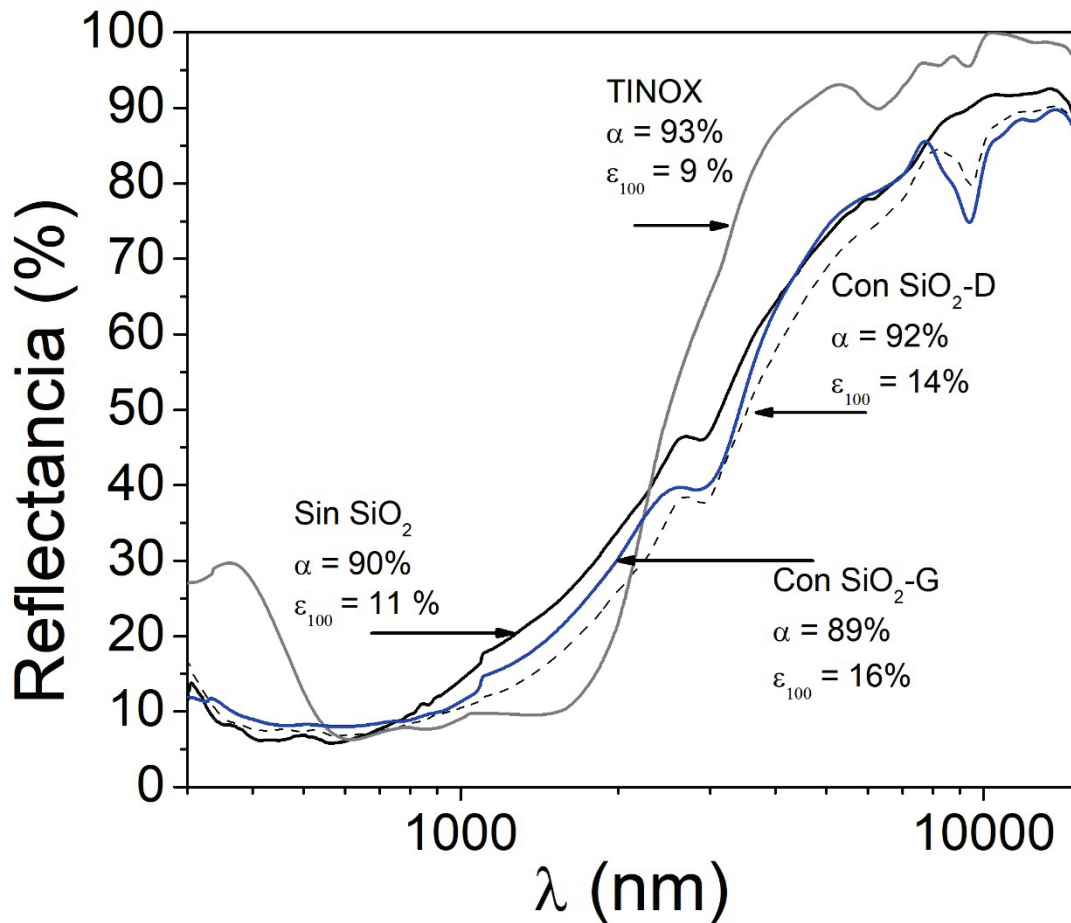


Figura 1. Curvas de reflectancia medidas a los recubrimientos selectivos usados para construir colectores.

La Figura 1. muestra las curvas de reflectancia obtenidas de los recubrimientos selectivos utilizados para la construcción de colectores solares. El recubrimiento de níquel negro con dióxido de silicio delgada (SiO_2 -D) muestra incremento en la absorptancia solar, con un ligero incremento en la emitancia térmica respecto al recubrimiento sin dióxido de silicio, en el caso del recubrimiento de níquel negro con dióxido de silicio grueso (SiO_2 -G), se observó una disminución de la absorptancia solar e incremento de la emitancia térmica. En el caso del recubrimiento basado en TiNOX se puede notar mejor absorptancia solar y emitancia térmica más baja característico de este tipo de recubrimientos. Para las películas con dióxido de silicio se puede notar una banda de absorción aproximadamente a $9 \mu\text{m}$ la cual es relacionada con la vibración del grupo Si-OH. En general se puede decir que las propiedades del recubrimiento mejoran mediante la adición de la película antirreflejante.

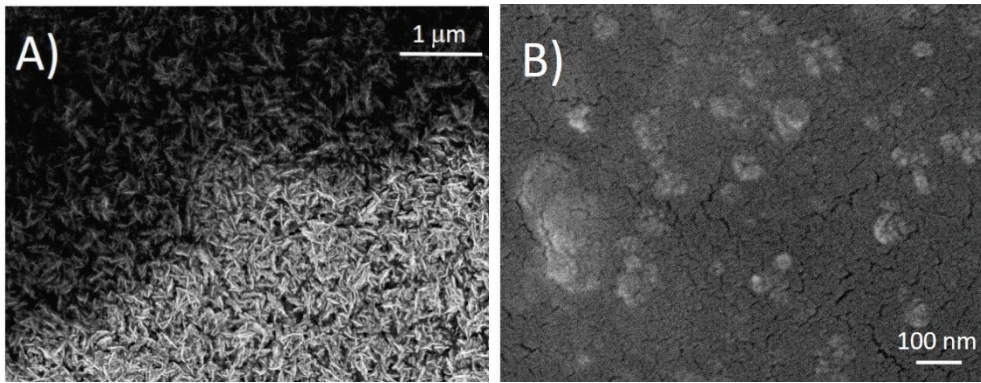


Figura 2. A) Imagen de SEM obtenida para un recubrimiento de níquel negro con SiO₂ delgado. B) Imagen de SEM para un recubrimiento de níquel negro con película gruesa de SiO₂

La Figura 2. A) muestra la imagen de SEM obtenida sobre un recubrimiento de níquel negro. Para poder notar el recubrimiento de SiO₂ la imagen se tomó en una zona en la cual la imagen permita apreciar la mitad de la imagen hacia arriba recubierta con SiO₂ delgado de 300 nm. En la interfaz se puede apreciar dos zonas, la más oscura corresponde a el recubrimiento de SiO₂ sobre el níquel y la zona más clara corresponde a la morfología observada del níquel negro. La morfología del níquel negro consiste en hojas nanoestructuradas orientadas hacia el sustrato, se puede apreciar que entre las hojas existe vacíos de tamaño nanométrico los cuales se asumen que son parcialmente llenados con SiO₂ debido a que el espesor del níquel negro es de aproximadamente 215 nm en promedio. La Figura 2 B) muestra la superficie de una película de SiO₂, la cual, fue depositada con un espesor grueso de 500 nm, en ella se puede apreciar como la película de níquel fue totalmente cubierta y también la presencia de algunas partículas de SiO₂ de diversos tamaños, estas características ayudan a modificar el índice de refracción. Por otro lado, para películas gruesas, se observó en las mediciones de reflectancia, como se mantuvo la absorbancia solar y la aparición de bandas relacionadas con las bandas de absorción del Si-OH a 9 μm.

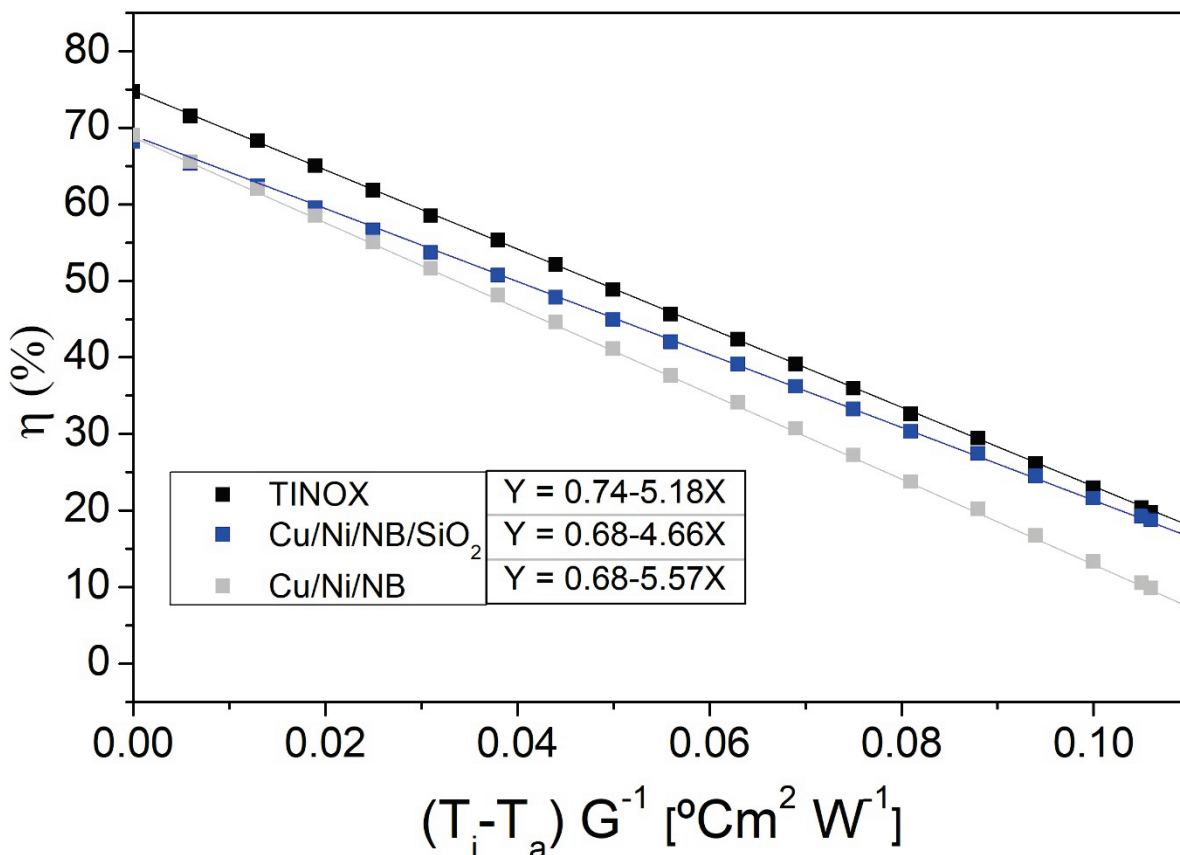


Figura 3. Curvas de desempeño de los colectores solares construidos con los recubrimientos selectivos.

La Figura 3 muestra las curvas de caracterización de los tres colectores construidos con los recubrimientos selectivos. De los tres colectores el de mejor desempeño fue el del colector con TiNOX, asociado a la más alta absorción solar, sin embargo, la Figura muestra que el colector con el SiO₂ tiene un mejor desempeño con respecto al colector de níquel negro además de tener un desempeño cercano al colector con TiNOX., lo cual es asociado a la menor pérdida de este colector. Es interesante por resaltar las menores pérdidas que el colector muestra, lo cual ocasiona que la curva de desempeño de este colector se traslape con el del colector con TiNOX a un valor de $T_i - T_a$ G⁻¹ de 0.1, lo cual implica que el colector con SiO₂ puede tener igual desempeño que el colector con TiNOX lo cual indica que el recubrimiento electrodepositado pudiera ser un recubrimiento que sustituya al TiNOX en este rango de temperatura de aplicación.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha comparado el desempeño de dos tipos de colectores solares, aquellos construidos con recubrimientos selectivos electrodepositados y uno comercial. Los resultados de reflectancia en las películas muestran que existe un valor máximo del espesor del depósito en la cual, la película de dióxido de silicio tiende a mejorar la absorción luego de ese valor, también la película tiende a incrementar la reflexión en el rango solar e incrementar la emitancia debido al aumento de la banda de absorción asociada a la vibración del grupo Si-OH, el cual se traslapa con el espectro de emisión del cuerpo negro a baja temperatura. El mejor desempeño del colector con níquel negro con dióxido de silicio fue asociado a menores pérdidas según lo muestra la curva de regresión lineal para este colector.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Sustentabilidad Energética, CONACYT-SENER, y al IER-UNAM por apoyos a través del Centro Mexicano para Innovación en Energía Solar (Cemie-Sol) proyecto P-81.

REFERENCIAS

- García-Valladares, O., Figueroa, I.P., 2017. Aplicaciones térmicas de la energía solar.
- Lira-Cantú, M., Morales Sabio, A., Brustenga, A., Gómez-Romero, P., 2005. Electrochemical deposition of black nickel solar absorber coatings on stainless steel AISI316L for thermal solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 87, 685–694.
- Lizama-Tzec, F.I., Macías, J.D., Estrella-Gutiérrez, M.A., Cahue-López, A.C., Arés, O., de Coss, R., Alvarado-Gil, J.J., Oskam, G., 2014. Electrodeposition and characterization of nanostructured black nickel selective absorber coatings for solarthermal energy conversion. *J. Mater. Sci. Mater. Electron*, 26, 5553–5561.
- Tabor, H., 1959. US Patent 2917817.