

Resumen

La propuesta de uso de sustratos cerámicos, tipo baldosa, como parte de un sistema fotovoltaico integrado y de almacenamiento de energía para edificaciones resulta muy interesante desde la perspectiva de generar edificios autosustentables energéticamente, reducir el consumo de combustibles fósiles y la correspondiente huella de carbono. La fabricación de sustratos cerámicos con superficies funcionalizadas con celdas solares y supercapacitores es aún limitada. Los principales inconvenientes están relacionados con la falta de conductividad y alta rugosidad superficial que presentan este tipo de sustratos.

En esta tesis se propone la fabricación de celdas solares del tipo unión p-n y de electrodos híbridos para su uso en supercapacitores sobre la superficie metalizada de un sustrato cerámico utilizando métodos de inmersión y electrodeposición. Siendo el principal objetivo el diseño y fabricación sostenible de materiales cerámicos multifuncionales para la generación y almacenamiento de energía eléctrica de baja potencia.

Se ha evaluado el efecto de las condiciones de activación del catalizador de paladio en el proceso de metalización del sustrato cerámico por reducción química autocatalítica (*electroless*) del recubrimiento de Ni-Mo-P, así como la aplicación o no de tratamientos térmicos posteriores. También se estudia, sobre dos tipos de sustratos, incluyendo el sustrato cerámico metalizado, el comportamiento electroquímico que presenta la combinación de un polímero conductor (polipirrol) y un material a base de carbono (óxido de grafeno) para fabricar un electrodo híbrido para su uso en un supercapacitor, al igual que el comportamiento fotoeléctrico que muestra el óxido de zinc y el óxido cuproso en la fabricación de una celda solar del tipo unión p-n.

Para la determinación de la composición química se ha utilizado difracción de rayos X (*XRD, X Rays Diffraction*). El análisis estructural se realizó mediante espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (*FTIR, Fourier transform infrared spectroscopy*) y Raman. Se ha utilizado microscopía electrónica de barrido (*SEM, Scanning Electron Microscope*) para el estudio morfológico, la determinación del espesor y análisis químico elemental. La rugosidad fue determinada por microscopía de fuerza atómica (*AFM, Atomic Force Microscope*).

Las propiedades mecánicas, módulo elástico y dureza, fueron determinadas mediante nanoindentación, mientras que las eléctricas fueron determinadas por el método del efecto Hall. La adherencia del recubrimiento al sustrato se determinó mediante la medición de la fuerza de adhesión. La caracterización electroquímica se realizó mediante voltametría cíclica (*CV, cyclic voltammetry*) y ciclabilidad. La determinación de las propiedades fotoeléctricas se realizó mediante simulación solar.

Los resultados obtenidos muestran que las condiciones de activación del catalizador de paladio y la aplicación de un tratamiento térmico producen cambios en las características morfológicas y en las propiedades mecánicas, eléctricas y de adherencia del recubrimiento de Ni-Mo-P. Condiciones de activación altas (400 °C por 24 h) y la aplicación de un tratamiento térmico en atmósfera de aire producen una influencia negativa en las propiedades eléctricas del recubrimiento, pero mejoran su adherencia. Se consigue un balance entre las propiedades eléctricas, mecánicas y de adherencia del recubrimiento de Ni-Mo-P con condiciones bajas de activación del catalizador (300 °C por 12 h).

La combinación de polipirrol y óxido de grafeno en la fabricación del electrodo híbrido del supercapacitor, sobre los sustratos de fibra de carbono y el cerámico metalizado, muestra un comportamiento electroquímico. Se determina que existe una mejora en el crecimiento del polipirrol con la adición de óxido de grafeno reducido. En el electrodo fabricado sobre el sustrato de fibra de carbono se observa que al incrementar la carga de estos materiales existe un efecto positivo en las propiedades electroquímicas finales, siendo más significativa la del polímero conductor. Por otra parte, en el electrodo sobre el sustrato cerámico metalizado se determina un incremento de las propiedades electroquímicas del electrodo al reducir químicamente el óxido de grafeno. Los electrodos presentan una ciclabilidad a largo plazo.

La celda solar del tipo unión p-n de Cu₂O/ZnO fabricada sobre el sustratos de vidrio conductor presenta cambios en la estructura y morfología de la capa de ZnO dependiendo del tipo de electrolito

utilizado para el proceso de electrodeposición, la adición de óxido de grafeno y la aplicación de tratamientos térmicos. Además, con la inclusión de una capa tampón de ZnO o de óxido de grafeno en la interfase Cu₂O/ZnO se consigue una mejora en el crecimiento de la capa de Cu₂O y se produce una influencia positiva en el comportamiento fotoeléctrico de la celda solar. Sin embargo, la adición de óxido de grafeno en la estructura de la celda solar no produce cambios muy significativos. En este mismo sentido, las propiedades fotoeléctricas de la celda solar fabricada sobre el sustrato cerámico conductor presentaron una dependencia con la estructura superficial del recubrimiento de Ni–Mo–P y con las condiciones de electrodeposición de la capa de ZnO. Las celdas solares presentan considerables propiedades fotoeléctricas comparables con la literatura.

Finalmente, se ha conseguido obtener un sustrato cerámico multifuncional con propiedades de generación y almacenamiento de energía eléctrica mediante la metalización del sustrato cerámico por el proceso de reducción química autocatalítica y la combinación de materiales como polipirrol, óxido de grafeno, óxido de zinc y óxido cuproso. Las propiedades fotoeléctricas y electroquímicas obtenidas son comparables con las que se reportan en literatura, lo que resulta prometedor para trabajos futuros.