

DISPOSITIVO DE PULVERIZACIÓN CATÓDICA CON MEDIO DE MAGNETRÓN DUAL

CAMPO DE LA INVENCION

La presente divulgación se encuentra en el campo de la ingeniería mecánica. Mas específicamente, al campo de dispositivos de pulverización catódica en un sistema de vacío.

ANTECEDENTES

En la actualidad existen diversas técnicas de recubrimientos de capas finas sobre diversos materiales, como la evaporación por arco, plateado iónico y pulverización catódica, con la finalidad de mejorar sus propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas o mecánicas. Este tipo de técnicas se caracterizan por evaporar un determinado cátodo (metal a evaporar) e ionizar un gas neutro para producir plasma y depositar los iones removidos del cátodo en un determinado sustrato (material a recubrir) ganando las propiedades del cátodo.

La tasa de recubrimientos de la técnica de pulverización catódica suele ser más lenta en comparación con otras técnicas de recubrimientos como el plateado iónico y el arco catódico, por lo cual ha tenido una serie de desarrollos que le permiten ser más eficiente y lograr tasas de recubrimientos más altas. Entre las mejoras que ha tenido esta técnica está la implementación de campos magnéticos como trampa energética de electrones para procesos de ionización a baja presión.

Últimamente se han realizado y retomado experimentos e investigaciones alrededor de esta técnica, como la implementación de ánodos rotatorios para la formación de plasmas giratorios (Boeuf, J. and Chaudhury, B. (2013). Rotating Instability in Low-Temperature Magnetized Plasmas. Physical Review Letters, [online] 111(15), pp.155005-2.), también se han hecho desarrollos en la técnica de High Power Impulse Magnetron Sputtering (R-HiPIMS). Ésta técnica consiste en aplicar pulsos de alta tensión (1,2 kV) y grandes densidades de corriente (60 A) con un ancho de pulso de 400 μ S dentro de una configuración del campo magnético desbalanceado, con alto grado de ionización del metal pulverizado (Anders, A. (2017). Tutorial: Reactive high power impulse magnetron sputtering (R-HiPIMS). Journal of Applied Physics, [online] 121(17), p.171101.) y finalmente se ha diseñado un magnetrón dual desequilibrado con un solenoide, que permite al cambiar la intensidad y la dirección de la corriente de la bobina, lograr un crecimiento del plasma en una descarga en argón (Engström, C., Berlind, T., Birch, J., Hultman, L., Ivanov, I., Kirkpatrick, S. and Rohde, S. (2000). Design, plasma studies, and ion assisted thin

film growth in an unbalanced dual target magnetron sputtering system with a solenoid coil. Vacuum, [online] 56(2), pp.107-113.).

En general, métodos de recubrimiento de capas delgadas abarca enfoques como la evaporación por arco, la deposición iónica y la pulverización catódica, todos destinados a mejorar las propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas o mecánicas de diversos materiales. Sin embargo, surge una limitación notable en la técnica de pulverización catódica, donde la velocidad de recubrimiento tiende a ser relativamente lenta en comparación con otros métodos de recubrimiento alternativos. En consecuencia, existe una necesidad apremiante no satisfecha de desarrollar sistemas y metodologías avanzadas que aprovechen los principios de evaporación y deposición de átomos dentro de un campo magnético.

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con dispositivos de pulverización catódica mediante magnetron dual, dentro de las que se encuentra el documento US4624767, el cual se relaciona con un aparato de pulverización catódica que incluye un electrodo de grabado por pulverización catódica en el que se monta un sustrato en una cámara de tratamiento al vacío y otro electrodo opuesto al electrodo de grabado por pulverización catódica. El otro electrodo está en condición de flotación eléctrica; es decir, está eléctricamente aislado del contacto con la estructura de la cámara y de la conexión directa con la fuente de energía. El plasma generado está confinado entre los dos electrodos. Se puede generar un campo magnético anular rodeando el espacio que confina el plasma para concentrarlo aún más.

En este documento se describen dos imanes los cuales se encuentran dispuestos opuestos el uno del otro dentro de la cámara de vacío y dos electrodos respectivamente ubicados sobre los imanes respectivamente.

Sin embargo, la invención definida en dicha anterioridad, aunque puede contener algo relacionado con magnetron dual, en esta invención el sustrato y el porta sustrato esta fijos y la ubicación no puede modificarse.

De otra parte, se encuentra el documento US20040094412. En la divulgación se revela una cámara de vacío que tiene una entrada de gas de descarga y una salida de gas de descarga, un soporte de sustrato que está instalado dentro de la cámara de vacío, una unidad de circuito magnético, que incluye un electrodo objetivo instalado enfrente del sustrato y un magnetron fijado en una superficie trasera del electrodo objetivo y que está dirigido hacia el soporte del sustrato, dicho soporte de sustrato permite ajustar la distancia entre el electrodo objetivo y el centro del soporte del sustrato. En consecuencia, en el aparato de pulverización catódica con magnetron de la presente invención, se mejora la uniformidad de una película delgada obtenida gracias a la configuración descrita.

No obstante, la invención definida en esta anterioridad no revela en detalle la disposición específica de los imanes, así como la necesidad de tener dos imanes y la disposición de los mismos con respecto a la cámara de vacío.

Por otro lado, se expone el documento US20100175988 que se relaciona con técnicas para reducir la asimetría de tensiones en películas policristalinas pulverizadas. En ciertas realizaciones de esta anterioridad, se proporcionan aparatos de pulverización catódica que incluyen uno o más escudos no conductores sustancialmente verticales, ayudando dichos escudos a reducir el componente oblicuo del flujo de material de pulverización catódica, promoviendo así un crecimiento de cristales más simétricos. En ciertas realizaciones de esta invención, la diferencia entre la tensión de tracción en la dirección de desplazamiento y la tensión de tracción transversal de la película pulverizada se encuentra entre menos de aproximadamente 15%, más preferiblemente menos de aproximadamente 10% y aún más preferiblemente menos de aproximadamente 5%.

Si bien este documento se describe uno o varios imanes superiores los cuales se encuentran dispuestos dentro de la cámara de vacío y dos electrodos, en esta invención el sustrato y el porta sustrato están fijos y la ubicación no puede modificarse.

A partir de la información anterior, se puede inferir citando los documentos existentes en el estado del arte que existen invenciones relacionadas con dispositivos de pulverización catódica, con porta sustrato ajustables y con escudos para reducir el componente oblicuo del flujo de material de pulverización catódica.

De acuerdo con la información anterior, es claro para el experto en la materia que en el estado del arte existe una necesidad por diseñar e implementar dispositivos de pulverización catódica mediante magnetron con porta sustrato ajustables que optimice los sistemas y metodologías de evaporación y deposición de átomos dentro de un campo magnético.

SUMARIO DE LA INVENCION

El objeto de la presente divulgación corresponde a un dispositivo de pulverización catódica mediante magnetron dual.

Según una característica de una realización de la presente invención, se proporciona un equipo de vacío que incluye bomba de vacío que opera entre una presión de 2 mbar hasta 1×10^{-3} mbar y que su presión de trabajo se define 1×10^{-2} mbar; donde la regulación de la presión de vacío se realiza mediante una válvula reguladora, donde la presión se mide por un equipo de medición de presión; y la tubería de conexión del equipo de vacío corresponde a una tubería aislante para evitar el arco que se pueda generar entre el cátodo y el ánodo.

Según una característica de una realización de la presente invención, se proporciona una cámara de vacío que está fabricada en vidrio que puede ser fabricado en borosilicato que debe tener al menos un espesor de 4mm; donde dicha cámara tiene aberturas superiores e inferiores; donde en la parte superior e inferior de dicha cámara se implementó un sellante de alta temperatura que corresponde a una siliconada de alta temperatura, que permite su uso como empaque de vacío y permite el sello entre la cámara de vacío y el imán; dicha abertura inferior está en contacto con imán que a su vez está en contacto con la base de la cámara en la que se dispone un o 'ring que permite el sellado de la unión entre el imán y la base inferior cámara de vacío por la parte inferior; dicha base de cámara incluye un agujero central que conecta al sistema de vacío y que permite que se genere un vacío en dicha cámara; dicha base de cámara se fabrica en un polímero de alta densidad para aislar el ánodo con el cátodo; en el interior de la cámara se ubica un sistema de porta sustrato el cual es ajustable en altura; donde cada extremo del vástago esta roscado, para sostener el porta sustrato, el cual también es roscado y el otro extremo también es roscado para asegurar el cable del ánodo que tiene un terminal anular.

Según una característica de una realización de la presente invención, se proporciona una fuente de alta tensión DC donde el voltaje de ruptura de los sistemas de pulverización catódica de 3 kV y corrientes máximas aproximadas a 550 mA que incluye:

- Un transformador elevador de alta tensión con potencia nominal de 1,2 kW;
- Un Autotransformador de 10 A y potencia nominal de 1,2 kW;
- Un puente rectificador a diodos de alta tensión en paralelo, utilizan diodos de 350 mA conectados en paralelo para que la corriente se distribuya y poder obtener cerca de 550mA en total;
- Un banco de capacitores se implementó como filtro de la señal de salida de la fuente de alta tensión, cada capacitor soporta una tensión de 2,1 kV y tiene una capacitancia de 0,8 μ F se conectan dos en serie y otros 7 en paralelo para obtener una capacidad equivalente a 2.8Mf;
- Una sonda de medición, para medir los voltajes se utiliza un osciloscopio con su respectiva sonda que amplifica la señal; y
- Medios de medición que se seleccionan de voltímetros de alto voltaje y amperímetros para medir la corriente continua;

Donde dicha fuente está conectada directamente al ánodo y al cátodo donde el cátodo corresponde a un cátodo de cobre.

Según una característica de una realización de la presente invención, se proporcionan dos imanes de ferrita, cilíndricos huecos los cuales tiene 12cm de

diámetro externo, 6 cm de diámetro interno y 2 cm de espesor ubicados en la parte inferior y superior de dicha cámara de vacío.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las características y ventajas anteriores y otras de la presente invención resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica mediante la siguiente descripción detallada de realizaciones ejemplares de la misma con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

FIG. 1 ilustra un esquemático del dispositivo de pulverización catódica mediante magnetrón dual de la presente invención.

FIG. 2 y 3 ilustran unas mediciones al magnetrón dual con un sensor tangencial graficadas con el software Matlab.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El problema de cómo obtener una evaporación y depreciación de átomos sobre un material a través de un campo magnético para inducir una excitación de los átomos es resuelto por un dispositivo con un campo magnético superior e inferior que realiza la evaporación de los átomos y realiza depreciación de estos de forma uniforme para obtener un recubrimiento a su vez más uniforme que en dispositivos del estado del arte.

Por lo anterior, la implementación de la divulgación relaciona un dispositivo de pulverización catódica con medio de magnetrón dual y la conexión entre la fuente y el sistema de vacío. El presente dispositivo de magnetrón dual comprende un sistema de vacío, una fuente de alta tensión y un sistema para la aplicación de campo magnético.

El funcionamiento del sistema de vacío inicia desde la bomba mecánica, que se encarga de extraer los componentes presentes del aire (Oxígeno, Argón, Nitrógeno) dentro de una cámara de vacío, hasta alcanzar la presión deseada. La presión debe estar al menos en 2mbar para que se dé inicio a la excitación del material a evaporar y debe llegar a un mayor vacío para que se dé inicio a la excitación del material a evaporar y debe llegar a un mayor vacío.

La fuente de alta tensión DC del magnetrón dual tiene potencias de evaporación al menos de 160 W para generar la ionización, la cual es lenta y puede aumentar la rapidez de ionización aumentando la potencia, que en este diseño llega a 300 W y la potencia que genera el arco empieza a los 175 W, hasta los 350 W para aumentar la temperatura de un cátodo (de preferencia de cobre) y producir un flujo de electrones provenientes de su superficie a causa del efecto termoiónico. En ese

instante se aplica un campo eléctrico intenso que ioniza el vapor del metal pulverizado y se produce a partir de la excitación y des-excitación de los electrones con carga (iones), una descarga luminiscente o plasma “Glow Discharge”. Cabe aclarar, que la descarga “Glow” se determina en función del cátodo y que las potencias de evaporación y de arco no son las mismas para todo tipo de cátodos; además las descargas “Glow” a menudo sin campos magnéticos, se producen a tensiones elevadas y bajas corrientes de ionización.

El sistema convencional utiliza un campo magnético, sobre el material a evaporar, que genera una fuerza magnética para facilitar el desprendimiento de los átomos del blanco, pero este campo aplicado no es simétrico por la forma que tiene el magneto, que son cilíndricos; esa fuerza magnética cambia de magnitud y dirección cuando se aleja del material, disminuye su magnitud y se dispersa la dirección. Estas evaporaciones producen trayectorias del plasma con características similares a su origen y dispersan el recubrimiento sobre el sustrato, con un perfil que no es uniforme.

Para lograr homogenizar el resultado se establece un campo magnético más uniforme en la posición del sustrato, donde se produce el recubrimiento, para lo cual la aplicación campo magnético dual presenta una configuración geométricamente uniforme del campo magnético, con esta distribución el plasma atrapado en el campo magnético es redireccionado a la muestra únicamente y no se dispersa. Dicha configuración se logra con posicionar dos imanes cilíndricos huecos axialmente y con polaridades magnéticas opuestas para cerrar las líneas de campo magnético del imán superior e inferior y establecer un campo magnético uniforme en la región de interés (donde se posiciona el sustrato).

La implementación preferente de la presente divulgación ilustra dos imanes cilíndricos huecos, opcionalmente de ferrita, con un radio externo R , un radio interno r y una altura L . Se implementa uno en la parte externa superior de la cámara de vacío, donde está el cátodo, y el otro imán se ubica paralelamente en la parte inferior de la cámara. La posición del sustrato debe ser justo en medio de la distancia entre los dos imanes y la distancia de separación de los imanes se determina teóricamente con modelos matemáticos, caracterizando previamente los imanes a utilizar, acorde a esta distancia se configura los extremos de la cámara.

Para evaluar la distribución del campo magnético del magnetron dual, se implementan modelos matemáticos que se determinan a partir de la ley de Biot-Savart y el potencial magnético para los imanes de ferrita huecos cilíndricos.

Técnicamente un pulverizador catódico con un magnetron genera un plasma que se dispersa espacialmente, con intensidades de distribución gaussiana cuando llega al sustrato, es decir el recubrimiento obtenido no tiene un espesor uniforme en toda la muestra; esta distribución es más dispersa cuando la distancia target-sustrato aumenta. Con el magnetron dual, se obtiene un efecto o una ventaja técnica la cual es que se corrige esta respuesta, obteniendo una distribución más uniforme, que

para diferentes aplicaciones las propiedades morfológicas brindan una mejor respuesta. Otro valor agregado significativo es la operatividad del magnetron dual, es externo, lo que permite disminuir el efecto del calor sobre los magnetos, conservando sus propiedades magnéticas y descartando un sistema de enfriamiento interno que técnicamente es más exigente su fabricación.

Las medidas del equipo se escalan a menores valores de los convencionales, usualmente tienen medidas de al menos 60 cm X 60 cm X 60 cm. Este equipo puede reducirse a 25 cm X 25 cm X 25 cm, que lo hace más versátil en su manipulación y costos, pero los otros complementos como bomba mecánica y sensores seguirán siendo los mismos.

Ensayo

Para ejemplificar la implementación de la divulgación, se realiza el siguiente ensayo, ilustrado en la Fig. 1, con el dispositivo de pulverización catódica con medio de magnetron dual (100). El ensayo es una prueba de deposición.

Para una prueba de deposición se coloca el sustrato de vidrio en el portasustrato (160) en el interior de la cámara de vacío (170), se enciende la bomba mecánica (190) y se ajusta la presión a 1×10^{-2} mbar con la válvula reguladora (195) de presión. Luego se regula la tensión hasta 0,8 kV. En el interior de la cámara se ubica un sistema de portasustrato (160) el cual es ajustable en altura; donde cada extremo del vástago esta roscado, para sostener el porta sustrato, el cual también es roscado y el otro extremo también es roscado para asegurar el cable del ánodo que tiene un terminal anular.

Adicionalmente, se implementan dos imanes cilíndricos huecos de ferrita (140 y 150), con un radio externo R de 6 cm, un radio interno r de 3 cm y una altura L de 2 cm. Se instalan dos de estos imanes en la parte externa de la cámara de vacío (170). Los imanes se ubican paralelamente en la parte superior del cátodo (130) y en la parte inferior del portasustrato (160).

Caracterización del magnetron dual con un sensor tangencial:

Se realizan mediciones al magnetron dual con un sensor tangencial y las mediciones resultantes se grafican con un software, en este caso, en Matlab. Como se aprecia en la Fig. 1 y 2, en una región comprendida entre 3,5 cm a 12 cm en el eje axial y en un radio comprendido entre 1 cm a 4 cm el campo magnético es uniforme con una magnitud en promedio entre 9,85 y 10 mT con una desviación estándar experimental de $\pm 2,77$.

Caracterización del nanorecubrimiento obtenido del sistema de pulverización catódica con medio de magnetrón dual

Al ajustar la presión de vacío en 1×10^{-2} mbar y la tensión de la fuente en 0,8 kV en un tiempo de 6 minutos, la corriente medida durante la prueba de deposición llegó a 200 mA. Se realizó la caracterización del recubrimiento de la muestra, siendo un análisis de espesor con un perfilómetro, usando un diamond-tipped stylus, con resolución de 1 nanómetro. El software del perfilómetro dio como resultado que el nanorecubrimiento obtuvo un espesor final de 516 nm. la tasa de deposición calculada es de 1,4 nm/s a partir de la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ deposición = \frac{Espesor\ del\ recubrimiento}{Tiempo\ de\ deposición}$$

El recubrimiento de la muestra tiene la propiedad característica del cobre, que es la continuidad eléctrica a partir de la medición de continuidad realizada con un multímetro. La prueba consiste en medir con un multímetro el parámetro de continuidad eléctrica, si el multímetro marca 1 no hay continuidad. Por el contrario, si marca 002 o 001 tiene continuidad.