

O

ptimización de parámetros de deposición de capas delgadas de cobre utilizando diseño de experimentos

Nazanin Shirkavand

Licenciada de ciencia e ingeniería de los materiales por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

nazshirkavand@gmail.com

Introducción

Una investigación, denominada *Optimización de parámetros de deposición de capas delgadas de cobre utilizando diseño de experimentos* y desarrollada en el Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA), de la Universidad de Costa Rica, tuvo como objetivo poder encontrar la relación de los parámetros del magnetrón (presión, potencia y tiempo) con el grosor de formación de las capas delgadas de cobre. Se utilizó el método estadístico de 2^K (donde K es el número de parámetros por utilizar en la investigación) y se encontró el número posible de combinaciones con los tres parámetros del magnetrón, para luego llevar a cabo las deposiciones y posteriormente las mediciones en el microscopio de fuerza atómica (AFM).

Como producto de la investigación se pudo determinar que los tres parámetros del magnetrón son importantes al formar las capas delgadas; dicho de otra forma, al variar ya sea la presión, la potencia o el tiempo, el espesor de la lámina delgada de cobre se modifica. Además se determinó que la potencia y el tiempo presentaron un comportamiento similar, ya que al aumentar el valor de estos, ayudaba al aumento del grosor de la capa delgada de cobre, situación que no fue igual para la presión.

Para el caso de la presión se encontraron dos comportamientos en la formación del espesor de las capas delgadas de cobre. Cuando la presión era máxima (30 miliTORR) y el

tiempo era mínimo (15 segundos) la deposición era menor, en comparación con una presión menor (15 miliTORR) y un tiempo mínimo (15 segundos), donde la deposición de la capa delgada era mayor. Esto se debe a que las partículas que se desean depositar se ven afectadas por el camino libre medio que debe realizar la partícula cuando se tienen presiones altas, la partícula debe de recorrer un distancia mayor hasta llegar al sustrato en un tiempo corto ya que la nube de plasma es mucho más grande por lo que la deposición es menor.

Funcionamiento del magnetrón

Para fabricar capas delgadas se puede utilizar la técnica de "sputtering". Esta permite realizar deposiciones de diferentes materiales y distintas composiciones, como por ejemplo de óxidos, que en otros sistemas sería más complicado realizarlas.

Entre los diferentes equipos que existen para realizar deposiciones de capas delgadas está el magnetrón. Este tiene un sistema de dos discos metálicos que funcionan como un reactor capacitivo (Ver figura.1). Según Abella (2003) en un reactor capacitivo uno de los electrodos metálicos suele estar conectado a tierra, mientras que el otro, el electrodo activo, se encuentra conectado a una fuente de potencia. Para que el sistema de estos dos discos me-

tálicos funcione como un conjunto de capacitores, primero se debe de llevar al vacío en la campana, que es donde el sistema se encuentra, el vacío es de alrededor de $3,6 \times 10^{-6}$ TORR; esto nos garantiza una evacuación de impurezas necesaria para la formación posterior del plasma.

Una vez logrado el vacío correcto se procede a inyectar gas al sistema (este suele ser un gas inerte de masa elevada) con el objetivo de aumentar la transferencia del momento cinético a los átomos del blanco, lo que convierte al argón en el gas más utilizado para dicha técnica, ya que cumple con las características descritas con anterioridad.

Una vez que en el sistema capacitivo hay gas, se aplica la potencia a este, con el fin de poder ionizar las partículas de argón y formar plasma, para que ocurra el "sputtering".

El plasma, según Abella (2003), tiene la función de un bombardeo intenso de un material con los iones producidos en una descarga eléctrica en forma de plasma. Cuando la energía de los iones incidentes es suficientemente elevada, la interacción con la superficie del material a través del intercambio del momento cinético hace que los átomos de la superficie sean arrancados, para pasar a la fase vapor y finalmente ser adherido al sustrato que para efectos de esta investigación fue vidrio. Ver figura 2.

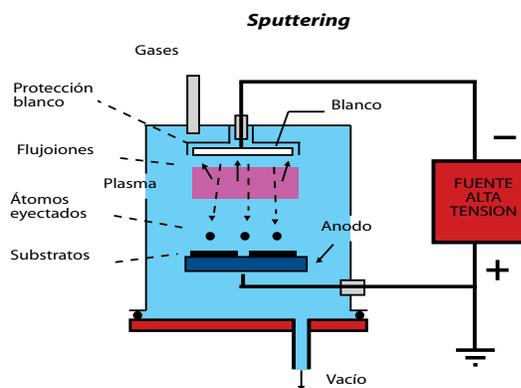


Figura 1: Sistema completo del magnetrón tomada 2/9/2011.

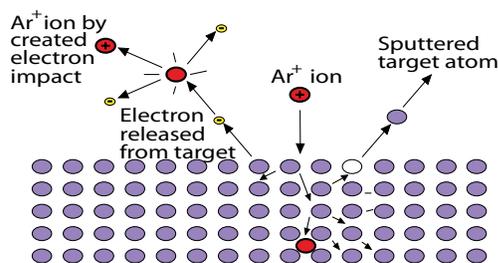


Figura 2: Proceso de bombardeo de las partículas contra la superficie del blanco, tomada 2/9/2011.

Análisis de resultados

Graficación de los valores de espesores obtenidos

A continuación se presenta una serie de gráficas que demuestran el comportamiento de las diferentes deposiciones de capas delgadas de cobre que se realizaron en el magnetrón.

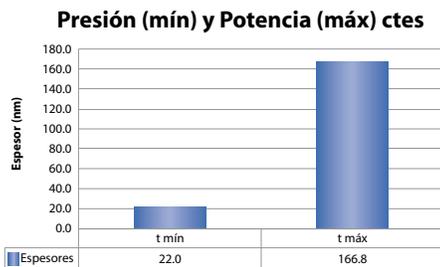


Figura 3. Comparación de resultados obtenidos con diferencia de tiempos para presión mínima (15 mTORR) y potencia máxima (100 watts).

En la figura 3 se observa el comportamiento del espesor de las capas delgadas de cobre cuando el tiempo varía en rangos de 15 segundos (tiempo mínimo) a cinco minutos (tiempo máximo). Para el caso del tiempo mínimo se obtuvo menor deposición en comparación con las capas que tuvieron un mayor tiempo de deposición.



Figura 4. Comparación de resultados obtenidos con diferencia de presiones para tiempo máximo (5 minutos) y potencia máxima (100 watts).

Como se observa en la figura 4, el comportamiento del espesor aumenta al subir los valores de los tres parámetros; no obstante, esta situación no se da cuando el tiempo que se utiliza es mínimo y la potencia y presión son máximas, como se presenta en la figura 5.

En la figura 5 se observa que al aumentar la presión no se obtiene un mayor espesor de la capa, como ocurrió en el caso anterior (figura 4), sino que más bien sucede lo contrario; esto se debe a que al aumentar la presión del argón, se aumenta la concentración del plasma que rodea al blanco. Los

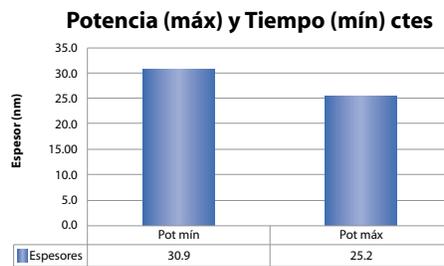


Figura 5. Comparación de resultados obtenidos con diferencia de presiones para tiempo mínimo (15 segundos) y potencia máxima (100 watts).

átomos al ser expulsados del blanco tienen que atravesar este plasma antes de alcanzar el sustrato. A mayor concentración del plasma, mayor número de choques entre los átomos y el plasma, lo cual disminuye el ritmo de crecimiento de la capa delgada si el tiempo de deposición es muy bajo, como lo fue para el caso de esta investigación.

El tiempo de deposición no fue el suficiente para que un número grande de partículas recorrieran el camino libre medio entre la nube de plasma y el sustrato.

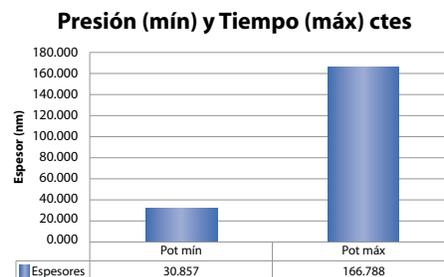


Figura 6. Comparación de resultados obtenidos con diferencia de potencias para tiempo máximo (5 minutos) y presión mínima (15 mTORR).

En la figura 6 podemos observar cómo el aumento de la potencia favorece a la formación de capas con mayor espesor, esto se debe a que la potencia es el producto de los voltios necesarios para crear el arco del plasma y la corriente iónica absorbida por el blanco. Al aumentar la potencia, se incrementa el ritmo de crecimiento ya que se desprende un mayor número de átomos del blanco.

Nuevamente se puede observar en la figura 7 que el aumento de la potencia favorece a la formación de capas delgadas con mayor espesor, en comparación con potencias menores.

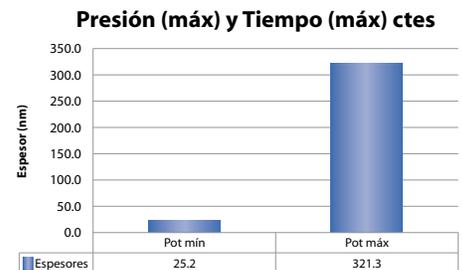


Figura 7. Comparación de resultados obtenidos con diferencia de potencias para tiempo máximo (5 minutos) y presión máxima (30 mTORR).

Conclusiones

- Los tres parámetros (presión, tiempo, potencia) son significativos, lo cual indica que la modificación del valor de presión, potencia o tiempo implicará modificaciones en la deposición.
- Los espesores de capas delgadas de cobre encontrados con los parámetros establecidos en la investigación estuvieron entre los rangos de 22 nm y 321 nm, respectivamente.
- Con las gráficas de espesores presentadas en la sección de análisis de resultados, se puede interpolar muchos más valores que solo los valores máximos y mínimos de los parámetros de presión, potencia y tiempo utilizados en la investigación.
- A mayor potencia, mayor deposición; este factor es uno de los más determinantes en la formación de capas delgadas, y del dependerá en gran medida la formación de espesores.
- A mayor presión, menor deposición cuando el tiempo es mínimo, ya que al aumentar la presión, mayor será la nube de plasma que se forme; esto dificultará el camino que debe recorrer la partícula, hasta llegar al sustrato y por ende la deposición que se obtendrá será menor.
- La presión se puede trabajar como un factor constante, ya que a menor presión mayor deposición, por lo que esta debería ser 15 mTORR (presión mínima para la formación de plasma en el magnetrón).