

DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA LA MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LÁMINAS DELGADAS MEDIANTE DETECTOR MULTIPLICADOR GASEOSO DE ELECTRONES

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a dispositivos para la medición del espesor de láminas delgadas, a partir de los principios: intensidad (conteo de radiación) y pérdida de energía, utilizando un detector multiplicador gaseoso de electrones, ofreciendo mayor precisión y exactitud sobre las superficies de las láminas delgadas medidas.

SECTOR TECNOLÓGICO

La presente invención corresponde a dispositivos para la medición del espesor de láminas delgadas, para mejorar la precisión y disminuir los tiempos en las lecturas, sobre una línea de control de calidad, mediante un dispositivo detector gaseoso multiplicador. Por lo anterior, la invención se ubica en el sector de las ingenierías: mecánica, eléctrica, y electrónica.

ESTADO DE LA TÉCNICA

El área de control de calidad del sector industrial vinculado a la manufactura de láminas delgadas demanda el desarrollo de nuevos equipos e instrumentos de medición con la capacidad de ofrecer alta precisión y exactitud en la identificación de superficies generando una evaluación a altas velocidades, con elevada sensibilidad y confiabilidad. En la gran mayoría de industrias manufactureras es común utilizar un contador Geiger, para detectar la transmisión de radiación proveniente de láminas delgadas y de esta manera medir su espesor.

El contador Geiger mide la radioactividad de un objeto y está formado usualmente por un cilindro con un fino hilo metálico ubicado a lo largo de su centro. El espacio entre el hilo y el cilindro permanece aislado y relleno de un gas. Cuando un ion o electrón o fotón (rayos x) penetra el cilindro, se desprenden electrones de los

átomos del gas que rellena el tubo (cilindro). Como el voltaje en el hilo central es positivo, atrae los electrones, ocasionando colisión de los átomos de gas, ganando energía y liberando mayor cantidad de electrones, hasta que el proceso se transforma en un pulso de energía en forma de corriente detectable. Dependiendo de las características del gas, el flujo de electricidad se puede separar por sí mismo o a través de un circuito diseñado para detenerlo.

Al dispositivo se le denomina “contador Geiger” porque cada partícula que pasa a través de él genera un pulso idéntico, permitiendo el conteo de las partículas de forma electrónica, pero sin proporcionar información relacionada con el tipo de radiación o sobre la naturaleza de la energía.

Para la detección de partículas alfa, partículas beta de baja energía y rayos x de baja energía se utiliza un tubo cilíndrico (tubo de Geiger – Müller) con una pequeña ventana. Para partículas de alta energía se utilizan tubos de pared gruesa, en donde la radiación incidente tiene capacidad de retirar electrones del material del tubo (acero cromado), permitiendo indirectamente la descarga iónica en el detector. Cuando una partícula de radiación ioniza el gas contenido en el cilindro, un fuerte campo eléctrico creado por los electrodos del tubo acelera los iones, mientras los electrones ganan energía suficiente para ionizar moléculas de gas adicional, aumentando la conductividad eléctrica a través del gas, generando una descarga masiva o efecto cascada (efecto Townsend). Por medio de un “efecto multiplicador del gas”, teóricamente se puede producir un impulso de salida medible para cada evento ionizante, permitiendo al contador Geiger controlar el número de partículas que han chocado al interior del cilindro.

En el pasado, el contador Geiger ha demostrado precisión competitiva, convirtiéndose en una alternativa favorable para la medición de espesores de láminas delgadas, propias de un proceso manufacturero en línea. Sin embargo, hoy en día, estos medidores presentan limitaciones, mientras se adelanta el proceso de lectura, sobre una línea de producción:

Las lecturas promueven resultados para una zona específica, sin cubrir la totalidad de la sección transversal a medir (espesor incompleto).

Al realizar mediciones puntuales, el contador Geiger no demuestra capacidad para

detectar problemas de homogeneidad en las láminas. Algunos informes técnicos desarrollados por fabricantes de materias primas y de dispositivos para la medición de láminas delgadas para un control de calidad sobre un proceso en línea sugieren la existencia de problemas de homogeneidad en los materiales, tales como formación de rollos cóncavos, rollos convexos y distorsiones en general, limitando la garantía de homogeneidad de la producción a los acuerdos comerciales generados entre el comprador y el vendedor, por cuanto no existe en el mercado un dispositivo, sistema y/o método capaz de estimar la homogeneidad directamente.

Como consecuencia de la ausencia de dispositivos o instrumentos de medición para detectar fallas en las láminas delgadas, tal como rollos cóncavos, rollos convexos o distorsiones en general, algunas normas internacionales definen la implementación de métodos destructivos para adelantar el control de calidad, evaluando espesor y homogeneidad.

Los tiempos de respuesta de los contadores Geiger están limitados al flujo máximo de partículas, respecto al total del área activa del detector, como una función del tiempo. Se ha estimado que el tiempo de respuesta podría estar alrededor de $10^5/s$ (partículas) en toda el área activa del detector, condicionando la respuesta de lectura a una relativa baja velocidad de producción de las láminas delgadas, resultando ineficiente frente a las velocidades de los nuevos equipos para la producción de láminas delgadas.

El problema que se plantea en la presente solicitud, surge de la necesidad de realizar mediciones precisas y en menor tiempo del espesor de láminas delgadas, dentro de un proceso de control de calidad sobre una línea de producción. Las mediciones que se adelantan actualmente con equipos como el contador Geiger, no permiten evaluar la superficie completa de la lámina (espesor), permitiendo que se filtren producciones con fallas no detectadas en las láminas delgadas, tal como rollos cóncavos, rollos convexos, o distorsiones en general, es decir, realizando mediciones puntuales del espesor, sin considerar la homogeneidad de la lámina delgada.

La solución que se propone en la presente invención, plantea un dispositivo y un método que utilizan un detector gaseoso multiplicador de electrones (GEM), que permiten cubrir la totalidad de la superficie de la lámina delgada (espesor)

generando lecturas precisas y realizándolas en menor tiempo, con posibilidad de ajustar su operación en función de la velocidad de producción de láminas delgadas, como parte del control de calidad adelantado en un proceso de producción en línea.

Diferentes sistemas, dispositivos y/o métodos se han desarrollado para la medición del espesor de láminas delgadas, como parte del control de calidad en un proceso de producción en línea. Un ejemplo, se presenta en la solicitud de patente de invención americana con número de referencia **US5077478** y titulada **“BASIS WEIGHT MEASURING SYSTEM”** que trata de sistemas de retrodispersión de radiación para medir la densidad/espesor por medición de área de material laminar, conocido como medición de peso base. El instrumento realiza la medición sin contacto con el material bajo prueba y proporciona indicaciones visibles de los resultados. También es posible medir la densidad de un material que tiene un espesor mayor que la capacidad de penetración de las radiaciones seleccionadas. La técnica permite realizar mediciones de retrodispersión sin contacto y puede compensar el movimiento del material bajo prueba, o del dispositivo, mientras la medición está en curso. El sistema utiliza dos fuentes de emisión de radiactividad, una de mayor penetración que penetra sustancialmente en el material que se mide y produce un remanente retrodispersado que se mide para indicar la densidad del material al comparar el valor con una calibración empírica almacenada internamente, la otra de menor penetración se refleja directamente desde la superficie del material, se utiliza para indicar la distancia (o más expresamente el "acoplamiento" de ángulo sólido de la geometría fuente-material-detector) entre el cabezal del medidor y la hoja del material que se está midiendo. De esta manera, el dispositivo es infalible tanto para realizar mediciones comparativas con una muestra de referencia del material en cuestión, como a los errores introducidos por el envejecimiento del material emisor, y/o las variaciones en la distancia y el movimiento relativo entre los dos.

Las mediciones del material de lámina se pueden hacer como si se tomasen una serie de instantáneas rápidas que se registran en la memoria, y cada medición recibe una etiqueta de identificación única, junto con la fecha y la hora del día en que se realizó la medición. Un indicador visual informa al operador cuando el dispositivo está dentro de los parámetros de distancia óptima del material que se está midiendo.

El indicador de retrodispersión portátil posee dos conjuntos principales, un cabezal medidor y una carcasa del procesador, con un eje de soporte hueco 14 que conecta los dos.

Entre otros, el cabezal es una caja herméticamente sellada hecha de aluminio de 0.125 "de espesor en la realización descrita. En la superficie inferior, se pueden proporcionar salientes llamados patines para amortiguar cualquier contacto con el material que está en observación. La lámina delgada de acero inoxidable, llamada ventana, se puede montar en el espacio entre los patines. Los LED de indicación de distancia se pueden montar en una superficie superior del cabezal medidor, como se muestra. Se puede proporcionar un botón para girar un eje para abrir y cerrar un obturador a través del cabezal medidor. Se pueden proporcionar medios de indicación de estado del obturador en el botón.

El cabezal medidor contiene la (s) fuente (s) de las emisiones radiactivas en un montaje, y los detectores para detectar las emisiones que regresan del material. Además, hay una unidad que incluye electrónica de acondicionamiento de señal, un paquete de energía de la batería y una fuente de alimentación para alimentar la electrónica. Una o más fuentes de radioactividad, pueden montarse dentro de un recinto de protección que puede estar hecho de tungsteno, un escudo/obturador, tiene una abertura y puede girarse aproximadamente 90 grados. El botón del obturador se puede fijar a un eje unido a un obturador para hacer girar mecánicamente el obturador desde su posición normalmente cerrada a una posición en la cual la abertura se coloca frente a la fuente de radiación. Esta acción permite que la radiación de la fuente se emita a lo largo de la abertura y hacia afuera para irradiar un material. Se puede proporcionar un retén para mantener el obturador en la posición abierta. El botón del obturador invertido permite que el obturador accionado por resorte regrese automática y positivamente a la posición cerrada.

Un dispositivo de detección para cada uno de los tipos de radiación también está contenido en el cabezal medidor. La retrodispersión de radiación de rayos X (o de menor nivel de energía) se irradia desde el material, pasando a través de la ventana de acero inoxidable y a través del detector beta al detector de rayos X, que lo convierte en una señal eléctrica. La intensidad de la señal eléctrica es directamente proporcional a la intensidad relativa de la señal recibida, por lo tanto, cuanto más débil sea la señal retrodispersada recibida, mayor será la densidad (o grosor) del

material que se mide. La señal eléctrica creada de este modo se dirige al canal de peso-base del circuito de acondicionamiento de señal electrónica.

Las partículas beta (o radiación de mayor nivel de energía) emitidas se reflejan de nuevo desde la superficie del material, a través de la ventana y sobre el detector beta de plástico. El detector Beta convierte las partículas recibidas en una señal eléctrica indicativa de la fuerza relativa de dicha señal, por lo tanto, cuanto más débil sea la señal reflejada recibida, mayor será la distancia entre el cabezal medidor y el material que se está midiendo. Esta señal eléctrica se dirige a un canal del sistema de acondicionamiento electrónico y puede servir para iluminar el diodo emisor de luz para indicar las condiciones de distancia al operador. En una realización preferida, se proporcionan tres LED en el cabezal medidor. Un LED amarillo, por ejemplo, puede indicar que la cabeza del medidor está demasiado alejada del material que se está midiendo. La condición opuesta, cuando la cabeza del medidor está demasiado cerca del material, podría indicarse mediante la iluminación de un LED rojo. Una distancia de separación óptima, entre una y tres pulgadas, podría indicarse mediante la iluminación de un LED verde.

El dispositivo definido anteriormente realiza la medición en línea de espesor (se obtiene primero el peso básico, que se refiere a la cantidad de masa de una lámina delgada/ por cierta área, dada en g/cm² y al dividirlo por la densidad del material, se obtiene el espesor del material a medir). Esto lo realiza con una fuente de radiación que utiliza el mismo principio de transmisión de radiación sobre una lámina delgada para que dependiendo del espesor y densidad del material, se obtenga una intensidad mucha más baja (comportamiento exponencial decreciente) al lado del detector. Si bien el principio de medición utilizado en la anterior solicitud de patente es el mismo (sistema de transmisión de radiación beta y rayos X), no detecta problemas de homogeneidad debido a que solo está hecha para medición de un solo canal, y, por lo tanto, solo puede realizar la medición de espesor de una muy pequeña área de la lámina a medir, comparando con el área total del rollo de plástico aluminio u otro material a medir. Asimismo, se observa que no realiza el procedimiento de análisis de espesor por medio del método de pérdida de energía.

A comparación con nuestro nuevo instrumento de medición de espesores que utiliza el GEM la diferencia es sustancial pues permite realizar la medición de espesor por el principio de intensidad (conteo de eventos/ intervalo de tiempo) y puede utilizar el

principio de medición de pérdida de energía para mejorar la precisión de medida de espesor. Además, tiene una velocidad de procesamiento de señales más rápido, ya que el GEM analiza 10^5 /partículas/seg.

En el mismo sentido, se describe la patente de invención referenciada como **ES 2545685A1**, titulada “**DISPOSITIVO MULTIPLICADOR DE ELECTRONES MICROMECHANIZADO Y PARA DETECCIÓN DE PARTÍCULAS IONIZANTES Y MÉTODO DE FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO**”, que se refiere a un dispositivo multiplicador de electrones micro mecanizado, apilable para la detección de partículas ionizantes, junto con un método para fabricar el dispositivo y un sistema de detección de partículas ionizantes que hace uso de múltiples dispositivos multiplicadores de electrones apilados.

El dispositivo multiplicador de electrones micro mecanizado, utiliza un material en estado gaseoso para detectar partículas ionizantes, y comprende:

Un sustrato sólido, rígido y plano con una cavidad central micro mecanizada en el centro de la cara inferior del sustrato que define un contorno perimétrico de soporte alrededor de la cavidad donde se almacena el material gaseoso empleado para detectar las partículas y múltiples orificios pasantes micro mecanizados adecuados a la cavidad. El sustrato es preferiblemente de silicio para mejorar la robustez y fiabilidad estructural del dispositivo, debida a la baja tensión mecánica residual del silicio, por lo que el dispositivo multiplicador no está sujeto a plegamiento u otras deformaciones que son típicas en dispositivos multiplicadores fabricados sobre sustratos de plástico.

Una primera capa dieléctrica aislante depositada sobre todas las superficies del sustrato sólido, rígido y plano que reduce al mínimo las corrientes de fuga del sustrato.

Un primer electrodo metálico de polarización situado sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante.

Un segundo electrodo metálico de polarización situado sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante.

Los espesores, tamaños, cantidad y disposición de los orificios pasantes del sustrato se diseñan según las necesidades, controlados durante la fabricación de los dispositivos, del orden de micras. Además, el dispositivo multiplicador de electrones puede construirse en material aislante o semi-aislante evitando la conducción eléctrica y deriva electrónica, hacia el sustrato, evitando que se cargue eléctricamente, preferiblemente entre vidrio y silicio de alta resistividad sobre aislante.

El primer y segundo electrodo metálico puede cubrir la totalidad de la cara superior de la primera capa dieléctrica (región de interfase entre dos fases) aislante, a excepción de los orificios micro-mecanizados. Los dos electrodos, se conectan a una fuente de alimentación para polarizar el dispositivo multiplicador de electrones, siendo conectados al ánodo y cátodo de la fuente de alimentación. Cuando se dispone de múltiples dispositivos multiplicadores de electrones, es posible conectarlos a una misma o a diferentes fuentes de alimentación para polarizarlos.

La segunda capa dieléctrica depositada sobre la superficie de dispositivo multiplicador de electrones, será situada sobre los electrodos, dejando los puntos de contacto necesarios para la conexión dieléctrica de los electrodos.

El sistema de detección de partículas ionizantes, comprende:

Al menos dos dispositivos multiplicadores de electrones apilados en un plano normal a la superficie superior de los dispositivos, esto es, sobre un mismo plano vertical.

Unos medios aislantes eléctricos situados entre la superficie inferior del contorno perimétrico de soporte del sustrato de cada dispositivo multiplicador de electrones y el segundo electrodo metálico de polarización del dispositivo, inmediatamente inferior y entre el segundo electrodo inferior de la pila de dispositivos con un circuito de detección de partículas ionizantes.

Medios de sujeción dieléctrica (puntos de contacto dieléctricos) entre los dispositivos multiplicadores adyacentes y entre el dispositivo inferior de la pila conformada con un circuito de detección de partículas ionizantes.

El apilamiento de los dispositivos multiplicadores de electrones, aumenta la capacidad de detección de partículas debido a una mayor flexibilidad en la conformación del campo electrostático al interior del sistema, que se puede realizar por medios mecánicos, eléctricos o la combinación de ambos.

El método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, que comprende las etapas:

Micro mecanizar los orificios en la cara superior del sustrato sólido, cuyas paredes pueden aislarse, particularmente, para material de silicio y que se puede adelantar mediante grabado químico.

Micro mecanizar la cavidad, mediante grado químico, centrada en la cara inferior del sustrato, adecuado a los orificios micro mecanizados, hasta que los orificios sean pasantes, definiendo un contorno perimétrico de soporte del sustrato, alrededor de la cavidad.

Depositar una primera capa dieléctrica aislante, sobre todas las superficies del sustrato micro mecanizado.

Depositar el primer electrodo metálico de polarización, sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante, mediante técnicas selectivas o conformes (asegurar la continuidad eléctrica del material sobre toda la superficie, evitando fugas de corriente, aislando eléctricamente el material depositado), asegurando la continuidad eléctrica en la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante.

Depositar el segundo electrodo metálico de polarización sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante, mediante técnicas selectivas, asegurando la continuidad eléctrica en la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante.

Depositar una segunda capa aislante dieléctrica sobre todas las superficies del dispositivo multiplicador de electrones, mediante técnicas conformes.

Realizar aberturas en la segunda capa aislante dieléctrica para colocar unas conexiones eléctricas en los electrodos metálicos de polarización.

Los electrodos pueden someterse a una fase de pasiva, para protegerlos de contactos eléctricos no deseados, evitando la aparición de cortocircuitos entre las diferentes capas del dispositivo. A los electrodos se les puede incluir un depósito de un metal evaporado sin máscara o mediante el depósito de una combinación de máscaras de serigrafía (impresión) con evaporación de metal.

El dispositivo, resuelve el problema para producir GEM (El GEM Gas Electron Multiplier) es un tipo de detector muy específico hecho en 1997 por Fabio Sauli del CERN. Si bien el GEM es estándar en muchos de los experimentos de altas energías del CERN, se realizan modificaciones para nuestra aplicación tales como: el separador de canales para evitar ruido de los canales vecinos y el Read-out mucho más fácil de fabricar al tener un plano unidireccional con un ancho de canal mínimo de 10mm.), para la detección de partículas, como por ejemplo, que el sustrato es sólido, lo que impide la deformación de los electrodos que capturan las partículas ionizantes, proporcionando una mejor calidad de imagen resultante. La invención es aplicable a los detectores de rayos x y para cualquier detección de partículas ionizantes, particularmente, para aplicaciones médicas. Además, proporciona integralidad plena de dispositivos multiplicadores en CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico), CCD (dispositivo de carga acoplada) o circuitos de lectura de tecnología similar. El dispositivo, permite una mayor tasa de conteo y resolución de energía en el dispositivo multiplicador de electrones, por lo que el proceso de carga en los electrodos es rápido y uniforme, además, de producir dispositivos con alta precisión en las dimensiones geométricas, durante su fabricación.

El dispositivo puede incluir un fotocátodo, siendo sensible a la luz visible o ultravioleta, detectando un haz de baja intensidad, demostrando versatilidad en sus aplicaciones.

A pesar que ambas invenciones definen como elemento común un gas multiplicador de electrones (GEM), existen diferencias sobre elementos componentes y en la forma en que se configura y opera el detector de partículas, tales como:

En la presente invención, el detector gas multiplicador de electrones está compuesto por: un marco exterior, un compartimento de lectura de salida, una cámara hermética, una o varias láminas multiplicadores de electrones (GEM-foils),

un separador de canales, mientras que la invención de referencia comprende un sustrato sólido que tiene una cavidad central micro mecanizada, un contorno perimétrico de soporte, múltiples orificios pasantes micro mecanizados, una capa dieléctrica aislante, dos electrodos metálicos de polarización.

En la presente invención se definen unas características de operación del GEM, esencial para la medición del espesor de láminas delgadas, en términos de ganancia, resolución energética, probabilidad de descarga, máximo flujo de radiación, una lectura de salida unidireccional y un separador de canales, mientras que, en la invención de referencia, no se describe que en el equipo GEM, se evalúe su funcionalidad con base en las mismas características.

En la presente invención se describen unas características necesarias a la hora de diseñar la electrónica base, ajustada para la lectura de espesores de láminas delgadas, a partir de las señales que genera el GEM, tal como: rango de la señal del detector entre 10 y 1000 ke⁻, un ancho de señal de detector entre 5×10^{-9} s y 200×10^{-9} s (5 y 200 ns), polaridad positiva o negativa, amplificación con bajo ruido (0.1 a 1 ke⁻), protección de descarga, ajustado para la lectura de espesores de láminas delgadas, mientras que en la invención de referencia no se consideran estas características, para asegurar la funcionalidad del GEM, por lo cual se sugiere una aplicación en el campo médico para la detección de rayos x.

En la presente invención el proceso de electrónica base, a partir de las señales que genera el GEM, para medir el espesor de láminas delgadas, incluye: un proceso de amplificación, una memoria de almacenamiento análogo, un multiplexado de canales, un sistema de digitalización y transmisión de datos, mientras que la invención de referencia, no hace mención de un proceso similar de ajuste de señales del GEM.

El método descrito en la presente invención se divide en dos fases, dependiendo del punto de operación del dispositivo detector multiplicador de electrones (GEM), repartiéndolo en una fase de electrónica base y una fase de adquisición de datos, mientras que en la invención de referencia se plantea un método de fabricación del gas multiplicador de electrones, con etapas que no se relacionan con las presentadas en la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con el ánimo de complementar la descripción detallada que se presenta a continuación y con la finalidad de ofrecer una mayor claridad respecto a las características de la presente invención, se enseña una serie de figuras, que, con carácter ilustrativo más no restrictivo, refleja lo siguiente:

Figura 1. Esta figura básica muestra en plano (2D): una fuente de radiación de rayos X o radiación beta (1), un detector GEM (2), un sistema de electrónica base (3), un sistema de adquisición de datos (4), una lámina delgada (5).

Figura 2. Esta figura básica muestra en plano (2D): un colimador (1.1), la representación de la radiación cuando sale del detector (1.2), la representación de la dispersión de radiación (1.3), que puede adoptar forma de cono y una lámina delgada (5).

Figura 3. Esta figura básica muestra en plano (2D): una fuente de radiación de rayos X o radiación beta (1), la representación de la radiación cuando sale del detector (1.2), la representación de la dispersión de radiación (1.3), que puede adoptar forma de cono, un plano colector de señales (2.2) o “Read-out”, una tapa superior (2.3), uno o varios detectores láminas multiplicadores de electrones (2.4) o “GEM-foils”, un electrodo cátodo (2.5) o “Drift”, marcos separadores de canales (2.6) y una lámina delgada (5), sobre la cual se mide su espesor.

Figura 4. Esta figura básica muestra en plano (2D): una fuente de radiación de rayos X o radiación beta (1), un detector GEM (2), un sistema de electrónica base (3), un sistema de adquisición de datos (4), una lámina delgada (5), sobre la cual se mide su espesor. Además, se presentan las etapas del método del sistema de electrónica base (3): Proceso de amplificación (3.1), almacenamiento análogo (3.2), multiplexado de canales (3.3), digitalización y transmisión de datos (3.4). Igualmente, se incluyen las etapas del método del sistema de adquisición de datos (4): Umbralización de señales (4.1), conteo de cantidad de partículas (4.2), escalado de espesor por intensidad (4.3), generación de histograma (4.4), obtención de ganancia (4.5), escalado de espesor por energía (4.6), corrección de espesor por ganancia (4.7), corrección de espesor combinado (4.8), corrección y comparación de espesor (4.9), determinación de constante de tiempo (4.10). Finalmente, se

incluyen los elementos: sensor de temperatura de la lámina (6), sensor de temperatura ambiente (7), sensor de velocidad de la línea de producción (8).

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para solucionar el problema de realizar mediciones precisas y con un menor tiempo de respuesta en las lecturas del espesor de láminas delgadas, dentro de un proceso de control de calidad, sobre una línea de producción, se proporciona un dispositivo y método para la medición del espesor de láminas delgadas, mediante un detector gaseoso multiplicador de electrones (GEM).

El dispositivo para medir el espesor de láminas delgadas por medio de un detector gaseoso multiplicador de electrones está compuesto fundamentalmente, por una fuente de radiación ionizante (1), un detector GEM (2), un sistema de electrónica base (3), un sistema de adquisición de datos (4), y una lámina delgada (5) dispuesta para la medición del espesor (ver figuras 1 y 4).

Por otra parte, la fuente de radiación ionizante (1), está conformada por un colimador (1.1), que esencialmente, es un sistema el cual toma un haz de radiación ionizante, para obtener un haz perpendicular a la lámina a medir (5), homogenizando las trayectorias que salen de la fuente de radiación (1), que podría cubrir hasta la totalidad de la sección transversal de una lámina delgada (5), con la cual se pretende medir el espesor. La cantidad de canales de la fuente de radiación ionizante (1), depende esencialmente, de la sección transversal de la lámina delgada (5) a medir, así como de las especificaciones técnicas que obedece a las características del material. Luego la representación de la radiación cuando sale del colimador (1.2), hace contacto con la lámina delgada (5), la interacción de la radiación con la lámina a medir (5) hace que se generen dispersiones de la radiación (1.3), hacia un detector GEM (2). La resolución de la medición, está en función del diseño de cada orificio del colimador (1.1), de la fuente de radiación (1), y del ángulo de propagación de las partículas, según la dirección y forma que asuma el haz.

Cuando la dispersión de radiación (1.3) llega al detector GEM (2) que es una cámara herméticamente sellada con una mezcla de gases, esto es, un Gas inerte que es fácilmente ionizable y uno orgánico para un deterioro mínimo del detector, el cual

está conformado por: un marco exterior (2.1), un plano colector de señales (2.2), también denominado “read-out”, se dispone en la base del detector GEM (2), realizando una recolección unidireccional de las señales generadas dentro del detector GEM (2), una tapa superior (2.3) hecha lo más delgada posible para dejar pasar la radiación con pérdidas insignificantes, también incluye un cátodo (2.5), también llamado “drift” que es energizado por un alto voltaje negativo (-HV). Debido al campo eléctrico entre cátodo (2.5) y el plano colector de señales (2.2), los electrones generados por la ionización de los gases, es decir, en el espacio de gases entre el cátodo (2.5) y el primer GEM-foil (2.4), son guiados hacia los agujeros de las láminas multiplicadores de electrones (2.4), también denominado “GEM-foil”. El GEM-foil (2.4), es una lámina compuesta de cobre-kapton-cobre, respectivamente, con las siguientes dimensiones 0.000005 m (5 μ m), 0.000050 m (50 μ m), 0.000005 m (5 μ m), con agujeros de patrón triangular con paso de 0.00014 m (140 μ m). Los electrodos de cobre del GEM-foil (2.4) se energizan a cierto voltaje para crear un campo eléctrico dentro del agujero que es proporcional a la diferencia de potencial. Los agujeros del GEM-foil (2.4) tienen aproximadamente 0.000070 m (70 μ m) de diámetro en los extremos, y 0.000050 m (50 μ m) en el centro. Una vez los electrones atraviesan los agujeros del GEM-foil (2.4), se aceleran, ganando energía cinética, y, por lo tanto, generando altas ganancias debidas al efecto de multiplicación. Finalmente, los electrones son colectados por la placa del detector de señales (2.2) o “read-out”, que representa el ánodo. En la parte superior del cátodo (2.5), se localizan los marcos separadores de canales (2.6), que evitan el ruido entre canales.

El detector GEM (2) debe configurarse y calibrarse para medir el espesor de las láminas delgadas (5), teniendo en cuenta: una ganancia mayor o igual que 10.000 (10⁴), una resolución energética, que oscila entre el 15% y el 20%, una probabilidad de descarga menor que 0.000001 (10⁻⁶), un máximo flujo de radiación equivalente a 1 por segundo y por metro cuadrado (1/s/m²) o lo que es lo mismo, 1.000.000 por segundo y por milímetro cuadrado (10⁶/s/mm²), una lectura de salida o “read-out” unidireccional con distancia entre canales mayor o igual que 0.001 m (10 mm).

El detector GEM (2) ha sido ampliamente utilizado, siendo considerado como un equipo para la detección de radiación de altas energías, estandarizado. Sin embargo, para el control de calidad asociado a la medición del espesor en láminas delgadas (5), es necesario realizar dos modificaciones, respecto al detector GEM

(2) estándar. La primera modificación es el plano colector de señales (2.2) o compartimiento de lectura de salida, a una sola coordenada. El detector GEM (2) estándar, permite detectar el punto exacto por donde la radiación atraviesa el detector GEM (2), generando dos coordenadas. Pese a ello, para adelantar el control de calidad del espesor de láminas delgadas (5), sólo se requiere de una de las dos coordenadas generadas, por lo cual, se aprovecha el desplazamiento de la lámina delgada (5), en el proceso de producción en línea, haciendo innecesaria la segunda coordenada. Adicionalmente, la lectura de salida del detector GEM (2) estándar, define una distancia entre canales cercano a los 4×10^{-4} m (400 μ m), haciendo que su proceso de fabricación sea complejo. La lectura de salida para la aplicación del control de calidad en la medición del espesor de láminas delgadas (5), es mínimo 0.01 m (1 cm), facilitando el proceso de fabricación para detector GEM (2) requerido.

La segunda modificación que es necesario adelantar sobre el detector GEM estándar, es la inclusión del separador de canales (2.6), el cual se encarga de aislar la radiación de cada uno de los canales, para minimizar el ruido de los canales vecinos, luego de que el haz proveniente de la fuente de radiación (1), y que se dirige hacia el material a medir (1.2), interactúa con la lámina delgada (5), para luego generar dispersión de radiación (1.3), obteniendo información precisa del espesor de la lámina delgada (5), en el detector GEM (2) ajustado. Las modificaciones descritas del detector GEM (2), garantiza la precisión y exactitud, en la medición del espesor, generando un control de calidad en función de la homogeneidad de las láminas delgadas (5).

Adicionalmente, el dispositivo de la presente invención, incluye un sistema de electrónica base (3), en cual se adelanta una serie de etapas para garantizar una calibración en función de las señales que está en capacidad de generar el detector GEM (2), que se describen a continuación:

- Proceso de amplificación (3.1): Se encarga de convertir la carga del pulso de corriente que genera el detector GEM (2), en unidades de voltios (tensión). El voltaje es directamente proporcional a la pérdida o transferencia de energía de radiación ionizada por el gas del detector GEM (2).

- Almacenamiento análogo (3.2): Una memoria se incluye en esta etapa para almacenar la señal, hasta que el sistema de transmisión se encuentra disponible para transmitir datos.
- Multiplexado de canales (3.3): Se refiere a la combinación de todos los canales de lectura del plano colector de señales (2.2) o “read-out”, para la transmisión de una sola línea de comunicación o canal. Se encarga de llevar datos de la memoria de almacenamiento análogo, por medio de varios canales en paralelo, al sistema de digitalización y transmisión de datos (3.4), a través de un canal de transmisión en serie, manteniendo orden y coherencia, con la información de cada canal del detector GEM (2).
- Digitalización y transmisión de datos (3.4): Se encarga de capturar los datos procedentes del multiplexado de canales (3.3), esto es, datos transmitidos en serie, convirtiendo los datos de cada canal de análogo a digital. Además, se transmiten los datos digitales de cada canal, al sistema de adquisición de datos (4).

Por otra parte, las principales características consideradas para el diseño del sistema de electrónica base (3) son:

Rango de la señal del detector GEM (2) entre 10 y 1000 ke⁻, un ancho de señal del detector GEM (2) entre 5×10^{-9} s y 200×10^{-9} s (5 y 200 ns), polaridad positiva o negativa, amplificación con bajo ruido (0.1 a 1 ke⁻), y protección de descarga, para evitar cortocircuitos al interior del detector GEM (2).

Un sistema de adquisición de datos (4), compone fundamentalmente un *hardware*, para el control de cada uno de los componentes del dispositivo para la medición del espesor de láminas delgadas, mediante un detector gaseoso multiplicador de electrones (GEM), tal como: fuente de radiación ionizante (1), detector GEM (2), sistema de electrónica base (3), sistema de adquisición de datos (4), cuando se mide el espesor de láminas delgadas (5).

El método ejecutado por computador, para la medición del espesor de las láminas delgadas (5), mediante el detector GEM (2), está dado por las siguientes etapas:

- Umbralizar (4.1) las señales, para descartar el ruido de los verdaderos eventos o ionizaciones generadas sobre el haz procedente de la fuente de radiación (1).
- Contar la cantidad de partículas (4.2), que llegan al detector GEM (2), para un intervalo de tiempo definido “Te”, para la medición del espesor de las láminas delgadas (5).
- Escalar a espesor por intensidad (4.3), aplicando el método por intensidad, que está gobernada mediante la expresión:

$$I(h)=I(o)*e^{-\mu h}$$

- Generar el histograma (4.4), para un intervalo de tiempo “Te”, correspondiente a la interacción de la fuente de radiación (1) con las láminas delgadas (5), recolectando datos de voltaje, variable que es proporcional a la energía de radiación que es capaz de ionizar el detector GEM (2), en las etapas desarrolladas en el sistema de electrónica base (3).
- Una vez generado el histograma (4.4), se calculan todas las variables para obtener la ganancia (4.5) del detector GEM (2), mediante la siguiente expresión, en donde “I”, representa la corriente generada por el último electrodo inferior de las láminas multiplicadores de electrones o GEM-foil (2.4), “f” es la frecuencia de detección del detector GEM (2), “mp” es el número de ionizaciones primarias en el detector GEM (2), y “e” es la carga del electrón, equivalente a $1,602 \times 10^{-19}$:

$$G_{eff} = \frac{I}{f * m_p * e}$$

- Analizar picos y área de la distribución generada por el histograma de energía para escalado del espesor por pérdida de energía (4.6), de la lámina delgada (5) a medir, aplicando el método de pérdida de energía.
- Corregir el espesor por ganancia (4.7), por el método de intensidad y por el método de pérdida de energía, según las distancias entre la fuente de radiación (1) y la lámina delgada (5) a medir, por medio del detector GEM (2), considerando las pérdidas generadas por la interacción de la radiación y las moléculas de aire del medio ambiente. Adicionalmente, es necesario corregir

el espesor, teniendo en cuenta el cambio de volumen generado por altas temperaturas en el proceso de producción de láminas delgadas (5). El área comprometida, por el cual pasa la radiación (A_0), debe ser corregida (A_1), mediante la siguiente expresión, donde " T_0 ", es la temperatura ambiente, " T_1 ", es la temperatura de lámina delgada (5) y " K_T " es el coeficiente de expansión térmica de primer orden. Se incluye un sensor de temperatura de la lámina (6), y un sensor de temperatura ambiente (7).

$$A_1 = A_0 (1 + 2K_T (T_1 - T_0))$$

- Corregir el espesor en forma combinada (4.8), tanto para el método de intensidad, como por el método de pérdida de energía, considerando las características del detector GEM (2), tal como como: voltaje y proporción en la mezcla de gases, dados por la ganancia del detector GEM (2).
- Corregir y comparar el espesor (4.9), tanto por el método de intensidad, como por el método de pérdida de energía, para obtener mayor precisión y exactitud.
- Determinar la constante de tiempo (4.10), denominada " T_e ", de la medición del espesor, aplicando el método por intensidad y el método por pérdida de energía, considerando la velocidad del material a medir, tal como una lámina delgada (5), mediante un sensor de velocidad de la línea de producción (8).
- Ejecutar las etapas descritas en el método ejecutado por computador, para la medición del espesor de las láminas delgadas (5), mediante el detector GEM (2), de forma simultánea.