

(19) REPUBLICA DE CUBA



Oficina Cubana de la
Propiedad Industrial

(11) No de publicación:

CU 22943 A1

(21) No. de solicitud : **2000- 0253**

(51) Int. Cl⁷: **G 01J 1/38**

(12)

Certificado de Autor de Invención

(22) Fecha de presentación: 2000.11.14

(71) Solicitantes: CENTRO DE ESTUDIOS APLICADOS AL DESARROLLO NUCLEAR (CU)

(30) Prioridad:

(72) Inventor/es: Garrcia Fernández, María de los Angeles (CU); Martín García, José Luis (CU); Baly Gil, Luis (CU); Rodríguez Otazo, Mariela (CU)

(45) Fecha de publicación: 2004.04.13

(73) Titular: CENTRO DE ESTUDIOS APLICADOS AL DESARROLLO NUCLEAR , domiciliado en Calle 30 No. 502, entre 5ta. Ave. y 7ma. Ave., Miramar, Playa, Ciudad de La Habana (CU)

(74) Agente: Fonte Veitía, Ileana Irene (CU)

(54) Título: **SENSOR DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.**

(57) Resumen:

Detector para la determinación de la potencia de la radiación ultravioleta y/o de la energía de pulsos de radiación ultravioleta. Está basado en la determinación de la fluorescencia producida por la radiación ultravioleta en un vidrio especial. El detector está constituido por un cuerpo que contiene en su interior un atenuador-difusor, un filtro pasa banda ultravioleta, un cristal fluorescente, un filtro infrarrojo, un fotodiodo de silicio y un amplificador operacional. La radiación ultravioleta, al llegar al cristal, produce la fluorescencia del mismo en la región visible del espectro. Dicha fluorescencia es detectada por el fotodiodo y la señal de este es amplificada por un amplificador sensible a carga. De esta manera se establece una relación entre la amplitud de la señal de salida y la potencia de la radiación continua o de la energía del pulso de la radiación ultravioleta según corresponda.

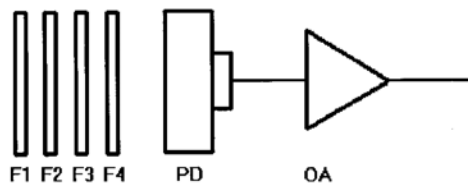


Fig. 1

MEMORIA DESCRIPTIVA

2000-0253

SENSOR DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La presente invención se relaciona con la rama de la metrología de parámetros luminosos, en específico con la determinación de la potencia de la radiación continua o de la energía de pulsos de corta duración de la radiación ultravioleta.

La detección de radiación electromagnética tiene un número importante de aplicaciones vinculadas con la relación entre la energía de la radiación y varios fenómenos físicos y químicos que pueden ser identificados por la frecuencia de emisión o absorción. En particular la detección de radiación ultravioleta tiene múltiples aplicaciones comerciales y militares. Por ejemplo, en cualquier sistema que usa radiación ultravioleta para transmitir información (debido a la alta frecuencia de esta radiación) como los sistemas de transmisión de información por fibra óptica; en la detección de la presencia de combustible, que permite la identificación de la presencia de aviones, misiles, u otros objetos propulsados por procesos característicos de combustión.

Los detectores de radiación ultravioleta incrementaron su importancia con el desarrollo de los láseres de pulsos de corta duración que producen radiación electromagnética en la región ultravioleta del espectro.

Los sensores ultravioletas son comúnmente usados para medir dosis de radiación ultravioleta y para monitorear la funcionalidad de las fuentes de radiación ultravioleta. Irradiadores ultravioletas o láseres ultravioletas son usados en la eliminación de capas de materiales, para desinfectar superficies, líquidos y gases, y en pruebas de envejecimiento o desgaste.

En la medición de la radiación ultravioleta el material o el sensor propiamente pueden sufrir daños por radiación a causa de la alta energía de la radiación, de ahí que en muchas de las aplicaciones haya problema para medir adecuadamente las dosis de radiación que incide en el sensor ultravioleta desde todas direcciones.

Existen numerosos métodos de medición de la energía y/o la potencia de la radiación ultravioleta. En muchos casos se emplea el método calorimétrico, basado en la determinación del aumento de la temperatura producido por la radiación luminosa al incidir sobre un cuerpo. En este caso frecuentemente son

empleados balómetros o baterías de termopares los cuales se caracterizan por una gran inercia y gran sensibilidad a los cambios de la temperatura ambiental.

En la actualidad son muy empleados en la determinación de la energía de pulsos de radiación ultravioleta las cerámicas piroeléctricas, con las cuales se pueden medir pulsos con energías de hasta decenas de nano-Joules. Dichas cerámicas sin embargo son insensibles a la radiación continua, son sensibles a los cambios de temperatura ambiental y a la radiación electromagnética y en muchos casos tienen limitaciones con respecto a la frecuencia máxima de repetición de los pulsos de la radiación que se desea medir. Otro de los métodos comúnmente usado se basa en la utilización de dispositivos semiconductores. Este es el caso de los fotodetectores de estado sólido que son sensibles a la radiación visible y ultravioleta. Estos tienen diferentes categorías que generalmente incluyen fotoconductores, fotodiodos y fototransistores. De estos dispositivos el fotodiodo es uno de los más comúnmente usado para la detección de luz visible y ultravioleta. Los dispositivos semiconductores por lo general son particularmente ventajosos por su pequeño volumen, estabilidad, fiabilidad y bajo costo. Estos dispositivos se construyen de silicio, óxidos de silicio, carburos de silicio, GaAs, GaP, InAs y InP entre otros. Existen diferentes patentes registradas al respecto: U.S. Pat. Nos. 3,504,181; U.S. Pat. Nos. 3,563,817; U.S. Pat. Nos. 5,093,576; U. S. Pat. No. 4,096,387; U. S. Pat. No. 4,772,335 U.S. Pat. Nos. 5,497,004; U.S. Pat. Nos. 5,093,576; U.S. Pat. Nos. 3,504,181y U.S. Pat. Nos. 3,563,817 de Chang y Campbell y la correspondiente publicación "Detection of Ultraviolet Radiation using Silicon Carbide p-n Junctions", Solid State Electronics, Vol. 10, pp. 949-953 (1967). Como en la mayoría de las aplicaciones tecnológicas de los semiconductores, la banda prohibida de los materiales es la característica fundamental que determina si el material puede o no detectar cierta radiación. En este sentido se pueden distinguir los que son sensibles a la radiación ultravioleta y los que no lo son.

En el caso de los dispositivos semiconductores sensibles a la radiación ultravioleta, se aplican métodos de medición directa pues son capaces de convertir directamente la radiación ultravioleta en señal eléctrica. En dichos dispositivos, a pesar de tener la ventaja de determinar directamente la radiación ultravioleta, el precio por unidad de área sensible es elevado y por tanto el área sensible de los mismos es pequeña, lo cual dificulta la medición o requiere de la utilización de una óptica de enfoque. En muchos casos, detectores de radiación ultravioleta de silicio,

hechos por técnicas convencionales de difusión, muestran degradación con la exposición a la radiación ultravioleta. Esto está dado por los daños que ocasionan los fotones de alta energía de la radiación ultravioleta. Por tanto se hace necesario modificar estos detectores de silicio para la detección de radiación ultravioleta eliminando además el problema de la alta reflectancia, alto ruido, corrientes de fuga y contaminación ambiental. Una forma de proteger al dispositivo de los daños que ocasiona la radiación ultravioleta es realizar mediciones intermitentes como en la patente U.S. Pat. No. 3,629,587 publicada por Jean A. Decupper en Diciembre. 21, 1971, que utiliza un sistema de obturación frente al sensor que es abierto sólo cuando se va a realizar la medición. Esto protege al sensor de una exposición prolongada a la radiación ultravioleta.

Para superar las limitaciones en la eficiencia en el silicio cristalino otros materiales son empleados en algunos detectores de radiación ultravioleta. Por ejemplo, los detectores de luz ultravioleta de barrera Schottky, emplean fosfuro de arsenuro de galio que está disponible comercialmente, no obstante este detector alternativo es caro por el material que utiliza.

Otros detectores ultravioletas se basan en las propiedades de la composición fotocromática de los materiales, el cambio de color cuando son expuestos a la radiación ultravioleta. Estos no necesitan ninguna entrada eléctrica, sin embargo, ellos sólo permiten realizar un análisis cualitativo. Un ejemplo de este tipo de detector es descrito en la patente U. S. Pat. No. 5,581,090. También existen métodos que determinan la radiación ultravioleta indirectamente utilizando materiales que convierten la radiación ultravioleta en radiación visible. En este caso se emplean como detectores dispositivos semiconductores que no son sensibles a la radiación ultravioleta, los cuales son mucho más baratos que aquellos sensibles a esta radiación. Esto permite el empleo de detectores con áreas sensibles grandes. Una gran variedad de materiales convertidores de radiación ultravioleta en visible han sido propuestos . Un ejemplo de estos tipos de materiales es descrito en las patentes U.S. Pat. No. 2,349,754 de Thomas R. Porter en Mayo 23, 1944 y U.S. Pat. No. 3,838,282 de Phillip B. Harris en Septiembre. 24, 1974. Este es el caso de los modernos sensores de estado sólido con capas de fósforo que convierten la radiación ultravioleta a radiación visible. También se emplean combinaciones de filtros y materiales, que primero seleccionan el

rango de interés del espectro de la radiación ultravioleta, luego la convierten en radiación visible y finalmente filtran la radiación visible producida de otro tipo de radiación no deseada antes de ser detectada por un dispositivo semiconductor. Los filtros utilizados para obtener la radiación ultravioleta son de diversos tipos. Existen muchos filtros de vidrio que eliminan gran parte de la radiación visible pero que se vuelven transparentes para la región infrarroja del espectro. Ejemplos de estos filtros son empleados en las patentes U. S. Pat. No. 4,642,413; el filtro Corning 7-54 utilizado en la patente U. S. Pat. No. 4,065,672 y filtro UV del tipo Corning black glassen U.S. Pat. No. 2,349,754. Una alternativa es usar capas delgadas de óxidos metálicos o metales capaces de absorber en la región visible e infrarroja del espectro como en la patente U. S. Pat. No. 4,096,387. Materiales fluorescentes o fosforescentes son utilizados como conversores de radiación ultravioleta a radiación visible. Este es el caso del fósforo utilizado en las patentes U. S. Pat. No. 4,096,387, U. S. Pat. No. 4,096,387, U. S. Pat. No. 4,272,679; spray fluorescente Daz-L No. 833 que aparece en la patente U. S. Pat. No. 4,065,672; trazador ultravioleta Lime Green, #T-704-13, hecho por Shannon Luminous Material Co que aparece en la patente U. S. Pat. No. 4,818,491; otros que aparecen en las patentes: WO 88/06279, WO 97/16707, EP 0 281 963 A3, EP 0 460 019 A1, EP 0 293 810 A3, todos capaces de convertir la radiación ultravioleta en radiación visible o infrarroja cercana que puede ser detectada por el semiconductor de los diferentes dispositivos. También son aplicadas capas orgánicas luminiscentes con propiedades antireflectantes como Tri-quinolato de aluminio en los detectores de luz para mejorar la eficiencia del detector como aparece en la patente WO 97/27503.

En los casos en que no se utilizan capas de óxidos metálicos como filtros de radiación ultravioleta es necesario, para garantizar la validez de la medición, colocar después del material fluorescente filtros que absorban la radiación infrarroja que puede pasar a través de los filtros UV y del material fluorescente, este es el caso del filtro Corning 4-96 usado en U. S. Pat. No. 4,065,672, Coming #2-63 sharp-cut red filter utilizado en la patente U. S. Pat. No. 4,272,679.

Un resumen del estado de la técnica referente a los detectores ultravioletas se puede encontrar en dos artículos de Wilson y Lyall publicados en 24 Applied Optics 4530-4546 (Diciembre 1986).

El objeto de la presente invención consiste en un nuevo sensor de radiación de bajo costo para medir la potencia de una radiación continua ultravioleta o de la

energía de pulsos de corta duración de radiación ultravioleta. El objeto de la presente invención es un detector que selecciona la radiación ultravioleta y la transforma en radiación visible para ser detectada. Otro objeto de la invención es que el nuevo sensor de radiación ultravioleta es capaz de convertir la radiación incidente en voltaje. Es objeto de la presente invención un detector que permite hacer una correspondencia entre la intensidad de la radiación incidente y la amplitud de la señal eléctrica, independientemente si la radiación es continua o pulsada. Es objeto además que en el caso de radiación ultravioleta pulsada la forma de la señal eléctrica no depende de la forma de la radiación incidente, en el rango previsto de duración de los pulsos. Es objeto también la utilización de un nuevo material de gran estabilidad como elemento convertidor de la radiación ultravioleta en visible. Es objeto además, la utilización de un esquema que permite la detección de bajos niveles de radiación visible lo que permite reducir los niveles de radiación ultravioleta a los cuales son expuestos los elementos de este detector. Además todos los elementos de este detector son de estado sólido Es por tanto un objeto el desarrollo de un sensor ultravioleta con una alta confiabilidad y gran estabilidad.. Es finalmente objeto de la presente invención un sensor cuya señal puede ser medida directamente por un osciloscopio o por equipos normalmente empleados en la metrología de la radiación luminosa. La novedad de la invención propuesta esta dada por un detector capaz de determinar tanto potencia de la radiación continua como la energía de pulsos de corta duración de la radiación ultravioleta. En ambos casos la intensidad de la radiación ultravioleta es proporcional a la amplitud de la señal eléctrica. El detector basado en la selección y transformación de la radiación ultravioleta en visible, utiliza un nuevo material convertidor no descrito, para esos propósitos, hasta este momento. Dicho material se caracteriza por una gran estabilidad a la radiación ultravioleta. En el caso de la determinación de la energía de pulsos de corta duración de radiación ultravioleta, las características del material convertidor hacen que la forma de la señal eléctrica no dependa de la forma de la radiación incidente en el rango descrito para la duración de los pulsos. El detector incrementa la sensibilidad de detección de la radiación visible; lo que permite la reducción de los niveles de radiación ultravioleta a los cuales son sometidos los elementos del detector. Todo ello alarga la vida del detector. Por último la señal del detector puede ser medida directamente con un osciloscopio o con ayuda de instrumentos

normalmente empleados en metrología de la radiación luminosa que utilizan sensores de potencia de la radiación o aquellos que emplean cerámicas piroeléctricas para la determinación de la energía de los pulsos. Para cualquier detector existe una relación entre la señal de entrada y la de salida, siendo esta última diferente a la primera. De forma general la relación entre la señal de entrada y la de salida puede expresarse por una integral de convolución:

$$S_{out}(t) = kx \int T(\tau - t)P(\tau)d\tau$$

donde S_{out} es la señal del sensor, k es una constante de proporcionalidad, $P(t)$ es la potencia instantánea de la radiación ultravioleta y T es la respuesta a un pulso de tipo función delta y que en nuestro caso depende fundamentalmente de las propiedades del material fluorescente.

En dependencia del intervalo de tiempo en el cual T y P son diferentes de cero:

$$\left\{ \begin{array}{l} T(\tau - t) \neq 0 \quad 0 < (\tau - t) < t_1 \\ P(\tau) \neq 0 \quad 0 < \tau < t_2 \end{array} \right\}$$

existen dos casos extremos para los cuales es posible relacionar la intensidad de la radiación incidente con la amplitud de la señal eléctrica a la salida del detector.

En el primer caso cuando $\tau_2 \gg t_1$ la amplitud de la señal de salida es proporcional a la potencia de la señal de entrada. En este caso estamos en presencia de una señal continua, integrada, a la salida del detector.

En el segundo caso cuando $\tau_1 \gg \tau_2$ el pulso de entrada $P(\tau)$ se puede aproximar a un pulso de tipo función delta:

$$P(\tau) = A \cdot \delta(\tau)$$

$$\delta(\tau) = \left\{ \begin{array}{l} \delta(\tau) = \infty \quad \tau = 0 \\ 0 \quad \tau \neq 0 \end{array} \right\}$$

donde A es la amplitud del pulso. En este caso la forma de la señal de salida no depende de la forma del pulso de entrada y la energía del pulso es proporcional a A , o sea a la amplitud de la señal de salida.

En nuestro caso, las características del material fluorescente y la electrónica utilizada, son tales que la forma de T para nuestro detector permite hacer la aproximación $t_1 \gg t_2$, cuando t_2 (la duración del pulso) es menor que decenas de nanosegundos. Esto hace posible la determinación no solo de la potencia de la radiación ultravioleta continua sino también de la energía de pulsos de corta duración de radiación ultravioleta. En ambos casos la determinación de la intensidad de la radiación ultravioleta se realiza en base a la amplitud de la señal de salida. Esto permite la realización de la lectura de la señal directamente con un osciloscopio o con los equipos normalmente empleados en metrología láser equipados para detectores de tipo termopar, fotodiodos o cerámicas piroeléctricas. Esta posibilidad diferencia el presente detector de todos los descritos en otras patentes similares. La estabilidad de la señal del detector a una radiación ultravioleta específica depende en gran medida de la estabilidad de las propiedades de los elementos del mismo a la radiación ultravioleta. Por tal motivo para alcanzar una gran estabilidad es deseable el empleo de materiales con alta estabilidad a la radiación ultravioleta o reducir los niveles de radiación a los cuales son sometidos los mismos. En el presente detector se realiza una combinación de ambos métodos, por una parte se emplea un material fluorescente con alta estabilidad a la radiación ultravioleta y por otra se emplea un sistema de detección de la radiación visible con alta sensibilidad, lo que permite detectar indirectamente bajos niveles de radiación ultravioleta. Así los niveles de radiación ultravioleta a los cuales es sometido el detector pueden ser disminuidos para lo cual se pone a la entrada del detector un filtro atenuador fabricado con materiales estables a la radiación ultravioleta. El esquema del detector se muestra en una vista lateral en la Figura 1. El detector es un cuerpo que contiene en su interior un atenuador - difusor (F1), un filtro pasa banda ultravioleta (F2), un cristal fluorescente (F3), un filtro infrarrojo (F4), un fotodiodo de silicio (PD) y un amplificador operacional (OA).

La radiación que incide en el detector pasa a través del primer filtro atenuador - difusor (F1) que reduce los niveles de radiación. La radiación que incide en ultravioleta a los que pueden ser sometidos el resto de los elementos del detector. La señal atenuada pasa a través del filtro F2 que elimina de la radiación incidente la componente visible y deja pasar la radiación ultravioleta. Sin embargo algunos cristales usados como

filtros ultravioletas, a partir de los 700 nm son transparentes a la radiación, es por esto que parte de la región infrarroja del espectro forma parte de la radiación transmitida.

La radiación ultravioleta que pasa a través del filtro F2 incide sobre el material fluorescente (F3) produciendo la fluorescencia del cristal, la cual ocurre en la región visible del espectro, y es proporcional a la radiación ultravioleta incidente. Dicho cristal es de un material fluorescente de gran estabilidad, a la radiación ultravioleta y que por sus características permite determinar no sólo radiación continua sino también pulsos de corta duración. Para garantizar que al fotodiodo llegue solamente la radiación visible producto de la fluorescencia, se utiliza un cuarto filtro (F4) transparente a la fluorescencia de F3 pero que absorbe la radiación infrarroja transmitida por F2 y F3. La fluorescencia producida en F3 es detectada por un fotodiodo u otro dispositivo fotosensible (fotoconductores, fototransistores). La radiación visible que incide en el fotodiodo produce señales de corriente, estas señales son amplificadas convenientemente por un amplificador sensible a carga. Finalmente la amplitud de la señal de salida es utilizada para medir la energía y/o la potencia de la señal de radiación ultravioleta. La combinación de los elementos F1, F2, F3, F4, PD, OA forma el detector ultravioleta de la presente invención. En el caso de la radiación pulsada, las características de la señal de salida son tales que es posible medir confiablemente la energía de pulsos de radiación ultravioleta con una frecuencia de repetición superior a los 100 Hz.

Como ejemplo de realización se puede citar el siguiente:

Un cuerpo metálico que contiene en su interior un filtro atenuador - difusor realizado a partir de un cristal de cuarzo fundido con una deposición de aluminio con un 10 % de transmitancia en la región ultravioleta en una de las caras y en la otra cara un pulido tal que produce una radiación difusa. Sobre la capa de aluminio esta depositada una capa de SiO₂ con el objetivo de proteger las propiedades ópticas de la capa de aluminio. A continuación se coloca un filtro pasa banda ultravioleta como puede ser uno de los siguientes filtros de fabricación rusa UF1, UF2, UF5, UF6, UF8 o cualquier otro. Posteriormente se coloca el material fluorescente y a continuación un filtro transparente a la fluorescencia y que absorbe la radiación para longitudes de onda mayores que 700 nm. Un ejemplo de este tipo de material es el filtro de fabricación rusa ZC10. A continuación se coloca un detector semiconductor sensible a la radiación visible como puede ser un fotodiodo de Silicio seguido de un amplificador

CU 22943 A1

operacional sensible a carga de acuerdo a los esquemas clásicos. El detector tiene además un conector mediante el cual se introducen los voltajes de alimentación al amplificador operacional y se saca la señal.

REIVINDICACIONES

- 1. Sensor de Radiación Ultravioleta para determinar la energía de los pulsos en la región ultravioleta con una duración no mayor que 50 nanosegundos caracterizado por poseer un atenuador-difusor (F1), un filtro pasa banda ultravioleta (F2), un material fluorescente de gran estabilidad (F3), un filtro (F4) que absorbe la radiación infrarroja a la cual los elementos F1, F2 y F3 son transparentes, un fotodiodo de Silicio (PD) y un amplificador operacional.**
- 2. Sensor de Radiación Ultravioleta de acuerdo con la reivindicación No 1, caracterizado por emplear un material fluorescente (F3) con un tiempo de vida de la fluorescencia superior a los 100 microsegundos.**

DIBUJOS

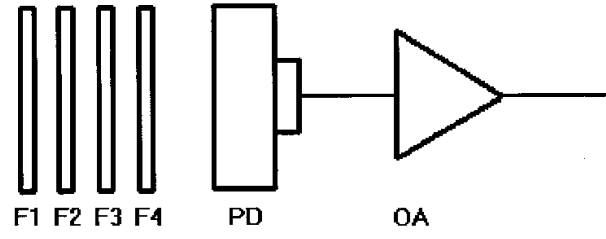


Fig. 1