

Diseño y construcción de un detector en infrarrojo en 10.6 micras

C.I. ROBLEDO SÁNCHEZ Y L.R. BERRIEL VALDOS*

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Apartados postales 51 y 216, Puebla, Pue., México*

Recibido el 15 de junio de 1992; aceptado el 3 de mayo de 1993

RESUMEN. Se reporta el diseño y construcción de un detector de radiación en el infrarrojo, en 10.6 μm de longitud de onda. Como elemento sensor tiene una termopila construida con película delgada de cromo y cobre, depositados sobre un sustrato de *cervit*. El absorbedor de la radiación es un disco de carbón comprimido (grafito), colocado en la parte frontal de la termopila. El disipador de calor fue construido con aluminio comercial. La termopila está formada por 12 uniones y tiene un área sensible de 5 mm de diámetro. El intervalo de potencia medible es de 0 a 20 watts de radiación continua con una resolución de 1/10 de watt. Este detector a sido usado en láseres para microcirugía.

ABSTRACT. The design and construction of a thermopile detector for infrared radiation at 10.6 μm is reported. The thermopile is made of chrome and copper thin films deposited on a *cervit* substrate. The absorber of radiation is a disk of graphite placed at the frontal part of the thermopile. The heat sink was made of comercial alluminium. The thermopile consist of 12 juntions and has a circular active area of 5 mm diameter. The detector can be used to measure continuous radiation power 0 and 20 watts with a resolution of 0.1 watt. This detector has been used in a laser system for micro-surgery.

PACS: 07.20.Fw; 07.62.+s

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es describir el diseño y construcción de un detector de radiación infrarroja orientado a medir la potencia de emisión de los láseres de CO_2 (Fig. 1) en el intervalo de 1 a 20 watts. El detector es construido con una termopila que funciona mediante el efecto Seebeck para generar una diferencia de potencial. La termopila desarrollada (Fig. 2) fue construida con películas delgadas y fue grabada en el sustrato por un proceso de fotograbado [1]. El sustrato tiene las funciones de soporte de la termopila y en muchos de los arreglos ofrece aislamiento térmico entre la unión fría y la caliente; también, el material del sustrato tiene que prevenir que la termopila quede unida eléctricamente. El uso de películas delgadas da mayor libertad en el diseño, de manera que se pueden controlar las propiedades del detector: tiempo de respuesta e impedancia.

*Año sabático en el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. Apartado Postal 948, 37000 León, Gto., México.

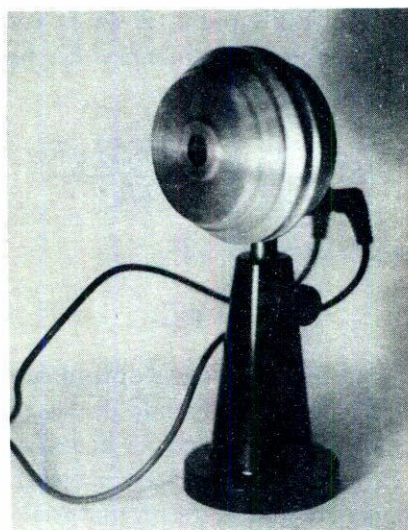


FIGURA 1. Fotografía del detector.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DETECTOR

La Fig. 3 muestra un esquema del detector. La potencia del láser que se desea sensar está en el intervalo de 1 a 20 watts. El diámetro transversal del haz es de aproximadamente unos 5 mm. La radiación incide en la parte central del detector elevando la temperatura del absorbedor, hasta que se llega al equilibrio por los procesos de difusión, convección y radiación. El proceso de difusión se realiza radialmente hacia el disipador. Las pérdidas de calor por convección y radiación son más pequeñas que por difusión, por lo que en este trabajo no se toman en cuenta.

2.1. Teoría

El voltaje Seebeck, V_0 , generado por la unión en estado estacionario es [2]

$$V_0 = s\Delta T_0 = sR_t P, \quad (1)$$

donde s es el coeficiente Seebeck de los metales usados, ΔT_0 es la diferencia de temperatura entre las uniones del termopar, R_t es la resistencia térmica del difusor de calor y P es la potencia efectiva absorbida. La respuesta R del detector es igual a

$$R = \frac{V_0}{P} = sR_t. \quad (2)$$

El voltaje de ruido, V , producido por la resistencia de la termopila es [3-5]

$$V = \sqrt{4kTr\Delta f}, \quad (3)$$

donde k es la constante de Stefan-Boltzmann, T es la temperatura absoluta, r es la resistencia eléctrica y Δf es el ancho de frecuencia. La potencia de ruido equivalente (NEP), del detector se define como

$$\text{NEP} = \frac{V_n}{R} = \frac{\sqrt{4kT\Delta f}\sqrt{r}}{sR_t} \quad (4)$$

La constante de tiempo τ está dada por [3-4]

$$\tau = C_V T_t, \quad (5)$$

De la expresión para el NEP vemos que para optimizar la detectividad, $1/\text{NEP}$, debemos minimizar la razón \sqrt{r}/R_t , la cual depende de las propiedades del material y de la geometría de difusión de calor. Para lograrlo se necesita tener resistencia eléctrica r pequeña y resistencia térmica R_t grande. La resistencia eléctrica r de la termopila depende de los materiales con los que es construida; para un material que tiene un área transversal A y longitudinal L , la resistencia eléctrica es $r = \rho L/A$, donde ρ es la resistividad eléctrica. Una forma de disminuir la resistencia eléctrica es incrementando el grosor de la película. Para aumentar la resistencia térmica R_t , podemos elegir cualquier material no metálico que tenga una conductividad χ pequeña.

El calor que se difunde radialmente en un disco de espesor d viene expresado por la conductancia térmica G_t , siendo igual a $2\pi d\chi/\ln(r_1/r_2)$, donde χ es la conductividad térmica, r_1 y r_2 son los radios internos y externos del disco. La resistencia térmica es igual a $\ln(r_1/r_2)/2\pi d\chi$. Para hacer la R_t grande, suponiendo que χ , r_1 y r_2 están fijos, se necesita que d sea pequeña. Para vidrio con un espesor $d = 7$ mm y cobre con $d = 0.1$ mm el promedio de la resistencia térmica es de $R_{t\text{prom}} = 46.35$ K/W.

El tiempo de respuesta [Ec. (5)] sería grande si sólo usáramos el sustrato, ya que éste tiene una R_t grande; también por esto elegimos la utilización de una capa de cobre para reducir el tiempo de respuesta. La otra forma de reducir τ es con C_V pequeña, pero como las densidades de energía de un láser en modo continuo son grandes, un material pequeño se puede destruir por la radiación.

La capacidad calorífica promedio entre el receptor de carbón, capa de cobre y sustrato es de $C_{\text{prom}} = 1.48$ J/K. El tiempo de respuesta $\tau = C_{\text{prom}}R_{t\text{prom}}$ dio un valor de 68.59 s. La respuesta R de la termopila, considerando 12 uniones y usando un valor para el coeficiente Seebeck de 1 mV/W, es $R = 0.56$ mV/W. Por último, estimamos el valor del NEP (con $r = 47.8 \times 10^3 \Omega$, $T = 300$ K, $\Delta f = 1$ Hz y $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K), dando $\text{NEP} = 5.1 \times 10^{-5}$ W.

2.2. Construcción

El sensor del detector se preparó por evaporación y condensación al vacío. Se utilizaron películas delgadas para obtener una mayor respuesta. El sustrato usado fue un disco de *cervit*, que tiene la propiedad de resistir alteraciones locales de temperatura sin peligro de quebrarse por el calentamiento. Las dimensiones del disco de *cervit* son: 40 mm de diámetro y 5 mm de espesor.

La termopila se construyó por un proceso de fotograbado (Fig. 2) tal como se realiza en microelectrónica para hacer circuitos integrados. Los metales usados son cromo y cobre y

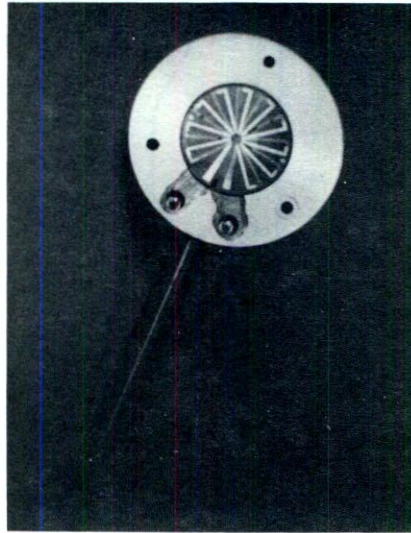


FIGURA 2. Geometría de la termopila.

fueron depositados en una evaporadora Balzers. Para grabar el cromo con la geometría de la (Fig. 4(A)) se usó como decapante ferricianuro de potasio y para el cobre (Fig. 4(B)) cloruro férrico. Las uniones calientes están formando un anillo de 4 mm de diámetro, que es aproximadamente el diámetro del láser de CO_2 , las uniones frías están a un radio de 18 mm. Encima de la termopila se deposita una película de dióxido de silicio (SiO_2) de aproximadamente 1μ de espesor que sirve para aislar los metales de contacto eléctrico con la partes metálicas del disipador de calor. Después de la capa de SiO_2 se colocó un disco de mica (que es un material resistente y buen conductor del calor) del mismo diámetro que del sustrato. La mica tiene la función de proteger a la capa de SiO_2 para que la radiación no le llegue directamente y de difundir el calor en forma radial. Encima de la mica se puso un disco de cobre, como el que forma a los circuitos impresos, de 0.1 mm de espesor, este cobre sirve para que el calor se difunda más rápidamente hacia el disipador de calor y logremos que el tiempo de respuesta τ sea pequeño. Con la hoja de cobre se logra que efectivamente τ disminuya, pero a la par la respuesta decrece, esto nos lleva a tener que considerar en qué valores de potencia estará trabajando el detector. Nosotros necesitamos usarlo para potencias medias, entre 1 a 20 watts en forma continua. El absorbedor de la radiación es un disco de grafito comprimido de 1 mm de espesor que está en contacto térmico con la hoja de cobre. El disipador de calor se construyó con aluminio comercial (Fig. 3).

3. CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Para calibrar el detector, se utilizó la radiación emitida por un láser de CO_2 del cual se conoce su potencia, medida con un detector marca Coherent, modelo 201. Para hacer variar la potencia de la radiación incidente, se varía el voltaje de la fuente de alimentación, también se puede variar la presión interna del gas dentro del tubo de descarga. Los

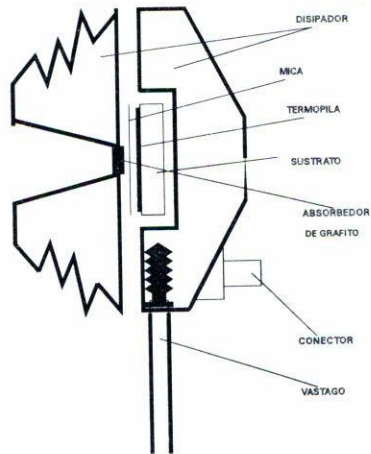


FIGURA 3. Esquema del detector.

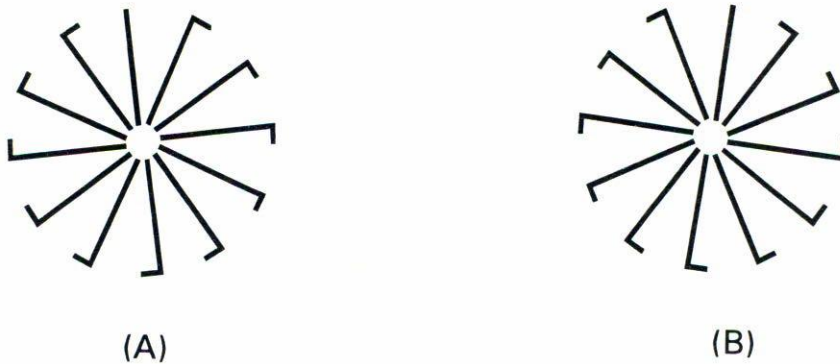


FIGURA 4. Máscaras.

resultados que se obtuvieron se muestran en la Tabla I, y corresponden a los datos del voltaje para estado estacionario. En la Fig. 5 se muestra que la respuesta del detector es lineal, obteniéndose una respuesta R (voltaje/potencia) de 0.378 ± 0.001 mV/W.

3.1. Tiempo de respuesta

Para obtener el comportamiento temporal del detector, se le hizo incidir al detector radiación de una magnitud conocida y se graficó su respuesta temporal. El comportamiento es exponencial (Fig. 6(A)), teniendo la forma analítica.

$$V = V_0(1 - \exp(-t/\tau)).$$

Aproximadamente el valor encontrado para el tiempo de respuesta fue de 20 s.

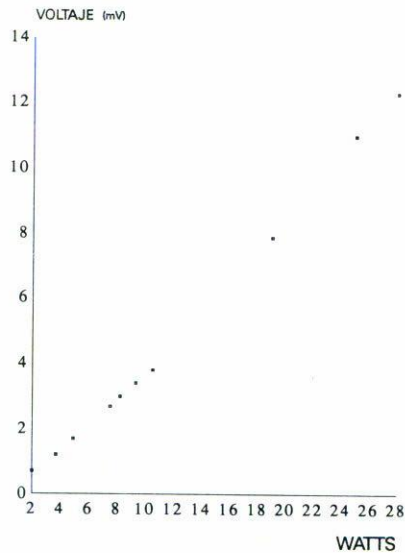


FIGURA 5. Respuesta del detector.

TABLA I.

Potencia [watts] (± 0.5)	Voltaje [mV] (± 0.05)
28.0	12.3
25.0	11.0
19.0	7.9
10.5	3.8
9.3	3.4
8.2	3.0
7.5	2.7
4.9	1.7
3.7	1.2
2.0	0.7

4. ESQUEMA ELECTRÓNICO

Para la amplificación de la señal del detector se construyó un circuito experimental que consta de los siguientes bloques: detector de potencia, amplificador, convertidor A/D y pantalla indicadora digital. El detector por sí solo tiene una respuesta lenta y proporciona un voltaje con un comportamiento exponencial. Para reducir el tiempo de respuesta se requiere que el circuito amplificador conste de un circuito RC, que hace que la respuesta se anticipe a su valor final. Esto se logra convirtiendo el voltaje del detector en una corriente proporcional y con un comportamiento exponencial más rápido que el voltaje de la señal del detector [6]. Con el circuito amplificador, el tiempo de respuesta se redujo a 375 milisegundos, según se observa en la (Fig. 6(B)).

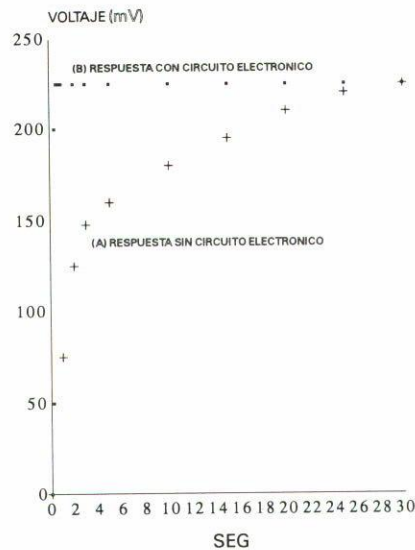


FIGURA 6. Comportamiento temporal del detector (A) sin circuito electrónico; (B) con circuito electrónico.

5. CONCLUSIONES

Con la teoría presentada, que es muy básica, se logró predecir y construir un detector de radiación en infrarrojo para el intervalo de 1 a 20 watts. Esta teoría también se puede aplicar para diseñar otros detectores de radiación, como pueden ser los detectores de pulsos. La teoría es elemental y no se puede estimar un comportamiento muy exacto. Sin embargo, da una buena estimación del funcionamiento del detector. Estas discrepancias resultan porque los datos tomados de los materiales corresponden a sus propiedades generales y no de películas delgadas.

El detector fue construido totalmente sin requerir de elementos de importación. Estimamos que el costo es reducido a una tercera parte de uno equivalente comprado en el extranjero.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Sr. Pedro Tecuatl Tecuatl por haber realizado las evaporaciones de los materiales, al Sr. Gustavo Ramírez Zavaleta por su asesoramiento en el proceso de grabación con fotorresist y al Sr. Guillermo Luna y A. por la construcción del circuito electrónico. C.I. Robledo agradece el apoyo económico del INAOE ofrecido durante el tiempo en el que se realizó el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. L.P. Boivin and T.C. Smith, *Appl. Opt.* **17** (1978) 3067.
2. R.W. Astheimer y S. Weiner, *Appl. Opt.* **3** (1964) 443.

3. I. Simon, *Infrared Radiation*, First Edition, Van Nostrand Company, Inc. N.Y. (1964).
4. M.R. Holter, S. Nudelman, G.H. Suits, W.L. Wolfe and G.J. Zissis, *Fundamental of Infrared Technology*, Second Edition, The Macmillan Company, New York (1962).
5. R.J. Keyes, *Optical and Infrared Detector*, Topics in Applied Physics vol. 19, First Edition, Springer-Verlag, New York (1977).
6. G. Luna y A. H. Torres, C. Robledo S., A. Vázquez H. y R. Ramos L., Memorias VI Congreso Nacional de Instrumentación, trabajo 32, Guanajuato, Gto. (1990).