

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 940**

51 Int. Cl.:
G03H 1/02 (2006.01)
G03C 1/735 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06826536 .2**
- 96 Fecha de presentación: **24.10.2006**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1949184**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.07.2008**

54 Título: **Rejilla de difracción holográfica de volumen-fase optimizada para la región espectral ultravioleta**

30 Prioridad:
24.10.2005 US 255955

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.11.2012

73 Titular/es:
EXELIS INC. (100.0%)
1650 Tysons Boulevard, Suite 1700
McLean, VA 22102, US

72 Inventor/es:
KAYE, ANTHONY BRESENHAN

74 Agente/Representante:
DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 389 940 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Rejilla de difracción holográfica de volumen-fase optimizada para la región espectral ultravioleta.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

5 El presente invento se refiere a dispositivos de difracción utilizados en sistemas y dispositivos ópticos, y más en concreto a un dispositivo de difracción holográfica de volumen-fase diseñado para su funcionamiento en regiones del espectro de longitud de onda cortas (es decir, en el ultravioleta).

10 Los sensores ópticos a menudo confían en información recogida de ciertas bandas de luz reflejada o dispersada por un material u objeto que está siendo investigado. En particular, la energía asociada con la dispersión Raman en la región ultravioleta (UV) del espectro puede ser de interés en la identificación de ciertos materiales. Debido a la naturaleza intrínsecamente débil de las señales en las cuales operan estos dispositivos, los dispositivos usados para detectar estas señales débiles deberían ser tan eficientes óptimamente como sea posible. Además, en un espectrógrafo, el elemento de dispersión de la luz (en muchos casos, una rejilla de difracción), es la principal fuente de pérdida de luz. Otras superficies utilizadas para dirigir o modificar la señal entrante añaden ruido (debido a la dispersión) y atenúan la fuerza del haz óptico (debido a la absorción). De esta forma, es deseable optimizar la eficiencia de cada componente del espectrógrafo, y en concreto la eficiencia de la rejilla de difracción.

Otro factor importante en el diseño de un elemento óptico, tal como una rejilla de difracción, son sus parámetros de envejecimiento. Los materiales utilizados en la fabricación de la rejilla de difracción pueden descomponerse con el tiempo debido a la exposición a la luz, y pueden hacerlo más rápido si el material interacciona con la luz de ciertas maneras.

20 El documento US A 3 567 444, describe un medio de grabación holográfica que usa como material de grabación una película de gelatina sensibilizada. La capa de gelatina se muestra situada sobre un sustrato y se usa para grabar en ella una imagen holográfica.

25 El documento US 2005/068593 A1 explica un medio de grabación holográfica compuesto por un par de sustratos transparentes, un separador y una capa de grabación de un material polimérico sujeta entre los sustratos de tal manera que la capa de grabación está en contacto con los sustratos en sus dos caras.

30 La filosofía de diseño convencional para rejillas de difracción holográfica volumen-fase ha sido que un material de gelatina no sería apropiado para una rejilla que deba operar sobre longitudes de onda de luz muy cortas. Muchos expertos en el campo creen que el material de gelatina absorbería una parte demasiado grande de la luz entrante (y por lo tanto no sería apropiado en este régimen de longitud de onda) y decaería rápidamente. Por el contrario, se ha descubierto y tal como se presenta más adelante en este documento, que una rejilla de difracción que use un material de gelatina se puede optimizar para su funcionamiento sobre luz de longitud de onda corta, tal como luz en la región UV del espectro.

35 En resumen, se proporciona un dispositivo de rejilla de difracción holográfica volumen-fase de acuerdo con la reivindicación 1 que se puede optimizar para su uso con luz de longitud de onda muy corta, tal como luz en la región ultravioleta (UV) del espectro. El dispositivo comprende una cubierta y un sustrato, conformados ambos por un material de vidrio. Una capa de material de gelatina está dispuesta entre la cubierta y el elemento de sustrato, y tiene índices de refracción variables conformados de forma holográfica en ella para dispersar y difractar la luz entrante. El material de gelatina tiene un espesor de entre 0,5 y 1 micra que lo hace apropiado para difractar luz en la región UV del espectro y muy eficiente. Este diseño de rejilla no sufre degradaciones por envejecimiento.

40 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A es una vista explosionada de la rejilla de difracción de acuerdo con el invento.

La figura 1B es una vista en perspectiva del dispositivo de rejilla de difracción en forma ensamblada.

La figura 2 es una vista en planta de una porción del conjunto de bastidor del dispositivo de rejilla.

La figura 3 es una sección transversal tomada a través de la línea 3-3 de la figura 1B.

45 La figura 4 muestra una gráfica de eficiencia de rejilla frente a espesor de la capa de gelatina en la rejilla en apoyo de cálculos para el espesor de gelatina ideal.

La figura 5 es una vista lateral que muestra la rejilla en funcionamiento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

50 Haciendo referencia a las figuras 1A y 1B, la rejilla de difracción volumen-fase se muestra de forma general con el número de referencia 10. La rejilla 10 comprende una primera capa o elemento 20 (sustrato) y una segunda capa o elemento 30 (cubierta) y un conjunto 40 de bastidor intercalado entre ambos. Aunque el sustrato 20 y la cubierta 30

se muestran como si fueran generalmente rectangulares, pueden adoptar cualquier forma, y están conformados de sílice fundida de grado UV o de otro material de vidrio apropiado. El sustrato 20 y la cubierta 30 son al menos planos a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda (HeNe) (una medida de planitud conocida en la técnica), por ejemplo, y están pegados entre sí alrededor del conjunto 40 de bastidor con un adhesivo apropiado.

5 Se puede aplicar un recubrimiento antirreflectante a las interfases aire-vidrio del sustrato 20 y de la cubierta 30. Por ejemplo, el recubrimiento antirreflectante debería proporcionar una transmisividad del 99,5% o mayor en la región de longitud de onda de interés. Dependiendo de la aplicación se puede usar un recubrimiento antirreflectante de banda estrecha o de banda ancha. Si se desea, a las superficies exteriores también se les pueden aplicar otros recubrimientos dirigidos a otras funciones tales como la resistencia al rayado o para facilitar la limpieza de la rejilla sin afectar a su rendimiento.

10 Yendo a las figuras 2 y 3, se muestra en ellas con mayor detalle el conjunto 40 de bastidor. El conjunto 40 de bastidor comprende un bastidor 44 que rodea a la periferia de una capa 42 de gelatina dicromatada. El bastidor 44 está conformado de sílice fundida de grado UV u otro material apropiado. En el exterior del bastidor 44 hay un material 46 adhesivo que se usa para sellar herméticamente la capa 42 de gelatina dicromatada sin hacer contacto con la capa 42 de gelatina.

15 A la capa 42 de gelatina dicromatada se le debe quitar el cromo (dicromatar) mediante un proceso químico apropiado una vez que el gel se ha solidificado con el fin de minimizar la difracción que crea. Se establece un patrón de interferencia y éste provoca diferentes índices de refracción dentro del holograma creado en la capa 42 de gelatina. El número de "líneas" asociado con el holograma conformado en la capa 42 de gelatina puede ser seleccionable por el usuario y depende de la aplicación concreta de la rejilla. Por ejemplo, el número de "líneas" puede variar desde pequeño (por ejemplo, 300) hasta razonablemente grande (6000 ó más). En el estado del arte son bien conocidas técnicas para conformar el holograma en una región de la capa 42 de gelatina. Se puede conseguir una resolución extremadamente grande con un sistema de dos pasadas en el cual se incorpora un espejo en el camino óptico.

20 La figura 3 muestra que el elemento 44 de bastidor actúa como un separador entre la capa 42 de gelatina y la cubierta 30. Entre el sustrato 20 y la cubierta 30 existe una región 60 volumétrica de cámara de aire dentro de la cual se deposita la capa 42 de gelatina y se permite que solidifique sobre una superficie del sustrato 20. La capa 42 de gelatina no llena completamente la región 60 volumétrica de cámara de aire. La cámara de aire 60 es necesaria porque la capa de gelatina tiene un espesor tan pequeño que no podría soportar la presión de ser intercalada directamente entre el sustrato 20 y la cubierta 30. El elemento 44 de bastidor también sirve para aislar físicamente al adhesivo 46 de la capa 42 de gelatina de manera que el adhesivo 46 no contamine la capa 42 de gelatina y degrade el rendimiento de la rejilla. Se puede aplicar un recubrimiento antirreflectante a la superficie de la cubierta 30 que hace contacto con la cámara de aire 60. El adhesivo 46 en la cara exterior del elemento 44 de bastidor también adhiere el sustrato 20 a la cubierta 30.

25 De manera general, la transmisión de la rejilla decrece cuando crece el espesor de la capa 42 de gelatina. Además, la sensibilidad de la rejilla aumenta con el aumento de espesor; ambas relaciones son dependientes de la longitud de onda. Es importante que la capa 42 tenga un espesor muy uniforme para minimizar la variación de rendimiento en diferentes zonas de la rejilla. Las dimensiones de la rejilla pueden variar dependiendo de la aplicación. La capa 42 de gelatina dicromatada tiene un espesor en el rango de aproximadamente 0,5 a 1,0 micras para operar sobre luz no polarizada en la región de 250-280 nm (UV) del espectro. Además, la rejilla puede ser un cuadrado de al menos 110 mm de lado, con una abertura transparente cuadrada de al menos 102 mm de lado.

30 Lo que sigue describe la base para determinar el espesor apropiado (ideal) de la capa 42 de gelatina para una rejilla holográfica de volumen-fase (VPHG). Para luz monocromática que atraviesa un único material, la cantidad de transmisión T viene dada por:

$$T \equiv \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (1)$$

45

En la Tabla 1 se muestran valores relevantes para estos parámetros, obtenidos mediante experimentación.

Tabla 1. Propiedades Medidas y Derivadas de Gelatina Holográfica

Propiedad Física	Valor
T	0,717
ρ	1,01 g cm ⁻³
Masa molecular media	2435,5065 g mol ⁻¹
μ	3326,7844 cm ⁻¹
σ	1,3321 x 10 ⁷ b
Espesor de gelatina de ensayo	1 μ m
Índice de refracción (n)	1,3
Modulación en n (Δn)	0,14

Tabla 2. Propiedades Físicas Deseadas de la VPHG en la Región UV del Espectro

Propiedad Física	Valor
Longitud de onda central (λ)	260 nm
Máxima dispersión de la longitud de onda	250-284 nm
Frecuencia de Ranura (Γ)	4000 mm ⁻¹
Consideraciones Geométricas (θ)	5-30°
Dimensiones Físicas	110 mm x 110 mm
Tamaño de la abertura transparente	102 mm x 102 mm
Orden de dispersión deseado (m)	1

La ecuación de la rejilla describe el comportamiento de la VPHG:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{m\lambda\Gamma}{2n}\right) \quad (2)$$

5

La Ecuación 2 indica que el ángulo θ de resplandor apropiado para una rejilla de 4000 líneas/mm optimizada para una longitud de onda de 260 nm en el primer orden es 23,578178°, un valor bien dentro de un rango permitido de 5-30° como se muestra en la Tabla 2. Estos parámetros fijan el ángulo de resplandor; el rango completo de ángulos de resplandor considerado aquí es 22,619838°-25,907725° (un $\Delta\theta$ máximo de 3,287861°) correspondiente a longitudes de onda entre 250-284 nm.

10

Una vez que se conoce el ángulo θ de resplandor, la eficiencia η de la rejilla es

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi\Delta nx}{\lambda \cos \theta}\right) \quad (3)$$

donde Δn es la modulación en índice refractivo, x es el espesor de la capa de gelatina, λ es la longitud de onda de interés, y θ es el ángulo en el cual la luz entrante choca con la gelatina (es decir, el ángulo de de resplandor: véase

Kogelnick, H., 1969, *Bell Systems Technical Journal* Volumen 48, pp. 2909ff.). Si $\Delta n=0,14$ (de la Tabla 1) y la rejilla de 4000 líneas/mm está optimizada para 260 nm en el primer orden, la eficiencia de la rejilla como función del espesor de la gelatina es

$$\eta = \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot 0.14 \cdot x}{0.26 \cdot \cos 23.5782} \right) \quad (4)$$

5 El espesor ideal de la gelatina es el espesor que simultáneamente minimiza la absorción y la dispersión (Ecuación 1) y maximiza la eficiencia (Ecuación 3). El rendimiento de la rejilla es el producto de estas dos ecuaciones, definido como

$$\tau \equiv T \cdot \eta = e^{-\mu x} \sin^2 \left(\frac{\pi \Delta n x}{\lambda \cos \theta} \right) \quad (5)$$

10 La curva de la figura 4 muestra la relación dada por la Ecuación 5 (cada pico representa sucesivos órdenes de refracción; el pico situado más a la izquierda corresponde al orden $m=1$). Para encontrar el espesor ideal de la gelatina, tomamos la derivada de τ con respecto a x ,

$$\frac{d\tau}{dx} = e^{-\mu x} \sin^2(\alpha x) [2\alpha \cos(\alpha x) - \mu \sin(\alpha x)] \quad (6)$$

(en la cual la sustitución $\alpha = \pi \Delta n / \lambda \cos \theta$), hacemos esta derivada igual a 0, y resolvemos la ecuación resultante para x . Las únicas soluciones no triviales se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{\alpha} \tan^{-1} \left(\frac{2\alpha}{\mu} \right) \\ &= \frac{\lambda \cos \theta}{\pi \Delta n} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi \Delta n}{\lambda \mu \cos \theta} \right) \end{aligned} \quad (7a, 7b)$$

15

Una vez que se ha establecido este valor, la expresión para la máxima eficiencia, τ_{\max} , es

$$\tau_{\max} = \exp \left[- \left(\frac{\pi \mu \Delta n}{\lambda \cos \theta} \right) \tan^{-1} \left(\frac{2\pi \Delta n}{\lambda \mu \cos \theta} \right) \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{-1 - \frac{4\Delta n^2 \pi^2}{\lambda^2 \mu^2 \cos^2 \theta}} \right]; \quad (8)$$

cuando se incluyen todos los parámetros de rejilla básicos, la Ecuación 8 se convierte en

$$\tau_{\max} = \exp \left[- \left(\frac{\pi \mu \Delta n}{\lambda \sqrt{1 - \frac{\Gamma^2 \lambda^2 m^2}{4n^2}}} \right) \tan^{-1} \left(\frac{2\pi \Delta n}{\lambda \mu \sqrt{1 - \frac{\Gamma^2 \lambda^2 m^2}{4n^2}}} \right) \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{-1 - \frac{4\Delta n^2 \pi^2}{\lambda^2 \mu^2 \left(1 - \frac{\Gamma^2 \lambda^2 m^2}{4n^2} \right)}} \right] \quad (9)$$

Para los valores de la zona media del rango (nominales) $\mu=3326,7944 \text{ cm}^{-1}$, $\lambda=260 \text{ nm}$, $\Delta n=0,14$, $m=1$, $n=1,3$, y $\Gamma=4000 \text{ mm}^{-1}$, el ángulo θ de resplandor es $23,578178^\circ$ y el espesor ideal de la gelatina es $0,802 \text{ }\mu\text{m}$; esto da como resultado una eficiencia teórica máxima de $75,96\%$.

5 Estos resultados proporcionan el cálculo del espesor ideal de gelatina para VPHGs en cualquier configuración dada ($\alpha=\beta$ y $\phi=0$). Si queda dicromato en la capa de gelatina después del procesamiento (solidificación y eliminación del dicromato), la rejilla será menos eficiente que lo que indican estos resultados dado que el dicromato actúa como un dispersor/absorbente adicional para los fotones entrantes.

10 Un método de ensamblado de la rejilla 10 de difracción es depositar el material de gelatina para la capa 42 sobre el sustrato 20 en el espesor deseado. Se deja que la gelatina solidifique, y se elimina entonces el cromato. A continuación, se fija el elemento 44 de bastidor al sustrato 20 que limita la capa 42 de gelatina. Se puede eliminar parte del material de gelatina para hacer sitio sobre el sustrato 20 para el elemento 44 de bastidor. El adhesivo 46 se sitúa alrededor de las superficies exteriores del elemento 44 de bastidor. Se coloca entonces la cubierta 30 por encima del subconjunto sustrato-bastidor y se adhiere al sustrato 30 mediante el adhesivo 46.

15 Yendo a la figura 5, se describirá el funcionamiento de la rejilla 10. La luz entrante (fuente) choca con la rejilla en el lado de la cubierta de la rejilla. Parte de la luz entrante en el 1^{er} orden (como ejemplo en este caso) es reflejada por la cubierta, y el resto continúa a través de la capa de gelatina hacia el sustrato. Entonces, la luz que es transmitida por el sustrato incluye luz transmitida en el orden 0^o y luz transmitida en el 1^{er} orden. No hay luz refractada a órdenes mayores (u otros alternativos) o a órdenes negativos y la luz reflejada sólo viaja a 180 grados con respecto a la luz refractada o a la luz transmitida.

20 El dispositivo de rejilla de difracción y conceptos relacionados se pueden usar en muchas aplicaciones, incluyendo cualquier aplicación de teledetección o de formación de imágenes que incorpore un espectrógrafo diseñado y/o utilizado en el régimen de longitud de onda del azul lejano o del UV. Además, puede ser útil en equipos relacionados con la astrofísica y en dispositivos de observación con base en el espacio que usen un espectrógrafo diseñado y/o
25 utilizado en el régimen de longitud de onda del azul lejano o del UV.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (10) de rejilla de difracción holográfica de volumen-fase, que comprende:

un elemento (30) de cubierta y un elemento (20) de sustrato conformados ambos de un material de vidrio;

5 un elemento (44) de bastidor situado entre dicho elemento (30) de cubierta y dicho elemento (20) de sustrato que forma una región (60) volumétrica de cámara de aire entre ellos; y

10 una capa (42) de material de gelatina sobre una superficie de dicho elemento (20) de sustrato dentro de dicha región (60) volumétrica de cámara de aire situada entre el elemento (30) de cubierta y el elemento (20) de sustrato pero que no rellena completamente dicha región (60) volumétrica de cámara de aire y tal que la capa (42) de material de gelatina no está en contacto con el elemento (30) de cubierta, teniendo dicha capa (42) de material de gelatina un espesor en el rango de aproximadamente 0,5 a 1,0 micras adaptado para operar sobre luz no polarizada en la región de 250-280 nm del espectro y que tiene una región con diversos índices de refracción creados por un holograma conformado en ella; y

15 un material (46) adhesivo que adhiere entre sí al elemento (30) de cubierta y al elemento (20) de sustrato sobre superficies exteriores del elemento (44) de bastidor, sellando herméticamente el material (46) adhesivo dicha capa (42) de gelatina sin hacer contacto con dicha capa (42) de gelatina;

en el cual la capa (42) de gelatina tiene un espesor de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\lambda \cos\theta}{\pi\Delta n} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi\Delta n}{\lambda\mu \cos\theta} \right)$$

donde x describe el espesor, λ describe la longitud de onda de funcionamiento, μ describe el coeficiente de absorción del material de gelatina, $\cos\theta$ describe el ángulo de resplandor, y n describe el índice de refracción.

20 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el cual dicho elemento (44) de bastidor está situado alrededor de bordes periféricos de la capa (42) de gelatina.

3. El dispositivo de al menos una de las reivindicaciones 1 a 2, en el cual dicha capa (42) de material de gelatina tiene un espesor de aproximadamente 0,8 micras.

25 4. El dispositivo de al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual el elemento (44) de bastidor está formado por un material de vidrio.

5. El dispositivo de una de las reivindicaciones 1 a 4, y que comprende además un recubrimiento antirreflectante conformado sobre superficies del elemento (30) de cubierta y del elemento (20) de sustrato, en el cual el recubrimiento antirreflectante tiene una alta transmisividad en una región de interés del espectro.

30 6. El dispositivo de una de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual la capa (42) de gelatina es sometida a un proceso químico para eliminar el cromo después de que se haya solidificado la citada capa (42) de gelatina.

7. El dispositivo de una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el elemento (30) de cubierta recibe luz UV entrante que es difractada y dispersada por la capa (42) de gelatina.

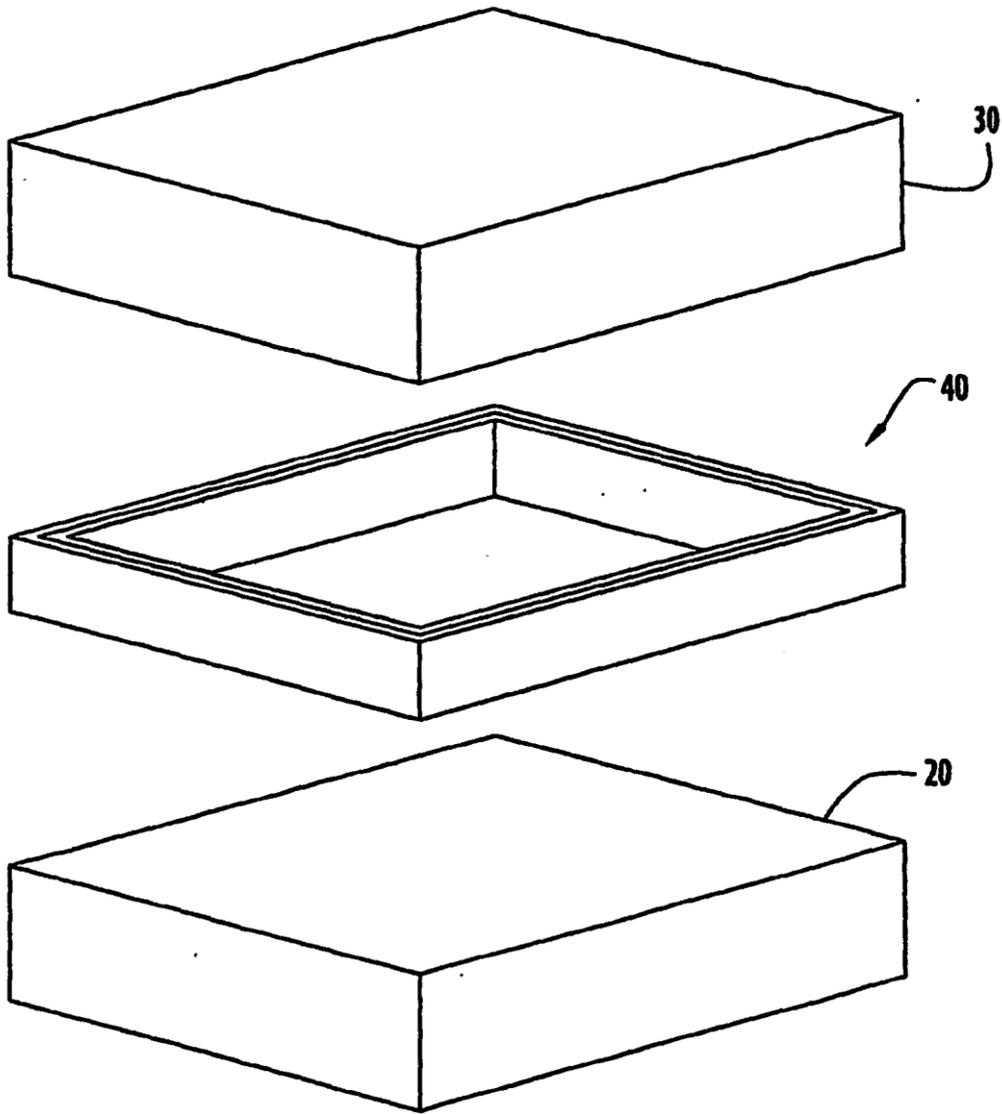


FIG. 1A

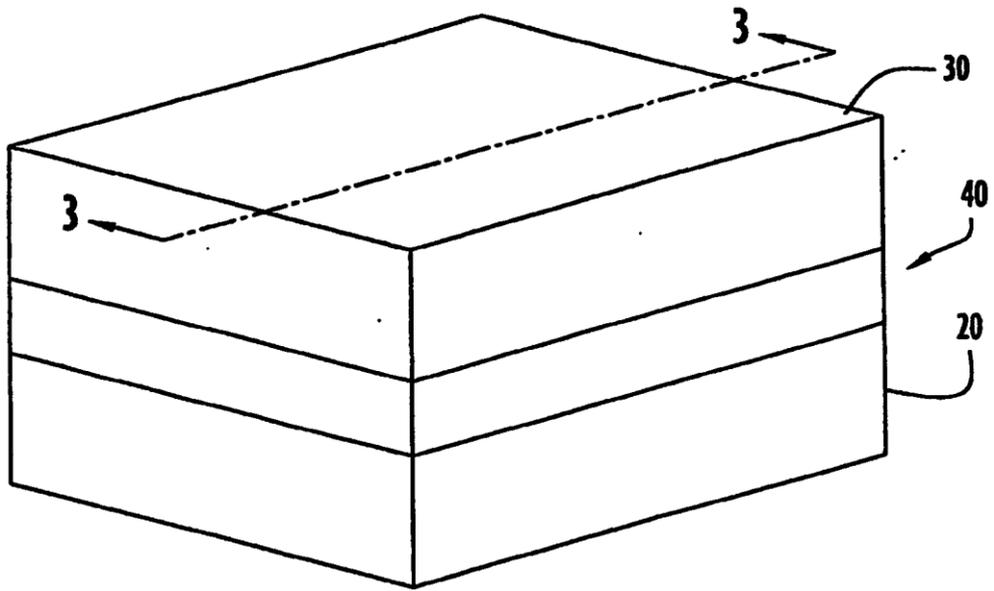


FIG.1B

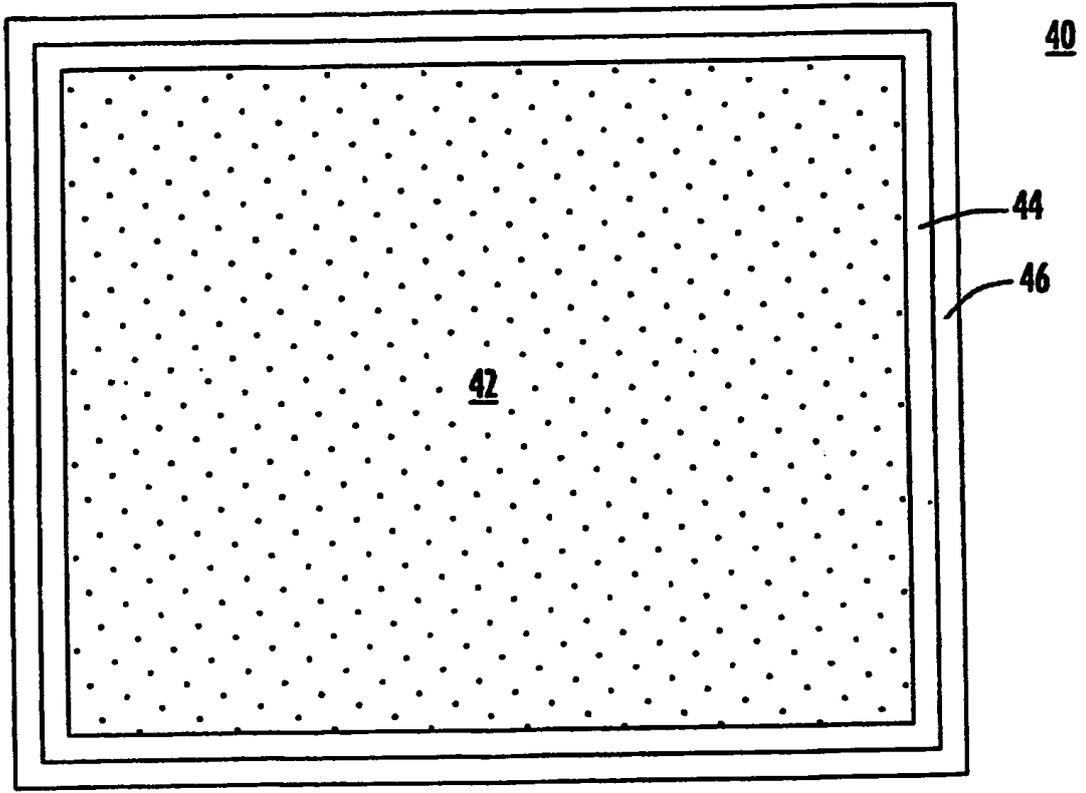


FIG.2

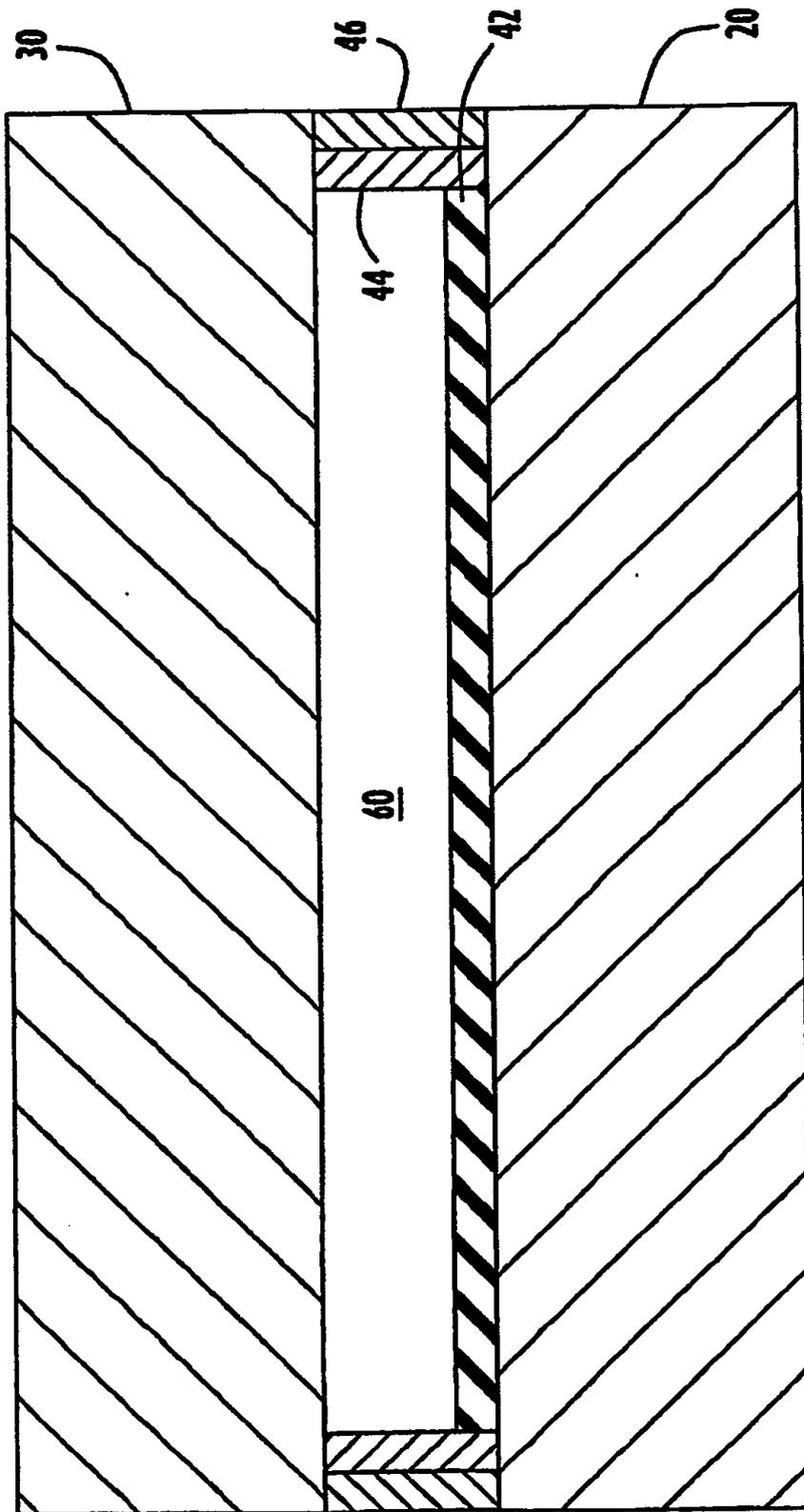


FIG.3

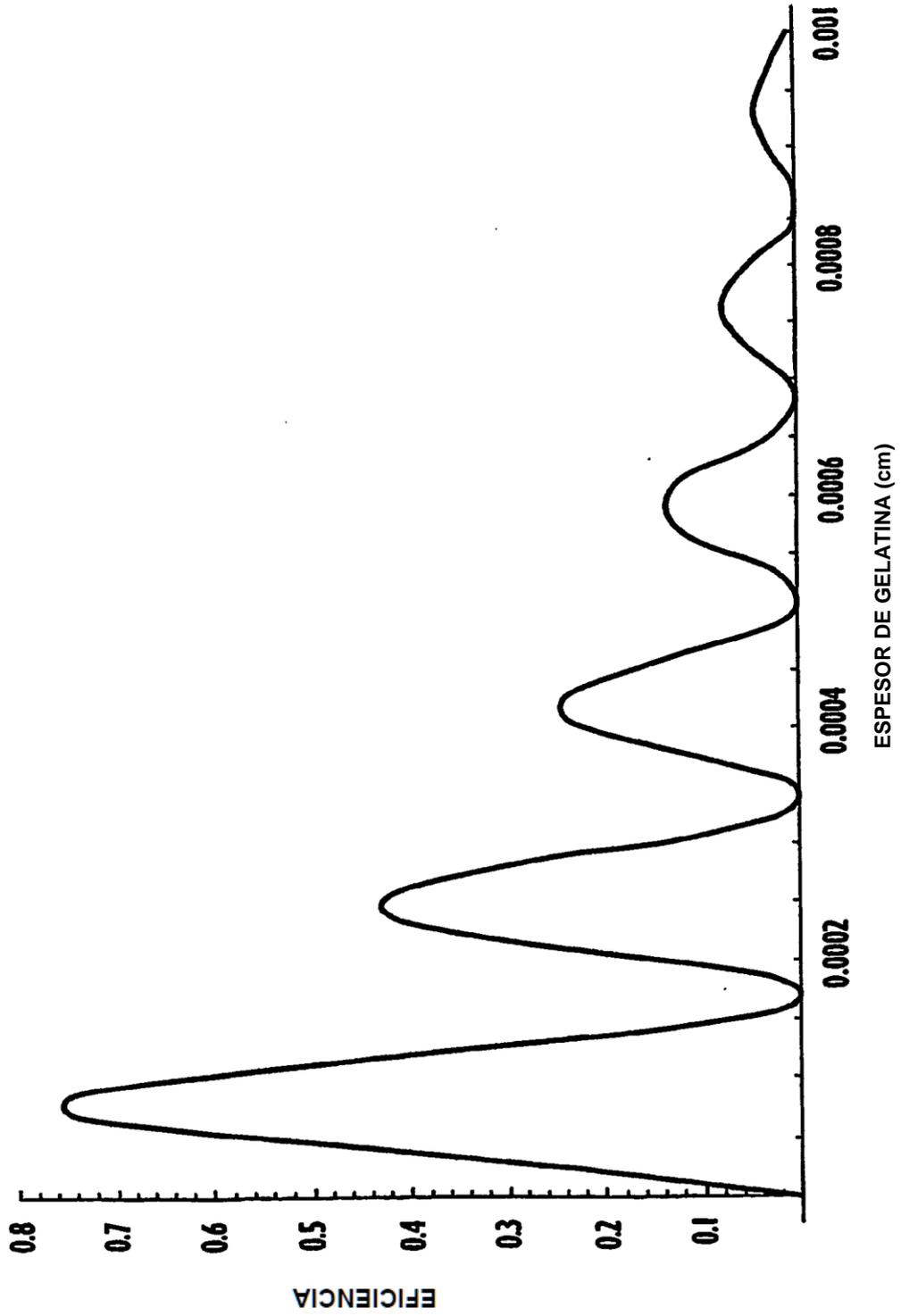


FIG.4

