

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 740**

51 Int. Cl.:

**G01J 3/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2008 PCT/EP2008/005424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2009 WO09007054**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2008 E 08773835 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 2165169**

54 Título: **Dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales con filtro tipo MOEMS para observación de satélites**

30 Prioridad:

**06.07.2007 FR 0704907**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**18.02.2021**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade  
Nord  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**VIARD, THIERRY y  
ZAMKOTSIAN, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

**ES 2 806 740 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

Dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales con filtro tipo MOEMS para observación de satélites

La invención se refiere a un dispositivo de observación multiespectral utilizado en particular para la adquisición de imágenes de observación de la Tierra por satélite mediante barrido, conocido como "Barrido por empuje" (push-broom según la terminología anglosajona), a partir de barras detectoras del tipo de transferencia de carga (CCD), por ejemplo, que se desplazan en relación con la zona observada. El documento US2005/024640 A1 revela un espectrómetro de tipo "barrido por empuje".

El principio "push-broom" se ilustra en la figura 1 de forma esquemática en el caso de una serie de detectores 1. Esta serie a bordo del satélite realiza la observación sucesiva durante el desplazamiento del satélite de las líneas  $L_1, L_2, \dots, L_N$  perpendiculares a la dirección de desplazamiento D. Una óptica de campo amplio 2 forma la imagen del suelo en una línea de detectores situados en el plano focal. El barrido de la línea se obtiene leyendo los elementos sensibles de la línea de detección. El barrido del paisaje en la dirección perpendicular resulta del movimiento del satélite en su órbita. También es posible utilizar un divisor espectral que permite hacer esta observación en diferentes ventanas espectrales y así realizar la adquisición de imágenes multiespectrales.

De manera conocida, cuando se desea producir una imagen policromática, se utilizan series de detectores elementales acoplados a filtros de interferencia, como se muestra en la figura 2, que es un ejemplo de cuatro filtros que tienen bandas espectrales  $B_0, B_1, B_2, B_3$  respectivamente, separadas físicamente por una distancia  $L_{i,j}$ . En particular, se sabe que se utilizan filtros delgados llamados filtros "cerillas". Para reconstituir los diferentes componentes espectrales se pueden usar clásicamente un detector acoplado a cuatro filtros muy finos. Estos filtros son delicados de fabricar porque están hechos de pilas de capas delgadas en la superficie de un sustrato. La figura 3 muestra un ejemplo de una pila de capas, típicamente se pueden necesitar unas 20 capas distribuidas a ambos lados de un sustrato para constituir un filtro en un rango de longitudes de onda determinado. Este tipo de filtro tiene dos tipos de inconvenientes en particular. El primero está relacionado con los efectos de borde en una zona  $z_i$  que aparecen debido al apilamiento de todas estas capas de espesor del orden de  $\lambda/4$  y que para un número significativo de capas debilita los filtros. El segundo inconveniente está relacionado con el hecho de que los diferentes filtros se fabrican de forma relacionada sobre el mismo sustrato, como se muestra en la figura 3, que esquematiza la realización de dos tipos de apilamiento que permiten asegurar las funciones de filtrado en las bandas de longitudes de onda  $B_i$  y  $B_j$ . Las tecnologías de apilamiento de capas requieren distancias de separación mínimas entre dos filtros del orden de unos pocos milímetros, lo que equivale a efectuar imágenes de escenas en la tierra a varios kilómetros de distancia.

En particular, para resolver este problema de distancia excesiva, la presente invención propone un dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales que comprende una sola estructura que puede ser controlada eléctricamente para realizar una función de filtrado en una banda de longitud de onda elegida, por lo que ya no se utilizan las pilas de capas convencionales. El interés de la invención radica además en la posibilidad de variar la función de filtrado espectral en longitud de onda y anchura espectral.

Más específicamente, el objeto de la invención es un dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales de observación satelital según la reivindicación 1.

Según una variante de la invención, el primer elemento dispersivo es una red.

Según una variante de la invención, el primer elemento dispersivo es un prisma, o una red, o un componente que incorpora las funciones de red y de prisma.

Según una variante de la invención, los medios de control del sistema micro-opto-electrónico comprenden medios para variar la función de filtrado con el mismo período de tiempo de adquisición de una imagen correspondiente al tiempo de desplazamiento equivalente a una línea de detectores que se desplazan delante de la zona observada.

Según una variante de la invención, el segundo elemento dispersivo es una red, o una red, o un componente que incorpora las funciones de red y de prisma.

Según una variante de la invención, el primer y segundo elementos dispersivos son un solo y mismo componente.

Según una variante de la invención, el componente micro-opto-electrónico comprende una estructura de micro-espejos suspendidos de un sustrato cuya distancia o ángulo con dicho sustrato puede ser controlado eléctricamente.

Según una variante de la invención, la estructura de micro-espejos comprende elementos unitarios con longitudes de unas pocas decenas de micrómetros y anchos de unos pocos micrómetros.

Según una variante de la invención, los elementos unitarios están separados por un paso de unos pocos micrómetros.

Según una variante de la invención, los medios de control son programables desde tierra.

La invención será mejor comprendida y otras ventajas serán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción, dada a título no limitativo, y con la ayuda de las figuras anexas, en las que:

- La figura 1 muestra un ejemplo de un dispositivo según la invención;
- 5 • La figura 2 muestra un ejemplo de un dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales según la técnica conocida que utiliza un filtro de tipo "cerilla";
- La figura 3 muestra una vista detallada del conjunto de capas necesarias para realizar un filtro de tipo "cerilla";
- La figura 4 muestra un primer ejemplo de un dispositivo de adquisición de imágenes según la invención ;
- 10 • La figura 5 ilustra un segundo ejemplo de un dispositivo de adquisición de imágenes según la invención en el que se destacan las combinaciones ópticas ;
- La figura 6 ilustra un tercer ejemplo de un dispositivo de adquisición de imágenes según la invención en el que se destacan las combinaciones ópticas ;
- La figura 7 ilustra con más detalle el comportamiento del filtro basado en MOEMS utilizado en el dispositivo de la invención ;
- 15 • Las figuras 8a y 8b muestran vistas en perspectiva y en sección de los componentes del MOEMS sin voltaje aplicado;
- Las figuras 9a y 9b muestran vistas en perspectiva y en sección del componente del MOEMS con el voltaje aplicado ;
- 20 • Las figuras 10a y 10b ilustran el direccionamiento de las funciones de filtrado acopladas al desplazamiento de las series de detectores en un dispositivo de la invención.

En general, el dispositivo de la invención comprende medios de filtrado de longitudes de onda para producir haces de diferentes colores a fin de obtener imágenes multiespectrales que comprenden un componente del tipo MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems, en terminología anglosajona), ofreciendo simultáneamente funciones mecánicas, eléctricas y ópticas. Este tipo de componente sabiamente asociado a un elemento dispersivo en un dispositivo de adquisición de imágenes multiespectrales permite realizar varias funciones de filtrado en bandas de diferentes longitudes de onda gracias a un control eléctrico. El ajuste espectral puede ser ultra-rápido gracias a la alta velocidad de los MOEMS como se explica a continuación.

Según un primer ejemplo de realización de la invención, el dispositivo puede comprender una sola red de difracción en la trayectoria incidente en el componente MOEMS y la trayectoria reflejada. Así, según un ejemplo de este tipo de configuración, ilustrado en la figura 4, el dispositivo comprende una óptica de campo amplio  $O_1$  que dirige un haz  $F$  de luz policromática que emite en una amplia banda espectral. El dispositivo comprende además una red de difracción  $R$  para difractar un haz  $\Sigma F_R$  compuesto de haces unitarios  $F_{Ri}$  en dispersión en diferentes direcciones a través de una lente  $L$ , dichos haces unitarios tienen longitudes de onda que pertenecen a la banda espectral. Estos diferentes haces se envían a diferentes porciones del componente  $C_{MOEMS}$  que proporciona una función de filtrado controlable en longitud de onda, reflejando sólo ciertas longitudes de onda en un haz  $\Sigma F_R'$  a través de la lente  $L$  hacia la misma red  $R$ . Todas las longitudes de onda se recombinan así después del filtrado en un haz  $F'$  que a través de una óptica  $O_2$  se envía hacia la zona a observar (no se muestra).

La figura 5 ilustra más en detalle un segundo ejemplo de un dispositivo según la invención en el que se utilizan dos redes  $R_1$  y  $R_2$ . Específicamente, un haz de luz incidente es enviado a través de una ranura  $F_e$  hacia una lente colimadora  $L_{col}$  y una primera red de difracción  $R_1$ . Esta última difracta en diferentes direcciones un haz  $\Sigma F_R$  en el componente  $C_{MOEMS}$  a través de lentes  $L$  y luego se envía de nuevo en diferentes direcciones a través de un espejo  $M_r$  en una segunda red de difracción  $R_2$ . El haz  $\Sigma F_R'$  es entonces reenfocado por una lente de enfoque  $L_f$  en la dirección del plano focal  $P_f$  de las líneas de detección.

La figura 6 ilustra un tercer ejemplo de un dispositivo según la invención en el que, el elemento de dispersión es un prisma  $P_f$ . Según este ejemplo, el haz  $\Sigma F_R$  se envía hacia el componente  $C_{MOEMS}$  a través de una lente colimadora  $L_{col}$  hacia el prisma que lo dispersa en un haz  $\Sigma F_R'$  enviado en una lente de enfoque  $L_f$  hacia el plano focal  $P_f$ , de las líneas de detección.

El esquema de la Fig. 7 ilustra con más detalle los haces difractados, aquí cuatro representados  $F_{R0}$ ,  $F_{R1}$ ,  $F_{R2}$  y  $F_{R3}$ , enviados hacia diferentes sectores de componentes controlables localmente para poder reflejar o no reflejar localmente una determinada longitud de onda.

A continuación se describe más en detalle el comportamiento de este tipo de componente. Se trata de una microestructura que puede realizar una función de espejo con respecto a un haz de luz multiespectral, como se muestra en la Fig. 8a. La figura 8b se refiere a una vista en sección de la estructura que se muestra en la figura 8a. Bajo el efecto de un campo eléctrico aplicado y por medio de la fuerza electrostática, ciertos elementos unitarios  $M_{oi}$  pueden acercarse al sustrato, creando así una estructura de red como se muestra en las figuras 9a y 9b. Típicamente los elementos  $M_{oi}$  pueden tener longitudes de alrededor de unas pocas decenas de micrómetros para anchuras de alrededor de unos pocos micrómetros. Se realizan así redes de micro-espejos capaces de reflejar o no el haz de luz  $F_i$  y controlables eléctricamente.

De acuerdo con la invención, cuando los haces  $F_{R0}$ ,  $F_{R1}$ ,  $F_{R2}$ ,  $F_{R3}$ , respectivamente centrados en las longitudes de onda  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  con anchos de banda espectrales  $\Delta\lambda_0$ ,  $\Delta\lambda_1$ ,  $\Delta\lambda_2$ ,  $\Delta\lambda_3$  llegan en un componente  $C_{MOEMS}$ , como se muestra en la Figura 7, ciertas longitudes de onda se pueden extinguir o dispersar para restaurar la reflexión en una dirección dada los haces con bandas espectrales parcialmente filtradas con respecto a los haces  $F_{R0}$ ,  $F_{R1}$ ,  $F_{R2}$ ,  $F_{R3}$ . Al redirigir estos haces parcialmente filtrados en la dirección de la red R, estos diferentes haces se recombinan en virtud del principio inverso de la luz.

Más precisamente, el componente MOEMS puede ser controlado sucesivamente de tal manera que refleje, por ejemplo, sucesivamente:

- los haces  $F'_{R1}$ ,  $F'_{R2}$ ,  $F'_{R3}$  correspondientes a una banda de emisión llamada  $B_0$  ;
- los haces  $F_{R0}$ ,  $F'_{R2}$ ,  $F'_{R3}$  correspondientes a una banda de emisión llamada  $B_1$  ;
- los haces  $F_{R0}$ ,  $F'_{R1}$ ,  $F'_{R3}$  que corresponden a una banda de emisión llamada  $B_2$  ;
- los haces  $F_{R0}$ ,  $F_{R1}$ ,  $F'_{R2}$  correspondientes a una banda de emisión llamada  $B_3$ .

Como el tiempo de integración por una línea de series de detectores es  $T_{in}$ , ventajosamente y de acuerdo a la invención las funciones de filtrado también son intercambiadas de manera concomitante para todos los  $T_{in}$  de manera que un conjunto de cuatro series de diodos puede integrar el conjunto de cuatro imágenes "coloreadas". En efecto, como se ilustra en la figura 8a, inicialmente las cuatro series de detectores  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  integran imágenes filtradas con la banda  $B_0$ , luego cuando el satélite ha pasado por una unidad equivalente a una distancia igual al paso de una serie de detectores (típicamente este paso puede ser del orden de unos diez micrómetros que corresponden a una distancia desde el suelo de unas pocas decenas de metros en comparación con los pocos kilómetros en observación obtenidos con los filtros de la técnica anterior), las cuatro series integran imágenes filtradas con la banda  $B_1$ , y así sucesivamente, de manera que después de un tiempo igual a  $4T_{in}$  como se muestra en la figura 10b, cada una de las series ha integrado las cuatro imágenes coloreadas con las cuatro funciones de filtrado. Por lo tanto, es posible controlar típicamente después de un tiempo  $T_{in}$  del orden de un microsegundo, el cambio de filtro necesario para la adquisición de una imagen en color. La invención aquí descrita consiste (por ejemplo, en el caso de 4 bandas espectrales) en utilizar un detector matricial con 4 líneas de detección. Sin embargo, en general, el número de líneas de detectores y el número de bandas espectrales pueden ajustarse ventajosamente disponiendo N líneas para N bandas espectrales.

Así, según la invención, la función espectral (banda espectral) se puede variar cíclicamente ( $B_0 \rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow B_0 \dots$ ) con el mismo período que el tiempo de integración (desplazamiento equivalente a una línea). Una escena puede ser observada sucesivamente en las 4 bandas espectrales. Las ventajas de esta solución son la ausencia de filtros tipo cerilla y la posibilidad de aumentar el número de bandas fácilmente. El perfil espectral también puede ser fácilmente programado desde tierra.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de adquisición de imágenes multi-espectrales de observación satelital que funciona en N bandas de longitud de onda, respectivamente centradas en una primera longitud de onda ( $\lambda_1$ ), . una enésima longitud de onda ( $\lambda_N$ ), que comprende :

- 5                   - una fuente que emite un haz de luz en un conjunto de N bandas de longitudes de onda;
- una óptica de campo amplio;
- un conjunto de N líneas de detectores, a bordo de un satélite para realizar la observación sucesiva de una zona observada durante el paso del satélite de líneas ( $L_1, L_2, \dots, L_N$ ) perpendiculares a la dirección de desplazamiento D de dicho satélite y que operan en las N bandas de longitudes de onda, y que permiten
- 10               adquirir imágenes de dicha zona observada en diferentes bandas de emisión ( $B_0, B_1, B_2, B_3$ ) ;
- medios de filtrado óptico,

**caracterizado porque** comprende además :

- un primer elemento de dispersión ( $R_1, R$ ) para dispersar el haz de luz en un haz  $\Sigma F_{R_i}$  compuesto de haces unitarios  $F_{R_i}$  en la dirección de los medios de filtrado;
- 15               - medios ópticos de filtrado que son medios de filtrado espectral y que comprenden al menos un sistema micro-opto-electrónico (MOEMS) en el que llegan los haces  $F_{R_i}$ , comprendiendo el sistema micro-opto-electrónico una estructura de micro-espejos elementales ( $M_{oi}$ ) suspendidos con respecto a un sustrato y cuya distancia o ángulo con dicho sustrato es eléctricamente controlable, de manera que constituye,
- 20               reuniendo ciertos micro-elementos de dicho sustrato, una red de reflexión capaz de realizar N funciones de filtrado para las N bandas espectrales, sintonizable en longitud de onda y difractando sólo ciertas longitudes de onda, mientras que otras se extinguen,
- un haz  $\Sigma F_{R_i}$  reflejado por dicho sistema micro-opto-electrónico que tiene bandas espectrales parcialmente filtradas con respecto a los haces  $F_{R_i}$ ;
- 25               - medios para controlar dicho sistema micro-opto-electrónico para seleccionar en el tiempo la función de filtrado espacial
- un segundo elemento de dispersión ( $R_2, R$ ) que permite recombinar todos los haces filtrados correspondientes a una banda de emisión dada ( $B_0, B_1, B_2, B_3$ ) a la salida de los medios de filtrado en una dirección determinada, y enviarlos sucesivamente en el tiempo en la dirección de la zona a observar.

30               2. Dispositivo de imágenes de observación satelital según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer elemento de dispersión es una red o un prisma, o una red o un componente que incorpora las funciones de red y de prisma.

35               3. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** los medios para controlar el sistema micro-opto-electrónico comprenden medios para variar la función de filtrado con el mismo período que el tiempo de adquisición de una imagen correspondiente al tiempo de desplazamiento equivalente a una línea de detectores que pasa por delante de la zona observada.

40               4. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el segundo elemento es una red o un prisma, o una red o componente que incorpora las funciones de red y de prisma.

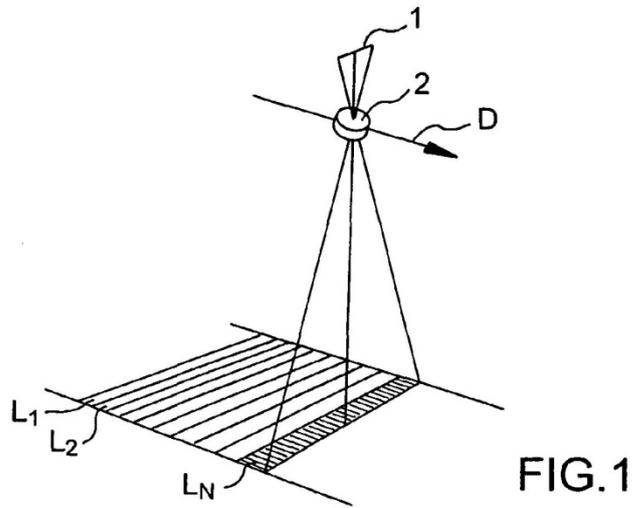
45               5. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el primer y el segundo elemento son uno y el mismo componente.

                  6. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el componente micro-opto-electrónico comprende una estructura de micro-espejos suspendidos con respecto a un sustrato, cuya distancia o ángulo con dicho sustrato puede ser controlado eléctricamente.

45               7. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la estructura de micro-espejos comprende elementos unitarios con longitudes de unas pocas decenas de micrómetros y anchuras de unos pocos micrómetros.

                  8. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado porque** los elementos unitarios están separados por un paso de unos pocos micrómetros.

50               9. Dispositivo de adquisición de imágenes de observación satelital según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** los medios de control son programables desde tierra.



Dirección de desplazamiento de adquisición

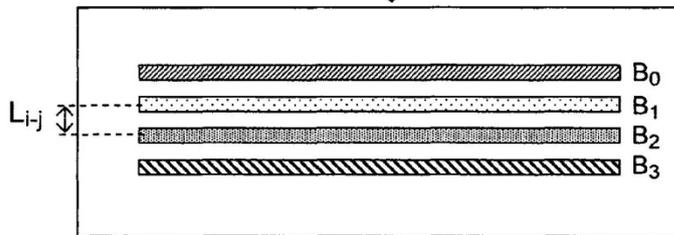


FIG.2

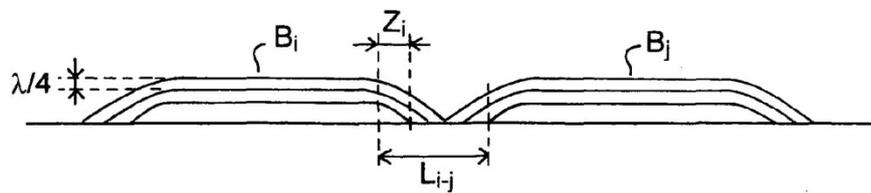


FIG.3

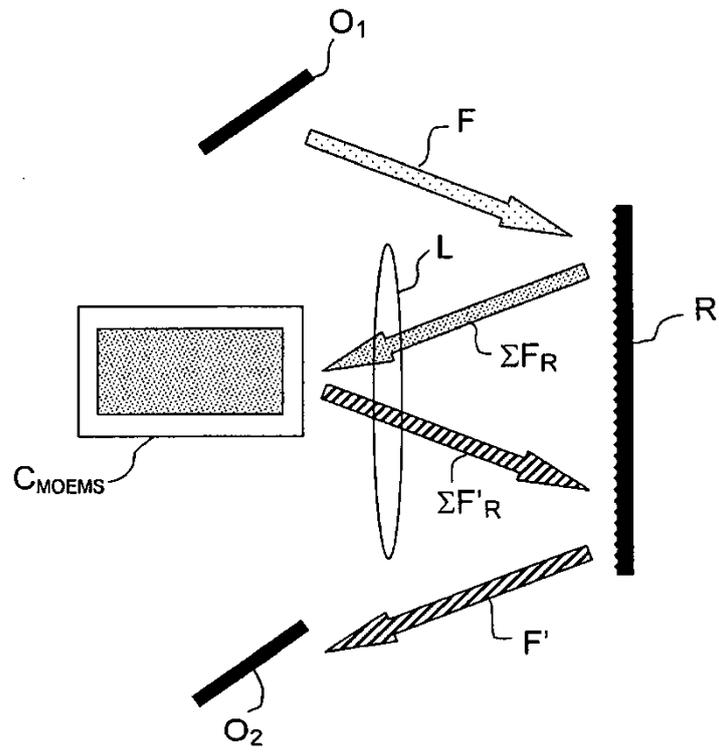


FIG.4

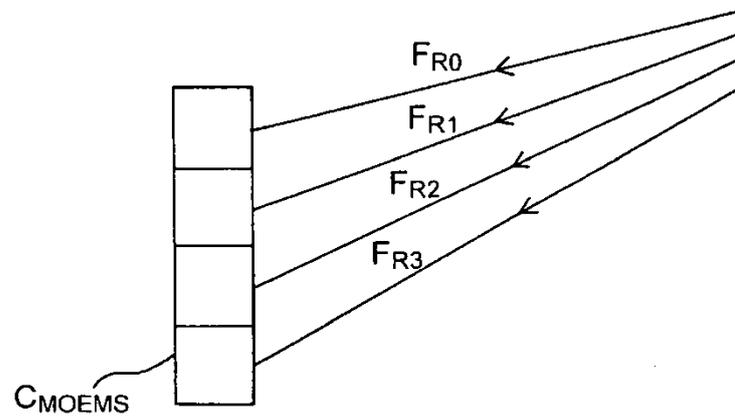


FIG.7

FIG.5

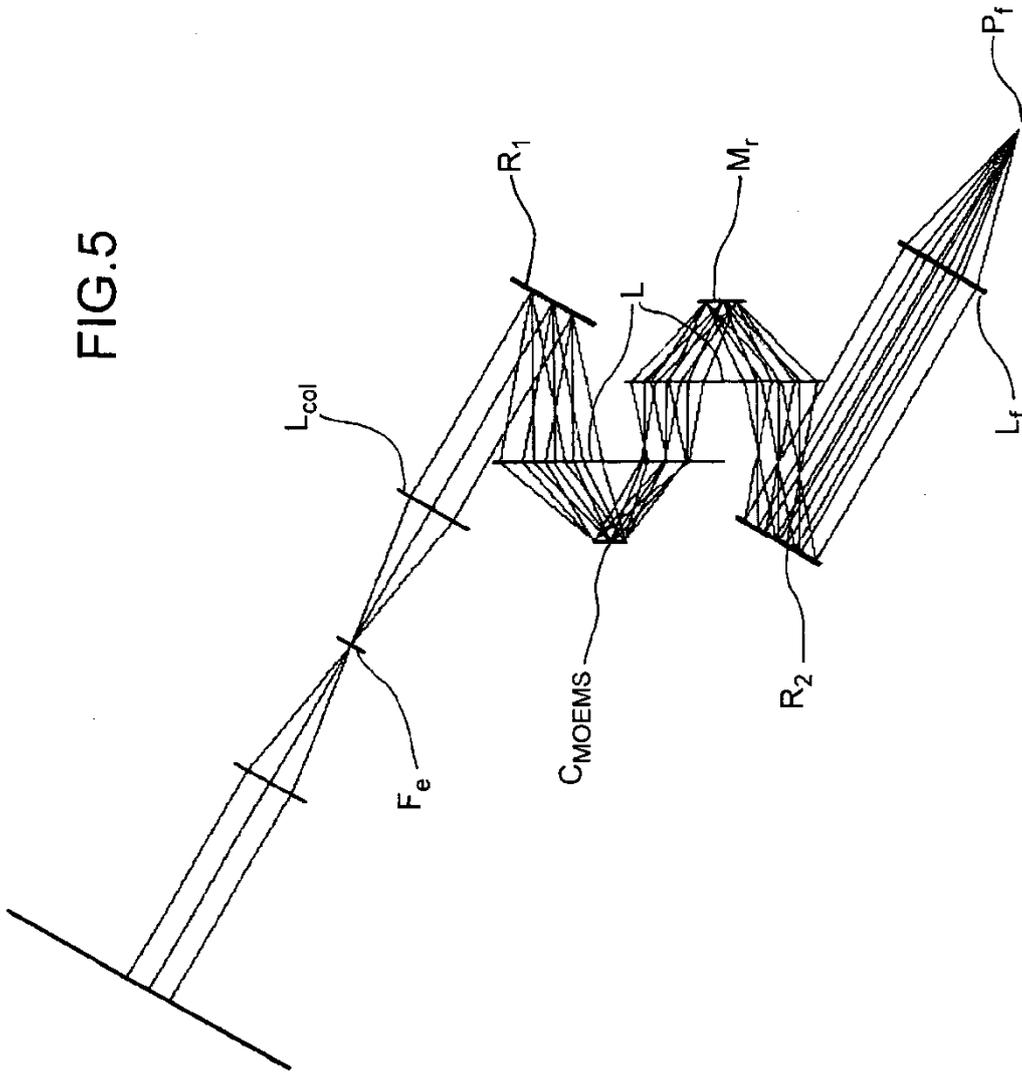
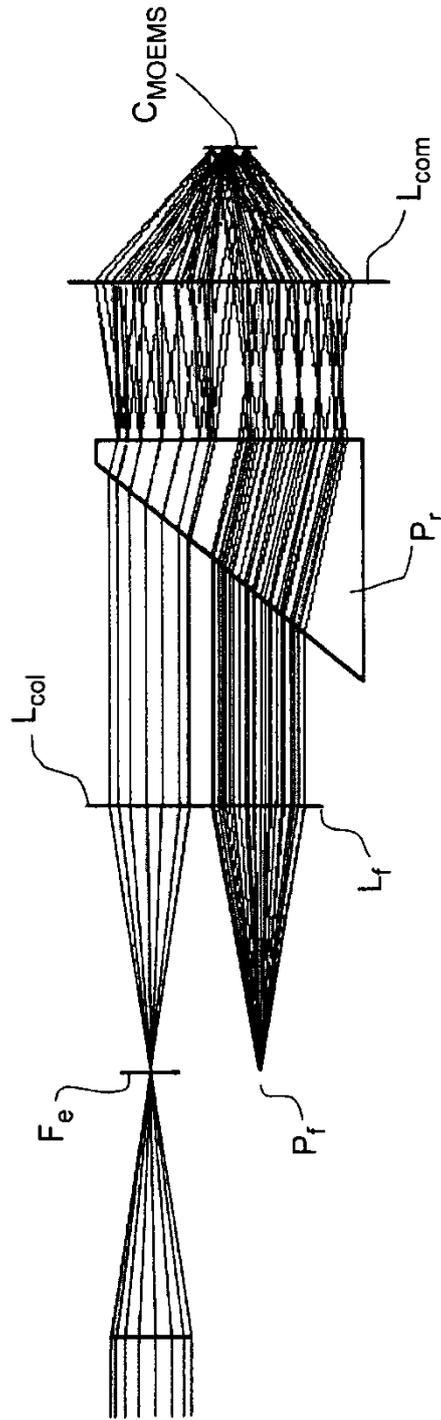


FIG.6



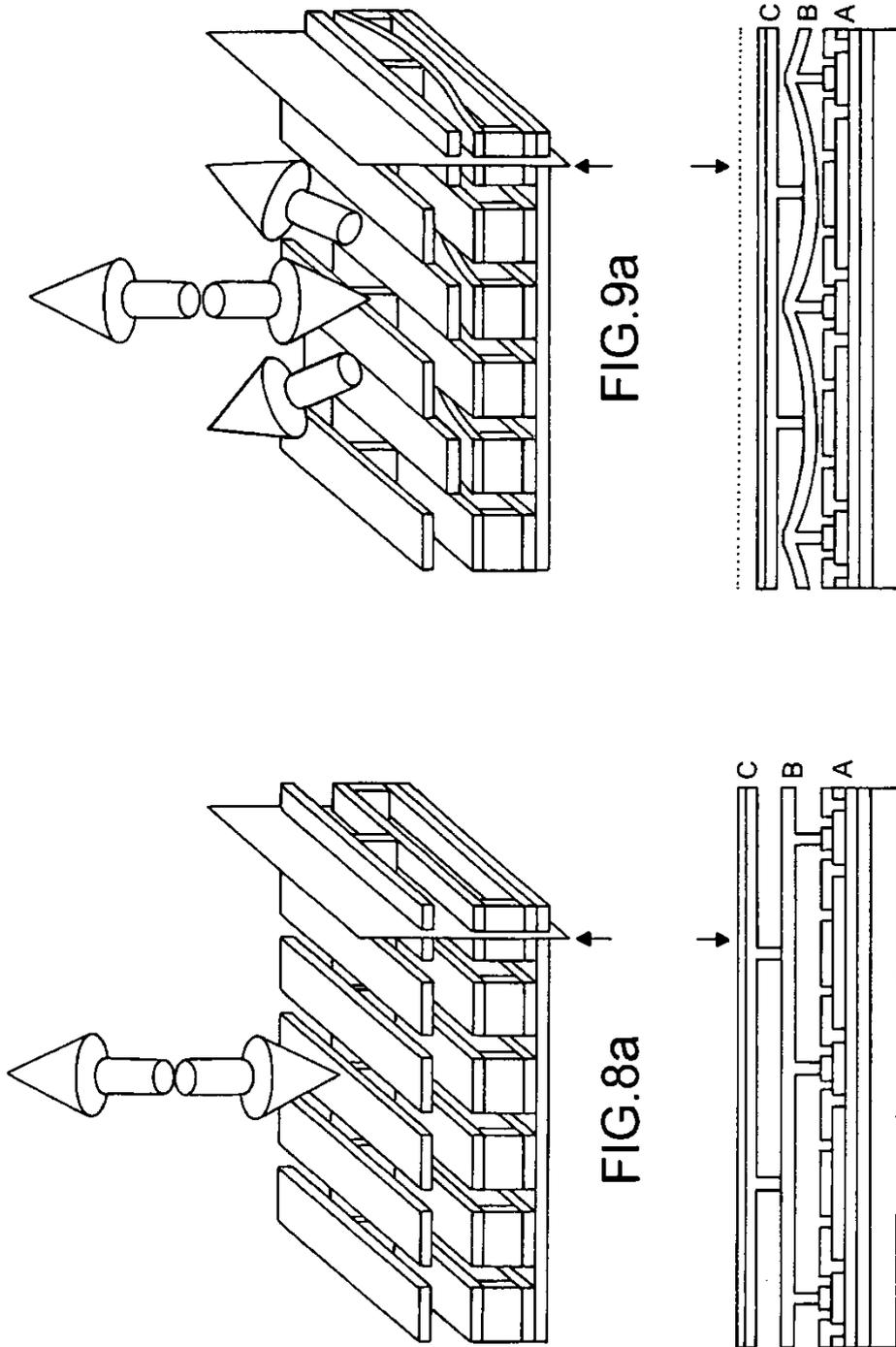


FIG.9a

FIG.9b

FIG.8a

FIG.8b

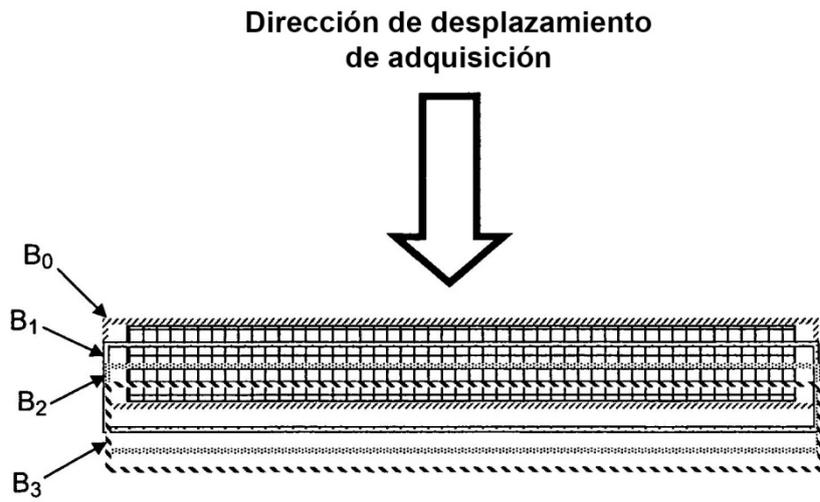


FIG.10a

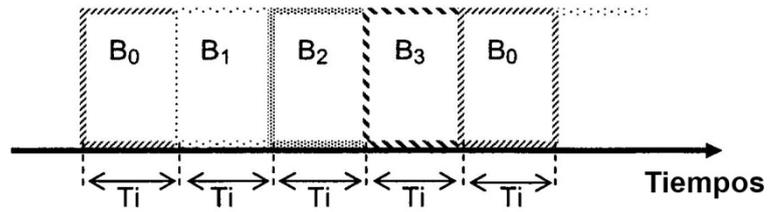


FIG.10b