

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 252**

51 Int. Cl.:

**H01P 1/18** (2006.01)

**H01Q 9/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2014 PCT/EP2014/052964**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14125095**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2014 E 14707670 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017 EP 2956986**

54 Título: **Dispositivo de desplazamiento de fase**

30 Prioridad:

**15.02.2013 EP 13155432**

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

**10.07.2017**

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
(100.0%)  
Karolinenplatz 5  
64285 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

**JAKOBY, ROLF;  
KARABEY, ONUR HAMZA y  
HU, WENJUAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 623 252 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 desplazamiento de fase

La presente invención se refiere a un dispositivo de desplazamiento de fase con al menos un componente ajustable. Este desplazamiento de fase es independiente de la frecuencia (desplazador de fase) o dependiente de la frecuencia (línea de retardo variable).

Las limitaciones en el espectro de frecuencias disponible para las comunicaciones por radio y la necesidad de una mayor funcionalidad en un volumen más pequeño aumentan la demanda de componentes reconfigurables. En adelante, en la presente memoria, radiofrecuencia (RF) significa una tasa de oscilación comprendida en el intervalo de aproximadamente 3 kHz a 300 GHz, que corresponde a la frecuencia de ondas de radio y de corrientes alternas que transportan y transmiten señales de radio. Dependiendo de los requisitos del dispositivo, existen diferentes posibles soluciones para dispositivos de desplazamiento de fase, tales como, por ejemplo, semiconductores, MEMS o dieléctricos ajustables para diseñar componentes de RF ágiles.

Los dispositivos de desplazamiento de fase son uno de los elementos clave para las antenas reconfigurables de orientación de haz electrónico.

**Estado de la técnica/técnica anterior**

A partir del estado de la técnica, los siguientes documentos se citan como ejemplos de dispositivos de desplazamiento de fase indicados anteriormente:

1. Patente de EE.UU. US 8.305.259 B2
2. Patente de EE.UU. US 8.022.861 B2
3. Patente de EE.UU. US 8.013.688 B2
4. Solicitud de patente PCT WO 2012/123072 A1
5. Solicitud de patente de EE.UU. US 2009/0302976 A1
6. F. Goelden, A. Gaebler, M. Goebel, A. Manabe, S. Mueller y R. Jakoby, "Tunable liquid cristal phase shifter for microwave frequencies", Electronics Letters, vol. 45, Nº 13, pp. 686-687, 2009.
7. O. H. Karabey, F. Goelden, A. Gaebler, S. Strunck y R. Jakoby, "Tunable 5 loaded line phase shifters for microwave applications", in Proc. IEEE MTT-S Int. Microondas Symp. Digest (MTT), 2011, pp. 1-4.
8. Solicitud de patente de EE.UU. US 5.936.484 A
9. Solicitud de patente japonesa JP 2003/008310 A
10. Onur Hamza Karabey et al., "Continuously Polarization Agile Antenna by Using Liquid Crystal-Based Tunable Variable Delay Lines", IEEE vol. 61, Nº 1,1 de Enero de 2013, páginas 70-76, ISSN: 0018-926X
11. Solicitud de patente de EE.UU. US 2009/073332 A1
12. Solicitud de patente de EE.UU. US 2002/051334 A1

Los componentes de microondas, tales como dispositivos de desplazamiento de fase, pueden ser formados a partir de líneas microstrip ("microbanda de transmisión"). Una línea microstrip es un tipo de línea de transmisión eléctrica plana que puede ser fabricada usando tecnología de placas de circuito impreso. Consiste en un electrodo con forma de banda conductora que está separado de un electrodo de masa plano por una capa dieléctrica conocida como sustrato.

Al igual que en [1, 3], el sustrato puede estar formado por polímeros de cristal líquido (PCL). Sin embargo, el material de PCL no es ajustable con respecto a la permitividad relativa de este material. Por lo tanto, debido a la ausencia de rasgos característicos ajustables que son relevantes para la configuración de un dispositivo de RF ajustable, el uso de PCL no es conveniente para el diseño de un dispositivo ajustable, tal como un varactor.

Los cristales líquidos (CLs) exhiben características y propiedades de líquidos convencionales, así como de cristales sólidos. Por ejemplo, un CL puede fluir como un líquido, pero sus moléculas pueden estar orientadas en una manera similar a las de un cristal. En contraste con los polímeros de cristal líquido (PCL), la permitividad relativa de los cristales líquidos (CL) puede verse afectada, por ejemplo, por un voltaje aplicado al material de CL.

En la técnica anterior [6], guías de ondas coplanarias (GOC) han sido cargadas con varactores CL de derivación. La

velocidad de ajuste de dichos dispositivos CL se ve afectada por su topología. Uno de los inconvenientes conocidos de dichos dispositivos es la alta pérdida metálica del GOC. Además, debido a la GOC, los varactores se implementaban por medio de parches como electrodos flotantes que puenteaban el conductor central y el plano de masa. Esto resulta en una menor eficiencia de ajuste y una alta pérdida de inserción de dicha línea de transmisión artificial.

5 De manera similar en [7], la eficiencia de ajuste de los varactores CL se mejora con el uso de una topología de condensador de placas paralelas. Sin embargo, aquí una línea ranurada se cargaba con estos varactores CL en derivación. De hecho, la carga de una línea microstrip resulta en un mayor rendimiento ya que las líneas microstrip presentan pérdidas inherentemente bajas en el sistema.

10 La técnica anterior [9] describe un dispositivo de desplazamiento de fase que comprende una línea de transmisión plana que está formada por un electrodo de señal y un electrodo de masa que están separados por una sustancia dieléctrica y que comprende además un material dieléctrico ajustable, en el que el electrodo de señal de la línea de transmisión plana está dividido en diversas piezas y comprende zonas de solapamiento de piezas adyacentes que están rellenas con un material dieléctrico, formando un varactor, concretamente un componente dieléctrico ajustable con un condensador de tipo metal-aislante-metal. Sin embargo, debido a la disposición del material dieléctrico ajustable dentro del componente dieléctrico ajustable, el tiempo de respuesta y el rendimiento son limitados.

### Tarea de la invención

20 Por lo tanto, la tarea de la invención es reducir las desventajas de los dispositivos de desplazamiento de fase según la técnica anterior y permitir un dispositivo de desplazamiento de fase favorable con bajo tiempo de respuesta, así como con un alto rendimiento, que comprende ambas características simultáneamente en una configuración compacta y plana.

### Sumario de la invención

25 La invención se refiere a un dispositivo de desplazamiento de fase que comprende una línea de transmisión plana que está formada por un electrodo de señal y un electrodo de masa que están separados por una sustancia dieléctrica y que comprende además un material dieléctrico ajustable, de manera que el electrodo de señal de la línea de transmisión plana está dividido en diversas piezas y comprende zonas de solapamiento de piezas adyacentes, formando de esta manera un componente dieléctrico ajustable (varactor) con un condensador de tipo metal-aislante-metal, caracterizado por que las zonas de solapamiento de piezas adyacentes de la línea de transmisión plana están rellenas con el material dieléctrico ajustable.

30 Una línea de transmisión (línea microstrip) está formada por dos electrodos: un electrodo de señal y un electrodo de masa. El material de los electrodos es preferiblemente material de electrodo de RF de baja resistividad tal como Ag, Cu o Au. Son posibles otros materiales o aleaciones con propiedades conductoras similares. El electrodo de señal está dividido en diversas piezas a lo largo de la longitud, es decir, a lo largo de la dirección de propagación. Estas piezas son implementadas por ejemplo como piezas laterales superiores en el lado superior del vidrio inferior y como piezas laterales inferiores en el lado inferior del vidrio superior. El vidrio superior y el vidrio inferior están apilados de manera que, en una vista en planta, es decir, cuando se observa perpendicularmente a la propagación de la señal, se forma un electrodo de señal continuo. Los términos vidrio superior y vidrio inferior no indican que se renuncie a otros materiales adecuados. Además, hay algunas secciones en las que las piezas laterales superiores y las piezas laterales inferiores del electrodo de señal están solapadas. Al menos estas zonas de solapamiento entre los dos vidrios y la pieza lateral superior y la pieza lateral inferior respectiva del electrodo de señal están rellenas con un material de cristal líquido ajustable. Por lo tanto, cada zona de solapamiento forma un condensador de tipo metal-aislante-metal. En este caso, debido a que el aislante es el material de cristal líquido ajustable, esta zona forma un componente dieléctrico ajustable (varactor). Este componente ajustable permite construir este dispositivo de desplazamiento de fase de una manera muy compacta.

40 Debido a la tecnología de CL, los varactores presentan bajas pérdidas en comparación con otras tecnologías, tales como semiconductores, para frecuencias superiores a 5 GHz, preferiblemente frecuencias superiores a 10 GHz. Además, debido a que se usa una línea microstrip, las pérdidas del desplazador de fase serían mucho menores en comparación con [6, 7].

50 Según una realización de la invención, las diversas piezas del electrodo de señal están dispuestas en dos o más niveles de distancia diferentes con respecto al electrodo de masa. La disposición de las diversas piezas del electrodo de señal en dos niveles diferentes permite una fabricación fácil y rentable de dicho dispositivo, ya que los dos niveles diferentes pueden estar sobre dos superficies de capas de sustrato. Tres o más niveles de distancia diferentes permiten configuraciones complejas y por ejemplo diferentes capas de material de CL que están situadas entre dos niveles de distancia adyacentes.

55 El material de cristal líquido ajustable puede estar dispuesto como una capa única y continua entre diversas piezas del electrodo de señal que están dispuestas en dos niveles de distancia diferentes. Los límites de esta capa continua, es

- 5 decir, no interrumpida, pueden estar adaptados y limitados a la forma y la extensión del electrodo de señal que está definido como una cubierta compuesta de las varias piezas. Esta capa continua puede cubrir completamente el electrodo de masa normalmente más grande. Para muchas aplicaciones, la capa continua puede estar dispuesta entre dos capas adyacentes de electrodos o de capas de sustrato y rellenan completamente una cavidad entre esas capas de sustrato dieléctrico. Esto permite una fabricación rápida y barata de dicha disposición, por ejemplo, mediante el uso de tecnología de pantalla de cristal líquido bien establecida.
- 10 Sin embargo, con el fin de ahorrar material de cristal líquido ajustable o para permitir un control separado de las regiones espaciales confinadas del material de cristal líquido ajustable, es posible disponer el material de cristal líquido ajustable como diversas zonas de capa confinadas entre las zonas de solapamiento de piezas adyacentes del electrodo de señal en dos niveles de distancia diferentes.
- Para la mayoría de las aplicaciones, la disposición de las piezas del electrodo de señal paralelas a la dirección de propagación, por ejemplo, linealmente a lo largo de la dirección de propagación de una señal de radiofrecuencia, es ventajosa, ya que esto previene cualquier discontinuidad, resultando en menos pérdidas. Si es necesario o factible, las piezas del electrodo de señal se disponen en una línea recta.
- 15 Sin embargo, para algunas aplicaciones que requieren muchos varactores a lo largo de la línea de transmisión, la línea de transmisión puede ser serpenteante, por ejemplo, en forma de N o en forma de espiral. Esto permite una longitud de línea de transmisión que es mucho más larga que la dimensión física del dispositivo de desplazamiento de fase.
- 20 El desplazamiento de fase a lo largo de la línea de transmisión es debido, de manera exclusiva o al menos predominante, a los varactores ajustables que son del tipo condensador metal-aislante-metal y que están dispuestos a lo largo del electrodo de señal. La configuración, la forma y la disposición de las piezas del electrodo de señal no deberían resultar en estructuras resonantes que afecten significativamente al retardo de tiempo para la propagación de la señal a lo largo de la línea de transmisión.
- 25 Un dispositivo de desplazamiento de fase según una realización de la invención puede estar caracterizado por que el electrodo de señal está dividido en diversas piezas a lo largo de la longitud de la línea de transmisión, de manera que dichas diversas piezas se implementan alternativamente como piezas laterales superiores en el lado superior y como piezas laterales inferiores en el lado inferior de un sustrato dieléctrico no ajustable y de manera que en algunas secciones hay zonas de solapamiento entre una pieza lateral superior y una pieza lateral inferior adyacente del electrodo de señal y de manera que estas zonas de solapamiento están rellenas con un material de cristal líquido ajustable y estas zonas de solapamiento forman un componente dieléctrico ajustable (varactor) con un condensador de tipo metal-aislante-metal.
- 30 En una realización ejemplar, el sustrato dieléctrico no ajustable que soporta las diversas piezas del electrodo de señal se selecciona de manera que sea un vidrio Borofloat (vidrio borosilicato de alta resistencia) de 700  $\mu\text{m}$  de espesor de Schott AG con  $\epsilon_{r,\text{vidrio}} = 4,6$  y su tangente de pérdida  $\tan \delta = 0,0037$  a 25°C y a 1 MHz. Se usa una mezcla de CL, cuya constante dieléctrica relativa es ajustable de manera continua entre 2,4 y 3,2 mediante la aplicación de un voltaje de ajuste y un procedimiento de alineamiento de superficie. La tangente de pérdida dieléctrica máxima  $\tan \delta$  de este material es menor de 0,006 para todos los estados de ajuste. La capa CL (de metal a metal) se especifica a 3  $\mu\text{m}$  para obtener un tiempo de respuesta rápido menor de 25 ms. El dispositivo permite un desplazamiento de desfase diferencial de 367° a 20 GHz con una pérdida de inserción de 6,1 dB como máximo.
- 35 Un parámetro importante para cuantificar el rendimiento de RF de estos dispositivos es un factor de mérito dependiente de la frecuencia (Figure of Merit, FoM). Este se define por la relación entre el desplazamiento de fase diferencial máximo y la pérdida de inserción más alta en todos los estados de ajuste.
- 40 Por lo tanto, el valor FoM de la realización ejemplar es 60°/dB a 20 GHz.
- 45 En una realización adicional, la línea de transmisión plana comprende al menos dos componentes dieléctricos ajustables conectados en serie que están conectados por una sección de no solapamiento del electrodo de señal. La transmisión de la señal a lo largo de la línea de transmisión plana se ve afectada, de manera dominante y básicamente única, por el número y la configuración de los varactores, es decir, los componentes dieléctricos ajustables que están dispuestos a lo largo del electrodo de señal. El desplazamiento de fase es controlado y modificado fácilmente mediante la aplicación de un voltaje de polarización de ajuste al material de cristal líquido ajustable que forma el material dieléctrico ajustable entre las zonas de solapamiento de piezas adyacentes del electrodo de señal, es decir, el condensador ajustable de tipo placas paralelas que actúa como el varactor
- 50 El ajuste es realizado mediante electrodos de control. Estos electrodos funcionan como un elemento de control. Estos electrodos transmiten los diferentes voltajes de polarización para accionar los varactores a través de las líneas de polarización. Preferiblemente, las líneas de polarización están realizadas en un material de baja conductividad para no afectar al circuito de RF. Para este propósito, pueden usarse electrodos de baja conductividad, ya que se vuelven transparentes para la señal de RF. Los materiales típicos para las líneas de polarización son preferiblemente ITO (óxido
- 55

de indio estaño), NiCr (níquel cromo) o algunas otras aleaciones que tienen una conductividad de menos de  $10e5$  S/m.

En realizaciones adicionales, el dispositivo de desplazamiento de fase es combinado con un elemento radiante para transmitir la señal de RF. Frecuentemente, el elemento radiante se denomina también antena de tipo parche ("patch"). Los elementos radiantes y las líneas de alimentación están normalmente foto-grabados sobre el sustrato dieléctrico. Los elementos radiantes, es decir, las antenas de tipo parche, están configurados como una formación cuadrada, rectangular, de banda delgada (dipolo), circular, elíptica, triangular o cualquier otra formación.

En realizaciones adicionales, el elemento radiante es una antena de tipo parche, de microstrip, de forma arbitraria, o una antena de ranura de microstrip.

Los cristales líquidos (CL) son adecuados para realizar dispositivos de RF ajustables. El CL puede ser empleado como dieléctrico ajustable, las mezclas de CL optimizadas específicamente ofrecen un alto rendimiento a frecuencias de microondas con una tangente de pérdidas por debajo de 0,006. La ajustabilidad relativa, definida como la relación entre el rango de ajuste de la permitividad mínima a la permitividad máxima, está comprendida preferiblemente entre el 5% y el 30% o entre el 10% y el 25% o entre el 15% y el 30% o entre el 5% y el 14%.

Los dispositivos de desplazamiento de fase planos, basados en CL, son adaptados normalmente en función del rendimiento de antena deseado. Con este propósito, el dispositivo de desplazamiento de fase está configurado y adaptado para reducir la pérdida de inserción, para aumentar la velocidad de orientación del haz y para permitir escaneos de amplio rango. Según la presente invención, se usa una mezcla optimizada de CLs para aplicaciones de RF. Una posibilidad para realizar componentes de RF ajustables con CL se presenta en la Fig. 3. Esta figura muestra la sección transversal de una línea microstrip invertida que usa CL como un sustrato ajustable para diferentes voltajes de polarización. La configuración consiste en dos sustratos apilados, en la que el sustrato superior tiene la línea de microstrip y el sustrato inferior tiene el plano de masa. Entre los dos sustratos, se encapsula una capa de CL delgada.

El dispositivo de desplazamiento de fase según la invención puede ser combinado con un elemento radiante, por ejemplo, con el fin de proporcionar un sistema de antenas en fase.

En una primera realización de dicha combinación, la línea de transmisión plana y la antena se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de apertura. En una segunda realización, la línea de transmisión plana y la antena se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de proximidad. En una tercera realización, la línea de transmisión plana y la antena se acoplan directamente, por ejemplo, usando una técnica de inserto-alimentación ("inset-fed") o mediante una interconexión vertical.

### Breve descripción de los dibujos

Los diversos objetos y características de la invención emergerán más claramente en la descripción siguiente, que describe realizaciones no limitativas de la invención, así como en las figuras adjuntas que representan:

La Fig. 1, una vista esquemática de una molécula de CL típica y su dependencia de la temperatura

La Fig. 2, una vista esquemática de una línea de transmisión plana según la técnica anterior

Las Figs. 3a a 3d, una vista en perspectiva esquemática, una vista en sección transversal y una vista en alzado de un dispositivo de desplazamiento de fase con diversos varactores de CL según la invención y una representación esquemática de los varactores CL ajustables que están dispuestos dentro del electrodo de señal del dispositivo de desplazamiento de fase,

Las Figs. 4a y 4b, una vista ampliada en sección transversal de una única zona de solapamiento de piezas adyacentes del electrodo de señal dentro del dispositivo de desplazamiento de fase según las Figuras 3a a 3d, y una representación esquemática del varactor de CL mostrado en la Fig. 4a,

La Fig. 5, una vista esquemática en sección transversal de una primera realización del dispositivo de desplazamiento de fase con una antena acoplada,

La Fig. 6, una vista esquemática en sección transversal de una segunda realización del dispositivo de desplazamiento de fase con una antena acoplada,

La Fig. 7, una vista esquemática en sección transversal de una tercera realización del dispositivo de desplazamiento de fase con una antena acoplada, y

La Fig. 8, una vista esquemática en sección transversal de una configuración diferente del dispositivo de desplazamiento de fase según las Figuras 3a a 3d, de manera que las diversas piezas del electrodo de señal están dispuestas en tres niveles de distancia diferentes con respecto al electrodo de masa.

En general, los materiales de cristal líquido (CL) son anisotrópicos. Esta propiedad se deriva de la forma similar a una varilla de las moléculas, tal como se muestra en una estructura ejemplar de una molécula de CL típica en la Fig. 1. Aquí, se muestra cómo la configuración de fase de un material de CL cambia con la temperatura creciente. Junto con la molécula de la Fig. 1, se indican las propiedades dieléctricas anisotrópicas correspondientes. Debido a que el material es líquido, las moléculas presentan solamente una adhesión molecular débil y, de esta manera, su orientación en el volumen puede ser cambiada. Debido a la forma de varilla, las moléculas en un volumen tienden a orientarse a sí mismas en un orden paralelo. La permitividad relativa paralela al eje largo de la molécula se denomina  $\epsilon_{r\parallel}$  y la perpendicular al eje largo se denomina  $\epsilon_{r\perp}$ .

Si dicho material de cristal líquido está dispuesto entre un electrodo de señal y un electrodo de masa de una línea de transmisión con forma de banda, la velocidad de transmisión de una señal de radiofrecuencia a lo largo de la línea de transmisión se verá afectada por la permitividad del material de cristal líquido.

Con estas dos permitividades.  $\epsilon_{r\parallel}$  y  $\epsilon_{r\perp}$ , están asociadas las tangentes de pérdida  $\tan \delta_{\parallel}$  y  $\tan \delta_{\perp}$  para la transmisión de la señal.

Puede generarse un campo eléctrico, por ejemplo, mediante la aplicación de un voltaje de control al material de cristal líquido, y afectará a la orientación de las moléculas de cristal líquido con forma de varilla. De esta manera, mediante la aplicación de un voltaje de control predeterminado, puede controlarse la permitividad relativa del material de cristal líquido.

Hay otros materiales dieléctricos ajustables con propiedades similares, es decir, con una permitividad relativa ajustable que puede ser controlada y ajustada mediante la aplicación de un campo eléctrico. Una persona con conocimientos en la materia comprenderá perfectamente que, aunque la descripción siguiente se centra en un material de cristal líquido ajustable, pueden usarse muchos materiales diferentes con permitividad relativa ajustable para el propósito de la presente invención y están incluidos en la misma.

La Fig. 2 muestra una línea de transmisión plana de la técnica anterior formada como una línea microstrip. Consiste en un electrodo 1 de masa y un electrodo 2 de señal continuo, es decir, no interrumpido, que están separados por una capa de un sustrato 3 dieléctrico. La dirección de propagación es a lo largo de la dirección del electrodo 2 de señal y está indicada por una flecha.

Las Figuras 3a, 3b y 3c muestran una vista en perspectiva, una vista en sección transversal y una representación esquemática de los componentes principales de una línea de dispositivo de desplazamiento de fase según la invención. Comprende un electrodo 1 de masa y un electrodo 2 de señal que forman una línea de transmisión plana. El electrodo 2 de señal está compuesto de diversas piezas 4 y 5 de material de electrodo de RF de baja resistencia que están dispuestas en dos niveles de distancia diferentes perpendiculares a y con respecto al electrodo 1 de masa. Las diversas piezas 4, 5 están alineadas a lo largo de la línea de transmisión, es decir, la trayectoria de propagación de la señal definida por la dirección del electrodo 2 de señal e indicada por una flecha. Las diversas piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal están dispuestas, una con respecto a la otra, con el fin de crear zonas 6 de solapamiento de las piezas 4, 5 adyacentes.

Entre el electrodo de masa y el electrodo de señal hay una capa del sustrato 3 dieléctrico no ajustable, preferiblemente vidrio. El espacio entre las diversas piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal está relleno con un material 7 de cristal líquido ajustable. Entre cada una de las piezas 4, 5 adyacentes hay zonas 6 de solapamiento. Las piezas 4, 5 están apiladas y dispuestas de tal manera que aparentemente se forma un electrodo 2 de señal continuo cuando se observa desde la vista superior, es decir, perpendicular al electrodo 1 de masa. En la parte superior del cristal 7 líquido ajustable hay una segunda capa 3' de un sustrato dieléctrico no ajustable. Las diversas piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal pueden ser por ejemplo impresas o revestidas o laminadas sobre las superficies correspondientes de las capas 3 y 3' del sustrato dieléctrico no ajustable.

Las piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal están conectadas con elementos 8 de control (representados solamente en las Figuras 3b y 3c) que consisten en un material de baja conductividad, preferiblemente ITO (óxido de indio y estaño), que es transparente para la RF. Estos elementos 8 de control transmiten el voltaje de polarización que puede ser aplicado para ajustar el material 7 de cristal líquido en las zonas 6 de solapamiento, es decir, con el fin de modificar la permitividad relativa del material 7 de cristal líquido que está entre las zonas 6 de solapamiento de las piezas 4, 5 adyacentes del electrodo 2 de señal que afecta a las propiedades de transmisión de una señal de RF que es transmitida a lo largo de la línea de transmisión plana.

El retardo de tiempo de la transmisión de la señal a lo largo de la línea de transmisión plana, es decir, el desplazamiento de fase de una señal que es transmitida a lo largo de la línea de transmisión del dispositivo de desplazamiento de fase según la invención es generado por los sucesivos retardos de tiempo para cada salto de señal entre las piezas 4, 5 adyacentes del electrodo 2 de señal que están dispuestas en diferentes niveles de distancia con respecto al electrodo 1 de masa.

Contrariamente a los dispositivos de desplazamiento de fase de la técnica anterior, que comprenden una capa de material de CL ajustable entre el electrodo 1 de masa y el electrodo 2 de señal de tipo microstrip (por ejemplo, similar a la Fig. 2), el retardo de tiempo total depende principalmente del número de saltos de señal durante la propagación de la señal a lo largo de la línea de transmisión plana. Cada salto individual causa un cierto retardo de tiempo que puede ser modificado ajustando el material 7 de cristal líquido ajustable en la zona 6 de solapamiento correspondiente. El retardo de tiempo total es el pequeño retardo de tiempo de un salto individual multiplicado por el número de saltos a lo largo de la línea de transmisión plana.

Por consiguiente, la línea de transmisión plana del dispositivo de desplazamiento de fase según la invención comprende al menos dos, pero preferiblemente muchos, componentes dieléctricos ajustables (varactores) conectados en serie que están conectados por una sección de no solapamiento del electrodo 2 de señal. Una representación esquemática de la línea de transmisión plana se muestra en la Fig. 3d.

Las Figuras 4a y 4b muestran una vista en sección transversal más detallada y una representación esquemática correspondiente de una única configuración de varactor, es decir, la zona 6 de solapamiento entre dos piezas 4, 5 adyacentes del electrodo 2 de señal y el electrodo 1 de masa en el dispositivo de desplazamiento de fase tal como se muestra en las Figuras 3a a 3d.

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran diferentes realizaciones para un elemento radiante que comprende un dispositivo de desplazamiento de fase según las Figuras 3a a 3d, que está acoplado con una antena 9 de tipo parche.

En la Fig. 5, las diversas piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal de la línea de transmisión plana y la antena 9 de tipo parche se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de apertura. Para dicho acoplamiento, la antena 9 de tipo parche es separada del electrodo 1 de masa por una capa 10 de un sustrato dieléctrico no ajustable. La energía que es transmitida a lo largo de la línea de transmisión, es decir, a lo largo del electrodo 2 de señal y del electrodo 1 de masa, es acoplada a la antena 9 de tipo parche a través de una ranura 11 próxima dentro del electrodo 1 de masa.

En la Fig. 6, la línea de transmisión plana y la antena 9 de tipo parche se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de proximidad.

En la Fig. 7, la línea de transmisión plana y la antena 9 de tipo parche se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de inserto-alimentación.

La Fig. 8 muestra una realización diferente del dispositivo de desplazamiento de fase según la invención. A diferencia de la descripción anterior, además de las diversas piezas 4, 5 del electrodo 2 de señal que están dispuestas en dos niveles de distancia diferentes, hay dispuestas algunas piezas 12 adicionales de las diversas piezas 4, 5 y 12 en un tercer nivel de distancia con respecto al electrodo 1 de masa. Las piezas 12 adicionales están montadas sobre otra superficie de la capa 3' del sustrato dieléctrico no ajustable que está opuesta a la superficie sobre la que están montadas las piezas 5 del segundo nivel de distancia.

Con la realización ejemplar de la Figura 8, el retardo de tiempo para un salto de señal entre las piezas 12 adicionales y las piezas 5 adyacentes no puede ser modificado, ya que la capa 3' que separa el segundo nivel de distancia con las piezas 5 desde el tercer nivel de distancia con las piezas 5 está realizada en un sustrato dieléctrico no ajustable. Por lo tanto, no hay varactor dieléctrico ajustable en todo punto en el que existe una zona 6 de solapamiento entre las piezas 5 y las piezas 12 adicionales. Por lo tanto, con el fin de poder ajustar el desplazamiento de fase, podría ser ventajoso conseguir una zona de solapamiento entre 12 y 4. Sin embargo, los saltos de señal adicionales añadirán un retardo de tiempo fijo que sólo depende del número de estos saltos de señal, resultando por ejemplo en un desplazamiento que puede ser fabricado de una manera muy económica.

En todavía otra realización del dispositivo de desplazamiento de fase que difiere de la mostrada en la Fig. 8, la secuencia de piezas superpuestas en tres niveles de distancia diferentes puede diferir y, por ejemplo, una primera pieza 4 en el nivel de distancia más bajo puede solaparse con una pieza 12 posterior en el nivel de distancia más alto, seguido por otra pieza en el nivel de distancia intermedio. Entonces, la señal de RF salta desde el nivel de distancia más bajo hasta el nivel de distancia más alto y posteriormente a un nivel intermedio y de vuelta al nivel más bajo. Se entenderá que los saltos de señal respectivos, cada uno de los cuales causa un cierto retardo de tiempo, pueden ser predeterminados y pueden ser dispuestos de muchas maneras diferentes, resultando en el desplazamiento de fase total de la señal. Una persona con conocimientos en la materia puede conectar también eléctricamente algunas piezas en diferentes niveles de distancia también a través de interconexiones verticales.

También es posible añadir una segunda capa de un material dieléctrico ajustable entre las diversas piezas 4, 5 y las piezas 12 adicionales del electrodo 2 de señal. Dicha segunda capa puede consistir en un material dieléctrico ajustable completamente diferente o en el mismo material de cristal líquido usado para la primera capa del material 7 de cristal líquido ajustable. Incluso cuando la segunda capa es igual a la primera capa de material 7 de cristal líquido, mediante el uso de diferentes elementos de control o mediante la aplicación de un voltaje de polarización diferente, el retardo de tiempo para los saltos de señal entre el segundo y el tercer nivel de distancia puede ser controlado de manera diferente

y puede resultar en muchas más posibilidades para controlar el dispositivo de desplazamiento de fase y el desplazamiento de fase resultante.

También es posible disponer las diversas piezas 4, 5 y 12 del electrodo 2 de señal en más de dos o tres niveles de distancia con respecto al electrodo 1 de masa.

5 **[Referencias en las figuras]**

- 1 electrodo de masa
- 2 electrodo de señal
- 3 capa de sustrato dieléctrico no ajustable
- 4 piezas del electrodo 2 de señal en el nivel de distancia más bajo
- 5 piezas del electrodo 2 de señal en el nivel de distancia más alto
- 6 zona de solapamiento
- 7 material de cristal líquido ajustable
- 8 elemento de control
- 9 antena de tipo parche ("patch")
- 10 capa de sustrato dieléctrico no ajustable
- 11 ranura
- 12 piezas adicionales del electrodo 2 de señal

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Dispositivo de desplazamiento de fase que comprende una línea de transmisión plana que está formada por un electrodo (2) de señal y un electrodo (1) de masa que están separados por una sustancia dieléctrica, y que comprende además un material (7) dieléctrico ajustable, de manera que el electrodo (2) de señal de la línea de transmisión plana está dividido en diversas piezas (4, 5) y comprende zonas (6) de solapamiento de piezas (4, 5) adyacentes, formando de esta manera un componente dieléctrico ajustable (varactor) con un condensador de tipo metal-aislante-metal, caracterizado por que las zonas (6) de solapamiento de las piezas (4, 5) adyacentes de la línea de transmisión plana están rellenas con el material (7) dieléctrico ajustable.
- 10 2. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 1, caracterizado por que el material (7) dieléctrico ajustable es un material de cristal líquido.
- 15 3. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado por que las diversas piezas (4, 5) del electrodo (2) de señal están dispuestas en dos o más niveles de distancia diferentes con respecto al electrodo (1) de masa.
- 20 4. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 3, caracterizado por que el material (7) dieléctrico ajustable está dispuesto como una capa única y continua entre las diversas piezas (4, 5) del electrodo (2) de señal que están dispuestas en dos niveles de distancia diferentes.
- 25 5. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 3, caracterizado por que el material (7) dieléctrico ajustable está dispuesto como al menos diversas zonas de capa confinadas entre las zonas (6) de solapamiento de las piezas (4, 5) adyacentes del electrodo (2) de señal en dos niveles de distancia diferentes.
- 30 6. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las piezas (4, 5) del electrodo (2) de señal están dispuestas linealmente a lo largo de la dirección de propagación de una señal de radiofrecuencia.
- 35 7. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las piezas (4, 5) del electrodo (2) de señal están dispuestas en una línea recta.
- 40 8. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el electrodo (2) de señal está dividido en diversas piezas (4, 5) a lo largo de la longitud de la línea de transmisión, de manera que dichas diversas piezas (4, 5) se implementan alternativamente como piezas (5) laterales superiores en el lado superior y como piezas (4) laterales inferiores en el lado inferior de un sustrato dieléctrico no ajustable y de manera que en algunas secciones hay zonas (6) de solapamiento entre una pieza (5) lateral superior y una pieza (4) lateral inferior adyacente del electrodo (2) de señal, y de manera que estas zonas (6) de solapamiento están rellenas con un material (7) de cristal líquido ajustable y estas zonas (6) de solapamiento forman un componente dieléctrico ajustable (varactor) con un condensador de tipo metal-aislante-metal.
- 45 9. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la línea de transmisión plana comprende al menos dos componentes dieléctricos ajustables conectados en serie que están conectados por una sección de no solapamiento del electrodo (2) de señal.
- 50 10. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende material (7) de cristal líquido con capacidad de ajuste de su permitividad relativa, definida como la relación del rango de ajuste de la permitividad a la permitividad máxima entre el 5% y el 30%.
11. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende al menos un elemento (8) de control que está conectado con algunas de las piezas (4, 5) del electrodo (2) de señal y por que transmite un voltaje de polarización para ajustar el material (7) de cristal líquido en las zonas (6) de solapamiento.
12. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 11, caracterizado por que el al menos un elemento (8) de control consiste en ITO (óxido de indio-estaño).
13. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la línea de transmisión plana está acoplada con un elemento radiante.
14. Dispositivo de desplazamiento de fase según la reivindicación 13, caracterizado por que el elemento radiante es una antena (9) de tipo parche de microstrip, de forma arbitraria, o una antena de ranura de microstrip.
15. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones 13 o 14, caracterizado por que la línea de transmisión plana y el elemento radiante se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de apertura.

16. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones 13 o 14, caracterizado por que la línea de transmisión plana y el elemento radiante se acoplan usando un procedimiento de acoplamiento de proximidad.

17. Dispositivo de desplazamiento de fase según una de las reivindicaciones 13 a 16, caracterizado porque la línea de transmisión plana y el elemento radiante pueden ser conectados directamente, por ejemplo, usando una técnica inserto-alimentación ("inset-fed") o mediante una interconexión vertical.

5

Fig. 1

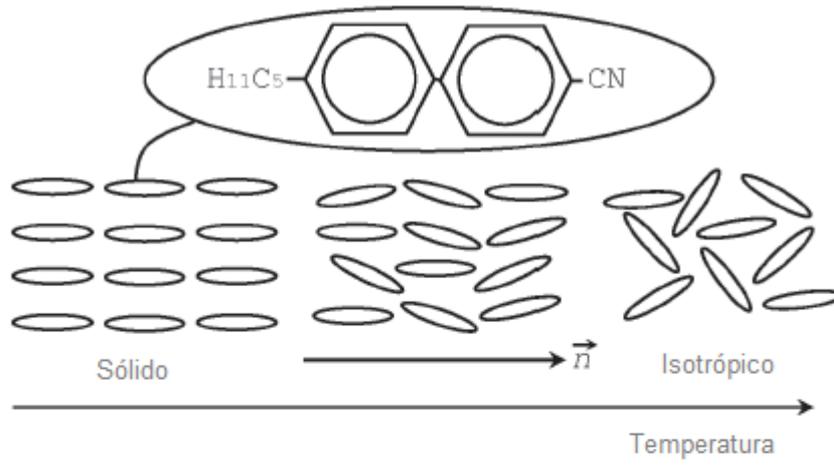
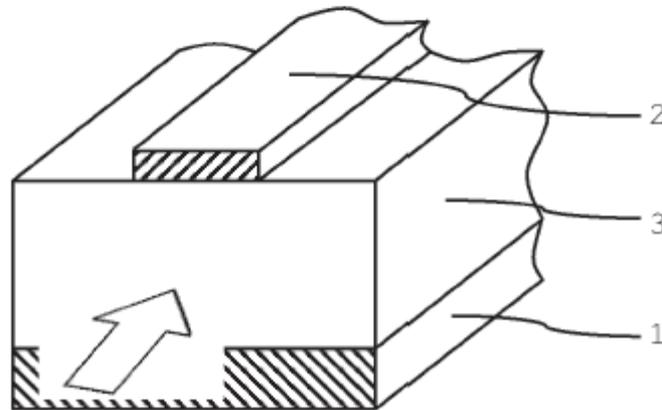


Fig. 2

Técnica anterior



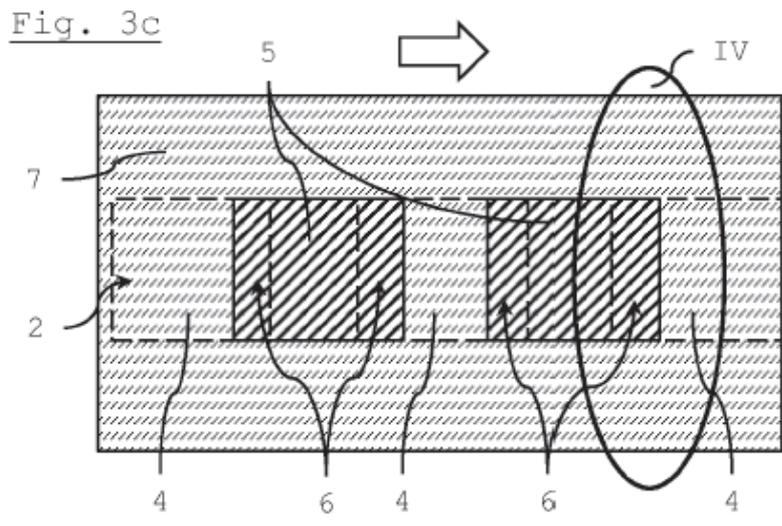
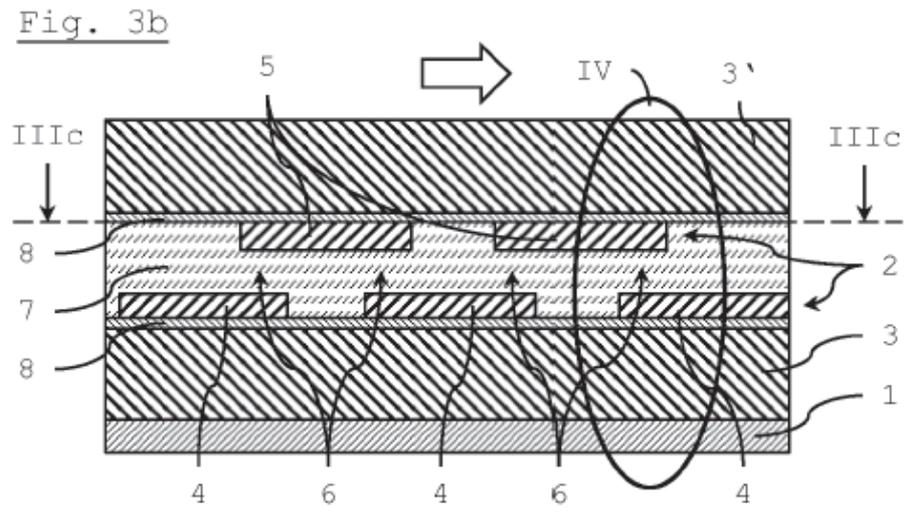
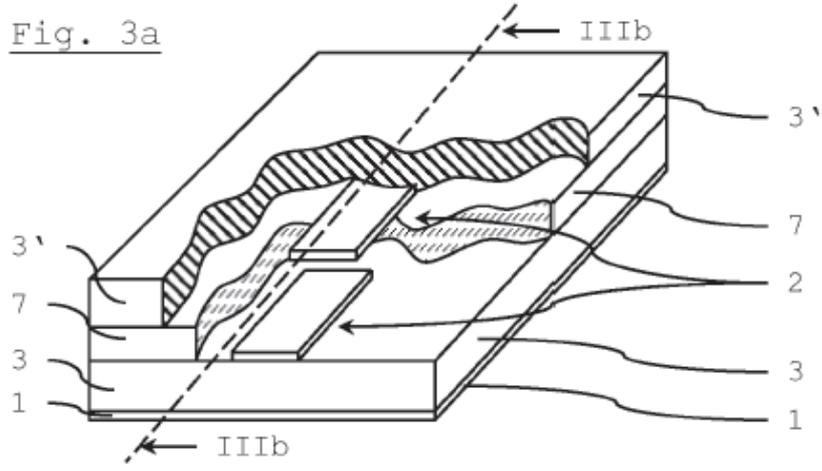


Fig. 3d

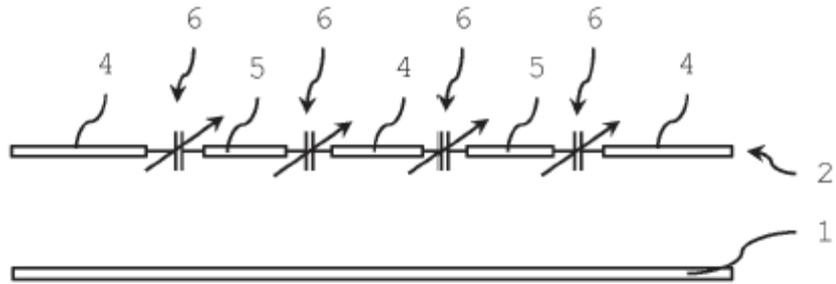


Fig. 4a

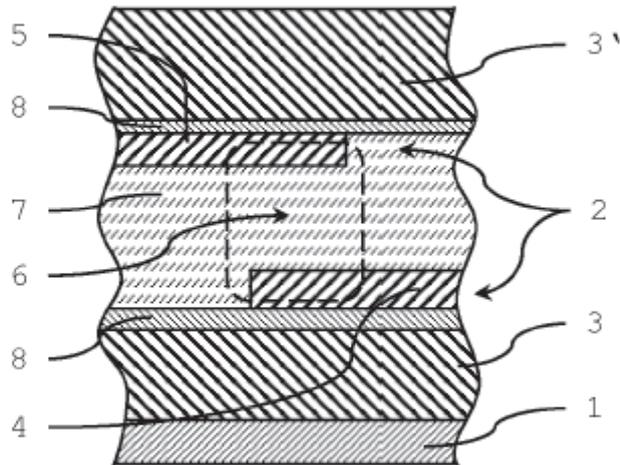


Fig. 4b

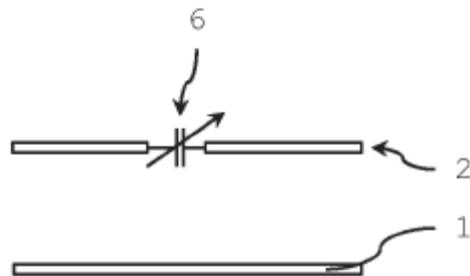


Fig. 5

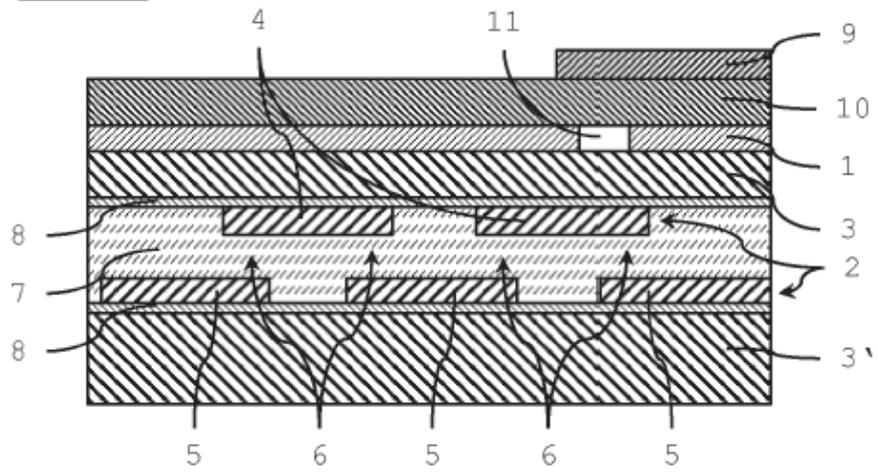


Fig. 6

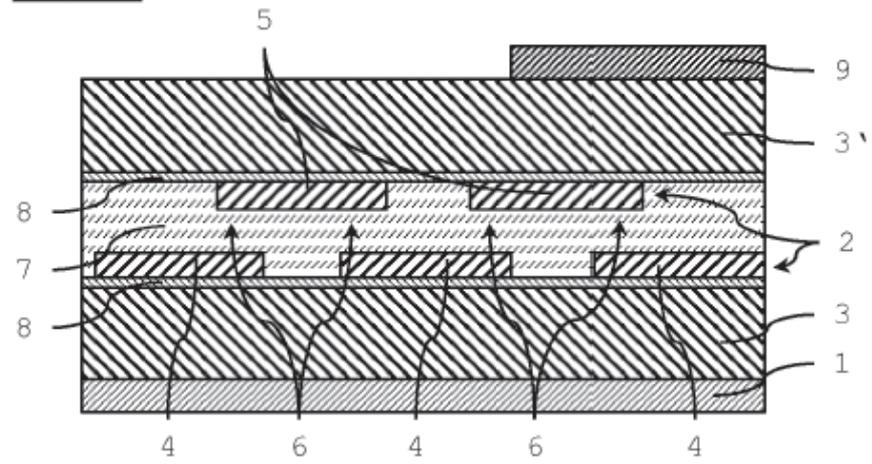


Fig. 7

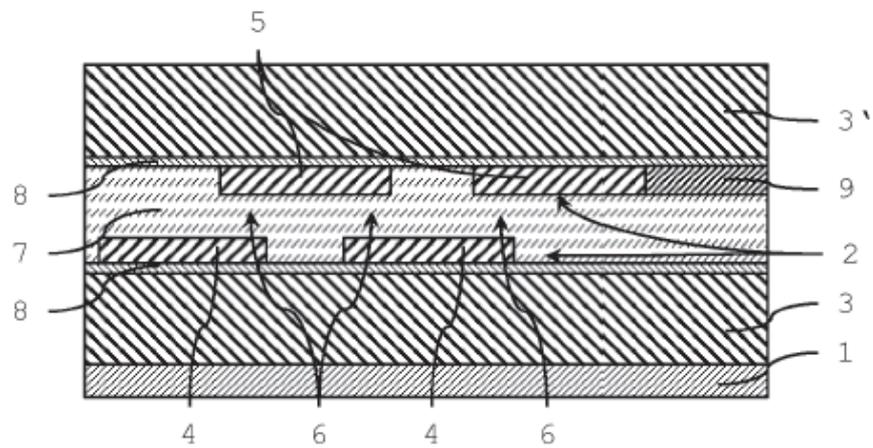


Fig. 8

