

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 642**

51 Int. Cl.:

G03F 7/095 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2004** **E 04022611 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012** **EP 1519227**

54 Título: **Método para fabricar estructuras tridimensionales complejas a escala submicrométrica mediante litografía combinada de dos capas resistentes**

30 Prioridad:

23.09.2003 IT TO20030730

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

23.04.2013

73 Titular/es:

**MOSAID TECHNOLOGIES INCORPORATED
(100.0%)**

**11 Hines Road, Suite 203
Ottawa, ON K2K 2X1, CA**

72 Inventor/es:

**ROMANATO, FILIPPO;
DI FABRIZIO, ENZO y
KUMAR, RAKESH**

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 401 642 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

Método para fabricar estructuras tridimensionales complejas a escala submicrométrica mediante litografía combinada de dos capas resistentes

5 La presente invención se refiere en general a un método litográfico para fabricar estructuras tridimensionales a escala micrométrica y a escala submicrométrica.

10 El método en cuestión puede aplicarse a la fabricación combinada de una única o varias estructuras submicrométricas tridimensionales ordenadas que comprenden dentro de las mismas estructuras litográficas adicionales que no pueden insertarse o producirse de otra manera mediante otros procesos litográficos. En particular, éstas últimas pueden consistir en regiones irregulares en estructuras periódicas, tales como defectos de punto, línea, superficie o volumen.

15 El método también puede utilizarse para formar estructuras suspendidas desde otras estructuras tridimensionales complejas.

20 El método definido en las reivindicaciones proporciona una herramienta para superar algunas de las limitaciones actuales en la producción de estructuras tridimensionales basadas en los procesos litográficos capa por capa convencionales que encuentran dificultades en la generación de formas cóncavas, en la abertura de huecos dentro de las superestructuras litográficas o en la generación sencilla de estructuras suspendidas.

25 Las tecnologías para fabricar nanoestructuras tridimensionales complejas son particularmente importantes en varios campos de aplicación, incluyendo: la fotónica, en donde se utilizan para formar cristales fotónicos y redes de interconexiones correspondientes para señales ópticas; la óptica, en donde se utilizan para fabricar elementos ópticos difrangentés; los microfluidos, en donde se utilizan para fabricar elementos para microdispositivos de uso médico y biológico y microimplantes, y para la producción de microsensores y micro sistemas electromecánicos y/o electroquímicos.

30 Éstas son disciplinas que requieren el desarrollo de dispositivos altamente complejos en los que la topología lateral típica del procedimiento litográfico capa por capa ya no es adecuada, y que requieren además el desarrollo de estructuras micrométricas y nanométricas tridimensionales complejas. Regiones irregulares, estructuras enterradas, cavidades y concavidades, y defectos incorporados en estructuras volumétricas regulares, en particular defectos de línea, pueden utilizarse para formar y llevar a un estado funcional estos dispositivos y las estructuras que los constituyen.

35 La siguiente descripción se centrará en el aspecto tecnológico de la fabricación de cristales fotónicos y de mezcladores de microfluidos, proporcionando un ejemplo típico de una estructura compleja que puede formarse mediante el nuevo método litográfico.

40 Los cristales fotónicos son estructuras artificiales con una estructura periódica que pueden absorber y/o retener total o parcialmente radiación electromagnética dentro de una gama de frecuencias dada. En lo que respecta a la geometría, pueden ser periódicos en una, dos o tres dimensiones. El último tipo mencionado tiene la propiedad de retener radiación electromagnética en todas las direcciones y, por lo tanto, desempeña un papel importante en la transmisión de señales luminosas y de una onda electromagnética en general.

45 Sin embargo, la transmisión eficaz de la señal no sólo requiere la presencia del cristal fotónico tridimensional, sino también de una red de interconexiones, tal como una red de guías de ondas, filtros, cavidades de resonancia y circuitos similares para transmitir y/o procesar señales electromagnéticas, capaces de transportar una radiación óptica dentro de la estructura tridimensional.

50 Otros dispositivos pasivos pueden adoptar la forma de filtros, combinadores y/o diferenciadores de señales ópticas. La posibilidad de formar cavidades ópticas también resulta esencial para la fabricación de dispositivos activos innovadores (dicho de otro modo, capaces de generar señales luminosas) tales como láseres con bajos umbrales de activación. Por lo tanto, lo que se requiere es una tecnología para diseñar y formar defectos de línea y de volumen dentro de estos cristales, y para situar los defectos de manera precisa con respecto a la estructura periódica de los cristales.

55 En la actualidad, la fabricación de un cristal fotónico tridimensional que comprenda guías de ondas u otros elementos de circuito óptico activos o pasivos es uno de los problemas que limitan el desarrollo de la fotónica.

60 En lo que respecta a los métodos, en la técnica anterior se distinguen dos categorías de procedimiento para la formación de nanoestructuras periódicas tridimensionales, en particular las que incorporan defectos internos. Por un lado, se conocen procesos secuenciales tales como los procesos capa por capa o punto por punto mencionados anteriormente, que permiten un control preciso de la fabricación de la estructura y, por consiguiente, de la generación de defectos en la misma. Estos procesos son muy ineficaces y caros y, por lo tanto, no son adecuados

para la producción en masa o incluso para la investigación en algunos casos. Por otro lado, se conocen procesos en paralelo (tales como procesos de autoensamblaje con nanopartículas, de litografía holográfica y de litografía con rayos X) que proporcionan de manera intrínseca una fabricación tridimensional y que, por lo tanto, son adecuados para la producción en masa, pero no pueden utilizarse para formar defectos y, por lo tanto, en el caso en cuestión, no pueden utilizarse para formar una red de interconexiones para la transmisión de señales luminosas en un cristal fotónico.

Los dos procedimientos son complementarios entre sí. El control de los detalles permite el diseño de las guías de ondas pero no de la estructura de los cristales fotónicos; por el contrario, la generación de volúmenes con una estructura tridimensional no permite el control de la generación de defectos en los mismos.

La solicitud de patente estadounidense US2003/0002846 a nombre de Sigalas, titulada "*Three dimensional photonic crystal waveguide apparatus*", describe un método de fabricación estándar capa por capa. Las estructuras periódicas que deben desarrollarse en un plano se generan en cada capa. La operación se repite con alineaciones de las capas subsiguientes para formar la estructura tridimensional. Durante la fabricación de una única capa se forma un único defecto de línea en la estructura periódica plana, quedando enterrado este defecto posteriormente mediante la deposición de las capas subsiguientes.

La desventaja del procedimiento capa por capa descrito anteriormente es que requiere numerosas etapas litográficas y etapas de proceso para la creación del cristal fotónico y del defecto incorporado en el volumen del cristal y, por lo tanto, es lento y caro, por lo que no es adecuado para la producción en masa.

Los procedimientos en paralelo o de autoensamblaje tienen propiedades complementarias. Estos procedimientos hacen uso de fenómenos químicos y/o físicos (aglomeración de nanoesferas, interferencia de haces luminosos coherentes, deposición de haces de iones, etc.) para generar estructuras tridimensionales intrínsecamente periódicas. La formación del cristal fotónico finaliza normalmente con la infiltración de material dieléctrico con un elevado índice de refracción a través de los poros interconectados de la estructura periódica que se ha generado. La naturaleza de los procedimientos en paralelo es tal que no pueden generar la anomalía requerida para la generación de un defecto de línea o de volumen con una geometría controlada.

La litografía con rayos X también pertenece a la categoría de procedimientos en paralelo para la formación de cristales fotónicos. Según los procedimientos descritos anteriormente, la superposición de una serie de haces paralelos que proceden de diferentes direcciones permite la generación de una estructura periódica ordenada tridimensional. En este caso también es necesario encontrar un método innovador para introducir los defectos en el cristal fotónico.

Para facilitar el entendimiento de un proceso litográfico típico para la fabricación de nanoestructuras tridimensionales según la técnica anterior, se hará referencia a las figuras 1a a 1e que muestran de manera esquemática las etapas de fabricación de una estructura de cristal fotónico. Esto hace referencia al caso de la litografía con rayos X como un ejemplo de proceso litográfico en paralelo.

La figura 1a muestra una configuración inicial que comprende un sustrato S sobre el que se ha depositado una capa L de un material resistente R, por ejemplo una resina fotosensible o sensible a los rayos X. En las figuras 1b y 1c, el material resistente R se ilumina con una radiación X a través de una máscara M. En este caso, el material resistente está expuesto en etapas sucesivas con diferentes direcciones de incidencia, en las que la radiación incide sobre la estructura en diferentes ángulos. En el presente ejemplo se ha utilizado un material resistente positivo y, por lo tanto, en las regiones iluminadas (que forman el entramado G en la figura) los enlaces moleculares del material resistente se rompen y el material resistente se retira mediante un disolvente adecuado.

En una etapa posterior (figura 1d), un metal se hace crecer de manera electrolítica dentro de la estructura reticular hueca G creada en el volumen no expuesto del material resistente positivo. La extracción del volumen no desarrollado de material resistente (figura 1e) produce la estructura metálica tridimensional deseada final, en este caso un entramado periódico de columnas metálicas entrelazadas soportadas por el sustrato S. La etapa de infiltración del metal puede sustituirse o ir seguida de una infiltración de materiales dieléctricos mediante el método sol-gel o mediante la deposición química de materiales dieléctricos a partir de la fase de vapor o de la fase líquida, con el fin de producir cristales fotónicos puramente dieléctricos o metálico-dieléctricos combinados.

Con referencia a las figuras 2a a 2h, éstas muestran de manera esquemática, en secuencia, un proceso para la formación de un defecto en una estructura tridimensional periódica según el método descrito.

Las etapas 2a a 2c son idénticas a las etapas 1a a 1c descritas anteriormente. Una primera capa L1 de material resistente positivo R se deposita sobre un sustrato S y, después, el material resistente se ilumina (por ejemplo con rayos X) a través de una máscara M en las direcciones deseadas. Por tanto, una estructura reticular G de material resistente no polimerizado, integrada en un volumen de material resistente estable, se crea en el cuerpo del material resistente.

En la etapa 2d, la estructura obtenida de esta manera se expone a un proceso litográfico adicional, por ejemplo una litografía con haz de electrones (un proceso que, como tal, no requiere ningún enmascaramiento adicional), para formar una región de superficie D de extensión limitada, representando el defecto que va a producirse en el cristal fotónico que está fabricándose.

5 En la siguiente etapa (figura 2e), después de retirar el material resistente no polimerizado, se lleva a cabo el crecimiento electrolítico de metal en la estructura reticular G.

10 En la siguiente etapa (figura 2f), una segunda capa L2 del mismo material resistente R se deposita sobre la estructura intermedia formada de esta manera y se lleva a cabo una etapa adicional de litografía con rayos X (figura 2g) de la misma manera que antes (figuras 2b y 2c) para crear una estructura reticular adicional G' de material resistente no polimerizado que se retira posteriormente.

15 El proceso se completa con la metalización de la estructura reticular hueca G' en la capa superior L2 del volumen total de material resistente, produciéndose de este modo una estructura de cristal fotónico tridimensional que incorpora el defecto D en la misma (figura 2h).

20 Evidentemente, el defecto puede ser un defecto adimensional, unidimensional (defecto de línea), bidimensional o tridimensional, dependiendo de la región de superficie expuesta a la litografía con haz de electrones.

25 Esta combinación de litografía con rayos X y de litografía con haz de electrones es generalmente ventajosa. Combina la posibilidad de utilizar un método de producción en paralelo (litografía con rayos X) con el mínimo número de capas necesarias y, por lo tanto, el mínimo número de etapas de proceso necesarias para introducir el defecto. Sin embargo, tiene varios inconvenientes.

30 Uno de estos inconvenientes se debe al hecho de que el volumen de la estructura final se obtiene superponiendo dos capas de material resistente en cuyas superficies de contacto se ha creado el defecto, y la estructura periódica global que forma el cristal fotónico se produce en momentos diferentes en estas capas. Esto da lugar a un problema de alineación entre la estructura periódica superior del cristal y la estructura inferior debido a la dificultad de alinear correctamente las máscaras utilizadas en las dos etapas de litografía con rayos X, llevadas a cabo antes y después de la formación del defecto, respectivamente. Este problema aparece siempre que se utilicen dos o más procesos litográficos diferentes para la generación de los entramados en las dos capas L1 y L2.

35 Además, el defecto introducido en la estructura de cristal tiene que ser sustancialmente plano ya que, en caso contrario, las etapas mostradas en las figuras 2d a 2h tendrán que repetirse varias veces, lo que aumenta en gran medida los costes y los tiempos de fabricación. De hecho, en el ejemplo mostrado anteriormente, el proceso descrito en las figuras 2g y 2h está completamente desconectado de las etapas de proceso precedentes.

40 El objeto de la presente invención es proporcionar un método para fabricar estructuras tridimensionales micrométricas y submicrométricas que supere los inconvenientes de la técnica conocida. También se requiere que el método sea adecuado para la producción en masa para la gama más amplia de aplicaciones finales.

45 Según la presente invención, este objeto se consigue mediante un método que tiene las características reivindicadas en la reivindicación 1.

50 A modo de resumen, el método según la invención se basa en la utilización combinada de dos materiales resistentes, cuyos procesos de configuración (modelado) son independientes entre sí; dicho de otro modo, las propiedades químicas que determinan las condiciones de exposición y desarrollo son incompatibles hasta el punto en que el proceso de exposición y desarrollo de uno no interfiriere en el proceso de exposición y desarrollo del otro.

Características y ventajas adicionales de la invención se describirán más en detalle en la siguiente descripción detallada de una realización de la invención, proporcionada a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

55 las figuras 1a a 1e, 2a a 2h representan la técnica anterior y ya se han comentado en la parte introductoria de la presente descripción; y

60 las figuras 3a a 3g muestran de manera esquemática las etapas de fabricación de nanoestructuras tridimensionales periódicas que incorporan un defecto mediante un método según la invención.

En las figuras 3a a 3g, los elementos idénticos o funcionalmente equivalentes a los mostrados en las figuras precedentes se indican mediante las mismas referencias utilizadas anteriormente en la descripción de esas figuras.

65 En la siguiente descripción se hará referencia a un método para fabricar cristales fotónicos tridimensionales y la red de interconexiones (guías de ondas) para transportar una señal óptica dentro del cristal. Evidentemente, la siguiente descripción también puede extenderse a otros campos de aplicación en los que tienen que producirse microsistemas

o nanosistemas tridimensionales complejos, por ejemplo, como se ha mencionado anteriormente, para la fabricación de elementos ópticos difrangentos o elementos para microfluidos, microsensores y microsistemas electromecánicos.

5 La figura 3a muestra la configuración inicial, que comprende un sustrato S (sílice, por ejemplo) y una primera capa L1 de un material resistente R1 que, en este ejemplo, es un material resistente positivo de baja sensibilidad y alta resolución tal como PMMA (polimetilmetacrilato). La estructura es sustancialmente similar a la descrita en las figuras 1a y 2a en la descripción de la técnica anterior.

10 Después de la deposición de la capa L1 de PMMA se lleva a cabo el proceso de precocción típico del PMMA. En la siguiente etapa (figura 3b), se deposita una capa L' de un material resistente negativo de alta sensibilidad R2, tal como SAL601 o SAL602, fabricado por Shipley, y se lleva a cabo el proceso de cocción para este segundo material resistente.

15 Las figuras 3c y 3d muestran el proceso de litografía del material resistente negativo R2 mediante las etapas de exposición (figura 3c), desarrollo y extracción (figura 3d) de las áreas no polimerizadas. En este ejemplo, el patrón deseado se forma en el material resistente negativo mediante litografía con haz de electrones, pero también puede formarse mediante litografía óptica o de rayos X (utilizando máscaras en los últimos casos). El patrón del material resistente negativo desarrollado, obtenido mediante formación con máscaras o mediante un control de barrido en caso de litografía con haz de electrones, representa el defecto D en la estructura periódica del cristal que está construyéndose.

El material resistente que forma el defecto D se desarrolla completamente y es sustancialmente inerte con respecto a procesos litográficos posteriores.

25 Puesto que la sensibilidad del SAL601 o del SAL602 (R2) es mucho mayor (en aproximadamente dos órdenes de magnitud) que la del PMMA (R1), la dosis de exposición del SAL es tan baja que apenas afecta al PMMA subyacente. El desarrollo y la posterior retirada del SAL no polimerizado también se realizan sin interferencias con el PMMA, que permanece estable. De hecho, el proceso litográfico en la capa L' no afecta a la capa L1 subyacente.

30 La única causa de interferencia entre los dos materiales resistentes es la mezcla de los mismos en capas muy finas (entre 5 y 10 nanómetros) en la superficie de contacto. Esta capa mezclada no puede corroerse mediante el desarrollo del SAL601 o del PMMA y, por lo tanto, debe retirarse mediante ataque químico durante algunos segundos en un plasma reactivo (gas de oxígeno, por ejemplo).

35 Después se deposita una capa L2 adicional de material resistente PMMA positivo (R1) para proporcionar la configuración de la figura 3e, en la que el defecto D se incrusta completamente en un volumen de PMMA.

40 En este momento, la estructura del cristal fotónico puede formarse en el PMMA mediante litografía con rayos ultravioleta o rayos X, según la técnica anterior. Las figuras 3f y 3g muestran las etapas del proceso litográfico con la exposición de la estructura a una iluminación de rayos X a través de una máscara M, la creación de una estructura reticular G de PMMA no polimerizado, su extracción (no mostrada) y la metalización de la estructura hueca obtenida de esta manera.

45 Debe observarse que en estas últimas operaciones el proceso litográfico con rayos X sobre el PMMA no afecta a la estructura del material resistente negativo incorporado que, de hecho, se vuelve incluso más estable durante una exposición prolongada. Además, el SAL601 o el SAL602 es un material resistente transparente a la radiación electromagnética y, por lo tanto, no limita la exposición del PMMA, incluso en las partes subyacentes a dicho SAL.

50 Esto es un aspecto fundamental ya que hace posible proporcionar estructuras de PMMA autoalineadas entre las capas por encima y por debajo de la superficie de contacto en la que se ha formado el defecto. El defecto generado en el volumen de la estructura actúa sustancialmente como un defecto de punto en términos mecánicos y químicos, pero no en términos ópticos, y, por lo tanto, los rayos X en el proceso de litografía del PMMA penetran en todo el volumen del PMMA.

55 El método según la invención puede utilizarse para llevar a cabo la litografía en la superficie de contacto, definiendo el grosor, la posición y la altura por encima del sustrato de los defectos que van a crearse.

60 Después del crecimiento electrolítico, el PMMA y el SAL601 o SAL602 pueden retirarse en dos etapas distintas, disolviendo los materiales resistentes en disolventes correspondientes, produciendo de este modo una estructura metálica tridimensional final que comprende un entramado periódico metálico G soportado por el sustrato S y que tiene formado en el mismo un defecto de línea D, en este caso un canal coplanar al sustrato.

El defecto puede formar de manera útil una guía de ondas para una señal electromagnética.

65 Más en general, un defecto puede ser una estructura sólida (una partícula o hilo) o una estructura hueca (un orificio o un canal) dentro de una estructura volumétrica periódica (un entramado o una matriz). También es posible que la

estructura de material resistente negativo rodeada por la estructura de material resistente positivo tenga un grado de independencia. Este es el caso, por ejemplo, en aplicaciones de microfluidos, donde un microconducto tubular (de material resistente negativo) está soportado por dos o más pilares (de material resistente positivo).

5 El método puede repetirse de manera ventajosa varias veces, con una deposición sucesiva de los materiales resistentes R1 y R2. Por tanto, es posible diseñar arquitecturas complejas en diferentes niveles, utilizando métodos en paralelo que, por lo tanto, son muy adecuados para la producción en masa. En el caso del ejemplo mencionado anteriormente, es posible conectar microconductos tubulares en diferentes niveles, interconectados mediante huecos de mezcla o de filtrado, permitiendo que se produzcan circuitos complejos de microfluidos de una manera sencilla y práctica.

10 El entramado G también puede formarse infiltrando un material con un alto índice de refracción (dieléctrico o semiconductor con un índice de refracción mayor que 2) en la estructura reticular hueca obtenida en el material resistente R1. La infiltración del material con un alto índice de refracción puede llevarse a cabo en general mediante deposición química a partir de la fase de vapor o de la fase líquida. En particular, la infiltración puede llevarse a cabo mediante impregnación de sol-gel, mediante la reacción de una formación de semiconductor compuesta después de la impregnación con precursores constituyentes o mediante el crecimiento electrolítico de semiconductores.

15 Convenientemente, las estructuras de defectos generadas con el SAL pueden alinearse con las producidas con el PMMA, y la estructura global puede hacerse autónoma, dicho de otro modo, independiente de la presencia de un sustrato mecánico.

20 Esto puede realizarse modificando la configuración descrita anteriormente, según la cual la máscara para la litografía con rayos X del PMMA está unida a éste último en el lado opuesto al sustrato sobre el que se ha depositado el volumen de PMMA.

25 Esto se debe a que es posible utilizar dicha máscara como un sustrato mecánico y depositar sobre la misma el volumen de PMMA requerido para formar la estructura, siguiendo de nuevo las etapas descritas anteriormente. Por lo tanto, el PMMA quedará expuesto desde abajo. Puesto que la máscara está unida a la estructura del PMMA, el patrón de la máscara se alineará perfectamente con el patrón aplicado a través de la misma al PMMA. El patrón conforme a la máscara puede complementarse con referencias espaciales, externas al patrón deseado del PMMA, lo que hace posible definir un sistema de referencia común a las dos formas de litografía, concretamente de rayos X y de haz de electrones, y, por lo tanto, controlar la litografía de haz de electrones del SAL y la litografía de rayos X del PMMA en función de estas referencias, produciendo de este modo una estructura final en la que el defecto incorporado en la matriz PMMA está alineado de manera precisa con la estructura periódica del PMMA que lo incorpora, o con otros defectos que pueda haber.

30 También es posible aplicar el método a estructuras predefinidas. A diferencia de la descripción técnica anterior, la primera capa de PMMA puede estar preconfigurada, por ejemplo mediante estructuras que no tengan una alta resolución. Por tanto, la configuración subsiguiente del SAL debería modularse en la dirección vertical mediante la configuración preexistente del PMMA. Por tanto, cuando se ha depositado la segunda capa de PMMA y se ha litografiado toda la matriz, es posible obtener estructuras de SAL tridimensionales contenidas en una matriz tridimensional de PMMA.

35 La característica básica del proceso ilustrado anteriormente es la combinación de un material resistente positivo de baja sensibilidad con un material resistente negativo de alta sensibilidad. En este caso se ha utilizado la diferente sensibilidad y la independencia casi total de los dos materiales resistentes con respecto a los agentes de desarrollo y los disolventes correspondientes. Evidentemente, de manera más general, el método propuesto por la invención puede llevarse a cabo utilizando un par de materiales resistentes que sean ambos negativos o positivos o, como alternativa, utilizando un material resistente negativo para el modelado volumétrico del cristal, seguido de un material resistente positivo para formar los defectos. Un ejemplo de un material resistente positivo que puede utilizarse en lugar del SAL601 o el SAL602 es el UV3 (también fabricado por Shipley).

40 Por lo tanto, el proceso puede extenderse a un uso combinado de diferentes formas de litografía. En el caso indicado se utilizó la combinación de una litografía de rayos X y de haz de electrones, pero también es posible utilizar solamente una litografía de rayos X o solamente una litografía de haz de electrones o combinar otras formas de litografía tales como litografía óptica en los diferentes intervalos de longitudes de onda y métodos (en particular, litografía óptica holográfica) o litografía de haz de iones. Dicho de otro modo, la esencia de la invención consiste en la independencia de los dos materiales resistentes y es independiente de la naturaleza de la radiación incidente.

45 Como una generalización adicional, debe observarse que el método descrito anteriormente puede utilizarse en todos los casos siempre que haya una condición de independencia química del par de materiales resistentes; dicho de otro modo, siempre que los procesos de exposición y de desarrollo de los materiales resistentes utilizados tengan características de incompatibilidad mutua, de manera que la litografía de un material resistente no modifique la estructura del otro (dicho de otro modo, que no provoque su desarrollo). Esto puede producirse, por ejemplo, utilizando materiales resistentes que tengan diferentes sensibilidades o que sean sensibles a diferentes longitudes

de onda de irradiación, o que puedan corroerse mediante diferentes reactivos químicos en el proceso litográfico.

5 Claramente, siempre que se mantenga el principio de la invención, las realizaciones y los detalles de implementación pueden variar considerablemente con respecto a lo que se ha descrito e ilustrado simplemente a modo de ejemplo no limitativo, y tal variación no implicará un alojamiento del alcance de protección definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método litográfico para fabricar estructuras tridimensionales a escala micrométrica y a escala submicrométrica, que incluye las operaciones de:

5 - proporcionar un sustrato (S),
- depositar sobre el dicho sustrato (S) una capa (L1) de un primer material polimérico (R1) sensible a la exposición a partículas cargadas o a una radiación electromagnética,

10 - depositar, sobre la capa (L1) del primer material (R1), una capa (L') de un segundo material polimérico (R2) sensible a la exposición a partículas cargadas o a una radiación electromagnética, de una manera diferente a la primera, de modo que los procesos de exposición y desarrollo de los dos materiales (R1, R2) son mutuamente incompatibles hasta el punto en que la exposición o desarrollo de uno no interfiere en la exposición y desarrollo del otro,

15 - formar un patrón en el segundo material (R2) mediante un proceso litográfico, que comprende las etapas de:
• exponer la capa (L') del dicho material (R2) a partículas cargadas o a una radiación electromagnética según una topografía predeterminada para definir una primera y una segunda parte de la dicha capa, expuesta y no expuesta respectivamente a las dichas partículas o a la dicha radiación, y

20 • eliminar después de manera selectiva una de las dichas primera y segunda partes de la capa (L'), de manera que regiones del primer material (R1) se dejan descubiertas,

25 • depositar, sobre la capa modelada (L') del segundo material (R2) y sobre las regiones descubiertas del primer material (R1), una capa adicional (L2) del dicho primer material (R1), y

30 • formar un patrón sobre el primer material (R1) mediante un proceso litográfico, que comprende las etapas de:
· exponer la capa (L1) del dicho material (R1) a partículas cargadas o a una radiación electromagnética según una topografía predeterminada para definir una primera y una segunda parte de la dicha capa, expuesta y no expuesta respectivamente a las dichas partículas o a la dicha radiación,

35 · eliminar después de manera selectiva una de las dichas primera y segunda partes de la capa (L1);
siendo el segundo material (R2) transparente a las partículas o a la radiación electromagnética a las que el primer material (R1) es sensible.

40 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende la iteración de las etapas de:

- depositar una capa adicional del segundo material (R2) sobre la capa adicional (L2) del primer material (R1),
45 - formar un patrón del segundo material (R2) mediante litografía, y
- depositar, posiblemente, una capa adicional del dicho primer material (R1) sobre la capa modelada del segundo material (R2);

50 antes de la formación litográfica del patrón del primer material (R1).

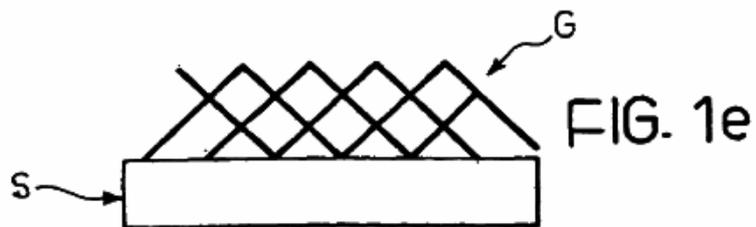
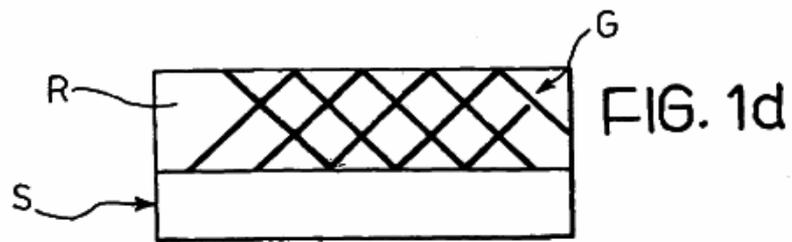
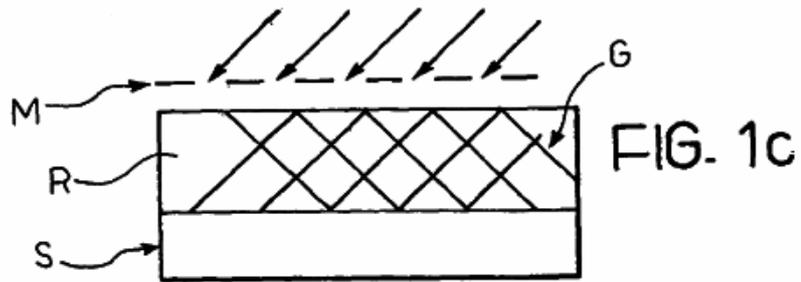
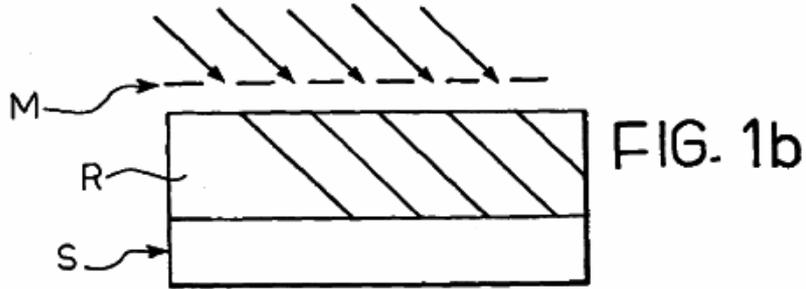
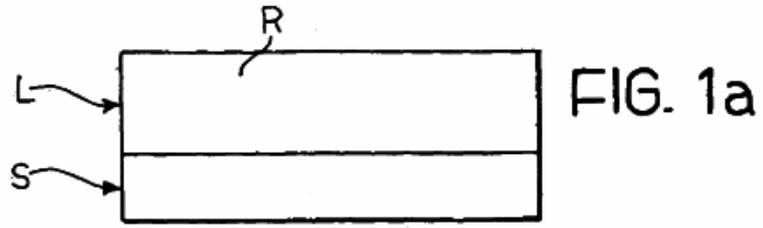
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el primer material polimérico (R1) es un material resistente positivo y el segundo material polimérico (R2) es un material resistente negativo.

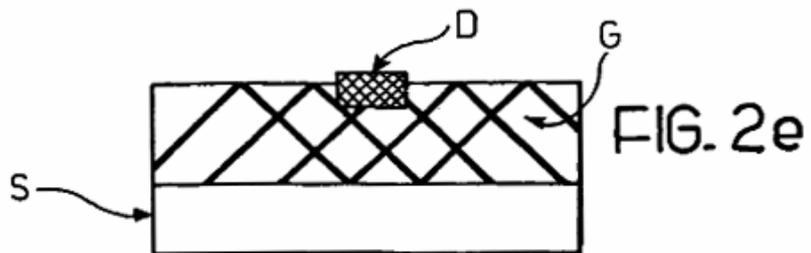
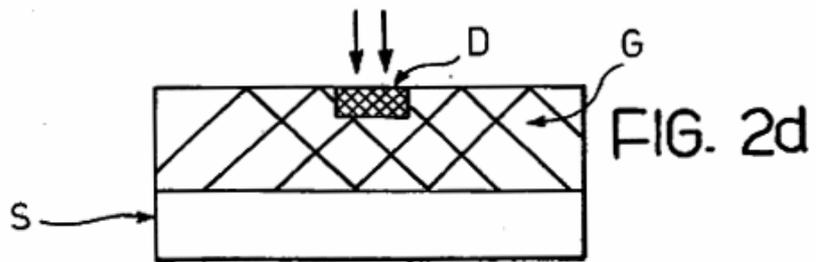
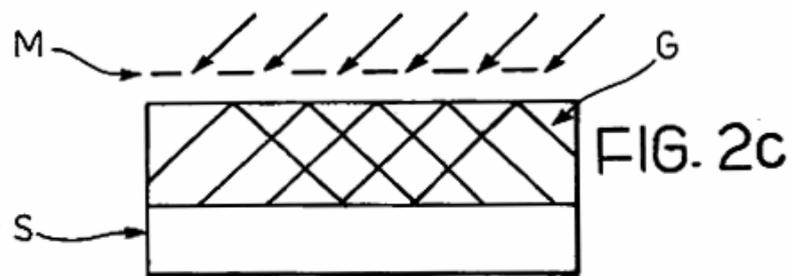
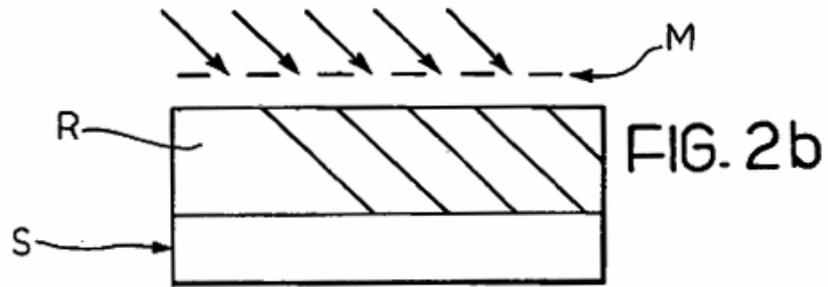
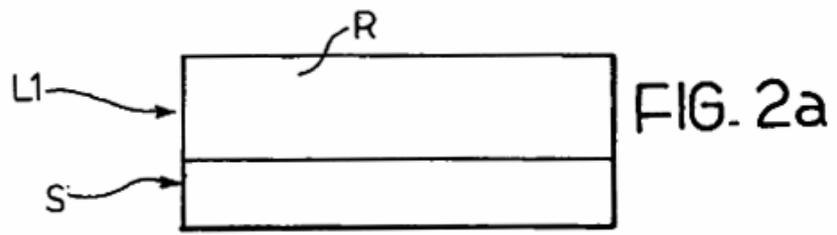
55 4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el primer material polimérico (R1) es un material resistente de baja sensibilidad y el segundo material polimérico (R2) es un material resistente de alta sensibilidad.

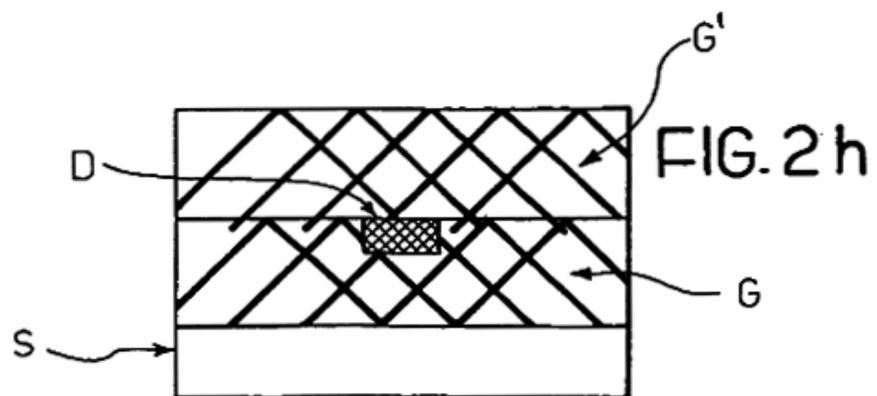
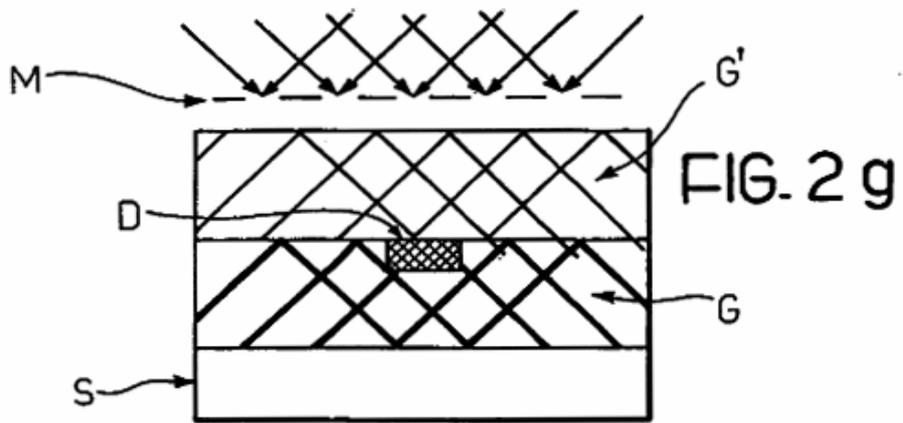
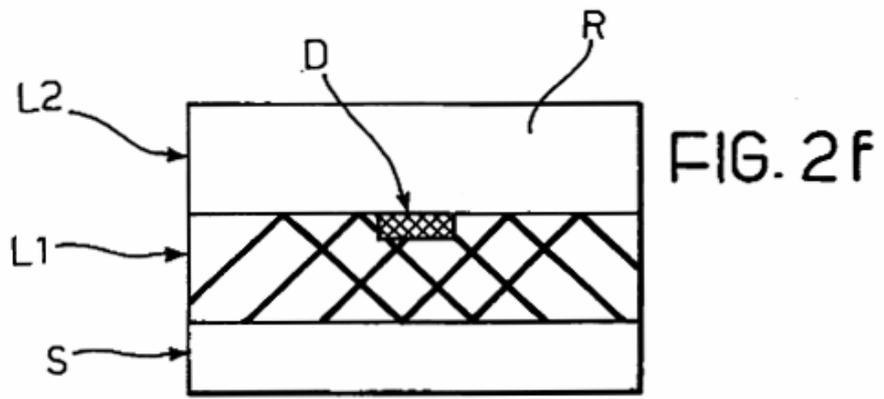
60 5. Método según la reivindicación 3 ó 4, caracterizado porque el proceso litográfico para formar el patrón del primer material (R1) es un proceso litográfico de rayos X u óptico, y el proceso litográfico para formar el patrón del segundo material (R2) es un proceso litográfico de haz de electrones.

65 6. Método según la reivindicación 3, 4 ó 5, caracterizado porque la formación litográfica del patrón del primer material (R1) crea una estructura periódica hueca (G) dentro del volumen del primer material (R1), y porque la formación litográfica del patrón del segundo material (R2) crea una estructura irregular sólida (D) dentro del volumen del primer material (R1).

- 5 7. Método según la reivindicación 6, caracterizado porque comprende una operación de infiltración de un material metálico y/o con un alto índice de refracción, tal como un dieléctrico o un semiconductor con un índice de refracción mayor que 2, en la dicha estructura periódica hueca (G), seguida de una operación de extracción de los dichos primer y segundo materiales (R1, R2) que se han desarrollado.
8. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque la operación de infiltrar material con un alto índice de refracción es una operación de crecimiento electrolítico.
- 10 9. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque la operación de infiltrar material dieléctrico es una operación de deposición química a partir de la fase de vapor o de la fase líquida.
- 15 10. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque la operación de infiltrar material con un alto índice de refracción es una operación de infiltración mediante el proceso sol-gel.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la capa del primer material (R1) se modela antes de que se deposite sobre la misma una capa del segundo material (R2).
- 20 12. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dicho sustrato es una máscara para modelar el dicho primer material (R1).
13. Método según la reivindicación 12, caracterizado porque la dicha máscara para modelar el primer material (R1) incluye información de referencia de un sistema de referencia espacial para la alineación en la formación litográfica de los patrones de los primer y segundo materiales (R1, R2).







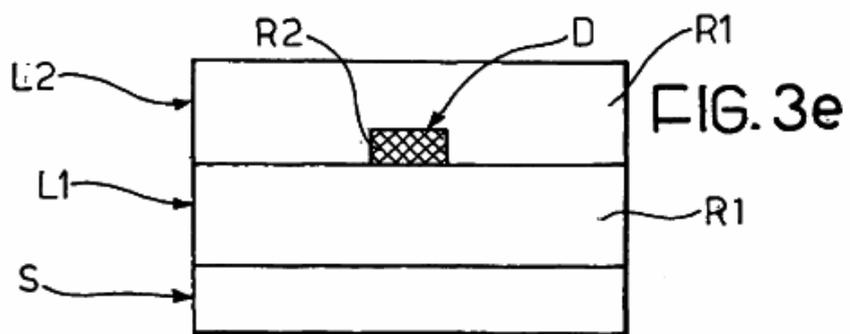
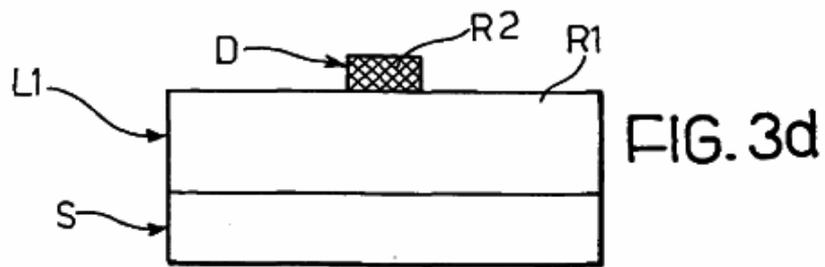
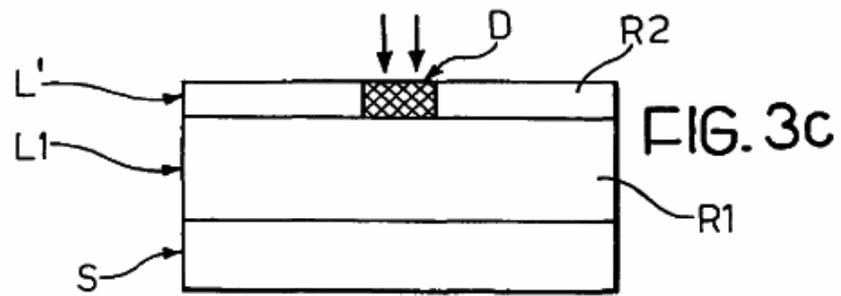
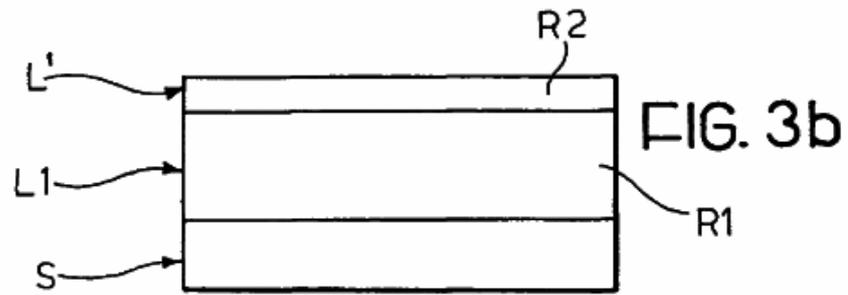
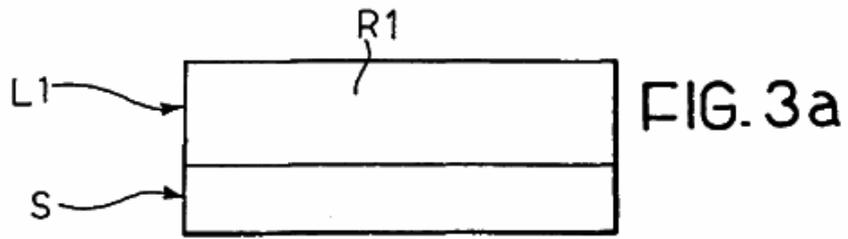


FIG. 3f

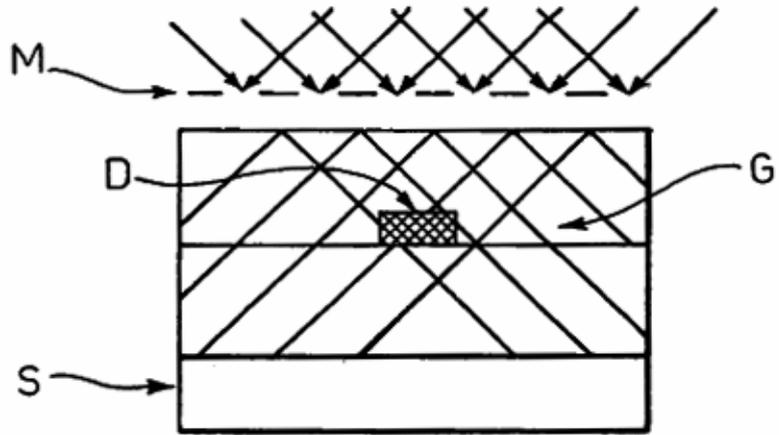


FIG. 3g

