

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 938 663**

(51) Int. Cl.:

G02B 5/18 (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)
C23C 16/01 (2006.01)
C23C 16/04 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2018 PCT/FI2018/050383**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2018 WO18220271**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2018 E 18809239 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.01.2023 EP 3631535**

(54) Título: **Método de fabricación de una rejilla difractiva óptica modulada en altura**

(30) Prioridad:

02.06.2017 FI 20175504

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2023

(73) Titular/es:

DISPELIX OY (100.0%)
Metsänneidonkuja 10
02130 Espoo, FI

(72) Inventor/es:

VARTIAINEN, ISMO;
RAHOMÄKI, JUSSI y
ERDMANIS, MIKHAIL

(74) Agente/Representante:

GONZÁLEZ POVEDA, Sara

ES 2 938 663 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 de fabricación de una rejilla difractiva óptica modulada en altura

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a la fabricación de micro y nanoestructuras para fines ópticos. En particular, la invención se refiere a la fabricación de rejillas ópticamente difractivas, que se pueden usar, por ejemplo, en aplicaciones de visualización, como pantallas cercanas al ojo.

10 **Antecedentes de la invención**

Las pantallas cercanas al ojo (NED) y las pantallas de visualización frontal (HUD) normalmente implican rejillas de difracción para producir una imagen visible. Las rejillas se necesitan como rejillas de acoplamiento interno, que acoplan una imagen de una fuente de imagen a una guía de ondas, como rejillas de acoplamiento externo, que producen la imagen visible final para el usuario, y como expansores de pupila de salida (EPE), que aumentan el tamaño de la pupila de salida de la pantalla.

20 La calidad y las características de las rejillas determinan la calidad de la imagen resultante. Además de tener líneas de rejilla distintas y consistentes, en aplicaciones avanzadas es deseable poder controlar localmente la eficiencia de difracción de la rejilla. Esto se puede lograr variando la altura de la línea de rejilla o el factor de relleno dentro de la rejilla, es decir, usando modulación de altura o factor de relleno. Para lograr el rango de ajuste de eficiencia más grande posible, tanto la altura como el factor de llenado deben modularse. Por lo tanto, existe la necesidad de métodos de fabricación robustos y rentables para rejillas difractivas en las que la eficiencia de difracción pueda controlarse libremente y que sean aplicables para la producción en masa. Además, en algunos casos se necesitan materiales no poliméricos, lo que añade complejidad al proceso en comparación con la modulación directa de polímeros.

30 La fabricación de elementos de altura modulada generalmente se realiza repitiendo ciclos de fabricación en los que se define una altura dentro de un ciclo. En particular, la fabricación de micro y nanoestructuras con diferentes alturas sobre un mismo sustrato es difícil, especialmente en el caso de materiales inorgánicos que son difíciles de procesar. Esto generalmente requiere varios ciclos de fabricación con alineación, donde la altura de cada elemento se define por separado durante un ciclo.

35 Esto también requiere un procesamiento del material altamente optimizado y a menudo complicado. Para obtener paredes laterales verticales en el material, se requiere un decapado altamente anisotrópico en los métodos actualmente disponibles. Un método de procesamiento conocido se analiza en C. David, "Fabrication of stair-case profiles with high aspect ratios for blazed diffractive optical elements", Microelectronic Engineering, 53 (2000). Debido a la complejidad del método, el rendimiento de este proceso es bajo. Además, la exposición superpuesta requiere una 40 precisión de colocación lateral a nivel nanométrico, y cualquier desviación del óptimo provoca pérdidas en el rendimiento óptico. Se enfrentan desafíos particulares cuando se desea tanto la modulación de altura como la modulación del factor de llenado para lograr el rango de ajuste de máxima eficiencia. JP2000258608 divulga la formación de una película en un dispositivo óptico. El documento JP2011215267 divulga una lente acromática y la fabricación de la misma. El documento JP2007328096 divulga un elemento óptico de difracción y la fabricación del mismo.

45 La técnica anterior pertinente se divulga en los documentos US 6 475 704 B1, EP 1 942 364 A1, US 2017/123208 A1 y JP 2005 202104.

Por lo tanto, existe la necesidad de nuevas tecnologías a escala industrial para la modulación de la altura y/o el factor de relleno para el control de la eficacia de la difracción.

50 **Resumen de la invención**

Es un objetivo de la invención superar al menos algunos de los problemas mencionados anteriormente y proporcionar un método novedoso para producir rejillas ópticamente difractivas moduladas en altura y, opcionalmente, también moduladas por factor de relleno. Un objetivo particular es proporcionar un método que requiera un bajo número de etapas de proceso y, en particular, no requiera un procesamiento lateral de alta precisión multiciclo para lograr la modulación. Un objetivo también es proporcionar un método que permita combinar convenientemente la altura y la modulación del factor de relleno.

60 La invención se basa en la idea de fabricar la rejilla mediante las etapas básicas de definir primero la altura y, opcionalmente, las características del factor de relleno de la rejilla al proporcionar una estructura de sacrificio, por ejemplo, por impronta. Luego cubriendo toda la estructura con una cantidad excesiva de material de rejilla final. Por último, la cantidad en exceso del material de rejilla final y la estructura de sacrificio se eliminan para proporcionar un negativo de la estructura de sacrificio.

65 Más concretamente, el método de acuerdo con la invención se caracteriza por lo expuesto en la reivindicación 1.

La invención ofrece beneficios significativos.

5 En primer lugar, el método permite la producción a escala industrial de rejillas moduladas de alta precisión y, en particular, rejillas moduladas en altura con precisión. La modulación del factor de relleno se puede combinar con la modulación de la altura cuando se proporciona la capa de sacrificio sobre el sustrato. Esto puede llevarse a cabo usando métodos de aplicación conocidos de materiales de sacrificio grabables. El patrón de elemento temporal define las características del patrón final resultante, que es esencialmente un negativo del patrón temporal. El patrón de elemento temporal se puede producir fácilmente con suficiente precisión con, por ejemplo, técnicas de impresión de polímeros o litográficas de polímeros, para incluir, por ejemplo, las líneas de diferentes alturas y las etapas restantes proporcionan un resultado predecible.

10 En segundo lugar, las deposiciones del material de rejilla final se pueden realizar como deposiciones conformadas bien conocidas, como la deposición de capa atómica (ALD), la deposición química de vapor (CVD) o la deposición física de vapor (PVD), y las eliminaciones de material utilizando procesos de decapado bien conocidos que no requieren precisión espacial. En cuanto a la precisión de la deposición del material final, el método depende del control del espesor de la capa, que por ejemplo en las técnicas de deposición mencionadas es inherentemente bueno. Por lo tanto, el método incluye un mecanismo de autoensamblaje que garantiza una estructura de patrón de alta calidad.

15 20 En tercer lugar, el método permite producir una rejilla a partir de materiales que son difíciles de procesar, en particular materiales inorgánicos que tienen índices de refracción altos. Esto se debe a que no se requieren etapas de reposicionamiento de alta precisión cuando se procesa el material de rejilla final, sino solo etapas de aplicación conformada y decapado de área grande. Hay muchos materiales precursores de alto índice de refracción ($n > 1,7$ e incluso $> 2,0$) disponibles que se adaptan a los métodos ALD, CVD o PVD, por ejemplo, y dan como resultado 25 estructuras inorgánicas adecuadas para redes de difracción óptica.

30 Por lo tanto, la invención permite la fabricación de rejillas de eficiencia de difracción variable de alta calidad a partir de materiales de alto índice de refracción, que se requieren para fabricar, por ejemplo, guías de ondas de alta calidad con rejilla de difracción para asegurar el acoplamiento de la luz hacia/desde el sustrato desde/hacia la rejilla.

35 30 Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones seleccionadas de la invención.

35 En algunas realizaciones, los elementos temporales son elementos de línea para formar una rejilla de línea ópticamente difractiva. Una rejilla de línea se puede utilizar como rejilla de acoplamiento interno o externo en una pantalla de difracción, como un NED, o como un EPE entre dichos elementos.

40 En algunas realizaciones, los elementos temporales están dispuestos como una estructura periódica que comprende al menos dos períodos que tienen diferentes anchos de elementos para proporcionar modulación del factor de llenado además de modulación de altura. Esto maximiza el rango alcanzable de ajuste de la eficiencia de difracción local de la rejilla resultante.

45 En algunas realizaciones, la capa de recubrimiento del material de rejilla final tiene un espesor esencialmente constante sobre cada elemento temporal después de la deposición, es decir, antes del paso de retirar la capa uniforme del mismo. Esto se puede lograr utilizando un método de deposición conforme para aplicar la capa de revestimiento.

45 50 Los elementos provisionales pueden exponerse después eliminar una capa uniforme de un segundo material, por ejemplo, usando decapado seco o húmedo. Además, los elementos temporales se pueden eliminar mediante decapado, tal como un decapado seco o húmedo en una etapa de decapado separado que tenga una selectividad de material diferente a la de la primera etapa de decapado.

55 50 En algunas realizaciones, después de fabricar el molde, es decir, los elementos temporales, se deposita una capa de detención del decapado sobre el sustrato. La capa de detención del decapado puede eliminarse, al menos parcialmente, en una etapa adecuada del proceso. El uso de una capa de parada de decapado garantiza un control de altura de las características de alta precisión en las etapas de decapado.

55 60 A continuación, las realizaciones seleccionadas y las ventajas de la invención se analizan con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

60 65 La Fig. 1A - 1D ilustran, paso a paso, en vistas transversales de una estructura producida de acuerdo con una realización de la invención.

La Fig. 2A muestra un ejemplo de cómo cambia la eficiencia de difracción del primer orden de transmisión de una rejilla binaria 1D en función de la altura de la rejilla.

La Fig. 2B muestra un ejemplo de cómo cambia la eficiencia de difracción del primer orden de transmisión de una rejilla 1D en función del factor de relleno de la rejilla.

Descripción detallada de las realizaciones

5 **Definiciones**

El término “elemento” aquí significa cualquier característica sólida a microescala o nanoescala que se eleva por encima de la superficie del sustrato y capaz de servir, cuando se dispone en una estructura periódica, como un bloque elemental de un patrón de difracción o su producto intermedio. Un “elemento temporal” o “elemento de sacrificio” es un elemento que se elimina al menos parcialmente durante el proceso.

10 El término “elemento de línea” o “línea” aquí se refiere a un elemento alargado que forma, o se usa como una característica intermedia para formar, el presente patrón. Normalmente, en un patrón de difracción para aplicaciones de visualización, una línea es una cresta recta que tiene una forma general de sección transversal deseada, como una forma rectangular o triangular. Los elementos de línea se utilizan normalmente en rejillas unidimensionales (redes lineales).

15 El término “factor de relleno” se refiere a la proporción del material de la estructura de rejilla con respecto al material circundante (por ejemplo, aire u otro material sólido) dentro de un período de rejilla. En el caso típico de líneas de rejilla rectangulares, esto es igual a la proporción entre el ancho de la línea y el ancho del período.

20 En consecuencia, “modulación del factor de relleno” se refiere a la variación del factor de relleno en las dimensiones laterales de la rejilla, es decir, entre períodos de la estructura periódica.

25 Asimismo, “modulación en altura” se refiere a la variación de la altura de los elementos en la dirección normal de la rejilla. Por ejemplo, en el caso de los elementos de línea, la altura del elemento es la distancia entre la parte superior de una línea (parte superior de la cresta) y el pozo vecino (parte inferior del valle).

30 “Deposición conformada” se refiere a una técnica de deposición que es capaz de producir una capa de material conformado, es decir, una capa que tiene un espesor uniforme en todas las superficies libres de la estructura subyacente.

Descripción de realizaciones seleccionadas

35 Las realizaciones descritas en este documento en detalle proporcionan medios factibles para fabricar micro y nanoestructuras con altura de estructura variable y factor de relleno (por ejemplo, ancho de línea) a un material deseado que puede depositarse mediante métodos de deposición de vapor físicos o químicos. En general, el método se basa en llenar un molde con diferentes alturas de estructuras fabricadas o replicadas en un material de sacrificio.

40 El exceso de material en la parte superior del molde se elimina mediante métodos de decapado húmedo o seco, seguido de la eliminación del material de sacrificio. La altura de las estructuras se define por la altura de las estructuras sacrificatorias y la precisión de la modulación de la altura se puede mejorar en el proceso de decapado mediante una capa de parada de decapado intermedia.

45 Capa de sacrificio (moho)

En la primera etapa ilustrada en la Fig. 1A, se fabrican estructuras 12 temporales moduladas en altura sobre un sustrato 10 utilizando un material de sacrificio. En el ejemplo ilustrado, hay tres secciones S1, S2 y S3 con dos elementos (líneas rectangulares) en cada sección con diferentes alturas de elementos entre secciones. Las estructuras 12 temporales se pueden aplicar, por ejemplo, por litografía óptica, litografía por haz de electrones, litografía en relieve o nanoimpresión. Se puede utilizar, por ejemplo, un fotorresistente o un haz de electrones o un carbono giratorio. La modulación también puede incluir la modulación del ancho de línea.

55 En estructuras reales, el número de elementos en cada sección o el número de secciones puede ser mucho mayor. En lugar de comprender secciones distintas, la modulación de altura también puede comprender un gradiente continuo de diferentes alturas de elementos. Típicamente, las secciones forman una estructura continua sobre un solo sustrato, aunque aquí se ilustran separadas para fines de claridad.

60 Deposición final de material

A continuación, como se ilustra en la Fig. 1B, se aplica una capa 14A de recubrimiento sobre el molde formado por el sustrato 10 y los elementos 12 temporales. La capa 14A de recubrimiento llena los espacios entre los elementos 12 temporales dentro de cada sección y también entre ellos y que también cubre los elementos 12 temporales. Se utiliza una técnica de deposición conformada, como ALD, CVD o PVD para asegurar el llenado de los huecos y una cobertura uniforme sobre los elementos 12 temporales. Debido a la conformidad de la deposición, cualquier altura se llena por

igual. Dentro de cada sección S1, S2, S3 la superficie está plana, mientras que hay escalones entre las secciones S1, S2, S3.

Eliminación de exceso de material

5 A continuación, como se ilustra en la Fig. 1C, el exceso de revestimiento sobre la capa sacrificatoria se elimina mediante decapado húmedo o seco de modo que las estructuras 12 temporales queden expuestos desde la dirección superior y quede una capa 14A' de revestimiento modificada. Debido a la deposición conforme utilizada en la etapa anterior, la eliminación del mismo espesor en cada sección es suficiente para exponer todas las estructuras 14A independientemente de su altura.

10 Finalmente, como se muestra en la Fig. 1D, la capa de sacrificio, es decir, las estructuras 12 temporales se eliminan usando decapado seco o húmedo. Esto da como resultado una copia negativa del molde de la Fig. 1A, es decir, elementos 16 de rejilla de diferentes alturas definidas por las alturas de las estructuras 12 temporales. Si las 15 variaciones de ancho de los elementos están presentes en el molde además de las variaciones de altura, también son replicado en el producto final como negativo.

Consideraciones generales y variaciones

20 El proceso descrito simplifica significativamente la fabricación de rejillas moduladas de eficiencia variable, ya que todas las diferentes variaciones de altura pueden fabricarse simultáneamente en un ciclo de fabricación. La estructura resultante está lista para ser utilizada como rejilla de difracción. Si el sustrato 10 es ópticamente transparente, las ondas ópticas que se propagan lateralmente en el sustrato pueden acoplarse a la rejilla y las ondas que golpean la rejilla pueden acoplarse al sustrato. En algunas realizaciones, el sustrato 10 tiene un índice de refracción menor que el material de revestimiento que forma los elementos 16 de rejilla.

25 Además del beneficio de que las características y los perfiles verticales se definen en el molde resistente, también se relajan los requisitos de procesamiento del material de recubrimiento porque el procesamiento solo se usa para eliminar el exceso de material (paso de la Fig. 1B a la Fig. 1C) y no se requiere una anisotropía alta. Debido al llenado 30 completo del molde en la etapa final de deposición del material, la relación de llenado de la estructura final está completamente definida por el período de la rejilla, los anchos y los espacios de las líneas temporales.

35 En algunas realizaciones, para garantizar una precisión muy alta en la modulación de la altura durante una etapa de decapado, se aplica una capa de parada de decapado adicional (no mostrada) entre los elementos 12 temporales y/o el sustrato 10 y la capa 14A de revestimiento, es decir, después del paso de la Fig. 1A. Esta capa tiene una alta selectividad de decapado para el material que se va a grabar. La capa de detención del decapado puede eliminarse finalmente mediante un proceso húmedo, aunque puede permanecer entre los elementos 16 de rejilla y el sustrato 10. Por lo tanto, la capa de detención del decapado también tiene preferiblemente un alto índice de refracción y, por lo demás, también es ópticamente adecuada como material de rejilla. La combinación puede ser, por ejemplo, una capa 40 de parada de decapado de HfO_2 con una capa de rejilla de dióxido de titanio. La capa de parada del decapado se puede aplicar, por ejemplo, mediante el método ALD, CVD o PVD.

45 El material final puede ser un compuesto de materiales inorgánicos, en particular un compuesto que forma un material ópticamente transparente, como un compuesto de óxido o nitrato. En particular, el material final puede comprender material cuyo índice de refracción sea 2,0 más, como 2,2 o más. El material puede ser, por ejemplo, ejemplo TiO_2 , Si_3N_4 o HfO_2 .

50 El sustrato 10 es preferiblemente ópticamente transparente, como un sustrato de vidrio o un sustrato de polímero. Transparente significa aquí una transmitancia superior al 50 %, en particular superior al 95 %. Para aplicaciones de visualización, se prefiere que el sustrato sea capaz de servir como guía de ondas para longitudes de onda ópticas visibles (es decir, como guía de luz). El sustrato puede ser plano o curvo.

55 En realizaciones típicas, el material final tiene un índice de refracción igual o superior al del material del sustrato. Esto permite que la luz que viaja en el sustrato a través de reflexiones internas totales salga del sustrato en la ubicación de la rejilla y se produzca la difracción. Por ejemplo, el índice de refracción del sustrato puede ser inferior a 2,0 y el índice de refracción del material de rejilla superior a 2,0.

60 La presente invención se puede utilizar para fabricar rejillas para aplicaciones de visualización, como aplicaciones de visualización portátiles, por ejemplo, gafas de realidad virtual o de realidad aumentada. En estas aplicaciones, el área del patrón fabricado normalmente es de al menos 1 cm^2 , como 2 - 500 cm^2 .

65 La rejilla de difracción puede ser, por ejemplo, una rejilla de acoplamiento externo, una rejilla de acoplamiento interno o un expulsor de pupila de salida (EPE) de una pantalla cercana al ojo (NED) o una pantalla de visualización frontal (HUD).

El periodo del patrón es típicamente de 10 μm o menos, en particular de 1 μm o menos, tal como 200 - 800 nm. Cabe señalar que, además de las rejillas de período constante, la invención también se puede utilizar para producir rejillas de período modulado. Es decir, el período necesita ser constante en la dimensión lateral de la rejilla.

5 Si es necesario, la rejilla se puede incrustar en una estructura óptica, es decir, cubrirse o recubrirse con una o más capas adicionales.

10 Las Figs. 2A y 2B muestran cómo se puede modular la eficiencia de difracción del primer orden de transmisión de una rejilla binaria dieléctrica usando modulación de altura y factor de relleno. Los resultados numéricos se obtuvieron con el método modal de Fourier (también conocido como análisis riguroso de ondas acopladas). La rejilla binaria reside en una interfaz entre el aire y un sustrato de vidrio que tiene un índice de refracción de 2,0, el período de rejilla es de 500 nm, factor de relleno de 0,5 y la rejilla está hecha del mismo material que el sustrato. La rejilla se ilumina con una onda plana con una longitud de onda en el espacio libre de 450 nm con una incidencia normal. Los resultados se muestran para polarizaciones eléctricas transversales (TE) y magnéticas transversales (TM). En la Fig. 2A, el factor de llenado de la rejilla es 0,5 y en la Fig. 2B, la altura de la rejilla es de 250 nm.

Lista de citas

Literatura distinta de la de patentes

20 C. David, "Fabrication of stair-case profiles with high aspect ratios for blazed diffractive optical elements", Microelectronic Engineering, 53 (2000).

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar una rejilla de difracción óptica modulada en altura, que comprende
 - 5 - proporcionar un sustrato (10),
- fabricar una pluralidad de elementos (12) temporales de primer material sobre el sustrato (10), los elementos están separados por huecos y dispuestos como una estructura periódica que comprende al menos dos períodos que tienen diferentes alturas de elementos,
 - 10 - depositar una capa (14A) de revestimiento del segundo material sobre la pluralidad de elementos (12) temporales de manera que la capa (14A) de revestimiento rellene dichos huecos y cubra dichos elementos temporales, en el que dicha capa (14A) de revestimiento es una capa de conformación,
 - 15 - retirar una capa uniforme de segundo material para exponer dichos elementos (12) temporales,
- retirar dicho primer material para formar un patrón modulado en altura de dicho segundo material sobre el sustrato (10) como dicha rejilla ópticamente difractiva.
 - 20 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los elementos (12) temporales son elementos lineales para formar una rejilla lineal ópticamente difractiva.
 - 25 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos (12) temporales se disponen como una estructura periódica que comprende al menos dos períodos que tienen diferentes anchos de elementos para formar un patrón modulado en altura y factor de relleno del segundo material como dicha rejilla de difracción óptica.
 - 30 4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha capa de recubrimiento (14A), antes de la etapa de retirar la capa uniforme de la misma, tiene un espesor esencialmente constante sobre cada elemento temporal.
 - 35 5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha eliminación de la capa uniforme del segundo material comprende decapado, tal como decapado seco o húmedo.
 - 40 6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha eliminación del primer material comprende decapado, tal como decapado seco o húmedo.
 - 45 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, después de la etapa de fabricación de los elementos (12) temporales, depositar una capa de detención de decapado sobre el sustrato (10), y, opcionalmente, retirar la capa de detención de decapado después de la eliminación de dicho primer material.
 - 50 8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de recubrimiento se deposita usando deposición de capa atómica (ALD), deposición química de vapor (CVD) o deposición física de vapor (PVD) o variantes de las mismas.
 - 55 9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el segundo material es un material inorgánico transparente, como un compuesto de óxido o nitruro, por ejemplo, TiO₂, Si₃N₄ o HfO₂.
 10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el índice de refracción del segundo material es 1,7 o más, en particular 2,0, tal como 2,2 o más.
 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el que el sustrato (10) es un sustrato ópticamente transparente, tal como un sustrato de vidrio o un sustrato de polímero, en particular un sustrato plano capaz de servir como guía de luz.
 12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo material comprende un material ópticamente transparente que tiene un índice de refracción superior al del material del sustrato.

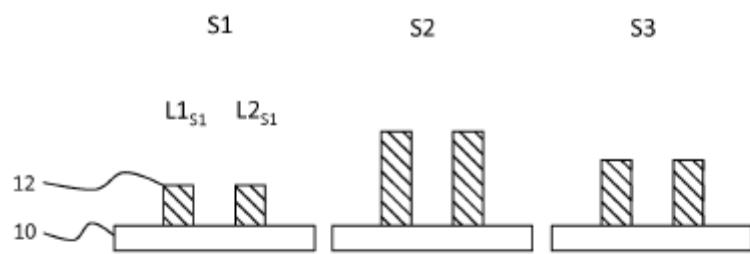


Fig. 1A

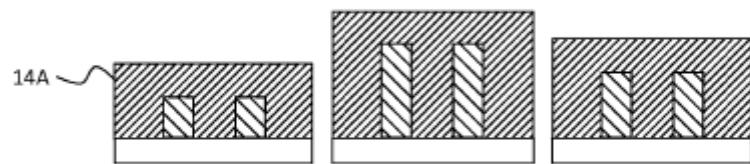


Fig. 1B

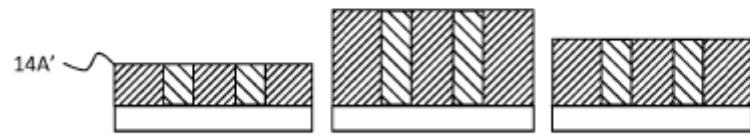


Fig. 1C



Fig. 1D

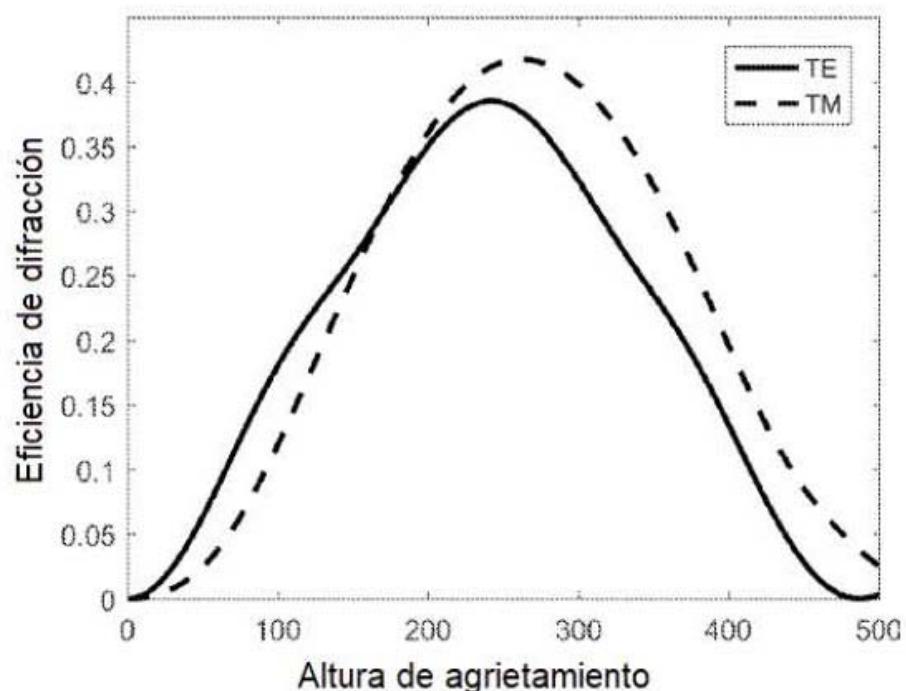


Fig. 2A

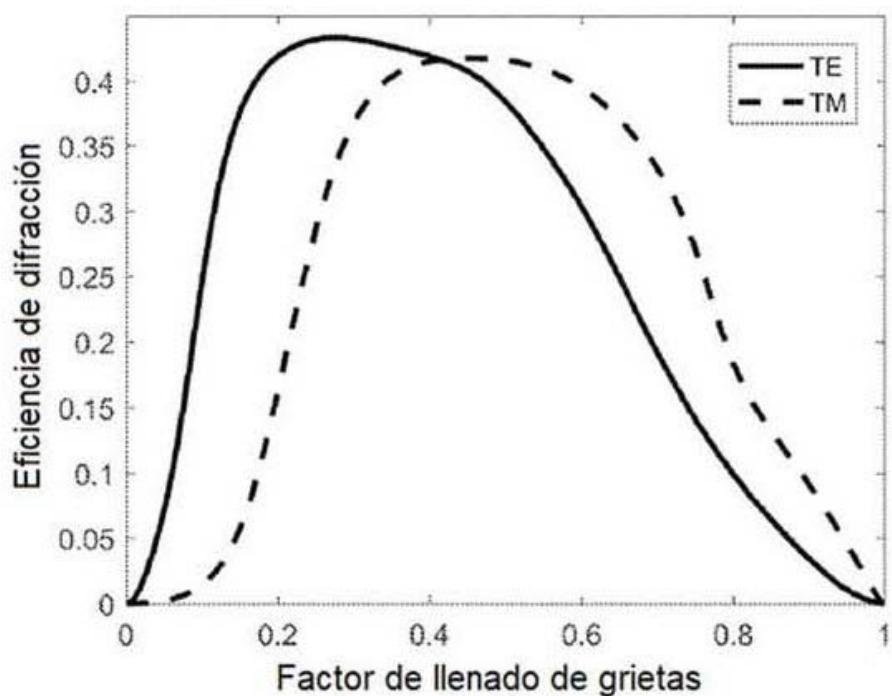


Fig. 2B