

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 455**

51 Int. Cl.:

F21V 8/00 (2006.01)

G02B 27/01 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.09.2013 PCT/FI2013/050903**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14044912**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2013 E 13774220 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2898262**

54 Título: **Dispositivo óptico con rejilla difractiva**

30 Prioridad:

20.09.2012 FI 20125971

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.06.2020

73 Titular/es:

**DISPELIX OY (100.0%)
Metsänneidonkuja 6
02130 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**SUNNARI, ANTTI;
HUTTUNEN, OLLI-HEIKKI y
OLKKONEN, JUUSO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 769 455 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 óptico con rejilla difractiva

Campo de la invención

5 La invención se refiere a rejillas de acoplamiento externo que se utilizan en pantallas de visualización frontal (HUD), pantallas cercanas al ojo (NED) o expansores de pupila de salida (EPE). El presente dispositivo comprende un sustrato de guiado de luz y una rejilla dispuesta dentro del sustrato o en al menos una porción de una superficie del sustrato.

Antecedentes de la invención

10 Los HUD y NED comprenden tres partes fundamentales: un proyector de luz, una unidad informática que controla el proyector y un combinador óptico que está adaptado para mostrar la luz desde el proyector hacia una pantalla transparente que permite al usuario del HUD o NED ver tanto el panorama detrás de la pantalla como la luz proyectada sin que el usuario tenga que apartar la vista de su punto de vista habitual. El combinador óptico puede basarse en elementos ópticos difractivos, a veces denominados elementos ópticos holográficos (HOE).

15 El documento WO 2006/064301 analiza dispositivos de visualización cercana al ojo que comprenden elementos difractivos para acoplar la luz en un sustrato óptico y fuera del sustrato óptico. Las versiones anteriores, desarrollos adicionales y variaciones de dispositivos que funcionan con el mismo principio general se presentan en los documentos WO 99/52002, WO 2009/077802, WO 2009/077803 y WO 2011/110728, EP 2244114 y EP 2196842.

20 El documento US 2009/0245730 describe un dispositivo de visualización que funciona con el mismo principio, en el que al menos una de las dos rejillas de difracción es una rejilla Echelle binaria que tiene una multiplicidad de estructuras de difracción, que se componen de una multiplicidad de subestructuras individuales que aseguran un efecto resplandor (*blaze*) y a simple vista tiene la forma de una superficie geométrica cerrada. La estructura propuesta tiene como objetivo proporcionar un dispositivo de visualización óptico con el que la luz se pueda acoplar a la placa plana de la guía de luz con la mayor eficiencia de difracción posible por la rejilla de entrada y acoplarse nuevamente por fuera de manera homogénea por la rejilla de salida.

25 El documento WO 2011/113662 describe un combinador difractivo para un dispositivo de visualización frontal (HUD) a color. El dispositivo incluye una primera rejilla de difracción óptica adaptada para difractar, en una dirección de difracción, luz que presenta una primera longitud de onda y que incide en la primera rejilla en una dirección de incidencia, una segunda rejilla de difracción óptica adaptada para difractar, en la misma dirección, la luz que presenta una segunda longitud de onda y que incide en la segunda rejilla en la dirección de incidencia. Las rejillas de difracción óptica primera y segunda se forman en relieve en las superficies opuestas primera y segunda del combinador. La primera y/o segunda rejilla se compone como una rejilla de difracción óptica multiplexada de longitud de onda y está adaptada para difractar en la dirección de la luz de difracción en una tercera longitud de onda que impacta la primera y/o segunda rejilla de difracción óptica en la dirección de incidencia.

35 Sin embargo, al menos algunas de las soluciones mencionadas anteriormente sufren un efecto no deseado causado por la luz transmitida que llega a través de las rejillas de difracción al ojo del observador, es decir, el llamado efecto arcoíris. El efecto arcoíris muestra un patrón visible colorido además de la imagen difractada deseada. Esto puede hacer que la tecnología del elemento combinador difractivo resulte prácticamente inútil en algunas aplicaciones, a menos que se resuelva el problema.

40 El documento US 4856869 describe un elemento de visualización que incluye un sustrato y un patrón de visualización formado en el sustrato, teniendo el patrón de visualización una primera estructura de rejilla de difracción y una segunda estructura de rejilla de difracción. La dirección de las líneas de rejilla de la primera estructura de rejilla de difracción difiere de las líneas de rejilla de la segunda estructura de rejilla de difracción, con el objetivo de evitar la aparición de una imagen similar a un arcoíris. La solución propuesta es periódica en dos direcciones, lo que hace que la luz difracte en múltiples direcciones, debilitando las órdenes de difracción individuales. Las órdenes de difracción transmitidas son, sin embargo, considerablemente fuertes, por lo que el resultado está lejos de ser óptimo con respecto a la imagen de interferencia del arcoíris. Además, la estructura es relativamente difícil de fabricar.

El documento EP 1767964 describe un filtro infrarrojo basado en rejillas adecuado para aplicaciones de paneles solares.

50 Por lo tanto, existe la necesidad de dispositivos ópticos mejorados.

Compendio de la invención

Un objetivo de la invención es proporcionar una nueva solución que pueda usarse para mejorar la parte del combinador de pantallas HUD, en particular para proporcionar una reducción del efecto arcoíris o evitarlo por completo en la luz transmitida.

- 5 El objetivo se logra mediante la invención tal como se define en la reivindicación independiente. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones adicionales.

El presente dispositivo óptico comprende un sustrato transparente y una rejilla en, o al menos parcialmente, dentro del sustrato. La rejilla comprende una primera capa de rejilla transparente que comprende adicionalmente zonas alternadas periódicamente que tienen diferentes índices de refracción. El dispositivo comprende adicionalmente una
10 segunda capa de rejilla transparente ubicada en la parte superior (pero no necesariamente directamente enfrentada) de la primera capa de rejilla y que también comprende zonas alternadas periódicamente que tienen diferentes índices de refracción. Las zonas de la primera capa de rejilla que tienen un índice de refracción mayor están al menos parcialmente alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla que tienen un índice de refracción menor y viceversa, por lo que la segunda capa de rejilla reduce la cantidad de luz difractada a las órdenes de transmisión
15 diferentes de cero en comparación con una estructura similar pero sin la segunda capa de rejilla.

Preferiblemente, los períodos, grosores de capa e índices de refracción de las capas de rejilla primera y segunda se adaptan para hacer que la eficiencia de difracción de las órdenes transmitidas, en particular la primera orden de transmisión, sea menor que la eficiencia de difracción de las órdenes de reflexión, en particular la primera orden de reflexión, mayor al intervalo de longitud de onda de 450-650 nm. Adicionalmente, en una realización, la eficiencia de difracción de la primera orden de transmisión no es mayor que 0,4% y la eficiencia de difracción de la primera orden de reflexión es al menos 3% mayor al intervalo de longitud de onda de 450-650 nm.
20

Preferiblemente, las capas de rejilla primera y segunda son periódicas en la misma dirección o, en el caso de una rejilla de doble periodicidad, en ambas direcciones ortogonales en el plano del sustrato y de la rejilla.

Según una realización preferida, la estructura de rejilla consta de dos capas de rejilla sucesivas, es decir, la primera
25 capa de rejilla y la segunda capa de rejilla, que tienen el mismo período de rejilla (Λ). Cada capa de rejilla contiene dos zonas con diferentes índices de refracción dentro de un solo período de rejilla, es decir, las capas de rejilla se denominan rejillas binarias. Las capas de rejilla están alineadas de modo que las zonas de la primera capa de rejilla que tienen un índice de refracción mayor están al menos parcialmente alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla que tienen un índice de refracción menor y viceversa. Este tipo de estructura de rejilla de dos capas difracta
30 una cantidad significativamente menor de luz a las órdenes de transmisión impares distintas de cero a diferencia de las rejillas de capa única. Esto sucede cuando las dos capas de rejilla están diseñadas para que la luz dispersada desde la primera capa de rejilla y la luz dispersada desde la segunda capa de rejilla interfieran destructivamente en las direcciones de las órdenes de transmisión impares distintas de cero. La interferencia destructiva ocurre entre dos ondas que se propagan en la misma dirección cuando la diferencia de fase es mayor que 90 y menor que 270
35 grados y es la más fuerte con la diferencia de fase de 180 grados.

El cambio de fase destructivo entre los campos dispersos de las dos capas de rejilla se puede obtener convenientemente con dos rejillas binarias. Si dos rejillas binarias con el ciclo de trabajo de $\frac{1}{2}$ (es decir, las zonas de índice de refracción más altas y más bajas dentro del período de rejilla son de igual grosor en la dirección periódica de la rejilla) son, por lo demás, idénticas, pero solo las ubicaciones de las zonas de índice de refracción más altas y más bajas están invertidas en la segunda rejilla, entonces la fase de las órdenes de reflexión y transmisión impares
40 producidas por la segunda rejilla difiere en 180 grados de la fase de las órdenes correspondientes producidas por la primera rejilla. Por lo tanto, si las rejillas fueran infinitamente delgadas y se colocaran una sobre la otra, los campos transmitidos (reflejados) producidos por las dos capas de rejilla en las direcciones de órdenes de transmisión (reflexión) impares interferirían destructivamente debido a la diferencia de fase de 180 grados. En la práctica, las
45 capas de rejilla no son infinitamente delgadas y, por lo tanto, la diferencia de fase de 180 grados entre los campos reflejados en las direcciones de órdenes impares se pierde fácilmente y tiene lugar la interferencia constructiva. Esto sucede cuando el campo incidente se dispersa directamente desde la primera capa de rejilla, mientras que en el caso de la segunda capa de rejilla, el campo incidente primero atraviesa la primera capa de rejilla, luego el campo se dispersa desde la segunda capa de rejilla y luego el campo disperso se propaga a través de la primera capa de
50 rejilla y finalmente interfiere con el campo que se dispersó directamente desde la primera capa de rejilla. Con las órdenes de transmisión impares, la diferencia de fase de 180 grados se mantiene mejor ya que el campo disperso desde la primera capa de rejilla necesita desplazarse a través de la segunda capa de rejilla, mientras que con la segunda capa de rejilla, el campo incidente se desplaza a través de la primera capa de rejilla antes de dispersarse de la segunda capa de rejilla. Por lo tanto, con la estructura de rejilla de dos capas presentada, es posible reducir la
55 eficiencia de difracción de las órdenes de transmisión impares a un nivel tan bajo que el efecto arcoíris no es observable en la luz transmitida por el ojo humano mientras la estructura aún refleja una cantidad significativa de luz en órdenes impares y pares de reflexión. Una clara ventaja de la estructura es que la baja eficiencia de difracción de las órdenes de transmisión impares se puede obtener en todas las longitudes de onda visibles cuando la estructura de rejilla está diseñada adecuadamente.

La estructura de rejilla presentada puede no reducir la eficiencia de difracción de las órdenes de transmisión pares. Sin embargo, esto no suele ser un problema, ya que en muchas aplicaciones el período de rejilla es tan pequeño que la eficiencia de difracción de órdenes distintas de 0 y ± 1 es cero o extremadamente baja.

5 La presente invención tiene las ventajas adicionales de que la estructura de rejilla de dos capas se puede diseñar de modo que la eficiencia de difracción del orden de transmisión cero sea casi independiente de la longitud de onda a través de las longitudes de onda visibles y, por lo tanto, no se inducen cambios significativos en el balance de color cuando la luz transmite a través de la estructura de rejilla y, además, no se observan imágenes visualmente borrosas. Como se basa en ópticas difractivas y se puede fabricar utilizando tecnología establecida, la estructura propuesta también es relativamente económica de producir.

10 Al seleccionar adecuadamente el período, el grosor de las capas y los índices de refracción de las capas de rejilla primera y segunda, se puede hacer que la rejilla difracte la luz visible en órdenes de reflexión diferentes de cero sin ninguna difracción significativa a órdenes de transmisión diferentes de cero. Como resultado, prácticamente no se observará ningún efecto arcoíris causado por la luz transmitida en las longitudes de onda visibles de la luz.

15 Según una realización, al menos uno, preferiblemente ambos, de los índices de refracción de la segunda capa de rejilla es el mismo que en la primera capa de rejilla.

Según una realización, las capas de rejilla primera y segunda son del mismo grosor. Esto proporciona la supresión máxima de las órdenes de difracción transmitidas distintas de cero y, por lo tanto, el efecto arcoíris, al menos cuando las estructuras internas (dimensiones e índices de refracción) de las capas de rejilla son similares.

20 Alternativamente, las capas de rejilla primera y segunda no son idénticas en sus propiedades materiales y tienen grosores diferentes. Esto es beneficioso si la selección de materiales utilizables es limitada y las capas de rejilla no pueden hacerse idénticas. Los grosores se pueden, de todos modos, usar para optimizar la supresión del efecto arcoíris.

25 Según una realización, las zonas de la primera capa de rejilla que tienen un índice de refracción mayor están completamente alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla que tienen un índice de refracción menor y viceversa. En particular, la segunda capa de rejilla puede tener una estructura interna similar a la primera capa de rejilla pero estar desplazada lateralmente durante la mitad del período de rejilla en la dirección periódica de la rejilla para proporcionar una alineación perfecta.

30 Según una realización, al menos algunas de las zonas en la primera y/o segunda capa de rejilla comprenden el mismo material que el sustrato o material que tiene casi el mismo índice de refracción que el sustrato. El sustrato puede comprender una porción microfabricada sobre la cual se pueden fabricar las capas de rejilla. Algunos ejemplos de técnicas de fabricación se dan en la descripción detallada de las realizaciones.

Según una realización, la rejilla se proporciona sobre una superficie del sustrato y comprende una capa de revestimiento en el otro lado de la rejilla, por lo que al menos algunas de las zonas en la primera y/o segunda capa de rejilla comprenden el mismo material que el de la capa de recubrimiento

35 Según una realización, al menos uno, preferiblemente ambos, de los índices de refracción de la segunda capa de rejilla es el mismo que en la primera capa de rejilla. Si uno de los índices de refracción es el mismo, toda la rejilla se puede hacer utilizando solo tres materiales diferentes que definan los índices de refracción. Si ambos índices de refracción son iguales, toda la rejilla se puede hacer usando solo dos materiales diferentes que definan los índices de refracción. De lo contrario, se necesitan cuatro materiales diferentes que definan los índices de refracción. Todas estas variaciones pueden usarse para reducir el efecto arcoíris. Por lo tanto, la configuración del material de la rejilla puede depender de otros requisitos del dispositivo.

40 En una configuración típica, las dos capas de rejilla exhiben el mismo período que está entre 300 y 1500 nm y los grosores de capa de las capas de rejilla primera y segunda están entre 5 y 200 nm. El índice de refracción menor en cada una de la primera y segunda capa de rejilla está típicamente entre 1,3 y 1,7 y el índice de refracción mayor en cada una de la primera y segunda capa de rejilla está entre 1,5 y 2,2. Las capas de rejilla también pueden contener metales, como aluminio, oro y plata, u óxidos conductores, como óxido de indio y estaño (ITO), o polímeros transparentes conductores, como poli(3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT) y poli(3,4-etilendioxitiofeno):poli(sulfonato de estireno) (PEDOT:PSS).

45 Como se describe anteriormente, la rejilla presente puede servir como una rejilla de acoplamiento externo adaptada para difractar la luz dirigida a la rejilla de acoplamiento externo desde el sustrato de guiado de luz fuera de dicho sustrato, mientras se mantiene la transparencia del sustrato. Por lo tanto, la rejilla y el sustrato actúan como un elemento combinador para un dispositivo de visualización óptico. Para guiar la luz dentro del sustrato y hasta la rejilla de acoplamiento externo, dichos dispositivos comprenden típicamente también una rejilla de acoplamiento dispuesta en una posición diferente del sustrato. Además, se puede proporcionar una fuente de luz o un proyector para dirigir la luz hacia la rejilla de acoplamiento interno. Por lo tanto, se proporciona una pantalla frontal (HUD) totalmente funcional, una pantalla cercana al ojo (NED) o un expansor de pupila de salida (EPE) o parte del mismo.

El presente elemento combinador puede tener lugar en particular en un dispositivo de visualización de la industria de la aviación, dispositivo de visualización de la industria automotriz, dispositivo de visualización de videojuegos o dispositivo de visualización de realidad aumentada, o dispositivo de visualización en cirugía asistida o ensamblaje.

5 A continuación, se describen realizaciones de la invención con más detalle con referencia a los dibujos anejos, brindando primero algunas definiciones utilizadas.

A menos que se mencione lo contrario, en la siguiente descripción, ejemplos y dibujos, se aplican las siguientes definiciones:

10 Las eficiencias de difracción se han calculado mediante el método modal de Fourier (también conocido como análisis de onda acoplada rigurosa) como promedio de polarizaciones TE y TM, lo que corresponde a una situación en la que la rejilla está sujeta a luz no polarizada.

A menos que se indique lo contrario, en todos los ejemplos, el período de la rejilla es de 450 nm y la rejilla está iluminada por una onda plana normalmente incidente. Los dibujos no están necesariamente dibujados a escala.

El término "transparente" (por ejemplo, capa de material) se refiere a estructuras de este tipo cuya transmitancia en el intervalo de longitud de onda visual 450-650 nm es al menos del 50%.

15 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una representación general de una estructura de rejilla según la invención.

La figura 2 muestra una estructura de rejilla según una realización.

La figura 3a muestra una estructura de rejilla según otra realización.

20 La figura 3b muestra la eficiencia de difracción calculada de la primera orden de reflexión (R_{+1}) y transmisión (T_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre para una estructura de rejilla de doble capa según la figura 3a con dimensiones e índices de refracción de ejemplo.

La figura 3c muestra la eficiencia de difracción calculada de la primera orden de reflexión (R_{+1}) y transmisión (T_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre para una estructura de rejilla de una sola capa que, por lo demás, es idéntica a la estructura modelada en la figura 3b pero que contiene solo una capa de rejilla.

25 La figura 4a muestra una estructura de rejilla según otra realización.

La figura 4b muestra la eficiencia de difracción calculada de la primera orden de reflexión (R_{+1}) y transmisión (T_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre para la estructura según la figura 4a con índices de dimensiones y refracción de ejemplo.

La figura 5a muestra una estructura de rejilla realizada usando un revestimiento de metal según otra realización.

30 La figura 5b muestra la eficiencia de difracción calculada de la primera orden de reflexión (R_{+1}) y transmisión (T_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre para la estructura según la figura 5a con índices de dimensiones y refracción de ejemplo.

La figura 5c muestra la eficiencia de difracción calculada del orden de transmisión cero (T_0) como una función de la longitud de onda del espacio libre para la estructura modelada en la figura 5b.

35 La figura 5d muestra la eficiencia de difracción calculada de la primera orden de reflexión (R_{+1}) y transmisión (T_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre para la estructura que, por lo demás, es idéntica a la estructura modelada en la figura 5b, pero contiene solo una capa de rejilla.

La figura 6 muestra una representación general de una estructura de rejilla doble periódica según la invención.

Descripción detallada de las realizaciones

40 La figura 1 ilustra una estructura general de la rejilla de dos capas según la invención. La rejilla comprende una primera capa 11 de rejilla y una segunda capa 12 de rejilla. Las dos capas de rejilla tienen el mismo período de rejilla (Λ) y son binarias. La primera capa de rejilla está compuesta por un patrón periódico de zonas 11A y 11B de material alterno que tienen diferentes índices de refracción n_{11} y n_{12} , respectivamente. Asimismo, la segunda capa de rejilla se compone de un patrón periódico de zonas 12A y 12B de material alterno que tienen diferentes índices de refracción n_{21} y n_{22} , respectivamente. En el primer lado de la rejilla de dos capas se proporciona una primera capa 10 de material ópticamente transparente que tiene un índice de refracción n_1 y en el segundo lado de la rejilla se proporciona una segunda capa 13 de material ópticamente transparente que tiene un índice de refracción n_2 . Las capas 10, 13 en uno o ambos lados de la rejilla pueden comprender también capas de aire (o vacío), es decir, carecen de material sólido.

En la figura 2 se muestra una estructura simplificada y prácticamente más factible. La estructura comprende una primera capa 21 de rejilla y una segunda capa 22 de rejilla, como en la figura 1. Adicionalmente, la primera capa de rejilla está compuesta de un patrón periódico de zonas 21A y 21B de material alterno que tienen diferentes índices de refracción n_{11} y n_1 , respectivamente. Asimismo, la segunda capa de rejilla está compuesta por un patrón periódico de zonas 22A y 22B de material alterno que tienen diferentes índices de refracción n_{21} y n_2 , respectivamente. La diferencia esencial con la figura 1 es que las capas de material 20, 23 en cada lado de las capas de rejilla 21, 22 continúan de manera fluida desde las zonas 21A y 22A de rejilla, respectivamente.

Una estructura aún más simplificada se muestra en la figura 3a. La estructura comprende una primera capa 31 de rejilla y una segunda capa 32 de rejilla, como en las figuras 1 y 2. Las capas de rejilla están compuestas de patrones periódicos de zonas 31A, 31B; 32A, 32B de material alterno que tienen diferentes índices de refracción (dentro de cada capa) n , n_1 ; n , n_2 , respectivamente. También en esta realización, las capas de material 30, 33 en cada lado de las capas de rejilla 31, 32 continúan de manera fluida desde las zonas 31A y 32A de rejilla, respectivamente. En esta configuración, los materiales en una zona 31B, 32B de cada una de las capas 31, 32 de rejilla son iguales y, por lo tanto, las zonas 31B, 32B tienen el mismo índice de refracción.

No se excluye que las zonas 31A y 32A de materiales también estén hechas del mismo material, es decir, que $n_1 = n_2$, por lo que solo se necesitarían dos materiales diferentes para hacer la estructura propuesta. Lo mismo vale para otras estructuras descritas en este documento. Con referencia a la figura 1, según una realización, la zona n_{11} (zona n_{12}) de la primera capa de rejilla tiene el mismo índice de refracción que la zona n_{21} (zona n_{22}) de la segunda capa de rejilla. Esta realización proporciona una supresión óptima de las órdenes de difracción impares transmitidas cuando las capas de rejilla son del mismo grosor. Si $n_{11} \neq n_{21}$ o $n_{12} \neq n_{22}$, entonces la supresión óptima se puede obtener con capas de rejilla que tienen grosores desiguales.

La figura 3b muestra la eficiencia de difracción de la primera orden de transmisión (T_{+1}) y la primera reflexión (R_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre (λ_0) para la estructura según la figura 3a con los siguientes parámetros: $n_1 = n_2 = 1,7$, $n = 1,3$, $h_1 = h_2 = 50$ nm y $\Lambda = 450$ nm. La estructura está iluminada por una onda plana normalmente incidente. La figura 3c muestra los mismos resultados para la estructura que por lo demás es idéntica a la estructura modelada en la figura 3b, pero contiene solo una capa de rejilla. Claramente T_{+1} es mucho más débil en la figura 3b que en la figura 3c. Todos los resultados de modelado presentados en esta solicitud de patente se obtuvieron con el método modal de Fourier (también conocido como análisis riguroso de ondas acopladas) que utiliza las reglas correctas de factorización de Fourier para obtener una buena convergencia también con estructuras de rejilla metálica.

La figura 4a muestra una estructura modificada de la rejilla en la que las zonas de material alternado, las zonas 41B, 42B de material se superponen entre sí en la dirección normal a la rejilla. Por lo tanto, hay una capa unificada de material con índice de refracción n entre las capas 41, 42 de rejilla reales. También en esta realización, las capas de material 40, 43, que tienen índices de refracción n_1 y n_2 , respectivamente, a cada lado de las capas de rejilla 41, 42 continúan de manera fluida desde las zonas 41A y 42A de rejilla, respectivamente.

La figura 4b muestra la eficiencia de difracción de la primera orden transmisión (T_{+1}) y la primera reflexión (R_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre (λ_0) para la estructura según la figura 4a con los siguientes parámetros: $n_1 = n_2 = 1,7$, $n = 1,3$, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 80$ nm y $\Lambda = 450$ nm. La estructura está iluminada por una onda plana normalmente incidente. En comparación con la figura 3b, la capa dieléctrica uniforme de 30 nm de grosor entre las capas de rejilla de 50 nm de grosor mejora R_{+1} . También T_{+1} aumenta ligeramente pero sigue siendo significativamente inferior que en la figura 3c.

La figura 5a muestra una realización adicional. En esta realización, la rejilla doble deseada está formada por un sustrato 50 provisto de resaltes 51A y que tiene capas 54B delgadas de metal, como oro o plata, o algún material de alto índice de refracción, como óxido de indio y estaño (ITO), provisto en el fondo de cada surco 52A y en cada resalte 51A formado entre los surcos 52A. En el segundo lado de la estructura, se proporciona una capa 53, 52A de forma inversa.

La figura 5b muestra la eficiencia de difracción de la primera orden de transmisión (T_{+1}) y la primera reflexión (R_{+1}) como una función de la longitud de onda del espacio libre (λ_0) para la estructura según la figura 5a con los siguientes parámetros: $n_1 = n_2 = 1,5$, n = índice de refracción dependiente de longitud de onda de la plata (CRC *handbook of Chemistry and Physics*, 83ª edición), $t = 50$ nm y $\Lambda = 450$ nm. Las zonas de plata tienen un grosor de 10 nm y la estructura está iluminada por una onda plana normalmente incidente. La figura 5b muestra la eficiencia de difracción del orden de transmisión cero para la misma estructura. La transmitancia espectral media del orden cero es superior al 60%. La figura 5c muestra los mismos resultados para la estructura que contiene una sola capa de rejilla de plata (como en la estructura modelada en la figura 5b, $n_1 = n_2$, se puede considerar que la estructura consta de dos capas de rejilla metálicas separadas por una capa dieléctrica uniforme). Al comparar las figuras 5b y 5c, se puede ver claramente que la estructura de rejilla de dos capas difracta significativamente menos luz en la primera orden transmitida que la estructura de capa única.

Las realizaciones presentadas hasta ahora han sido periódicas solo en una dirección. Todas las realizaciones presentadas pueden implementarse también como estructuras doblemente periódicas (también denominadas como

biperiódicas). Una versión doblemente periódica de la estructura de la figura 3a se muestra en la figura 6. Debe observarse que solo una celda unitaria de la rejilla doblemente periódica se ilustra en la figura 6. La rejilla consta de dos capas de rejilla. La celda unitaria de cada capa de rejilla contiene cuatro zonas rectangulares con igual altura, ancho y profundidad. Cada capa consta de dos materiales con diferentes índices de refracción. Las zonas rectangulares de materiales en la celda unitaria de cada capa de rejilla están dispuestas en un patrón de tablero de ajedrez. Las capas de rejilla están alineadas de modo que las zonas de la primera capa de rejilla que tienen un índice de refracción mayor están alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla que tienen un índice de refracción menor y viceversa.

En todo lo anteriormente mencionado, las regiones de cresta y surco en ambas capas de rejilla son preferiblemente del mismo ancho. En todos los ejemplos anteriores, las zonas alternas de las capas de rejilla se muestran totalmente alineadas entre sí en la dirección lateral de la rejilla, proporcionando un rendimiento óptimo. Sin embargo, se espera que la estructura funcione también cuando las zonas están parcialmente alineadas, por ejemplo, si hay un desplazamiento de menos de la cuarta parte del período de la rejilla de la situación óptima.

Las dos capas de rejilla pueden superponerse directamente o estar separadas por una distancia, que generalmente es menor que el ancho de los resaltes y surcos.

Las estructuras de las figuras 2, 3a, 4a y 5a pueden ser fabricados a fin de

- a) proporcionar un sustrato inferior ópticamente transparente que tiene un índice de refracción n_1 ,
- b) fabricar una secuencia de surcos y resaltes en el sustrato inferior,
- c) depositar en las primeras zonas de los surcos de material ópticamente transparente con un índice de refracción n_{11} o n para completar la primera capa de rejilla,
- d) depositar en las segundas zonas de los resaltes de material ópticamente transparente con un índice de refracción n_{21} o n ,
- e) depositar entre las segundas zonas y, opcionalmente también en la parte superior de las segundas zonas como una capa de recubrimiento uniforme, material ópticamente transparente que tiene un índice de refracción n_2 (que puede ser pero no necesita ser igual a n_1).

En el caso de la estructura de la figura 3, los pasos de fabricación (c) y (d) pueden realizarse mediante una única deposición. Es decir, cuando los surcos de la primera rejilla se rellenan con un material que tiene un índice de refracción n , las zonas de cresta de la segunda capa de rejilla se forman simultáneamente.

Los surcos y resaltes del sustrato se pueden proporcionar utilizando cualquier técnica de microfabricación conocida, como grabado mecánico, estampado (en caliente), fabricación con láser (*e-beam*), grabado o técnica de deposición de material, como la nanoimpresión.

La deposición de las zonas de material de las capas de rejilla con un índice de refracción diferente del sustrato y la capa superior se lleva a cabo preferiblemente utilizando métodos de impresión, tales como huecogrado, huecogrado inverso, impresión flexográfica y serigráfica, métodos de recubrimiento, métodos de pulverización, o métodos de deposición de película delgada conocidos comúnmente, tales como evaporación térmica, pulverización catódica y deposición de capa atómica.

La capa superior puede proporcionarse mediante un método adecuado de recubrimiento, pulverizado o impresión.

El sustrato y los materiales de la capa superior pueden comprender, por ejemplo, vidrio, poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), policarbonato, acetato de celulosa, polivinilpirrolidona o etilcelulosa.

Las zonas de material alternativas pueden comprender, por ejemplo, fluoropolímeros sulfonados como Nafion®.

Los materiales y los índices de refracción también pueden intercambiarse.

En el caso de la figura 5a, la capa que contiene metal puede depositarse utilizando, por ejemplo, métodos de deposición de vapor tales como deposición química de vapor (CVD), deposición de capa atómica (ALD) o cualquier modificación de los mismos. El grosor de la capa que contiene metal puede ser, por ejemplo, 1-50 nm, preferiblemente 5-20 nm.

REIVINDICACIONES

1. Una pantalla óptica de visualización frontal (HUD), una pantalla cercana al ojo (NED) o un dispositivo expensor de pupila de salida (EPE) que comprende

- un sustrato transparente de guiado de luz (11), (13),

5 - una rejilla de acoplamiento externo sobre o dentro del sustrato, comprendiendo la rejilla una primera capa (11) de rejilla transparente que comprende adicionalmente zonas (11A), (11B) alternadas periódicamente que tienen diferentes índices de refracción,

caracterizado por que la rejilla comprende adicionalmente una segunda capa (12) de rejilla transparente ubicada en la primera capa de rejilla y que también comprende zonas (12A), (12B) alternadas periódicamente con diferentes
10 índices de refracción de modo que las zonas de la primera capa de rejilla con un índice de refracción mayor están al menos parcialmente alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla con un índice de refracción menor y viceversa, reduciendo la segunda capa de rejilla la cantidad de luz difractada a órdenes de transmisión distintas de cero.

2. El dispositivo óptico según la reivindicación 1, caracterizado por que el período, los grosores de capa y los
15 índices de refracción de las capas de rejilla primera y segunda se adaptan para hacer que la eficiencia de difracción de las órdenes transmitidas, en particular la primera orden de transmisión, sea menor que la eficiencia de difracción de las órdenes de reflexión, en particular la primera orden de reflexión, sobre el intervalo de longitud de onda de 450-650 nm.

3. El dispositivo óptico según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la eficiencia de difracción de las
20 primeras órdenes de transmisión es de no más del 0,4% y la eficiencia de difracción de la primera orden de reflexión está al menos 3% por encima del intervalo de longitud de onda de 450-650 nm.

4. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las capas de
rejilla primera y segunda tienen el mismo período de rejilla y cada una comprende dos tipos de zonas que tienen diferentes índices de refracción con un solo período de rejilla.

5. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las capas de
25 rejilla primera y segunda son de igual grosor.

6. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizado por que las capas de rejilla
primera y segunda no son idénticas en sus propiedades materiales y tienen diferentes grosores.

7. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que al menos uno,
30 preferiblemente ambos, de los índices de refracción de la segunda capa de rejilla es el mismo que en la primera capa de rejilla.

8. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las capas de
rejilla primera y segunda son periódicas en la misma dirección o direcciones.

9. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las zonas de la
35 primera capa de rejilla que tienen un índice de refracción mayor están completamente alineadas con las zonas de la segunda capa de rejilla que tienen un índice de refracción menor y viceversa.

10. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la segunda capa
de rejilla tiene una estructura interna similar a la primera capa de rejilla pero desplazándose lateralmente durante la mitad del período de rejilla en la dirección periódica de la rejilla.

11. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las capas de
40 rejilla primera y segunda están separadas por una capa dieléctrica uniforme.

12. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las capas de
rejilla contienen metales, tales como plata, oro y aluminio, u óxido conductor, tal como óxido de indio y estaño.

13. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que al menos algunas
45 de las zonas en la primera y/o segunda capa de rejilla comprenden el mismo material que el sustrato o un material que tiene casi el mismo índice de refracción que el sustrato.

14. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la rejilla se
50 proporciona sobre una superficie del sustrato y comprende una capa de recubrimiento en el otro lado de la rejilla, por lo que al menos algunas de las zonas en la primera y/o segunda capa de rejilla comprenden el mismo material que la capa de recubrimiento.

15. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el período de las capas de rejilla primera y segunda está entre 300 nm y 1500 nm y los grosores de las capas de rejilla primera y segunda están entre 5 nm y 200 nm.
- 5 16. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el índice de refracción menor en cada una de las capas de rejilla primera y segunda está entre 1,3 y 1,7 y el índice de refracción mayor en cada una de las capas de rejilla primera y segunda está entre 1,5 y 2,2.
17. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicha rejilla es una rejilla de acoplamiento externo adaptada para difractar la luz dirigida a la rejilla de acoplamiento externo desde el sustrato en la superficie de la cual se ubica la rejilla de acoplamiento externo.
- 10 18. El dispositivo óptico según la reivindicación 17, caracterizado por que el dispositivo comprende adicionalmente una rejilla de acoplamiento interno adaptada para difractar la luz desde el exterior del sustrato hacia el sustrato y adicionalmente hacia la rejilla de acoplamiento exterior para que la luz se propague en el sustrato de guiado de luz a través de reflejos internos totales.
- 15 19. El dispositivo óptico según la reivindicación 18, caracterizado por que comprende un proyector de luz capaz de iluminar la rejilla de acoplamiento interno en la superficie del sustrato.
20. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la estructura de rejilla de dos capas es doblemente periódica.

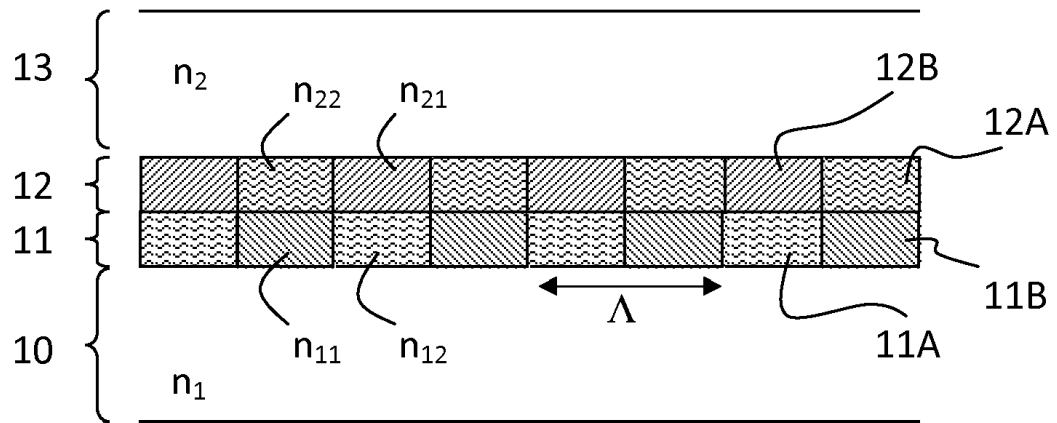


Fig. 1

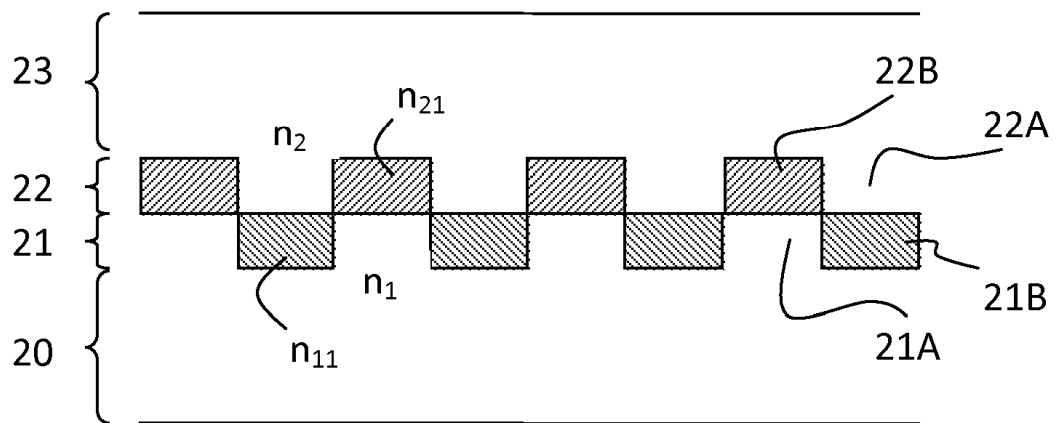


Fig. 2

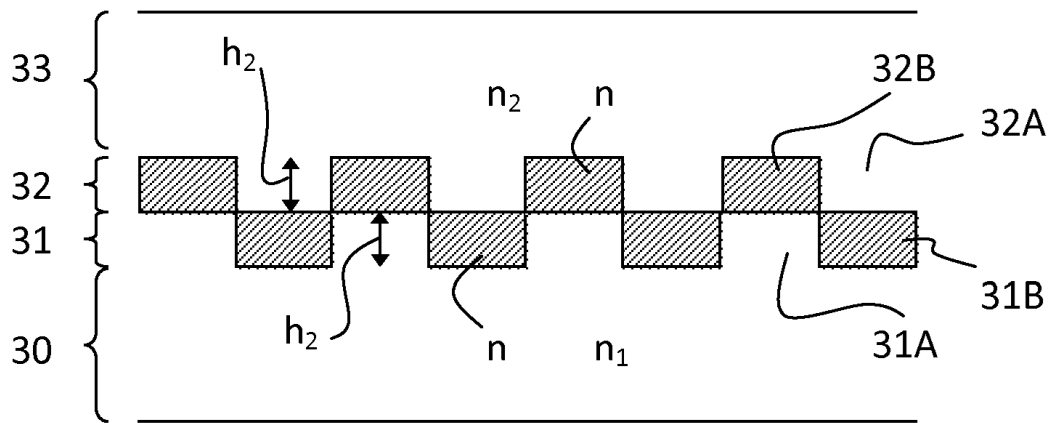


Fig. 3a

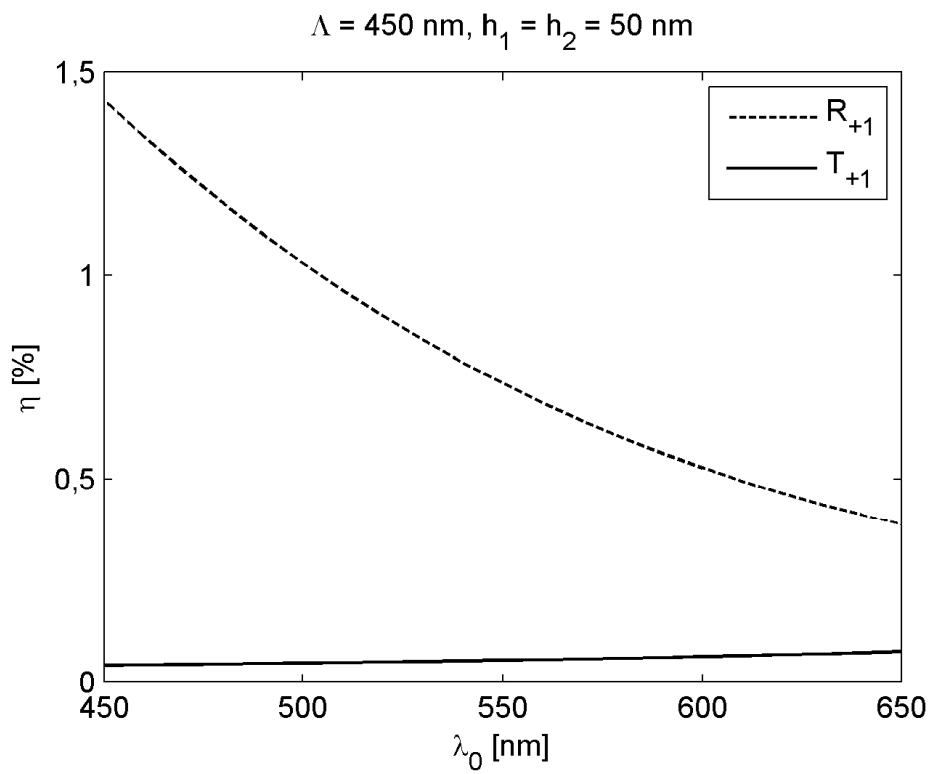
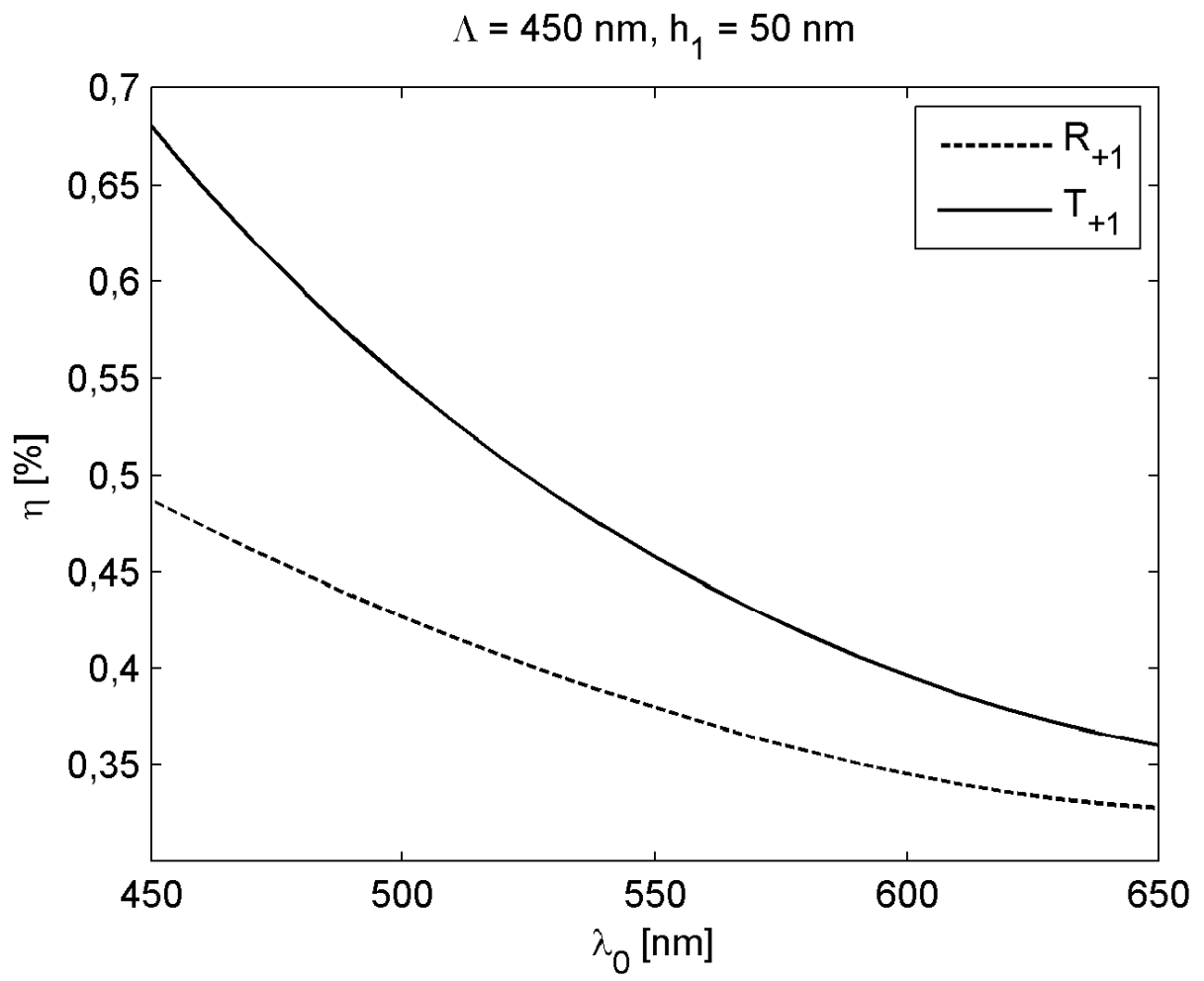


Fig. 3b

**Fig. 3c**

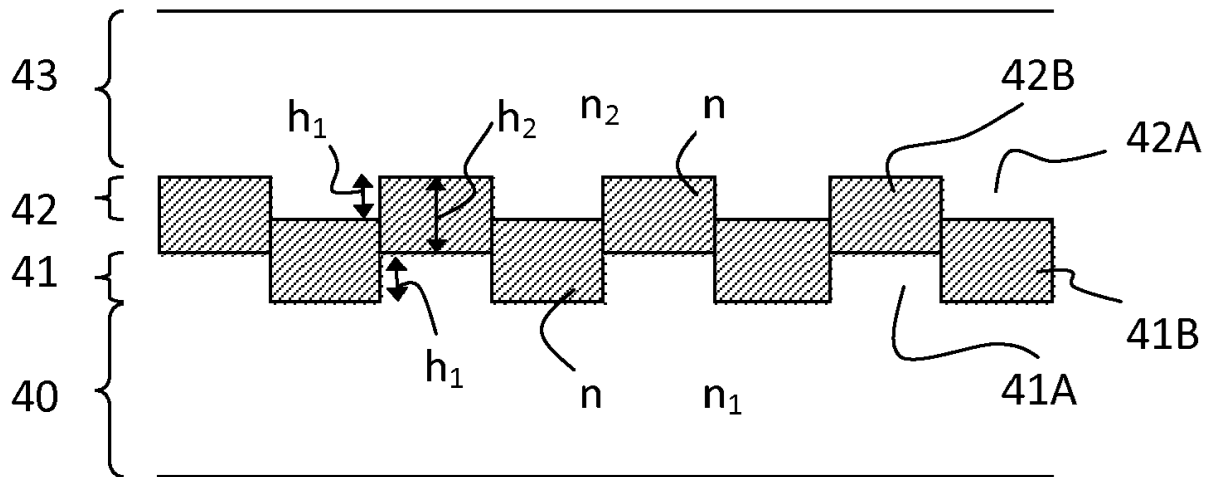


Fig. 4a

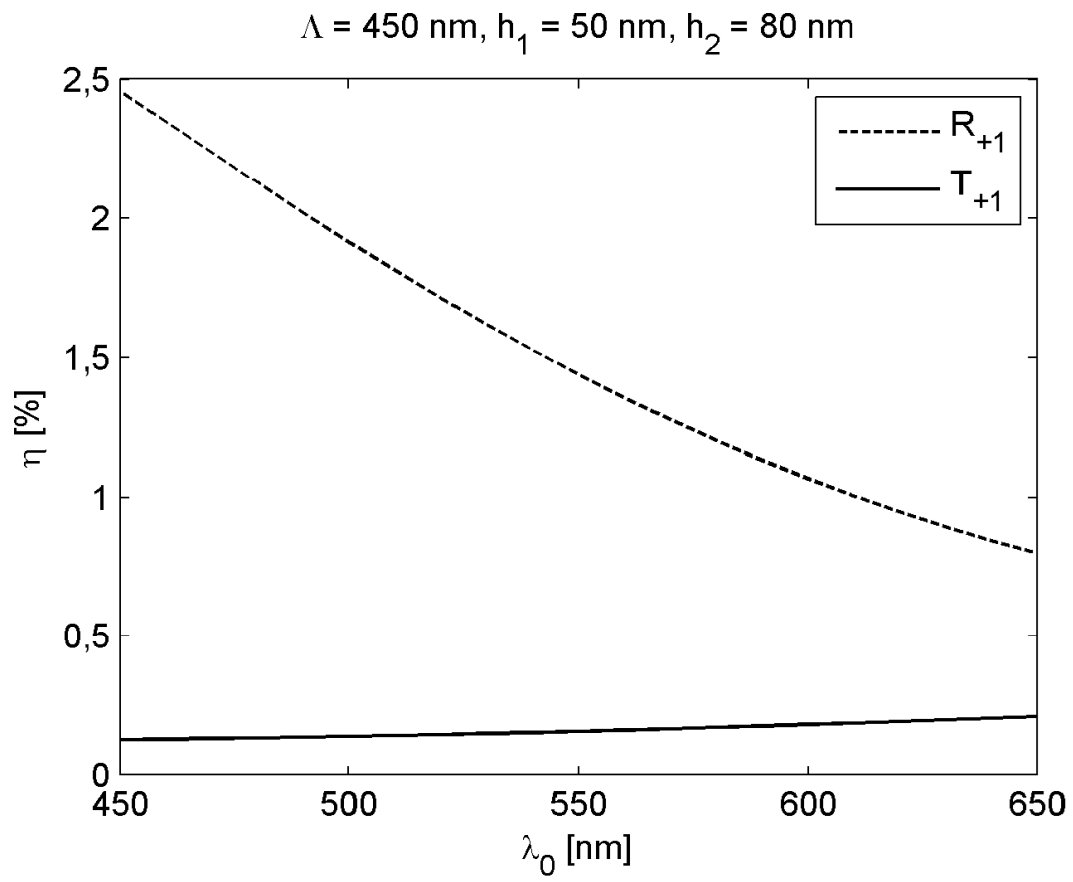


Fig. 4b

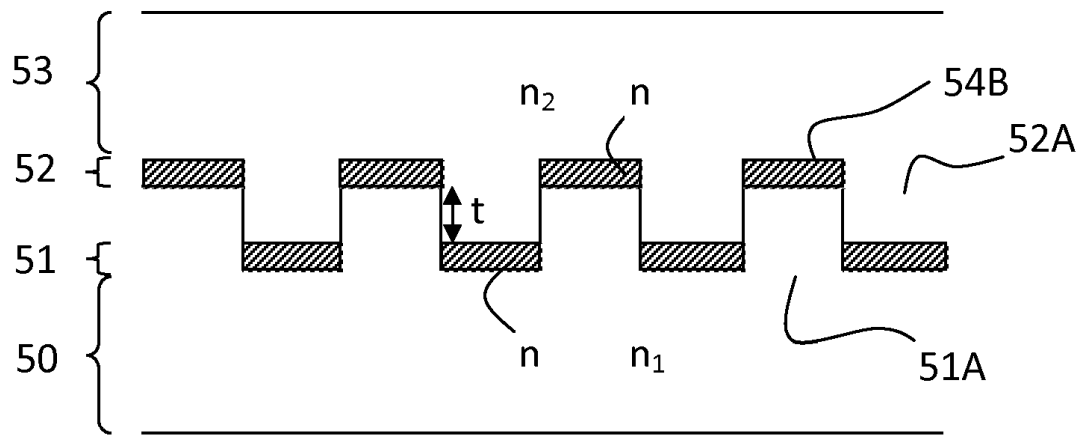


Fig. 5a

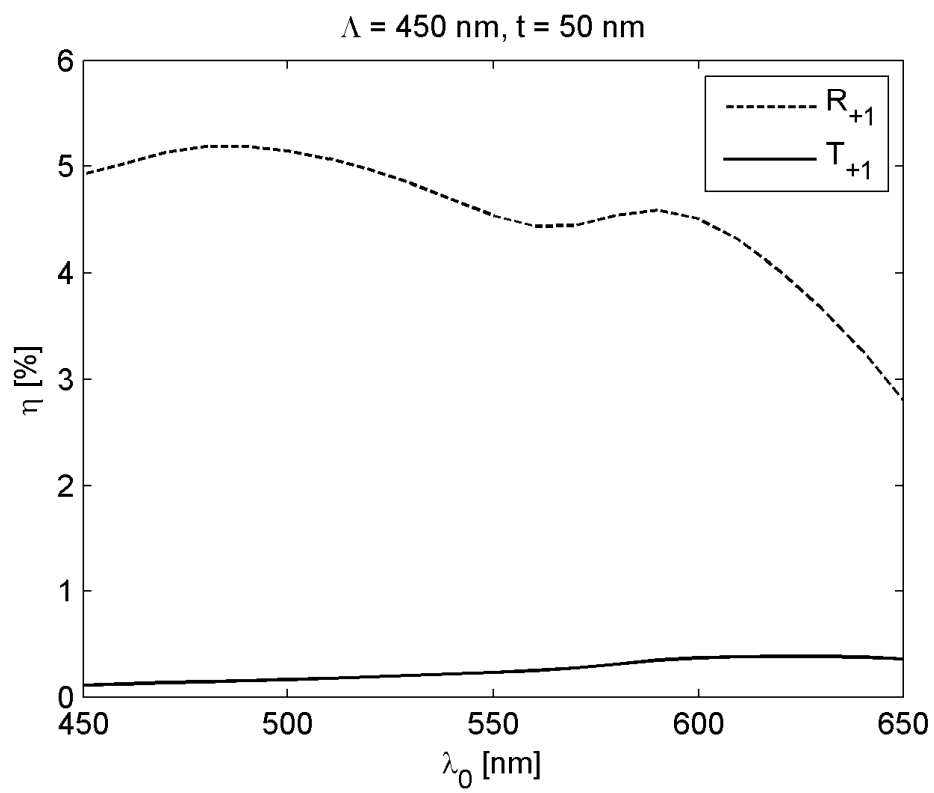


Fig. 5b

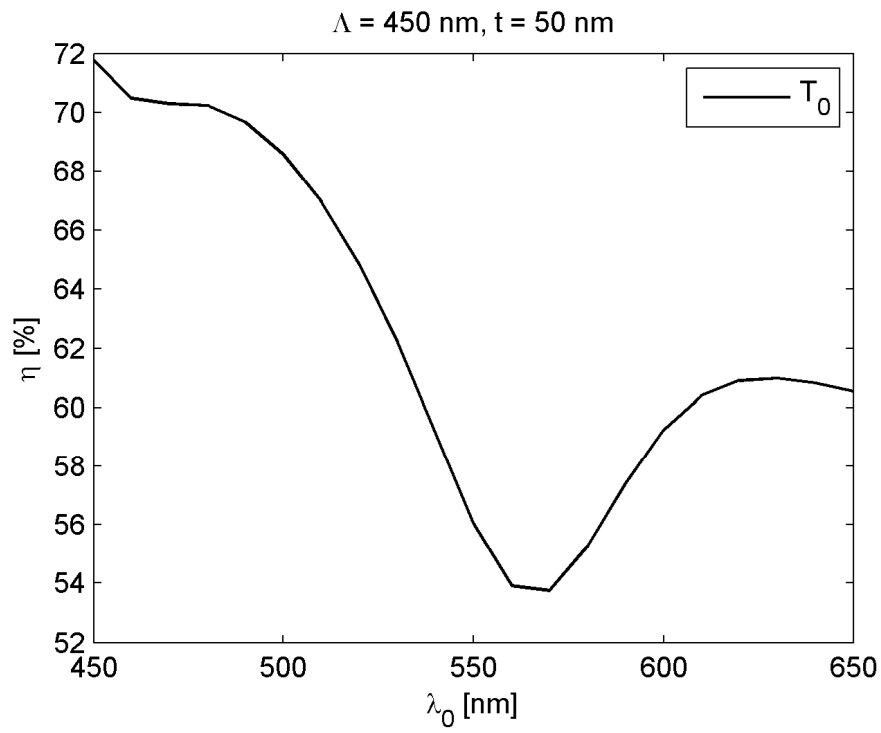


Fig. 5c

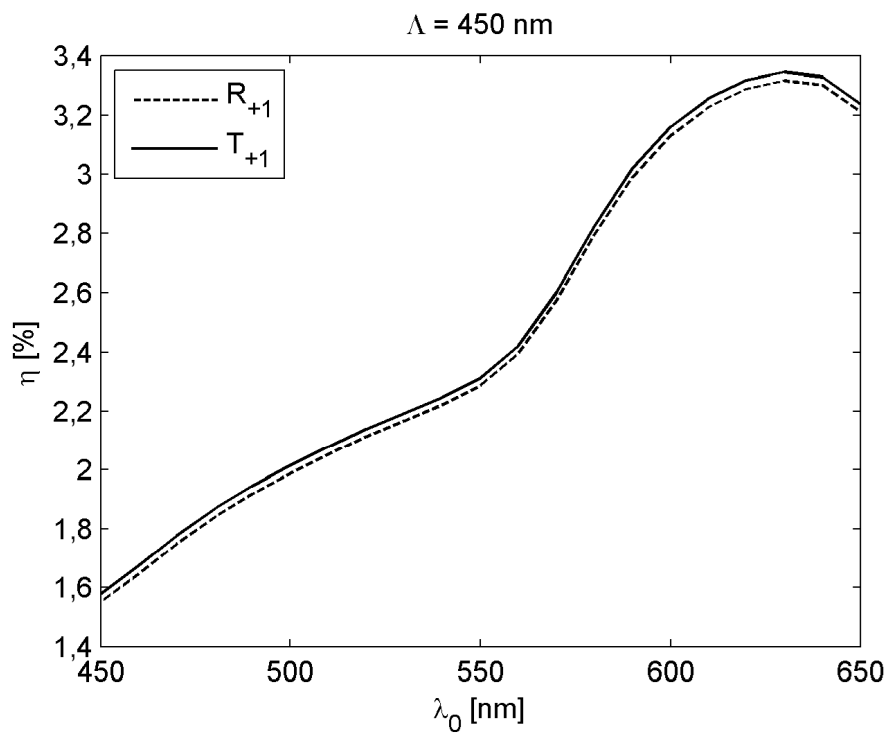


Fig. 5d

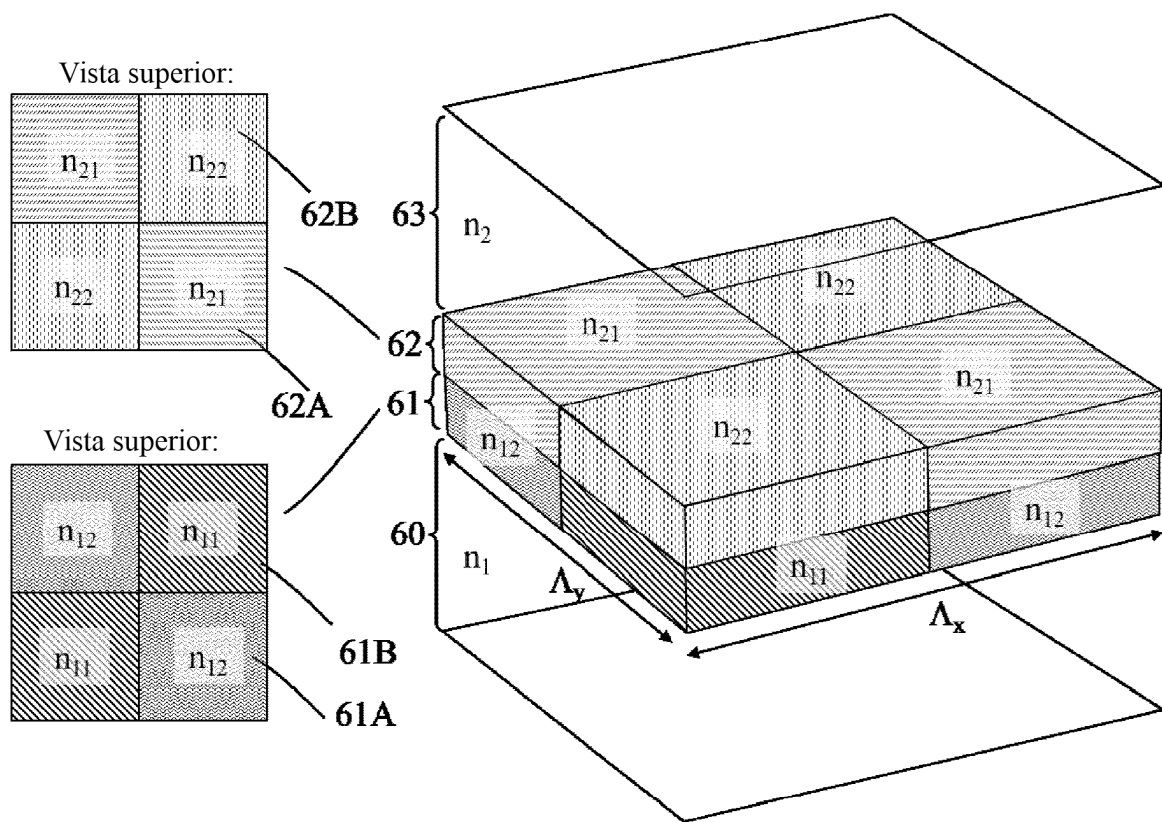


Fig. 6