

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 466**

51 Int. Cl.:

G03H 1/08 (2006.01)

G02B 21/08 (2006.01)

G02B 26/06 (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.12.2009 PCT/JP2009/071443**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.07.2010 WO10074149**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2009 E 09834947 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2016 EP 2381296**

54 Título: **Dispositivo de control de luz y procedimiento de control de luz**

30 Prioridad:

24.12.2008 JP 2008327855

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

11.04.2017

73 Titular/es:

**HAMAMATSU PHOTONICS K.K. (100.0%)
1126-1, Ichino-cho Higashi-ku
Hamamatsu-shi, Shizuoka 435-8558, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUMOTO NAOYA;
ANDO TARO;
INOUE TAKASHI y
OHTAKE YOSHIYUKI**

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 608 466 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de control de luz y procedimiento de control de luz

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un dispositivo de control de luz y a un procedimiento de control de luz.

Técnica anterior

10

JP 2006 113185 A se refiere a un aparato de procesamiento por láser.
JP 2008 176150 A se refiere a un dispositivo de modulación de fase de reflexión.

15

Los moduladores de luz espaciales pueden modular la intensidad o la fase de la luz recibida por cada uno de una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente. Estos moduladores espaciales de luz incluyen un modulador de luz espacial de tipo de modulación de la intensidad que puede modular solamente la intensidad, un modulador de luz espacial tipo de modulación de fase que puede modular sólo la fase, y un modulador de luz espacial de tipo de modulación de la intensidad y fase que puede modular tanto la intensidad como la fase. La luz emitida después de ser modulada en intensidad o en fase en cada píxel del modulador de luz espacial como resultado, por ejemplo, de condensarse mediante un sistema óptico de condensación dispuesto en una etapa posterior del modulador de luz espacial, puede procesar un objeto existente en su posición de condensación.

20

25

El modulador de luz espacial que modula en intensidad regula la transmitancia de la luz recibida píxel a píxel, y no puede utilizar la luz de una parte que no ha sido transmitida a través de éstos y, por lo tanto, tiene eficiencia de utilización de la luz inferior. No es fácil que el modulador de luz espacial que modula en intensidad y la fase controle la modulación de la intensidad y la modulación de fase en cada píxel independientemente unos de otros, y su manipulación es difícil.

30

Por otra parte, el modulador de luz espacial que modula en fase, modula la fase de luz recibida de píxel a píxel, y puede emitir casi toda la luz y, por lo tanto, tiene una eficiencia de utilización de la luz excelente. Además, el modulador de luz espacial que modula en fase, como resultado de presentar un patrón de fase preparado a partir de un holograma generado por ordenador o similar, tiene un alto grado de libertad en la distribución de fase en una sección del haz de la luz emitida, y tiene un alto grado de libertad en la posición de condensación de la luz emitida por el sistema óptico de condensación. Como aplicación de control de luz utilizando dicho modulador de luz espacial que modula en fase, puede mencionarse el procesamiento de la superficie y el interior de un objeto de procesamiento, la generación de un haz de modo Laguerre-gaussiano, y similares.

35

40

Además, es conocido que la intensidad de emisión de luz que se emite que es modulada en fase píxel a píxel en el modulador de luz espacial que modula en fase puede modularse (se hace referencia a Literatura no de patente 1). Esto es para hacer que el modulador de luz espacial que modula en fase presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta por difracción de la luz y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada, y regulando la eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial regulando el patrón de rejilla abierta. De acuerdo con ello, se ha considerado que la luz que se emite después de haber sido difractada por el modulador de luz espacial puede tener una distribución de la intensidad y una distribución de fase en su sección de haz deseadas.

45

50

Además, se ha considerado que, en general, dado que la fase α de una onda de luz es equivalente a una fase ($\alpha + 2n\pi$), es suficiente que la modulación de fase óptica en cada píxel del modulador de luz espacial sea posible en un rango de 2π . Aquí, n es un número entero arbitrario. Por ejemplo, si la cantidad de modulación de fase excede 2π , es suficiente añadir o restar $2n\pi$ respecto a la cantidad de modulación de fase (en adelante, denominado "plegado de fase") para hacer, de este modo, que la modulación de fase sea un valor que se encuentre dentro de un rango entre 0 y 2π . Se ha considerado que, incluso si la cantidad de modulación de fase después del plegado de fase se proporcione de este modo como la cantidad de modulación de fase de cada píxel del modulador de luz espacial, en principio no se da ningún problema.

55

60

Los moduladores de luz espaciales convencionales se configuran de manera que presenten un rango de modulación de fase de 2π . Esto se debe a que, si el rango de modulación de fase en el modulador de luz espacial es 2π , una modulación de fase superior a 2π puede expresarse en principio también realizando un plegado de fase en el patrón de fase. Además, esto se debe a que un modulador de luz espacial que tiene un rango de modulación de fase superior a 2π no sólo es redundante, sino que también causa una reducción de la resolución y una reducción de la velocidad de respuesta en términos de relación entre el valor de gradación de entrada y cantidad de modulación de fase.

Lista de citas**Literatura no de patente:**

- 5 Literatura no de patente 1: Joseph P. Kirk y Alan L. Jones, "*Phase-only complex-valued spatial filter*", *Journal of the optical society of America*, vol. 61, No. 8, 1971

Descripción de la invención**Problema técnico**

10 Mientras tanto, el presente inventor ha participado en diversas investigaciones y desarrollo, aprovechando la posibilidad de hacer que un modulador de luz espacial que modula en fase presente un patrón de fase producido mediante la superposición de un patrón de rejilla abierta y un patrón de fase predeterminado, y module la intensidad de luz de emitida que es modulada en fase píxel a píxel en este modulador de luz espacial. El presente inventor, en el transcurso de la investigación y el desarrollo, ha descubierto que puede producirse un fenómeno de la distribución de la intensidad y la distribución de fase en una sección del haz de la luz emitida desde el modulador de luz espacial diferente del efecto deseado, es decir, puede producirse un fenómeno que resulte en la degradación de la calidad del haz de luz emitido desde el modulador de luz espacial. Además, el presente inventor ha descubierto que el fenómeno es debido al plegado fase.

20 La presente invención se ha realizado con el fin de resolver los problemas anteriores, y un objeto de la presente invención es presentar un dispositivo de control de luz y un procedimiento de control de luz capaces de obtener luz que presente una sección de haz deseada en la técnica de hacer que un modulador de luz espacial que modula en fase presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta y un patrón de fase que presenta una distribución de modulación en fase predeterminada.

25

Solución al problema

30 Un dispositivo de control de luz de acuerdo con la reivindicación 1 de la presente invención incluye (1) una fuente de luz que emite luz, (2) un modulador de luz espacial que modula en fase el cual es capaz de modulación de la fase en cada uno de una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente en un rango de 4π , recibe luz emitida desde la fuente de luz, presenta un patrón de fase para modular la fase de la luz en cada uno de los píxeles, y envía luz después de ser modulada en fase por este patrón de fase, y (3) una unidad de control que hace que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta para difracción de la luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos, y regula la eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial regulando el patrón de rejilla abierta.

40 En el dispositivo de control de luz de acuerdo con la presente invención, es preferible que la unidad de control haga que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que tiene una distribución de eficiencia de la difracción de la luz de acuerdo con una distribución de la intensidad en una sección de haz del haz de modo Laguerre-gaussiano con un índice específico y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con una distribución de fase en una sección de haz del haz de modo Laguerre-gaussiano se superponen.

45 Además, en el dispositivo de control de luz de acuerdo con la presente invención, es preferible que la unidad de control haga que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que presenta una distribución de eficiencia de la difracción de luz de acuerdo con una distribución de la intensidad y una distribución de fase específicas en una sección de haz y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con la distribución de fase se superponen.

50

55 Un procedimiento de control de luz de acuerdo con la reivindicación 4 de la presente invención utiliza (1) una fuente de luz que emite luz, y (2) modulador de luz espacial que modula en fase, el cual es capaz de modular la fase en cada uno de una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente en un rango de 4π , recibe luz emitida desde la fuente de luz, presenta un patrón de fase para modular la fase de la luz en cada uno de los píxeles, y emite luz después de ser modulada en fase por este patrón de fase, y (3) hace que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta para difracción de la luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase que presenta una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos, y regula la eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial regulando el patrón de rejilla abierta.

60

Es preferible que el procedimiento de control de luz de acuerdo con la presente invención haga que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta presenta una distribución de la eficiencia de la difracción de luz de acuerdo con una distribución de la intensidad en una sección del haz de un haz

de modo Laguerre-gaussiano con un índice específico y presentando el patrón de fase una distribución de modulación en fase de acuerdo con una distribución de fase en una sección de haz del haz de modo Laguerre-gaussiano se superponen.

5 Es preferible que el procedimiento de control de luz de acuerdo con la presente invención haga que el modulador de luz espacial presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta presente una distribución de eficiencia de la difracción de luz de acuerdo con una distribución de la intensidad de luz que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase específicas en una sección de haz y el patrón de fase presente una distribución de modulación en fase de acuerdo con la distribución de fase se superponen.

10

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, puede obtenerse luz que presente una sección de haz deseada en la técnica de hacer que un modulador de luz espacial que modula en fase presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta y un patrón de fase que presente una distribución de modulación en fase predeterminada.

15

Breve descripción de los dibujos

20 La figura 1 es un diagrama de configuración de un dispositivo de control de luz 1.
 La figura 2 es una vista que muestra un patrón de rejilla abierta.
 La figura 3 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de rejilla abierta.
 La figura 4 es una gráfica que muestra una relación entre el valor k y la eficiencia de la difracción en un patrón de rejilla abierta presentado en un modulador de luz espacial real.
 25 La figura 5 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de rejilla abierta.
 La figura 6 es una tabla que muestra un ejemplo de la cantidad de modulación de fase de cada pixel en el patrón de rejilla abierta.
 30 La figura 7 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de fase.
 La figura 8 es un diagrama que muestra una distribución de modulación en fase en un patrón de fase en la que el patrón de rejilla abierta (figura 5 y figura 6) y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada (figura 7) se superponen.
 La figura 9 es una gráfica que muestra una distribución de modulación en fase en un patrón de fase después de realizar plegado fase para el patrón de fase ϕ_{result} (figura 8).
 35 La figura 10 es una vista que muestra un ejemplo de la distribución de la intensidad en una sección del haz de luz que se emite desde un modulador de luz espacial en el caso de un ejemplo comparativo.
 La figura 11 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección de radiación de una luz $LG_{1,3}$.
 La figura 12 es una vista que muestra un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} para obtener la distribución de la intensidad (figura 11) en una sección del haz de una luz $LG_{1,3}$.
 40 La figura 13 es una vista que muestra un patrón de fase deseada ϕ_{desire} para obtener una distribución de fase en una sección del haz de una luz $LG_{1,3}$.
 La figura 14 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección del haz de una luz $LG_{1,3}$ generada por la presente realización.
 45 La figura 15 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección del haz de una luz $LG_{1,3}$ generada por el ejemplo comparativo.
 La figura 16 es un diagrama que muestra unos ejemplos de la distribución de la intensidad antes de la conformación del haz y la distribución de la intensidad después de la conformación del haz.

50

Lista de signos de referencia

1 ... dispositivo de control de luz, 2 ... dispositivo de imagen, 10 ... fuente de luz, 20 ... prisma, 30 ... modulador de luz espacial, 31 ... unidad de accionamiento, 32 ... unidad de control, 41 ... lente, 42 ... apertura, 43 ... lente.

55 Descripción de realizaciones

En lo sucesivo, se describirá en detalle el mejor modo de llevar a cabo la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. Además, los mismos componentes se designan con los mismos números de referencia en la descripción de los dibujos y se omitirá una descripción coincidente.

60

La figura 1 es un diagrama de configuración de un dispositivo de control de luz 1. El dispositivo de control de luz 1 que se muestra en esta figura incluye una fuente de luz 10, un prisma 20, un modulador de luz espacial 30, una

unidad de accionamiento 31, una unidad de control 32, una lente 41, una apertura 42, y una lente 43. También se muestra en esta figura, no sólo el dispositivo de control de luz 1, sino también un dispositivo de imagen 2.

5 El modulador de luz espacial que modula en fase, el cual se utiliza en la presente invención, puede ser de tipo de reflexión o bien de tipo de transmisión. El modulador de luz espacial tipo de reflexión puede ser cualquiera de tipo LCOS (cristal líquido sobre silicio), de tipo MEMS (sistemas microelectromecánicos), y de tipo de dirección óptica. Por otra parte, el modulador de luz espacial transmisor puede ser una pantalla LCD (pantalla de cristal líquido) o similares. En la figura 1, se muestra un modulador de luz espacial de reflexión como modulador de luz espacial 30.

10 La fuente de luz 10 es para emitir luz que se requiere modular en fase mediante el modulador de luz espacial 30 es preferiblemente una fuente de luz láser, puede ser una fuente de luz láser pulsada tal como una fuente de luz láser de femtosegundo y una fuente de luz láser Nd:YAG, y puede ser una fuente de luz láser CW tal como una fuente de luz láser de He-Ne. Es preferible que la luz que se emite desde la fuente de luz 10 sea colimada mediante una lente colimadora después de atravesar un filtro espacial.

15 El prisma 20 tiene una primera superficie de reflexión 21 y una segunda superficie de reflexión 22. La primera superficie de reflexión 21 del prisma 20 recibe luz emitida desde la fuente de luz 10, y refleja la luz hacia el modulador de luz espacial 30. La segunda superficie de reflexión 22 del prisma 20 recibe luz emitida desde el modulador de luz espacial 30, y refleja la luz hacia la lente 41.

20 El modulador de luz espacial 30 es un modulador de luz espacial que modula en fase, incluye una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente, es capaz de modular en fase en cada uno de estos píxeles en un rango de 4π , y puede presentar un patrón de fase para modular la fase de luz en cada uno de los píxeles. El modulador de luz espacial 30 recibe luz que ha llegado después de haber sido emitida desde la fuente de luz 10 y es reflejada sobre la primera superficie de reflexión 21 del prisma 20, y emite la luz después de ser modulada en fase por el patrón de fase a la segunda superficie de reflexión 22 del prisma 20. Ejemplos del patrón de fase que se presentan en el modulador de luz espacial 30 que pueden mencionarse incluyen un CGH (holograma generado por ordenador) determinado por cálculo numérico.

25 30 La unidad de accionamiento 31 es para regular la cantidad de modulación de fase en cada uno de los píxeles dispuestos bidimensionalmente del modulador de luz espacial 30, y proporciona una señal para el ajuste píxel a píxel de la cantidad de modulación de fase para el modulador de luz espacial 30. La unidad de accionamiento 31 establece la cantidad de modulación de fase en cada uno de los píxeles dispuestos bidimensionalmente del modulador de luz espacial 30 para hacer, de este modo, que el modulador de luz espacial 30 presente un patrón de fase.

35 La unidad de control 32 está formada, por ejemplo, por un ordenador, y controla el funcionamiento de la unidad de accionamiento 31 para, de esta manera, hacer que se escriba un patrón de fase en el modulador de luz espacial 30 de la unidad de accionamiento 31. Es decir, la unidad de control 32 guarda un patrón de fase A que se requiere presentar mediante el modulador de luz espacial 30, o prepara ese patrón de fase A, y hace que el patrón de fase A se escriba en el modulador de luz espacial 30 dese la unidad de accionamiento 31.

40 Este patrón de fase A se produce mediante la superposición de un patrón de rejilla abierta por difracción de luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos. Este patrón de fase que tiene una distribución de la modulación de fase predeterminada incluye preferiblemente un componente para realizar una distribución de fase deseada en una sección del haz de luz, y también incluye, además, un componente para corregir una distorsión de la fase de un sistema óptico que incluye el modulador de luz espacial 30 en el dispositivo de control de luz 1. La eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial 30 puede regularse ajustando el patrón de rejilla abierta.

45 50 La lente 41 recibe la luz emitida desde el modulador de luz espacial 30 y se refleja sobre la segunda superficie de reflexión 22 del prisma 20. La lente 41 y la lente 43 forman un sistema óptico $4f$, y tiene una abertura de la apertura 42 dispuesta en una posición focal entre las mismas. La abertura 42 está dispuesta de manera que solamente atraviesa luz difractada de un orden deseado.

55 60 El dispositivo de imagen 2 recibe luz B emitida desde la lente 43 del dispositivo de control de luz 1, y obtiene una distribución de la intensidad en una sección del haz de luz B. El dispositivo de imagen 2 es para observar la calidad de la luz emitida desde el dispositivo de control de luz 1. También, en el caso de utilizarse para procesamiento o similar, se dispone una nueva lente en una etapa posterior de la lente 43, y se dispone un objeto de procesamiento en su posición de condensación.

El funcionamiento general del dispositivo de control de luz 1 es el siguiente. Mediante la unidad de accionamiento 31 controlada por la sección de control 32, se presenta, en el modulador de luz espacial 30, un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta y un patrón de fase. La luz emitida desde la fuente de luz 10 se refleja en la primera superficie de reflexión 21 del prisma 20, y se envía al modulador de luz espacial 30.

La luz enviada al modulador de luz espacial 30 se emite después de haber sido difractada por el patrón de rejilla abierta fuera del patrón de fase presentado en el modulador de luz espacial 30. La eficiencia de la difracción en esa difracción de luz varía en función de la forma del patrón de rejilla abierta, y puede variar en función de la posición en una superficie de incidencia de luz del modulador de luz espacial 30. Por otra parte, la luz difractada y emitida desde el modulador de luz espacial 30 ha sido modulada en fase por el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada fuera del patrón de fase presentado en el modulador de luz espacial 30.

La luz emitida desde el modulador de luz espacial 30 se refleja en la segunda superficie de reflexión 22 del prisma 20, atraviesa la lente 41, la apertura 42, y la lente 43, y es recibida por el dispositivo de imagen 2 para obtener una distribución de la intensidad en una sección del haz de luz. En este momento, la lente 41, la apertura 42, y la lente 43 se forman en una configuración para permitir que la luz difractada de un orden de difracción deseado fuera de la luz emitida desde el modulador de luz espacial 30 pase selectivamente a través del mismo. Por lo tanto, la luz B, que se emite al dispositivo de imagen 2 de la lente 43 es una luz que tiene una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas.

A continuación, se describirá en detalle el patrón de fase que se presenta en el modulador de luz espacial 30. Este patrón de fase se produce por la superposición de un patrón de rejilla abierta por difracción de la luz y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada. La figura 2 es una vista que muestra un patrón de rejilla abierta. En esta figura, la cantidad de modulación de fase (anchura de modulación de 2π) de cada píxel se muestra mediante escala de grises. Cuando el modulador de luz espacial 30 recibe la luz, donde se presenta el citado patrón de rejilla abierta, la luz es difractada. La eficiencia de la difracción en esa difracción de la luz varía en función de la forma del patrón de rejilla abierta.

Un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} que tienen N píxeles a lo largo de una dirección específica en la superficie de incidencia de la luz del modulador de luz espacial 30 como un período se expresa mediante la siguiente fórmula (1). Aquí, n denota una posición del píxel dentro del período a lo largo de la dirección específica. k puede tomar un valor no inferior a 0 y no mayor de 1. Por lo tanto, el patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} tiene un rango de modulación de fase de $2k\pi$, que es 2π o menos.

[Fórmula numérica 1]

$$\phi_{\text{grating}}(n) = 2\pi \cdot k \frac{n - N/2}{N} \quad \dots (1)$$

La eficiencia de la difracción teórica $I_{+1\text{th}}$ de este patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} se expresa mediante la siguiente fórmula (2), y varía en función del valor k. Si k toma un valor de 1, la eficiencia de la difracción teórica $I_{+1\text{th}}$ tiene el valor máximo de 1.

[Fórmula numérica 2]

$$I_{+1\text{th}} = \frac{\sin(\pi(1-k))}{\pi(1-k)} \quad \dots (2)$$

Por lo tanto, si los valores k son desiguales y distribuidos en la superficie incidencia de la luz del modulador de luz espacial 30, la eficiencia de la difracción de la luz en la superficie de incidencia de la luz del modulador de luz espacial 30 está también distribuida. La figura 3 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} . En esta figura, el eje horizontal indica la posición del píxel. Al igual que en el ejemplo mostrado en esta figura, cuando el valor k se vuelve más grande a medida que avanza hacia la derecha, la eficiencia de la difracción se vuelve mayor a medida que avanza hacia la derecha. La figura 4 es una gráfica que muestra una relación entre el valor k y la eficiencia de la difracción en un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} presentado en un modulador de luz espacial real. Tal como se muestra en esta figura, cuanto mayor es el valor k, mayor es la eficiencia de la difracción. Además, el ángulo de la difracción no depende del valor k.

Un patrón de fase ϕ_{result} que se presenta en el modulador de luz espacial 30 es un patrón para el cual se superpone el patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} tal como se ha descrito anteriormente y un patrón de fase deseada ϕ_{desire} que sirve

de patrón de fase, y se expresa mediante la siguiente fórmula (3). Alternativamente, se produce un patrón de fase ϕ_{result} que se presenta en el modulador de luz espacial 30 mediante la superposición del patrón de rejilla abierta $\phi_{grating}$ tal como se ha descrito anteriormente, un patrón de fase deseada ϕ_{desire} que sirve de patrón de fase, y un patrón corrección de distorsión $\phi_{correction}$, y se expresa por la siguiente fórmula (4).

5 [Fórmula numérica 3]

$$\phi_{result} = \phi_{grating} + \phi_{desire} \quad \dots (3)$$

10 [Fórmula numérica 4]

$$\phi_{result} = \phi_{grating} + \phi_{desire} + \phi_{correction} \quad \dots (4)$$

15 El patrón de fase deseado ϕ_{desire} es un patrón para realizar una distribución de fase deseada en una sección del haz de luz, y su rango de modulación de fase es 2π o menos. Además, el patrón de corrección de distorsión $\phi_{correction}$ es un patrón para corregir una distorsión de fase del sistema óptico en el dispositivo de control de luz 1, y el rango de modulación de fase es generalmente del orden de unos pocos π . La distorsión de fase del sistema óptico en el dispositivo de control de luz 1 puede existir en la primera superficie de reflexión 21 y la segunda superficie de reflexión 22 del prisma 20, el modulador de luz espacial 30, y las lentes 41 y 43. La luz difractada y emitida desde el
20 modulador de luz espacial 30, donde se presenta dicho patrón de fase ϕ_{result} , tiene una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseada en su sección del haz.

A continuación, para simplificación de la descripción, la fórmula (3) y la fórmula (4) descritas anteriormente se expresarán mediante la siguiente fórmula (5). Un patrón de fase ϕ_{phase} en esta fórmula (5) es el patrón de fase deseado ϕ_{desire} de la fórmula (3) o, alternativamente, es una suma del patrón de fase deseado ϕ_{desire} y el patrón de corrección de distorsión $\phi_{correction}$ de la fórmula (4).

[Fórmula numérica 5]

30
$$\phi_{result} = \phi_{grating} + \phi_{phase} \quad \dots (5)$$

En particular, en la presente realización, mediante la siguiente fórmula (6), se realiza el plegado de fase para un patrón de fase ϕ_{phase} , y el patrón de fase ϕ_{phase} después del plegado de fase se superpone en el patrón de rejilla abierta $\phi_{grating}$ para disponerlo como patrón de fase ϕ_{result} que se presenta en el modulador de luz espacial 30. El patrón de fase ϕ_{phase} después del plegado de fase tiene un rango de modulación de fase de 2π o menos.

[Fórmula numérica 6]

40
$$\phi_{phase} = \text{mod}(\phi_{phase}, 2\pi) \quad \dots (6)$$

El patrón de fase ϕ_{result} que se presenta en el modulador de luz espacial 30 tiene un rango de modulación de fase de 4π o menos en la presente realización. Como ejemplo del patrón de rejilla abierta $\phi_{grating}$ incluido en este patrón de fase ϕ_{result} , se considera el que se muestra en la figura 5 y la figura 6. La figura 5 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de rejilla abierta. En esta figura, el eje horizontal indica la posición del pixel. Además, la figura 6 es una tabla que muestra un ejemplo de la cantidad de modulación de fase de cada pixel en el patrón de rejilla abierta. En este patrón de rejilla abierta $\phi_{grating}$, el valor k es 0,5, el valor N es 8, y la diferencia en la cantidad de modulación de fase entre dos píxeles adyacentes es $0,125\pi$. En la figura 5 se muestra el patrón de rejilla abierta $\phi_{grating}$ durante aproximadamente seis periodos.

50 Como ejemplo del patrón de fase ϕ_{phase} incluido en el patrón de fase ϕ_{result} , se considera el que se muestra en la figura 7. La figura 7 es un diagrama que muestra un ejemplo de la distribución de la modulación de fase en un patrón de fase. En esta figura, el eje horizontal indica la posición del pixel. Este patrón de fase ϕ_{phase} , como resultado del plegado de fase de 2π realizado según las necesidades, incluye una parte en la que la cantidad de modulación de fase es 0 y una parte en la que la cantidad de modulación de fase es $1,25\pi$.

55 La figura 8 es una gráfica que muestra una distribución de modulación en fase en un patrón de fase ϕ_{result} en el que el patrón de rejilla de abierta $\phi_{grating}$ (figura 5 y figura 6) y el patrón de fase ϕ_{phase} (figura 7) se superponen. En esta

figura, el eje horizontal indica la posición del pixel. En el patrón de fase ϕ_{result} que se muestra en esta figura, la cantidad de modulación de fase es 2π o más.

La figura 9 es un diagrama que muestra una distribución de modulación en fase en un patrón de fase después de realizar un plegado fase por 2π para el patrón de fase ϕ_{result} (figura 8). En esta figura también, el eje horizontal indica la posición del pixel. En la distribución de la modulación de fase en el patrón de fase (figura 9) después del plegado de fase, se ha restado 2π de las cantidades de modulación de fase para píxeles con cantidades de modulación de fase superiores a 2π en el patrón de fase ϕ_{result} (figura 8) antes del plegado de fase y la cantidad de modulación de fase en cada pixel es en un rango entre 0 y 2π .

En el caso de la presente realización en la que se utiliza el modulador de luz espacial 30 que tiene un intervalo de modulación de fase de 4π , el patrón de fase (figura 8) antes del plegado de fase (4π o menos) se presenta en ese modulador de luz espacial 30. Por otra parte, en el caso de un ejemplo comparativo en el que se utiliza un modulador de luz espacial que tiene un rango de modulación de fase de 2π , el patrón de fase (figura 9) después del plegado de fase se presenta en ese modulador de luz espacial.

El patrón de fase (figura 8) antes del plegado de fase y el patrón de fase (figura 9) después del plegado de fase tienen, en principio, efectos equivalentes entre sí. Sin embargo, en un modulador de luz espacial real, existe una región denominada región de retorno donde se completa la fase para producir una visualización incorrecta en una parte en la que la diferencia en la cantidad de modulación de fase entre dos píxeles adyacentes es grande. Es decir, en comparación con el patrón de fase (figura 8) antes del plegado de fase, en el patrón de fase (figura 9) después del plegado de fase, existen regiones de retorno en las posiciones mostradas por las flechas en la figura y, en consecuencia, no puede obtenerse luz que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas.

En el caso de un ejemplo comparativo en el que el patrón de fase (figura 9) se presenta después del plegado de fase en el modulador de luz espacial que tiene un intervalo de modulación de fase de 2π , la diferencia en la cantidad de modulación de fase entre dos píxeles adyacentes que ha sido pequeña antes del plegado de fase es aproximadamente 2π después del plegado de fase. Si se hace que un modulador real de luz espacial presente dicho patrón de fase después del plegado de fase, en una parte donde la diferencia en la cantidad de modulación de fase es grande entre dos píxeles adyacentes en ese modulador de luz espacial, la cantidad de modulación de fase no puede variar completamente de manera drástica, y se produce una interferencia entre dos píxeles adyacentes. Se considera que esta parte (región de retorno), cuando existe interferencia, tiene un efecto particularmente notable cuando existe un paso de aproximadamente 2π en la cantidad de modulación de fase entre los dos píxeles adyacentes y la región de retorno existe dentro de la estructura periódica de un patrón de rejilla abierta.

En el caso en que un cambio en la cantidad de modulación de fase en el patrón de fase que se presenta en el modulador de luz espacial es relativamente moderado, hay pocas regiones de retorno y, en la mayoría de los casos, puede ignorarse el efecto que tienen las regiones de retorno sobre la distribución de la intensidad y la distribución de fase en una sección del haz de la luz emitida desde el modulador de luz espacial.

La figura 10 es una vista que muestra la distribución de la intensidad en una sección del haz de luz emitida desde un modulador de luz espacial como otro ejemplo del ejemplo comparativo. Se trata de un resultado obtenido mediante la visualización en el modulador de luz espacial 30 de un patrón para el cual un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} , un patrón de fase deseada ϕ_{desire} , y un patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$ se superponen, y el plegado de fase se aplica por 2π . Aquí se utiliza un modulador de luz espacial que tiene una cantidad de modulación de fase de 2π . Además, el patrón de fase deseada ϕ_{desire} es con la intención de que la distribución de la intensidad en una sección del haz de luz emitida desde el modulador de luz espacial se vuelva uniforme. En la distribución de la intensidad prevista en una sección del haz de luz, la región en negro de la figura es para extenderse por toda la zona por completo. Sin embargo, en la distribución de la intensidad obtenida realmente en una sección del haz de luz, existen regiones con una intensidad fuerte (regiones en blanco de la figura) en contra de la intención que se ha descrito anteriormente. Esto se debe a que, además del patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} que presenta muchas regiones de retorno, el patrón de fase ϕ_{result} producido por la superposición sobre ellas del patrón de fase deseada ϕ_{desire} y el patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$ tiene aún más regiones de retorno.

En el ejemplo comparativo, una parte en la que se ha encontrado realmente un fallo en una sección del haz de luz emitida coincide con un lugar donde la cantidad de modulación de fase varía abruptamente en el patrón de fase. En un modulador de luz espacial real, la degradación de la calidad de luz emitida se convierte en un problema que no puede ignorarse. Así, en el ejemplo comparativo, no puede obtenerse luz que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas debido al efecto de las regiones de retorno.

Por otra parte, en la presente realización, en el modulador de luz espacial 30 se presenta un patrón de fase (por ejemplo, figura 8) con un rango de modulación de fase de 4π o menos, el cual tiene un intervalo de modulación de fase de 4π en cada píxel. Por lo tanto, puede obtenerse luz que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas en una sección del haz, sin necesidad de realizar un plegado de fase.

A continuación, se dará una descripción del caso en el que se genera un haz de modo Laguerre-gaussiano mediante el uso del dispositivo de control de luz 1 de acuerdo con la presente realización. El haz de modo Laguerre-gaussiano tiene una distribución de la intensidad y una distribución de fase que se especifican mediante un índice radial y un índice azimutal en su sección del haz. A continuación, se dará una descripción del caso en el que se genera un haz de modo Laguerre-gaussiano con un índice radial de 1 y un índice azimutal de 3 (en lo sucesivo, descrito como "luz LG_{1,3}").

La figura 11 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección del haz de una luz LG_{1,3}. Se establece un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} de modo que la distribución de la intensidad en una sección del haz se convierte en una distribución tal como se muestra en la misma figura. La figura 12 es una vista que muestra un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} para obtener la distribución de la intensidad (figura 11) en una sección del haz de una luz LG_{1,3}. Por otra parte, la figura 13 es una vista que muestra un patrón de fase deseada ϕ_{desire} para obtener una distribución de fase en una sección del haz de una luz LG_{1,3}. En cada una de la figura 12 y la figura 13, la cantidad de modulación de fase de cada píxel se muestra mediante escala de grises.

Un patrón de fase ϕ_{result} para generar una luz LG_{1,3} mediante el modulador de luz espacial 30 es un patrón para el cual el patrón de rejilla abierto ϕ_{grating} y el patrón de fase deseada ϕ_{desire} descritos anteriormente se superponen, y a los mismos se superpone adicionalmente un patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$. Sin embargo, se aplica un patrón de fase ϕ_{phase} que es la suma del patrón de fase deseada ϕ_{desire} y el patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$ con plegado de fase, y tiene un rango de modulación de fase de 2π o menos. Este patrón de fase ϕ_{result} se presenta en el modulador de luz espacial 30.

En la presente realización, dado que un patrón de fase ϕ_{result} producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} para difracción de la luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase ϕ_{phase} que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos se presenta en el modulador de luz espacial 30 con un rango de modulación de fase de 4π , puede obtenerse una luz LG_{1,3} que presenta una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas sin necesidad de realizar un plegado de fase para el patrón de fase ϕ_{result} . Por otra parte, en el ejemplo comparativo, puesto que se utiliza un modulador de luz espacial con un rango de modulación de fase de 2π , se muestra un patrón de fase después de plegado de fase en ese modulador de luz espacial y, por lo tanto, no puede obtenerse una luz LG_{1,3} que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas.

La figura 14 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección del haz de una luz LG_{1,3} generada por la presente realización. Por otra parte, la figura 15 es una vista que muestra una distribución de la intensidad en una sección del haz de una luz LG_{1,3} generada por el ejemplo comparativo. Tal como puede entenderse mediante la comparación de ambos, la luz LG_{1,3} generada por la presente realización tiene una distribución de la intensidad cerca de la deseada en comparación con la luz LG_{1,3} generada por el ejemplo comparativo.

Un haz de modo Laguerre-gaussiano que se genera de este modo mediante el dispositivo de control de luz 1 de acuerdo con la presente realización está cerca del deseado en términos no sólo de distribución de fase, sino también de distribución de la intensidad en una sección del haz, y tiene una alta pureza de modo. Por lo tanto, este haz de modo Laguerre-gaussiano puede utilizarse preferiblemente en pinzas ópticas o una operación cuántica.

A continuación, se dará una descripción de conformación del haz mediante el dispositivo de control de luz 1 de acuerdo con la presente realización. La conformación del haz es una técnica para la conversión de una luz recibida, donde la distribución de la intensidad en una sección del haz es no uniforme respecto a una luz emitida donde la distribución de la intensidad en una sección del haz es según se desea. La figura 16 es un diagrama que muestra ejemplos de la distribución de la intensidad antes de la conformación del haz y de la distribución de la intensidad después de la conformación del haz. La línea continua muestra la distribución de la intensidad antes de la conformación del haz, mientras que la línea discontinua muestra la distribución de la intensidad después de la conformación del haz. Se establece que, cuanto más cerca del centro de la distribución de la intensidad (línea continua) antes de la conformación del haz, más fuerte es la intensidad y la distribución de la intensidad (línea discontinua) después de la conformación del haz es uniforme.

Para un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} que se utiliza para esta conformación del haz, la distribución de los valores k se establece de manera que presente una distribución de la eficiencia de la difracción de acuerdo con una relación

de la distribución de la intensidad antes de la conformación del haz y la distribución de la intensidad después de la conformación del haz en una sección del haz. Además, se dispone un patrón de fase ϕ_{result} que se presenta en el modulador de luz espacial 30 como aquel para el cual un patrón de fase deseada ϕ_{desire} y un patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$ se superponen en este patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} . Sin embargo, se aplica un patrón de fase ϕ_{phase} que es la suma del patrón de fase deseada ϕ_{desire} y el patrón de corrección de distorsión $\phi_{\text{correction}}$ con plegado de fase, y tiene un rango de modulación de fase de 2π o menos. Este patrón de fase ϕ_{result} se presenta en el modulador de luz espacial 30. El rango de modulación de fase en este patrón de fase ϕ_{result} es 4π o menos.

En la presente realización, dado que un patrón de fase ϕ_{result} producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta ϕ_{grating} para difracción de la luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase ϕ_{phase} que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos se presenta en el modulador de luz espacial 30 con un rango de modulación de fase de 4π , puede obtenerse una luz después de la conformación del haz que presente una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseada, sin la necesidad de realizar la fase de plegado para el patrón de fase ϕ_{result} . Por otra parte, en el ejemplo comparativo, puesto que se utiliza un modulador de luz espacial con un rango de modulación de fase de 2π , en ese modulador de luz espacial se muestra un patrón de fase después de plegado de fase y, por lo tanto, no puede obtenerse una luz después de la conformación de haz que tenga una distribución de la intensidad y una distribución de fase deseadas.

Realizando de este modo una conformación del haz mediante el dispositivo de control de luz 1 de acuerdo con la presente realización, una luz recibida, donde la distribución de la intensidad en una sección del haz no es uniforme, puede convertirse en una luz emitida donde la distribución de la intensidad en una sección del haz es según se desea. Por ejemplo, un haz de luz con una distribución gaussiana puede ser conformado en un haz de luz con una distribución uniforme denominada "*flat-top*". Esta técnica de conformación del haz es útil para aplicaciones de procesamiento, iluminación para un microscopio, y similares.

Aplicabilidad Industrial

La presente invención presenta un dispositivo de control de luz capaz de obtener luz que tiene una sección de haz deseada en la técnica de hacer que un modulador de luz espacial que module en fase presente un patrón de fase producido por la superposición de un patrón de rejilla abierta y un patrón de fase que tiene una distribución de la modulación de fase predeterminada.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de control de luz, que comprende:

5 una fuente de luz (10) que emite luz;

un modulador de luz espacial que modula en fase (30) que recibe luz emitida desde la fuente de luz (10) está configurado para presentar un patrón de fase para modular la fase de la luz en cada uno de los píxeles, y emitir luz después de haber sido modulada en fase por este patrón de fase; y

10 una unidad de control (32) que hace que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase, y regula la eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial regulando el patrón de rejilla abierta,

15 caracterizado por el hecho de que

el modulador de luz espacial que modula en fase (30) es capaz de modulación en fase en cada uno de una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente en un rango de 4π y la unidad de control (32) está configurada para hacer que el modulador de luz espacial (30) presente el patrón de fase producido mediante la superposición de un patrón de rejilla abierta para difracción de luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos.

2. Dispositivo de control de luz de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control (32) hace que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que tiene una distribución de eficiencia de la difracción de la luz de acuerdo con una distribución de la intensidad en una sección del haz de un haz de modo Laguerre-gaussiano con un índice específico y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con una distribución en fase en una sección del haz del haz de modo Laguerre-gaussiano se superponen.

3. Dispositivo de control de luz de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control (32) hace que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que tiene una distribución de eficiencia de la difracción de luz de acuerdo con una distribución de la intensidad de luz que tiene una distribución de la intensidad y una distribución de fase específicas en una sección del haz y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con la distribución de fase se superponen.

35 4. Procedimiento de control de luz utilizando:

una fuente de luz (10) que emite luz; y

40 un modulador de luz espacial que modula en fase (30) que recibe luz emitida desde la fuente de luz (10) está configurado para presentar un patrón de fase para modular la fase de la luz en cada uno de los píxeles, y emitir luz después de haber sido modulada en fase por este patrón de fase; y

45 para hacer que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase, y regular la eficiencia de la difracción de la luz en el modulador de luz espacial regulando el patrón de rejilla abierta,

caracterizado por el hecho de que

50 el modulador de luz espacial que modula en fase (30) es capaz de modulación de fase en cada uno de una pluralidad de píxeles dispuestos bidimensionalmente en un rango de 4π y la unidad de control (32) está configurada para hacer que el modulador de luz espacial (30) presente el patrón de fase producido mediante la superposición de un patrón de rejilla abierta para difracción de luz con un rango de modulación de fase de 2π o menos y un patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase predeterminada con un rango de modulación de fase de 2π o menos.

55 5. Procedimiento de control de luz de acuerdo con la reivindicación 4, para hacer que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que tiene una distribución de eficiencia de la difracción de la luz de acuerdo con una distribución de la intensidad en una sección del haz de un haz de modo Laguerre-gaussiano con un índice específico y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con una distribución en fase en una sección del haz del haz de modo Laguerre-gaussiano no se superponen.

60

5 6.Procedimiento de control de luz de acuerdo con la reivindicación 4, para hacer que el modulador de luz espacial (30) presente un patrón de fase para el cual el patrón de rejilla abierta que tiene una distribución de eficiencia de la difracción de la luz de acuerdo con una distribución de la intensidad de luz que tiene una distribución de la intensidad y una distribución de fase específicas en una sección del haz y el patrón de fase que tiene una distribución de modulación en fase de acuerdo con la distribución de fase se superponen.

Fig.1

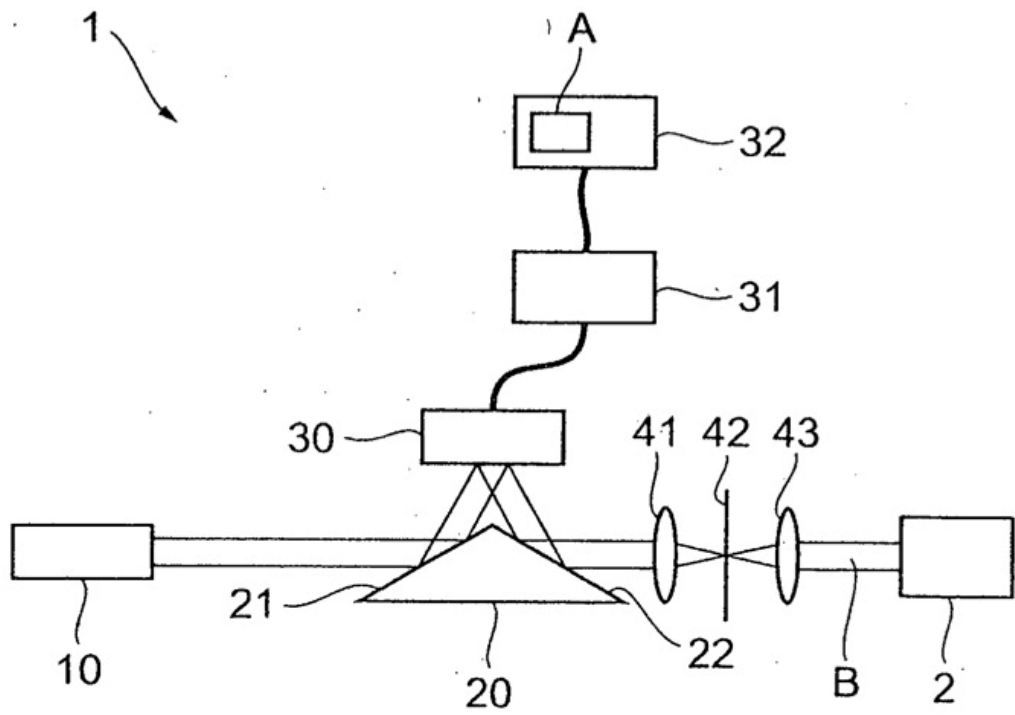


Fig.2

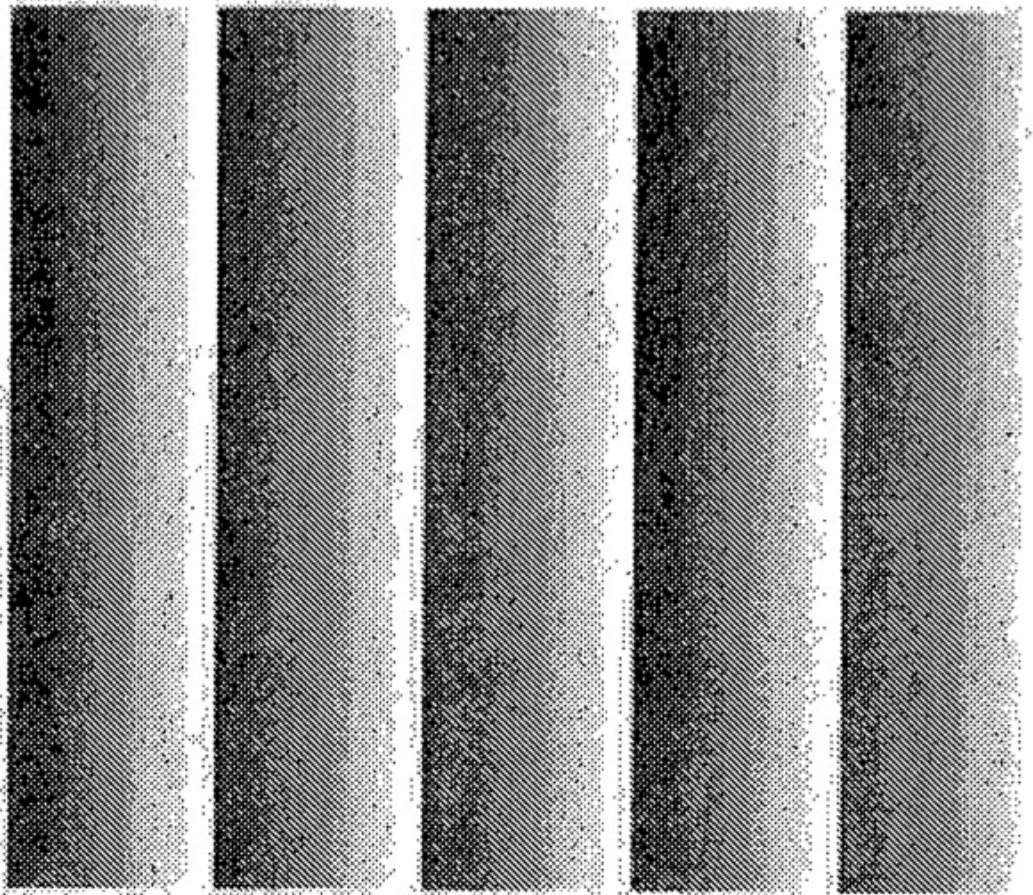


Fig.3

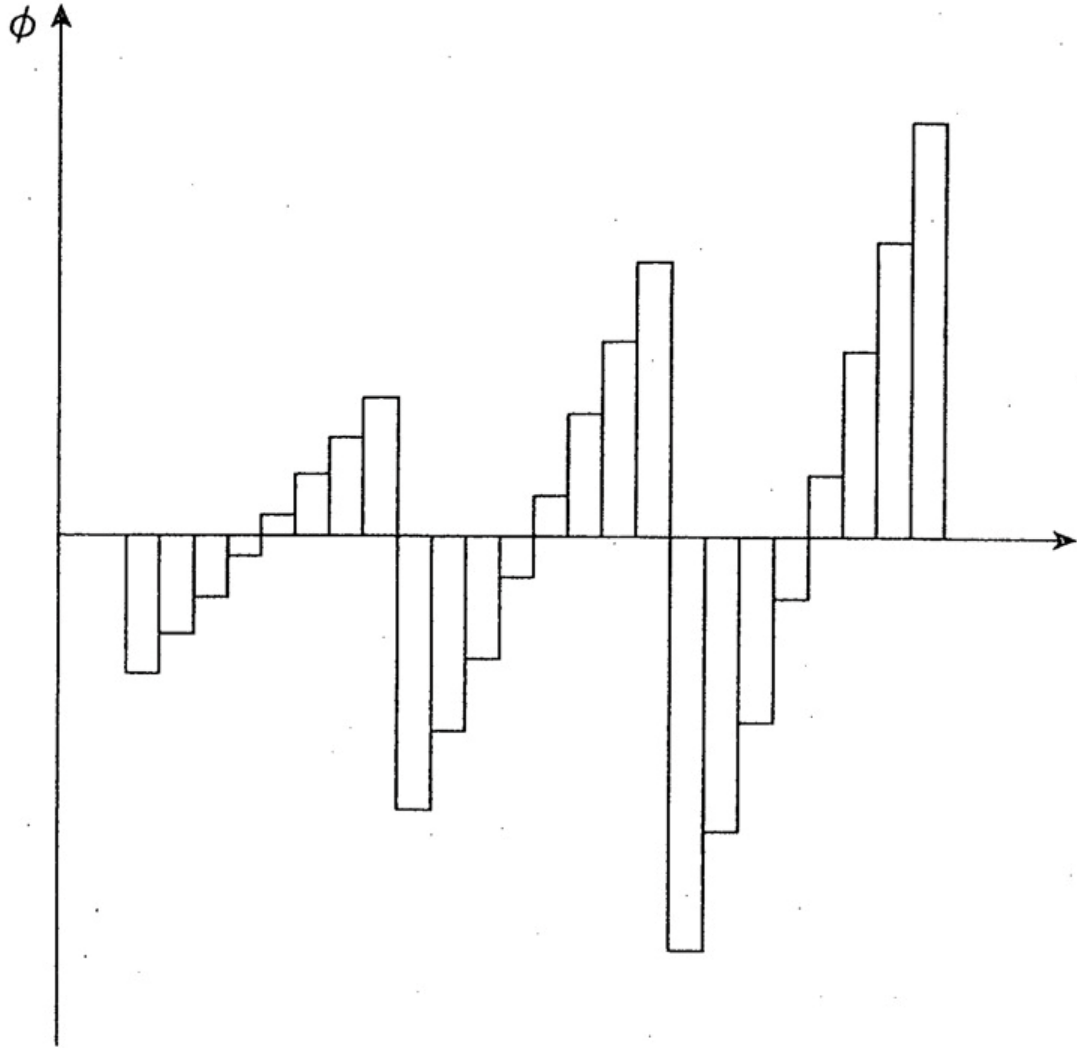


Fig.4

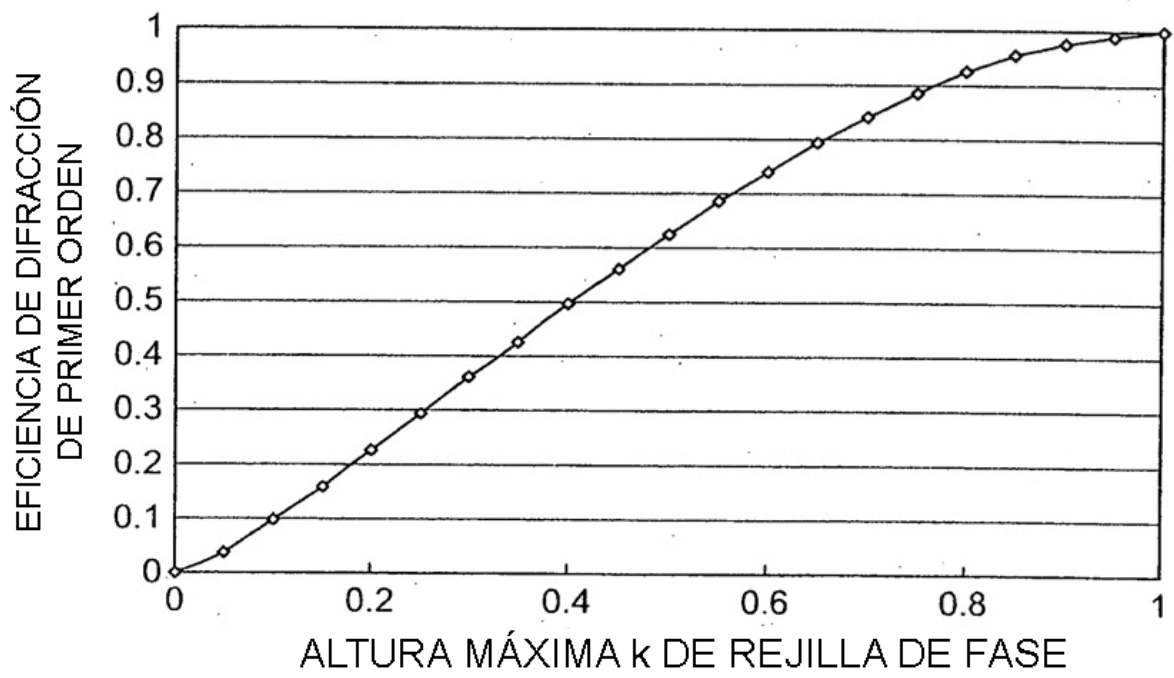


Fig.5

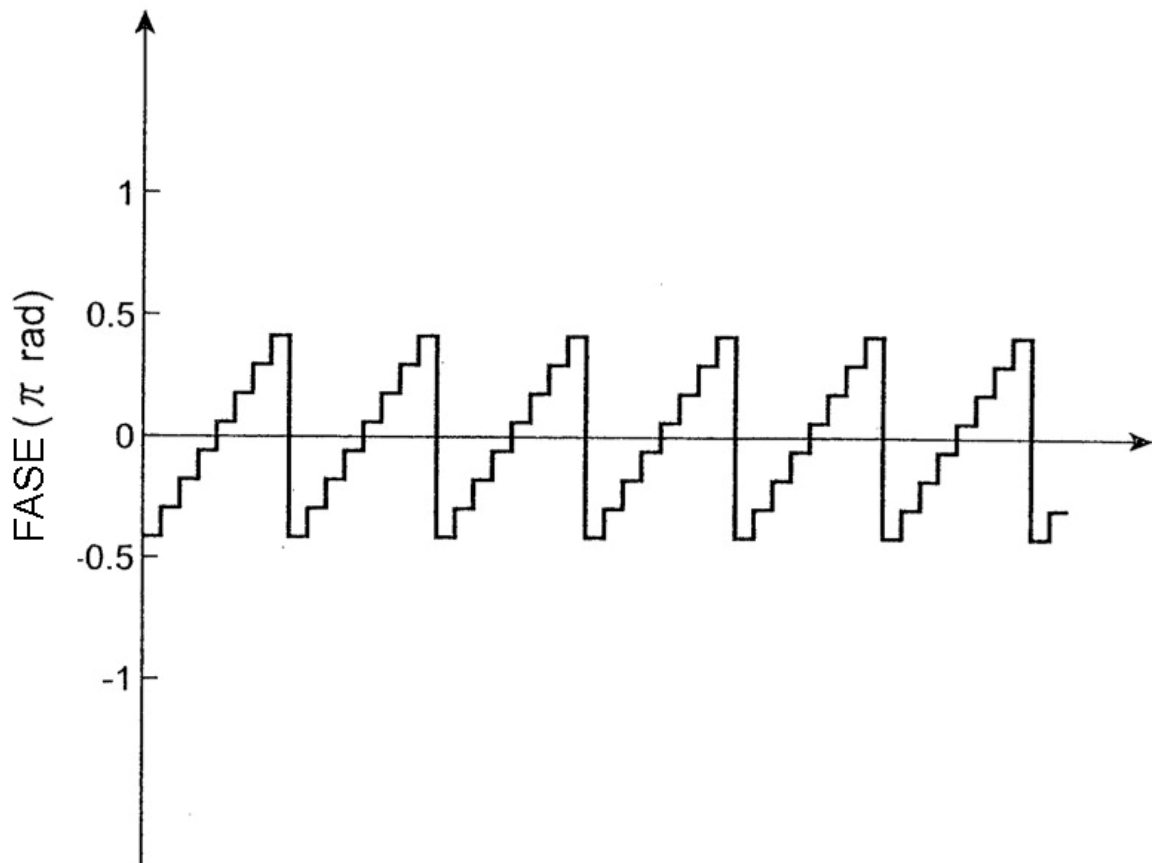


Fig.6

NÚMERO DE PÍXEL PERIÓDICO	VALOR DE FASE $\times \pi$ (rad)
1	-0.4375
2	-0.3125
3	-0.1875
4	-0.0625
5	0.0625
6	0.1875
7	0.3125
8	0.4375

Fig.7

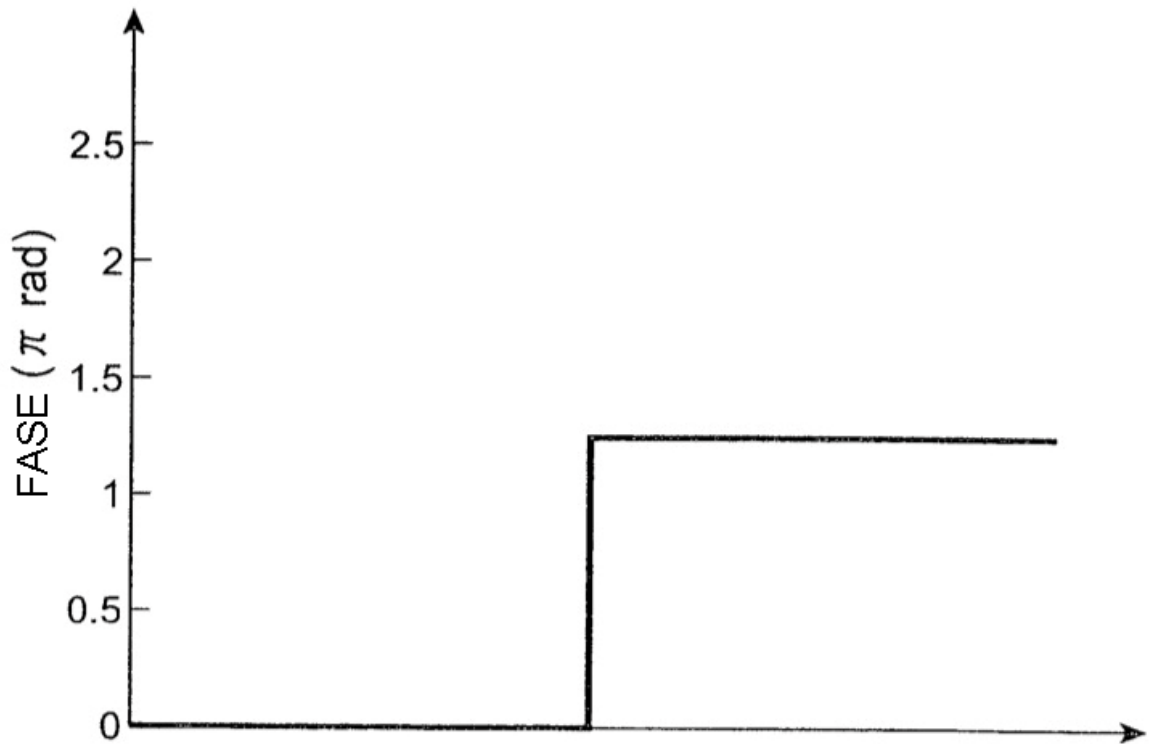


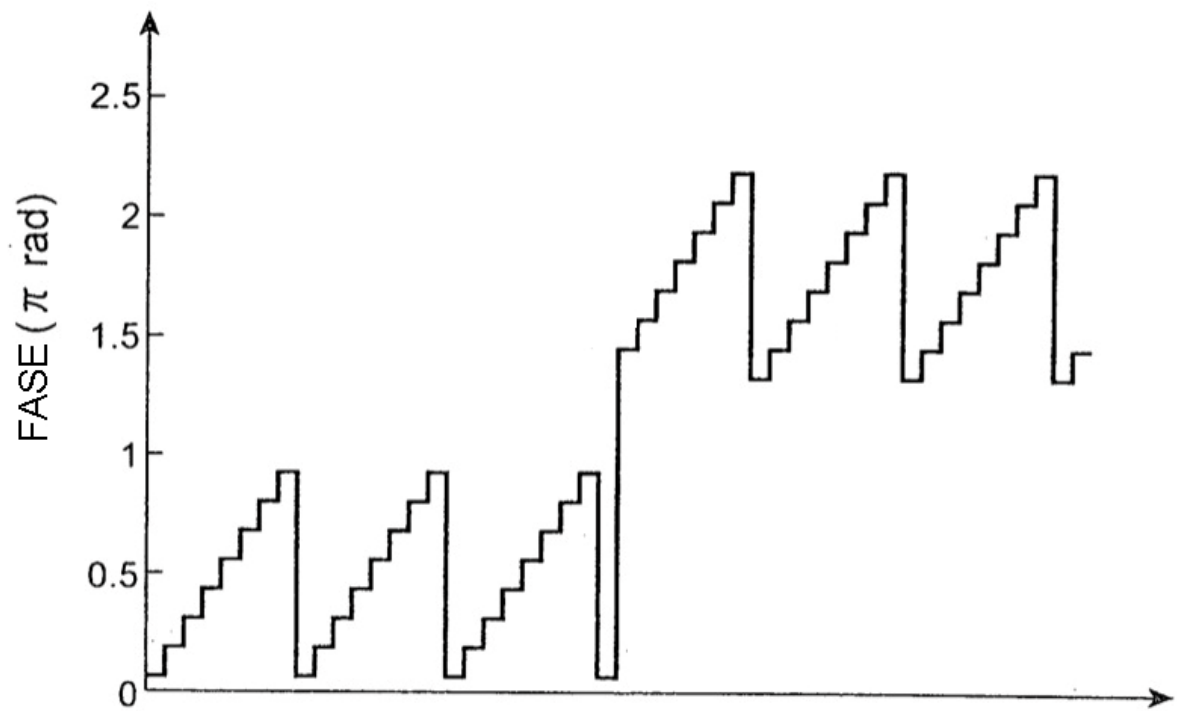
Fig.8

Fig.9

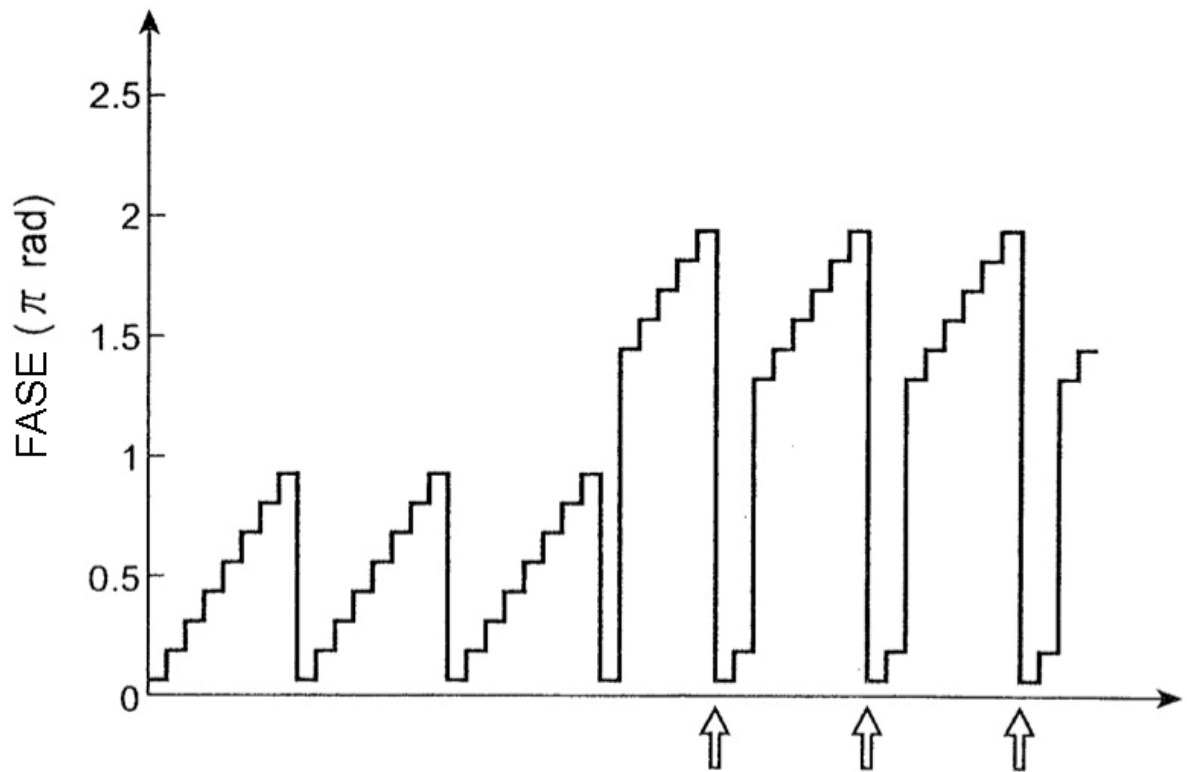


Fig.10

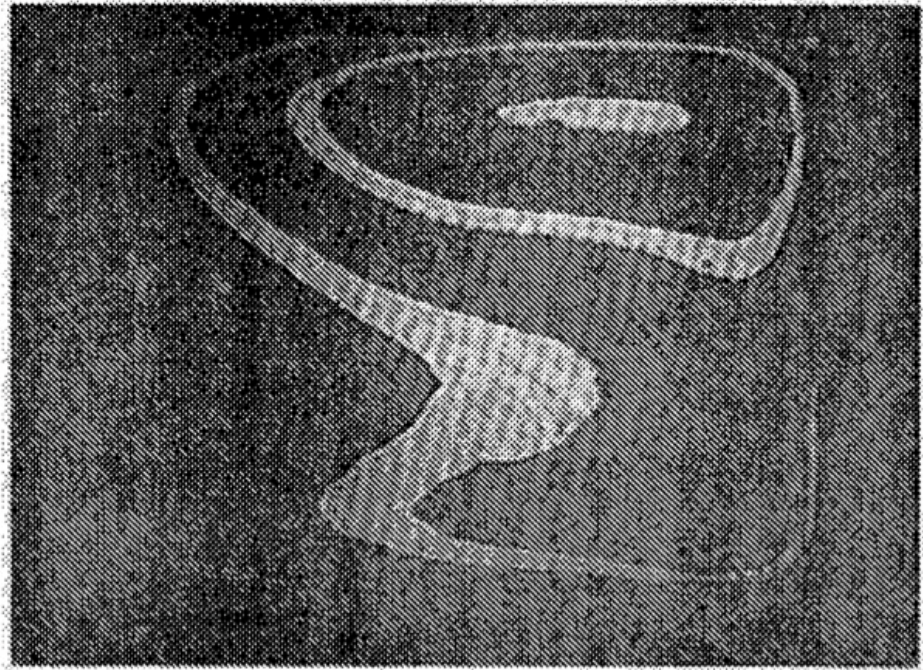


Fig.11

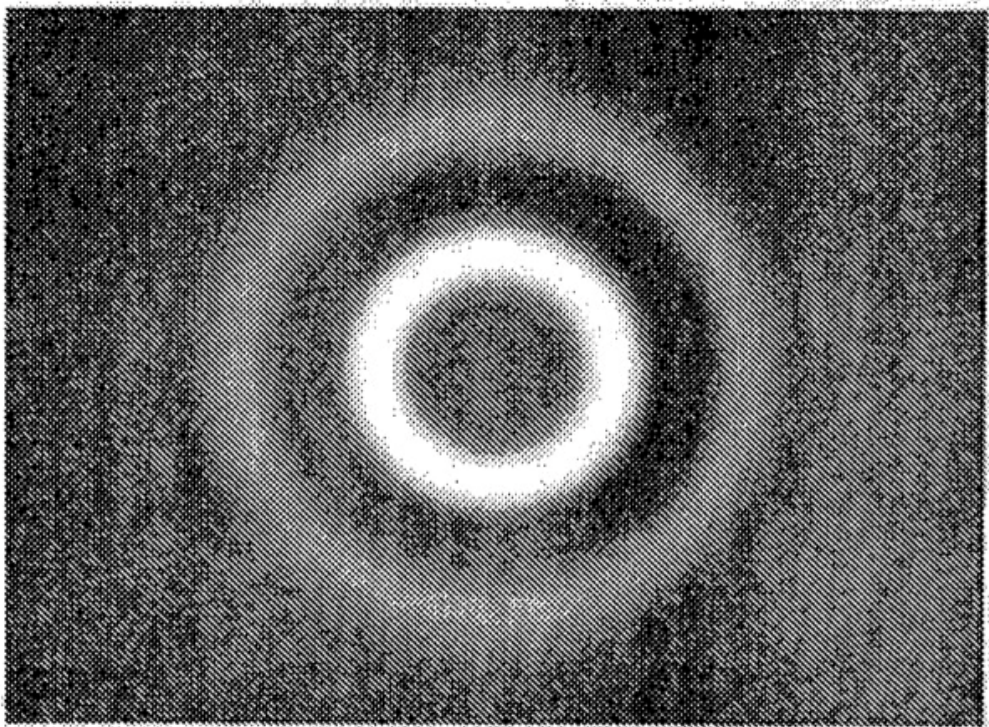


Fig.12

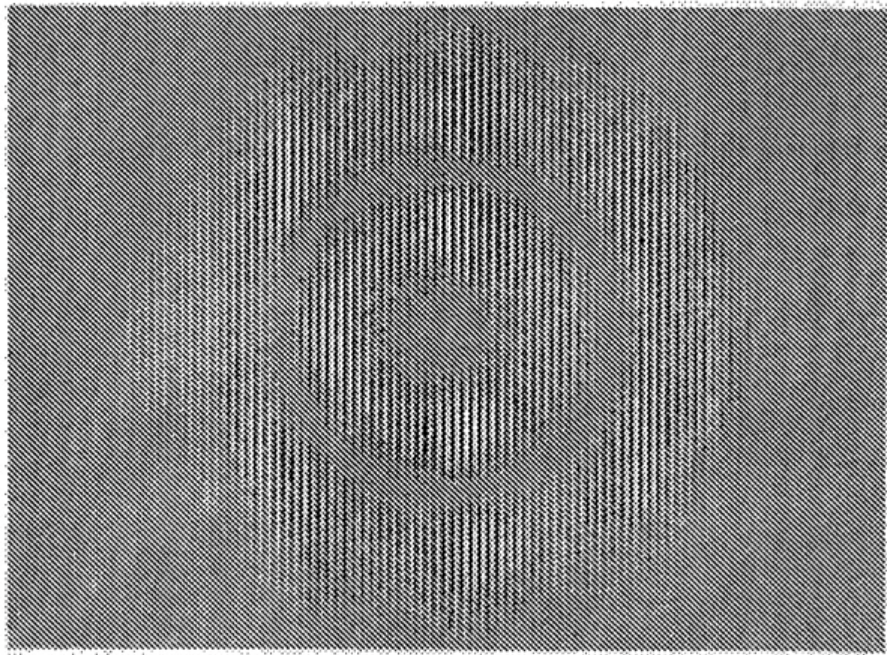


Fig.13

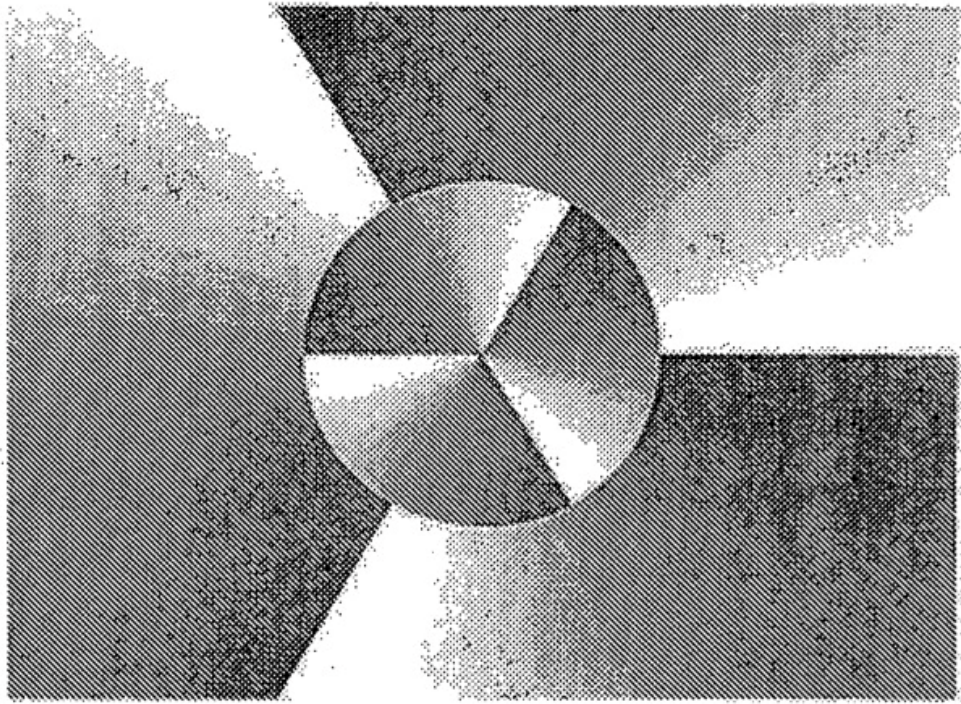


Fig.14

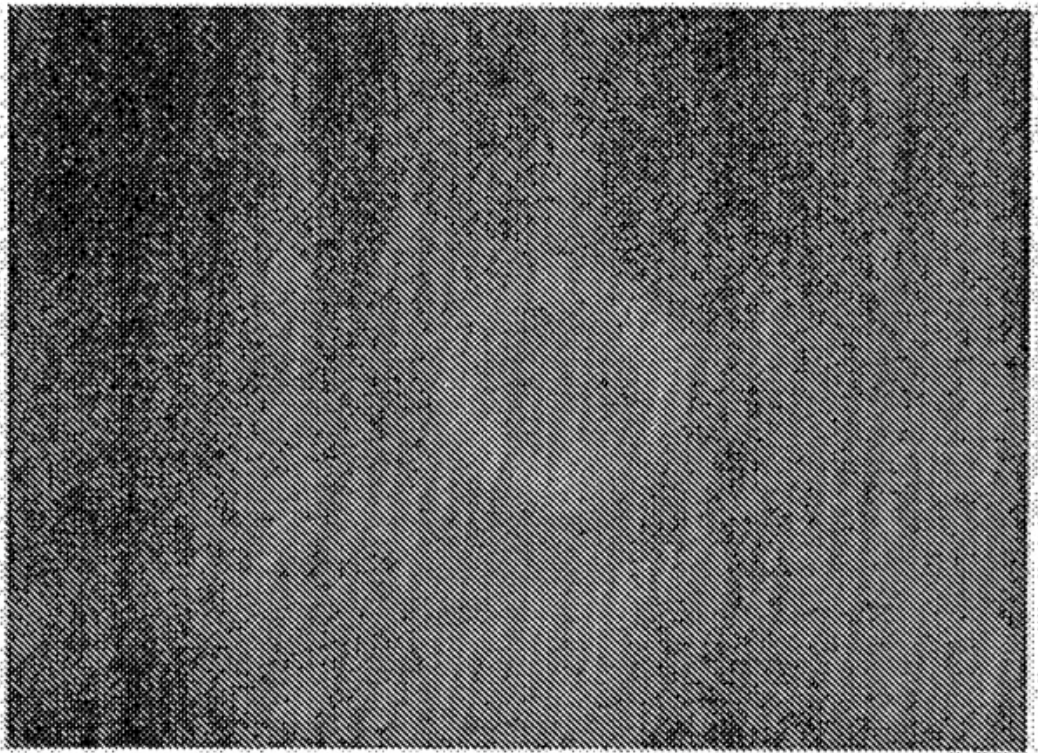


Fig.15

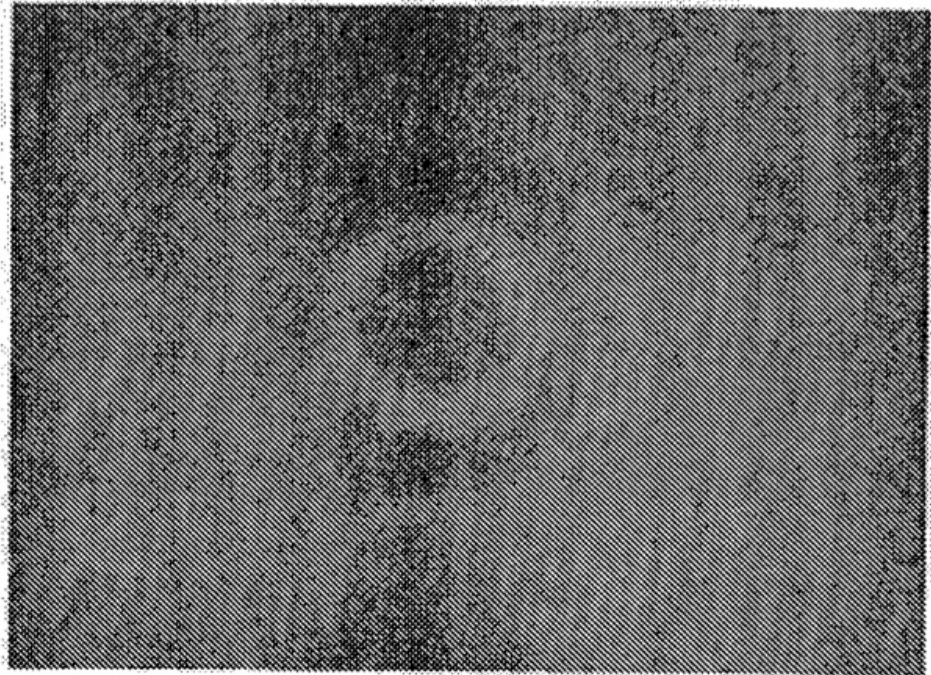


Fig.16

