



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 473**

51 Int. Cl.:

**G03F 7/20** (2006.01)

**G03F 7/207** (2006.01)

**G02B 26/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **99908054 .2**

96 Fecha de presentación : **02.03.1999**

97 Número de publicación de la solicitud: **1060441**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.12.2000**

54 Título: **Generador de diseños mejorado.**

30 Prioridad: **02.03.1998 SE 9800665**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.04.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.04.2011**

73 Titular/es: **MICRONIC LASER SYSTEMS AB.**  
**P.O. Box 3141**  
**183 03 Taby, SE**  
**MICRONIC MYDATA AB.**

72 Inventor/es: **Sandström, Torbjörn**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 357 473 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

### Campo de la invención

La presente invención se refiere a la impresión de diseños o patrones con muy alta precisión sobre superficies fotosensibles tales como fotomáscaras para presentaciones visuales y dispositivos semiconductores. También se refiere a la escritura directa de diseños o patrones de dispositivos semiconductores, paneles de presentación visual, dispositivos ópticos integrados y estructuras de interconexión electrónica. Además, puede tener aplicaciones en otros tipos de impresión de precisión tal como impresión de seguridad. El término impresión debería ser comprendido en un sentido amplio, significando exposición de material fotorresistencia y emulsión fotográfica, pero también la acción de la luz sobre otros medios sensibles a la luz tal como papel de proceso en seco, por ablación o procesos químicos activados por luz o calor. Luz no está limitada a significar luz visible sino un margen extenso de longitudes de onda desde infrarrojo (IR) hasta ultravioleta (UV) extremo. De importancia especial es el margen de ultravioleta desde 370 nm (UV) a través de ultravioleta profundo (DUV: deep ultraviolet), ultravioleta en el vacío (VUV: vacuum ultraviolet) y ultravioleta extremo (EUV: extreme ultraviolet) hasta una longitud de onda de unos pocos nanómetros. En esta solicitud, EUV es definido como el margen desde 100 nm y hacia abajo hasta que es posible tratar la radiación como luz. Una longitud de onda típica para EUV es 13 nm. Infrarrojo (IR) es definido como 780 nm hasta unos 20 µm.

En un sentido diferente, la invención se refiere a la técnica y la ciencia de moduladores espaciales de luz e impresoras y pantallas de proyección que usan tales moduladores. En particular, mejora las propiedades de la escala de grises, la estabilidad de imagen mediante uniformidad de imagen y foco y el procesamiento de datos para tales moduladores por aplicación de técnica de modulación analógica. El uso más importante de la modulación analógica es generar una imagen en un material de gran contraste tal como material fotorresistente con una cuadrícula de direcciones, o sea, el incremento por el que es especificada la posición de un borde del diseño o patrón, que es mucho más fina que la cuadrícula creada por los píxeles del modulador espacial de luz.

### Antecedentes de la invención

En la técnica actual es conocido construir generadores de diseños o patrones de precisión que usan la proyección de moduladores espaciales de luz (SLMs: spatial light modulators) de microespejos del tipo de microespejos (Nelson 1.988, Kück 1.990). Usar un modulador espacial de luz (SLM) en un generador de diseños o patrones tiene un número de ventajas comparado con el método más extendido de usar puntos de láser de exploración: el SLM es un dispositivo masivamente en paralelo y el número de píxeles que pueden ser escritos por segundo es extremadamente grande. El sistema óptico también es más sencillo en el sentido de que la iluminación del SLM no es crítica mientras que en un explorador de láser todo el trayecto de haz tiene que ser construido con gran precisión. Comparado con algunos tipos de exploradores, en particular electroópticos y acustoópticos, el modulador espacial de luz (SLM) de microespejos puede ser usado en longitudes de onda más cortas puesto que es un dispositivo puramente reflector.

En ambas referencias citadas anteriormente, el modulador espacial usa solo modulaciones de activo/inactivo en cada píxel. Los datos de entrada son convertidos en un mapa de píxeles con una profundidad de un bit, o sea con los valores 0 y 1 en cada píxel. La conversión puede ser efectuada eficazmente usando procesadores gráficos o lógica especial con instrucciones de relleno de área.

En una solicitud anterior del mismo inventor Sandström (Sandström y otros, 1.990), fue descrita la capacidad de usar un valor intermedio de exposición en el límite de un elemento de diseño o patrón para ajustar con precisión la posición del borde de elemento en la imagen creada por un explorador de láser.

También es conocido en la técnica crear una imagen en escala de grises, preferiblemente para pantalla de proyección de videoimágenes y para impresión, con un modulador espacial de luz (SLM) por variación del momento en el que un píxel es activado o imprimiendo el mismo píxel varias veces con el píxel activado un número variable de veces. El documento US 5.691.541 expone un sistema de litografía sin máscara.

La presente invención describe un sistema para dirigir la generación de escala de grises con un modulador espacial de luz (SLM), con una vista especial a la generación de diseños o patrones de ultraprecisión. Aspectos importantes en las realizaciones preferidas son la uniformidad de la imagen de píxel a píxel y la independencia de la colocación exacta de un rasgo con respecto a los píxeles del SLM y la estabilidad cuando el foco es cambiado, con intención o involuntariamente.

### Sumario de la invención

Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un generador mejorado de diseños o patrones para impresión de diseños o patrones de precisión.

Este objeto es conseguido con un aparato según las reivindicaciones adjuntas, proporcionando una modulación analógica de los píxeles en el SLM.

**Descripción breve de los dibujos**

La Figura 1 muestra una impresora en técnica anterior. El modulador espacial de luz (SLM) consiste en microespejos que desvían la luz desde la pupila de lente.

La Figura 2 muestra un número de diseños de píxeles con los cuatro píxeles superiores en un estado inactivo y los cinco píxeles restantes activados.

La Figura 3 muestra una ordenación de píxeles que se mueven hacia arriba y hacia abajo como émbolos, creando de tal modo una diferencia de fase. Esto es como un borde puede ser situado con precisión con un SLM de tipo fase.

La Figura 4 muestra una comparación esquemática entre un SLM con espejos desviadores y un SLM con espejos deformantes.

La Figura 5 muestra un organigrama de un método para convertir y alimentar datos al SLM.

La Figura 6 muestra una realización preferida de un generador de diseños o patrones según la invención.

La Figura 7 muestra esquemáticamente amplitudes complejas posibles para tipos diferentes de SLM.

La Figura 8 muestra esquemáticamente tipos diferentes de control de los espejos de SLM.

**Descripción de la invención**

La base para comprender la invención es la disposición genérica en la Figura 1 que muestra una impresora de proyección genérica con un modulador espacial de luz (SLM). Los moduladores espaciales de luz (SLMs) basados en la reflexión vienen en dos variedades, el tipo de desviación (Nelson) y el tipo de fase (Kück). La diferencia entre ellas puede parecer pequeña en un caso particular con microespejos, pero el SLM de fase extingue el haz en la dirección especular por interferencia destructiva, mientras que un píxel en un SLM de desviación desvía el haz especular geométricamente hacia un lado de modo que no encuentra la abertura de la lente de formación de imagen como se muestra en la Figura 1. Para impresión ultraprecisa como es realizada en la invención actual, el sistema modulador de fase como es descrito por Kück, 1.990, es superior al tipo de desviación. Primero, tiene mejor contraste puesto que todas las partes de la superficie, también bisagras y patillas de soporte, toman parte en la interferencia destructiva y extinción total puede ser conseguida. Segundo, un sistema que funciona desviando la luz hacia el lado es difícil de hacerlo simétrico alrededor del eje óptico en ángulos intermedios de desviación, creando un riesgo de inestabilidad de rasgos cuando el foco es cambiado. En las realizaciones preferidas, el tipo de fase es usado pero si se acepta o diseña alrededor de la asimetría del tipo de desviación, también podría ser usado. Esto es ilustrado esquemáticamente en la Figura 4. En la primera Figura 4a, un microespejo no desviado 401 es iluminado y la luz reflejada no es dirigida hacia la abertura 402 y, por tanto, la luz no llega al sustrato 403. Por otra parte, en la Figura 4b el espejo está totalmente desviado y toda la luz reflejada es dirigida hacia la abertura. En una posición intermedia, solo parte de la luz reflejada llegará al sustrato, lo que es mostrado en la Figura 4c. Sin embargo, en este caso la luz no es simétrica alrededor del eje óptico de la lente 404 y hay una incidencia oblicua en el sustrato. De tal modo, la distancia entre la lente y el área de sustrato resulta muy crítica y cambios pequeños, tal como el que es indicado por la posición de trazos para el área, causan desplazamientos significativos de los rasgos en el sustrato. Un modo de resolver este problema es indicado por las Figuras 4d-f. Aquí, una primera exposición es efectuada con un primer ángulo de desviación para el microespejo y después una segunda exposición, preferiblemente con la misma dosis de luz, es efectuada para un segundo ángulo de desviación que es complementario del primer ángulo. De tal modo, la combinación de las exposiciones primera y segunda es simétrica alrededor del eje óptico de la lente. Otro modo de resolver el problema usar el espejo deformante 401', tal como es mostrado en la Figura 4g, mediante el que la luz reflejada es distribuida uniformemente por la abertura. Esta última figura podría representar esquemáticamente dos casos, un SLM de tipo fase (descrito después) o un SLM de desviación, donde luz es reflejada en partes diferentes del espejo.

El SLM de fase puede ser construido con espejos micromecanizados denominados microespejos o con una superficie continua de espejo sobre un sustrato de soporte que es posible deformar usando una señal electrónica. En Kück 1.990, se usa una capa viscoelástica controlada por un campo electrostático pero es igualmente posible, especialmente para longitudes de onda muy cortas donde son suficientes deformaciones del orden de unos pocos nanómetros, usar un disco sólido piezoeléctrico que es deformado por un campo eléctrico u otra superficie reflectora controlada eléctrica, magnética o térmicamente. Para el resto de esta solicitud, se supone una matriz de microespejos (monodimensional o bidimensional) controlada electrostáticamente aunque son posibles otras disposiciones como se describió antes, tales como SLMs transmisores o reflectores que confían en cristales de pantalla de cristal líquido (LCD: liquid crystal display) o materiales electroópticos como su mecanismo de modulación, o SLMs micromecánicos que usan actuación piezoeléctrica o de electrostricción.

La invención usa preferiblemente un microespejo donde la modulación de fase es variable para obtener una cantidad variable de luz que llega a la pupila de la lente de proyección. La Figura 2 muestra algunos espejos de multielemento. Las inclinaciones de las diversas partes de los espejos no son importantes. De hecho, un elemento

por sí mismo dirigiría la luz hacia la lente mientras que otro la dirigiría fuera de la pupila. El modo correcto de comprender la función es observar la amplitud compleja que llega al centro de la pupila desde cada elemento de área infinitesimal del espejo e integrar la amplitud sobre el espejo. Con una forma adecuada del espejo, es posible hallar una deformación donde las amplitudes complejas suman hasta casi cero, correspondiendo a que no llega luz a la pupila. Este es el estado inactivo del microespejo mientras que un estado relajado donde la superficie de espejo es plana y las amplitudes complejas se suman en fase es el estado activo. Entre los estados activo e inactivo, la cantidad de luz en la dirección especular es una función continua pero no lineal de la deformación.

El diseño o patrón a ser escrito es normalmente un diseño o patrón binario tal como un diseño o patrón de fotomáscara en cromos sobre un sustrato de vidrio. En este contexto, binario significa que no hay áreas intermedias: un cierto punto en la superficie de fotomáscara es oscuro (cubierto de cromo) o claro (sin cromo). El diseño o patrón es expuesto en material fotorresistente por la imagen proyectada desde el SLM y el material fotorresistente es revelado. Los materiales fotorresistentes modernos tienen gran contraste, significando que un cambio de porcentaje pequeño en exposición hace la diferencia entre la eliminación completa del material fotorresistente en el revelador y apenas alguna eliminación en absoluto. Por tanto, el material fotorresistente tiene un borde que es normalmente casi perpendicular a la superficie del sustrato, aunque la imagen aérea tiene una transición gradual entre claro y oscuro. La grabación de cromo por ataque químico aumenta más el contraste de modo que la imagen resultante es perfectamente binaria: opaca o transparente sin áreas intermedias.

Los datos de entrada están en un formato digital que describe la geometría del diseño o patrón a ser escrito en la superficie. Los datos de entrada son dados frecuentemente en una unidad de dirección muy pequeña, por ejemplo 1 nanómetro, mientras que activar o desactivar píxeles en el SLM proporciona un diseño o patrón mucho más grueso. Si un píxel en el SLM es proyectado a un píxel de  $0,1 \mu\text{m}$  en la imagen, una línea solo puede tener una anchura que sea un número entero de píxeles ( $n \cdot 0,1 \mu\text{m}$ , donde  $n$  es un número entero). Una cuadrícula de direcciones de  $0,1 \mu\text{m}$  era suficiente hasta recientemente pero la llegada de la denominada corrección de proximidad óptica (OPC: optical proximity correction) hace deseable una cuadrícula de 1 a 5 nanómetros. En corrección de proximidad óptica (OPC), el tamaño de rasgos en la máscara es modificado ligeramente para compensar los errores previstos de imagen óptica cuando la máscara es usada. Como un ejemplo, cuando una máscara con cuatro líneas paralelas de  $0,8 \mu\text{m}$  de anchura es impresa en una impresora por pasos moderna de reducción 4X (una impresora de proyección para obleas semiconductoras), en un caso típico se imprimirán como líneas de  $0,187, 0,200, 0,200$  y  $0,187 \mu\text{m}$  de anchura aunque estuvieran destinadas a tener la misma anchura. Esto puede ser previsto por simulación de la formación de imagen y el usuario de la máscara puede usar corrección de proximidad óptica (OPC) para compensar en la máscara, por tanto desea que las líneas primera y última en la máscara sean de  $4 \cdot 0,213 = 0,852 \mu\text{m}$  en lugar de  $0,800 \mu\text{m}$ . Con una cuadrícula de direcciones de  $0,1 \mu\text{m}$ , no puede efectuar la corrección pero con una cuadrícula de direcciones de 5 nm o más fina tal corrección es posible.

En la Figura 5, el método para proporcionar datos para el SLM es mostrado en un organigrama. El primer paso S1 es dividir los datos de diseño o patrón para que el diseño o patrón sea escrito en campos distintos de diseño o patrón. Los datos de diseño o patrón son recibidos preferiblemente en forma digital. Después, en el paso S2, los campos son cuadrículados y asignados de tal modo valores de exposición diferentes. Entonces, estos valores son corregidos para respuesta no lineal, paso S3, y variaciones de píxel a píxel, paso S4. Finalmente, los valores de píxeles son convertidos en señales excitadoras y enviados al SLM.

La invención usa valores intermedios entre el estado inactivo y el estado activo para crear una cuadrícula fina de direcciones, por ejemplo  $1/15, 1/25, 1/50$  del tamaño de un píxel. Un rasgo impreso consiste en píxeles en el estado activo pero a lo largo del borde tiene píxeles dispuestos en valores intermedios. Esto es efectuado excitando los píxeles con otras tensiones que las tensiones activa e inactiva. Puesto que hay varios efectos no lineales en cascada (la posición del borde en función de la exposición en los píxeles en el límite, la exposición en función de la deformación y la deformación en función del campo eléctrico), es necesaria una transformación no lineal desde los datos de entrada al campo eléctrico. Además, esta transformación es calibrada empíricamente en intervalos regulares de tiempo.

La Figura 3 muestra una ordenación de píxeles que se mueven hacia arriba y hacia abajo como émbolos, creando de tal modo una diferencia de fase. La figura muestra como los píxeles son controlados para crear la reflectancia en la inserción. Las áreas brillantes tienen píxeles con fase 0 mientras que áreas oscuras son creadas por píxeles con fases alternas de  $+90$  y  $-90$  grados. Los límites oblicuos entre áreas brillantes y oscuras son creados por valores intermedios de fase. Esto es como un borde puede ser situado precisamente con un SLM de tipo fase. Sin embargo, otros tipos de SLM con valores intermedios podrían ser usados de la misma manera. Las propiedades de formación de imagen con el SLM de fase excitado a valores intermedios son complejas y dista mucho de ser evidente que el borde sea movido en la Figura 3. Sin embargo, ha sido mostrado mediante cálculos teóricos y experimentos extensos por el inventor que el efecto descrito es real.

Para crear una cuadrícula más fina de direcciones, el sistema de procesamiento electrónico está adaptado para crear un tipo de mapa de píxeles dentro de rasgos del diseño o patrón, otro tipo de mapa de píxeles fuera de rasgos y mapas de píxeles intermedios en un límite, como se muestra en la Figura 3, donde el mapa de píxeles intermedios en un límite es generado dependiendo de la colocación del límite en una cuadrícula más fina que la de los píxeles del SLM proyectados sobre la pieza a elaborar. El SLM y el sistema de proyección crean un nivel de exposición dentro de rasgos, otro nivel de exposición entre rasgos y un nivel intermedio de exposición en el límite. El

nivel intermedio de exposición es creado usando la capacidad del SLM para modular a estados múltiples. La respuesta de señales excitadoras a la colocación real del límite es caracterizada y corregida. Es medida empíricamente y una función calibradora es calculada y almacenada en el sistema de procesamiento y entrega de datos.

Para mejorar más la resolución de dirección, la etapa y el SLM están adaptados para unir (coser) los campos de exposición entre sí a lo largo de una dirección no paralela al sistema de coordenadas del SLM, 45 grados típicamente. En particular, el movimiento continuo de la etapa o sistema óptico tiene lugar en una dirección no paralela al SLM sino típicamente a 45 grados con respecto al sistema de coordenadas del SLM. También es posible tener un SLM con ejes no ortogonales, en cuyo caso es ventajoso no tener eje paralelo a la dirección de movimiento. Además, para suprimir errores de líneas resultantes de imperfecciones en los excitadores de columnas y filas del SLM de error de líneas en la propia matriz, es eficaz tener las líneas de filas y columnas en un ángulo con la dirección de unión (cosido), o sea el vector entre los centros de campos unidos. Refinamiento adicional de la cuadrícula de direcciones es creado por la superposición de al menos dos exposiciones con datos modificados tal que la exposición combinada tiene valores intermedios no posibles de obtener en una sola exposición.

### **El diseño del SLM de tipo fase**

Un diseño de espejo en hoja de trébol, mostrado en la Figura 2c, como es usado en la técnica anterior, es posible para excitar a estados intermedios entre los estados activo e inactivo. Sin embargo, cuando la amplitud compleja integrada es trazada en función de la desviación, se ve que nunca se anula completamente sino que gira alrededor de cero, teniendo por tanto una reflectancia mínima no nula con un ángulo de fase variable. Esto es mostrado esquemáticamente por la línea 701 en la Figura 7, donde 703 indica una posición para un cierto valor de deformación y  $\phi$  es el ángulo de fase asociado. Un análisis completo de una imagen con algunos píxeles dispuestos en estados intermedios muestra que la posición de los bordes en la imagen final no es estable a través del foco si el ángulo de fase integrado de los píxeles de borde no es cero. Este es el efecto de difracción análogo al efecto especular mostrado en la Figura 4. En una realización preferida, es usado un tipo nuevo de píxeles con elementos pivotantes. Ejemplos de tales elementos son mostrados en las Figuras 2e-2h. Cuando el elemento pivota, un extremo se mueve hacia la fuente de luz y el otro extremo se separa de ella, manteniendo de tal modo la fase media próxima a cero. Esto es mostrado esquemáticamente por la línea 702 de trazos en la Figura 7. Además, el diseño en hoja de trébol tiene un problema de tensión incorporada creado durante la fabricación. Esta tensión tiende a proporcionar una deformación parcial sin un campo eléctrico aplicado. La deformación incorporada no es perfectamente igual en cada píxel puesto que depende de imperfecciones durante la fabricación. En el diseño en hoja de trébol, esta diferencia de píxel a píxel crea una variación de primer orden de reflectancia. Con células de píxeles construidas a partir de elementos pivotantes, ocurre el mismo efecto pero proporciona un efecto de segundo orden. Por tanto, la uniformidad es mejor en la imagen proyectada.

El diseño de los elementos moduladores y el método de exposición están adaptados para crear, para bordes situados diferentemente y/o orientados diferentemente en el diseño o patrón, una simetría en el tope de abertura del sistema de proyección. Asimetrías inherentes entre bordes situados en posiciones diferentes con respecto la cuadrícula de píxeles pueden ser reducidas superponiendo al menos dos imágenes con colocación diferente de la cuadrícula de píxeles con respecto al diseño o patrón.

Para un tipo de desviación de SLM, la simetría se refiere a la distribución de intensidad en el tope de abertura. Lo mejor es tener elementos moduladores que desvían la luz simétricamente con respecto al centro del tope de abertura, o si no pueden ser usadas exposiciones superpuestas con desviación complementaria para crear simetría. Con elementos moduladores con desviación orientable, es posible crear una relación geométrica constante entre la desviación en un píxel en un borde y el borde, o sea dirigirla en una dirección perpendicular al borde y hacia el interior del rasgo.

Con un SLM de tipo difracción, es posible crear simetría superponiendo exposiciones con mapas de fases opuestas. La simetría puede ser mantenida si la amplitud completa es real en todas partes en el SLM, y píxeles pueden ser diseñados con la amplitud compleja integrada siendo esencialmente real con valores en el margen de -1 a 1. Muchas veces es suficiente con amplitudes en el margen de -0,5 a 1. Este es el caso con los elementos de microespejos pivotantes cuadrados en las Figuras 2e,f,g,h.

Con acceso a una amplitud negativa pequeña para imprimir en las áreas de fondo, es posible aumentar la resolución. En un esquema más complejo, es posible excitar grupos de píxeles adyacentes para combinar en la imagen y, después de ser filtrados por el sistema de deformación de imagen, proporcionar una amplitud real deseada.

Para conservar la simetría, es beneficioso tener al menos simetría de 2 pliegues y preferiblemente de 4 pliegues. Simetría puede ser creada para píxeles que no tienen una simetría rotatoria inherente mediante exposiciones superpuestas múltiples. Además, con un diseño de píxeles o secuencia de exposiciones, proporcionar una amplitud real controlada puede ser usado para aumentos de resolución. Líneas oscuras pueden obtener contraste extra si son colocadas entre áreas con fase opuesta y el borde de un rasgo puede ser mejorado excitando píxeles adyacentes dentro del rasgo a amplitudes positivas superiores o píxeles adyacentes fuera de las negativas.

### **Mejoras de imagen**

Hay una tercera ventaja con un diseño pivotante, la hoja de trébol no alcanza la extinción completa pero una célula pivotante puede obtener más fácilmente una geometría que proporciona extinción completa, o incluso para por cero y vuelve a una reflexión no nula pequeña, pero con fase invertida. Con mejor extinción, hay mayor libertad para imprimir exposiciones superpuestas, diseñar para un valor negativo pequeño 702 proporciona linealidad mejor cerca de la extinción. Imprimir con una exposición débil, 5% aproximadamente, en las áreas oscuras pero con fase invertida puede proporcionar una nitidez incrementada de borde de 15 a 30% y la capacidad de imprimir rasgos más pequeños con una lente dada. Esto es análogo a las denominadas máscaras de desfase atenuantes que son usadas en la industria de semiconductores. Un método relacionado para aumentar la agudeza de borde es disponer los píxeles que están dentro de un rasgo en un valor menor y los que están cerca del borde en un valor mayor. Esto proporciona un tipo nuevo de mejora de imagen no posible con la proyección actual de diseños o patrones desde máscaras o mediante el uso de proyectores que siguen a Nelson y Kück. La combinación de una amplitud negativa no nula en el fondo y una exposición incrementada a lo largo de los bordes no precisa estar en pugna con la creación de una cuadrícula fina de direcciones excitando píxeles de borde a valores intermedios, puesto que los efectos son aditivos o al menos computables. Cuando los píxeles son sustancialmente más pequeños que el rasgo a ser impreso, existe una combinación de valores de píxeles que crea todos los efectos simultáneamente. Hallarlos exige más computación que la generación de una cuadrícula fina de direcciones solamente pero, en algunas aplicaciones de la invención, la capacidad de imprimir rasgos más pequeños puede tener un gran valor que paga por el esfuerzo extra.

En el caso de un espejo continuo en una capa viscoelástica, hay un equilibrio inherente de la fase media a cero. Simulaciones han mostrado que la excitación a valores intermedios para colocación precisa de bordes de rasgos también funciona para el espejo continuo. Las no linealidades son menores que con microespejos. Pero para que el método funcione bien, el rasgo mínimo ha de ser mayor que con microespejos, o sea es necesario tener un número mayor de píxeles direccionados por elemento de rasgo resuelto. Consecuencias son un dispositivo de SLM más grande y que para un diseño o patrón dado la cantidad de datos es mayor. Por tanto, los microespejos han sido elegidos en una primera y una segunda realización.

Un píxel con deformación simétrica de rotación (al menos simetría de dos pliegues, simetría de cuatro pliegues en una realización preferida) es usado por dos razones: proporcionar una iluminación simétrica de la pupila de la lente de proyección y hacer la imagen insensible a rotaciones. Lo último es importante para imprimir un diseño o patrón lógico aleatorio en una oblea de semiconductor. Si hay una asimetría x-y, los transistores dispuestos a lo largo del eje x tendrán un retardo diferente que los dispuestos a lo largo del eje y y el circuito puede funcionar mal o solo puede ser usado a una velocidad más baja de reloj. Las dos exigencias de invariancia de imagen a través del foco y de simetría entre x e y hace muy importante crear y mantener simetrías en el sistema óptico. La simetría puede ser inherente o puede ser creada por equilibrado deliberado de propiedades asimétricas, tal como usar exposiciones múltiples con propiedades asimétricas complementarias. Sin embargo, como las exposiciones múltiples conducen a rendimiento reducido, las distribuciones simétricas inherentes son fuertemente favorecidas.

### **Realizaciones preferidas**

Una primera realización preferida es un generador de diseños o patrones de ultravioleta profundo (DUV) para fotomáscaras que usa un SLM de 2.048 x 512 microespejos. La fuente de luz es un láser excimer de KrF con una salida de impulsos en 248 nanómetros, duraciones de impulsos de 10 ns aproximadamente y una frecuencia de repetición de 500 Hz. El SLM tiene una superficie de aluminio que refleja más del 90% de la luz. El SLM es iluminado por el láser a través de un iluminador mezclador de haz y la luz reflejada es dirigida a la lente de proyección y más allá a la superficie fotosensible. El haz incidente procedente del iluminador y el haz saliente a la lente son separados por un espejo divisor de haz semitransparente. Preferiblemente, el espejo es selectivo de polarización y el iluminador usa luz polarizada cuya dirección de polarización es cambiada por una placa de cuarto de onda enfrente del SLM. Para simetría de x e y con gran abertura numérica (NA), la imagen debe ser polarizada simétricamente y una segunda placa de cuarto de onda entre el divisor de haz y la lente de proyección crea una imagen polarizada circularmente. Una disposición más sencilla cuando la energía de impulsos de láser lo permite es usar un divisor de haz no polarizador. Después del segundo paso a través del divisor de haz, la placa de cuarto de onda todavía es ventajosa puesto que hace menos sensible el diseño del revestimiento divisor de haz. La disposición más sencilla de todas es usar una incidencia oblicua en el SLM de modo que los haces procedentes del iluminador y hacia la lente de proyección son separados geoméricamente como en la Figura 1.

Los píxeles de microespejos son de 20x20  $\mu\text{m}$  y la lente de proyección tiene una reducción de 200X, haciendo que un píxel en el SLM corresponda a 0,1  $\mu\text{m}$  en la imagen. La lente es una lente de ultravioleta profundo (DUV) monocromático con una abertura numérica (NA) de 0,8, proporcionando una función de extensión de punto de 0,17  $\mu\text{m}$  FWHM (Full Width at Half Maximun = anchura a media altura de un pico de emisión). Las líneas mínimas que pueden ser escritas con buena calidad son de 0,25  $\mu\text{m}$ .

La pieza a elaborar, por ejemplo una fotomáscara, es movida con una etapa controlada por interferómetro debajo de la lente y la lógica de interferómetro envía una señal al láser para producir un flash (destellos). Como el

flash es solo de 10 ns, el movimiento de la etapa es congelado durante la exposición y es impresa una imagen del SLM de 204,8x51,2  $\mu\text{m}$ . Dos milisegundos después la etapa se ha movido 51,2  $\mu\text{m}$ , un flash nuevo es disparado y una imagen nueva del SLM es impresa borde contra borde con la primera imagen. Entre las exposiciones, el sistema de entrada de datos ha cargado una imagen nueva dentro del SLM de modo que un diseño o patrón más grande es compuesto por los flashes unidos. Cuando una columna completa ha sido escrita, la etapa avanza en la dirección perpendicular y una fila nueva es iniciada. Cualquier tamaño de diseño o patrón puede ser escrito de este modo, aunque la primera realización preferida escribe típicamente diseños o patrones que son de 125x125 mm. Escribir este tamaño de diseño o patrón necesita 50 minutos más el tiempo para el movimiento entre columnas consecutivas.

Cada píxel puede ser controlado a 25 niveles (más cero), interpolando de tal modo el píxel de 0,1  $\mu\text{m}$  en 25 incrementos de 4 nanómetros cada uno. La conversión de datos toma la especificación geométrica del diseño o patrón y la convierte en un mapa con píxeles dispuestos en activo, inactivo o reflexión intermedia. El trayecto de datos debe suministrar al SLM 2.048\*512\*500 palabras de datos por segundo, en la práctica 524 Mbytes de datos de píxeles por segundo. En una realización preferida, el área que puede escribirse es de 230x230 mm como máximo, proporcionando hasta  $230/0,0512 = 4.500$  flashes máximos en una columna y la columna es escrita en 4.500 flashes máximos en una columna y la columna es escrita en  $4.500/500 = 9$  segundos. La cantidad de datos de píxeles necesarios en una columna es  $9 \times 524 = 4.800$  Mb. Para reducir la cantidad de datos transferidos y almacenados en memoria intermedia, se usa un formato comprimido similar al de Sandstöm y otros, 90, pero con la diferencia de que un mapa de píxeles es comprimido en lugar de segmentos con una longitud y un valor. Una alternativa viable es crear un mapa de píxeles inmediatamente y usar procesadores de hardware comercialmente disponibles para compresión y descompresión para reducir la cantidad de datos a ser transferidos y almacenados en memoria intermedia.

Incluso con compresión, la cantidad de datos en una máscara completa hace muy poco práctico almacenar datos prefracturados en disco, pero los datos de píxeles han de ser producidos cuando son usados. Un conjunto de procesadores cuadriculan la imagen en paralelo en el formato comprimido y transfieren los datos comprimidos a un circuito extensor que alimenta el SLM con datos de píxeles. En la realización preferida, los procesadores cuadriculan partes diferentes de la imagen y almacenan en memoria intermedia el resultado antes de transmitirlos a la memoria intermedia de entrada del circuito extensor.

#### **Una segunda realización preferida**

En una segunda realización preferida, el láser es un láser excimer de ArF con 193 nm de longitud de onda y 500 Hz de frecuencia de impulsos. El SLM tiene 3.072x1024 píxeles de 20\*20  $\mu\text{m}$  y la lente tiene una reducción 333X, proporcionando un píxel proyectado de 0,06  $\mu\text{m}$ . Hay 60 valores intermedios y la cuadrícula de direcciones es de 1 nanómetro. La función de extensión de punto es de 0,13  $\mu\text{m}$  y la línea mínima de 0,2  $\mu\text{m}$ . El flujo de datos es de 1.572 Mbytes/s y los datos en una columna de 230 mm de longitud son 11,8 Gb.

Una tercera realización preferida es idéntica que la segunda excepto que la matriz de píxeles es girada 45 grados y la cuadrícula de píxeles es de 84  $\mu\text{m}$ , proporcionando una separación de píxeles proyectada a lo largo de x e y de 0,06  $\mu\text{m}$ . El láser es un láser excimer de ArF y la lente tiene una reducción de 240. Debido a la matriz girada, la densidad de píxeles en la matriz es menor y el volumen de datos es la mitad de la realización anterior pero con la misma resolución de dirección.

#### **Variaciones de flash a flash del láser**

El láser excimer tiene dos propiedades indeseadas, variaciones de energía de flash a flash del 5% y fluctuación de tiempo de flash a flash de 100 ns. En las realizaciones preferidas, ambas son compensadas del mismo modo. Una primera exposición es efectuada de todo el diseño o patrón con 90% de potencia. La energía real de flash y la posición cronológica para cada flash es grabada. Una segunda exposición es efectuada con 100% de exposición nominalmente y con la modulación analógica usada para hacer la segunda exposición el 5 a 15% dependiendo del valor real de la primera. Igualmente, una desviación deliberada de tiempo en la segunda exposición puede compensar la fluctuación de tiempo de la primera. La segunda exposición puede compensar totalmente los errores en la primera pero ella misma proporcionará errores nuevos del mismo tipo. Como es solo el 10% en promedio de la exposición total, ambos errores son reducidos eficazmente por un factor de diez. En la práctica, el láser tiene una incertidumbre de tiempo que es mucho mayor que 100 ns puesto que el impulso de luz viene después de un retardo desde el impulso de disparo y este retardo varía por un par de microsegundos desde un momento a otro. Dentro de un intervalo corto de tiempo, el retardo es más estable. Por tanto, el retardo es medido continuamente y los últimos valores de retardo, filtrados adecuadamente, son usados para predecir el siguiente retardo de impulso y situar el impulso de disparo.

Es posible efectuar correcciones de imperfecciones de etapa del mismo modo, es decir si los errores de etapa son registrados y la etapa es accionada con un movimiento compensador en la segunda exposición. Cualesquier errores de colocación que pueden ser medidos pueden ser corregidos en principio de este modo, parcial o totalmente. Es necesario tener un servo rápido para accionar la etapa a los puntos computados durante la segunda exposición. En la técnica anterior es conocido montar el propio SLM en una etapa con carrera pequeña y tiempo breve de respuesta para colocación precisa de la imagen. Otro esquema igualmente útil es usar un espejo con control piezoeléctrico en el sistema óptico entre el SLM y la superficie de imagen, la elección entre los dos es

hecha a partir de consideraciones prácticas. También es posible añadir una desviación de posición a los datos en un campo de exposición y de tal modo mover la imagen lateralmente.

La segunda exposición es efectuada preferiblemente con un filtro atenuante entre el láser y el SLM de modo que el margen dinámico completo del SLM puede ser usado dentro del margen 0 a 15% de la exposición nominal. Con 25 niveles intermedios, es posible ajustar la exposición en pasos de  $15\% \cdot 1/25 = 0,6\%$ .

La respuesta varía ligeramente de píxel a píxel debido a imperfecciones de fabricación y, potencialmente, también debido al envejecimiento. El resultado es una falta indeseada de homogeneidad en la imagen. Donde las exigencias de imagen son muy grandes, puede ser necesario corregir cada píxel por multiplicación por la respuesta inversa de píxeles que está almacenada en una memoria de búsqueda. Aún mejor es la aplicación de un polinomio con dos, tres o más términos para cada píxel. Esto puede ser efectuado en hardware en la lógica que excita el SLM.

En una realización preferida más compleja, varias correcciones son combinadas en la segunda exposición correctiva: la variación de flash a flash, la fluctuación de tiempo de flash y también las diferencias conocidas en la respuesta entre los píxeles. Mientras las correcciones sean pequeñas, o sea un porcentaje pequeño en cada una, se sumarán de modo aproximadamente lineal, por tanto las correcciones pueden ser sumadas simplemente antes de que sean aplicadas al SLM. La suma es multiplicada por la dosis de exposición de valor deseado en ese píxel.

### **Fuentes de iluminación alternativas**

El láser excimer tiene una frecuencia de repetición de impulsos (pfr: pulse repetition frequency) limitada de 500 a 1.000 Hz dependiendo de la longitud de onda y del tipo de láser. Esto proporciona campos grandes con bordes de unión tanto en x como en y. En otras dos realizaciones preferidas, el SLM es iluminado con un láser de impulsos con frecuencia de repetición de impulsos (prf) mucho más grande, por ejemplo un láser de estado sólido elevado en frecuencia de conmutación de Q, y con una fuente de láser continua que explora sobre la superficie del SLM, de modo que una parte del SLM es recargada con datos nuevos mientras otra parte es impresa. En ambos casos, las propiedades de coherencia de los láseres son diferentes que las del láser excimer y es necesario un control de coherencia y mezcla de haces más extensa, por ejemplo trayectos de luz paralelos múltiples con diferentes longitudes de trayectos. En algunas implementaciones de la invención, la salida de luz de una lámpara de flash es suficiente y puede ser usada como la fuente de luz. Las ventajas son coste bajo y buenas propiedades de coherencia.

En la realización preferida con iluminación de exploración, son resueltas dos cuestiones: la variación de impulso a impulso en tiempo y energía, puesto que la exploración es efectuada bajo control completo que usa preferiblemente un explorador electroóptico tal como acustoóptico o electroóptico, y muchos láseres continuos tienen menos fluctuación de potencia que los láseres de impulsos. Además, el uso de láseres continuos proporciona una selección diferente de longitudes de onda y los láseres continuos son menos peligrosos para el ojo que los láseres de impulsos. Sin embargo, lo más importante es la posibilidad de alcanzar frecuencias de datos mucho más altas con una matriz con solo unas pocas líneas puesto que la exploración es no crítica y puede ser efectuada con frecuencia de repetición de 100 kHz o superior. Explorar con el haz de iluminación también es un modo de crear una iluminación muy uniforme, lo que es difícil de otro modo.

En algunas realizaciones, es posible y factible usar una lámpara de flash como la fuente de iluminación.

### **Ultravioleta extremo (EUV)**

Las fuentes de luz para ultravioleta extremo (EUV) están basadas en la radiación procedente de un acelerador de partículas, una máquina prensadora de plasma magnético o el calentamiento de una gota pequeña de materia a temperaturas extremas con un impulso de láser de gran potencia. En cualquier caso, la radiación es de impulsos. La radiación de ultravioleta extremo (EUV) se propaga solo en el vacío y solo puede ser enfocada por óptica reflectora. Un generador típico de diseños o patrones que usa un SLM tiene un campo pequeño de exposición y una exigencia modesta de potencia óptica. Por tanto, el diseño del sistema óptico es relajado comparado con el de una impresora por pasos de EUV, haciendo posible usar más espejos e ir a abertura numérica (NA) más grande que en una impresora por pasos. Se prevé que una lente de gran abertura numérica (NA) tendrá un campo de exposición de forma anular y es completamente posible adaptar la forma del SLM a un campo tal. Con una longitud de onda de 13 nm y una abertura numérica (NA) de 0,25, es posible exponer líneas que solo tienen 25 nm de anchura y, usando aumento de imagen como se describe después, incluso menos de 20 nm. Ninguna otra tecnología de escritura conocida puede igualar esta resolución y al mismo tiempo la velocidad de escritura que es hecha posible por el carácter paralelo de un SLM.

### **Solapamiento de bordes**

Como un campo bidimensional es impreso para cada flash y los campos son unidos entre sí borde con borde con borde, la unión (cosido) es muy crítica. Un desplazamiento de solo unos pocos nanómetros de un campo creará errores de diseño o patrón a lo largo de ese borde que son visibles y potencialmente perjudiciales para la función de un circuito electrónico producido a partir de la máscara. Un modo eficaz de reducir los efectos indeseados de unión es imprimir el mismo diseño o patrón en varias pasadas pero con un desplazamiento de los límites de unión entre las pasadas. Si el diseño o patrón es impreso cuatro veces, el error de unión ocurrirá en cuatro posiciones pero

con solo un cuarto de la magnitud. En una realización preferida, la capacidad de crear exposiciones intermedias es usada junto con una banda de solapamiento entre los campos. Los valores son computados durante la cuadrícula, aunque podría ser efectuado durante la expansión de los datos comprimidos. El solapamiento de bordes reduce los errores de unión con mucha menos penalización de rendimiento que la impresión de pasadas múltiples.

### **Iluminación modificada**

En la primera realización preferida, la iluminación del SLM es efectuada por un láser excimer y un mezclador de luz tal como un conjunto de lentes en ojo de mosca para crear una iluminación que se parece a la de una superficie autoluminosa circular en el plano de pupila del iluminador. Para aumentar la resolución cuando se imprime con un sistema de proyección específico, es posible usar una iluminación modificada. En los casos más sencillos, filtros de pupila son introducidos en el plano de pupila del iluminador, por ejemplo con un área de transmisión anular o en forma de cuadrípulo. En un caso más complejo, el mismo campo es impreso varias veces. Puede hacerse que varios parámetros varíen entre las exposiciones tales como el foco en el plano de imagen, el diseño o patrón de iluminación, los datos aplicados al SLM y el filtro de pupila en el plano de pupila de la óptica de proyección. En particular, la variación sincronizada de la iluminación y un filtro de pupila pueden proporcionar una resolución incrementada, más notablemente si la pupila tiene un área transmisora en forma de sector y la iluminación es alineada de modo que la luz no difractada intercepta un parche absorbente cerca del ápice del sector.

### **Linealización de la respuesta**

Para linealización de la función de transferencia desde datos a la colocación de bordes, aquí están esencialmente tres modos de proceder:

- tomar la no linealidad en cuenta en la unidad de conversión de datos y generar valores de un píxel de 8 bits (ejemplo) en la unidad de conversión de datos y usar convertidores digital-analógico (DACs: digital-analog converters) con la misma resolución para excitar el SLM. Esto es mostrado esquemáticamente en la Figura 8a, donde R son señales de relé y C son condensadores que están dispuestos en cada elemento de matriz en el SLM. El SLM es indicado por la línea de trazos.

- generar valores digitales con menos valores, por ejemplo 5 bits o hasta 32 valores, y convertirlos en un valor de 8 bits en una tabla de búsqueda (LUT: look-up table) y después alimentar los valores de 8 bits a los convertidores digital-analógico (DACs).

- usar un valor de 5 bits y conmutadores de semiconductor para seleccionar una tensión continua que es generada por uno o varios convertidores analógico-digital (DACs) de gran resolución. Esto es mostrado esquemáticamente en la Figura 8b.

En cualquier caso, es posible medir una función de calibración empírica tal que la respuesta en la placa es linealizada, cuando dicha función es aplicada respectivamente en la unidad de conversión de datos, la tabla de búsqueda (LUT) o en las tensiones continuas.

Que esquema de linealización usar depende de la frecuencia de datos, las exigencias de precisión y también de la tecnología disponible de circuitos que puede cambiar en el tiempo. En el momento actual, la unidad de conversión de datos es un cuello de botella (estrangulamiento) y por tanto no es una solución preferida linealizar en la unidad de conversión de datos ni generar valores de píxel de 8 bits. Los convertidores digital-analógico (DACs) de alta velocidad son caros y consumen mucho y la solución más apropiada es generar tensiones continuas y usar conmutadores. Entonces es posible usar incluso resolución mayor que 8 bits.

### **Descripción de un generador preferido de diseños o patrones**

Refiriéndose a la Figura 6, un generador de diseños o patrones comprende un SLM 601 con direccionamiento de píxeles individual y de valor múltiple, una fuente 602 de iluminación, un dispositivo 603 mezclador de haz de iluminación, un sistema óptico 604 de formación de imagen, una etapa 605 de sustrato de colocación precisa con un sistema 606 de control de posición de interferómetro y un sistema 607 de manejo de datos de hardware y software para el SLM. Para funcionalidad apropiada y facilidad de funcionamiento, también contiene una cámara climática circundante con control de temperatura, un sistema de carga de sustrato, software para temporización de movimiento de etapa y activación de láser de exposición para conseguir exactitud óptima de colocación de diseño o patrón y una interfaz de usuario de software.

La iluminación en el generador de diseños o patrones es efectuada con un láser excimer de KrF que proporciona un flash de luz de 10 a 20 nanosegundos de duración en la región de UV en la longitud de onda de 248 nanómetros con una anchura de banda correspondiente a la anchura de línea natural de un láser excimer. Para evitar la distorsión de diseño o patrón en el sustrato, la luz procedente del láser excimer es distribuida uniformemente sobre la superficie de SLM y la luz tiene una longitud de coherencia bastante corta para no producir mácula de láser en el sustrato. Un mezclador de haz es usado para conseguir estos dos objetivos. Divide el haz procedente del láser excimer en varios trayectos de haz con longitud diferente de trayecto y después los suma entre

sí para reducir la longitud de coherencia espacial. El mezclador de haz también tiene un homogeneizador de haz que consiste en un sistema de lentes que contiene un conjunto de lentes en ojo de mosca que distribuye la luz desde cada punto en el haz de láser procedente del láser excimer uniformemente sobre la superficie del SLM, proporcionando una distribución de luz "en sombrero de copa". Esta mezcla, homogeneización y reducción de coherencia de haz es ventajosa en todas las impresoras de SLM. Dependiendo de las implementaciones en circunstancias reales que usan combinadores y divisores de haz, pueden ser usados elementos difrangentos, fibras ópticas, caleidoscopios, conjuntos de lentillas, prismas o conjuntos de prismas o esferas integradoras, así como otros dispositivos similares, en combinaciones de separar y combinan los haces para crear una multitud de campos luminosos mutuamente incoherentes que inciden en el SLM.

La luz procedente del SLM es retransmitida y formada en imagen bajando al sustrato en la etapa de sustrato. Esto es efectuado usando un sistema óptico Schlieren descrito por Kück, una lente  $l_1$  con la anchura focal  $f_1$  está situada a la distancia  $f_1$  del SLM. Otra lente  $l_2$  con la distancia focal  $f_2$  está situada a la distancia  $2xf_1 + f_2$  del SLM. Entonces, el sustrato está a una distancia  $2xf_1 + 2xf_2$  del SLM. A la distancia  $2xf_1$  del SLM hay una abertura 608 cuyo tamaño determina la abertura numérica (NA) del sistema y de tal modo el tamaño mínimo de rasgo de diseño o patrón que puede ser escrito en el sustrato. Para corregir imperfecciones en el sistema óptico y el aplanamiento del sustrato, también hay un sistema focal que sitúa dinámicamente la lente  $l_2$  en la dirección (z) con un tramo de posiciones de 50 micrómetros para conseguir propiedades focales óptimas. El sistema de lentes también es corregido en longitud de onda para la longitud de onda iluminadora de 248 nanómetros y tiene una tolerancia de anchura de banda de la luz iluminadora de al menos  $\pm 1$  nanómetro. La luz iluminadora es reflejada dentro del sistema óptico de formación de imagen que usa un divisor 609 de haz que está situado inmediatamente encima de la lente  $l_1$ . Para un factor de reducción de 250 y una abertura numérica (NA) de 0,62, es posible exponer rasgos de diseño o patrón con un tamaño hacia debajo de hasta 0,2 micrómetros con una buena calidad de diseño o patrón. Con 32 niveles desde cada píxel de SLM, el tamaño mínimo de cuadrícula es 2 nanómetros.

El generador de diseños o patrones tiene una etapa de sustrato de colocación precisa con un sistema de control de posición de interferómetro. Consiste en una mesa movable 605 en xy de cojinete neumático fabricada de zerodur para dilatación térmica mínima. Un servosistema con un sistema 606 medidor de realimentación de posición de interferómetro controla la colocación de etapa en cada dirección. En una dirección y, el servosistema mantiene la etapa en posición fija y en la otra dirección x, la etapa se mueve con velocidad continua. El sistema medidor de posición de interferómetro es usado en la dirección x para disparar los flashes de láser de exposición para proporcionar posición uniforme entre cada imagen del SLM en el sustrato. Cuando una fila completa de imágenes de SLM es expuesta en el sustrato, la etapa vuelve a la posición original en la dirección x y se mueve en un incremento de imagen de SLM en la dirección y para exponer otra fila de imágenes de SLM en el sustrato. Este procedimiento es repetido hasta que todo el sustrato es expuesto.

Las imágenes de SLM se solapan con un número de píxeles en ambas direcciones x e y y el diseño o patrón de datos de exposición es modificado localmente en los píxeles de solapamiento para compensar el número incrementado de exposiciones que producen tales áreas de solapamiento.

Las variaciones en la intensidad de impulso a impulso desde el láser excimer son compensadas usando exposición de dos pasadas del diseño o patrón, donde la primera pasada es efectuada usando un 90% nominal de intensidad de la intensidad correcta. En la primera pasada, la intensidad real en cada flash de láser es medida y almacenada. En la segunda pasada, la intensidad correcta para cada exposición de imagen de SLM es usada entonces basada en los valores de intensidad medidos de la primera pasada. De este modo, es posible reducir en un orden de magnitud la influencia de las variaciones de intensidad de impulso a impulso desde el láser excimer.

La funcionalidad del SLM es descrita extensamente en otra parte de este texto. Tiene 2.048x256 píxeles con tamaño de píxel de 16 micrómetros y es posible direccionar todos los píxeles dentro de 1 milisegundo. El SLM está montado rígidamente en una etapa precisa. Esta etapa precisa es movable 100 micrómetros en las direcciones x e y con exactitud mejor que 100 nanómetros entre cada exposición de flash. La colocación precisa del SLM es usada para corregir la inexactitud de posición de la etapa de colocación de sustrato para reducir más los errores de unión de diseños o patrones. Además de la colocación en x-y, también hay una posibilidad de rotación de la etapa de SLM para exponer un diseño o patrón en un sustrato con un ángulo distinto que el especificado por el sistema de coordenadas de la etapa de sustrato. El propósito de tal rotación es crear la posibilidad de incorporar posibilidad de alineación de sustratos para sustratos con un diseño o patrón ya existente donde rasgos adicionales deben ser añadidos. Es posible medir la posición exacta del sustrato en la etapa después de cargarlo usando un canal óptico fuera del eje y/o una cámara de CCD (charge-coupled device = dispositivo acoplado por carga) que mira a través de la lente para determinar las coordenadas del sistema para un número de marcas de alineación existentes en el sustrato. Durante la exposición, la posición de etapa es corregida entonces en las direcciones x e y basada en las posiciones medidas de las marcas de alineación. La alineación rotatoria es conseguida usando el servosistema de etapa para seguir el sistema de coordenadas girado y también girando la etapa precisa de SLM como se describió. La posibilidad de girar el SLM también hace posible escribir en un sistema de coordenadas distorsionado, tal como para compensar el alabeo subsiguiente del diseño o patrón.

Un diseño o patrón de datos arbitrario de un formato arbitrario es transformado en un mapa de píxeles cuadrículado comprimido con 32 (5 bits) niveles de gris por píxel en un cuadriculador 610 de diseño o patrón. Como los pasos de escala de grises de un píxel expuesto no es lineal en respuesta a la tensión aplicada al electrodo de

5 píxeles, los datos de entrada son linealizados en un linealizador 611 de píxeles de modo que los 32 niveles de gris corresponden a un aumento uniforme en dosis de exposición para cada nivel sucesivo. Esto es efectuado usando convertidores digital-analógico (DAC's) 612 de 8 bits donde cada nivel de gris del mapa de píxeles selecciona una tensión procedente de los DAC's según una función de linealización calibrada empíricamente previamente. Una desviación adicional en la elección de nivel analógico desde los convertidores digital-analógico (DAC's) es efectuada usando una tabla de búsqueda donde cada valor corresponde a un píxel de SLM y cada valor tal corrige las anomalías del píxel correspondiente. Los valores de calibración en la tabla de búsqueda son generados usando un procedimiento de calibración empírico donde una serie de diseños o patrones de prueba son enviados al SLM y los diseños o patrones expuestos resultantes son medidos y usados para corrección de píxel individual. Esto significa  
10 que cada nivel de gris en el mapa de píxeles selecciona una tensión analógica que genera una deformación de píxel para cada píxel correspondiente del SLM para proporcionar la dosis de exposición correcta.

#### **Referencias**

- Nelson, 1.988: Patente de EE.UU. US 5.148.157
- Kück, 1.990: Patente Europea EP 0 610 183
- 15 Sandström y otros, 1.990: Patente Europea EP 0 467 076

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato para crear un diseño o patrón de gran precisión en una pieza a elaborar sensible a la radiación de luz, tal como un a fotomáscara, un panel de presentación visual o un dispositivo microóptico, comprendiendo:

- 5 una fuente de luz para emitir luz en el margen de longitudes de onda desde EUV hasta IR;
- un modulador espacial de luz (SLM) que tiene una multitud de elementos moduladores adaptados para ser iluminados por dicha radiación;
- un sistema de proyección que crea una imagen del modulador en la pieza a elaborar;
- 10 un sistema de procesamiento y suministro de datos electrónicos que recibe una descripción digital del diseño o patrón a ser escrito, convierte dicho diseño o patrón en señales de modulador y alimenta dichas señales al modulador;
- un sistema mecánico de precisión para situar dicha pieza a elaborar y/o sistema de proyección uno respecto al otro;
- 15 un sistema de control electrónico que controla la posición de la pieza a elaborar, la alimentación de las señales de modulador y la intensidad de la radiación de modo que dicho diseño o patrón es impreso en la pieza a elaborar, **caracterizado porque** las señales excitadoras y al menos uno de los elementos moduladores están adaptados para crear un número de estados de modulación mayor que dos y preferiblemente mayor que tres, en el que el número de estados de modulación mayor que dos se encarga de la colocación de gran precisión de los bordes de rasgos del diseño o patrón en posiciones en una
- 20 cuadrícula de direcciones que es más fina que la cuadrícula creada por los píxeles del modulador espacial de luz.
2. El aparato de la reivindicación 1, comprendiendo además un filtro selectivo para el estado de la radiación, convirtiendo de tal modo la modulación a través de la superficie del modulador espacial de luz en una imagen de intensidad en la pieza a elaborar.
- 25 3. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz es una ordenación bidimensional de elementos moduladores con carga multiplexada en el tiempo de los valores en los elementos moduladores y almacenamiento de los valores cargados en cada elemento.
4. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz está construido sobre un circuito activo direccionado por matriz.
- 30 5. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz está construido encima de un chip semiconductor.
6. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz contiene un cristal líquido.
7. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz tiene una capa viscoelástica.
- 35 8. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz tiene una ordenación de elementos de microespejos, y preferiblemente una ordenación de elementos micromecánicos, y más preferiblemente una ordenación de microespejos piramidales.
9. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz es reflector.
10. El aparato de la reivindicación 1, donde el modulador espacial de luz es transmisor.
- 40 11. El aparato de la reivindicación 1, comprendiendo además una unidad de temporización que controla la emisión de radiación desde la fuente de luz.
12. El aparato de la reivindicación 1, donde el sistema mecánico de precisión y/o el sistema de proyección está adaptado para producir un diseño o patrón de microlitografía con rasgos menores que 30  $\mu\text{m}$  y exactitud de colocación y tamaño mejor que 3  $\mu\text{m}$  (3 sigma).
- 45 13 El aparato de la reivindicación 1, donde el diseño o patrón es formado en material fotorresistente, fotopolímero o emulsión fotográfica.

14. El aparato de la reivindicación 1, donde el diseño o patrón es formado por ablación, un efecto fotorefractivo, una alteración fotoquímica de un componente de la pieza a elaborar o por un proceso térmico

15. El aparato de la reivindicación 1, donde el sistema de procesamiento de datos electrónicos tiene un conjunto de procesadores en paralelo para conversión de diseño o patrón en tiempo real.

5 16. Un método para crear un diseño o patrón de gran precisión en una pieza a elaborar sensible a la radiación de luz, tal como una fotomáscara, un panel de presentación visual o un dispositivo microóptico, comprendiendo los pasos de:

recibir una descripción digital del diseño o patrón a ser escrito;

convertir dicho diseño o patrón en señales de modulador;

10 alimentar dichas señales a un modulador que tiene una multitud de elementos moduladores adaptados para ser iluminados por radiación;

iluminar el modulador con radiación en el margen de longitudes de onda desde EUV hasta IR;

15 controlar la posición de la pieza a elaborar, la alimentación de las señales excitadoras al modulador y la intensidad de la radiación, de modo que dicho diseño o patrón es impreso en la pieza a elaborar, **caracterizado porque** las señales excitadoras y al menos uno de los elementos moduladores están adaptados para crear un número de estados de modulación mayor que dos y preferiblemente mayor que tres, en el que el número de estados de modulación mayor que dos se encarga de la colocación de gran precisión de bordes de rasgos del diseño o patrón en posiciones en una cuadrícula de direcciones que es más fina que la cuadrícula creada por los píxeles del modulador.

20 17. El método según la reivindicación 16, en el que la cuadrícula de direcciones es 1/15 o menos del tamaño de la cuadrícula de píxeles.

18. El método de la reivindicación 16, en el que una función de linealización compensadora es usada en la conversión desde la descripción de diseño o patrón de entrada a las tensiones del modulador para corregir una respuesta no lineal de las tensiones de modulador a la exposición en la pieza a elaborar.

25 19. El método de la reivindicación 18, en el que la respuesta es el resultado físico o químico de la exposición de un elemento superficial, tal como la absorción de luz de una emulsión de haluro de plata revelada o la eliminación de masa de material por área superficial mediante un proceso de ablación.

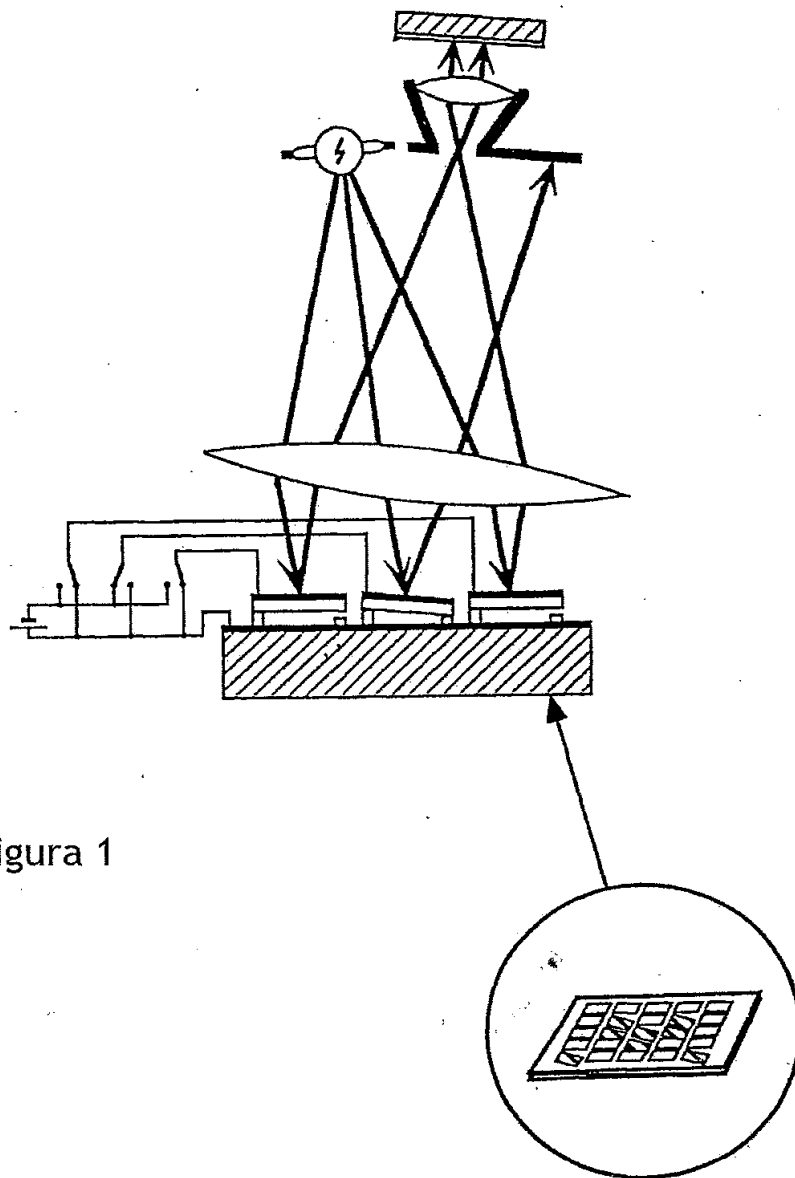


Figura 1

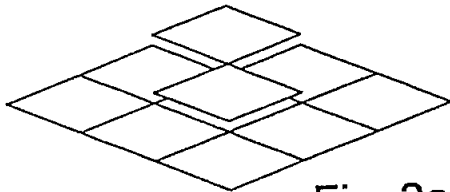


Fig. 2a

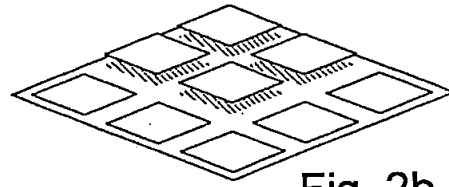


Fig. 2b

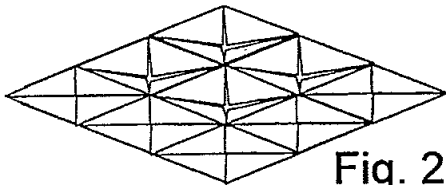


Fig. 2c

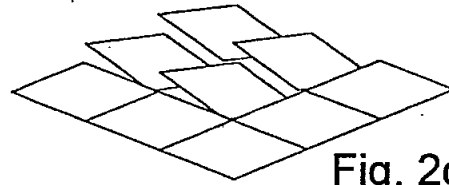


Fig. 2d

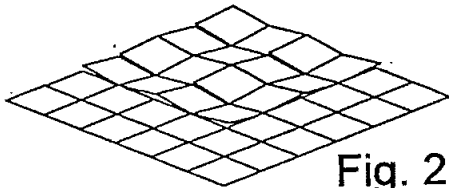


Fig. 2e

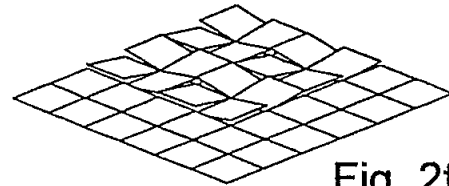


Fig. 2f

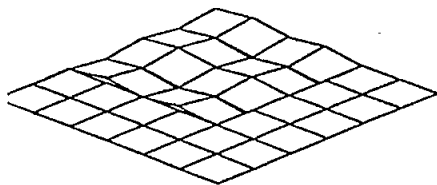


Fig. 2g

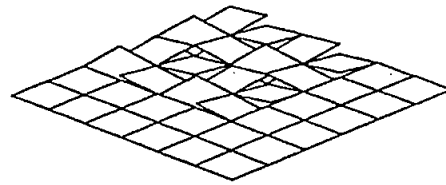


Fig. 2h

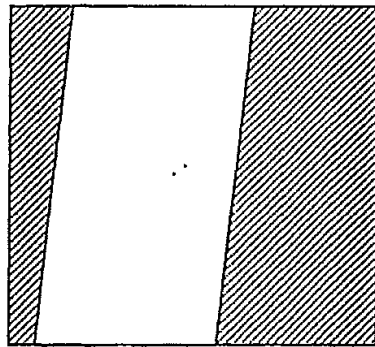
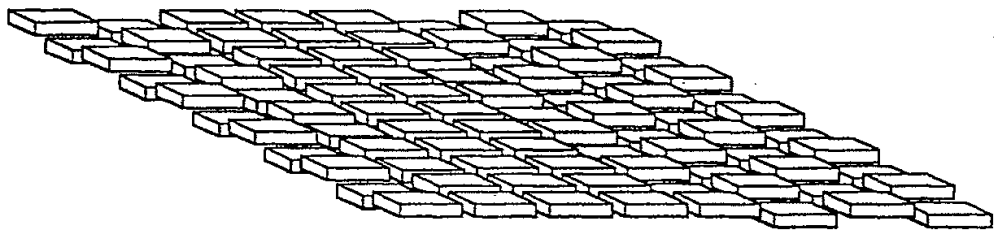
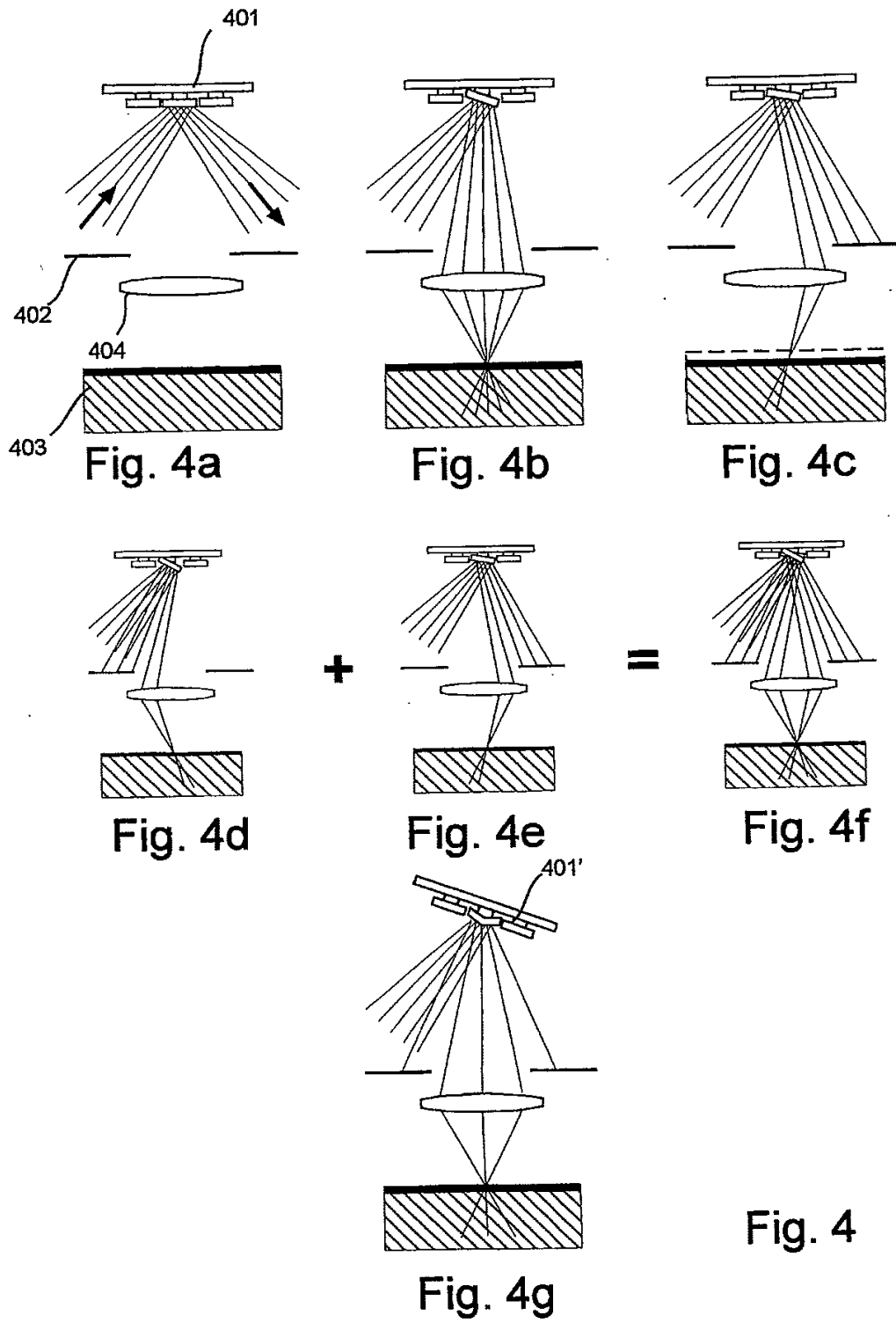


Fig 3



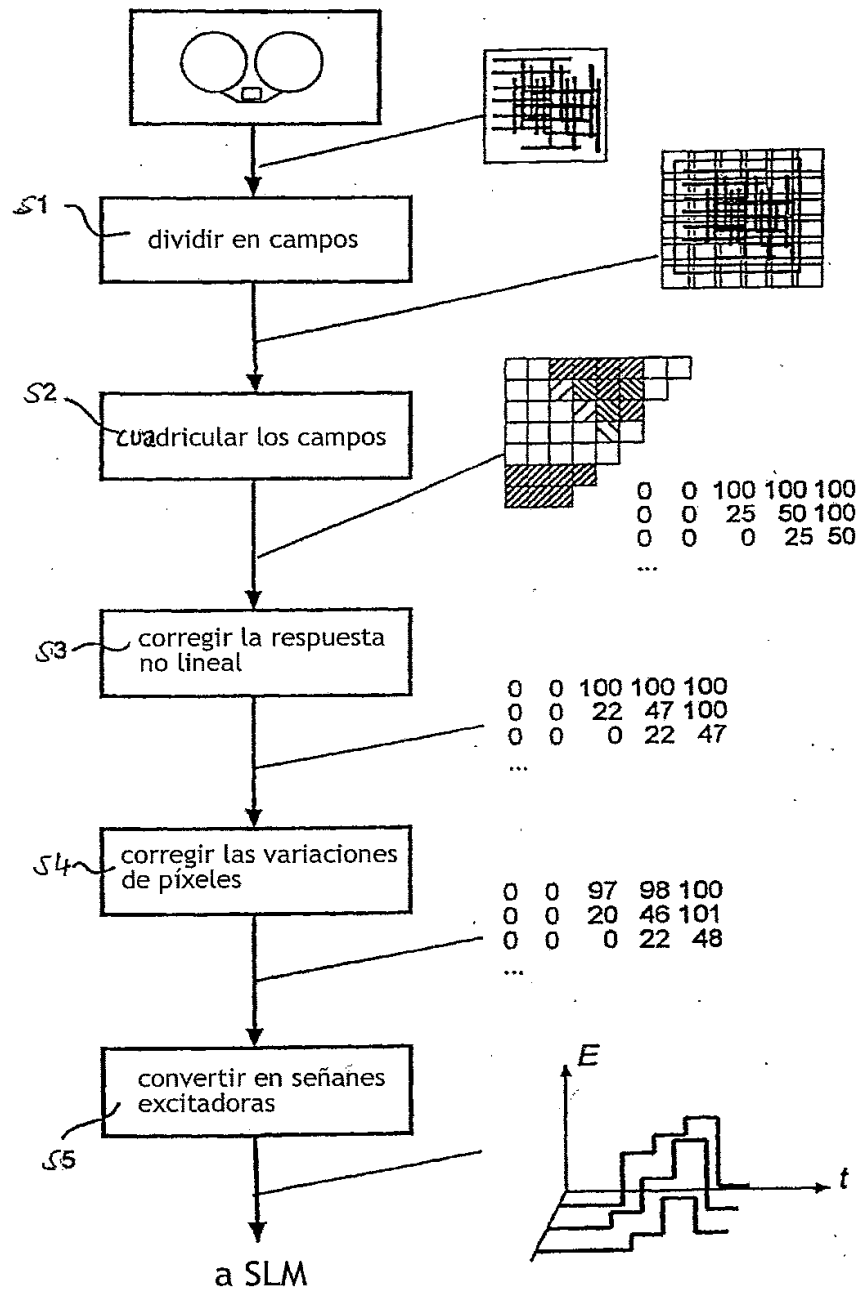


Fig. 5

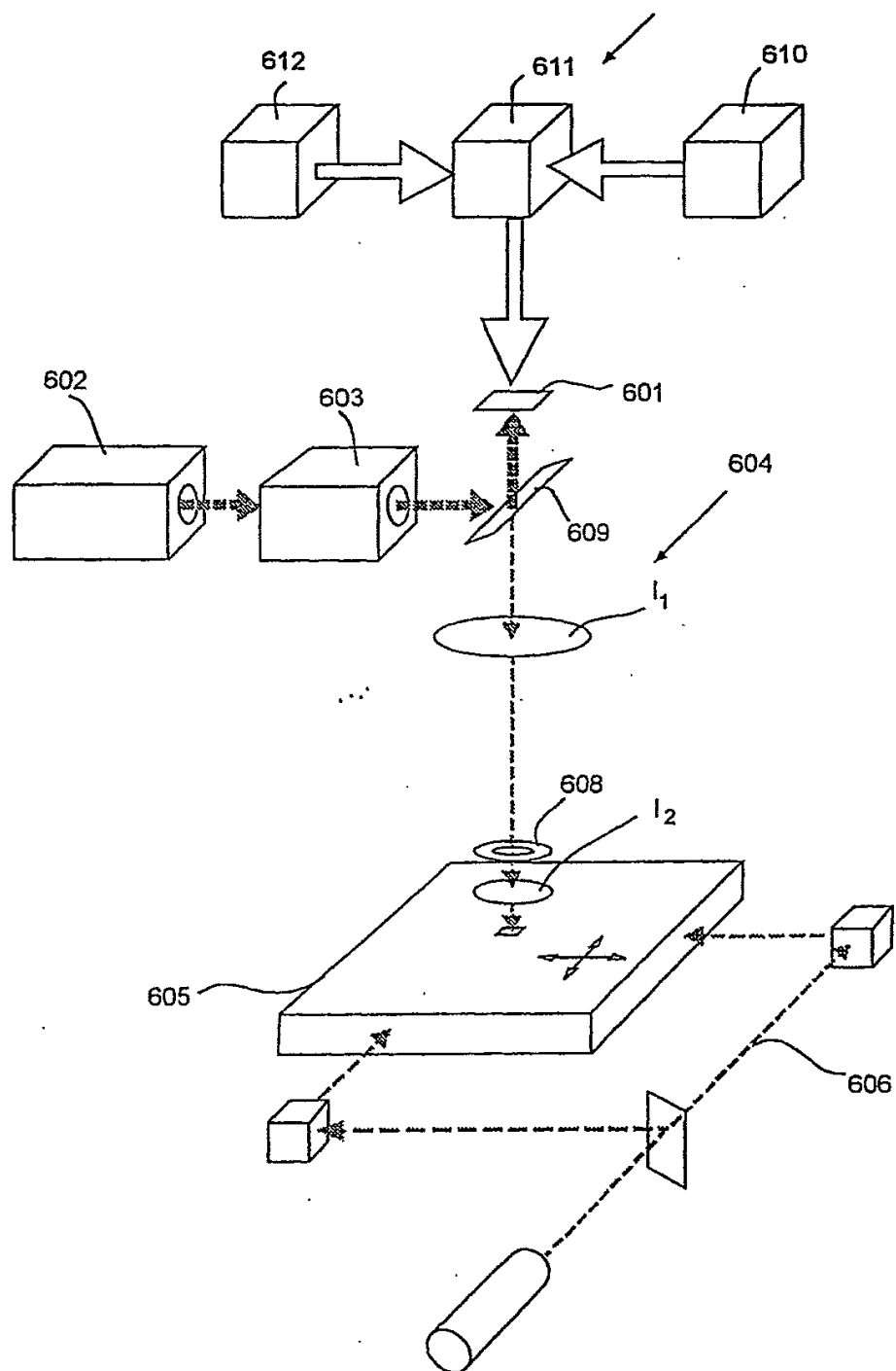


Fig. 6

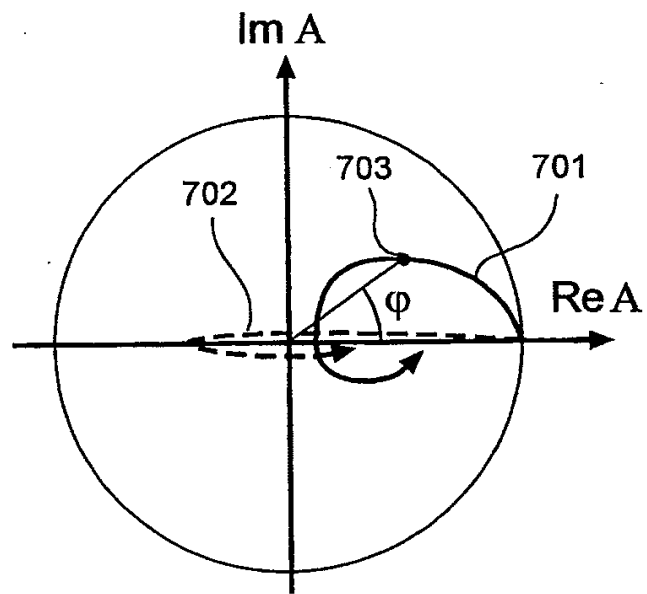


Fig. 7

