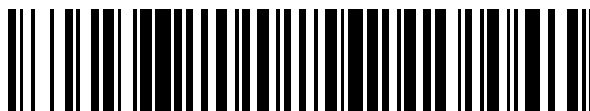


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 203**

51 Int. Cl.:

G01D 5/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.09.2006** **E 06018411 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014** **EP 1762828**

54 Título: **Codificador óptico para determinar la posición de dos piezas que son móviles una con relación a la otra en dos direcciones de movimiento**

30 Prioridad:

12.09.2005 DE 102005043569

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

18.12.2014

73 Titular/es:

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH (100.0%)
DR. JOHANNES-HEIDENHAIN-STRASSE 5
83301 TRAUNREUT, DE**

72 Inventor/es:

HOLZAPFEL, WOLFGANG

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 525 203 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

Codificador óptico para determinar la posición de dos piezas que son móviles una con relación a la otra en dos direcciones de movimiento

La presente invención se refiere a una instalación de medición óptica de la posición.

5 En instalaciones de fabricación de semiconductores es necesario determinar la posición espacial de determinadas partes que son móviles, con precisión por medio de instalaciones de medición de la posición adecuadas. A través de las informaciones de la posición es posible entonces un control del ciclo asistido por ordenador en estas instalaciones. Así, por ejemplo, en apiladores de obleas hay que medir con mucha exactitud la posición de la máscara y de la oblea en todos los 6 grados de libertad (6DOF). Hasta ahora esta medición de la posición se ha
10 realizado de una manera predominante a través de varios interferómetros de láser. En el futuro hay que partir de que los requerimientos de exactitud planteados a la medición de la posición se incrementarán adicionalmente a medida que se incrementa al mismo tiempo la velocidad de desplazamiento de las diferentes partes. Mientras que tal vez hasta ahora se habían planteado requerimientos de exactitud de algunos nm a velocidades de aproximadamente 1 m/s, en el futuro hay que partir de exactitudes subnanométricas a velocidades claramente más elevadas. Sin
15 embargo, con tales requerimientos de exactitud tan altos, no se pueden utilizar interferómetros láser como instalaciones de medición de la posición, puesto que las oscilaciones del índice de refracción en el aire ambiental conducen también en el caso de duchas de aire óptimas a oscilaciones del valor de medición en la medición de la posición de algunos nm.

Por este motivo, ya se han propuesto instalaciones de medición de la posición alternativas en tales instalaciones. Así, por ejemplo, se conoce a partir del documento EP 1 019 669 B1 emplear instalaciones de medición óptica de la posición con las llamadas rejillas en cruz como estructura de medición bidimensional. Tales sistemas apenas son influenciados por eventuales oscilaciones del índice de refracción del aire y, por lo tanto, permiten mediciones bien reproducibles de la posición.

A partir de la exploración de rejillas en cruz se pueden registrar en tales sistemas, entre otros, los grados de libertad lateral X, Y, Rz (X: transición a lo largo del eje-X; Y: transición a lo largo del eje-Y; Rz: rotación alrededor del eje-Z); para registrar según la técnica de medición todos los seis ejes de libertad posibles, es decir, también los grados de libertad adicionales Z, Rx, Ry (Z: traslación a lo largo del eje-Z; Rx: rotación alrededor del eje-x; Ry: rotación alrededor del eje-y), es necesario adicionalmente, por lo tanto, una medición de la posición en dirección-z. En el documento EP 1 019 669 B1 se proponen con esta finalidad sensores de distancia adicionales, por ejemplo
25 exploradores de medición capacitivos o por contacto. Tales sensores de distancia no son ya, sin embargo, suficientes para las exactitudes requeridas.

De manera alternativa, como sensores de distancia, que proporcionan la exactitud necesaria, se pueden emplear, dado el caso, también interferómetros. Sin embargo, éstos requieren de nuevo un sobregasto significativo con respecto a la carcasa, procesamiento de señales, corrección de las señales, etc. Así, por ejemplo, en este caso es
35 difícil aplicar duchas de aire, que presentan un desarrollo laminar de la circulación paralelo o perpendicular a la rejilla en cruz. Tales duchas de aire serían, sin embargo, indispensables para una exactitud de medición suficiente del interferómetro en este lugar. Además, es problemático realizar la sincronización temporal exacta de los valores de medición de la posición a partir de la exploración de la rejilla en cruz y de la medición de la distancia interferométrica.

Por lo demás, se conocen instalaciones de medición de la posición, por medio de las cuales es posible también una determinación de la distancia de exploración entre dos rejillas en la trayectoria de los rayos de exploración. Por ejemplo, en este contexto se remite al documento EP 448 982 B1.

El cometido de la presente invención es indicar una instalación de medición de la posición, que permita medir con alta exactitud a distancia lo más corta posible al mismo tiempo al menos un grado de libertad lateral y un grado de libertad vertical de dos objetos móviles entre sí en un lugar de medición común con alta exactitud.
45

Este problema se soluciona de acuerdo con la invención por medio de una instalación de medición de la posición con las características de la reivindicación 1.

Las formas de realización ventajosas de la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención se deducen a partir de las medidas indicadas en las reivindicaciones dependientes.

50 De acuerdo con la invención, se propone una instalación de medición de la posición para la detección de la posición de dos objetos móviles relativamente entre sí con una estructura de medición, que está conectada con uno de los dos objetos así como con al menos un sistema de exploración para la exploración de la estructura de medición, que está conectada con el otro de los dos objetos. El sistema de exploración está configurado de tal forma que, además, es posible una determinación simultánea del valor de la posición a lo largo de al menos una dirección de

desplazamiento lateral como también a lo largo de una dirección de desplazamiento vertical de los objetos.

Con preferencia, sobre lados del sistema de exploración para la determinación de la posición en dirección de desplazamiento lateral y en dirección de desplazamiento vertical está configurada una primera y una segunda trayectoria de los rayos de exploración. En ésta se puede generar en cada caso a partir de dos haces parciales de rayos de interferencia en el lado de salida un grupo de señales desfasadas.

En una forma de realización ventajosa de la instalación de medición de la posición, los dos haces de rayos parciales de cada trayectoria de los rayos de exploración se extienden asimétricamente con respecto a un plano perpendicularmente a la dirección de desplazamiento lateral. Además, la segunda trayectoria de los rayos se extiende en simetría de espejo con respecto a la primera trayectoria de los rayos o bien con respecto a un plano perpendicularmente a la dirección de desplazamiento lateral y los dos haces parciales de rayos de cada trayectoria de rayos de exploración experimentan en la estructura de medición una refracción en diferentes órdenes de refracción.

Con preferencia, los dos haces parciales de rayos de cada trayectoria de rayos de exploración en la estructura de medición experimentan una refracción en $+1^\circ$ o bien -1° orden de refracción.

En una forma de realización posible de la instalación de medición de la posición están previstos, además, unos medios de evaluación, para determinar a partir de las señales desfasadas interpoladas de ambos grupos unos valores primarios de la posición, a partir de los cuales se puede determinar un valor de la posición lateral y un valor de la posición vertical.

Además, se pueden prever medios de compensación para compensar eventuales errores de interpolación de aquellos valores de la posición, a partir de los cuales se puede calcular un valor de la posición lateral y un valor de la posición vertical.

En una forma de realización ventajosa, en la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención, en las trayectorias respectivas de los rayos de exploración están dispuestos unos medios ópticos para garantizar en cada caso longitudes de recorridos ópticos iguales para los haces parciales de rayos de interferencia.

En una variante posible de la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención, la estructura de medición comprende una rejilla en cruz bidimensional y tres sistemas de exploración, que están en disposición no-colineal entre sí, para registrar a partir de los valores enlazados de la posición de los tres sistemas de exploración el movimiento de los dos objetos en todos los seis grados de libertad espacial.

La instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención es especialmente adecuada para la determinación de la posición de componentes de una instalación de fabricación de semiconductores.

Otras ventajas así como detalles de la presente invención se deducen a partir de la descripción siguiente de los principios en los que se basa la invención así como de dos ejemplos de realización concretos con la ayuda de las figuras adjuntas. En este caso:

La figura 1 muestra una representación de principio esquemática de una instalación de medición de la posición interferencial basada en rejilla.

La figura 2 muestra una representación esquemática de una disposición de medición para la detección técnica de la medición de todos los seis grados de libertad.

La figura 3 muestra diferentes vistas de la trayectoria de los rayos de exploración de una primera forma de realización de la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención.

La figura 4 muestra una representación esquemática, con cuya ayuda se explica la determinación de un vector de sensibilidad del ejemplo de la figura 3.

La figura 5 muestra la trayectoria de los rayos de exploración de una segunda forma de realización de la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención.

La figura 6 muestra una representación esquemática, con cuya ayuda se explica la determinación del vector de sensibilidad del ejemplo de la figura 5.

Antes de explicar a continuación en detalle los principios en los que se basa la presente invención, se explica en primer lugar una descripción matemática de aparatos de medición de la posición interferencial con estructuras de medición configuradas como rejillas. Ésta se utiliza a continuación también para la descripción siguiente de la presente invención.

En instalaciones de medición de la posición interferencial basadas en rejilla, normalmente un haz de rayos de una

fente de luz es escindido en dos (o más) haces parciales de rayos. Los haces parciales de rayos son desplazados a través de difracción en una rejilla de la estructura de medición de manera diferente en su fase y finalmente son llevados de nuevo a interferencia. Las longitudes ópticas recorridas de los dos haces parciales de rayos deben ser en este caso, a ser posible, de la misma longitud. De esta manera se hace que los valores de la posición sean independientes de la longitud de onda de la fuente de luz. Las trayectorias de los rayos de instalaciones de medición de la posición de alta resolución son seleccionadas, por lo tanto, simétricamente a un plano (YZ) perpendicular a la dirección de medición (X). Las instalaciones de medición de la posición interferenciales basadas en rejilla son de esta manera también independientes frente a modificaciones de la distancia (Z) entre el sistema de exploración y la estructura de medición, lo que es, en principio, una propiedad deseada.

Para poder delimitar con precisión la presente invención del principio básico de instalaciones de medición de la posición interferenciales basadas en rejilla hasta ahora, debe dilucidarse con mayor exactitud la interacción (refracción de la rejilla combinada con transmisión o bien reflexión) de los dos haces parciales de rayos con la rejilla de la estructura de medición. En cada interacción se modifican los vectores-k de los haces parciales de rayos de la siguiente manera:

$$\Delta \vec{k}_n = \vec{k}_{n,out} - \vec{k}_{n,in} \quad (\text{primer haz parcial de rayos}) \text{ o bien}$$

$$\Delta \vec{k}'_n = \vec{k}'_{n,out} - \vec{k}'_{n,in} \quad (\text{segundo haz parcial de rayos})$$

A este respecto, n enumera, respectivamente, las interacciones de los haces parciales de rayos con la estructura de medición. Como se deduce, por ejemplo, a partir de la representación de principio en la figura 1, normalmente resultan la mayoría de las veces uno o dos interacciones de este tipo con la estructura de medición 10. Los desplazamientos de fases $\Delta \Phi_n$ para el primer haz parcial de rayos o bien $\Delta \Phi'_n$ para el segundo haz parcial de rayos a través de la n-interacción con la estructura de medición 10 se dan entonces a través de las ecuaciones

$$\Delta \Phi_n = -\Delta \vec{k}_n \cdot \Delta \vec{x}_M \quad (\text{primer haz parcial de rayos}) \text{ o bien}$$

$$\Delta \Phi'_n = -\Delta \vec{k}'_n \cdot \Delta \vec{x}_M \quad (\text{segundo haz parcial de rayos})$$

cuando $\Delta \vec{x}_M$ designa el desplazamiento de la posición de la estructura de medición 10. El desplazamiento de las fases de los dos haces parciales de rayos en el lugar de la interferencia da como resultado el valor de la posición ξ indicado de la instalación de medición de la posición correspondiente según

$$\xi = \frac{SP}{2\pi} \sum_n (\Delta \Phi_n - \Delta \Phi'_n) = -\frac{SP}{2\pi} \sum_n (\Delta \vec{k}_n - \Delta \vec{k}'_n) \cdot \Delta \vec{x}_M$$

con

SP = periodo de la señal de la instalación de medición de la posición

$\Delta \vec{x}_M$ = posición de la estructura de medición.

De esta manera se puede definir ahora un vector de sensibilidad $\vec{a}$, que describe la modificación lineal del valor de la posición con el desplazamiento $\Delta \vec{x}_M$ de la estructura de medición:

$$\xi = \vec{a} \cdot \Delta \vec{x}_M,$$

con

$$\vec{a} = -\frac{SP}{2\pi} \sum_n (\Delta \vec{k}_n - \Delta \vec{k}'_n).$$

A través de la estructura simétrica mencionada de instalaciones de medición de la posición interferencial basadas en rejilla, de alta resolución, $\Delta \vec{k}'_n$ está siempre en simetría de espejo (con respecto al plano-YZ) con $\Delta \vec{k}_n$ y el vector

de sensibilidad $\vec{a}$ está, por consiguiente paralelo al plano de la estructura de medición 10. Esto se pretende naturalmente porque solamente debe medirse a lo largo del plano de la estructura de medición. Una pura modificación de la distancia $\Delta\vec{x}_M = \Delta z \cdot \vec{e}_z$ de la estructura de medición 10 con relación a la unidad de exploración no conduce a ninguna modificación del valor de la posición.

5 De acuerdo con la invención, se propone ahora una instalación de medición de la posición con sistemas de exploración, que miden al mismo tiempo al menos una posición lateral (X, Y) y una distancia vertical (Z). A través del enlace de valores de posición de al menos tres sistemas de exploración de este tipo, que exploran la estructura de medición en tres lugares diferentes, que no están colineales, y que están instalados en al menos dos direcciones laterales diferentes de medición o bien de desplazamiento, se pueden determinar todos los seis grados de libertad.

10 Un ejemplo de una disposición de este tipo se muestra en la figura 2 incluyendo algunas magnitudes relevantes. Los valores de la posición $\xi_X, \xi_Y, \xi_Z, \xi_{RX}, \xi_{RY}, \xi_{RZ}$, (los llamados valores terciarios de la posición) se calculan a partir de una combinación lineal adecuada de valores secundarios de la posición $\xi_{X1}, \xi_{X2}, \xi_{Y1}, \xi_{Z1}, \xi_{Z2}, \xi_{Z3}$, que suministran en primer lugar los sistemas de exploración individuales 20.1, 20.2, 20.3. Cada sistema de exploración 20.1, 20.2, 20.3 determina de una manera más ventajosa con exactitud un valor secundario de la posición lateral (ξ_X o ξ_Y) y con exactitud un valor secundario de la posición vertical (ξ_Z).

De acuerdo con la invención, en cada sistema de exploración individual 20.1, 20.2, 20.3 se generan, respectivamente, dos parejas de haces parciales de rayos, que son refractados al menos una vez en la estructura de medición 10 y son llevados entonces en cada caso a interferencia. A continuación se supone que la dirección de medición lateral está paralela a la dirección-X. La simetría de espejo mencionada varias veces más adelante se refiere entonces al plano-YZ. Evidentemente, las explicaciones siguientes se pueden transferir de manera similar también a otra dirección de medición lateral (por ejemplo, Y).

A través de las dos parejas de haces parciales de rayos resultan dos grupos de señales, estando constituido cada grupo de manera conocida por varias señales desfasadas entre sí.

La trayectoria de los rayos de los dos haces parciales de rayos de interferencia de la primera pareja se selecciona 25 de acuerdo con la invención no en simetría de espejo. De ello resulta, en general, un vector de sensibilidad $\vec{a}_1$ que no está ya paralelo a la dirección-X y, por lo tanto, a la superficie de la estructura de medición, sino que está en el plano-XZ en un ángulo α definido con respecto a la superficie de la estructura de medición. La trayectoria de los rayos de la segunda pareja de haces parciales de rayos de interferencia se selecciona ahora en simetría de espejo con respecto a la trayectoria de los rayos de la primera pareja. El vector de sensibilidad $\vec{a}_2$ de la segunda pareja 30 está entonces de manera correspondiente en simetría de espejo con $\vec{a}_1$. A partir de los dos grupos de señales desfasadas se pueden determinar de manera conocida los valores de la posición ξ_1, ξ_2 , que se designan aquí como valores primarios de la posición. Se pueden describir en primer orden a través de las ecuaciones siguientes

$$\begin{aligned}\xi_1 &= \vec{a}_1 \cdot \Delta\vec{x}_M \\ \xi_2 &= \vec{a}_2 \cdot \Delta\vec{x}_M\end{aligned}$$

A través de adición y sustracción resultan a partir de ellos unos valores secundarios de la posición ξ_{XS}, ξ_{ZS} , a los que 35 se pueden asociar vectores de sensibilidad $\vec{a}_{XS}, \vec{a}_{ZS}$ correspondientes de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\xi_{XS} &= \frac{1}{2}(\xi_1 - \xi_2) = \frac{1}{2}(\vec{a}_1 - \vec{a}_2) \cdot \Delta\vec{x}_M = \vec{a}_{XS} \cdot \Delta\vec{x}_M \\ \xi_{ZS} &= \frac{1}{2}(\xi_1 + \xi_2) = \frac{1}{2}(\vec{a}_1 + \vec{a}_2) \cdot \Delta\vec{x}_M = \vec{a}_{ZS} \cdot \Delta\vec{x}_M\end{aligned}$$

En virtud de la simetría de espejo, el vector de sensibilidad $\vec{a}_{XS}$ está siempre paralelo a la superficie de la estructura de medición y a lo largo de la primera dirección de medición X. En cambio, el vector de sensibilidad $\vec{a}_{ZS}$ está siempre perpendicularmente a la estructura de medición y, por lo tanto, paralelo a la dirección-Z. El sistema de exploración individual 20.1, 20.2, 20.3 proporciona, por lo tanto, exactamente un valor de posición lateral y un valor de posición vertical.

Un análisis más exacto con la inclusión de basculamientos de la estructura de medición eventualmente resultantes muestra que las posiciones-XY (laterales) de los puntos de medición efectivos son idénticas para los dos valores

secundarios de la posición. La disposición en simetría de espejo de acuerdo con la invención asegura, por lo tanto, que ambos valores ξ_{xs} y ξ_{zs} sean medidos en un punto-XY central común. En este caso, la posición-X está naturalmente sobre el plano de simetría (plano-YZ) de la instalación de medición de la posición. Un punto de medición común facilita la calibración de las instalaciones de medición de la posición durante la puesta en funcionamiento, puesto que se reduce el número de los parámetros libres (como las posiciones de los puntos de medición de todas las exploraciones).

Se ha revelado que es interesante también la dependencia de las longitudes de onda de una instalación de medición de la posición interferencial, basada en rejilla, de este tipo. Así, por ejemplo, a través de la formación diferencial

$$\xi_{xs} = \frac{1}{2}(\xi_1 - \xi_2)$$

para la formación del valor de la posición secundaria lateral se suman o bien se restan las posiciones de las fases de los cuatro haces parciales de rayos implicados. Respectivamente, dos haces parciales de rayos tienen en este caso una trayectoria de los rayos en simetría de espejo, es decir, que sus longitudes ópticas recorridas son idénticas. En una consideración más exacta, estas posiciones de las fases de los haces parciales de rayos en simetría de espejo se restan una de la otra, respectivamente, de manera que se anulan en cada caso los desplazamientos de fases en virtud de las longitudes ópticas recorridas. Solamente permanecen los desplazamientos de las fases en virtud de las refracciones de las rejillas. La diferencia de fases resultante corresponde, por lo tanto, a la diferencia de fases en una instalación de medición de la posición, basada en rejilla, interferencial convencional. Esto significa que el valor de la posición lateral ξ_{xs} no depende tampoco ya de la longitud de ondas. La diferencia reside en que en una instalación de medición de la posición basada en rejilla convencional ya los dos haces parciales de rayos de interferencia están en simetría de espejo y sus desplazamientos de fases se restan directamente uno del otro a través de la formación de la interferencia, mientras que en la presente invención interfieren haces parciales de rayos no en simetría de espejo y solamente a través de la compensación de dos valores primarios de la posición se diferencian los desplazamientos de fases de haces parciales de rayos en simetría de espejo.

La independencia de las longitudes de onda del valor de la posición lateral ξ_{xs} es una ventaja decisiva de la presente invención. Puesto que los requerimientos de exactitud en los valores de la posición lateral ξ_{xs} son, en general, en un factor 10 más altos que en los valores de la posición vertical ξ_{zs} , la estabilidad de las longitudes de ondas de la fuente de luz utilizada debe orientarse solamente a los requerimientos más reducidos de los valores de medición vertical. Una consideración más exacta de la dependencia de las longitudes de ondas de los valores de la posición vertical ξ_{zs} muestra que es comparable con la de un interferómetro habitual para la determinación de la posición a lo largo del eje-Z. Aquí hay que tener en cuenta que el recorrido de medición en dirección-Z es, en general, con típicamente 1 mm, mucho más reducido que el recorrido de medición a detectar en dirección lateral (> 400 mm). Es especialmente ventajoso que las longitudes ópticas recorridas de los dos haces parciales de rayos de interferencia se compensen en la distancia nominal Z_0 (ver más abajo). Solamente en el caso de distancias discrepantes $Z = Z_0 + \Delta Z$, aparecen entonces dependencias de las longitudes de ondas de los valores de la posición detectados, que permanecen, sin embargo, comparativamente reducidas.

También los errores de interpolación dado el caso resultantes se pueden compensar fácilmente en el marco de la presente invención. Así, por ejemplo, un movimiento lateral puro de la estructura de medición 10 a lo largo de la dirección-X sin un movimiento en dirección-Z conduce a un desplazamiento de fases de los dos valores primarios de la posición ξ_1 , ξ_2 . Dentro de recorridos de medición cortos se pueden registrar, por lo tanto, periodos completos de los errores de las señales y/o de los errores de interpolación, lo que es una condición previa para un análisis estable de errores. El análisis y la corrección o bien la compensación de los errores de interpolación de los valores primarios de la posición se realiza a través de procedimientos adaptables conocidos. Después de la corrección y la compensación de los dos valores primarios de la posición con respecto a los valores secundarios de la posición, estos últimos están igualmente sin errores de interpolación. Esto se debe especialmente a que los errores de

interpolación local (en dirección-X), en virtud de los vectores de sensibilidad $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ inclinados, se pueden compensar también cuando no existe ningún movimiento en dirección-Z. De manera más ventajosa, las direcciones de medición verticales (X, Y) de los sistemas de exploración 20.1, 20.2, 20.3 individuales se alinean en ángulo con respecto a las direcciones principales del movimiento de la máquina respectiva, en la que se emplea la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención y en la que se requiere total exactitud. Pueden estar dispuestas, por ejemplo, diagonalmente ($R_z = 45^\circ$).

Los órdenes de refracción importantes para la generación de señales de la estructura de medición son iguales en virtud de la simetría de espejo para ambos grupos de señales. De manera más ventajosa, solamente se utilizan el $+1^\circ$ y $+1^\circ$ órdenes de refracción. Las eficiencias de refracción de estos órdenes de refracción se pueden incrementar al máximo fácilmente de manera conocida a través de la selección adecuada de la estructura de refracción. Por lo tanto, se suprime una optimización simultánea para otros sensores, dado el caso, con otros principios de exploración y/u otra dependencia de las longitudes de onda. Tales medidas serían tal vez necesarias cuando, como se ha explicado al principio, se emplea una estructura de medición de rejilla en cruz en conexión con un sensor de

distancia basado en interferómetro. En este caso, la exploración de rejilla en cruz requeriría altas eficiencias de refracción en los $+1^\circ$ y -1° órdenes de refracción, mientras que para la medición interferométrica de la distancia sería necesario un 0° orden de refracción optimizado. Puesto que en este caso, además, la estructura de medición de rejilla en cruz sirve como reflector para el interferómetro de la distancia, sería necesario, además, un diseño adecuado – costoso – del mismo con respecto a las diferentes longitudes de ondas empleadas en la exploración de rejilla en cruz y la determinación interferométrica de la distancia.

A continuación se explica ahora un primer ejemplo de realización de una instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención con la ayuda de las figuras 3 y 4. La figura 3 muestra en este caso una trayectoria de los rayos de exploración de este ejemplo de realización en diferentes vistas espaciales.

Un haz de rayos 1 incidente, procedente de una fuente de luz no representada, polarizado linealmente de un rayo láser colimado es disociado a través de una rejilla de disociación 2 sobre el lado inferior de una placa de exploración 7 en un -1° y -1° orden de difracción 4, 4'. La constante de rejilla de la rejilla de disociación 2 es idéntica a la de la estructura de medición 3. El haz de rayos del $+1^\circ$ orden de difracción 4 de la rejilla de exploración 2 llega sobre la estructura de medición de reflexión 3 y se disocia allí a través de difracción en un $+1^\circ$ y -1° orden de difracción en dos haces parciales de rayos 5, 6. El haz parcial de rayos 5 difractado en el -1° orden de difracción llega paralelamente al eje óptico Z (es decir, en 0° orden de difracción resultante) de retorno en la dirección de la placa de exploración 7. El haz parcial de rayos 6 derivado en $+1^\circ$ orden de difracción se propaga en la dirección de un 2° orden de difracción resultante. Ambos haces parciales de rayos 5, 6 llegan a estructuras de desviación difractivas 8, 9 sobre el lado inferior de la placa de exploración 7. Estas estructuras de desviación 8, 9 están dimensionadas de tal forma que dirigen los haces parciales de rayos 10, 11 salientes en el plano-XZ en cada caso paralelamente a la dirección-Z y se derivan lateralmente en el plano-YZ y se enfocan de acuerdo con una lente cilíndrica.

Los haces parciales de rayos 5 que inciden en el 0 orden de refracción resultante es reflejado a través de un espejo 12 sobre el lado superior de la placa de exploración 7 y llegan entonces sobre un espejo 13 sobre el lado inferior de la placa de exploración 7. Allí se encuentra también un lugar de enfoque de la estructura de desviación difractiva 8 o bien de la lente cilíndrica mencionada anteriormente. A continuación se refleja el haz parcial de rayos de nuevo a través del espejo 12 sobre el lado superior de la placa de exploración 7 y llega sobre una segunda estructura de desviación 14 sobre el lado inferior de la placa de exploración 7.

El haz parcial de rayos 6 que incide en el $+2^\circ$ orden de difracción resultante sobre la placa de exploración 7 llega sobre el espejo 12 sobre su lado superior, donde se encuentra también el lugar de enfoque de la rejilla de desviación 9 continua. Después de la reflexión llega directamente sobre una segunda estructura de desviación 15 sobre el lado inferior de la placa de exploración 7.

Las segundas estructuras de desviación 14, 15 están desplazadas, respectivamente, con respecto al plano-XZ en simetría de espejo con las primeras estructuras de desviación 8, 9 y, por lo tanto, desvían los haces parciales de rayos incidentes lateralmente en dirección-Y, pero desplazadas en sentido contrario a los haces parciales de rayos 5, 6 que inciden originalmente sobre la placa de exploración 7 de retorno sobre la estructura de medición 3. Antes de que sean difractados de nuevo por la estructura de medición 3, atraviesan la $\lambda/4$ placas 16, 17, que están orientadas de forma diferente para ambos haces parciales de rayos 18, 19, de manera que resultan haces parciales de rayos polarizados circulares a la izquierda y a la derecha. En la estructura de medición 3 son difractados, respectivamente, con el mismo orden de difracción que en la primera aparición, es decir, en $+1^\circ$ o bien -1° orden. A través de esta difracción se conducen los dos haces parciales de rayos 18, 19 como haces de rayos 20 paralelos de retorno a la placa de exploración 7. Atraviesan allí una rejilla de disociación 21, que disocia los haces parciales de rayos reunidos en 3 rayos individuales 22a, 22b, 22c; estos 3 rayos individuales 22a, 22b, 22c pasan a través de polarizadores 23a, 23b, 23c orientados de forma diferente antes de que sean detectados por detectores 24a, 24b, 24c y sean convertidos en señales eléctricas S_{A0° , S_{A120° , S_{A240° . Los tres polarizadores 23a, 23b, 23c están en un retículo angular de 60° , de manera que resultan las señales S_{A0° , S_{A120° , S_{A240° con un desplazamiento de fases de 120° entre sí.

El haz parcial de rayos 6 que incide en el 2° orden de difracción resultante sobre la placa de exploración 7 debe atravesar entre la placa de exploración 7 y la estructura de medición 3 trayectos ópticos más largo que el haz parcial de rayos 5 en el 0° orden de difracción resultante. Para compensar estas diferencia del recorrido están previstos en el plano-YZ diferentes recorridos de los rayos dentro de la placa de exploración 7, a saber, en forma de la reflexión triple descrita anteriormente de un haz parcial de rayos y de la reflexión sencilla del otro haz parcial de rayos. Con un dimensionado adecuado de la densidad de las placas de exploración y de las rejillas de desviación 8, 9, 14, 15 se pueden eliminar las diferentes de las longitudes del recorrido en la distancia nominal Z_0 .

El haz de rayos 4' desviado desde la primera rejilla de disociación en el -1° orden de difracción es disociado con respecto al plano-YZ en simetría de espejo a través de rejillas de desviación 8', 9' dispuestas de manera correspondiente en simetría de espejo sobre la placa de exploración 7 y es reunido de nuevo. De esta manera se obtienen las señales S_{B0° , S_{B120° , S_{B240° .

A partir del grupo de señales S_{A0° , S_{A120° , S_{A240° o bien S_{B0° , S_{B120° , S_{B240° desfasadas se calcula de manera conocida un valor de posición. De ello resultan los valores primarios de la posición ξ_1 y ξ_2 mencionados anteriormente. El cálculo de los valores de posición ξ_1 y ξ_2 puede incluir al mismo tiempo una compensación correspondiente de errores de interpolación. La determinación del vector de sensibilidad $\vec{a}_1$ se puede extraer para el ejemplo explicado de la figura 4. Se bascula, como se requiere, frente a la dirección-X.

En el caso de una longitud de onda $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$ empleada y una constante de la rejilla de la estructura de medición $d = 2,048 \mu\text{m}$ resulta para esta forma de realización un periodo lateral de la señal $SP_x = 0,512 \mu\text{m}$ y un periodo vertical de la señal $SP_z = 1,1 \mu\text{m}$.

Un segundo ejemplo de realización de la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención se explica a continuación con la ayuda de las figuras 5 y 6.

En esta variante, se modifica de acuerdo con la invención el principio de tres rejillas, conocido a partir del documento EP 0 163 362 A1, de instalaciones de medición de la posición interferencial, como se muestra, por ejemplo, en la representación esquemática de la figura 5.

Una primera rejilla de disociación 30 sobre el lado inferior de una placa de exploración 70 disocia un haz de luz colimado 10 de un diodo láser – no representado – entres haces parciales de rayos 21, 32, 32' (0° , $+1^\circ$ y -1° orden de difracción). Los haces parciales de rayos 32, 31 en $+1^\circ$ y 0° orden de difracción forman dos primeros haces parciales de rayos para la generación del primer valor primario de la posición. En simetría de espejo con ello, los haces parciales de rayos 31, 32' en 0° y -1° orden de difracción suministran los segundos haces parciales de rayos para el segundo valor primario de la posición.

Los haces parciales de rayos 32, 31 en $+1^\circ$ y 0° orden de difracción son desviados en la estructura de medición de reflexión 30 en -1° o bien -1° orden de difracción, de manera que los haces parciales de rayos 34, 33 que se propagan en estas direcciones espaciales se solapan entonces sobre el lado superior de la placa de exploración 70, que presenta allí una rejilla de mezcla 35 adecuada. Tales rejillas de mezcla 35 se conocen, por ejemplo, a partir del documento EP 0 163 362 A1 y generan tres haces de rayos 36a, 36b, 36c resultantes con un desplazamiento de fases de $\pm 120^\circ$. Estos haces de rayos 36a, 36b, 36c son convertidos por foto detectores 37a, 37b, 37c en señales (de corriente) S_{A240° , S_{A0° , S_{A120° y son evaluados de manera conocida como primeros valores primarios de la posición ξ_1 .

Los segundos haces parciales de rayos 21, 32' en simetría de espejo proporcionan de manera similar a ello las señales S_{B0° , S_{B120° , S_{B240° o bien el segundo valor primario de la posición ξ_2 .

La constante de rejilla d_{A2} de las segundas rejillas de exploración 35, 35' respectivas se selecciona de acuerdo con la relación siguiente, de tal manera que ambos haces parciales de rayos 33, 34 y 33', 340, respectivamente, son desviados en direcciones iguales y pueden interferir entre sí.

$$\frac{1}{d_{A2}} = \frac{2}{d_M} - \frac{1}{d_{A1}}$$

con

d_{A1} = constante de rejilla de la primera rejilla de exploración,

d_{A2} = constante de rejilla de la segunda rejilla de exploración,

d_M = constante de rejilla de la estructura de medición

El vector de sensibilidad del primer valor primario de la posición ξ_1 se representa en la figura 6 para esta forma de realización. El vector de sensibilidad decisivo del segundo valor primario de la posición está orientado, condicionado por el diseño, de nuevo en simetría de espejo con respecto al mismo.

A continuación se enumeran finalmente todavía diversas posibilidades de configuración opcionales en combinación con la presente invención. Las diferentes medidas se pueden aplicar de forma adicional y/o alternativa.

Así, por ejemplo, se pueden utilizar también trayectorias asimétricas discrecionales de los rayos de exploración, que suministran un primer valor primario de la posición. En este caso, se puede reflejar la trayectoria de los rayos como también se pueden disponer reflejados todos los componentes implicados para la generación del segundo valor primario de la posición.

Es posible una generación de señales desfasadas a través de diversos métodos conocidos. Así, por ejemplo, se pueden emplear diferentes evaluaciones de la polarización, se puede prever una generación de bandas de Vernier con detección de bandas por medio de foto sensores estructurados o, en cambio, se puede realizar una generación directa de las señales desfasadas con rejillas de exploración de acuerdo con el documento EP 163 362 A1 mencionado anteriormente.

La compensación mencionada de las longitudes ópticas recorridas de ambos haces parciales de ratos de interferencia en la distancia nominal se puede realizar igualmente de otra manera distinta a la descrita anteriormente. Así, por ejemplo, se puede prever una conducción diferente de los rayos de forma similar al primer ejemplo de realización mencionado anteriormente. Se pueden disponer placas de vidrio de compensación en la trayectoria parcial de los rayos en primer lugar más corta. Además, es posible una compensación de la longitud del recorrido de este tipo también a través de componentes ópticos de polarización; en este caso éstos pueden asumir, por lo tanto, una doble función.

Como fuentes de luz se contemplan diferentes variantes de fuentes de luz para la instalación de medición de la posición de acuerdo con la invención, por ejemplo fuentes de luz coherente como diodos láser de conductores de bandas, fuentes de luz-VCSEL o láser-HeNe.

Además, es posible prever diferentes estados de colimación de la iluminación, como por ejemplo haces de rayos colimados (de acuerdo con las dos formas de realización explicadas anteriormente) o, en cambio, haces de rayos divergentes o bien convergentes.

Además, es posible emplear una única electrónica de evaluación para ambas determinaciones de valor de la posición, pudiendo realizarse una determinación paralela del valor de la posición a través de una estructura doble de circuito o, en cambio, se puede realizar una determinación en serie del valor de la posición con registro intermedio de valores de la señal, por ejemplo, en miembros Sample&Hold.

Por lo tanto, en el marco de la presente invención existen, además de los ejemplos explicados anteriormente, una serie de otras posibilidades de realización.

REIVINDICACIONES

1.- Instalación de medición de la posición para la detección de la posición de dos objetos móviles uno con relación al otro, con

- una estructura de medición (3, 30), que está conectada con uno de los dos objetos así como
- con al menos un sistema de exploración (20.1, 20.2, 20.3) para la exploración de la estructura de medición (3, 30), que está conectado con el otro de los dos objetos,

caracterizada porque

- el sistema de exploración (20.1, 20.2, 20.3) está configurado de tal forma que es posible, además, una determinación simultánea del valor de la posición a lo largo de al menos una dirección de desplazamiento lateral (X, Y) como también a lo largo de una dirección de desplazamiento vertical (Z) de los objetos y
- en la que sobre lados del sistema de exploración (20.1, 20.2, 20.3) para la determinación de la posición en dirección de desplazamiento lateral (X, Y) y en dirección de desplazamiento vertical (Z) están configuradas una primera y una segunda trayectorias de los rayos de exploración, en la que cada trayectoria de los rayos de exploración está configurada, respectivamente, por dos haces parciales de rayos que interfieren no en simetría de espejo, a partir de los cuales se puede generar en el lado de salida un grupo de señales desfasadas S_{A0° , S_{A120° , S_{A240° , S_{B0° , S_{B120° , S_{B240° , en la que los dos haces parciales de rayos de interferencia de cada trayectoria de los rayos de exploración se extienden asimétricamente con respecto a un plano (YZ) perpendicular a la dirección de desplazamiento lateral (Z).

2.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque

- la segunda trayectoria de los rayos se extiende en simetría de espejo a la primera trayectoria de los rayos con respecto a un plano (YZ) perpendicular a la dirección de desplazamiento lateral,
- los dos haces parciales de rayos de cada trayectoria de los rayos de exploración experimentan en la estructura de medición (3, 30) una refracción en diferentes órdenes de difracción.

3.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizada** porque, además, están previstos medios de evaluación, para determinar a partir de señales desfasadas interpoladas de ambos grupos valores primarios de la posición, a partir de los cuales se puede calcular un valor de la posición lateral (X) y un valor de la posición vertical (Z).

4.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizada** porque, además, están previstos medios de compensación, para compensar eventuales errores de interpolación de los valores primarios de la posición, a partir de los cuales se puede calcular un valor de la posición lateral y un valor de la posición vertical.

5.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque en las trayectorias respectivas de los rayos de exploración están dispuestos medios ópticos, para garantizar en cada caso longitudes ópticas iguales del recorrido para los haces parciales de rayos de interferencia.

6.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizada** porque los dos haces parciales de rayos de cada trayectoria de rayos de exploración experimentan en la estructura de medición (3, 30) una refracción en $+1^\circ$ o bien -1° orden de refracción.

7.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque la estructura de medición (3, 30) comprende una rejilla en cruz bidimensional y están previstos tres sistemas de exploración (20.1, 20.2, 20.3), que están en disposición no colineal entre sí, para detectar a partir de los valores de la posición enlazados de los tres sistemas de exploración (20.1, 20.2, 20.3) el movimiento de los dos objetos en todos los seis grados de libertad espaciales.

8.- Instalación de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada** porque los dos objetos son componentes de una instalación de fabricación de semiconductores.

FIG. 1

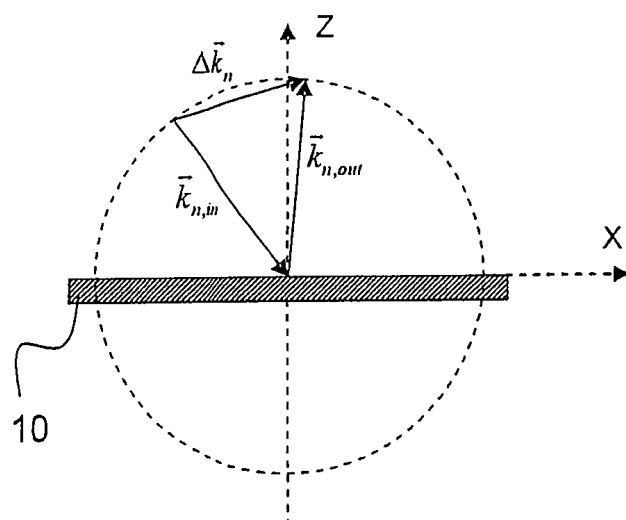


FIG 2

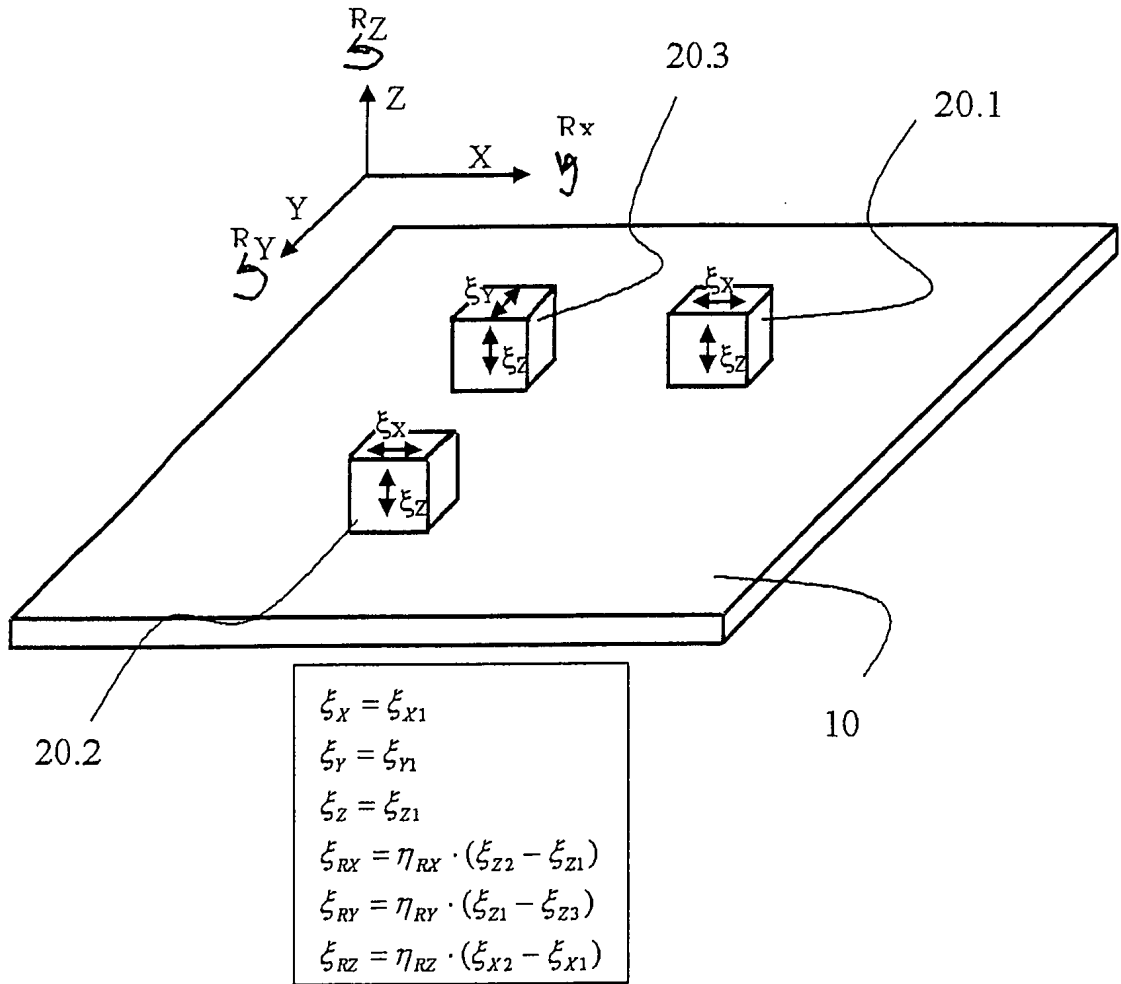


Fig. 3

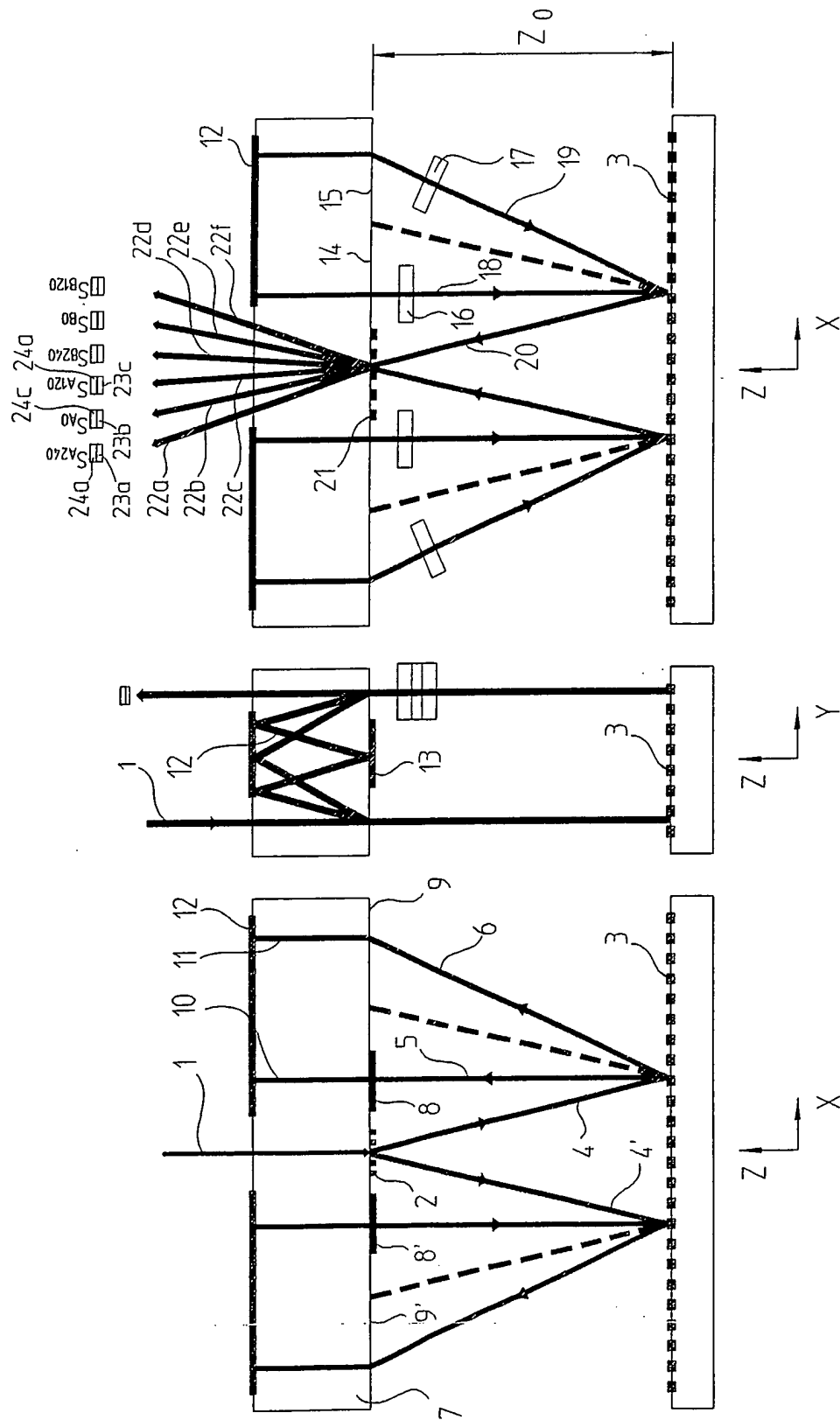
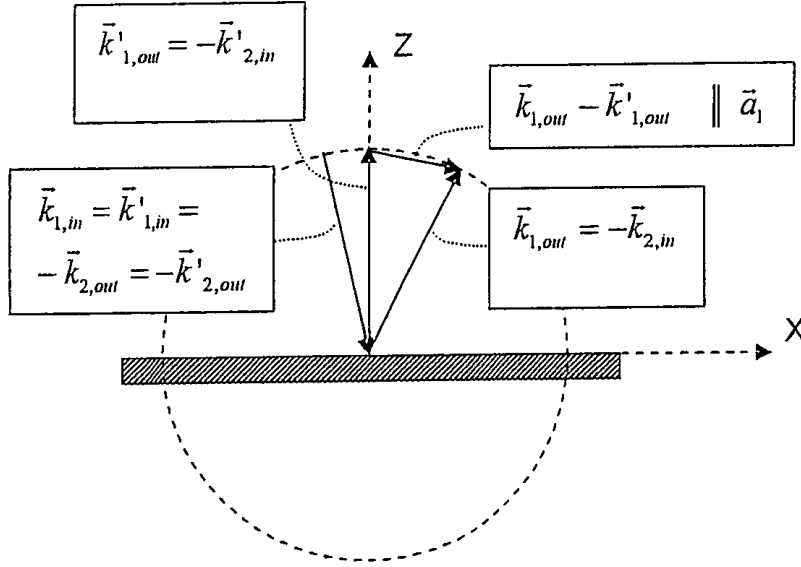


FIG. 4



$$\begin{aligned}\xi_1 &= -\frac{SP}{2\pi} \cdot [(\vec{k}_{1,out} - \vec{k}_{1,in} + \vec{k}_{2,out} - \vec{k}_{2,in}) - (\vec{k}'_{1,out} - \vec{k}'_{1,in} + \vec{k}'_{2,out} - \vec{k}'_{2,in})] \cdot \Delta \vec{x}_M \\ &= -\frac{SP}{2\pi} \cdot 2 \cdot (\vec{k}_{1,out} - \vec{k}'_{1,out}) \cdot \Delta \vec{x}_M\end{aligned}$$

FIG. 5

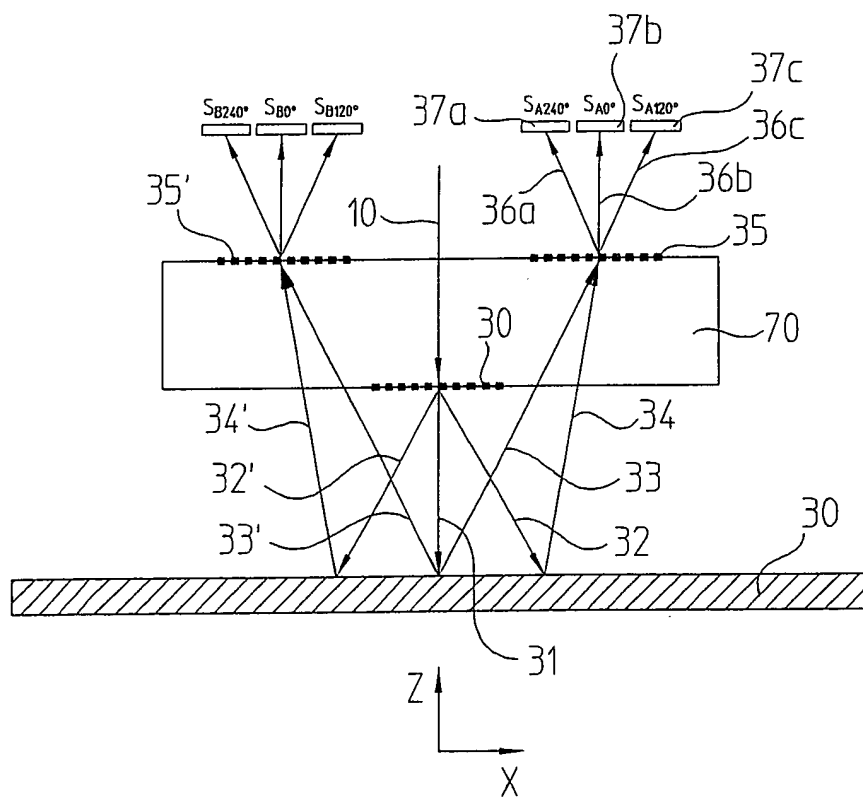
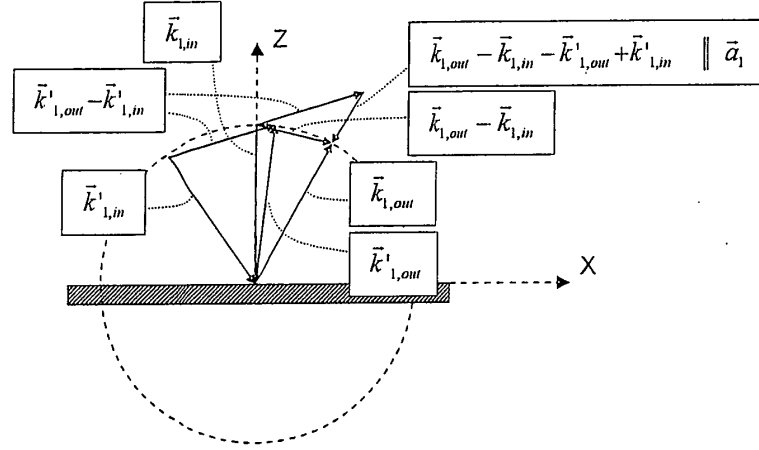


FIG. 6



$$\xi_1 = -\frac{SP}{2\pi} \cdot [(\vec{k}_{1,out} - \vec{k}_{1,in}) - (\vec{k}'_{1,out} - \vec{k}'_{1,in})] \cdot \Delta \vec{x}_M$$