

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 936 530**

51 Int. Cl.:

G02B 7/02 (2011.01)

G02B 7/182 (2011.01)

G03F 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2019** **PCT/EP2019/075695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020** **WO20064721**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2019** **E 19782496 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022** **EP 3857281**

54 Título: **Soporte de un elemento óptico**

30 Prioridad:

25.09.2018 DE 102018216344

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

17.03.2023

73 Titular/es:

CARL ZEISS SMT GMBH (100.0%)
Rudolf-Eber-Strasse 2
73447 Oberkochen, DE

72 Inventor/es:

KUGLER, JENS;
GEUPPERT, BERNHARD y
KHARITONOV, ALEXANDER

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 936 530 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

Soporte de un elemento óptico

5 REFERENCIA CRUZADA CON SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente alemana n.º 10 2018 216 344.8 (fecha de presentación: 25 de septiembre de 2018).

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a una disposición óptica. Así mismo, la invención se refiere a un dispositivo de formación de imágenes ópticas que comprende una disposición óptica de este tipo, a un método correspondiente para soportar un elemento óptico, a un método correspondiente de formación de imágenes ópticas, y a un método para diseñar una disposición óptica correspondiente. La invención se puede utilizar junto con cualquier método de formación de imágenes ópticas deseado. Se puede utilizar de manera especialmente ventajosa en la producción o la exploración de circuitos microelectrónicos y de los componentes ópticos utilizados en ellos (por ejemplo, máscaras ópticas).

Los dispositivos ópticos utilizados junto con la producción de circuitos microelectrónicos normalmente comprenden una pluralidad de unidades de elementos ópticos que comprenden uno o más elementos ópticos, tales como elementos de lente, espejos o retículas ópticas, que están dispuestas en la trayectoria de la luz de formación de imágenes. Dichos elementos ópticos normalmente cooperan en un proceso de formación de imágenes para transferir una imagen de un objeto (por ejemplo, un patrón formado en una máscara) sobre un sustrato (por ejemplo, lo que se denomina oblea). Los elementos ópticos normalmente se combinan en uno o más grupos funcionales que, si es necesario, se albergan en unidades de formación de imágenes separadas. Específicamente, en el caso de sistemas principalmente refractivos que operan con una longitud de onda en el llamado rango ultravioleta de vacío (VUV, por sus siglas en inglés, por ejemplo, a una longitud de onda de 193 nm), tales unidades de formación de imágenes a menudo se forman a partir de una pila de módulos ópticos que contienen uno o más elementos ópticos. Dichos módulos ópticos normalmente comprenden una estructura de soporte que tiene una unidad de soporte exterior sustancialmente en forma de anillo, que soporta una o más sujeciones de elementos ópticos, sosteniendo estas últimas a su vez el elemento óptico.

La miniaturización cada vez mayor de los componentes semiconductores genera una demanda constante de una mayor resolución de los sistemas ópticos utilizados para su producción. Esta demanda de mayor resolución requiere la demanda de una mayor apertura numérica (NA, por sus siglas en inglés) y una mayor precisión de formación de imágenes de los sistemas ópticos.

Un enfoque para obtener una mayor resolución óptica consiste en reducir la longitud de onda de la luz utilizada en el proceso de formación de imágenes. La tendencia de los últimos años ha favorecido el desarrollo de sistemas en los que se utiliza luz en el llamado rango ultravioleta extremo (EUV, por sus siglas en inglés), normalmente en longitudes de onda de 5 nm a 20 nm, en la mayoría de los casos a una longitud de onda de aproximadamente 13 nm. En este rango EUV deja de ser posible utilizar sistemas ópticos refractivos convencionales. Esto se debe al hecho de que en este rango de EUV, los materiales utilizados para los sistemas ópticos refractivos tienen una absorbancia demasiado alta para lograr resultados de formación de imágenes aceptables con la potencia de luz disponible. En consecuencia, en este rango EUV es necesario utilizar sistemas ópticos reflectantes para la formación de imágenes.

Esta transición a sistemas ópticos reflectantes que tienen una apertura numérica alta (por ejemplo, $NA > 0,4$ a $0,5$) en el rango EUV genera dificultades considerables con respecto al diseño del dispositivo de formación de imágenes.

Los factores mencionados anteriormente exigen requisitos muy estrictos con respecto a la posición y/u orientación de los elementos ópticos que participan en la formación de imágenes entre sí y también con respecto a la deformación de los elementos ópticos individuales para conseguir la precisión de formación de imágenes deseada. Además, es necesario mantener esta alta precisión de formación de imágenes durante la operación en su totalidad, y en última instancia, durante la vida útil del sistema.

Como consecuencia, los componentes del dispositivo de formación de imágenes ópticas (es decir, por ejemplo, la máscara, los elementos ópticos y el sustrato) que cooperan durante la formación de imágenes tienen que quedar soportados de una manera bien definida para mantener una relación espacial predefinida y bien definida entre estos componentes y para obtener una deformación no deseada mínima de estos componentes y, así, finalmente conseguir la máxima calidad de formación de imágenes posible.

Con el fin de mantener esta relación espacial predefinida entre los componentes durante todo el proceso de formación de imágenes, es habitual, en el caso de dichos dispositivos de formación de imágenes ópticas, detectar esta relación espacial al menos de forma intermitente y ajustar activamente al menos los componentes individuales que haya entre dichos componentes de una manera que dependan de ella en al menos un grado de libertad (hasta los seis grados de libertad en el espacio). A menudo, se puede aplicar una situación comparable con respecto a la deformación de componentes individuales. Es más, normalmente es necesario mover la máscara y el sustrato de vez en cuando para

obtener imágenes de diferentes regiones del patrón de la máscara sobre diferentes regiones del sustrato.

En este caso, lo que es de particular importancia para la calidad de los circuitos producidos suele ser la llamada precisión de la línea de visión o la llamada superposición (es decir, por lo tanto, la precisión de la alineación de las estructuras individuales de los circuitos). En este caso, los errores en la posición y/u orientación de los elementos ópticos utilizados en diferentes grados de libertad suelen afectar a la precisión de formación de imágenes resultante a distintos niveles. Por lo tanto, principalmente en los grados de libertad en los que los errores tienen un efecto apreciable en la precisión de la formación de imágenes, es importante ejecutar bucles de control en espejo de alto rendimiento que, en concreto, supriman las perturbaciones lo mejor posible o consigan un posicionamiento y/u orientación suficientemente precisos de los componentes que participan en la formación de imágenes, entre ellos mismos o con respecto a sus puntos de referencia o estructuras de referencia respectivos.

Lo problemático en este caso es que los dispositivos de detección (es decir, por ejemplo, los dispositivos de medición tales como interferómetros, codificadores, etc.) utilizados para los bucles de control suelen estar soportados por estructuras de referencia (a menudo denominadas marcos de metrología) que en realidad no se comportan como cuerpos rígidos, sino más bien, debido a perturbaciones mecánicas externas o internas (vibraciones, etc.), quedan sometidos a deformaciones más o menos graves (en concreto, las llamadas deformaciones cuasiestáticas) que los componentes ópticos utilizados, en concreto, los elementos ópticos utilizados, desde luego no están destinados a seguir. En este contexto, el problema es identificar o detectar qué porción de las señales de los dispositivos de medición utilizados resulta de tales deformaciones de la estructura de referencia asociada, y compensar este error de medición para mantener la calidad de formación de imágenes lo más alta posible.

Existen problemas comparables con respecto a los dispositivos de accionamiento utilizados para los bucles de control (es decir, por ejemplo, los actuadores utilizados para configurar activamente los elementos ópticos relevantes en uno o más grados de libertad).

La técnica anterior que divulga disposiciones ópticas según el preámbulo de la reivindicación 1 adjunta está representada por los documentos US2008123203 A1, US2007183064 A1, US2007279768 A1 y US2009021847 A1.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Sobre este trasfondo, la invención se basa en el objeto de proporcionar una disposición óptica, un dispositivo de formación de imágenes ópticas, un método para soportar un elemento óptico, un método de formación de imágenes y un método para diseñar un dispositivo de formación de imágenes que no tengan las desventajas mencionadas con anterioridad, o que las tengan al menos en menor medida, y, en concreto, que permitan mantener una formación de imágenes de buena calidad de forma fiable y sencilla.

La invención se basa en la enseñanza técnica de que, en el caso de una disposición óptica del tipo mencionado en la introducción, se puede conseguir una alta calidad de formación de imágenes de una manera simple si la interacción entre el dispositivo de detección y la unidad de elemento óptico está configurada de tal manera que una matriz de transformación, que represente la transformación o conversión de las señales del dispositivo de detección en los valores de detección utilizados en el control respecto a la posición y/u orientación de una referencia (es decir, por ejemplo, de un punto de referencia) del elemento óptico, tiene un número de condición de 5 a 30, en concreto, de 5 a 20, más preferentemente de 8 a 15. Se puede aplicar una situación comparable si, adicionalmente o como alternativa, la interacción entre el dispositivo de accionamiento y la unidad de elemento óptico está configurada de tal manera que una matriz de transformación, que representa la transformación o conversión de los estados de accionamiento en las unidades de accionamiento del dispositivo de accionamiento en los valores de situación resultantes del control con respecto a la posición y/u orientación de una referencia (es decir, por ejemplo, de un punto de referencia) del elemento óptico, tiene un número de condición de 5 a 30, en concreto, de 5 a 20, más preferentemente de 8 a 15.

Aquí, el número de condición es una medida del condicionamiento del sistema de transferencia. Este último suele estar mejor condicionado cuanto menor sea la relación entre la mayor y la menor singularidad de la matriz de transformación. En consecuencia, por lo tanto, es cierto que el condicionamiento del sistema es mejor, y en consecuencia, por ejemplo, su ganancia de ruido del bucle de control resulta ser mucho más baja, cuanto menor sea el número de condición. De normal, por lo tanto, se aspira a un valor del número de condición de $CN = 1$.

Dicho de otra forma, el número de condición es una medida de la calidad del sistema de transferencia. Un número de condición grande significa que la matriz del sistema de transferencia es casi singular. Para un sistema de medición que determine la posición de un objeto, un número de condición grande significa, por ejemplo, que en al menos una dirección, la posición del objeto puede reconstruirse a partir de los valores de medición solo de manera inexacta. Igualmente, para un sistema de accionamiento que establece la posición de un objeto, por ejemplo, un número de condición grande significa que, al menos en una dirección, la posición del objeto solo se puede establecer de forma poco precisa. Aquí, los pequeños errores (o ruido) en el sistema de medición o en el sistema de accionamiento generan grandes errores de medición o errores de posición, respectivamente.

En el caso extremo más desfavorable, habrá una matriz de transformación singular cuyo determinante será entonces

igual a cero o cuyas filas y/o columnas serán linealmente dependientes. En este caso, entonces, por ejemplo, a partir de los valores de medición ya no se puede reconstruir al menos una dirección o el objeto no se puede ajustar en al menos una dirección, incluso con un gran gasto de fuerza.

5 Al contrario, una matriz de transformación habitualmente considerada como ideal o a la que se debe aspirar tiene el número de condición $CN = 1$. En este caso, un error de medición no se amplifica o se debe aplicar la misma fuerza en todas las direcciones de accionamiento para ajustar el objeto.

10 No obstante, la invención reconoce que, como resultado de la desviación intencional o dirigida del número de condición relevante a partir del número de condición que tiene el valor $CN = 1$, al que se suele aspirar en sistemas de control, en el caso de aplicación en el campo de dichos dispositivos de formación de imágenes ópticas, se puede conseguir un sistema mejorado que tenga una mayor calidad de formación de imágenes. Esto se debe esencialmente al hecho de que dichos sistemas que tienen el número de condición mencionado anteriormente pueden hacerse significativamente más compactos y, por lo tanto, tienen propiedades dinámicas mejoradas que influyen en la calidad del control o la minimización factible del error de formación de imágenes.

El número de condición CN de una matriz de transformación TM es la relación del valor singular mayor $SV_{\max}$ de la matriz de transformación TM y el valor singular menor $SV_{\min}$ de la matriz de transformación, es decir:

$$20 \quad CN(TM) = \frac{SV_{\max}(TM)}{SV_{\min}(TM)}. \quad (1)$$

En este caso, el número de condición CN se puede calcular, por ejemplo, con los valores propios correspondientes EV de las matrices $TM^T TM$ o $TM TM^T$ (en consecuencia, usando la matriz transpuesta TM^T de la matriz de transformación TM), en donde es suficiente una simple transposición de la matriz de transformación TM :

$$25 \quad SV_i(TM) = \sqrt{EV_i(TM^T TM)} = \sqrt{EV_i(TM TM^T)}. \quad (2)$$

30 No hace falta decir aquí que, en principio, tanto el dispositivo de detección como el dispositivo de accionamiento como la unidad de elemento óptico pueden configurarse o adaptarse correspondientemente para conseguir el número de condición CN deseado. En este caso, en última instancia, solo son invariables las condiciones límite ópticas del elemento óptico que están definidas por el uso en el dispositivo de formación de imágenes. En concreto, es posible modificar o adaptar correspondientemente los componentes de la unidad de elemento óptico fuera de la respectiva región utilizada ópticamente de la superficie óptica.

35 Preferentemente, durante el diseño de la disposición óptica, una primera etapa consiste, en primer lugar, en configurar la unidad de elemento óptico y el dispositivo de detección y/o el dispositivo de accionamiento para conseguir el número de condición CN deseado en cada caso. Solo entonces las estructuras de soporte correspondientes y, si fuera necesario, otros componentes adyacentes (por ejemplo, dispositivos de refrigeración y similares) del dispositivo de formación de imágenes ópticas se diseñan en una segunda etapa con las condiciones límite que resultan de la primera etapa. Por tanto, es posible, de una manera relativamente simple, obtener un sistema optimizado con respecto al error de formación de imágenes.

40 Por tanto, según un aspecto, la invención se refiere a una disposición óptica para su uso en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, que comprende una unidad de elemento óptico y un dispositivo de detección y/o un dispositivo de accionamiento, en donde la unidad de elemento óptico comprende al menos un elemento óptico. El dispositivo de detección está configurado para determinar en una pluralidad de M grados de libertad en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección en el respectivo grado de libertad. El dispositivo de detección comprende una pluralidad de N unidades de detección, cada una de las cuales está configurada para emitir una señal de detección que represente una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección en relación con una referencia secundaria asignada al elemento óptico y la unidad de detección respectiva. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de detección definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en M valores de detección. Adicionalmente o como alternativa, el dispositivo actuador está configurado para establecer, en una pluralidad de R grados de libertad en cada caso, un valor de situación que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de accionamiento en el respectivo grado de libertad. El dispositivo de accionamiento comprende una pluralidad de S unidades de accionamiento, cada una de las cuales está configurada para generar un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento con respecto a la unidad de elemento óptico. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de accionamiento definen una matriz de transformación de accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación. Aquí, el número de condición de una matriz de transformación está definido por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación. El dispositivo de detección y/o la unidad de elemento óptico están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más

preferentemente es de 8 a 15. Adicionalmente o como alternativa, el dispositivo de accionamiento y/o la unidad de elemento óptico están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

No hace falta decir que, si fuera necesario, también es posible adaptar solo la unidad de elemento óptico o el dispositivo de detección o el dispositivo de accionamiento con el fin de obtener el número de condición CN deseado o la matriz de transformación de detección o la matriz de transformación de accionamiento correspondientes. Preferentemente, sin embargo, se aprovechan todas las posibilidades de configuración del respectivo emparejamiento (que comprende la unidad de elemento óptico y el dispositivo de detección o el dispositivo de accionamiento). No obstante, resulta particularmente ventajoso si todos estos componentes se adaptan conjuntamente.

No hace falta decir que, en principio, en la matriz de transformación respectiva se pueden tener en cuenta tantos grados de libertad como se desee (hasta los seis grados de libertad en el espacio). Preferentemente, los grados de libertad que se tienen en cuenta en la respectiva matriz de transformación están limitados a aquellos grados de libertad que tienen una influencia apreciable en la calidad de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes. En consecuencia, por tanto, pueden limitarse preferentemente a aquellos grados de libertad en los que un error durante la detección y/o configuración constituya una proporción considerable del presupuesto total de errores del dispositivo de formación de imágenes. Habitualmente, sin embargo, debido a los requisitos de alta precisión, se suelen tener en cuenta los seis grados de libertad en el espacio.

En las variantes preferidas, la pluralidad M tiene, por lo tanto, el valor de 2 a 6, preferentemente de 4 a 6, más preferentemente 6. Adicionalmente o como alternativa, la pluralidad N puede tener el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente puede ser 6. En principio, se puede proporcionar un número diferente de M grados de libertad y N unidades de detección relevantes. Sin embargo, si la pluralidad N es al menos igual a la pluralidad M, aparecen configuraciones particularmente favorables con asignaciones comparativamente simples. No hace falta decir aquí que, si fuera necesario, también es posible proporcionar más unidades de detección (N) que grados de libertad (M) relevantes o considerados (es decir, $N > M$), en consecuencia, puede darse el caso, si fuera necesario, de que $N > 6$, para conseguir una cierta redundancia de las señales de detección (por ejemplo, para poder detectar deformaciones del elemento óptico, si fuera necesario). En este sentido, a modo de ejemplo, se pueden proporcionar al menos dos unidades de detección para uno o varios grados de libertad (en concreto, para los especialmente relevantes para los errores).

Adicionalmente o como alternativa, la pluralidad R puede tener el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente 6. De igual manera, adicionalmente o como alternativa, la pluralidad S puede tener el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente puede ser 6. Aquí, también, en principio, se puede proporcionar un número diferente de R grados de libertad relevantes y S unidades de accionamiento. Sin embargo, a su vez, surgen configuraciones particularmente favorables con una asignación comparativamente simple si la pluralidad S es al menos igual a la pluralidad R. Sin embargo, tampoco hace falta decir aquí que, si fuera necesario, es posible proporcionar más unidades de accionamiento (S) que valores de situación o grados de libertad (R) relevantes o considerados (es decir, $S > R$), en consecuencia, puede darse el caso de que, si fuera necesario, $S > 6$ para obtener una cierta redundancia de las unidades de accionamiento (y, si fuera necesario, también para obtener deformaciones predefinibles del elemento óptico).

La concentración, ya descrita anteriormente, en los grados de libertad que son relevantes con respecto al error de formación de imágenes se realiza en variantes especialmente ventajosas en las que el dispositivo de formación de imágenes ópticas tiene un error de formación de imágenes máximo admisible predefinible durante el funcionamiento, en donde el dispositivo de formación de imágenes está configurado para utilizar los M valores de detección (asignados a los M grados de libertad) para controlar el dispositivo de formación de imágenes, y un error del valor de detección de al menos uno de los M valores de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido. En este caso, el error de valor de detección del al menos un valor de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido. Los grados de libertad o los valores de detección cuya contribución esperada al error de formación de imágenes máximo permitido se encuentra por debajo de este umbral pueden ignorarse, es decir, así, es posible que no encuentren su camino hacia la matriz de transformación de detección. En consecuencia, los grados de libertad o los valores de detección insensibles a errores pueden excluirse de la consideración o no tenerse en cuenta al adaptar el número de condición CN. El error de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes puede ser, por ejemplo, el llamado error de superposición, es decir, el error en la alineación de estructuras en diferentes procesos de exposición.

Adicionalmente o como alternativa, puede estar previsto que la suma de los errores de valor de detección de los M valores de detección contribuya al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido. Esto garantiza que, en cualquier caso, se tengan en cuenta los grados de libertad cuya contribución al error de formación de imágenes total no sea insignificante.

Adicionalmente o como alternativa, también se puede adoptar el mismo enfoque con el dispositivo de accionamiento. Preferentemente, por lo tanto, el dispositivo de formación de imágenes está configurado para establecer los R valores de situación (asignados a los R grados de libertad) en el control del dispositivo de formación de imágenes. Así, un error del valor de situación de al menos uno de los R valores de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido, en donde el error del valor de situación del al menos un valor de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido. También de esta manera, pueden ignorarse los grados de libertad o los valores de situación cuya contribución esperada al error de formación de imágenes máximo permitido se encuentre por debajo de este umbral, es decir, así, es posible que no encuentren su camino hacia la matriz de transformación de accionamiento. En consecuencia, los grados de libertad o los valores de situación insensibles a errores se pueden excluir de la consideración o no tenerse en cuenta en la adaptación del número de condición CN.

Adicionalmente o como alternativa, a su vez, también puede estar previsto que la suma de los errores de valor de situación de los R valores de situación contribuya al error de formación de imágenes máximo admisible de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo admisible, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido. Esto, a su vez, garantiza que se tengan en cuenta en cualquier caso los grados de libertad cuya contribución al error total de formación de imágenes no sea insignificante.

No hace falta decir que, en principio, es posible considerar exclusivamente la matriz de transformación de todas las unidades de detección y/o unidades de accionamiento que vayan a tenerse en cuenta y los grados de libertad asignados. En variantes ventajosas, además de lo mencionado, se tiene en cuenta la matriz de transformación para uno o más pares de unidades de detección y/o unidades de accionamiento. Esto puede resultar particularmente ventajoso, por ejemplo, si dichos pares se refieren a grados de libertad particularmente sensibles, es decir, grados de libertad en los que un error constituye una proporción particularmente alta del error de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes.

En tales variantes entonces, preferentemente al menos dos de las N unidades de detección, en concreto cada dos de las N unidades de detección, forman un par de unidades de detección, en donde cada una de las unidades de detección del par de unidades de detección con su referencia secundaria asignada define una dirección de detección. Preferentemente, las direcciones de detección de las dos unidades de detección del par de unidades de detección se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de detección. A continuación, el par de unidades de detección se configura para determinar, en cada caso, en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de detección en el plano del par de unidades de detección, un valor de detección del par de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de detección (asignada al par de unidades de detección) del elemento óptico en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de detección. Así pues, la unidad de elemento óptico y el par de unidades de detección definen una matriz de transformación del par de detección que representa la transformación de las señales de detección del par de unidades de detección en los valores de detección del par de detección. Aquí, también, el par de unidades de detección y/o la unidad de elemento óptico están configurados preferentemente de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación del par de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15. En consecuencia, de esta manera, es posible conseguir un condicionamiento favorable del par de unidades de detección individuales o de una pluralidad de tales pares de unidades de detección.

En variantes ventajosas específicas, al menos uno de los grados de libertad del par de detección es un grado de libertad de traslación y uno de los grados de libertad del par de detección es un grado de libertad de rotación, ya que un grado de libertad de traslación y un grado de libertad de rotación de dicho par a menudo influyen considerablemente en el error de formación de imágenes.

En estas variantes, la referencia de elemento se puede disponer, en principio, en cualquier ubicación adecuada en relación con el par de unidades de detección, en concreto, con el plano del par de unidades de detección. En principio, resulta especialmente ventajoso que la referencia de elemento del elemento óptico esté dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de detección. Adicionalmente o como alternativa, la referencia de elemento del elemento óptico puede coincidir al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de detección del elemento óptico. Si se da este caso, el condicionamiento de la matriz de transformación del par de detección suele ser de particular importancia.

En variantes específicas, se consigue un condicionamiento particularmente favorable del sistema si un ángulo de dirección de detección entre las direcciones de detección del par de unidades de detección es inferior a 120°, preferentemente es de 60° a 110°, más preferentemente es de 75° a 95°. En este caso, el resultado es una relación particularmente favorable entre la ganancia de ruido y las ventajas dinámicas del sistema que surgen como resultado de la desviación del número de condición ideal (CN = 1), mencionándose dichas ventajas en la introducción. Así, dichas ventajas dinámicas compensan con creces la desventaja que resulta de la desviación intencional o dirigida

desde este valor ideal del condicionamiento.

Puede aplicarse una situación comparable en variantes en las que se proporcionan varios pares de unidades de detección, en concreto, tres pares de unidades de detección, y los ángulos de dirección de detección entre las direcciones de detección del respectivo par de unidades de detección se desvían entre sí menos de 10° a 40°, preferentemente de menos de 5° a 25°, más preferentemente de menos de 2° a 15°. En este caso, se obtienen variantes particularmente favorables si las dos referencias secundarias de las unidades de detección de al menos uno de los pares de unidades de detección, en concreto, de todos los pares de unidades de detección, están dispuestas una al lado de la otra. En este caso, resulta especialmente ventajoso y, por lo tanto, se prefiere que las referencias secundarias de las unidades de detección estén dispuestas directamente una al lado de la otra.

En variantes adicionales, se proporcionan varios pares de unidades de detección, en donde los planos del par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados entre sí menos de 5° a 30°, preferentemente menos de 3° a 15°, más preferentemente menos de 1° a 10°. En este caso, puede resultar particularmente ventajoso si los dos planos de pares de unidades de detección se extienden sustancialmente paralelos. Como resultado, se pueden obtener configuraciones particularmente favorables, en especial, si las unidades de detección de los dos pares de unidades de detección cubren los mismos grados de libertad a modo de par. Como se explica con mayor detalle a continuación, por tanto, es posible, en concreto, obtener configuraciones insensibles (o "ciegas") a las oscilaciones de la estructura de soporte; en consecuencia, el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de la estructura de soporte puede mantenerse bajo, particularmente si la dirección de movimiento de la estructura de soporte oscilante se extiende sustancialmente perpendicular a los planos del par de unidades de detección.

Cabe señalar aquí que (a menos que se indique explícitamente lo contrario a continuación) los ángulos entre dos planos que se indican en la presente solicitud siempre se miden en un plano de medición que se extiende en perpendicular a una línea de intersección de los dos planos.

En variantes adicionales, se proporcionan varios pares de unidades de detección, en donde los planos del par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación de menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente de menos de 1° a 10°. En este caso, puede resultar especialmente ventajoso que el ángulo de inclinación con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria sea sustancialmente 0°. Esto genera condicionamientos especialmente favorables con respecto a los errores en los grados de libertad a lo largo de la dirección de la fuerza gravitatoria. Esto es así, en especial, si dichas oscilaciones de la estructura de soporte se dirigen sustancialmente perpendiculares a la dirección de la fuerza gravitatoria.

En variantes adicionales, se proporcionan varios pares de unidades de detección, en donde los planos del par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación y los ángulos de inclinación se diferencian entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°. Esta pequeña diferencia en las inclinaciones de los planos del par de unidades de detección con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria también es particularmente favorable con respecto a un buen condicionamiento del sistema. Específicamente, esto es así principalmente con respecto a los errores en los grados de libertad perpendiculares a la dirección de la fuerza gravitatoria (traslación a lo largo de un grado de libertad perpendicular a la dirección de la fuerza gravitatoria e inclinación o rotación alrededor de un eje perpendicular a la dirección de la fuerza gravitatoria), especialmente en el caso de las oscilaciones antes mencionadas de la estructura de soporte.

Las ventajas de la formación de pares descrita más arriba también se pueden realizar en el contexto del dispositivo de accionamiento. Preferentemente, por lo tanto, al menos dos de las S unidades de accionamiento, en concreto, cada dos de las S unidades de accionamiento, forman un par de unidades de accionamiento, en donde cada una de las unidades de accionamiento del par de unidades de accionamiento define una dirección de accionamiento, y las direcciones de accionamiento de las dos unidades de accionamiento del par de unidades de accionamiento se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de accionamiento. El par de unidades de accionamiento está configurado entonces para establecerse en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de accionamiento en el plano del par de unidades de accionamiento, siendo en cada caso un valor de situación del par que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de accionamiento (asignada al par de unidades de accionamiento) del elemento óptico en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de accionamiento. Así, la unidad de elemento óptico y el par de unidades de detección definen una matriz de transformación del par de accionamiento que representa la transformación de los estados de accionamiento del par de unidades de accionamiento en los valores de situación del par. El par de unidades de accionamiento y/o la unidad de elemento óptico están configurados, a su vez, de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación del par de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

Aquí, también, preferentemente se prevé que al menos uno de los grados de libertad del par de accionamiento sea un grado de libertad de traslación y uno de los grados de libertad del par de accionamiento sea un grado de libertad de

rotación. Adicionalmente o como alternativa, puede estar previsto que un ángulo de dirección de accionamiento entre las direcciones de accionamiento del par de unidades de accionamiento sea inferior a 120°, preferentemente de 60° a 110°, más preferentemente de 75° a 95°. Esto, así mismo, resulta ventajoso respecto al comportamiento de ruido del sistema de control, que será tan favorable como sea posible. Las explicaciones anteriores también son aplicables con respecto a la ubicación de la referencia de elemento. En concreto, preferentemente se prevé que la referencia de elemento del elemento óptico esté dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de accionamiento. Adicionalmente o como alternativa, la referencia de elemento del elemento óptico puede coincidir al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de accionamiento del elemento óptico.

También pueden manifestarse los aspectos y ventajas mencionados con anterioridad de tener en cuenta una pluralidad de pares de unidades de accionamiento o un par de unidades de accionamiento individual. En variantes específicas, por lo tanto, se puede proporcionar una pluralidad de pares de unidades de accionamiento, en concreto, tres pares de unidades de accionamiento, en donde los ángulos de dirección de accionamiento entre las direcciones de accionamiento del respectivo par de unidades de accionamiento se desvían entre sí en menos de 10° a 40°, preferentemente en menos de 5° a 25°, más preferentemente en menos de 2° a 15°. Aquí también, puede estar previsto a su vez que los dos dispositivos de interfaz de las unidades de accionamiento de al menos uno de los pares de unidades de accionamiento, en concreto, de todos los pares de unidades de accionamiento, estén dispuestos uno al lado del otro. Aquí también, resulta ventajoso a su vez si las correspondientes unidades de interfaz estén dispuestas directamente una al lado de la otra.

En variantes adicionales, se puede proporcionar una pluralidad de pares de unidades de accionamiento en donde los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°. Aquí también, puede resultar especialmente ventajoso que los planos del par de unidades de accionamiento se extiendan sustancialmente paralelos. Adicionalmente o como alternativa, en el caso de una pluralidad de pares de unidades de accionamiento, los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento pueden inclinarse con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación de menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente de menos de 1° a 10°. Aquí también, puede resultar especialmente ventajoso si el ángulo de inclinación con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria es sustancialmente de 0°. De igual manera, se puede proporcionar una pluralidad de pares de unidades de accionamiento, en donde los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación y los ángulos de inclinación se diferencian entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°. Con todas estas variantes, las ventajas correspondientes mencionadas anteriormente con respecto a los pares de unidades de detección también se pueden conseguir en el caso del dispositivo de accionamiento.

En principio, las unidades de detección del dispositivo de detección pueden ser compatibles de cualquier manera adecuada mediante una o más estructuras de soporte separadas. En variantes particularmente favorables, el soporte se realiza de tal manera que se tienen en cuenta las frecuencias y formas propias resultantes de la estructura de soporte. En las variantes preferidas, por lo tanto, al menos una de las N unidades de detección está soportada por una estructura de soporte de dispositivo de detección del dispositivo de detección, en donde la estructura de soporte del dispositivo de detección durante la excitación por oscilación en al menos una frecuencia propia tiene al menos una forma propia que está asignada a la frecuencia propia y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación.

En este caso, la al menos una unidad de detección puede disponerse de tal manera, en concreto, puede disponerse cerca del al menos un nodo de oscilación de tal modo que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la al menos una unidad de detección en al menos un grado de libertad de oscilación, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación hasta los seis grados de libertad de oscilación, en al menos una frecuencia propia, genere un cambio en el valor de detección de la unidad de detección, con respecto a un estado de reposo, de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del 1 % al 4 % del valor de detección de la unidad de detección. Preferentemente, el cambio en el valor de detección de la unidad de detección con respecto a un estado de reposo es del 0 % al 0,5 % del valor de detección de la unidad de detección. Lo que se puede conseguir así es que el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de la estructura de soporte se pueda mantener bajo.

Adicionalmente o como alternativa, puede estar previsto que la al menos una unidad de detección con la referencia secundaria asignada defina una dirección de detección, la al menos una unidad de detección en la al menos una frecuencia propia tenga un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación, y la al menos una unidad de detección se disponga de tal manera que la dirección de detección esté inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación que presenta el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°. Como resultado, lo que se puede conseguir ventajosamente es que la unidad de detección o la señal de detección que proporcione sea insensible (o "ciega") a la oscilación de la estructura de soporte; en consecuencia, aquí también, el error introducido en el sistema de control como resultado de la oscilación de la estructura de soporte se puede mantener bajo.

Cabe señalar aquí que este posicionamiento de la al menos una unidad de detección y/o la orientación de la dirección de detección en función de la(s) forma propia(s) de la estructura de soporte constituye en cada caso un concepto de la invención que se puede proteger de forma independiente y que es independiente a la configuración descrita en el presente documento del número de condición de la matriz de transformación de detección y del número de condición de la matriz de transformación de accionamiento, respectivamente. No obstante, si fuera necesario, los efectos y ventajas de estos conceptos inventivos pueden combinarse ventajosamente.

En concreto, las indicaciones anteriores y/o posteriores relativas a los ángulos de dirección de detección, los ángulos mutuos entre los planos del par de unidades de detección y/o de los planos del par de unidades de detección con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria del dispositivo de detección también pueden implementarse ventajosamente sin excepción (sin las estipulaciones anteriores sobre el número de condición) de forma individual o en cualquier combinación deseada con estos otros conceptos inventivos. En este caso, resulta especialmente ventajoso que se elija una configuración del dispositivo de detección lo más simétrica posible. Esto es así, en concreto, para la calidad del control que se puede lograr como resultado. Resulta especialmente ventajoso que la simetría se elija en relación con un plano de simetría y/o un eje de simetría del elemento óptico.

Esto es así, también, para la combinación (adicional o alternativa) con el dispositivo de accionamiento descrito anteriormente y/o a continuación. En consecuencia, las indicaciones anteriores relativas a los ángulos de dirección de accionamiento, los ángulos mutuos entre los planos del par de unidades de accionamiento y/o los planos del par de unidades de accionamiento con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria también pueden implementarse ventajosamente sin excepción (sin las estipulaciones anteriores sobre el número de condición) de forma individual o en cualquier combinación deseada con estos otros conceptos inventivos. Aquí también, la configuración simétrica descrita anteriormente resulta particularmente ventajosa, en concreto, por la calidad del control que puede conseguirse.

En principio, la estructura de soporte se puede diseñar de cualquier manera deseada en cada uno de estos casos. En concreto, se puede elegir una estructura cerrada en forma de marco o de anillo. En variantes específicas en las que se consiguen configuraciones especialmente compactas que se adaptan bien a la trayectoria del haz en el dispositivo de formación de imágenes (es decir, que no bloquean la trayectoria del haz del dispositivo de formación de imágenes), la estructura de soporte del dispositivo de detección comprende una estructura sustancialmente en forma de U para soportar al menos una de las N unidades de detección, en concreto, todas las N unidades de detección. En asociación con estas estructuras abiertas, las variantes anteriores son particularmente ventajosas ya que estas estructuras abiertas suelen tener formas propias comparativamente pronunciadas. Las ventajas mencionadas se manifiestan especialmente bien si al menos una de las N unidades de detección está dispuesta en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U.

Las ventajas y variantes recién resumidas con respecto al soporte del dispositivo de detección también se pueden utilizar (una vez más independientemente de las estipulaciones anteriores sobre el número de condición), en principio, de la misma manera con el dispositivo de accionamiento. En variantes específicas, por lo tanto, se prevé que al menos una de las R unidades de accionamiento esté soportada por una estructura de soporte de dispositivo de accionamiento del dispositivo de accionamiento, en donde la estructura de soporte del dispositivo de accionamiento durante la excitación por oscilación en al menos una frecuencia propia tiene al menos una forma propia que está asignada a la frecuencia propia y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación.

De manera análoga a las explicaciones anteriores, aquí también la al menos una unidad de accionamiento puede estar dispuesta de tal manera, en concreto, puede disponerse cerca del al menos un nodo de oscilación de tal modo que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la al menos una unidad de accionamiento en al menos un grado de libertad de oscilación, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación hasta los seis grados de libertad de oscilación, en la al menos una frecuencia propia, genere un cambio en el estado de accionamiento de la unidad de accionamiento, con respecto a un estado de reposo, de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del 1 % al 4 %, del estado de accionamiento de la unidad de accionamiento. Preferentemente, el cambio en el estado de accionamiento de la unidad de accionamiento con respecto a un estado de reposo es del 0 % al 0,5 % del estado de accionamiento de la unidad de accionamiento. De esta manera, también, lo que se puede conseguir es que, como resultado de las oscilaciones de dicha estructura de soporte, se pueda mantener bajo el error introducido en el sistema de control.

Adicionalmente o como alternativa, la al menos una unidad de accionamiento puede definir una dirección de accionamiento, la al menos una unidad de accionamiento en la al menos una frecuencia propia puede presentar un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación, y la al menos una unidad de accionamiento puede estar dispuesta de tal manera que la dirección de accionamiento esté inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación con el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°. Como resultado, lo que a su vez se puede conseguir ventajosamente es que la unidad de accionamiento o el estado de accionamiento generado por la misma sea lo más insensible (o "ciego") posible a la oscilación de la estructura de soporte; en consecuencia, aquí también, el error introducido en el sistema de control

como resultado de la oscilación de la estructura de soporte se puede mantener bajo.

Aquí también, respecto a variantes que ahorran espacio y obstruyen mínimamente, puede estar previsto que la estructura de soporte del dispositivo de accionamiento comprenda una estructura sustancialmente en forma de U para soportar al menos una de las R unidades de accionamiento, en concreto, todas las R unidades de accionamiento. Una vez más, las ventajas se manifiestan especialmente bien si una de las R unidades de accionamiento está dispuesta en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U.

No hace falta decir que, en principio, cualquier punto o sección adecuado del elemento óptico es apropiado para la referencia de elemento del elemento óptico. Aparecen configuraciones especialmente favorables si la referencia de elemento del elemento óptico es un baricentro de área de una superficie óptica del elemento óptico. Alternativamente, la referencia de elemento del elemento óptico puede ser un centroide de masa del elemento óptico. De igual manera, la referencia de elemento del elemento óptico puede ser un centroide de volumen del elemento óptico. Por último, el elemento óptico se proporciona para su uso en un dispositivo de formación de imágenes en donde la referencia de elemento del elemento óptico puede ser entonces un punto de incidencia de un rayo central de un haz de luz utilizado del dispositivo de formación de imágenes. En todos estos casos, se pueden conseguir resultados particularmente favorables.

En principio, cualquier elemento óptico deseado es apropiado para constituir el elemento óptico. En este sentido, puede introducirse un elemento óptico reflexivo, refractivo o difractivo o un tope. Las ventajas de la invención se manifiestan particularmente bien si el elemento óptico está configurado para su uso con luz UV, en concreto, a una longitud de onda en el rango ultravioleta de vacío (VUV) o en el rango ultravioleta extremo (EUV), en concreto, a una longitud de onda de 5 nm a 20 nm.

Para las unidades de detección es posible utilizar, en principio, cualquier principio de acción adecuado con el que se pueda lograr la señal de detección deseada o el valor de detección deseado con suficiente precisión. Lo mismo aplica a las correspondientes referencias secundarias asignadas. En variantes preferidas por su sencillez y gran precisión, al menos una unidad de detección, en concreto, cada unidad de detección, comprende un interferómetro, en donde la referencia secundaria en concreto comprende un elemento reflectante. Adicionalmente o como alternativa, al menos una unidad de detección, en concreto, cada unidad de detección, puede comprender un codificador, en donde la referencia secundaria comprende entonces preferentemente una retícula reflectante.

Para las unidades de accionamiento también es posible aplicar, en principio, cualquier principio de acción adecuado que satisfaga los requisitos de precisión que se impongan en el dispositivo de formación de imágenes. Se pueden obtener configuraciones particularmente simples si al menos una unidad de accionamiento, en concreto, cada unidad de accionamiento, comprende al menos un actuador, en concreto, comprende un actuador de fuerza y/o un actuador de desplazamiento.

La presente invención se refiere, además, a un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía y/o inspección de obleas, que comprende un dispositivo de iluminación que tiene un primer grupo de elementos ópticos, un dispositivo de objeto para recibir un objeto, un dispositivo de proyección que tiene un segundo grupo de elementos ópticos y un dispositivo de imagen, en donde el dispositivo de iluminación está configurado para iluminar el objeto y el dispositivo de proyección está configurado para proyectar una imagen del objeto sobre el dispositivo de imagen. El dispositivo de iluminación y/o el dispositivo de proyección comprende al menos una disposición óptica según la invención, cuyo elemento óptico forma parte del correspondiente grupo de elementos ópticos. Preferentemente, se proporciona un dispositivo de control que está conectado al dispositivo de detección y al dispositivo de accionamiento y está configurado para activar el dispositivo de accionamiento dependiendo de las señales del dispositivo de detección. Las variantes y ventajas descritas anteriormente en el contexto de la disposición óptica según la invención se pueden realizar en la misma medida, por lo que, en este sentido, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

La presente invención se refiere además a un método para soportar una unidad de elemento óptico que tiene un elemento óptico en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, en donde un dispositivo de detección que tiene una pluralidad de N unidades de detección en una pluralidad de M grados de libertad determina en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección en el respectivo grado de libertad, en donde cada unidad de detección emite una señal de detección que representa una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección en relación con una referencia secundaria asignada al elemento óptico y a la unidad de detección respectiva. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de detección definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en M valores de detección. Adicionalmente o como alternativa, un dispositivo de accionamiento que tiene una pluralidad de S unidades de accionamiento en una pluralidad de R grados de libertad ajusta en cada caso un valor de situación que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de accionamiento en el respectivo grado de libertad. Cada unidad de accionamiento genera un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento con respecto a la unidad de elemento óptico. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de accionamiento definen una matriz de transformación de

accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación. Aquí, el número de condición de una matriz de transformación se define de nuevo por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación. En el presente documento, el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15. Adicionalmente o como alternativa, el número de condición de la matriz de transformación de actuación es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15. Las variantes y ventajas descritas anteriormente en el contexto de la disposición óptica según la invención también se pueden realizar en la misma medida, por lo que, en este sentido, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

La presente invención se refiere además a un método de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía y/o inspección de obleas, en donde un objeto se ilumina gracias a un dispositivo de iluminación que tiene un primer grupo de elementos ópticos y se forman imágenes del objeto en un dispositivo de imagen por medio de un dispositivo de proyección que tiene un segundo grupo de elementos ópticos. Se utiliza un método según la invención para soportar una unidad de elemento óptico en el dispositivo de iluminación y/o el dispositivo de proyección, en concreto, mientras se ejecuta la formación de imágenes. Las variantes y ventajas descritas anteriormente en el contexto de la disposición óptica según la invención también se pueden realizar en la misma medida, por lo que, en este sentido, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

Por último, la presente invención se refiere a un método para diseñar una disposición óptica para su uso en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, que comprende una unidad de elemento óptico y un dispositivo de detección y/o un dispositivo de accionamiento, en donde la unidad de elemento óptico comprende al menos un elemento óptico. En este método, el dispositivo de detección está configurado para determinar en una pluralidad de M grados de libertad en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección en el respectivo grado de libertad. En este caso, el dispositivo de detección comprende una pluralidad de N unidades de detección, cada una de las cuales está configurada para emitir una señal de detección que represente una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección en relación con una referencia secundaria asignada al elemento óptico y la unidad de detección respectiva. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de detección definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en M valores de detección. Adicionalmente o como alternativa, el dispositivo actuador está configurado para establecer, en una pluralidad de R grados de libertad en cada caso, un valor de situación que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de accionamiento en el respectivo grado de libertad. En este caso, el dispositivo de accionamiento comprende una pluralidad de S unidades de accionamiento, cada una de las cuales está configurada para generar un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento con respecto a la unidad de elemento óptico. La unidad de elemento óptico y el dispositivo de accionamiento definen una matriz de transformación de accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación. Aquí, el número de condición de una matriz de transformación está definido por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación. El dispositivo de detección y/o la unidad de elemento óptico están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15, en donde, preferentemente en una primera etapa de configuración, se configuran el dispositivo de detección y la unidad de elemento óptico y, en una segunda etapa de configuración posterior, una estructura de soporte del dispositivo de detección y/o una estructura de soporte de la unidad de elemento óptico se configuran dependiendo del resultado de la primera etapa de configuración. Adicionalmente o como alternativa, el dispositivo de accionamiento y/o la unidad de elemento óptico están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15, en donde, preferentemente, en una primera etapa de configuración, se configuran el dispositivo de accionamiento y la unidad de elemento óptico y, en una segunda etapa de configuración posterior, una estructura de soporte del dispositivo de accionamiento y/o una estructura de soporte de la unidad de elemento óptico se configuran dependiendo del resultado de la primera etapa de configuración. Las variantes y ventajas descritas anteriormente en el contexto de la disposición óptica según la invención también se pueden realizar en la misma medida, por lo que, en este sentido, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

A partir de las reivindicaciones dependientes y de la siguiente descripción de realizaciones ilustrativas preferidas se dilucidan otros aspectos y realizaciones ilustrativas de la invención que se refieren a las figuras adjuntas. Todas las combinaciones de las características divulgadas, independientemente de que sean o no objeto de una reivindicación, se encuentran dentro del alcance de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una ilustración esquemática de una realización preferida de un aparato de exposición por proyección según la invención, que comprende una realización preferida de una disposición óptica según la invención y que puede implementar las realizaciones preferidas de los métodos según la invención.

La figura 2 es una vista delantera esquemática de una variante de la disposición óptica según la invención de la

figura 1.

La figura 3 es una vista lateral esquemática de la disposición óptica de la figura 2 desde la dirección III de la figura 2.

La figura 4 es una vista lateral esquemática de la disposición óptica de la figura 2 desde la dirección IV de la figura 2.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Una primera realización ilustrativa preferida de un aparato de exposición por proyección 101 según la invención, que comprende una realización preferida de un módulo óptico según la invención, se describe a continuación con referencia a las figuras 1 a 3. Para simplificar las siguientes explicaciones, se indica en los dibujos un sistema de coordenadas x, y, z, correspondiendo la dirección z a la dirección de la fuerza gravitatoria. Huelga decir que, en otras configuraciones, es posible elegir cualquier otra orientación deseada de un sistema de coordenadas x, y, z.

La figura 1 es una ilustración muy esquemática que no está a escala del aparato de exposición por proyección 101, que se puede utilizar en un proceso microlitográfico para producir componentes semiconductores. El aparato de exposición por proyección 101 comprende un dispositivo de iluminación 102 y un dispositivo de proyección 103. El dispositivo de proyección 103 está diseñado para transferir, en un proceso de exposición, una imagen de una estructura de una máscara 104.1, que está dispuesta en una unidad de máscara 104, sobre un sustrato 105.1, que está dispuesto en una unidad de sustrato 105. Para ese fin, el dispositivo de iluminación 102 ilumina la máscara 104.1 (por medio de dispositivo de orientación del haz, no ilustrado en detalle de forma más específica). El dispositivo de proyección óptica 103 recibe la luz de la máscara 104.1 y proyecta la imagen de la estructura de la máscara 104.1 sobre el sustrato 105.1, como, por ejemplo, una oblea o similar.

El dispositivo de iluminación 102 comprende un grupo de elementos ópticos 106 que tiene un módulo óptico 106.1. El dispositivo de proyección 103 comprende un grupo de elementos ópticos 107 que presenta una disposición óptica según la invención en forma de módulo óptico 107.1. Los módulos ópticos 106.1, 107.1 de los grupos de elementos ópticos 106, 107 están dispuestos a lo largo de una trayectoria de haz óptico doblado 101.1 del aparato de exposición por proyección 101. Cada uno de los grupos de elementos ópticos 106, 107 puede comprender una multiplicidad de módulos ópticos 106.1, 107.1.

En la presente realización ilustrativa, el aparato de exposición por proyección 101 funciona con luz en el rango EUV (rango UV extremo), con longitudes de onda entre 5 nm y 20 nm, en concreto, con una longitud de onda alrededor de 13 nm. Los módulos ópticos 106.1, 107.1 del dispositivo de iluminación 102 y del dispositivo de proyección 103 son, por lo tanto, elementos ópticos exclusivamente reflectantes en el presente ejemplo. En otras configuraciones de la invención, por supuesto, también es posible (en concreto, dependiendo de la longitud de onda de la luz de iluminación) utilizar cualquier tipo de elementos ópticos (refractivos, reflectantes, difractivos) solos o en cualquier combinación deseada. En concreto, el dispositivo de iluminación 102 y/o el dispositivo de proyección 103 de uno o más (si procede, incluso todos) módulos ópticos pueden comprender una disposición según la invención, similar al módulo 107.1. En otras variantes de la invención, el dispositivo de formación de imágenes 101 (con las adaptaciones correspondientes con respecto a los componentes y su disposición) se puede utilizar, por ejemplo, con fines de inspección, por ejemplo, para la inspección de obleas.

La figura 2 muestra un detalle de una realización ilustrativa de un módulo óptico 107.1 según la invención. Como puede apreciarse en la figura 2, el módulo óptico 107.1 comprende una unidad de elemento óptico 108 y una estructura de soporte 109 del dispositivo de proyección 103. La unidad de elemento óptico 108 comprende un elemento óptico 108.1 que tiene una superficie óptica 108.2 que se utiliza al menos parcialmente de forma óptica durante el funcionamiento.

El elemento óptico 108.1 está unido a la estructura de soporte 109 por medio de un dispositivo de accionamiento en forma de dispositivo actuador 110. En este caso, el dispositivo actuador 110 soporta el elemento óptico 108.1 de forma estáticamente determinada sobre la estructura de soporte 109. Para poder ajustar activamente la unidad de elemento óptico 108 con el elemento óptico 108.1 durante el funcionamiento del dispositivo de formación de imágenes 101, el dispositivo de accionamiento 110 en el presente ejemplo está configurado para establecer o ajustar, respectivamente, una posición y/u orientación de la unidad de elemento óptico 108 y, por lo tanto, del elemento óptico 108.1 en los seis grados de libertad DOF en el espacio que está bajo el control de un dispositivo de control 111. No hace falta decir que, en otras variantes, el dispositivo de accionamiento 110 también puede mover el elemento óptico 108.1 solo en menos de seis grados de libertad DOF en el espacio. En concreto, el movimiento de accionamiento se puede limitar a solo dos grados de libertad DOF.

En variantes específicas, se puede proporcionar, si fuera necesario, un dispositivo de compensación de fuerza gravitatoria (no ilustrado), cinemáticamente paralelo al dispositivo actuador 110, absorbiendo dicho dispositivo de compensación de fuerza gravitatoria al menos sustancialmente la fuerza de peso que actúa sobre la unidad de elemento óptico 108, de tal manera que durante el funcionamiento el dispositivo actuador 110 solo tenga que aplicar fuerzas de aceleración para los movimientos de accionamiento en la unidad de elemento óptico 108.

El módulo óptico 107.1 comprende además un dispositivo de detección 112 configurado para determinar, en una pluralidad de M grados de libertad (DOF) en cada caso, un valor de detección EW_i ($i = 1 \dots M$) que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 en relación con una referencia primaria PRE del dispositivo de detección 112 en el respectivo grado de libertad DOF.

Con este fin, el dispositivo de detección 112 comprende una pluralidad de N unidades de detección 112.1, que están soportadas por una estructura de soporte 113, normalmente denominada marco de metrología, del dispositivo de formación de imágenes 101. Cada una de las unidades de detección 112.1 está configurada para emitir una señal de detección ES_j ($j = 1 \dots N$) al dispositivo de control 111 (como se ilustra solo para una de las unidades de detección 112.1 por razones de claridad en la figura 2). Luego el dispositivo de control 111 utiliza los valores de detección EW_i durante el funcionamiento del dispositivo de formación de imágenes 101 para activar el dispositivo de accionamiento 110 de acuerdo con las estipulaciones del método de formación de imágenes llevado a cabo, para así minimizar uno o más errores de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes 101. En consecuencia, se ejecuta un bucle de control RK que comprende el dispositivo de accionamiento 110, el dispositivo de control 111 y el dispositivo de detección 112.

En este caso, la respectiva señal de detección ES_j ($j = 1 \dots N$) representa una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección 112.1 con respecto a una referencia secundaria 112.2 asignada al elemento óptico 108.1 y a la respectiva unidad de detección 112.1.

Para las unidades de detección 112.1, es posible utilizar, en principio, cualquier principio de acción adecuado con el que pueda lograrse con suficiente precisión la señal de detección deseada ES_j o el valor de detección deseado EW_i . Lo mismo aplica a las correspondientes referencias secundarias asignadas 112.2. En el presente ejemplo, todas las unidades de detección 112.1 comprenden, cada una, un interferómetro, ya que de este modo se pueden realizar mediciones de alta precisión de una manera especialmente sencilla. En consecuencia, todas las referencias secundarias 112.2 comprenden un elemento reflectante (por ejemplo, un espejo de interferómetro) conectado a la unidad de elemento óptico 108.

Huelga decir, sin embargo, que en otras variantes es posible utilizar cualquier otro principio de medición que permita una medición suficientemente precisa. A modo de ejemplo, una unidad de detección individual o todas las unidades de detección 112.1 también pueden comprender un codificador, en donde la referencia secundaria 112.2 comprende entonces preferentemente una retícula reflectante (unidimensional o bidimensional).

En este caso, la unidad de elemento óptico 108 y el dispositivo de detección 112 definen una matriz de transformación de detección ETM que representa la transformación de las N señales de detección ES_j en los M valores de detección EW_i . En consecuencia, se cumple la siguiente relación para el vector $\overrightarrow{EW}_i$ de los valores de detección EW_i y el vector $\overrightarrow{ES}_j$ de las señales de detección ES_j :

$$\overrightarrow{EW}_i = (ETM)\overrightarrow{ES}_j. \quad (3)$$

El dispositivo de detección 112 y la unidad de elemento óptico 108 están configurados en el presente ejemplo (como se describe con mayor detalle a continuación) de tal manera que el número de condición CN_{ETM} de la matriz de transformación de detección ETM, determinándose dicho número de condición de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) anteriores, tiene el valor $CN_{ETM} = 11$. En otras variantes, se puede prever que el número de condición CN_{ETM} de la matriz de transformación de detección ETM sea de 5 a 30, en concreto, sea de 5 a 20, más preferentemente, que sea de 8 a 15.

Aquí, el número de condición CN_{ETM} de la matriz de transformación de detección ETM es una medida del condicionamiento del sistema de transferencia entre los valores de entrada (es decir, las señales de detección ES_j) y los valores de salida (es decir, los valores de detección EW_i). Dicho sistema de transferencia se suele condicionar mucho mejor cuanto menor sea la desviación entre las singularidades de la matriz de transformación TM. En consecuencia, por lo tanto, es cierto que el condicionamiento del sistema de control es mucho mejor, en consecuencia, por ejemplo, una ganancia de ruido de un bucle de control resulta ser mucho más baja, cuanto menor sea el número de condición CN. Habitualmente, por lo tanto, se aspira a un valor del número de condición de $CN = 1$.

No obstante, la invención reconoce que, como resultado de la desviación intencional o dirigida del número de condición CN_{ETM} a partir del número de condición que tiene el valor $CN = 1$, al que se suele aspirar en sistemas de control, en el caso de aplicarlo en el dispositivo de formación de imágenes 101, se puede conseguir un sistema mejorado que tenga una mayor calidad de formación de imágenes. Esto se debe esencialmente al hecho de que el módulo óptico 107.1 que tiene un número de condición CN_{ETM} , como se definió con anterioridad, puede hacerse significativamente más compacto y, por lo tanto, tener propiedades dinámicas mejoradas que influyen en la calidad del control o en la minimización factible del error de formación de imágenes.

Además de esto, en el presente ejemplo, el dispositivo de accionamiento 110 está configurado para establecer, en

una pluralidad de R grados de libertad DOF en cada caso, un valor de situación LW_p ($p = 1 \dots R$) que representa una posición u orientación relativa de la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 en relación con una referencia primaria PRS del dispositivo de accionamiento 110 en el respectivo grado de libertad. Con este fin, el dispositivo de accionamiento 110 comprende una pluralidad de S unidades de accionamiento 110.1, cada una de las cuales está configurada para generar, bajo el control del dispositivo de control 111, un estado de accionamiento AS_q ($q = 1 \dots S$) en una interfaz 110.2 de la unidad de accionamiento 110.1 con respecto a la unidad de elemento óptico 108 (como se ilustra solo para una de las unidades de accionamiento 110.1 por razones de claridad en la figura 2).

La unidad de elemento óptico 108 y el dispositivo de accionamiento 110 definen a su vez una matriz de transformación de accionamiento STM que representa la transformación de los S estados de accionamiento AS_q en los R valores de situación LW_p . En consecuencia, por lo tanto, la siguiente relación se cumple para el vector $\overrightarrow{LW_p}$ de los valores de situación LW_p y el vector $\overrightarrow{AS_q}$ de los estados de accionamiento AS_q :

$$\overrightarrow{LW_p} = (STM)\overrightarrow{AS_q} \quad (4)$$

El dispositivo de accionamiento 110 y la unidad de elemento óptico 108 están configurados en el presente ejemplo (como se describe con mayor detalle a continuación) de tal manera que el número de condición CN_{STM} de la matriz de transformación de accionamiento STM, determinándose dicho número de condición de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) anteriores, tiene el valor $CN_{STM} = 15$. En otras variantes, sin embargo, también se puede prever que el número de condición CN_{STM} sea de 5 a 30, en concreto, sea de 5 a 20, más preferentemente, que sea de 8 a 15.

La invención reconoce que, también, como resultado de la desviación intencional o dirigida del número de condición CN_{STM} a partir del número de condición que tiene el valor $CN = 1$, al que se suele aspirar en sistemas de control, en el caso de aplicarlo en el dispositivo de formación de imágenes 101, se puede conseguir un sistema mejorado que tenga una mayor calidad de formación de imágenes. Esto se debe esencialmente al hecho de que el módulo óptico 107.1, que también tiene uno de los números de condición CN_{STM} mencionados anteriormente, se puede hacer significativamente más compacto y, por lo tanto, tiene propiedades dinámicas mejoradas que influyen en la calidad del control o en la minimización factible del error de formación de imágenes. Las explicaciones anteriores sobre el número de condición para el dispositivo de detección 112 también valen igualmente para el dispositivo de accionamiento 110.

Así mismo, para las unidades de accionamiento 110.1 es posible aplicar, en principio, cualquier principio de acción adecuado que satisfaga los requisitos de precisión impuestos en el dispositivo de formación de imágenes 101. Pueden obtenerse configuraciones especialmente sencillas si al menos una unidad de accionamiento 110.1, en concreto (en el presente ejemplo) cada unidad de accionamiento 110.1, comprende al menos un actuador. Este es un actuador de fuerza en el presente ejemplo. Sin embargo, también es posible utilizar cualquier otro actuador, en concreto, actuadores de desplazamiento, en una o más unidades de accionamiento 110.1.

Cabe mencionar nuevamente aquí que, en principio, tanto el dispositivo de detección 112 o el dispositivo de accionamiento 110 como la unidad de elemento óptico 108 pueden configurarse o adaptarse en consecuencia para conseguir el número de condición deseado CN_{ETM} o CN_{STM} , respectivamente. En este caso, en última instancia, solo son invariables las condiciones límite ópticas del elemento óptico 108.1 que están definidas por el uso en el dispositivo de formación de imágenes 101. En concreto, es posible modificar o adaptar correspondientemente los componentes de la unidad de elemento óptico 108 fuera de la respectiva región ópticamente utilizada de la superficie óptica 108.2.

En el presente ejemplo, durante el diseño del módulo óptico 107.1, en primer lugar, una primera etapa consiste en configurar la unidad de elemento óptico 108 y el dispositivo de detección 112 y/o el dispositivo de accionamiento 110 para lograr la condición número CN_{ETM} , respectivamente CN_{STM} , deseado en cada caso. Solo entonces las correspondientes estructuras de soporte 109 y 113, respectivamente, y, si fuera necesario, otros componentes adyacentes (por ejemplo, dispositivos de refrigeración y similares) del dispositivo de formación de imágenes ópticas 101 se diseñarán en una segunda etapa con las condiciones límite resultantes de la primera etapa. Por tanto, es posible, de una manera relativamente simple, obtener un dispositivo de formación de imágenes 101 que esté optimizado con respecto al error de formación de imágenes.

Como ya se explicó anteriormente, no hace falta decir que, en otras variantes, si procede, también es posible que solo se adapte la unidad de elemento óptico 108 o el dispositivo de detección 112 o el dispositivo de accionamiento 110 para obtener el número de condición deseado CN_{ETM} o CN_{STM} , respectivamente, o la matriz de transformación de detección ETM correspondiente o la matriz de transformación de accionamiento STM. Preferentemente, como en el presente ejemplo, sin embargo, se aprovechan todas las posibilidades de configuración para el respectivo emparejamiento (que comprende la unidad de elemento óptico 108 y el dispositivo de detección 112 o que comprende la unidad de elemento óptico 108 y el dispositivo de accionamiento 110). Resulta particularmente ventajoso que todos estos componentes 108, 110 y 112 estén adaptados en conjunto.

Tal y como ya se ha mencionado, en principio, en la respectiva matriz de transformación ETM o STM se pueden tener en cuenta tantos grados de libertad como se desee (hasta los seis grados de libertad en el espacio). Preferentemente, los grados de libertad DOF que se tienen en cuenta en la respectiva matriz de transformación ETM o STM para el

respectivo módulo óptico 107.1 están limitados a aquellos grados de libertad DOF que, en asociación con movimientos en el módulo óptico 107.1, influyen notablemente en la calidad de la formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes 101. En consecuencia, por lo tanto, pueden limitarse preferentemente a aquellos grados de libertad DOF en los que un error durante la detección por parte del dispositivo de detección 112 y/o un error durante la configuración por parte del dispositivo de accionamiento 110 constituye una proporción apreciable del presupuesto total de errores del dispositivo de formación de imágenes. 101.

En el presente ejemplo, tanto la detección como la configuración se efectúan en cada caso en los seis grados de libertad en el espacio. En consecuencia, la pluralidad de grados de libertad DOF es, en primer lugar, $M = 6$ para la detección por medio del dispositivo de detección 112 y $R = 6$ para la configuración por medio del dispositivo de accionamiento 110. En este caso se utilizan una pluralidad de $N = 6$ unidades de detección 112.1 y referencias secundarias asociadas 112.2. De igual manera, se utilizan varias unidades de accionamiento $S = 6$, que se disponen como cinemática paralela en forma de hexápodo en el presente ejemplo.

Como ya se mencionó anteriormente, en otras variantes, sin embargo, también se puede prever que la pluralidad M de grados de libertad DOF para la detección tenga el valor de 2 a 6, preferentemente de 4 a 6, más preferentemente 6. De igual manera, la pluralidad N de unidades de detección 112.1 puede tener el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente 6. En principio, se puede proporcionar un número diferente de M grados de libertad relevantes DOF y N unidades de detección 112.1. No obstante, aparecen configuraciones particularmente favorables con asignaciones comparativamente simples, si, como en el presente ejemplo, la pluralidad N es al menos igual a la pluralidad M . Además, como se ha mencionado, también puede ocurrir que: $N > M$.

De igual manera, la pluralidad R de grados de libertad DOF para la configuración puede tener el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente 6. Aquí, también, la pluralidad S de unidades de accionamiento 110.1 tiene el valor de 2 a 6, preferentemente puede ser de 4 a 6, más preferentemente 6. Aquí, también, en principio, se puede proporcionar un número diferente de R grados de libertad DOF y S unidades de accionamiento 110.1 relevantes. No obstante, una vez más aparecen configuraciones particularmente favorables con una asignación comparativamente simple si, como en el presente ejemplo, la pluralidad S es al menos igual a la pluralidad R .

La concentración, ya descrita anteriormente, en los grados de libertad DOF que son relevantes con respecto al error de formación de imágenes se realiza en variantes especialmente ventajosas. En este caso, el dispositivo de formación de imágenes ópticas 101 tiene un error de formación de imágenes máximo permitido predefinible $IE_{m\acute{a}x}$ durante el funcionamiento. Así mismo, el dispositivo de formación de imágenes 101 está configurado para utilizar los M valores de detección EW_i (asignados a los M grados de libertad DOF) para controlar el dispositivo de formación de imágenes 101 por medio del dispositivo de control 111, en donde un error del valor de detección FEW_i de al menos uno de los M valores de detección EW_i luego contribuye BEW_i al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$.

En este caso, el error del valor de detección FEW_i del al menos un valor de detección EW_i hace una contribución BEW_i al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, más preferentemente de al menos un 0,1 % a 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$. Se pueden ignorar los grados de libertad DOF o los valores de detección EW_i cuya contribución esperada BEW_i al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ se encuentre por debajo de este umbral, y en consecuencia, por tanto, es posible que no encuentren su camino hacia la matriz de transformación de detección ETM. En consecuencia, los grados de libertad DOF insensibles a errores o los valores de detección EW_i se pueden excluir de la consideración o no tenerse en cuenta en la adaptación del número de condición CN_{ETM} .

Así mismo, en variantes específicas, se puede prever que una suma $SFEW_i$ de los errores de valor de detección FEW_i de los M valores de detección EW_i hace una contribución $SBEW_i$ al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, más preferentemente de al menos un 1 % a 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$. Esto garantiza que se tengan en cuenta, en todo caso, los grados de libertad DOF cuya contribución al error total de formación de imágenes $IE_{m\acute{a}x}$ sea significativa.

En variantes específicas, el mismo procedimiento también se puede adoptar para el dispositivo de accionamiento 110. En estos casos, el dispositivo de formación de imágenes 101 está configurado para establecer los R valores de situación LW_p (asignados a los R grados de libertad) durante el control que realiza el dispositivo de control 111 del dispositivo de formación de imágenes 101. A continuación, un error del valor de situación FLW_p de al menos uno de los R valores de situación LW_p hace una contribución BLW_p al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, en donde el error del valor de situación FLW_p del al menos un valor de situación LW_p hace una contribución BLW_p al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, más preferentemente de al menos un 0,1 % a 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$. También de esta manera, se pueden ignorar los grados de libertad DOF o valores

de situación LW_p cuya contribución esperada BLW_p al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ se encuentre por debajo de este umbral, y en consecuencia, por tanto, es posible que no encuentren su camino hacia la matriz de transformación de accionamiento STM. En consecuencia, los grados de libertad DOF o los valores de situación LW_p insensibles a errores se pueden excluir de la consideración o no tenerse en cuenta en la adaptación del número de condición CN.

Así mismo, en variantes específicas, una vez más se puede prever que una suma $SFLW_p$ de los errores del valor de situación FLW_p de los R valores de situación LW_p hace una contribución $SBLW_p$ al error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$ de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$, más preferentemente de al menos un 1 % a 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido $IE_{m\acute{a}x}$. Esto garantiza una vez más que se tengan en cuenta, en todo caso, los grados de libertad DOF cuya contribución BLW_p al error total de formación de imágenes $IE_{m\acute{a}x}$ sea significativa.

No hace falta decir que, en principio, es posible considerar exclusivamente la matriz de transformación ETM o STM de todas las unidades de detección 112.1 y/o unidades de accionamiento 110.1 que vayan a tenerse en cuenta y los grados de libertad DOF asignados. En el presente ejemplo, además de lo mencionado, se tiene en cuenta la matriz de transformación para uno o más pares de unidades de detección 112.1 y/o unidades de accionamiento 110.1. Esto puede ser particularmente ventajoso, por ejemplo, si dichos pares se refieren a grados de libertad DOF particularmente sensibles, es decir, grados de libertad DOF en los que un error constituye una proporción particularmente alta del error de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes 101.

Así pues, en tales variantes, preferentemente, al menos dos de las N unidades de detección 112.1 forman un par de unidades de detección 112.3, en donde cada una de las unidades de detección 112.1 del par de unidades de detección 112.3 con la referencia secundaria asignada 112.2 del mismo define una dirección de detección EDIR, que está indicada en las figuras 2-4, en cada caso, con la línea discontinua 112.4 del haz del interferómetro 112.1. En el presente ejemplo, dos unidades de detección adyacentes 112.1 forman, en cada caso, un par de unidades de detección 112.4, con el resultado de que se forman un total de tres pares de unidades de detección 112.4.

En el presente ejemplo, las direcciones de detección EDIR de las dos unidades de detección 112.1 del par de unidades de detección 112.3 se encuentran sustancialmente en un plano en común del par de unidades de detección EEPE. En este caso, el par de unidades de detección 112.3 está configurado para determinar en al menos dos grados de libertad del par de detección EPDOF, en el presente ejemplo, en tres grados de libertad del par de detección EPDOF, en el plano de par de unidades de detección EEPE, un valor de detección del par de detección $EPEW_i$ ($i = 1 \dots 3$) que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de detección EPER del elemento óptico 108.1, estando asignada dicha referencia de elemento del par de detección al par de unidades de detección, en relación con la referencia primaria PRE en el respectivo grado de libertad del par de detección EPDOF.

Así pues, la unidad de elemento óptico 108 y el par de unidades de detección 112.3 definen una matriz de transformación del par de detección EPETM que representa la transformación de las señales de detección EPES_j del par de unidades de detección 112.3 en los valores de detección del par de detección $EPEW_i$. En consecuencia, se cumple la siguiente relación para el vector $\overrightarrow{EPEW_i}$ de los valores de detección $EPEW_i$ y el vector $\overrightarrow{EPES_j}$ de las señales de detección EPES_j:

$$\overrightarrow{EPEW_i} = (EPETM)\overrightarrow{EPES_j}. \quad (5)$$

En el presente ejemplo, el dispositivo de detección 112 y la unidad de elemento óptico 108 están configurados de tal manera que el número de condición CN_{EPETM} de la matriz de transformación del par de detección EPETM, determinándose dicho número de condición de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) anteriores, tiene el valor $CN_{EPETM} = 10$. En otras variantes, se puede prever que el número de condición CN_{EPETM} de la matriz de transformación del par de detección EPETM sea de 5 a 30, en concreto, sea de 5 a 20, más preferentemente, que sea de 8 a 15. En consecuencia, de este modo, es posible conseguir un condicionamiento favorable del par de unidades de detección 112.3 individuales o de una pluralidad de tales pares de unidades de detección 112.3.

En el presente ejemplo, los grados de libertad del par de detección EPDOF son naturalmente los dos grados de libertad de traslación y el grado de libertad de rotación en el plano del par de unidades de detección EEPE. Huelga decir, sin embargo, que, en otras variantes, también es posible tener en cuenta únicamente los dos grados de libertad del par de detección EPDOF que tienen una influencia significativa en el error de formación de imágenes.

En estas variantes, la referencia de elemento ER se puede disponer, en principio, en cualquier ubicación adecuada en relación con el par de unidades de detección 112.3, en concreto, con el plano del par de unidades de detección EEPE. En principio, resulta especialmente ventajoso que la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 esté dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de detección EEPE. Adicionalmente o como alternativa, la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 puede coincidir al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de detección EPER del elemento óptico 108.1. Si se da este caso, el condicionamiento

de la matriz de transformación del par de detección EPETM suele ser de particular importancia. En el presente ejemplo, sin embargo, una de las dos referencias secundarias 112.2 del par de unidades de detección 112.3 constituye la referencia de elemento del par de detección EPER, puesto que, de este modo, es posible obtener una configuración particularmente simple.

En el presente ejemplo, un condicionamiento particularmente favorable del sistema se consigue si el ángulo de dirección de detección ERW_i ($i = 1 \dots 3$) entre las direcciones de detección EDIR del par de unidades de detección 112.3 es inferior a 120° , preferentemente es de 60° a 110° , más preferentemente es de 75° a 95° . En este caso, esto da como resultado una relación particularmente favorable entre la ganancia de ruido y las ventajas dinámicas del módulo óptico 107.1 que aparecen como resultado de la desviación del número de condición ideal ($CN = 1$), mencionándose dichas ventajas en la introducción. Así pues, estas compensan con creces la desventaja que resulta de la desviación dirigida desde este valor ideal del condicionamiento.

En las variantes actuales con tres pares de unidades de detección 112.3, se prevé además que los ángulos de dirección de detección ERW_i entre las direcciones de detección EDIR del respectivo par de unidades de detección 112.3 se desvíen entre sí menos de 10° a 40° , preferentemente de menos de 5° a 25° , más preferentemente de menos de 2° a 15° .

En este caso, se consiguen resultados especialmente favorables, ya que las dos referencias secundarias 112.2 de las unidades de detección 112.1 de todos los pares de unidades de detección 112.3 están dispuestas una al lado de la otra. En este caso, resulta especialmente ventajoso que las referencias secundarias 112.2 de las unidades de detección 112.1 estén dispuestas directamente una al lado de la otra.

Así mismo, en el presente ejemplo, los planos del par de unidades de detección EEPE del primer y tercer pares de unidades de detección 112.3 (véanse los pares de unidades de detección izquierdo y derecho 112.3, ERW_1 y ERW_3 en la figura 2) están inclinados entre sí menos de 5° a 30° , preferentemente de menos de 3° a 15° , más preferentemente menos de 1° a 10° . Como resultado, se pueden conseguir configuraciones particularmente favorables, en especial, si las unidades de detección 112.1 de los dos pares de unidades de detección 112.3, como en el presente caso, cubren los mismos grados de libertad DOF en forma de pares.

Como se explica con mayor detalle a continuación, por tanto, es posible, en concreto, obtener configuraciones que sean insensibles (o "ciegas") a las oscilaciones de la estructura de soporte 113; en consecuencia, el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de la estructura de soporte 113 puede mantenerse bajo, particularmente si la dirección de movimiento de la estructura de soporte oscilante 113 se extiende sustancialmente perpendicular a los planos del par de unidades de detección EEPE.

Así mismo, en el presente ejemplo, los planos del par de unidades de detección EEPE del primer y tercer par de unidades de detección 112.3 están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria (eje z) con un ángulo de inclinación ENW_1 y ENW_3 , respectivamente, de menos de 5° a 30° , preferentemente de menos de 3° a 15° , más preferentemente de menos de 1° a 10° . Esto genera condicionamientos especialmente favorables con respecto a los errores en los grados de libertad DOF a lo largo de la dirección de la fuerza gravitatoria (eje z). Es más, los ángulos de inclinación ENW_1 y ENW_3 se diferencian entre sí en menos de 5° a 30° , preferentemente en menos de 3° a 15° , más preferentemente en menos de 1° a 10° . Esto también resulta particularmente favorable con respecto a un buen condicionamiento del módulo óptico 107.1 y, por lo tanto, de todo el dispositivo de formación de imágenes 101. En concreto, esto es así con respecto a los errores en los grados de libertad perpendiculares a la dirección de la fuerza gravitatoria (por ejemplo, traslación a lo largo del eje x e inclinación o rotación alrededor del eje y en la figura 2), especialmente en el caso de las oscilaciones antes mencionadas de la estructura de soporte.

La configuración descrita con anterioridad lo más simétrica posible del dispositivo de detección 112 resulta particularmente ventajosa para la calidad del control que se puede conseguir con el dispositivo de control 111. Resulta particularmente ventajoso si, como en el presente ejemplo, la simetría se elige respecto al plano de simetría (el plano y-z en el presente ejemplo) del elemento óptico 108.1.

Las ventajas de la formación de pares descrita anteriormente también se obtienen en el presente ejemplo en asociación con el dispositivo de accionamiento 110. En el presente ejemplo, por lo tanto, al menos dos de las S unidades de accionamiento 110.1, siendo más precisos, en cada caso dos de las S unidades de accionamiento 110.1, forman un par de unidades de accionamiento 110.3, con el resultado de que, en total, se forman de nuevo tres pares de unidades de accionamiento 110.3. Cada una de las unidades de accionamiento 110.1 del par de unidades de accionamiento 110.3 define una dirección de accionamiento SDIR correspondiente al eje longitudinal 110.4 de la respectiva unidad de accionamiento 110.1. En el presente ejemplo, las direcciones de accionamiento SDIR de las dos unidades de accionamiento 110.1 del par de unidades de accionamiento 110.3 se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de accionamiento SEPE.

El respectivo par de unidades de accionamiento 110.3 está configurado además para establecer en al menos dos, en el presente caso en tres grados de libertad del par de accionamiento SPDOF, en el plano del par de unidades de accionamiento SEPE, un valor de situación del par $SPLW_p$ ($p = 1 \dots 3$) que representa una posición u orientación

relativa de una referencia de elemento del par de accionamiento SPER del elemento óptico 108.1, estando asignada dicha referencia de elemento del par de accionamiento al par de unidades de accionamiento 110.3, en relación con la referencia primaria PRS en el respectivo grado de libertad del par de accionamiento SPDOF.

Así pues, la unidad de elemento óptico 108 y el par de unidades de accionamiento 110.3 definen una matriz de transformación del par de accionamiento SPSTM que representa la transformación de los estados de accionamiento SPAS_q del par de unidades de accionamiento 110.3 en los valores de situación del par SPLW_p. En consecuencia, por lo tanto, la siguiente relación se cumple para el vector $\overrightarrow{SPLW_p}$ de los valores de situación SPLW_p y el vector $\overrightarrow{SPAS_q}$ de los estados de accionamiento SPAS_q:

$$\overrightarrow{SPLW_p} = (SPSTM)\overrightarrow{SPAS_q}. \quad (6)$$

De nuevo, el par de unidades de accionamiento 110.3 y/o la unidad de elemento óptico 108 están configurados de tal manera que el número de condición CN_{SPSTM} de la matriz de transformación del par de accionamiento SPSTM, determinándose dicho número de condición de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) anteriores, tiene el valor CN_{SPSTM} = 8. En otras variantes, sin embargo, también se puede prever que el número de condición CN_{SPSTM} de la matriz de transformación del par de accionamiento SPSTM sea de 5 a 30, en concreto, sea de 5 a 20, más preferentemente, que sea de 8 a 15.

Aquí, también, naturalmente se prevé que dos de los grados de libertad del par de accionamiento SPDOF sean los grados de libertad de traslación en el plano del par de accionamiento SEPE, mientras que el tercer grado de libertad del par de accionamiento sea el grado de libertad de rotación en el plano del par de unidades de accionamiento SEPE. Sin embargo, en este caso también y en otras variantes, por supuesto, es posible que solo se tengan en cuenta dos de dichos grados de libertad.

En el presente ejemplo, el ángulo de dirección de accionamiento SDIRW_i (i = 1 ... 3) entre las direcciones de accionamiento SDIR del respectivo par de unidades de accionamiento 110.3 es inferior a 120°, preferentemente es de 60° a 110°, más preferentemente es de 75° a 95°. Esto, así mismo, resulta ventajoso con respecto a que es posible que el comportamiento de ruido del sistema de control sea favorable. Las explicaciones anteriores también son aplicables con respecto a la ubicación de la referencia de elemento SPER. En concreto, preferentemente se prevé que la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 esté dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de accionamiento SEPE. Adicionalmente o como alternativa, la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 puede coincidir al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de accionamiento SPER del elemento óptico 108.1. En el presente ejemplo, sin embargo, uno de los dos dispositivos de interfaz 110.2 del par de elementos de accionamiento 110.3 constituye la referencia de elemento del par de accionamiento SPER, ya que de este modo se puede obtener una configuración especialmente sencilla.

Así mismo, los ángulos de dirección de actuación SDIRW_i entre las direcciones de accionamiento del respectivo par de unidades de accionamiento 110.3 se desvían entre sí menos de 10° a 40°, preferentemente menos de 5° a 25°, más preferentemente menos de 2° a 15°. Así mismo, los dos dispositivos de interfaz 110.2 de las unidades de accionamiento 110.1 de todos los pares de unidades de accionamiento 110.3 están dispuestos uno al lado del otro. Aquí también resulta ventajoso si las correspondientes unidades de interfaz 110.2 se disponen directamente una al lado de la otra.

Es más, en el presente ejemplo, los planos del par de unidades de accionamiento del primer y tercer par de unidades de accionamiento 110.3 (véanse los pares de unidades de detección izquierdo y derecho 112.3, SDIRW₁ y SDIRW₃ en la figura 2) están ventajosamente inclinados entre sí menos de 5° a 30°, preferentemente menos de 3° a 15°, más preferentemente menos de 1° a 10°. Además, los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación SNW₁ y SNW₃, respectivamente, de menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente de menos de 1° a 10°. De igual manera, los ángulos de inclinación SNW₁ y SNW₃ se diferencian entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°. Con todas estas variantes, las ventajas correspondientes mencionadas con anterioridad respecto a los pares de unidades de detección 110.3 se pueden conseguir también en el caso del dispositivo de accionamiento 110.

Las unidades de detección 112.1 del dispositivo de detección 112 pueden ser soportadas, en principio, de cualquier manera adecuada a través de una o más estructuras de soporte 113 separadas. En este caso, el soporte se realiza preferentemente de tal manera que se tienen en cuenta las frecuencias y formas propias resultantes de la estructura de soporte 113. En el presente ejemplo, por lo tanto, la estructura de soporte 113 forma una estructura de soporte del dispositivo de detección que tiene, durante la excitación por oscilación, al menos una frecuencia propia EEFREQ en al menos una forma propia EEFORM que se asigna a la frecuencia propia y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación EVN.

En el presente ejemplo, al menos una de las unidades de detección 112.1 está dispuesta cerca del al menos un nodo de oscilación EVN, de tal manera que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la unidad de detección

112.1 en al menos un grado de libertad de oscilación VDOF, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación hasta los seis grados de libertad de oscilación, en al menos una frecuencia propia EEFREQ, genera un cambio en el valor de detección EW_i de la unidad de detección respecto a un estado de reposo de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del 1 % al 4 % del valor de detección EW_i de la unidad de detección 112.1. En consecuencia, lo que se puede lograr de este modo es que el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de la estructura de soporte 113 se pueda mantener bajo.

Así mismo, al menos una de las unidades de detección 112.1 en al menos una frecuencia propia EEFREQ tiene un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación VDOF, en donde la unidad de detección 112.1 relevante se dispone entonces de tal manera que la dirección de detección EDIR está inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación VDOF (indicado por las flechas de dos puntas en la figura 2), siendo el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°. Como resultado, lo que se puede conseguir ventajosamente es que la unidad de detección 112.1 o la señal de detección ES_j que proporcione sea insensible (o "ciega") a la oscilación de la estructura de soporte 113; en consecuencia, también aquí, el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de la estructura de soporte 113 puede mantenerse bajo.

En principio, la estructura de soporte 113 se puede diseñar de cualquier manera deseada. En concreto, se puede incluir una estructura cerrada en forma de marco o de anillo. En el presente ejemplo, una configuración particularmente compacta que se adapta bien a la trayectoria del haz 101.1 en el dispositivo de formación de imágenes 101 (es decir, que no bloquea la trayectoria del haz 101.1 del dispositivo de formación de imágenes 101) se consigue gracias a la estructura de soporte 113 que comprende sustancialmente una estructura en forma de U para soportar las unidades de detección 112.1. En asociación con estas estructuras abiertas, las variantes anteriores son particularmente ventajosas ya que estas estructuras abiertas suelen tener formas propias EFORM comparativamente pronunciadas. Las ventajas mencionadas se manifiestan especialmente bien si al menos una de las N unidades de detección está dispuesta en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U, como ocurre en el presente ejemplo con la unidad de detección izquierda 112.1 en la figura 3 y con la unidad de detección derecha 112.1 en la figura 4.

En principio, las ventajas y variantes que se acaban de señalar con respecto al soporte del dispositivo de detección 112 se pueden realizar de la misma manera también con el dispositivo de accionamiento 110. En el presente ejemplo, la estructura de soporte 109 forma una estructura de soporte del dispositivo de accionamiento que tiene, durante la excitación por oscilación en al menos una frecuencia propia SE-FREQ, al menos una forma propia SEFORM que se asigna a la frecuencia propia SEFREQ y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación SVN.

De manera análoga a las explicaciones anteriores, aquí también la al menos una unidad de accionamiento 110.1 puede disponerse cerca del al menos un nodo de oscilación de tal manera que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la al menos una unidad de accionamiento 110.1 en al menos un grado de libertad de oscilación VDOF, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación VDOF a través de los seis grados de libertad de oscilación VDOF, en al menos una frecuencia propia SEFREQ, genere un cambio en el estado de accionamiento AS_q de la unidad de accionamiento 110.1, con respecto a un estado de reposo, de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del 1 % al 4 % del estado de accionamiento AS_q de la unidad de accionamiento 110.1. De esta manera, también, lo que se puede conseguir es que el error introducido en el sistema de control como resultado de las oscilaciones de dicha estructura de soporte 109 se mantenga bajo.

Es más, la al menos una unidad de accionamiento 110.1 en la al menos una frecuencia propia SEFEQ puede presentar un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación VDOF, y la al menos una unidad de accionamiento puede estar dispuesta de tal manera que la dirección de accionamiento SDIF de la misma esté inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación VDOF con el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°. Como resultado, lo que a su vez se puede conseguir ventajosamente es que la unidad de accionamiento 110.1 o el estado de accionamiento AS_q generado por la misma sea lo más insensible (o "ciego") posible a la oscilación de la estructura de soporte 109; en consecuencia, aquí también, el error introducido en el sistema de control como resultado de la oscilación de la estructura de soporte 109 puede mantenerse pequeño.

Aquí, también, respecto a variantes que ahorran espacio y obstruyen mínimamente, se puede prever que la estructura de soporte 109, como en el presente ejemplo, comprende una estructura sustancialmente en forma de U 109 para soportar las unidades de accionamiento 110.1. Una vez más, las ventajas se manifiestan especialmente bien si una de las unidades de accionamiento 110.1 está dispuesta en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U 109, como ocurre en el presente ejemplo con la unidad de accionamiento izquierda 110.1 en la figura 3 y con la unidad de accionamiento derecha 110.1 en la figura 4.

En principio, cualquier punto o sección adecuado del elemento óptico 108.1 es apropiado para la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1. Aparecen configuraciones especialmente favorables si la referencia de elemento ER del elemento óptico es un baricentro de área de la superficie óptica 108.2 del elemento óptico 108.1. Alternativamente, la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 puede ser un baricentro de masa del

elemento óptico 108.1. De igual manera, la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 puede ser un baricentro de volumen del elemento óptico 108.1.

5 En el presente ejemplo, la referencia de elemento ER del elemento óptico 108.1 es un punto de incidencia de un rayo central de un haz de luz utilizado del dispositivo de formación de imágenes 101, estando indicado dicho haz de luz utilizado por la trayectoria del haz óptico 101.1.

10 No hace falta decir que con el presente ejemplo del dispositivo de formación de imágenes 101 es posible llevar a cabo el método descrito anteriormente según la invención para soportar el elemento óptico 108, y el método de formación de imágenes descrito anteriormente.

15 La presente invención se ha descrito con anterioridad en función de un ejemplo del campo de la microlitografía. Huelga decir, sin embargo, que la invención también se puede utilizar junto con cualquier otra aplicación óptica deseada, en concreto, con métodos de formación de imágenes en otras longitudes de onda.

20 Así mismo, la invención se puede utilizar junto con la inspección de objetos, como por ejemplo, la llamada inspección de máscaras, en donde se inspecciona la integridad de las máscaras utilizadas para microlitografía, etc. En la figura 1, una unidad de detección, por ejemplo, que detecta la formación de imágenes del patrón de proyección de la máscara 104.1 (para su posterior procesamiento), adopta la ubicación del sustrato 105.1. Así pues, esta inspección de máscaras puede ocurrir sustancialmente a la misma longitud de onda que se utiliza en el proceso microlitográfico posterior. Sin embargo, también es posible utilizar para la inspección cualquier longitud de onda deseada que se desvíe de ella.

25 Por último, la presente invención se ha descrito con anterioridad en función de realizaciones ilustrativas específicas que muestran combinaciones específicas de las características definidas en las siguientes reivindicaciones de patente. Cabe señalar expresamente en este punto que la materia objeto de la presente invención no se limita a estas combinaciones de características, más bien, todas las demás combinaciones de características tales como las que se manifiestan en las siguientes reivindicaciones de patente también pertenecen a la materia objeto de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Disposición óptica para su uso en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, que comprende

- una unidad de elemento óptico y
- un dispositivo de detección (112) y/o un dispositivo de accionamiento (110),

en donde

- la unidad de elemento óptico (108) comprende al menos un elemento óptico (108.1),

en donde

- el dispositivo de detección (112) está configurado para determinar en una pluralidad de M grados de libertad en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico (108.1) en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección (112) en el respectivo grado de libertad, en donde

- el dispositivo de detección (112) comprende una pluralidad de N unidades de detección (112.1), cada una de las cuales está configurada para emitir una señal de detección que represente una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección (112.1) en relación con una referencia secundaria (112.2) asignada al elemento óptico (108.1) y a la unidad de detección (112.1) respectiva, y

- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de detección (112) definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en los M valores de detección,

y/o

- el dispositivo de accionamiento (110) está configurado para establecer, en una pluralidad de R grados de libertad en cada caso, un valor de situación que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico con respecto a una referencia primaria del dispositivo de accionamiento (110) en el respectivo grado de libertad,

en donde

- el dispositivo de accionamiento (110) comprende una pluralidad de S unidades de accionamiento (110.1), cada una de las cuales está configurada para generar un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento (110.1) con respecto a la unidad de elemento óptico (108), y

- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de accionamiento (110) definen una matriz de transformación de accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación,

en donde

- el número de condición de una matriz de transformación está definido por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación,

caracterizada por que - el dispositivo de detección (112) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30,

en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15,

y/o

- el dispositivo de accionamiento (110) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

2. Disposición óptica según la reivindicación 1, en donde

- la pluralidad M tiene el valor de 2 a 6, preferentemente es de 4 a 6, más preferentemente es 6,

- la pluralidad N tiene el valor de 2 a 6, preferentemente es de 4 a 6, más preferentemente es 6,

- la pluralidad N es al menos igual a la pluralidad M,

- la pluralidad R tiene el valor de 2 a 6, preferentemente es de 4 a 6, más preferentemente es 6, y/o
- la pluralidad S tiene el valor de 2 a 6, preferentemente es de 4 a 6, más preferentemente es 6, y/o
- la pluralidad S es al menos igual a la pluralidad R.

3. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en donde

- el dispositivo de formación de imágenes ópticas tiene un error de formación de imágenes máximo permitido predefinible durante el funcionamiento,

en donde

- el dispositivo de formación de imágenes está configurado para utilizar los M valores de detección para controlar el dispositivo de formación de imágenes, y un error del valor de detección de al menos uno de los M valores de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido, en donde

- el error de valor de detección del al menos un valor de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- una suma de los errores del valor de detección de los M valores de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- el dispositivo de formación de imágenes está configurado para establecer los R valores de situación durante el control del dispositivo de formación de imágenes, y un error del valor de situación de al menos uno de los R valores de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido, en donde

- el error de valor de situación del al menos un valor de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- la suma de los errores de valor de situación de los R valores de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido.

4. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde

- al menos dos de las N unidades de detección (112.1), en concreto, en cada caso dos de las N unidades de detección (112.1), forman un par de unidades de detección (112.3),
- cada una de las unidades de detección (112.1) del par de unidades de detección con su referencia secundaria asignada define una dirección de detección,
- las direcciones de detección de las dos unidades de detección (112.1) del par de unidades de detección se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de detección,
- el par de unidades de detección (112.3) está configurado para determinar en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de detección en el plano del par de unidades de detección, en cada caso, un valor de detección del par de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de detección, asignada al par de unidades de detección (112.3), del elemento óptico en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de detección,
- la unidad de elemento óptico (108) y el par de unidades de detección (112.3) definen una matriz de transformación del par de detección que representa la transformación de las señales de detección del par de unidades de detección (112.3) en los valores de detección del par de detección, y
- el par de unidades de detección (112.3) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación del par de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

en donde, en concreto,

- 5 - al menos uno de los grados de libertad del par de detección es un grado de libertad de traslación y uno de los grados de libertad del par de detección es un grado de libertad de rotación,

y/o

- 10 - la referencia de elemento del elemento óptico está dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de detección, y/o

- la referencia de elemento del elemento óptico coincide al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de detección del elemento óptico,

- 15 y/o

- un ángulo de dirección de detección entre las direcciones de detección del par de unidades de detección (112.3) es inferior a 120°, preferentemente es de 60° a 110°, más preferentemente es de 75° a 95°,

- 20 y/o

- 25 - se proporcionan varios pares de unidades de detección, en concreto, tres pares de unidades de detección, y los ángulos de dirección de detección entre las direcciones de detección del respectivo par de unidades de detección (112.3) se desvían entre sí menos de 10° a 40°, preferentemente menos de 5° a 25°, más preferentemente menos de 2° a 15°, en donde, en concreto, las dos referencias secundarias de las unidades de detección (112.1) de al menos uno de los pares de unidades de detección, en concreto, de todos los pares de unidades de detección, están dispuestas una al lado de la otra, en concreto, están dispuestas directamente una al lado de la otra,

y/o

- 30 - se pueden proporcionar varios pares de unidades de detección y los planos de par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados entre sí menos de 5° a 30°, preferentemente menos de 3° a 15°, más preferentemente menos de 1° a 10°,

- 35 y/o

- 40 - se proporcionan varios pares de unidades de detección, en donde los planos de par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación de menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente menos de 1° a 10°,

y/o

- 45 - se proporcionan varios pares de unidades de detección, en donde los planos de par de unidades de detección de dos pares de unidades de detección están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación y los ángulos de inclinación se diferencian entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°.

5. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde

- 50 - al menos dos de las S unidades de accionamiento (110.1), en concreto, en cada caso dos de las S unidades de accionamiento (110.1), forman un par de unidades de accionamiento (110.3),

- cada una de las unidades de accionamiento (110.1) del par de unidades de accionamiento (110.3) define una dirección de accionamiento,

- 55 - las direcciones de accionamiento de las dos unidades de accionamiento (110.1) del par de unidades de accionamiento (110.3) se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de accionamiento,

- 60 - el par de unidades de accionamiento (110.3) está configurado para establecer en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de accionamiento en el plano del par de unidades de accionamiento, siendo en cada caso un valor de situación del par que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de accionamiento, asignada al par de unidades de accionamiento (110.3), del elemento óptico en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de accionamiento,

- 65 - la unidad de elemento óptico (108) y el par de unidades de detección (112.3) definen una matriz de transformación del par de accionamiento que representa la transformación de los estados de accionamiento del par de unidades de accionamiento (110.3) en los valores de situación del par, y

- el par de unidades de accionamiento (110.3) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal

manera que el número de condición de la matriz de transformación del par de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

en donde, en concreto,

- 5
- al menos uno de los grados de libertad del par de accionamiento es un grado de libertad de traslación y uno de los grados de libertad del par de accionamiento es un grado de libertad de rotación

y/o

- 10
- la referencia de elemento del elemento óptico está dispuesta al menos sustancialmente en el plano del par de unidades de accionamiento y/o
 - la referencia de elemento del elemento óptico coincide al menos sustancialmente con la referencia de elemento del par de accionamiento del elemento óptico,

15

y/o

- un ángulo de dirección de accionamiento entre las direcciones de accionamiento del par de unidades de accionamiento (110.3) es inferior a 120°, preferentemente es de 60° a 110°, más preferentemente es de 75° a 95°,

20

y/o

- se proporcionan varios pares de unidades de accionamiento, en concreto, tres pares de unidades de accionamiento, y los ángulos de dirección de accionamiento entre las direcciones de accionamiento del respectivo par de unidades de accionamiento (110.3) se desvían entre sí menos de 10° a 40°, preferentemente menos de 5° a 25°, más preferentemente menos de 2° a 15°, en donde, en concreto, los dos dispositivos de interfaz de las unidades de accionamiento (110.1) de al menos uno de los pares de unidades de accionamiento, en concreto, de todos los pares de unidades de accionamiento, están dispuestos uno al lado del otro, en concreto, están dispuestos directamente uno al lado del otro,

30

y/o

- se proporcionan varios pares de unidades de accionamiento y los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados entre sí menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente menos de 1° a 10°,

35

y/o

- se proporcionan varios pares de unidades de accionamiento, en donde los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación de menos de 5° a 30°, preferentemente de menos de 3° a 15°, más preferentemente de menos de 1° a 10°,

40

y/o

- se proporcionan varios pares de unidades de accionamiento, en donde los planos de par de unidades de accionamiento de dos pares de unidades de accionamiento están inclinados con respecto a la dirección de la fuerza gravitatoria en un ángulo de inclinación y los ángulos de inclinación se diferencian entre sí en menos de 5° a 30°, preferentemente en menos de 3° a 15°, más preferentemente en menos de 1° a 10°.

45

50

6. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde

- al menos una de las N unidades de detección (112.1) está soportada por una estructura de soporte de dispositivo de detección del dispositivo de detección (112) y
- la estructura de soporte del dispositivo de detección durante la excitación por oscilación en al menos una frecuencia propia tiene al menos una forma propia que está asignada a la frecuencia propia y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación,

55

en donde

- 60
- la al menos una unidad de detección (112.1) está dispuesta de tal manera, en concreto, está dispuesta cerca del al menos un nodo de oscilación de tal modo que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la al menos una unidad de detección (112.1) en al menos un grado de libertad de oscilación, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación a través de los seis grados de libertad de oscilación, en la al menos una frecuencia propia, genere un cambio en el valor de detección de la unidad de detección (112.1), con respecto a un estado de reposo, de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del
- 65

1 % al 4 %, del valor de detección de la unidad de detección (112.1),

y/o

- 5 - la al menos una unidad de detección (112.1) con la referencia secundaria asignada define una dirección de detección, la al menos una unidad de detección (112.1) en la al menos una frecuencia propia tiene un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación, y la al menos una unidad de detección (112.1) está dispuesta de tal manera que la dirección de detección está inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación con el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°,

y/o

- 15 - la estructura de soporte del dispositivo de detección comprende una estructura sustancialmente en forma de U para soportar al menos una de las N unidades de detección (112.1), en concreto, todas las N unidades de detección (112.1), estando dispuesta, en concreto, al menos una de las N unidades de detección (112.1) en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U.

7. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde

- 20 - al menos una de las R unidades de accionamiento (110.1) está soportada por una estructura de soporte de dispositivo de accionamiento del dispositivo de accionamiento (110) y
- la estructura de soporte del dispositivo de accionamiento durante la excitación por oscilación en al menos una frecuencia propia tiene al menos una forma propia que está asignada a la frecuencia propia y que tiene, en concreto, al menos un nodo de oscilación,

en donde

- 30 - la al menos una unidad de accionamiento (110.1) está dispuesta de tal manera, en concreto, está dispuesta cerca del al menos un nodo de oscilación de tal modo que un cambio máximo en una posición y/u orientación de la al menos una unidad de accionamiento (110.1) en al menos un grado de libertad de oscilación, en concreto, en una pluralidad de grados de libertad de oscilación a través de los seis grados de libertad de oscilación, en la al menos una frecuencia propia, genere un cambio en el estado de accionamiento de la unidad de accionamiento (110.1), con respecto a un estado de reposo, de menos del 5 % al 10 %, preferentemente de menos del 2 % al 6 %, más preferentemente de menos del 1 % al 4 %, del estado de accionamiento de la unidad de accionamiento (110.1),

y/o

- 40 - la al menos una unidad de accionamiento (110.1) define una dirección de accionamiento, la al menos una unidad de accionamiento (110.1) en la al menos una frecuencia propia tiene un cambio máximo en una posición y/u orientación en al menos un grado de libertad de oscilación, y la al menos una unidad de accionamiento (110.1) está dispuesta de tal manera que la dirección de accionamiento está inclinada con respecto a un plano perpendicular al grado de libertad de oscilación con el cambio máximo en la posición y/u orientación, como máximo, de 5° a 30°, preferentemente como máximo de 3° a 15°, más preferentemente como máximo de 1° a 10°,

y/o

- 50 - la estructura de soporte del dispositivo de accionamiento comprende una estructura sustancialmente en forma de U para soportar al menos una de las R unidades de accionamiento (110.1), en concreto, todas las R unidades de accionamiento (110.1), en donde, en concreto, al menos una de las R unidades de accionamiento (110.1) está dispuesta en la región de un extremo libre de la estructura en forma de U.

8. Disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde

- 55 - la referencia de elemento del elemento óptico es un baricentro de área de una superficie óptica del elemento óptico

o

- 60 - la referencia de elemento del elemento óptico es un baricentro de masa del elemento óptico

o

- 65 - la referencia de elemento del elemento óptico es un baricentro de volumen del elemento óptico

o

- el elemento óptico (108.1) se proporciona para su uso en un dispositivo de formación de imágenes y la referencia de elemento del elemento óptico es un punto de incidencia de un rayo central de un haz de luz utilizado del dispositivo de formación de imágenes

y/o

- el elemento óptico (108.1) es un elemento óptico reflectante (108.1),

y/o

- el elemento óptico (108.1) está configurado para su uso con luz UV, en concreto, a una longitud de onda en el rango ultravioleta de vacío (VUV) o en el rango ultravioleta extremo (EUV), en concreto, a una longitud de onda de 5 nm a 20 nm,

y/o

- al menos una unidad de detección, en concreto, cada unidad de detección, comprende un interferómetro, en donde la referencia secundaria comprende, en concreto, un elemento reflectante (108.1),

y/o

- al menos una unidad de detección, en concreto, cada unidad de detección, comprende un codificador, en donde la referencia secundaria comprende, en concreto, una retícula reflectante,

y/o

- al menos una unidad de accionamiento, en concreto, cada unidad de accionamiento, comprende al menos un actuador, en concreto, comprende un actuador de fuerza y/o un actuador de desplazamiento.

9. Dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía y/o inspección de obleas, que comprende

- un dispositivo de iluminación (102) que tiene un primer grupo de elementos ópticos (106),

- un dispositivo de objeto (104) para recibir un objeto (104.1),

- un dispositivo de proyección (103) que tiene un segundo grupo de elementos ópticos (107) y

- un dispositivo de imagen (105), en donde

- el dispositivo de iluminación (102) está configurado para iluminar el objeto (104.1) y

- el dispositivo de proyección (103) está configurado para proyectar una imagen del objeto (104.1) sobre el dispositivo de imagen (105),

caracterizado por que

- el dispositivo de iluminación (102) y/o el dispositivo de proyección (103) comprende(n) al menos una disposición óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8,

en donde, en concreto

- se proporciona un dispositivo de control, que está conectado al dispositivo de detección (112) y al dispositivo de accionamiento (110) y está configurado para activar el dispositivo de accionamiento (110) dependiendo de las señales del dispositivo de detección (112).

10. Método para soportar una unidad de elemento óptico (108) que tiene un elemento óptico (108.1) en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, en donde

- un dispositivo de detección (112) que tiene una pluralidad de N unidades de detección en una pluralidad de M grados de libertad determina en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección (112) en el respectivo grado de libertad, en donde

- cada unidad de detección (112.1) emite una señal de detección que representa una distancia y/o un desplazamiento de la unidad de detección (112.1) en relación con una referencia secundaria asignada al elemento óptico (108.1) y a la respectiva unidad de detección (112.1), y

- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de detección (112) definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en los M valores de detección,

y/o

- un dispositivo de accionamiento (110) que tiene una pluralidad de S unidades de accionamiento (110.1) en una pluralidad de R grados de libertad establece en cada caso un valor de situación que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de accionamiento (110) en el respectivo grado de libertad, en donde

- cada unidad de accionamiento (110.1) genera un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento (110.1) con respecto a la unidad de elemento óptico (108), y
- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de accionamiento (110) definen una matriz de transformación de accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación,

en donde

- el número de condición de una matriz de transformación está definido por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación,

caracterizado por que

- el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15,

y/o

- el número de condición de la matriz de transformación de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

11. Método según la reivindicación 10, en donde

- el dispositivo de formación de imágenes ópticas tiene un error de formación de imágenes máximo permitido predefinible durante el funcionamiento,

en donde

- el dispositivo de formación de imágenes utiliza los M valores de detección para controlar el dispositivo de formación de imágenes y un error del valor de detección de al menos uno de los M valores de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido, en donde

- el error de valor de detección del al menos un valor de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- una suma de los errores del valor de detección de los M valores de detección contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- el dispositivo de formación de imágenes establece los R valores de situación durante el control del dispositivo de formación de imágenes, y un error del valor de situación de al menos uno de los R valores de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido, en donde

- el error de valor de situación del al menos un valor de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,05 % a un 1,0 % del error de formación de imágenes máximo permitido, preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 0,1 % a un 0,4 % del error de formación de imágenes máximo permitido,

y/o

- la suma de los errores de valor de situación de los R valores de situación contribuye al error de formación de imágenes máximo permitido de al menos un 0,5 % a un 10 % del error de formación de imágenes máximo

permitido, preferentemente de al menos un 1 % a un 8 % del error de formación de imágenes máximo permitido, más preferentemente de al menos un 1 % a un 4% del error de formación de imágenes máximo permitido.

12. Método según la reivindicación 10 u 11, en donde

- al menos dos de las N unidades de detección (112.1), en concreto, en cada caso dos de las N unidades de detección (112.1), forman un par de unidades de detección (112.3),
- cada una de las unidades de detección (112.1) del par de unidades de detección (112.3) con su referencia secundaria asignada define una dirección de detección,
- las direcciones de detección de las dos unidades de detección (112.1) del par de unidades de detección (112.3) se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de detección,
- el par de unidades de detección (112.3) determina en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de detección en el plano del par de unidades de detección, en cada caso, un valor de detección del par de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de detección, asignada al par de unidades de detección (112.3), del elemento óptico en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de detección,
- la unidad de elemento óptico (108) y el par de unidades de detección (112.3) definen una matriz de transformación del par de detección que representa la transformación de las señales de detección de las unidades de accionamiento (110.1) en los valores de detección del par de detección, y
- el número de condición de la matriz de transformación del par de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde

- al menos dos de las S unidades de detección (112.1), en concreto, en cada caso dos de las S unidades de detección (112.1), forman un par de unidades de accionamiento (110.3),
- cada una de las unidades de accionamiento (110.1) del par de unidades de accionamiento (110.3) define una dirección de accionamiento,
- las direcciones de accionamiento de las dos unidades de accionamiento (110.1) del par de unidades de accionamiento (110.3) se encuentran al menos sustancialmente en un plano común del par de unidades de accionamiento,
- el par de unidades de accionamiento (110.3) establece en al menos dos, preferentemente tres grados de libertad del par de accionamiento en el plano del par de unidades de accionamiento, siendo en cada caso un valor de situación del par que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del par de accionamiento, asignada al par de unidades de accionamiento (110.3) del elemento óptico, en relación con la referencia primaria en el respectivo grado de libertad del par de accionamiento,
- la unidad de elemento óptico (108) y el par de unidades de detección (112.3) definen una matriz de transformación del par de accionamiento que representa la transformación de los estados de accionamiento del par de unidades de accionamiento (110.3) en los valores de situación del par, y
- el número de condición de la matriz de transformación del par de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15.

14. Método de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía y/o inspección de obleas, en donde

- un objeto (104.1) se ilumina por medio de un dispositivo de iluminación (102) que tiene un primer grupo de elementos ópticos (106) y
- se genera una imagen del objeto (104.1) sobre un dispositivo de formación de imágenes (105) por medio de un dispositivo de proyección (103) que tiene un segundo grupo de elementos ópticos (107),

caracterizado por que

- se utiliza un método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13 en el dispositivo de iluminación (102) y/o el dispositivo de proyección (103), en concreto, mientras se ejecuta la formación de imágenes.

15. Método para diseñar una disposición óptica para su uso en un dispositivo de formación de imágenes ópticas, en concreto, para microlitografía, que comprende una unidad de elemento óptico (108) y un dispositivo de detección (112) y/o un dispositivo de accionamiento (110), en donde la unidad de elemento óptico (108) comprende al menos un elemento óptico (108.1), en donde

- el dispositivo de detección (112) está configurado para determinar en una pluralidad de M grados de libertad en cada caso un valor de detección que representa una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico en relación con una referencia primaria del dispositivo de detección (112) en el respectivo grado de libertad, en donde
- el dispositivo de detección (112) comprende una pluralidad de N unidades de detección (112.1), cada una de las cuales está configurada para emitir una señal de detección que representa una distancia y/o un

desplazamiento de la unidad de detección (112.1) en relación con una referencia secundaria asignada al elemento óptico (108.1) y a la unidad de detección (112.1) respectiva, y

- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de detección (112) definen una matriz de transformación de detección que representa la transformación de las N señales de detección en los M valores de detección,

y/o

- el dispositivo de accionamiento (110) está configurado para establecer, en una pluralidad de R grados de libertad en cada caso, un valor de situación que represente una posición u orientación relativa de una referencia de elemento del elemento óptico con respecto a una referencia primaria del dispositivo de accionamiento (110) en el respectivo grado de libertad, en donde

- el dispositivo de accionamiento (110) comprende una pluralidad de S unidades de accionamiento (110.1), cada una de las cuales está configurada para generar un estado de accionamiento en una interfaz de la unidad de accionamiento (110.1) con respecto a la unidad de elemento óptico (108), y

- la unidad de elemento óptico (108) y el dispositivo de accionamiento (110) definen una matriz de transformación de accionamiento que representa la transformación de los S estados de accionamiento en los R valores de situación,

en donde

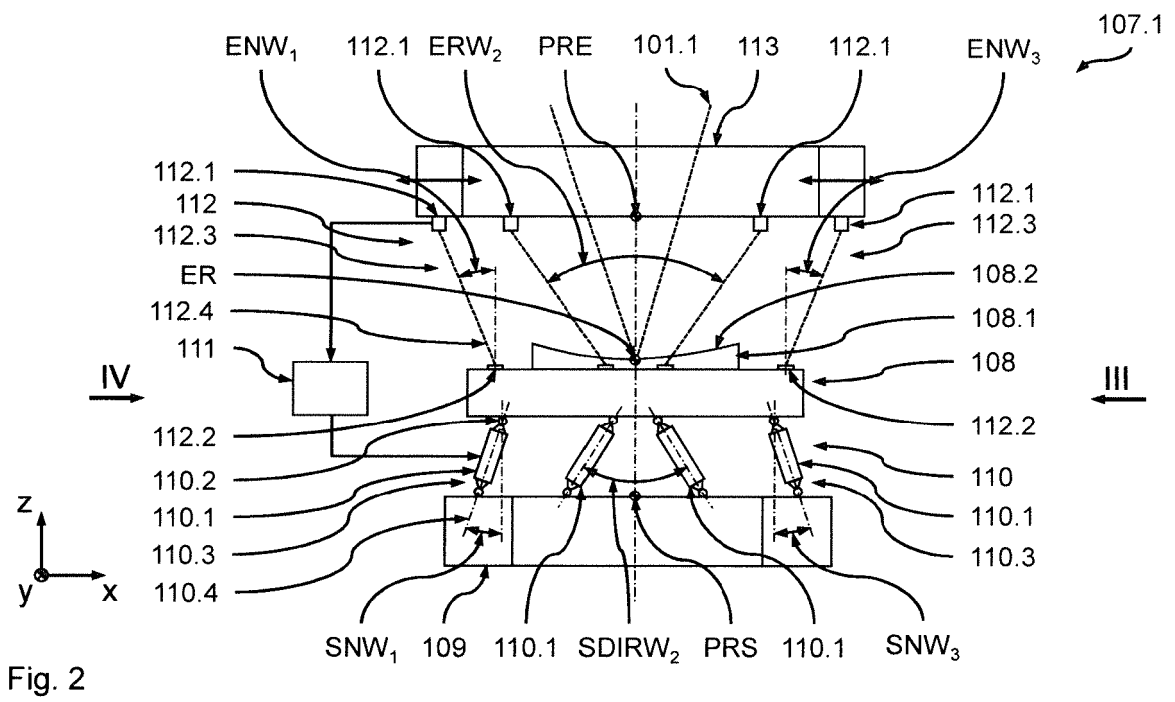
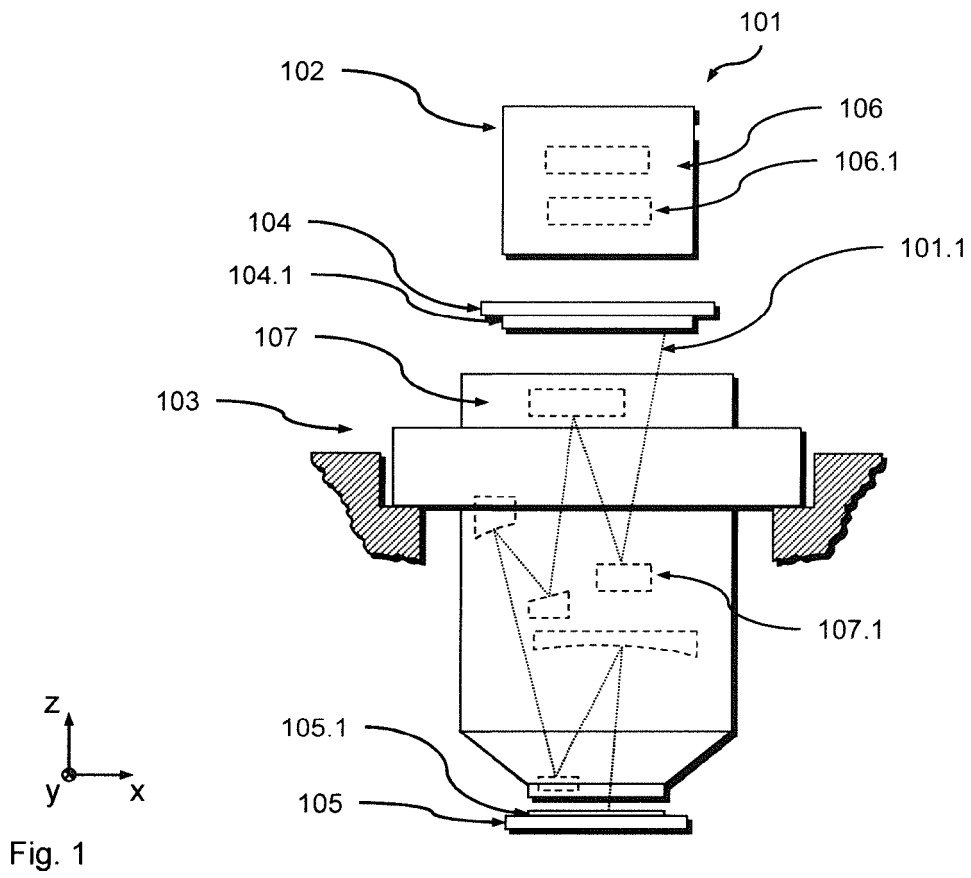
- el número de condición de una matriz de transformación está definido por la relación entre el valor singular más grande de la matriz de transformación y el valor singular más pequeño de la matriz de transformación,

caracterizado por que

- el dispositivo de detección (112) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de detección es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15, en donde, en concreto, en una primera etapa de configuración, se configuran el dispositivo de detección (112) y la unidad de elemento óptico (108) y, en una segunda etapa de configuración posterior, una estructura de soporte del dispositivo de detección (112) y/o una estructura de soporte de la unidad de elemento óptico (108) se configuran dependiendo del resultado de la primera etapa de configuración,

y/o

- el dispositivo de accionamiento (110) y/o la unidad de elemento óptico (108) están configurados de tal manera que el número de condición de la matriz de transformación de accionamiento es de 5 a 30, en concreto, es de 5 a 20, más preferentemente es de 8 a 15, en donde, en concreto, en una primera etapa de configuración, se configuran el dispositivo de accionamiento (110) y la unidad de elemento óptico (108) y, en una segunda etapa de configuración posterior, una estructura de soporte del dispositivo de accionamiento (110) y/o una estructura de soporte de la unidad de elemento óptico (108) se configuran dependiendo del resultado de la primera etapa de configuración.



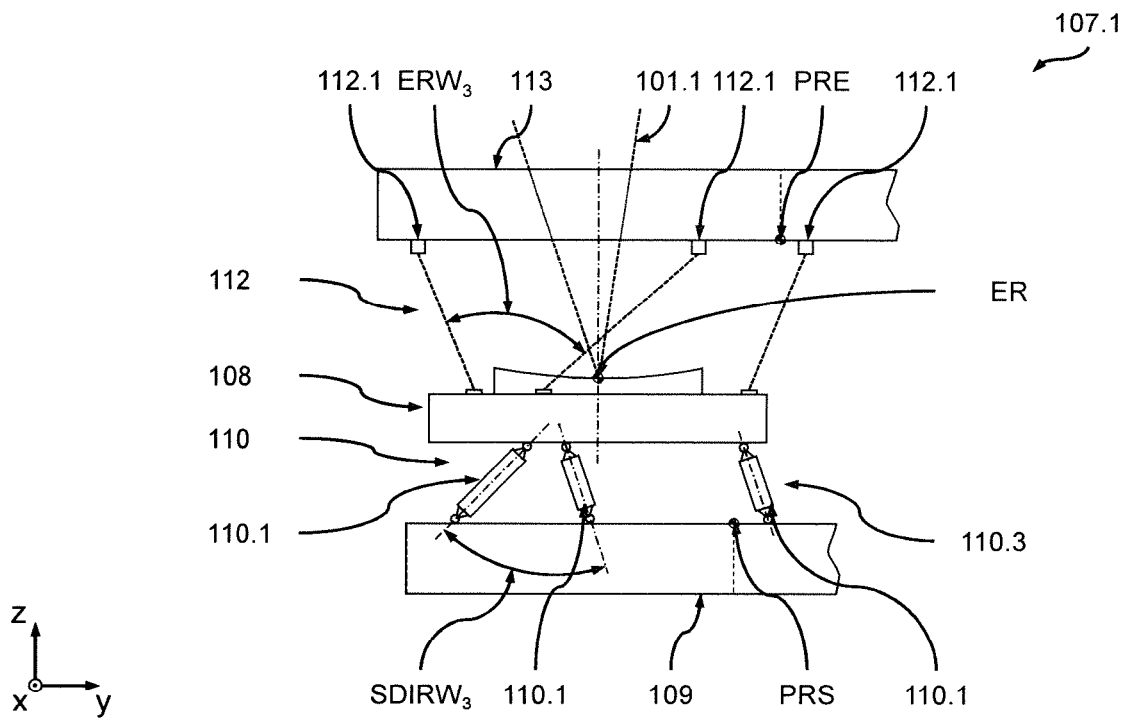


Fig. 3

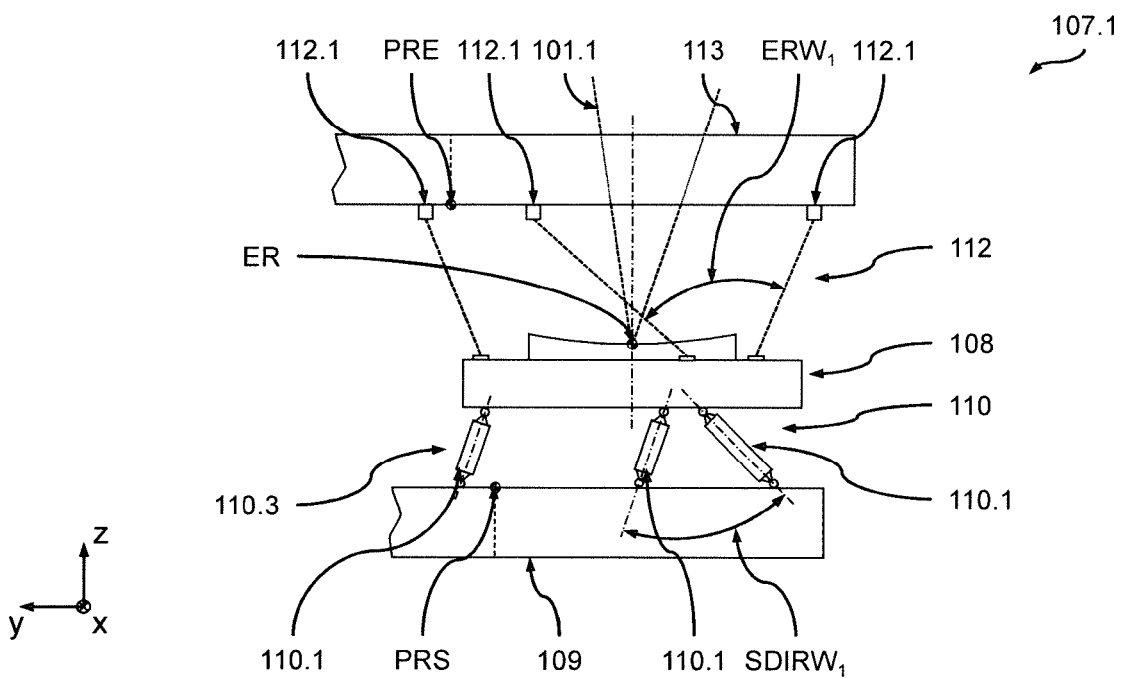


Fig. 4