

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
09. November 2023 (09.11.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/213571 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F15D 1/02 (2006.01) F15B 21/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/060471

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. April 2023 (21.04.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 204 373.1
04. Mai 2022 (04.05.2022) DE

(71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE]; Ru-
dolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: MONZ, Thomas; Wolfstrasse 26, 73278
Schlierbach (DE). KLASNA, Michael; Kolbermoorer
Strasse 32, 83043 Bad Aibling (DE).

(74) Anwalt: KOHLER SCHMID MÖBUS PATENT-
ANWÄLTE PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT
MBB; Gropiusplatz 10, 70563 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

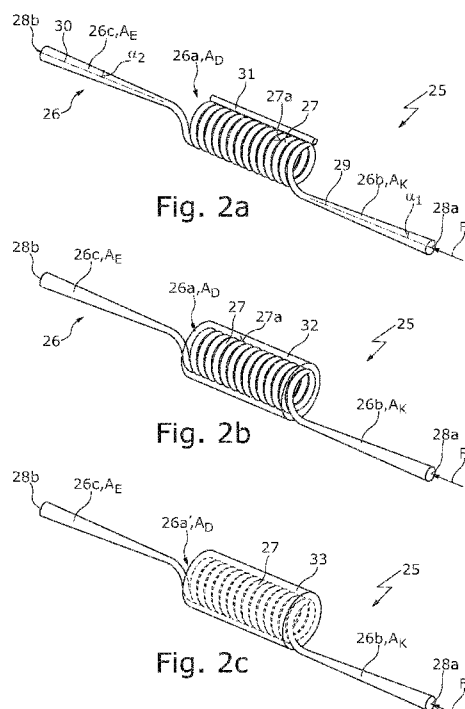
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD,
SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY,
KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

(54) Title: PRESSURE-REDUCING UNIT AND EUV LITHOGRAPHY SYSTEM

(54) Bezeichnung: DRUCKMINDEREINHEIT UND EUV-LITHOGRAPHIESYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a pressure-reducing unit (25), comprising: a helical throttle duct (26a, 26a') for reducing the pressure of a liquid (F), wherein the helical throttle duct (26a, 26a') has a plurality of coils (27) which are connected to one another so as to damp vibrations. The invention also relates to an EUV lithography system (1), comprising: at least one component through which a liquid (F) can flow, wherein the component through which the liquid (F) can flow has at least one pressure-reducing unit (25) which is configured as described further above.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Druckmindereinheit (25), umfassend: einen wendelförmigen Drosselkanal (26a, 26a') zur Druckminderung einer Flüssigkeit (F), wobei der wendelförmige Drosselkanal (26a, 26a') eine Mehrzahl von Windungen (27) aufweist, die schwingungsdämpfend miteinander verbunden sind. Die Erfindung betrifft auch ein EUV-Lithographiesystem (1), umfassend: mindestens eine mit einer Flüssigkeit (F) durchströmbare Komponente, wobei die mit der Flüssigkeit (F) durchströmbare Komponente mindestens eine Druckmindereinheit (25) aufweist, die wie weiter oben beschrieben ausgebildet ist.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Bezugnahme auf verwandte Anmeldung

Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE102022204373.1 vom 04. Mai 2022, deren gesamter Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird.

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Druckmindereinheit zur Druckminderung eines Fluids, insbesondere zur Druckminderung einer Flüssigkeit. Die Erfindung betrifft auch ein EUV-Lithographiesystem, das mindestens eine mit einem Fluid, insbesondere mit einer Flüssigkeit, durchströmbare Komponente, insbesondere ein optisches Element oder ein Strukturbauteil, aufweist, wobei die mit dem Fluid durchströmbare Komponente mindestens eine Druckmindereinheit umfasst.

Druckmindereinheiten, die auch als Fluid- bzw. Strömungs-drosseln oder Restriktoren bezeichnet werden, dienen zur Minderung des Drucks eines Fluids, typischerweise einer Flüssigkeit. Druckmindereinheiten können z.B. zum Abgleich bzw. zur Steuerung des Drucks von parallelen, hydraulisch verbundenen Kanälen in Kühlleitungssystemen verwendet werden.

Derartige Kühlleitungssysteme werden beispielsweise in der Mikrolithographie zum Kühlen von optischen Elementen wie Linsen oder Spiegeln oder zum Kühlen von Strukturelementen verwendet. Entsprechende Kühlkanäle können sowohl durch die optischen Elemente als auch durch die Strukturbauteile geführt werden. Die zu kühlenden Komponenten sind hierbei mit Hilfe von

Kühlleitungen miteinander verbunden. Um für eine möglichst hohe Wärmeabfuhr und eine gute Regelbarkeit des Kühlsystems (z.B. eine geringe Verzögerung) zu sorgen, werden die zu kühlenden Komponenten in der Regel mit Wasser als Kühlfluid durchströmt, da Wasser eine im Vergleich zu anderen Fluiden hohe Wärmekapazität aufweist und sehr gut verfügbar ist. Das strömende Fluid sorgt zudem für einen verbesserten Wärmeübergang an den durchströmten Flächen (erzwungene Konvektion). Aufgrund der Strömung findet in den Strömungsgrenzschichten auch ein Impulsaustausch zwischen dem strömenden Fluid und den Wänden der Komponente statt. Bei laminarer und stationärer Strömung wirkt sich dies als konstante Kraft auf die durchströmte Komponente aus (Strömungsdruckverlust, s.u.).

Wird eine kritische Strömungsgeschwindigkeit bzw. Reynolds-Zahl (kritische Reynolds-Zahl bei Rohren: ca. 2300) überschritten, die von den lokalen geometrischen Randbedingungen und den An- und Abströmbedingungen abhängig ist, können kleine Störungen nicht mehr durch die Viskosität des Mediums gedämpft werden, sodass eine Störung der Strömung anhaltende periodische und zufällige Fluktuationen in der Strömung nach sich zieht (Turbulenz). Diese Turbulenz erhöht den Impulstransport aus der Strömung in das Bauteil und kann abhängig von der Geometrie, dem Medium und dem Strömungszustand bei u.a. auch regelungstechnisch kritischen Frequenzen (z.B. bei einer Positionsregelung der Spiegel) als strömungsinduzierte Vibration („flow induced vibration“, FIV) die Komponenten beschleunigen.

Strömungsinduzierte Vibrationen entstehen somit durch turbulenz-induzierte Druck- und Impulsschwankungen in der Fluidströmung. Die daraus resultierenden Kräfte auf die Wände der Kühlkanäle führen zu einer dynamischen Anregung der Komponenten. Die Entstehung von strömungsinduzierten Vibrationen kann durch eine Optimierung der Strömungsführung und möglichst geringe Strömungsgeschwindigkeiten minimiert werden. Weiterhin koppeln bis zu ~10% der hydrodynamischen Fluktuationen (Turbulenz) in akustische Druckwellen aus, die sich mit

Schallgeschwindigkeit des Kühlmediums auch stromaufwärts fortsetzen können und abhängig von der Geometrie des Kühlkreislaufts in Resonanzfrequenzen (ähnlich Orgelpfeifen) gespeichert werden können.

Wie weiter oben beschrieben wurde, können Druckmindereinheiten in einem solchen Kühlsystem bzw. Kühlkreislauf beispielsweise dazu dienen, die Druckverlustunterschiede in parallel geschalteten Kühlkanälen bzw. Kühlleitungen aufeinander abzustimmen bzw. auszugleichen, um auf diese Weise die Volumenströme durch die parallel geschalteten Kühlkanäle geeignet einzustellen.

Der Druckverlust in einer Druckmindereinheit kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, den Druckverlust durch einen Querschnittssprung des Strömungsquerschnitts eines Kanals zu erzeugen, der von dem Fluid durchströmt wird. Durch den Querschnittssprung wird eine Ablösung des Fluidstroms von der Wandung des durchströmten Kanals erzeugt, wobei die Ablösung des Fluidstroms Turbulenzen hervorruft. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Druckverlust durch viskose Reibung in Strömungs-Scherschichten des Fluidstroms zu erzeugen (s.o.). Abhängig vom genutzten Effekt ergeben sich unterschiedliche Designkonzepte und daraus resultierende Bauräume.

Bei der Druckminderung eines Fluids z.B. mittels einer Blende, die einen Querschnittssprung mit einem sich abrupt verändernden Strömungsquerschnitt erzeugt, werden vor und vor allem nach der Blende starke Turbulenzen erzeugt, welche den Druck des Fluids nach dem Durchströmen der Blende reduzieren. Die Turbulenzen führen jedoch in der Regel zu einer unerwünschten dynamischen Kraftanregung in Form der weiter oben beschriebenen strömungsinduzierten Vibrationen („flow-induced vibrations“, FIV) der von dem Fluid durchströmten Komponente, die sich negativ auf das Gesamtsystem auswirken.

Beim Druckverlust eines Fluids durch viskose Reibung wird der Fluiddruck durch Reibung des Fluids an der Innenwand eines typischerweise rohrförmigen Strömungskanals reduziert, ohne dass hierbei Turbulenzen auftreten. Bei dieser sogenannten Rohrreibung ist der Druckverlust proportional zur Rohrlänge bzw. zur Länge des Strömungskanals sowie zum Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit und umgekehrt proportional zum Strömungsdurchmesser. Da der Rohrdurchmesser nicht beliebig verkleinert werden kann und auch die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids nicht beliebig vergrößert werden kann, ist es zur Erzeugung eines ausreichend großen Druckverlusts in der Regel erforderlich, dass der rohrförmige Strömungskanal, der von dem Fluid durchströmt wird, eine vergleichsweise große Länge aufweist, um den gewünschten Druckverlust zu erzeugen.

Die Verwendung einer langen Rohrleitung führt unweigerlich zu einer Verringerung von deren Steifigkeit, d.h. eine lange Rohrleitung ist biegeweich. Auch für den Fall, dass eine wendelförmige Rohrleitung z.B. aus Stahl als Druckmindereinheit verwendet wird, um den benötigten Bauraum zu reduzieren, kann es zu unerwünschten strömungsinduzierten Vibrationen kommen.

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Druckmindereinheit und ein EUV-Lithographiesystem mit verringerten strömungsinduzierten Vibrationen bereitzustellen.

Gegenstand der Erfindung

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Druckmindereinheit, umfassend: einen wendelförmigen Drosselkanal zur Druckminderung eines Fluids, insbesondere einer Flüssigkeit, wobei der wendelförmige Drosselkanal eine Mehrzahl von

Windungen aufweist, die schwingungsdämpfend miteinander verbunden sind. Durch die schwingungsdämpfende Verbindung wird die Eigensteifigkeit des wendelförmigen Drosselkanals erhöht.

Wie weiter oben beschrieben wurde, wird bei einer Druckmindereinheit ein Drosselkanal mit einer vergleichsweise großen Länge benötigt. Die Länge des Drosselkanals hängt vom Durchmesser des Drosselkanals (typischerweise zwischen 2 mm und 10 mm) und von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit ab. Typischerweise wird für die Erzeugung eines Druckverlusts im Bereich zwischen ca. 20-250 mbar eine Länge des Drosselkanals (im abgewickelten Zustand) zwischen ca. 50 mm und ca. 2000 mm benötigt. Für höhere zu erreichende Werte des Druckverlusts skaliert die (abgewickelte) Länge des Drosselkanals (bei gleichem Durchmesser und bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit) linear nach oben. Bei einem Drosselkanal, der als Rohrleitung ausgebildet ist, führt die vergleichsweise große Länge auch in dem Fall, dass dieser zur Verringerung des benötigten Bauraums wendelförmig ausgebildet ist, zu einer geringen (Biege-)Steifigkeit, die beim Durchströmen des Drosselkanals mit dem Fluid zu strömungsinduzierten Vibrationen führt.

Die schwingungsdämpfende Verbindung der Mehrzahl von Windungen miteinander dient dazu, die einzelnen Windungen in ihrer Bewegungsmöglichkeit relativ zueinander einzuschränken. Die schwingungsdämpfende Verbindung zwischen den Windungen kann starr ausgebildet sein, sodass die Windungen des Drosselkanals in ihrer Position relativ zueinander fixiert sind. Es ist aber auch möglich, dass die Verbindung der Windungen über ein schwingungsdämpfendes Material erfolgt, das eine (gedämpfte) Bewegung bzw. Positionsänderung der Windungen des Drosselkanals relativ zueinander zulässt. In beiden Fällen kann durch die schwingungsdämpfende Verbindung der Windungen des wendelförmigen Drosselkanals die Eigensteifigkeit des Drosselkanals erhöht werden und es können strömungsinduzierte Vibrationen reduziert werden.

Bei einer Ausführungsform ist der wendelförmige Drosselkanal als wendelförmige Rohrleitung mit einer Mehrzahl von Rohrwindungen ausgebildet. Bei dem Material der Rohrleitung kann es sich um ein rostfreies Material, beispielsweise um Stahl handeln. Für den Fall, dass der Drosselkanal als wendelförmige Rohrleitung ausgebildet ist, ist es günstig, die Rohrwindungen an ihren Außenseiten miteinander zu verbinden und bei der Verbindung ggf. aneinander zu fixieren, um strömungsinduzierte Vibrationen zu verringern.

Bei einer Druckmindereinheit mit einem einzigen wendelförmigen Drosselkanal in Form einer freien Rohrleitung aus Stahl wurde beobachtet, dass die strömungsinduzierten Vibrationen beim Durchströmen der Rohrleitung mit dem Fluid geringe Eigenfrequenzen erzeugen, d.h. die wendelförmige Rohrleitung wird mit den entsprechenden Frequenzen in Schwingung versetzt. Niedrige Eigenfrequenzen liegen jedoch in der Regel in einem für die Positionsregelung der Spiegel in einer Projektionsoptik eines EUV-Lithographiesystems ungünstigen Frequenzbereich (s.o.) und können strukturdynamisch Overlay- und Wellenfrontfehler erzeugen.

Es ist möglich, die Verbindung der Rohrwindungen (an deren Außenseiten) so auszulegen, dass die Eigenfrequenzen der wendelförmigen Rohrleitung in einem gewünschten Frequenzbereich liegen. Insbesondere kann die Eigensteifigkeit der wendelförmigen Rohrleitung hierbei so ausgelegt werden, dass die Eigenfrequenzen der wendelförmigen Rohrleitung bei höheren Eigenfrequenzen liegen und somit nicht mehr mit dem Frequenzbereich der Positionsregelung der Spiegel überlappen.

Für die Art der Verbindung der Rohrwindungen bestehen verschiedene Möglichkeiten. Eine Möglichkeit besteht darin, benachbarte Rohrwindungen an ihren Außenseiten stoffschlüssig miteinander zu verbinden, beispielsweise zu

verschweißen. In diesem Fall liegen benachbarte Rohrwindungen an ihren Außenseiten praktisch unmittelbar aneinander an.

Bei einer Weiterbildung sind die Rohrwindungen an ihren Außenseiten über mindestens ein Versteifungselement bevorzugt starr miteinander verbunden. In diesem Fall liegen benachbarte Rohrwindungen an ihren Außenseiten in der Regel nicht unmittelbar aneinander an, sondern stehen indirekt über das Versteifungselement miteinander in Verbindung. Bei dem Versteifungselement kann es sich beispielsweise um einen sich in Längsrichtung der Rohrleitung erstreckenden Stab, eine Hülse oder dergleichen handeln, mit dem die Rohrwindungen an ihren Außenseiten (punktuell oder flächig) z.B. über eine stoffschlüssige Verbindung verbunden sind.

Auch ein Versteifungselement in Form einer Klammer oder dergleichen, welche die beiden äußersten Rohrwindungen der wendelförmigen Rohrleitung in Längsrichtung umgreift, ist grundsätzlich möglich. Die Länge der Klammer kann so gewählt werden, dass benachbarte Rohrwindungen mit ihren Außenseiten aneinander anliegen. Es ist daher nicht zwingend erforderlich, dass die Rohrwindungen an ihren Außenseiten über eine stoffschlüssige Verbindung mit dem Versteifungselement verbunden sind, vielmehr ist auch andere Art der Verbindung, beispielsweise eine klemmende Verbindung, möglich.

Bei einer weiteren Weiterbildung sind die Rohrwindungen in einen schwingungsdämpfenden Körper eingebettet, insbesondere eingegossen. Wie weiter oben beschrieben wurde, handelt es sich bei dem Material der wendelförmigen Rohrleitung in der Regel um Stahl oder um ein anderes nichtrostendes Material. Der schwingungsdämpfende Körper weist typischerweise ein Material auf, das nicht mit dem Material der wendelförmigen Rohrleitung übereinstimmt. Bei dem Material des schwingungsdämpfenden Körpers kann es sich beispielsweise um ein Elastomer handeln, dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Durch die Einbettung der Rohrwindungen in das

Material des schwingungsdämpfenden Körpers können strömungsinduzierte Vibrationen wirksam reduziert werden. Das Einbetten der Rohrwindungen kann durch ein Eingießen in das Material des strömungsdämpfenden Körpers erfolgen, es ist aber auch möglich, das Einbetten bzw. das Umhüllen der Rohrwindungen auf eine andere Weise, z.B. mit Hilfe eines additiven Verfahrens, zu bewerkstelligen.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Material des schwingungsdämpfenden Körpers um ein Harz oder um ein Fluorelastomer, insbesondere um Viton. Das Eingießen der Rohrwindungen der wendelförmigen Rohrleitung in ein Harz lässt sich auf besonders einfache Weise bewerkstelligen. Die Verwendung von Fluorelastomeren, speziell von Viton, als Material für den schwingungsdämpfenden Körper hat sich als günstig erwiesen, da dieses Material für den Einsatz in EUV-Lithographieanlagen zugelassen ist.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist der wendelförmige Drosselkanal als wendelförmiger Hohlraum in einem bevorzugt einteiligen Grundkörper ausgebildet. Bei dieser Ausführungsform ist der Drosselkanal nicht in Form einer Rohrleitung ausgebildet, sondern bildet einen mit einem Fluid durchströmbaren Hohlraum in dem Grundkörper. Bei dem Material des Grundkörpers kann es sich beispielsweise um Stahl oder um ein anderes nichtrostendes Material handeln, das beim Durchströmen mit dem Fluid, typischerweise Wasser, nicht degradiert. Der wendelförmige Hohlraum kann auf unterschiedliche Weise in dem Grundkörper hergestellt werden, z.B. durch Laserabtrag oder durch konventionelle materialabtragende Verfahren. Es ist auch möglich, ein Modell des wendelförmigen Drosselkanals zu verwenden, das beim Herstellen des Grundkörpers in einem Gießverfahren mit der Schmelze übergossen wird und hierbei verbrennt (sogenannte „verlorene Form“). Durch das Verbrennen des Modells wird der wendelförmige Hohlraum in dem Grundkörper gebildet.

Bei einer Weiterbildung dieser Ausführungsform ist der Grundkörper durch ein additives Fertigungsverfahren hergestellt, beispielsweise durch ein 3D-Druckverfahren. Der Grundkörper kann grundsätzlich aus allen schweißbaren Materialien gedruckt bzw. hergestellt werden. Bevorzugt handelt es sich bei dem Material des Grundkörpers um ein nichtrostendes Material, beispielsweise um Edelstahl. Die Druckmindereinheit kann aus dem (idealerweise einteiligen) Grundkörper bestehen, in dem der wendelförmige Hohlraum gebildet ist. Es ist aber auch möglich, dass die Druckmindereinheit zusätzlich zu dem Grundkörper noch weitere Bauelemente aufweist, die mit dem Grundkörper verbunden sind, beispielsweise mit einer Einlassöffnung oder einer Auslassöffnung des wendelförmigen Hohlraums. Bei den Bauelementen kann es sich beispielsweise um einen Düsenkanal oder um einen Diffusorkanal handeln (s.u.).

Bei einer weiteren Ausführungsform weist der wendelförmige Drosselkanal einen konstanten Strömungsquerschnitt auf. Für die Druckminderung durch viskose Reibung ist es günstig, wenn der Strömungsquerschnitt in dem Drosselkanal konstant ist. Für den Druckverlust Δp_R aufgrund von Reibung in einem kreisförmigen Strömungskanal, der eine Länge L und einen Durchmesser D aufweist, gilt:

$$\Delta p_R = \lambda (L / D) (\rho / 2) v^2, \quad (1)$$

wobei λ die (dimensionslose) Rohrreibungszahl, ρ die Dichte des Fluids (z.B. in g/cm^3) und v die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids (z.B. in m/s) bezeichnen. Der wendelförmige Drosselkanal weist bevorzugt eine konstante Ganghöhe bzw. Steigung auf.

Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Druckmindereinheit einen Düsenkanal mit einem sich verringernden Strömungsquerschnitt zur Zuführung des Fluids zu dem wendelförmigen Drosselkanal auf. Wie sich aus der oben

angegebenen Gleichung (1) ergibt, hängt der Druckverlust vom Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit v des Fluids ab und nimmt mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit zu. Daher ist es günstig, wenn das Fluid in dem Drosselkanal eine möglichst große Strömungsgeschwindigkeit v aufweist, was durch die Verringerung des Strömungsquerschnitts in dem Düsenkanal erreicht werden kann. Der Düsenkanal schließt an demjenigen Ende, das den minimalen Strömungsquerschnitt aufweist, in der Regel unmittelbar an den wendelförmigen Drosselkanal an.

Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Druckmindereinheit einen Diffusorkanal mit einem sich vergrößernden Strömungsquerschnitt zur Abführung des Fluids von dem wendelförmigen Drosselkanal. In dem Diffusorkanal wird durch die Zunahme des Strömungsquerschnitts ausgehend von dem wendelförmigen Drosselkanal die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids verringert. In der Regel wird der Diffusorkanal nur benötigt, wenn in dem Düsenkanal die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids erhöht wurde, um die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids wieder auf den Wert vor dem Eintritt in die Druckmindereinheit zu verringern.

Bei einer weiteren Ausführungsform nimmt der Strömungsquerschnitt des Düsenkanals mit einem Winkel von 15° oder weniger ab und/oder der Strömungsquerschnitt des Diffusorkanals nimmt mit einem Winkel von $3,5^\circ$ oder weniger zu. Die hier angegebenen Werte beziehen sich auf den Winkel zwischen der Wand des Düsenkanals bzw. des Diffusorkanals zur Mittelachse. Diese Winkel entsprechen daher dem halben Öffnungswinkel des Düsenkanals bzw. des Diffusorkanals.

Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die Veränderung des Strömungsquerschnitts in dem Düsenkanal und in dem Diffusorkanal pro Längeneinheit nicht zu groß gewählt wird, um möglichst wenig strömungsinduzierte Vibrationen zu erzeugen. Bei größeren Winkeln können

die Druckverhältnisse in den Strömungsgrenzschichten zu Strömungsablösungen und damit einhergehend zu Wirbeln und Turbulenzen führen. Bei einem Diffusorkanal, bei dem der Strömungsquerschnitt zunimmt, kann es bei kleineren Winkeln zu einer Strömungsablösung kommen als bei einem Düsenkanal, da sich aufgrund des abnehmenden Strömungsquerschnitts des Düsenkanals die Strömung erzwungenermaßen nur schwer ablösen kann. Der Strömungsquerschnitt des Düsenkanals, des Diffusorkanals sowie des wendelförmigen Drosselkanals ist bevorzugt kreisförmig, kann aber grundsätzlich auch eine andere Geometrie aufweisen.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Druckmindereinheit einteilig ausgebildet. Die Druckmindereinheit, welche insbesondere den Düsenkanal, den wendelförmigen Drosselkanal und den Diffusorkanal aufweisen kann, ist bevorzugt einteilig ausgebildet. Eine solche einteilige Ausführung der Druckmindereinheit ist günstig, aber nicht zwingend erforderlich: Es ist beispielsweise möglich, dass der Düsenkanal und/oder der Diffusorkanal zwei separate Bauteile bilden, die mit einem jeweiligen Ende des wendelförmigen Drosselkanals fluiddicht verbunden werden. Der Düsenkanal und der Diffusorkanal verlaufen in der Regel geradlinig, können aber ggf. ebenfalls eine Krümmung aufweisen und ggf. wie der Drosselkanal wendelförmig ausgebildet sein. Aufgrund der vergleichsweise kurzen Länge des Düsenkanals und des Diffusorkanals werden dort in der Regel nur geringfügige strömungsinduzierte Vibrationen erzeugt.

Die Druckmindereinheit kann – mit Ausnahme der Rechts- bzw. Linksgängigkeit des wendelförmigen Drosselkanals – in Bezug auf die Strömungsrichtung des Fluids symmetrisch ausgebildet sein, d.h. wenn die Strömungsrichtung des Fluids umgekehrt wird, werden die Rollen des Düsenkanals und des Diffusorkanals vertauscht, ohne dass dies Auswirkungen auf die Druckminderung des Fluids hat. Wie weiter oben beschrieben wurde, können der Öffnungswinkel des Düsenkanals und der Öffnungswinkel des

Diffusorkanals unterschiedlich gewählt werden. In diesem Fall ist die Druckmindereinheit bezüglich der Strömungsrichtung des Fluids asymmetrisch ausgebildet. Der Öffnungswinkel des Düsenkanals ist in diesem Fall größer als der Öffnungswinkel des Diffusorkanals. Aufgrund des größeren Öffnungswinkels kann die Länge des Düsenkanals gegenüber der Länge des Diffusorkanals verkürzt werden. Dies ist insbesondere günstig, wenn der Bauraum begrenzt ist.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein EUV-Lithographiesystem, umfassend: mindestens eine mit einem Fluid durchströmbare Komponente, insbesondere ein optisches Element, ein Strukturbauteil oder eine Fluidleitung, wobei die mit dem Fluid durchströmbare Komponente mindestens eine Druckmindereinheit aufweist, die wie weiter oben beschrieben ausgebildet ist. Bei dem EUV-Lithographiesystem kann es sich um eine EUV-Lithographieanlage zur Belichtung eines Wafers oder um eine andere optische Anordnung handeln, die EUV-Strahlung verwendet, beispielsweise um ein EUV-Inspektionssystem, z.B. zur Inspektion von in der EUV-Lithographie verwendeten Masken, Wafern oder dergleichen.

Bei dem optischen Element, das mit dem Fluid durchströmbar ist, kann es sich beispielsweise um einen direkt gekühlten Spiegel handeln, der ein Substrat aufweist, in das Hohlräume bzw. Kühlkanäle eingebracht sind, die mit einem Fluid, typischerweise mit Wasser, durchströmt werden, um den Spiegel zu kühlen. Es kann sich aber auch um ein anderes optisches Element handeln, beispielsweise um eine Linse. Bei dem Strukturbauteil kann es sich beispielsweise um eine Halterung, z.B. um einen Rahmen für die Halterung von optischen Elementen, einen Rahmen für die Halterung von Sensoren oder um einen Tragrahmen handeln, wie sie bei EUV-Lithographiesystemen, speziell bei EUV-Lithographieanlagen, eingesetzt werden. In die Materialien dieser Strukturbauteile, bei denen es sich z.B. um Aluminium, Stahl, Keramiken, etc. handeln kann, werden häufig mit einem Fluid durchströmbare Kanäle

einggebracht, um diese zu kühlen. Bei der Fluidleitung kann es sich beispielsweise um eine Rohrleitung eines Fluidleitungssystems, insbesondere eines Kühlsystems bzw. eines Kühlkreislaufs, handeln. Die Rohrleitung kann beispielsweise zur Zuführung eines Kühlfluids zu einem optischen Element, zu einem Strukturbauteil oder zu einer anderen Art von Bauteil dienen.

Wie weiter oben beschrieben wurde, können mit Hilfe der erfindungsgemäßen Druckmindereinheit die strukturdynamischen Eigenfrequenzen unabhängig vom Druckverlust eingestellt bzw. optimiert werden, ohne den benötigten Bauraum vergrößern zu müssen. Auf diese Weise kann eine lokale Reduktion des durch strukturdynamisches Verhalten hervorgerufenen Störungseintrags an der jeweiligen Druckmindereinheit erreicht werden.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele sind in der schematischen Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigt

Fig. 1 schematisch im Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektionslithografie,

Fig. 2a eine schematische Darstellung einer Druckmindereinheit mit einem Drosselkanal in Form einer wendelförmigen Rohrleitung,

deren Rohrwindungen über ein stabförmiges Versteifungselement starr miteinander verbunden sind,

Fig. 2b eine schematische Darstellung analog zu Fig. 2a, bei welcher die Rohrwindungen in einen schwingungsdämpfenden Körper eingebettet sind, sowie

Fig. 2c eine schematische Darstellung analog zu Fig. 2a,b, bei welcher der Drosselkanal einen wendelförmigen Hohlraum in einem zylindrischen Grundkörper bildet.

In der folgenden Beschreibung der Zeichnungen werden für gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile identische Bezugszeichen verwendet.

Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf Fig. 1 exemplarisch die wesentlichen Bestandteile einer optischen Anordnung für die EUV-Lithographie in Form einer Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithographie beschrieben. Die Beschreibung des grundsätzlichen Aufbaus der Projektionsbelichtungsanlage 1 sowie von deren Bestandteilen ist hierbei nicht einschränkend zu verstehen.

Eine Ausführung eines Beleuchtungssystem 2 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat neben einer Licht- bzw. Strahlungsquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Beleuchtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6. Bei einer alternativen Ausführung kann die Lichtquelle 3 auch als ein zum sonstigen Beleuchtungssystem separates Modul bereitgestellt sein. In diesem Fall umfasst das Beleuchtungssystem die Lichtquelle 3 nicht.

Beleuchtet wird ein im Objektfeld 5 angeordnetes Retikel 7. Das Retikel 7 ist von einem Retikelhalter 8 gehalten. Der Retikelhalter 8 ist über einen Retikelverlagerungsantrieb 9 insbesondere in einer Scanrichtung verlagerbar.

In Fig. 1 ist zur Erläuterung ein kartesisches xyz-Koordinatensystem eingezeichnet. Die x-Richtung verläuft senkrecht zur Zeichenebene hinein. Die y-Richtung verläuft horizontal und die z-Richtung verläuft vertikal. Die Scanrichtung verläuft in der Fig. 1 längs der y-Richtung. Die z-Richtung verläuft senkrecht zur Objektebene 6.

Die Projektionsbelichtungsanlage 1 umfasst ein Projektionssystem 10. Das Projektionssystem 10 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 11 in einer Bildebene 12. Abgebildet wird eine Struktur auf dem Retikel 7 auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 11 in der Bildebene 12 angeordneten Wafers 13. Der Wafer 13 wird von einem Waferhalter 14 gehalten. Der Waferhalter 14 ist über einen Waferverlagerungsantrieb 15 insbesondere längs der y-Richtung verlagerbar. Die Verlagerung einerseits des Retikels 7 über den Retikelverlagerungsantrieb 9 und andererseits des Wafers 13 über den Waferverlagerungsantrieb 15 kann synchronisiert zueinander erfolgen.

Bei der Strahlungsquelle 3 handelt es sich um eine EUV-Strahlungsquelle. Die Strahlungsquelle 3 emittiert insbesondere EUV-Strahlung 16, welche im Folgenden auch als Nutzstrahlung, Beleuchtungsstrahlung oder Beleuchtungslicht bezeichnet wird. Die Nutzstrahlung hat insbesondere eine Wellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm. Bei der Strahlungsquelle 3 kann es sich um eine Plasmaquelle handeln, zum Beispiel um eine LPP-Quelle (Laser Produced Plasma, mithilfe eines Lasers erzeugtes Plasma) oder um eine DPP-Quelle (Gas Discharged Produced Plasma, mittels Gasentladung erzeugtes Plasma). Es kann sich auch um eine synchrotronbasierte Strahlungsquelle handeln. Bei der Strahlungsquelle 3 kann es sich um einen Freie-Elektronen-Laser (Free-Electron-Laser, FEL) handeln.

Die Beleuchtungsstrahlung 16, die von der Strahlungsquelle 3 ausgeht, wird von einem Kollektorspiegel 17 gebündelt. Bei dem Kollektorspiegel 17 kann es sich um einen Kollektorspiegel mit einer oder mit mehreren ellipsoidalen und/oder hyperboloiden Reflexionsflächen handeln. Die mindestens eine Reflexionsfläche des Kollektorspiegels 17 kann im streifenden Einfall (Grazing Incidence, GI), also mit Einfallswinkeln größer als 45° , oder im normalen Einfall (Normal Incidence, NI), also mit Einfallswinkeln kleiner als 45° , mit der Beleuchtungsstrahlung 16 beaufschlagt werden. Der Kollektorspiegel 17 kann einerseits zur Optimierung seiner Reflektivität für die Nutzstrahlung und andererseits zur Unterdrückung von Falschlicht strukturiert und/oder beschichtet sein.

Nach dem Kollektorspiegel 17 propagiert die Beleuchtungsstrahlung 16 durch einen Zwischenfokus in einer Zwischenfokusebene 18. Die Zwischenfokusebene 18 kann eine Trennung zwischen einem Strahlungsquellenmodul, aufweisend die Strahlungsquelle 3 und den Kollektorspiegel 17, und der Beleuchtungsoptik 4 darstellen.

Die Beleuchtungsoptik 4 umfasst einen Umlenkspiegel 19 und diesem im Strahlengang nachgeordnet einen ersten Facettenspiegel 20. Bei dem Umlenkspiegel 19 kann es sich um einen planen Umlenkspiegel oder alternativ um einen Spiegel mit einer über die reine Umlenkungswirkung hinaus bündelbeeinflussenden Wirkung handeln. Alternativ oder zusätzlich kann der Umlenkspiegel 19 als Spektralfilter ausgeführt sein, der eine Nutzlichtwellenlänge der Beleuchtungsstrahlung 16 von Falschlicht einer hiervon abweichenden Wellenlänge trennt. Der erste Facettenspiegel 20 umfasst eine Vielzahl von einzelnen ersten Facetten 21, welche im Folgenden auch als Feldfacetten bezeichnet werden. Von diesen Facetten 21 sind in der Fig. 1 nur beispielhaft einige dargestellt. Im Strahlengang der Beleuchtungsoptik 4 ist dem ersten Facettenspiegel 20 nachgeordnet ein

zweiter Facettenspiegel 22. Der zweite Facettenspiegel 22 umfasst eine Mehrzahl von zweiten Facetten 23.

Die Beleuchtungsoptik 4 bildet somit ein doppelt facettiertes System. Dieses grundlegende Prinzip wird auch als Wabenkondensor (Fly's Eye Integrator) bezeichnet. Mit Hilfe des zweiten Facettenspiegels 22 werden die einzelnen ersten Facetten 21 in das Objektfeld 5 abgebildet. Der zweite Facettenspiegel 22 ist der letzte bündelformende oder auch tatsächlich der letzte Spiegel für die Beleuchtungsstrahlung 16 im Strahlengang vor dem Objektfeld 5.

Das Projektionssystem 10 umfasst eine Mehrzahl von Spiegeln M_i , welche gemäß ihrer Anordnung im Strahlengang der Projektionsbelichtungsanlage 1 durchnummeriert sind.

Bei dem in der Fig. 1 dargestellten Beispiel umfasst das Projektionssystem 10 sechs Spiegel M_1 bis M_6 . Alternativen mit vier, acht, zehn, zwölf oder einer anderen Anzahl an Spiegeln M_i ($i=1, 2, \dots$) sind ebenso möglich. Der vorletzte Spiegel M_5 und der letzte Spiegel M_6 haben jeweils eine Durchtrittsöffnung für die Beleuchtungsstrahlung 16. Bei dem Projektionssystem 10 handelt es sich um eine doppelt obskurierte Optik. Die Projektionsoptik 10 hat eine bildseitige numerische Apertur, die größer ist als 0,4 oder 0,5 und die auch größer sein kann als 0,6 und die beispielsweise 0,7 oder 0,75 betragen kann.

Die Spiegel M_i können, genauso wie die Spiegel der Beleuchtungsoptik 4, eine hoch reflektierende Beschichtung für die Beleuchtungsstrahlung 16 aufweisen.

Die Projektionsbelichtungsanlage 1 weist einen oder mehrere Kühlkreisläufe auf, um die Spiegel M_i des Projektionssystems 10 sowie andere Komponenten, beispielsweise Strukturbauteile wie Tragrahmen oder dergleichen, mit einem Fluid in Form einer Kühlflüssigkeit, typischerweise Wasser, zu durchströmen. Zu diesem Zweck werden in die Spiegel M_i , genauer gesagt in deren Substrate,

Hohlstrukturen eingebracht, die mit der Kühlflüssigkeit durchströmt werden. Um die Strömung der Kühlflüssigkeit durch parallel durchströmte Kühlkanäle bzw. Hohlstrukturen der Spiegel Mi und anderer Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage 1, z.B. der weiter oben beschriebenen Strukturbauteile, miteinander abzugleichen, werden Druckmindereinheiten verwendet, die in Fluidleitungen des Kühlkreislaufs bzw. des Kühlsystems der Projektionsbelichtungsanlage 1 oder ggf. in die Spiegel Mi oder in die jeweiligen Strukturbauteile integriert werden. Drei Beispiele für eine solche Druckmindereinheit 25 sind schematisch in Fig. 2a-c dargestellt und werden nachfolgend beschrieben.

Die in Fig. 2a dargestellte Druckmindereinheit 25 weist einen wendelförmigen Drosselkanal auf, der als wendelförmige Rohrleitung 26a in Form eines Stahlrohrs ausgebildet ist. Die wendelförmige Rohrleitung 26a weist im gezeigten Beispiel eine Anzahl von vierzehn Rohrwindungen 27 auf. Es versteht sich, dass die wendelförmige Rohrleitung 26a auch mehr oder weniger Rohrwindungen 27 aufweisen kann. Die wendelförmige Rohrleitung 26a wird zur Druckminderung eines Fluids F in Form einer Flüssigkeit verwendet, das in Fig. 2a durch einen Pfeil angedeutet ist.

Die wendelförmige Rohrleitung 26a bildet bei dem in Fig. 2a gezeigten Beispiel einen mittleren Abschnitt eines einteilig ausgebildeten Rohrs 26, das zusätzlich zu der wendelförmigen Rohrleitung 26a zwei weitere Abschnitte in Form eines Düsenkanals 26b und eines Diffusorkanals 26c aufweist. Der Düsenkanal 26b weist ein freies Ende mit einer Eintrittsöffnung 28a für das Fluid F auf und geht an seinem anderen Ende in die wendelförmige Rohrleitung 26a über. Der Diffusorkanal 26c geht vom in Fig. 2a linken Ende der wendelförmigen Rohrleitung 26a aus und erstreckt sich bis zum freien Ende an der gegenüberliegenden Seite des Rohrs 26, an dem sich eine Austrittsöffnung 28b zum Austritt des Fluids F nach dem Durchlaufen der Druckmindereinheit 25 befindet.

Der Strömungsquerschnitt A_K bzw. der Durchmesser des geradlinig verlaufenden Düsenkanals 26b verringert sich ausgehend von der Eintrittsöffnung 28a in dessen Längsrichtung bzw. entlang von dessen Mittelachse 29. Am Übergang von dem Düsenkanal 26b zu der wendelförmigen Rohrleitung 26a ist der Strömungsquerschnitt A_K des Düsenkanals 26b minimal. Durch die Verringerung des Strömungsquerschnitts A_K wird die Geschwindigkeit des Fluids F beim Eintritt in die wendelförmige Rohrleitung 26a erhöht, was die Reduzierung des Drucks des Fluids F in der wendelförmigen Rohrleitung 26a durch viskose Reibung begünstigt.

Die wendelförmige Rohrleitung 26a weist einen konstanten Strömungsquerschnitt A_D auf. Ein konstanter Strömungsquerschnitt A_D ist günstig, um den Druckverlust des Fluids F durch viskose Reibung zu erzeugen, ohne hierbei die Geschwindigkeit des Fluids F zu verändern. Der geradlinig verlaufende Diffusorkanal 26c weist einen Strömungsquerschnitt A_E auf, der in Längsrichtung bzw. entlang von dessen Mittelachse 30 kontinuierlich zunimmt. Im gezeigten Beispiel sind der Düsenkanal 26b und der Diffusorkanal 26c baugleich, d.h. diese weisen dieselbe Geometrie und dieselben Maße auf und sind in Bezug auf eine Mittelebene der wendelförmigen Rohrleitung 26 spiegelsymmetrisch angeordnet. An der Eintrittsöffnung 28a und an der Austrittsöffnung 28b der Druckmindereinheit 25 ist der Strömungsquerschnitt gleich groß (d.h. es gilt: $A_K = A_E$).

Wie in Fig. 2a ebenfalls zu erkennen ist, verläuft die Kanalwand des Düsenkanals 26b im gezeigten Beispiel konisch, d.h. diese ist unter einem konstanten Winkel α_1 in Bezug auf die Mittelachse 29 des Düsenkanals 26b ausgerichtet. Entsprechend ist die konisch verlaufende Kanalwand des Diffusorkanals 26c unter einem konstanten Winkel α_2 in Bezug auf die Mittelachse 30 des Diffusorkanals 26c ausgerichtet. Der Winkel α_1 in Bezug auf die Mittelachse 29 des Düsenkanals 26b liegt im gezeigten Beispiel bei ca. $3,5^\circ$,

kann aber auch größer gewählt werden, sollte allerdings nicht größer sein als ca. 15° . Der Winkel α_2 in Bezug auf die Mittelachse 30 des Diffusorkanals 26c liegt im gezeigten Beispiel ebenfalls bei ca. $3,5^\circ$ und sollte nicht größer gewählt werden, um Turbulenzen beim Durchströmen des Fluids F zu verhindern. Es versteht sich, dass der Düsenkanal 26b und der Diffusorkanal 26c nicht zwingend konisch verlaufende Kanalwände mit konstantem Winkel α_1 , α_2 in Bezug auf die jeweilige Mittelachse 29, 30 aufweisen müssen, vielmehr kann der Winkel α_1 , α_2 über die Länge des Düsenkanals 26b und/oder des Diffusorkanals 26c variieren. Insbesondere kann der Winkel α_1 des Düsenkanals 26b größer sein als der Winkel α_2 des Diffusorkanals 26c.

Das Rohr 26 ist im gezeigten Beispiel aus rostfreiem Stahl hergestellt und weist insbesondere in dem Abschnitt mit der wendelförmigen Rohrleitung 26a eine geringe Biegesteifigkeit auf, die zu strömungsinduzierten Vibrationen beim Durchströmen mit dem Fluid F führen kann, die sich u.a. nachteilig auf die Positionsregelung der Spiegel Mi der Projektionsoptik 10 auswirken können.

Um die Biegesteifigkeit der wendelförmigen Rohrleitung 26a zu erhöhen, sind bei dem in Fig. 2a gezeigten Beispiel die Rohrwindungen 27 der wendelförmigen Rohrleitung 26a an ihren Außenseiten 27a starr mit einem Versteifungselement 31 verbunden. Bei dem Verbindungselement 31 handelt es sich im gezeigten Beispiel um einen Stab, der sich über die gesamte Länge der wendelförmigen Rohrleitung 26a erstreckt. Die Rohrwindungen 27 sind an ihren Außenseiten 27a mit dem stabförmigen Verbindungselement 31 verschweißt, das im gezeigten Beispiel ebenfalls aus Stahl gebildet ist. Es versteht sich, dass die Verbindung zwischen dem stabförmigen Verbindungselement 31 und den Außenseiten 27a der jeweiligen Rohrwindungen 27 auch auf andere Weise erfolgen kann, z.B. über eine Klebeverbindung. Durch die Verbindung der Rohrwindungen 27 mittels des stabförmigen Verbindungselements 31 können die Rohrwindungen 27 keine bzw. nur geringfügige Bewegungen relativ zueinander ausführen, sodass

strömungsinduzierte Vibrationen der wendelförmigen Rohrleitung 26a verringert werden können. Grundsätzlich ist es auch möglich, eines oder mehrere Versteifungselemente 31 über eine klemmende Verbindung mit den Außenseiten 27a der Rohrwindungen 27 zu verbinden, um diese idealerweise starr miteinander zu verbinden.

Fig. 2b zeigt ein Beispiel für eine Druckmindereinheit 25, die ein durchgehendes, einteiliges Rohr 26 aufweist, das wie in Fig. 2a beschrieben ausgebildet ist. Für die Erhöhung der Eigensteifigkeit bzw. für die Schwingungsdämpfung sind die Rohrwindungen 27 der wendelförmigen Rohrleitung 26a in Fig. 2b in einen schwingungsdämpfenden Körper 32 eingebettet, genauer gesagt eingegossen, d.h. die Rohrwindungen 27 werden in die Schmelze des Materials des schwingungsdämpfenden Körpers 32 eingebettet, bevor dieses erkaltet.

Der schwingungsdämpfende Körper 32 besteht im gezeigten Beispiel aus einem Elastomer, genauer gesagt aus einem Fluorelastomer (Viton). Es versteht sich aber, dass der schwingungsdämpfende Körper 32 auch aus einem anderen Material hergestellt sein kann, das geeignet ist, die Relativbewegung der Rohrwindungen 27 zueinander zu dämpfen. Bei dem Material kann es sich beispielsweise um ein Harz handeln. Bei dem Harz kann es sich um ein Elastomer handeln, es ist aber auch möglich, dass es sich bei dem Material, in das die Rohrwindungen 27 eingebettet sind, um ein starres Material handelt, das eine Relativbewegung der Rohrwindungen 27 praktisch vollständig verhindert. Es versteht sich, dass der schwingungsdämpfende Körper 32 in Fig. 2b nur beispielhaft zylinderförmig dargestellt ist und auch eine andere Geometrie aufweisen kann.

Fig. 2c zeigt ein weiteres Beispiel einer Druckmindereinheit 25, bei welcher der wendelförmige Drosselkanal in Form eines in Fig. 2c gestrichelt dargestellten wendelförmigen Hohlraums 26a' in einem zylinderförmigen Grundkörper 33

ausgebildet ist. Der zylinderförmige Grundkörper 33 besteht aus einem schweißfähigen Material, genauer gesagt aus Stahl und wurde in einem additiven Fertigungsverfahren durch 3D-Druck hergestellt. Bei dem 3D-Druck wurde der Grundkörper 33 im gezeigten Beispiel schichtweise aus einem Pulverbett hergestellt, wobei beim schichtweisen Aufbau des Grundkörpers 33 der wendelförmige Hohlraum 26a' ausgespart wurde. Der wendelförmige Hohlraum 26a' bildet den Negativabdruck der Innenseite der in Fig. 2a,b beschriebenen wendelförmigen Rohrleitung 26a. Alternativ kann der Hohlraum in dem Grundkörper 33 z.B. durch Laserablation erzeugt werden. Es ist auch möglich, ein Modell des wendelförmigen Hohlraums 26a' mit einer Schmelze aus dem Material des Grundkörpers 33 zu übergießen, wobei das Modell verbrennt (sogenannte „verlorene Form“). Nach dem Verbrennen des Modells bleibt der wendelförmige Hohlraum 26a' in dem Grundkörper 33 zurück.

Die in Fig. 2c gezeigte Druckmindereinheit 25 weist ebenso wie die in Fig. 2a,b gezeigten Druckmindereinheiten 25 einen Düsenkanal 26b und einen Diffusorkanal 26c auf, die einstückig mit dem Grundkörper 33 ausgebildet sind. Die gesamte Druckmindereinheit 25 wurde bei dem in Fig. 2c gezeigten Beispiel durch 3D-Druck erzeugt. Es versteht sich, dass alternativ der Düsenkanal 26b und der Diffusorkanal 26c als getrennte Bauteile gefertigt werden können, die an einer jeweiligen Stirnseite des Grundkörpers 33 mit dem wendelförmigen Hohlraum 26a' fluiddicht verbunden werden.

Durch die schwingungsdämpfende, ggf. starre Verbindung der Windungen 27 des wendelförmigen Drosselkanals 26a, 26a' miteinander können strömungsinduzierte Vibrationen reduziert werden. Insbesondere können die Frequenzen der Eigenschwingungen der Druckmindereinheit 25 eingestellt bzw. in einen Frequenzbereich verschoben werden, der sich nicht mit dem Frequenzbereich der Positionsregelung der Spiegel M1 der Projektionsoptik 10 überschneidet.

Patentansprüche

1. Druckmindereinheit (25), umfassend:
einen wendelförmigen Drosselkanal (26a, 26a') zur Druckminderung einer Flüssigkeit (F), wobei der wendelförmige Drosselkanal (26a, 26a') eine Mehrzahl von Windungen (27) aufweist, die schwingungsdämpfend miteinander verbunden sind.
2. Druckmindereinheit nach Anspruch 1, bei welcher der wendelförmige Drosselkanal als wendelförmige Rohrleitung (26a) mit einer Mehrzahl von Rohrwindungen (27) ausgebildet ist.
3. Druckmindereinheit nach Anspruch 2, bei welcher die Rohrwindungen (27) an ihren Außenseiten (27a) über mindestens ein Versteifungselement (31) bevorzugt starr miteinander verbunden sind.
4. Druckmindereinheit nach Anspruch 2, bei welcher die Rohrwindungen (27) in einen schwingungsdämpfenden Körper (32) eingebettet, insbesondere eingegossen, sind.
5. Druckmindereinheit nach Anspruch 4, bei welcher der schwingungsdämpfende Körper (32) aus einem Harz oder aus einem Fluorelastomer gebildet ist.
6. Druckmindereinheit nach Anspruch 1, bei welcher der wendelförmige Drosselkanal (26a') als wendelförmiger Hohlraum in einem bevorzugt einteiligen Grundkörper (33) ausgebildet ist.
7. Druckmindereinheit nach Anspruch 6, bei welcher der Grundkörper (33) durch additive Fertigung hergestellt ist.

8. Druckmindereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der wendelförmige Drosselkanal (26a, 26a') einen konstanten Strömungsquerschnitt (A_D) aufweist.
9. Druckmindereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
einen Düsenkanal (26b) mit einem sich verringernden Strömungsquerschnitt (A_K) zur Zuführung der Flüssigkeit (F) zu dem wendelförmigen Drosselkanal (26a, 26a').
10. Druckmindereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
einen Diffusorkanal (26c) mit einem sich vergrößernden Strömungsquerschnitt (A_E) zur Abführung der Flüssigkeit (F) von dem wendelförmigen Drosselkanal (26a, 26a').
11. Druckmindereinheit nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei welcher der Strömungsquerschnitt (A_K) des Düsenkanals (26b) mit einem Winkel (α_1) von 15° oder weniger abnimmt und/oder bei welcher der Strömungsquerschnitt (A_E) des Diffusorkanals (26c) mit einem Winkel (α_2) von $3,5^\circ$ oder weniger zunimmt.
12. Druckmindereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einteilig ausgebildet ist.
13. EUV-Lithographiesystem (1), umfassend:
mindestens eine mit einer Flüssigkeit (F) durchströmbare Komponente, insbesondere ein optisches Element (M_i) oder ein Strukturbauteil, wobei die mit der Flüssigkeit (F) durchströmbare Komponente mindestens eine Druckmindereinheit (25) nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

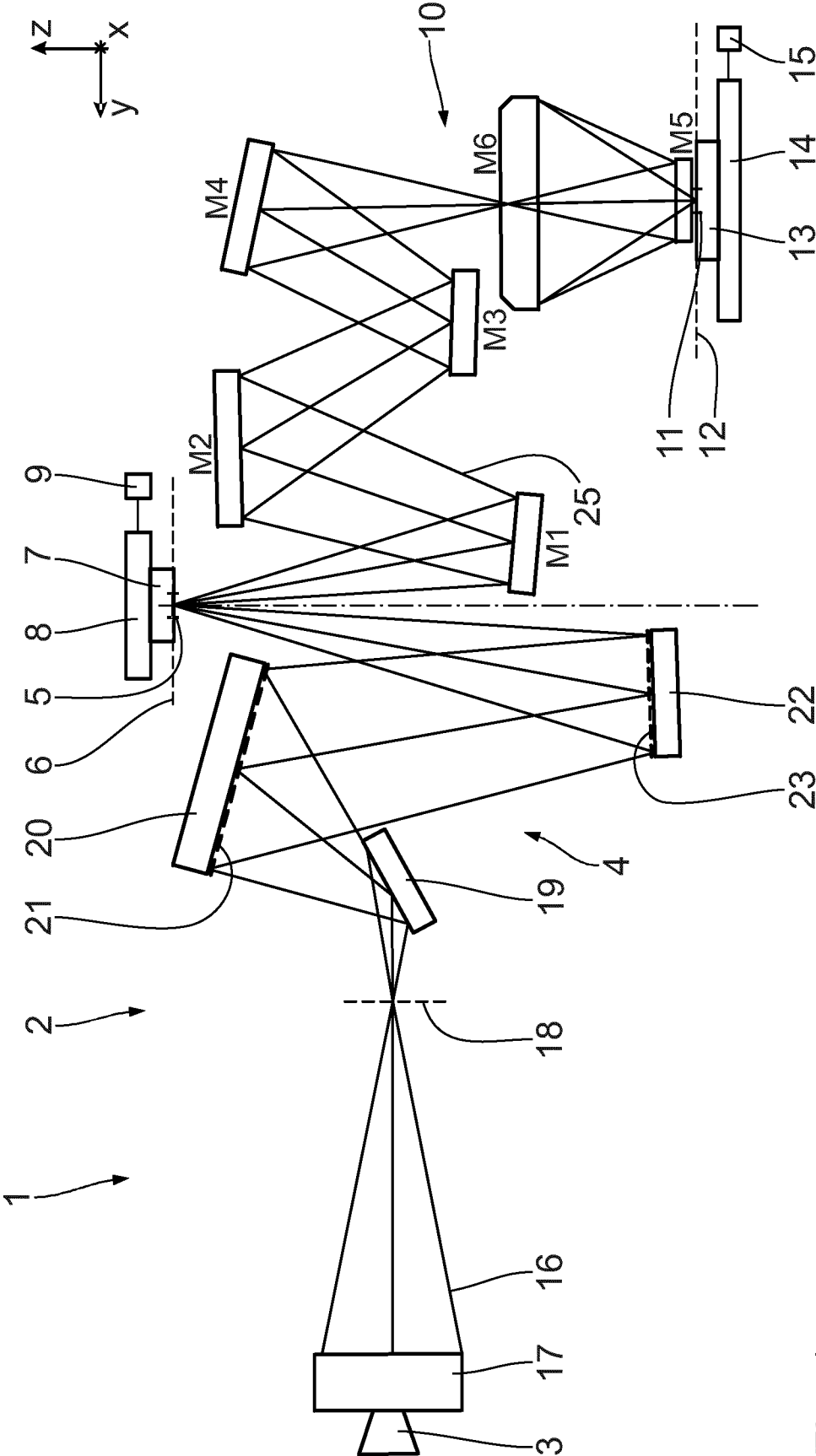
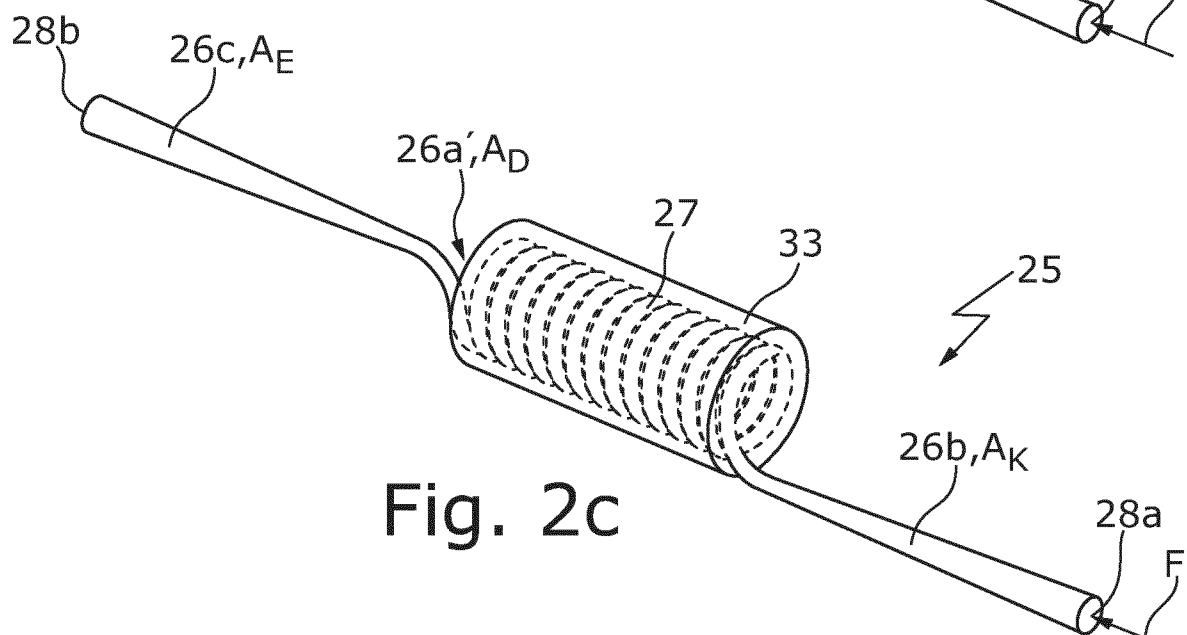
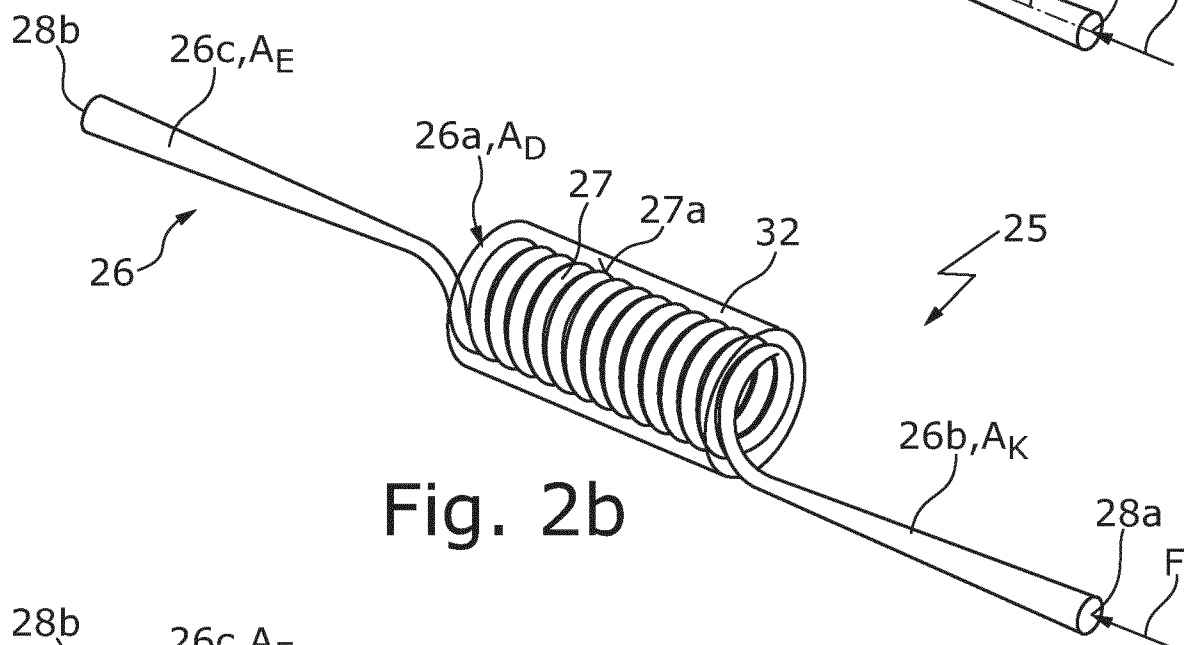
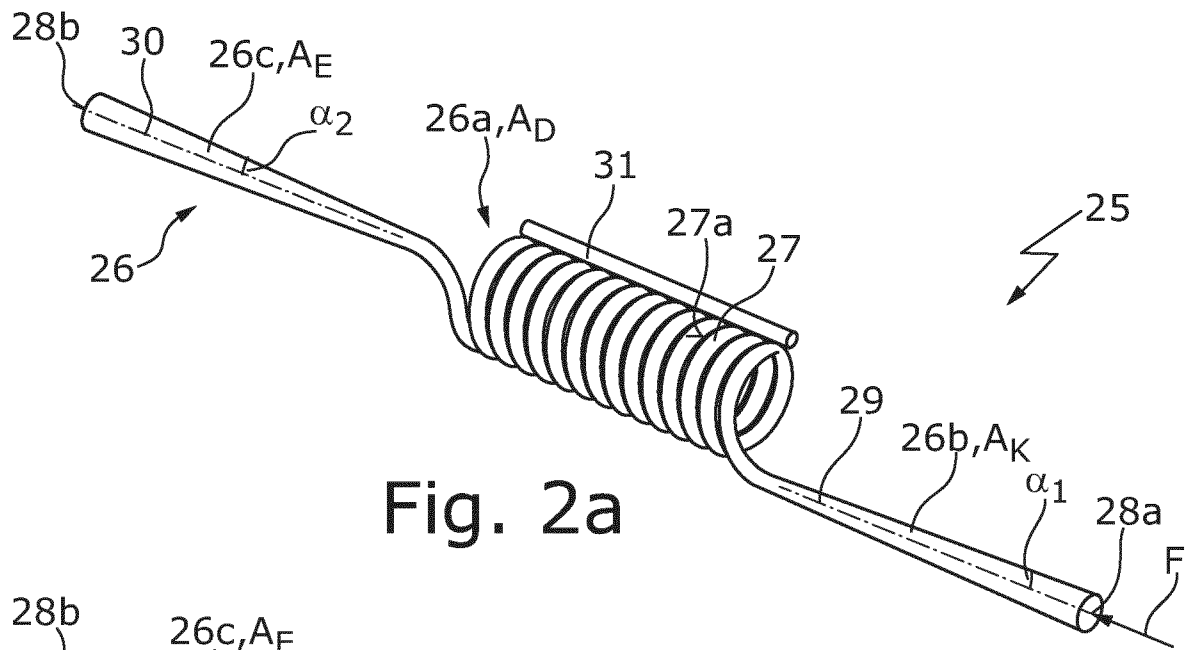


Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/060471**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F15D 1/02**(2006.01)i; **F15B 21/10**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F15D; G03F; G02B; F15B; F28F; F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005067154 A1 (GORDON MICHAEL [US] ET AL) 31 March 2005 (2005-03-31) paragraphs [0048] - [0050]	1-3,8
X	US 2611585 A (CECIL BOLING) 23 September 1952 (1952-09-23) column 1, line 41 - column 3, line 36	1,2,4,5,8-11
X	US 2021372706 A1 (TURNERY JOSEPH [US] ET AL) 02 December 2021 (2021-12-02) paragraphs [0023], [0026] - [0027]; figures 3-5	1,6-8,12
X	EP 0676592 A2 (WHITE BRADFORD CORP [US]) 11 October 1995 (1995-10-11) column 5, line 35 - column 6, line 30	1-3,8
X	WO 2021209165 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]; KESTEL MATTHIAS [DE] ET AL.) 21 October 2021 (2021-10-21) page 19; figures 7b,9a-9c	1,6-8,12,13
X	DE 102013214746 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 07 August 2014 (2014-08-07) paragraphs [0001], [0074]; figure 6	1, 13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 August 2023

Date of mailing of the international search report

18 August 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Toffolo, Olivier

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/060471

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2005067154	A1	31 March 2005	CA	2476684	A1	30 March 2005
				US	2005067154	A1	31 March 2005
US	2611585	A	23 September 1952	NONE			
US	2021372706	A1	02 December 2021	EP	3193125	A1	19 July 2017
				US	2017205146	A1	20 July 2017
				US	2021372706	A1	02 December 2021
EP	0676592	A2	11 October 1995	AU	677711	B2	01 May 1997
				CA	2143031	A1	09 October 1995
				EP	0676592	A2	11 October 1995
				US	5485879	A	23 January 1996
WO	2021209165	A1	21 October 2021	DE	102020204669	A1	14 October 2021
				KR	20220167373	A	20 December 2022
				US	2023023575	A1	26 January 2023
				WO	2021209165	A1	21 October 2021
DE	102013214746	A1	07 August 2014	NONE			

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDESINV. **F15D1/02** **F15B21/10**

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F15D G03F G02B F15B F28F F28D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/067154 A1 (GORDON MICHAEL [US] ET AL) 31. März 2005 (2005-03-31) Absätze [0048] - [0050] -----	1-3, 8
X	US 2 611 585 A (CECIL BOLING) 23. September 1952 (1952-09-23) Spalte 1, Zeile 41 - Spalte 3, Zeile 36 -----	1, 2, 4, 5, 8-11
X	US 2021/372706 A1 (TURNERY JOSEPH [US] ET AL) 2. Dezember 2021 (2021-12-02) Absätze [0023], [0026] - [0027]; Abbildungen 3-5 -----	1, 6-8, 12
X	EP 0 676 592 A2 (WHITE BRADFORD CORP [US]) 11. Oktober 1995 (1995-10-11) Spalte 5, Zeile 35 - Spalte 6, Zeile 30 ----- --/--	1-3, 8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. August 2023

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/08/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Toffolo, Olivier

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2021/209165 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]; KESTEL MATTHIAS [DE] ET AL.) 21. Oktober 2021 (2021-10-21) Seite 19; Abbildungen 7b, 9a-9c -----	1, 6-8, 12, 13
X	DE 10 2013 214746 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 7. August 2014 (2014-08-07) Absätze [0001], [0074]; Abbildung 6 -----	1, 13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/060471

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005067154 A1	31-03-2005	CA 2476684 A1	30-03-2005
		US 2005067154 A1	31-03-2005

US 2611585 A	23-09-1952	KEINE	

US 2021372706 A1	02-12-2021	EP 3193125 A1	19-07-2017
		US 2017205146 A1	20-07-2017
		US 2021372706 A1	02-12-2021

EP 0676592 A2	11-10-1995	AU 677711 B2	01-05-1997
		CA 2143031 A1	09-10-1995
		EP 0676592 A2	11-10-1995
		US 5485879 A	23-01-1996

WO 2021209165 A1	21-10-2021	DE 102020204669 A1	14-10-2021
		KR 20220167373 A	20-12-2022
		US 2023023575 A1	26-01-2023
		WO 2021209165 A1	21-10-2021

DE 102013214746 A1	07-08-2014	KEINE	
