



(10) **DE 10 2023 205 525 B3** 2024.08.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2023 205 525.2**
(22) Anmeldetag: **14.06.2023**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2024**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20** (2006.01)
G02B 7/182 (2021.01)
G02B 5/08 (2006.01)
G05D 23/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

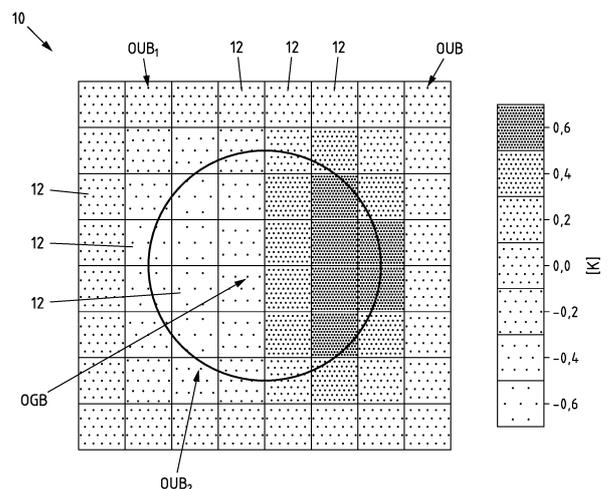
(72) Erfinder:
Bonifacius, Lucas, 73431 Aalen, DE;
Fehrenbacher, Markus, 73492 Rainau, DE;
Arlinghaus, Stephan, 73447 Oberkochen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2011 005 778	A1
DE	10 2019 202 531	A1
DE	10 2019 217 185	A1
US	2003 / 0 169 520	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements, Projektionsbelichtungsanlage sowie Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements**

(57) Zusammenfassung: Dargestellt und beschrieben ist ein Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements (10) für die Mikrolithographie umfassend die folgenden Schritte: 1a) Bereitstellen wenigstens eines temperierbaren optischen Elements (10) für die Mikrolithographie, wobei das optische Element (10) eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen (12) aufweist, wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch genutzten Bereich (OGB) des optischen Elements (10) angeordnet ist, und wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch ungenutzten Bereich (OUB) des optischen Elements angeordnet ist, 2a) Temperieren des optischen Elements (10), wobei wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem optisch genutzten Bereich (OGB), in einem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und/oder in einem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) temperiert wird. Um eine umfangreichere und/oder energieeffizientere Beeinflussung der Strahlung zu erreichen wird vorgeschlagen, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) nicht dieselbe Temperatur aufweist wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfassend die folgenden Schritte: 1a) Bereitstellen wenigstens eines temperierbaren optischen Elements für die Mikrolithographie, wobei das optische Element eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen aufweist, wobei ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch genutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist, und wobei ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch ungenutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist, 2a) Temperieren des optischen Elements, wobei wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich, in einem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder in einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs temperiert wird.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiter eine Projektionsbelichtungsanlage.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfassend die folgenden Schritte: 1b) Bereitstellen eines initialen Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie, wobei das optische Element eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen aufweist, wobei ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch genutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist, wobei ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch ungenutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist, wobei das initiale Temperaturprofil für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen eine jeweilige initiale Solltemperatur umfasst, und wobei eine initiale Temperierleistung erforderlich ist, um das initiale Temperaturprofil einzustellen, 2b) Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils des optischen Elements ausgehend von dem initialen Temperaturprofil mittels eines Optimierungsverfahrens, wobei das optimierte Temperaturprofil für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen eine jeweilige optimierte Solltemperatur umfasst, wobei eine optimierte Temperierleistung erforderlich ist, um das optimierte Temperaturprofil einzustellen, wobei für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt, wobei für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch ungenutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert wird.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft weiter eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung.

[0005] Die vorliegende Erfindung betrifft weiter ein Computerprogramm.

[0006] Die vorliegende Erfindung betrifft weiter ein computerlesbares Medium.

[0007] Die Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird beispielsweise mit einer Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche unter anderem ein Beleuchtungssystem, insbesondere eine Beleuchtungsoptik, und/oder ein Projektionssystem, insbesondere eine Projektionsoptik, aufweist. Die Struktur einer mittels der Beleuchtungsoptik belichteten Maske (Retikel) wird hierbei mittels der Projektionsoptik auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsoptik angeordnetes Substrat, beispielsweise einen Wafer, insbesondere Siliziumwafer, projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

[0008] Eines der Ziele bei der Entwicklung von Projektionsbelichtungsanlagen besteht darin, Strukturen mit zunehmend kleineren Abmessungen auf dem Substrat lithographisch zu erzeugen, beispielsweise um bei Halbleiterbauelementen höhere Integrationsdichten zu erzielen. Ein Ansatz besteht darin, mit kürzeren Wellenlängen von elektromagnetischer Strahlung zu arbeiten. Beispielsweise wurden optische Systeme entwickelt, die elektromagnetische Strahlung aus dem sogenannten „deep ultraviolet“ Bereich (DUV), insbesondere mit Arbeitswellenlängen im Bereich zwischen 150 nm und 400 nm, insbesondere 365 nm, 248 nm oder 193 nm, oder aus dem extremen Ultraviolettbereich (EUV) verwenden, insbesondere mit Arbeitswellenlängen im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm, insbesondere bei 13,5 nm.

[0009] Um die Strahlung während des Mikrolithographieprozess zu beeinflussen, beispielsweise um Abbildungsfehler zu korrigieren, ist es bekannt optische Elemente der Projektionsbelichtungsanlage zu manipulieren. Die Manipulation der optischen Elemente kann dabei beispielsweise durch ein Temperieren, also ein Erwärmen und/oder Kühlen, des jeweiligen optischen Elements erfolgen. Das Temperieren kann dann zu einer Veränderung des Brechungsindex sowie zu einer Deformation des optischen Elements führen, wobei die Veränderung des Brechungsindex und die Deformation des optischen Elements die Strahlung beeinflussen und somit wiederum zu einer bestimmten optischen Wirkung führen. Das Temperieren kann dabei in und/oder mittels einer Vielzahl von temperierbaren Zonen erfolgen.

[0010] Bei einer derartigen Manipulation war es bisher üblich ein Temperaturprofil einzustellen bei denen im optisch ungenutzten Bereich im Wesentlichen konstant eine Referenztemperatur gehalten wird, insbesondere um angrenzende Bauteile der Projektionsbelichtungsanlage nicht zu beeinflussen. Im optisch genutzten Bereich wurde wiederum wenigstens abschnittsweise von der Referenztemperatur abweichende Temperaturen eingestellt, um eine gewünschte Beeinflussung der Strahlung zu erzielen. Zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich ergab sich somit oftmals eine eindeutige und strikte Abgrenzung in den jeweils vorherrschenden Temperaturen.

[0011] Von Nachteil ist jedoch, dass eine derartige eindeutige und strikte Abgrenzung in den vorherrschenden Temperaturen im Übergang zwischen optisch genutzten Bereich und optisch ungenutzten Bereich eine hohe Temperierleistung erfordert. Wird beispielsweise der optisch genutzte Bereich angrenzend an den optisch ungenutzten Bereich stark erwärmt, muss aufgrund der Wärmeübertragung, insbesondere Wärmeleitung, zwischen den einzelnen temperierbaren Zonen am angrenzenden optisch ungenutzten Bereich entsprechend stark gekühlt werden, um die Referenztemperatur im optisch ungenutzten Bereich zu halten. Dies ist zum einen im Hinblick auf die Energie- bzw. Leistungseffizienz nicht optimal, da für das Temperieren gemäß der bisher üblichen Temperaturprofile hohe Mengen an Energie bzw. Leistung erforderlich sind. Zum anderen hat ein derartiges Temperaturprofil zur Folge, dass dem optisch ungenutzten Bereich immer ausreichend Temperierleistung zur Verfügung stehen muss, um die Referenztemperatur konstant zu halten, wobei diese Temperierleistung dann nicht dem optisch genutzten Bereich zur Manipulation des optischen Elements und somit zur Beeinflussung der Strahlung zur Verfügung gestellt werden kann. Eine umfangreichere Manipulation ist bei einem derartig abgegrenzten Temperaturprofil oftmals nur durch Anpassung des optischen Elements und/oder der Projektionsbelichtungsanlage möglich.

[0012] Aus dem Stand der Technik ist die DE 10 2019 202 531 A1 bekannt, die ein optisches Korrekturlement, eine Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie mit einem Korrekturlement und ein Verfahren zur Auslegung eines Korrekturlementes offenbart.

[0013] Ferner ist aus dem Stand der Technik die DE 10 2019 217 185 A1 bekannt, die eine Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie offenbart.

[0014] Zudem ist aus dem Stand der Technik die DE 10 2011 005 778 A1 bekannt, die ein optisches Element offenbart.

[0015] Außerdem ist aus dem Stand der Technik die US 2003/ 0 169 520 A1 bekannt, die eine Spiegelbaugruppe mit thermischer Kontursteuerung offenbart.

[0016] Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde ein Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie, eine Projektionsbelichtungsanlage, ein Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie, eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung, ein Computerprogramm und ein computerlesbares Medium derart auszugestalten und weiterzubilden, dass eine umfangreichere und/oder energieeffizientere Beeinflussung der Strahlung erfolgen kann.

[0017] Die zuvor genannte Aufgabe wird bei dem Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie dadurch gelöst, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen nicht dieselbe Temperatur aufweist wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs.

[0018] Das Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfasst zunächst den folgenden Schritt: 1a) Bereitstellen wenigstens eines temperierbaren optischen Elements für die Mikrolithographie. Das optische Element ist für den Einsatz in einer Projektionsbelichtungsanlage vorgesehen, insbesondere um bei der Belichtung eines Substrats die eingesetzte Strahlung zu beeinflussen. Das optische Element kann wenigstens eine Linse und/oder wenigstens ein Spiegel umfassen, insbesondere als Linse und/oder Spiegel ausgestaltet sein. Bei dem optischen Element kann es sich alternativ oder zusätzlich um eine planparallele und/oder wenigstens abschnittsweise transparente Platte handeln. Das optische Element kann dabei durch eine Temperierungseinrichtung temperiert werden. Das optische Element kann dazu eine Temperierungseinrichtung umfassen und/oder mit einer Temperierungseinrichtung zusammenwirken. Die Temperierungseinrichtung kann wenigstens ein Temperierungselement, beispielsweise ein Heizelement und/oder einen Kühlelement, umfassen. Das Temperierungselement kann wenigstens abschnittsweise mit dem optischen Element verbunden sein und/oder wenigstens abschnittsweise in dem optischen Element eingebettet sein.

[0019] Unter dem Begriff „Temperieren“ wird in der vorliegenden Offenbarung ein Erwärmen und/oder Kühlen verstanden. Ein temperierbares optisches

Element kann folglich erwärmt und/oder gekühlt werden.

[0020] Ferner ist vorgesehen, dass das optische Element eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen aufweist. Durch das Vorsehen von temperierbaren Zonen wird es vereinfacht gezielt die Temperatur an verschiedenen Stellen des optischen Elements anzupassen. Vorteilhafterweise ist es vorgesehen, dass die temperierbaren Zonen jeweils individuell und/oder unabhängig voneinander temperierbar sind. Die temperierbaren Zonen können wenigstens entlang einer Oberfläche des optischen Elements angeordnet sein. Es kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein Teil der, insbesondere im Wesentlichen alle, temperierbaren Zonen jeweils mit der Temperierungseinrichtung in Kontakt stehen und/oder verbunden sind. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein Teil der Temperierungseinrichtung jeweils in wenigstens einem Teil der, insbesondere in im Wesentlichen allen, temperierbaren Zonen eingebettet ist.

[0021] Zudem ist vorgesehen, dass ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch genutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist. Durch entsprechend angeordnete temperierbaren Zonen kann die für die Belichtung vorgesehene Strahlung beeinflusst werden. Insbesondere können durch die Beeinflussung der Strahlung bei der Belichtung in einer Projektionsbelichtungsanlage auftretende Abbildungsfehler korrigiert werden. Der optisch genutzte Bereich wird oftmals auch als optisch freier Bereich bezeichnet und beschreibt insbesondere den Bereich auf und/oder durch den beim Einsatz des optischen Elements in einer Projektionsbelichtungsanlage, vorzugsweise während der Belichtung eines Substrats, für die Belichtung vorgesehene Strahlung geleitet wird.

[0022] Außerdem ist vorgesehen, dass ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch ungenutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist. Der optisch ungenutzte Bereich beschreibt insbesondere den Bereich auf und/oder durch den beim Einsatz des optischen Elements in einer Projektionsbelichtungsanlage, vorzugsweise während der Belichtung eines Substrats, für die Belichtung vorgesehene Strahlung nicht geleitet wird. Der optisch ungenutzte Bereich und der optisch genutzte Bereich sind vorzugsweise wenigstens abschnittsweise in derselben Ebene und/oder wenigstens abschnittsweise auf derselben Seite des optischen Elements angeordnet.

[0023] Durch entsprechend angeordnete temperierbaren Zonen kann verhindert oder zumindest entgegengewirkt werden, dass an das optische Element angrenzende Bauteile einer Projektionsbelichtungsanlage durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs beeinflusst werden. Dies wird vorzugs-

weise dadurch erreicht, dass die temperierbaren Zonen im optisch ungenutzten Bereich wenigstens teilweise auf eine Referenztemperatur temperiert werden.

[0024] Das Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfasst zudem den folgenden Schritt: 2a) Temperieren des optischen Elements. Durch das Temperieren werden die Effekte erzielt, die bereits bei den temperierbaren Zonen im optisch genutzten Bereich und optisch ungenutzten Bereich erläutert wurden.

[0025] Ferner ist vorgesehen, dass wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich, in einem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder in einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs temperiert wird. Durch ein Temperieren des optisch genutzten Bereichs wird eine Beeinflussung der für die Belichtung vorgesehene Strahlung vereinfacht. Durch ein Temperieren des optisch ungenutzten Bereichs kann die Temperatur außerhalb des optisch genutzten Bereichs auf gewünschte Temperaturen eingestellt werden, worauf nachfolgend eingegangen wird. Der optisch ungenutzte Bereich kann neben dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt noch weitere Abschnitte aufweisen. Vorzugsweise ist es jedoch vorgesehen, dass der optisch ungenutzte Bereich lediglich aus dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt besteht.

[0026] Gemäß dem Verfahren ist zudem vorgesehen, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen nicht dieselbe Temperatur aufweist wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs. Hierdurch liegt im optisch ungenutzten Bereich nicht mehr überall eine und dieselbe, vorzugsweise im Wesentlichen konstante, Temperatur, beispielsweise Referenztemperatur, vor. Dadurch wird wiederum erreicht, dass die Abgrenzung zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weniger eindeutig und strikt ist und stattdessen vorzugsweise ein eher fließender Übergang vorliegt. Im optisch ungenutzten Bereich angrenzenden an den optisch genutzten Bereich ist ein starkes Gegenteiltemperieren wie bisher üblich somit nicht mehr nötig, sodass hierdurch die benötigte Temperierleistung des gesamten optischen Elements verringert wird. Eine energieeffizientere Nutzung ist somit möglich. Zudem können auch Temperaturprofile umgesetzt werden, welche mehr Temperierleistung in dem optisch genutzten Bereich erfordern als bisher üblich. Dies kann auch

dazu genutzt werden die Herstellung des optischen Elements zu vereinfachen. Durch die Temperierleistung, die dem optisch genutzten Bereich nun zusätzlich zur Verfügung gestellt werden kann, kann eine Beeinflussungen der für die Belichtung vorgesehene Strahlung in einem Umfang erfolgen, die bisher nicht oder nur mit einem angepassten konstruktiven Aufbau des optischen Elements erreicht werden konnte. Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen nicht auf dieselbe Temperatur temperiert wird wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs. Durch ein entsprechendes Temperieren wird weiter vereinfacht, dass ein eher fließender Übergang zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich vorliegt.

[0027] Ein „Temperaturprofil“ in der vorliegenden Offenbarung umfasst vorzugsweise wenigstens für einen Teil, insbesondere im Wesentlichen alle, temperierbaren Zonen eine jeweilige Solltemperatur. Bei der jeweiligen Solltemperatur handelt es sich um die Temperatur, auf die die jeweilige temperierbare Zone temperiert werden soll. Die Solltemperatur kann dabei beispielsweise eine absolute Temperatur oder die Differenz zu einer Vergleichstemperatur, vorzugsweise der Referenztemperatur, angeben.

[0028] Unter der „Temperierleistung“ wird in der vorliegenden Offenbarung vorzugsweise die Leistung verstanden, die zur Temperierung, insbesondere der jeweiligen temperierbaren Zonen, eingesetzt wird, vorzugsweise um eine oder mehrere bestimmte Solltemperaturen und/oder ein bestimmtes Temperaturprofil zu erreichen. Bei der Temperierleistung kann es sich beispielsweise um Heizleistung und/oder Kühlleistung handeln.

[0029] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass in Schritt 2a) in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen auf eine Referenztemperatur temperiert wird, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen nicht die Referenztemperatur aufweist, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen auf wenigstens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur und/oder auf unterschiedliche Temperaturen temperiert wird und/oder dass in Schritt 2a) in dem optisch genutzten Bereich wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen auf wenig-

tens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur und/oder auf unterschiedliche Temperaturen temperiert wird.

[0030] Durch ein entsprechendes Temperieren des ersten Abschnitts des optisch ungenutzten Bereichs wird vereinfacht, dass an das optische Element angrenzende Bauteile einer Projektionsbelichtungsanlage durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs und/oder des zweiten Abschnitts des optisch ungenutzten Bereichs nicht oder zumindest nur in geringem Maße beeinflusst werden. Es bietet sich daher an, den ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs insbesondere dort anzuordnen, wo das optische Element mit anderen Bauteilen in Kontakt kommen kann, insbesondere mit anderen Bauteilen verbindbar ist. Beispielsweise kann der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs angrenzend an mit dem optischen Element verbundenen Sensoren angeordnet sein, um die Funktion der Sensoren nicht zu beeinflussen. Es kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen auf die Referenztemperatur temperiert werden. Dies vereinfacht es andere Bauteile nicht durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs zu beeinflussen. Bei der Referenztemperatur handelt es sich insbesondere um eine im Wesentlichen konstante und/oder vorgegebene Temperatur.

[0031] Durch ein entsprechendes Temperieren in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wird vereinfacht, dass die Abgrenzung zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weniger eindeutig und strikt ist, sondern vorzugsweise ein eher fließender Übergang vorhanden ist. Durch ein Temperieren ist es nämlich einfacher die entsprechende Temperatur zu erreichen und zu halten. In dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs können im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen nicht die Referenztemperatur aufweisen. Jedoch kann es Temperaturprofile geben, bei denen es sinnvoll ist, dass auch einige Zonen im zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs Referenztemperatur aufweisen. Es kann vorgesehen sein, dass in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen jeweils individuell auf wenigstens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur und/oder auf voneinander unterschiedliche Temperaturen temperiert werden. Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise vorgesehen sein in dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen auf wenigstens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur zu temperieren. Jedoch kann es Temperaturprofile geben, bei denen es sinnvoll ist, auch

einige Zonen im zweiten Abschnitt auf Referenztemperatur zu temperieren. Durch ein entsprechendes Temperieren in dem optisch genutzten Bereich wird eine gewünschte Beeinflussung der für die Belichtung vorgesehene Strahlung vereinfacht.

[0032] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass in Schritt 2a) das optische Element derart temperiert wird, dass die über wenigstens einen Teil, vorzugsweise im Wesentlichen alle, temperierbaren Zonen gemittelte Temperaturabweichung zu der Referenztemperatur unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts liegt. Hierdurch kann der Energieeintrag in das optische Element, insbesondere das Gesamtsystem, auf einfache Weise beschränkt werden. Dadurch wird wiederum vereinfacht, dass an das optische Element angrenzende Bauteile einer Projektionsbelichtungsanlage durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs nicht oder zumindest nur in geringem Maße beeinflusst werden.

[0033] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass der optisch ungenutzte Bereich wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements, insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements umlaufend, angeordnet ist und/oder dass der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements, insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements umlaufend, angeordnet ist. Hierdurch wird verhindert oder zumindest entgegengewirkt, dass an das optische Element angrenzende Bauteile durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs beeinflusst werden. Der optisch ungenutzte Bereich und/oder der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs können vorteilhafterweise im Wesentlichen vollständig entlang des Rands des optischen Elements umlaufend angeordnet sein. Hierdurch wird der zuvor genannte Effekt noch weiter verstärkt.

[0034] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass der zweite Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise zwischen dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und dem optisch genutzten Bereich angeordnet ist und/oder der optisch genutzte Bereich wenigstens abschnittsweise in der Mitte des optischen Elements angeordnet ist. Durch eine Anordnung des zweiten Abschnitts des optisch ungenutzten Bereichs zwischen dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und dem optisch genutzten Bereich wird weiter vereinfacht, dass die Abgrenzung zwischen

dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weniger eindeutig und strikt ist, sondern vorzugsweise ein eher fließender Übergang vorliegt. Die Anordnung des optisch genutzten Bereichs in der Mitte des optischen Elements vereinfacht wiederum die Anordnung des optischen Elements, insbesondere des optisch genutzten Bereichs, in einer Projektionsbelichtungsanlage. Zum anderen wird vereinfacht, dass angrenzende Bauteile der Projektionsbelichtungsanlage nicht durch das Temperieren beeinflusst werden, da bei einer mittigen Anordnung ausreichend Platz an den Rändern des optischen Elements für den optisch ungenutzten Bereich, insbesondere den ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs, vorhanden ist. Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass der optisch genutzte Bereich von dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder dem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, umgeben ist. Hierdurch wird ein eher fließender Übergang zwischen den unterschiedlichen Bereichen zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weiter vereinfacht.

[0035] Die zuvor genannte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie umfassend: wenigstens ein temperierbares optisches Element, und eine Steuerung, wobei das optische Element und/oder die Steuerung eingerichtet ist das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen. Die Projektionsbelichtungsanlage kann zudem eine Strahlungsquelle, ein Beleuchtungssystem, insbesondere umfassend eine Beleuchtungsoptik, ein Projektionsystem, insbesondere umfassend eine Projektionsoptik, und/oder einen Substrathalter, auch Waferhalter genannt, umfassen. Vorzugsweise können die temperierbaren Zonen über einen Querschnitt des Strahlengangs der Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere der Projektionsoptik, verteilt angeordnet sein.

[0036] Die zuvor genannte Aufgabe wird weiterhin durch das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie gelöst.

[0037] Die Ausführungen zum Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie sowie zur Projektionsbelichtungsanlage sind dabei auf das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie übertragbar und umgekehrt.

[0038] Das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfasst dabei zunächst den

folgenden Schritt: 1b) Bereitstellen eines initialen Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie. Für das Temperieren eines entsprechenden optischen Elements können bereits Temperaturprofile bekannt sein. Diese Temperaturprofile sind jedoch in der Regel für eine eindeutige und strikte Abgrenzung in den vorherrschenden Temperaturen zwischen optisch genutzten Bereich und optisch ungenutzten Bereich ausgelegt. Das initiale Temperaturprofil kann ein derartiges Temperaturprofil darstellen.

[0039] Ferner ist vorgesehen, dass das optische Element eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen aufweist, dass ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch genutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist und dass ein Teil der temperierbaren Zonen in einem optisch ungenutzten Bereich des optischen Elements angeordnet ist. Hinsichtlich dieser Merkmale wird auf die entsprechenden Ausführungen zum Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie verwiesen, wobei diese Ausführungen hier entsprechend übertragbar sind. Zudem ist vorgesehen, dass das initiale Temperaturprofil für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen eine jeweilige initiale Solltemperatur umfasst. Bei der jeweiligen initialen Solltemperatur handelt es sich um die jeweilige Solltemperatur des initialen Temperaturprofils. Das initiale Temperaturprofil kann vorzugsweise für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen eine jeweilige initiale Solltemperatur umfassen. Dies vereinfacht eine gezielte und umfassende Temperierung des optischen Elements.

[0040] Außerdem ist vorgesehen, dass eine initiale Temperierleistung erforderlich ist, um das initiale Temperaturprofil einzustellen. Das initiale Temperaturprofil wird dabei insbesondere am optischen Element durch Temperieren des optischen Elements, insbesondere mittels der initialen Temperierleistung, eingestellt.

[0041] Das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie umfasst zudem den folgenden Schritt: 2b) Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils des optischen Elements ausgehend von dem initialen Temperaturprofil mittels eines Optimierungsverfahrens. Hierdurch wird eine umfangreichere und energieeffizientere Beeinflussung der Strahlung erreicht. Das optimierte Temperaturprofil wird dabei ausgehend von dem initialen Temperaturprofil bestimmt und behält einige der Eigenschaften des initialen Temperaturprofils, insbesondere im optisch genutzten Bereich, wie nachfolgend noch erläutert wird.

[0042] Außerdem ist vorgesehen, dass das optimierte Temperaturprofil für wenigstens einen Teil

der temperierbaren Zonen eine jeweilige optimierte Solltemperatur umfasst. Bei der jeweiligen optimierten Solltemperatur handelt es sich um die jeweilige Solltemperatur des optimierten Temperaturprofils. Das optimierte Temperaturprofil kann vorzugsweise für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen eine jeweilige optimierte Solltemperatur umfassen. Dies vereinfacht eine gezielte und umfassende Temperierung des optischen Elements. Alternativ oder zusätzlich können das initiale Temperaturprofil und/oder das optimierte Temperaturprofil für wenigstens teilweise dieselben, insbesondere dieselben, temperierbaren Zonen eine entsprechende Solltemperatur umfassen.

[0043] Außerdem ist vorgesehen, dass eine optimierte Temperierleistung erforderlich ist, um das optimierte Temperaturprofil einzustellen. Das optimierte Temperaturprofil wird dabei insbesondere am optischen Element durch Temperieren des optischen Elements, insbesondere mittels der optimierten Temperierleistung, eingestellt.

[0044] Ferner ist vorgesehen, dass für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Beeinflussung der für die Belichtung vorgesehene Strahlung durch das optimierte Temperaturprofil nicht oder nur geringfügig verändert wird. Vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt.

[0045] Außerdem ist vorgesehen, dass für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch ungenutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert wird. Hierdurch soll ein Temperaturprofil mit einem eher fließenden Übergang zwischen den unterschiedlichen Bereichen zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen bestimmt werden.

[0046] Nach der Durchführung des Schritts 2b) ist somit für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch genutzten Bereich die Solltemperatur des optimierten Temperaturprofils unverändert gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils und für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch ungenutzten Bereich ist die jeweilige Solltemperatur des optimierten Temperaturprofils gegenüber der jeweili-

gen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert.

[0047] Bei dem Optimierungsverfahrens kann es sich um eine mathematische Optimierung handeln. Das Optimierungsverfahren kann das Bestimmen eines Modells (M) umfassen, wobei das Modell (M) den Zusammenhang zwischen dem Temperieren der temperierbaren Zonen und dem thermischen Verhalten des optischen Elements beschreibt. Das Modell (M) berechnet die Temperierleistung, insbesondere die Kühlleistung und/oder Heizleistung, wenigstens eines Teils der, insbesondere im Wesentlichen aller, temperierbaren Zonen, die zum Erreichen eines Temperaturprofils (x) benötigt wird, insbesondere unter Nutzung wenigstens einer thermischen Eigenschaft, wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit, des verwendeten Materials der temperierbaren Zonen und/oder des optischen Elements. Die Temperatur oder die Temperaturen des jeweiligen Temperaturprofils können absolut, als Differenz zur Referenztemperatur, als ein Mittelwert, als mehrere Mittelwerte und/oder als Funktion angegeben sein. Das Modell (M) kann beispielsweise eine Matrix (A) umfassen oder aus einer Matrix (A) bestehen. Für ein Temperaturprofil (x) kann die Temperierleistung durch eine Matrix-Vektor-Multiplikation ($M(x) = A \cdot x$) bestimmt werden. Das optimierte Temperaturprofil kann berechnet werden, indem das Optimierungsproblem $\min f(M(x))$ gelöst wird, insbesondere unter den nachfolgenden Nebenbedingungen a) bis c). Das Zielfunktional f berechnet aus der Temperierleistung, insbesondere der Kühlleistung und/oder der Heizleistungen, wenigstens eines Teils der, insbesondere im Wesentlichen aller, temperierbaren Zonen eine Gesamt-Temperierleistung. Ein typisches Beispiel für das Zielfunktional f ist die quadrierte euklidische Norm $f(y) = \|y\|^2$. Das Optimierungsproblem kann dabei wie folgt ausgedrückt werden $f(M(x)) = \|A \cdot x\|^2$. Die zuvor beschriebenen Nebenbedingungen a) bis c) lauten zudem wie folgt:

a) Für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen, insbesondere alle temperierbaren Zonen, in dem optisch genutzten Bereich bleibt die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert,

b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen, insbesondere alle temperierbaren Zonen, in einem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs entspricht die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil der Referenztemperatur und/oder bleibt die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der Referenztemperatur unverändert, und/oder

c) die über wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen, insbesondere im Wesentlichen

alle temperierbaren Zonen, gemittelte Temperaturabweichung zur Referenztemperatur unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts liegt.

[0048] Bei der Referenztemperatur handelt es sich insbesondere um eine im Wesentlichen konstante und/oder vorgegebene Temperatur.

[0049] Bei dem Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie kann es sich vorzugsweise um ein computerimplementiertes Verfahren handeln. Es kann sich daher bei dem optischen Element und/oder den temperierbaren Zonen vorteilhafterweise um ein, insbesondere virtuelles, Modell handeln.

[0050] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch ungenutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils derart verändert wird, dass die optimierte Temperierleistung niedriger ist als die initiale Temperierleistung. Hierbei ist insbesondere gemeint, dass die optimierte Temperierleistung für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen und/oder im Wesentlichen das gesamte optische Element niedriger ist als die initiale Temperierleistung für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen und/oder im Wesentlichen das gesamte optische Element. Hierdurch wird eine energieeffizientere Beeinflussung der Strahlung vereinfacht.

[0051] Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in dem optisch ungenutzten Bereich die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils derart verändert wird, dass die optimierte Temperierleistung unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts liegt. Auch hierdurch wird eine energieeffizientere Beeinflussung der Strahlung vereinfacht.

[0052] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass in Schritt 1b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in einem ersten Abschnitt und/oder einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur des initialen Temperaturprofils einer Referenztemperatur entspricht. Bei der Referenztemperatur handelt es sich insbesondere um eine im Wesentlichen konstante und/oder vorgegebene Temperatur.

[0053] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in einem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt und/oder dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert wird. Indem für den ersten Abschnitt die Solltemperaturen unverändert bleiben, wird vereinfacht, dass an das optische Element angrenzende Bauteile einer Projektionsbelichtungsanlage durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs nicht oder zumindest nur in geringem Maße beeinflusst werden. Es kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass in Schritt 2b) für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen in einem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt. Es kann vorgesehen sein, dass der Teil der temperierbaren Zonen in dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs, bei dem die jeweilige Solltemperatur unverändert bleibt, die jeweilige Solltemperatur der Referenztemperatur entspricht. Indem für den zweiten Abschnitt die Solltemperaturen verändert werden, wird vereinfacht, dass die Abgrenzung zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weniger eindeutig und strikt ist, sondern vorzugsweise ein eher fließender Übergang ist. Es kann vorgesehen sein, dass für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen in einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils jeweils individuell verändert wird. Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise vorgesehen sein, dass für im Wesentlichen alle temperierbaren Zonen in einem zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils jeweils, vorzugsweise individuell, verändert wird. Jedoch kann es Temperaturprofile geben, bei denen es sinnvoll ist auch einige Zonen im zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs unverändert, insbesondere auf Referenztemperatur, zu belassen.

[0054] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Temperieren eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass der optisch

ungenutzte Bereich wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements, insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements umlaufend, angeordnet ist und/oder dass der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements, insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements umlaufend, angeordnet ist. Hierdurch wird verhindert oder zumindest entgegengewirkt, dass an das optische Element angrenzende Bauteile durch das Temperieren des optisch genutzten Bereichs beeinflusst werden. Der optisch ungenutzte Bereich und/oder der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs können vorteilhafterweise im Wesentlichen vollständig entlang des Rands des optischen Elements umlaufend angeordnet sein. Hierdurch wird der zuvor genannte Effekt noch weiter verstärkt. Es bietet sich vorteilhafterweise an den ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs insbesondere dort anzuordnen, wo das optische Element mit anderen Bauteilen in Kontakt kommen kann, insbesondere mit anderen Bauteilen verbindbar ist. Beispielsweise kann der erste Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs angrenzend an mit dem optischen Element verbundenen Sensoren angeordnet sein, um die Funktion der Sensoren nicht zu beeinflussen.

[0055] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie ist vorgesehen, dass der zweite Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise zwischen dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und dem optisch genutzten Bereich angeordnet ist und/oder der optisch genutzte Bereich wenigstens abschnittsweise in der Mitte des optischen Elements angeordnet ist. Durch eine Anordnung des zweiten Abschnitts des optisch ungenutzten Bereichs zwischen dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und dem optisch genutzten Bereich wird weiter vereinfacht, dass die Abgrenzung zwischen dem optisch genutzten Bereich und dem optisch ungenutzten Bereich zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weniger eindeutig und strikt ist, sondern vorzugsweise ein eher fließender Übergang ist. Die Anordnung des optisch genutzten Bereichs in der Mitte des optischen Elements vereinfacht wiederum die Anordnung des optischen Elements, insbesondere des optisch genutzten Bereichs, in einer Projektionsbelichtungsanlage. Zum anderen wird vereinfacht, dass angrenzende Bauteile der Projektionsbelichtungsanlage nicht durch das Temperieren beeinflusst werden, da bei einer mittigen Anordnung ausreichend Platz an den Rändern des optischen Elements für den optisch ungenutzten Bereich, insbesondere den ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs, vorhan-

den ist. Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass der optisch genutzte Bereich von dem ersten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs und/oder zweiten Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs wenigstens abschnittsweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, umgeben ist. Hierdurch wird ein eher fließender Übergang zwischen den unterschiedlichen Bereichen zumindest hinsichtlich der vorherrschenden Temperaturen weiter vereinfacht.

[0056] Die zuvor genannte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung umfassend einen Prozessor, der so konfiguriert ist, dass er das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 ausführt. Hierbei kann es vorzugsweise vorgesehen sein, dass ein Teil der Schritte oder alle Schritte des Verfahrens, insbesondere der Schritte 1b) und/oder der Schritt 2b), ausgeführt wird.

[0057] Die zuvor genannte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Computerprogramm umfassend Befehle, die dazu ausgebildet sind, bei Ausführung durch mindestens einen Prozessor einer Vorrichtung, die Vorrichtung zu veranlassen das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 auszuführen. Hierbei kann es vorzugsweise vorgesehen sein, dass veranlasst wird ein Teil der Schritte oder alle Schritte des Verfahrens, insbesondere den Schritte 1b) und/oder den Schritt 2b), auszuführen.

[0058] Die zuvor genannte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein computerlesbares Medium umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch mindestens einen Prozessor einer Vorrichtung, die Vorrichtung veranlassen das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 auszuführen. Hierbei kann es vorzugsweise vorgesehen sein, dass veranlasst wird ein Teil der Schritte oder alle Schritte des Verfahrens, insbesondere den Schritte 1b) und/oder den Schritt 2b), auszuführen.

[0059] Eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung gemäß der vorliegenden Offenbarung kann Hardware- und/oder Software-Komponenten umfassen. Die Vorrichtung zur Datenverarbeitung kann beispielsweise wenigstens einen Speicher, insbesondere mit Befehlen eines Computerprogramms (z.B. wenigstens eines der offenbarten Computerprogramme), und/oder wenigstens einen Prozessor, insbesondere ausgebildet zum Ausführen von Befehlen aus dem wenigstens einen Speicher umfassen. Dementsprechend soll auch eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung als offenbart verstanden werden, die wenigstens einen Prozessor und wenigstens einen Speicher mit Befehlen umfasst, wobei der wenigstens eine Speicher und die Befehle eingerichtet sind, gemeinsam mit dem wenigstens einen Prozessor, die Vorrichtung zur Datenverarbeitung zu veranlassen, wenigstens eines der offenbarten Ver-

fahren, insbesondere das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, auszuführen. Eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung kann gemäß der vorliegenden Offenbarung beispielsweise Teil einer Steuerung einer Projektionsbelichtungsanlage sein.

[0060] Alternativ oder zusätzlich kann die Vorrichtung zur Datenverarbeitung ferner eine oder mehrere Kommunikationsschnittstellen (z.B. einen oder mehrere drahtgebundene und/oder drahtlose Kommunikationsschnittstellen, z.B. eine drahtlose Kommunikationsschnittstellen in Form einer Funkschnittstelle) und/oder eine oder mehrere Benutzerschnittstellen (z.B. eine Tastatur, eine Maus, einen Bildschirm, einen berührungsempfindlichen Bildschirm, einen Lautsprecher, ein Mikrofon, usw.) umfassen. Es versteht sich, dass die offenbarte Vorrichtung zur Datenverarbeitung auch andere nicht aufgeführte Mittel umfassen kann.

[0061] Unter einem Prozessor sollen in dieser Offenbarung unter anderem Kontrolleinheiten, Mikroprozessoren, Mikrokontrolleinheiten wie Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren (DSP), Anwendungsspezifische Integrierte Schaltungen (ASICs) oder Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) verstanden werden.

[0062] Ein Computerprogramm gemäß dieser Offenbarung kann beispielsweise über ein Netzwerk wie das Internet, ein Telefon- oder Mobilfunknetz und/oder ein lokales Netzwerk verteilbar sein. Das Computerprogramm kann zumindest teilweise Software und/oder Firmware eines Prozessors sein. Es kann gleichermaßen zumindest teilweise als Hardware implementiert sein. Das Computerprogramm kann beispielsweise auf einem computerlesbaren Medium, insbesondere Speichermedium, gespeichert sein, z.B. einem magnetischen, elektrischen, optischen und/oder andersartigen Speichermedium. Das Speichermedium kann beispielsweise Teil des Prozessors sein, beispielsweise ein (nicht-flüchtiger oder flüchtiger) Programmspeicher des Prozessors oder ein Teil davon.

[0063] Das Speichermedium kann beispielsweise ein gegenständliches oder körperliches Speichermedium sein.

[0064] Ein computerlesbares Medium gemäß dieser Offenbarung kann ein flüchtiger oder nicht flüchtiger Datenspeicher sein. Beispielsweise kann das computerlesbare Medium eine Festplatte, ein USB-Speichergerät, ein RAM, ROM, EPROM oder Flash-Speicher sein. Das computerlesbare Medium kann auch ein einen Download eines Programmcodes ermöglichendes Datenkommunikationsnetzwerk wie etwa das Internet oder eine Datenwolke (Cloud) sein.

[0065] Die Offenbarung wird nachfolgend anhand einer lediglich bevorzugte Ausführungsbeispiele darstellenden Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau einer exemplarischen Projektionsbelichtungsanlage,

Fig. 2A ein optisches Element in einer Draufsicht mit einem ersten veranschaulichten Temperaturprofil,

Fig. 2B das optische Element aus **Fig. 2A** in einer Draufsicht mit einem zweiten veranschaulichten Temperaturprofil,

Fig. 3 ein schematisches Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Datenverarbeitung, und

Fig. 4 eine schematische Darstellung von Beispielen gegenständlicher und nicht-flüchtiger computerlesbarer Medien.

[0066] **Fig. 1** zeigt den prinzipiellen Aufbau einer exemplarischen Projektionsbelichtungsanlage 1. Die gezeigte Projektionsbelichtungsanlage 1 umfasst eine Strahlungsquelle 2, beispielsweise einen Excimer-Laser, ein Beleuchtungssystem 3 und ein Projektionssystem 4. Das Beleuchtungssystem 3 verfügt vorzugsweise über wenigstens eine Vorrichtung zur Auswahl des Beleuchtungsmodus. Zwischen dem Ausgang des Beleuchtungssystems 3 und dem Eingang des Projektionssystems 4 ist ein Maskenhalter 5 angeordnet, der eine Maske 6 hält und manipuliert, so dass eine Struktur - welche Struktur Teil der Maske 6 ist - einer bestimmten Schicht des herzustellenden Halbleiterbauelements in der, vorzugsweise planaren, Objektebene OE_{PR} des Projektionssystems 4 liegt, wobei die Objektebene OE_{PR} des Projektionssystems 4 mit der Bildebene BE_{BE} des Beleuchtungssystems 3 zusammenfällt. Der Maskenhalter 5 - auch als „Reticle Stage“ bezeichnet - zur Aufnahme und Handhabung der Maske 6 enthält einen Antrieb, mit dem die Maske 6 parallel zur Objektebene OE_{PR} des Projektionssystems 4 und senkrecht zur optischen Achse OA_{PR} des Projektionssystems 4 und zur optischen Achse OA_{BE} des Beleuchtungssystems (Z-Richtung) in einer Scanrichtung (Y-Richtung) für den Scanbetrieb bewegt werden kann.

[0067] Das Projektionssystem 4 ist vorzugsweise telezentrisch in der Objektebene OE_{PR} und der Bildebene BE_{PR} und dazu bestimmt, ein Bild einer von der Maske 6 gelieferten Struktur, vorzugsweise mit einem verkleinerten Maßstab, auf ein mit einer strahlungsempfindlichen Schicht beschichtetes Substrat 7, insbesondere einen Wafer, abzubilden. Das Substrat 7 ist so angeordnet, dass die ebene Fläche 8 mit der strahlungsempfindlichen Schicht im Wesentlichen mit der Bildebene BE_{PR} des Projektionssystems 4 zusammenfällt. Das Substrat 7 wird von einem Substrathalter 9 - auch „Wafer Stage“ genannt

- gehalten, der einen Antrieb umfasst, um das Substrat 7 zu bewegen. Der Substrathalter 9 kann auch Manipulatoren umfassen, um das Substrat sowohl in Z-Richtung parallel zur optischen Achse OA_{PR} des Projektionssystems 4 als auch in X- und Y-Richtung senkrecht zur optischen Achse OA_{PR} des Projektionssystems 4 zu bewegen. Auch eine Kippvorrichtung mit mindestens einer senkrecht zur optischen Achse OA_{PR} des Projektionssystems 4 verlaufenden Kippachse kann integriert werden.

[0068] Bei der dargestellten Projektionsbelichtungsanlage 1 umfasst die Projektionsbelichtungsanlage 1, hier insbesondere das Projektionssystem 4, wenigstens ein temperierbares optisches Element 10. Das temperierbare optische Element 10 kann alternativ oder zusätzlich auch in dem Beleuchtungssystem 3 angeordnet sein. Das optische Element 10 kann dabei eine Linse und/oder ein Spiegel sein. Das optische Element 10 ist dabei in und entlang der optischen Achse der Projektionsbelichtungsanlage 1, insbesondere der optischen Achse OA_{PR} des Projektionssystem 4 angeordnet. Das optische Element 10 umfasst bei der dargestellten Projektionsbelichtungsanlage 1 eine Temperierungseinrichtung. Die Temperierungseinrichtung umfasst dabei Heizelemente und Kühlelemente, um das optische Element 10 zu temperieren.

[0069] Die Projektionsbelichtungsanlage 1 umfasst zudem eine Steuerung 11. Die Steuerung 11 ist dabei unter anderem dazu eingerichtet die Temperierung des temperierbaren optischen Elements 10 zu steuern.

[0070] **Fig. 2A** zeigt ein optisches Element 10 in einer Draufsicht mit einem ersten veranschaulichten Temperaturprofil. Bei dem optischen Element handelt es sich um das bereits beschriebene temperierbare optische Element 10. Zu sehen ist dabei die Oberfläche des optischen Elements 10 auf und/oder durch die Strahlung beim Belichten geleitet wird.

[0071] Das optische Element 10 umfasst eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen 12. Diese temperierbaren Zonen 12 können erwärmt und/oder gekühlt werden, um ein gewünschtes Temperaturprofil einzustellen. Das Temperaturprofil, insbesondere die einzustellenden Solltemperaturen des Temperaturprofils, sind in **Fig. 2A** durch unterschiedliche Punktierungen dargestellt. Dargestellt sind vorliegend jedoch keine absoluten Temperaturen, sondern die Differenz der jeweiligen Solltemperatur zu einer Vergleichstemperatur, vorliegend zur Referenztemperatur.

[0072] Ein Teil der temperierbaren Zonen 12 ist dabei in einem optisch genutzten Bereich OGB des optischen Elements 10 angeordnet und ein anderer Teil der temperierbaren Zonen 12 ist in einem optisch

ungenutzten Bereich OUB des optischen Elements 10 angeordnet. Der optisch genutzte Bereich OGB ist in der **Fig. 2a** durch einen Kreis angedeutet. Dieser Kreis dient jedoch lediglich der besseren Visualisierung des optisch genutzten Bereichs OGB und des Übergangs zwischen optisch genutzten Bereich OGB und optisch ungenutzten Bereich OUB und ist nicht als zwingende Abgrenzung zwischen dem optisch genutzten Bereich OGB und optisch ungenutzten Bereich OUB zu verstehen. Die Abmaße und/oder die Form des optisch genutzten Bereichs OGB sowie des optisch ungenutzten Bereich OUB können sich nämlich im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1 ändern, beispielsweise abhängig von dem verwendeten Belichtungssetting.

[0073] Der optisch ungenutzte Bereich OUB ist wiederum in zwei Abschnitte unterteilt, einen ersten Abschnitt OUB_1 und einen zweiten Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB. Der optisch ungenutzte Bereich OUB, insbesondere der erste Abschnitt OUB_1 des optisch ungenutzten Bereichs OUB, ist unter anderem entlang des Rands des optischen Elements 12 umlaufend angeordnet. Der optisch genutzte Bereich OGB ist in der Mitte des optischen Elements 12 angeordnet, wobei durch den optisch genutzten Bereich OGB die optische Achse der Projektionsbelichtungsanlage 1 verläuft. Die optische Achse der Projektionsbelichtungsanlage 1 kann dabei mittig durch den optisch genutzten Bereich OGB verlaufen und alternativ oder zusätzlich senkrecht oder schief durch den optisch genutzten Bereich OGB verlaufen. Der zweite Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB ist zwischen dem ersten Abschnitt OUB_1 des optisch ungenutzten Bereichs OUB und dem optisch genutzten Bereich OGB angeordnet. Der optisch genutzte Bereich OGB wird dabei vollständig von dem ersten Abschnitt OUB_1 und dem zweiten Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB umgeben.

[0074] Die temperierbaren Zonen 12 des optisch genutzten Bereichs OGB werden dabei nicht auf eine konstante Solltemperatur temperiert, sondern auf unterschiedliche Solltemperaturen. Durch die Temperierung der Zonen 12 im optisch genutzten Bereich OGB soll die für die Belichtung vorgesehene Strahlung beeinflusst werden, beispielsweise um Abbildungsfehler zu korrigieren. Die für die Belichtung vorgesehene Strahlung wird dabei für die Belichtung des Substrats 7 eingesetzt. Das in **Fig. 2A** veranschaulichte Temperaturprofil weist im optisch ungenutzten Bereich OUB, sowohl im ersten Abschnitt OUB_1 als auch im zweiten Abschnitt OUB_2 , eine konstante Referenztemperatur auf. Hierdurch soll eine Beeinflussung anderer Bauteile der Projektionsbelichtungsanlage 1 durch das Temperieren des optischen Elements 10, insbesondere der temperierbaren Zonen 12 im optisch genutzten Bereich OGB verhindert werden. Dadurch, dass die temperierba-

ren Zonen 12 im optisch ungenutzten Bereich OUB alle die Referenztemperatur aufweisen, insbesondere auf Referenztemperatur temperiert werden, ergibt sich eine eindeutige und strikte Abgrenzung zwischen den vorherrschenden Temperaturen im optisch ungenutzten Bereich OUB und im optisch genutzten Bereich OGB. Das entsprechende Temperaturprofil kann dabei als initiales Temperaturprofil bezeichnet werden. Von Nachteil bei diesem Temperaturprofil ist jedoch, dass hierfür eine hohe Temperierleistung, insbesondere im optisch ungenutzten Bereich OUB angrenzend an den optisch genutzten Bereich OGB erforderlich ist. Diese Temperierleistung kann dann nicht für das Beeinflussen der für die Belichtung vorgesehene Strahlung eingesetzt werden.

[0075] **Fig. 2B** zeigt das optische Element aus **Fig. 2A** in einer Draufsicht mit einem zweiten veranschaulichten Temperaturprofil. Das in **Fig. 2B** dargestellte Temperaturprofil kann dabei als optimiertes Temperaturprofil bezeichnet werden. Das optimierte Temperaturprofil wurde dabei ausgehend von dem in **Fig. 2A** beschriebenen initialen Temperaturprofil mittels eines Optimierungsverfahrens bestimmt.

[0076] Das in **Fig. 2B** dargestellte Temperaturprofil unterscheidet sich von dem in **Fig. 2A** dargestellten Temperaturprofil dadurch, dass in dem zweiten Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen 12 nicht dieselbe Temperatur aufweist wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen 12 in dem zweiten Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen 12 in dem ersten Abschnitt OUB_1 des optisch ungenutzten Bereichs OUB. Insbesondere weisen im zweiten Abschnitt OUB_2 des optisch ungenutzten Bereichs OUB die temperierbaren Zonen 12 zumindest teilweise nicht mehr die konstante Referenztemperatur auf, sondern eine hiervon abweichende Solltemperatur. Im ersten Abschnitt OUB_1 des optisch ungenutzten Bereichs OUB sowie im optisch genutzten Bereich OGB sind die Solltemperaturen hingegen unverändert. Zu erkennen ist dabei, dass eine eindeutige und strikte Abgrenzung zwischen den vorherrschenden Temperaturen im optisch ungenutzten Bereich OUB und im optisch genutzten Bereich OGB nicht mehr oder zumindest nur noch abgeschwächt vorliegt und stattdessen ein eher fließender Übergang gegeben ist. Eine energieeffizientere Nutzung des optischen Elements 10 ist somit möglich. Zudem können ohne eine Anpassung der Bauteile der Projektionsbelichtungsanlage 1, insbesondere des optischen Elements 10, auch Temperaturprofile umgesetzt werden, welche mehr Temperierleistung in dem optisch genutzten Bereich OGB erfordern als bisher üblich.

[0077] Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100, die konfiguriert ist das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie auszuführen. Die Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100 umfasst einen Prozessor 101, einen Arbeitsspeicher 102, einen Befehlsspeicher 103, einen optionalen Datenspeicher 104, eine oder mehrere optionale Kommunikationsschnittstellen 105 und eine optionale Benutzerschnittstelle 106.

[0078] Die Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100 kann beispielsweise so konfiguriert sein, dass sie das Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie ausführt oder entsprechende Mittel (insbesondere eines der Mittel 101 bis 108) zur Ausführung des Verfahrens umfasst. Die Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100 kann auch eine Vorrichtung sein, die wenigstens einen Prozessor (insbesondere Prozessor 101) und wenigstens einen Speicher (vorzugsweise Speicher 102 und/oder Speicher 103) mit Befehlen umfasst, wobei der wenigstens eine Speicher und die Befehle dazu konfiguriert sind, mit dem wenigstens einen Prozessor eine Vorrichtung, z.B. die Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100, zumindest zur Ausführung des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie zu veranlassen.

[0079] Der Prozessor 101 kann beispielsweise einen Initiales-Temperaturprofil-Bereitsteller 107 als funktionale und/oder strukturelle Einheit umfassen. Der Initiales-Temperaturprofil-Bereitsteller 107 kann zum Beispiel so konfiguriert sein, dass er ein initiales Temperaturprofil bereitstellt (siehe Schritt 1b) des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie).

[0080] Der Prozessor 101 kann beispielsweise einen Optimiertes-Temperaturprofil-Bestimmer 108 als funktionale und/oder strukturelle Einheit umfassen. Der Optimiertes-Temperaturprofil-Bestimmer 108 kann zum Beispiel so konfiguriert sein, dass er ein optimiertes Temperaturprofil, insbesondere ausgehend von dem initialen Temperaturprofil mittels eines Optimierungsverfahrens, bestimmt (siehe Schritt 2b) des Verfahrens zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie).

[0081] Der Prozessor 101 kann beispielsweise Befehle ausführen, die im Befehlsspeicher 103 gespeichert sind, wobei der Befehlsspeicher 103 beispielsweise ein computerlesbares Medium darstellen kann, das Befehle enthält, die, wenn sie vom Prozessor 101 ausgeführt werden, den Prozessor 101 veranlassen, das Verfahrens zum Bestimmen eines

optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements für die Mikrolithographie auszuführen.

[0082] Der Prozessor 101 kann ein Prozessor eines beliebigen geeigneten Typs sein. Der Prozessor 101 kann einen oder mehrere Mikroprozessoren, einen oder mehrere Prozessoren mit einem oder mehreren zugehörigen digitalen Signalprozessoren, einen oder mehrere Prozessoren ohne zugehörige digitale Signalprozessoren, einen oder mehrere spezielle Computerchips, ein oder mehrere feldprogrammierbare Gate-Arrays (FPGAs), einen oder mehrere Controller, eine oder mehrere Anwendungsspezifische Integrierte Schaltungen (ASICs) oder einen oder mehrere Computer umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt.

[0083] Der Prozessor 101 kann zum Beispiel die Speicher 102 bis 104, die Kommunikationsschnittstelle(n) 105 und die Benutzerschnittstelle 106 steuern. Der Arbeitsspeicher 102 kann zum Beispiel ein flüchtiger Speicher sein. Dabei kann es sich beispielsweise um einen Direktzugriffsspeicher (RAM) oder einen dynamischen RAM (DRAM) handeln, um nur einige nicht einschränkende Beispiele zu nennen. Er kann zum Beispiel vom Prozessor 101 bei der Ausführung eines Betriebssystems und/oder Computerprogramms verwendet werden.

[0084] Der Befehlsspeicher 103 und/oder Datenspeicher 104 kann zum Beispiel ein nicht-flüchtiger Speicher sein. Er kann beispielsweise ein Flash-Speicher (oder ein Teil davon), ein ROM-, PROM-, EPROM- oder EEPROM-Speicher (oder ein Teil davon) oder eine Festplatte (oder ein Teil davon) sein, um nur einige Beispiele zu nennen. Die Kommunikationsschnittstelle(n) 105 ermöglichen es der Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100, mit anderen Einrichtungen zu kommunizieren. Die Kommunikationsschnittstelle(n) 105 kann (können) beispielsweise eine drahtlose Schnittstelle (z. B. eine Mobilfunkschnittstelle, eine WLAN-Schnittstelle und/oder eine BT/BLE-Schnittstelle) und/oder eine drahtgebundene Schnittstelle (z. B. eine IPbasierte Schnittstelle) umfassen, um beispielsweise mit Einrichtungen über das Internet zu kommunizieren.

[0085] Die Benutzerschnittstelle 106 ist optional und kann ein Display zur Anzeige von Informationen für einen Benutzer und/oder ein Eingabegerät (z. B. eine Tastatur, ein Keypad, ein Touchpad, eine Maus usw.) zur Aufnahme von Informationen von einem Benutzer umfassen.

[0086] Einige oder alle Bestandteile der Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100 können z. B. über einen Bus verbunden werden. Einige oder alle Bestandteile der Vorrichtung zur Datenverarbeitung 100 können z. B. zu einem oder mehreren Modulen zusammengefasst werden.

[0087] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung von Beispielen gegenständlicher und nicht-flüchtiger computerlesbarer Medien, insbesondere Speichermedien, gemäß der vorliegenden Offenbarung, die beispielsweise zur Implementierung des Arbeitsspeicher 102, des Befehlsspeicher 103 und/oder des Datenspeichers 104 verwendet werden können. Zu diesem Zweck zeigt Fig. 4 einen Flash-Speicher 109, der beispielsweise auf eine Leiterplatte gelötet und/oder befestigt sein kann, ein Solid-State-Laufwerk 110 mit einer Vielzahl von Speicherchips (z.B. Flash-Speicherchips), eine magnetische Festplatte 111, eine Secure Digital (SD)-Karte 112, einen Universal Serial Bus (USB)-Speicherstick 113, ein optisches Speichermedium 114 (wie z.B. eine CD-ROM oder DVD) und ein magnetisches Speichermedium 115.

Bezugszeichenliste

1	Projektionsbelichtungsanlage
2	Strahlungsquelle
3	Beleuchtungssystem
4	Projektionssystem
5	Maskenhalter
6	Maske
7	Substrat
8	Fläche
9	Substrathalter
10	temperierbares optisches Element
11	Steuerung
12	temperierbare Zone
100	Vorrichtung zur Datenverarbeitung
101	Prozessor
102	Arbeitsspeicher
103	Befehlsspeicher
104	Datenspeicher
105	Kommunikationsschnittstelle
106	Benutzerschnittstelle
107	Initiales-Temperaturprofil-Bereitsteller
108	Optimiertes-Temperaturprofil-Bestimmer
109	Flash-Speicher
110	Solid-State-Laufwerk
111	magnetische Festplatte
112	SD-Karte
113	USB-Speicherstick

114	optisches Speichermedium
115	magnetisches Speichermedium
BE _{BE}	Bildebene des Beleuchtungssystems
BE _{PR}	Bildebene des Projektionssystems
OA _{BE}	optische Achse des Beleuchtungssystems
OA _{PR}	optische Achse des Projektionssystems
OE _{PR}	Objektebene des Projektionssystems
OGB	optisch genutzter Bereich
OUB	optisch ungenutzter Bereich
OUB ₁	erster Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs
OUB ₂	zweiter Abschnitt des optisch ungenutzten Bereichs

Patentansprüche

1. Verfahren zum Temperieren eines optischen Elements (10) für die Mikrolithographie umfassend die folgenden Schritte:

1a) Bereitstellen wenigstens eines temperierbaren optischen Elements (10) für die Mikrolithographie, - wobei das optische Element (10) eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen (12) aufweist, - wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch genutzten Bereich (OGB) des optischen Elements (10) angeordnet ist, und - wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch ungenutzten Bereich (OUB) des optischen Elements (10) angeordnet ist, 2a) Temperieren des optischen Elements (10), - wobei wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem optisch genutzten Bereich (OGB), in einem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und/oder in einem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) temperiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) nicht dieselbe Temperatur aufweist wie wenigstens ein anderer Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und/oder wie wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 2a) in dem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) auf eine Referenztemperatur temperiert wird, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt

(OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) nicht die Referenztemperatur aufweist, dass in Schritt 2a) in dem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) auf wenigstens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur und/oder auf unterschiedliche Temperaturen temperiert wird und/oder dass in Schritt 2a) in dem optisch genutzten Bereich (OGB) wenigstens ein Teil der temperierbaren Zonen (12) auf wenigstens eine Temperatur abweichend von der Referenztemperatur und/oder auf unterschiedliche Temperaturen temperiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 2a) das optische Element (10) derart temperiert wird, dass die über wenigstens einen Teil, vorzugsweise im Wesentlichen alle, temperierbaren Zonen (12) gemittelte Temperaturabweichung zu der Referenztemperatur unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optisch ungenutzte Bereich (OUB) wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements (10), insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements (10) umlaufend, angeordnet ist und/oder dass der erste Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements (10), insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements (10) umlaufend, angeordnet ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens abschnittsweise zwischen dem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und dem optisch genutzten Bereich (OGB) angeordnet ist und/oder der optisch genutzte Bereich (OGB) wenigstens abschnittsweise in der Mitte des optischen Elements (10) angeordnet ist.

6. Projektionsbelichtungsanlage (1) für die Mikrolithographie umfassend:

- wenigstens ein temperierbares optisches Element (10), und
- eine Steuerung (11),
- wobei das optische Element (10) und/oder die Steuerung (11) eingerichtet ist das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen.

7. Verfahren zum Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils eines optischen Elements (10) für die Mikrolithographie umfassend die folgenden Schritte:

1b) Bereitstellen eines initialen Temperaturprofils

eines optischen Elements (10) für die Mikrolithographie,

- wobei das optische Element (10) eine Mehrzahl von temperierbaren Zonen (12) aufweist,
- wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch genutzten Bereich (OGB) des optischen Elements (10) angeordnet ist,
- wobei ein Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem optisch ungenutzten Bereich (OUB) des optischen Elements (10) angeordnet ist,
- wobei das initiale Temperaturprofil für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) eine jeweilige initiale Solltemperatur umfasst, und
- wobei eine initiale Temperierleistung erforderlich ist, um das initiale Temperaturprofil einzustellen,
- 2b) Bestimmen eines optimierten Temperaturprofils des optischen Elements (10) ausgehend von dem initialen Temperaturprofil mittels eines Optimierungsverfahrens,
- wobei das optimierte Temperaturprofil für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) eine jeweilige optimierte Solltemperatur umfasst,
- wobei eine optimierte Temperierleistung erforderlich ist, um das optimierte Temperaturprofil einzustellen,
- wobei für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem optisch genutzten Bereich (OGB) die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt,
- wobei für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem optisch ungenutzten Bereich (OUB) die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) in dem optisch ungenutzten Bereich (OUB) die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils derart verändert wird, dass die optimierte Temperierleistung niedriger ist als die initiale Temperierleistung.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 1b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem ersten Abschnitt (OUB₁) und/oder einem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) die jeweilige Solltemperatur des initialen Temperaturprofils einer Referenztemperatur entspricht.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren

Zonen (12) in einem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils unverändert bleibt und/oder dass in Schritt 2b) für wenigstens einen Teil der temperierbaren Zonen (12) in einem zweiten Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) die jeweilige Solltemperatur für das optimierte Temperaturprofil gegenüber der jeweiligen Solltemperatur des initialen Temperaturprofils verändert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optisch ungenutzte Bereich (OUB) wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements (10), insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements (10) umlaufend, angeordnet ist und/oder dass der erste Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens abschnittsweise am Rand des optischen Elements (10), insbesondere wenigstens abschnittsweise entlang des Rands des optischen Elements (10) umlaufend, angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Abschnitt (OUB₂) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) wenigstens abschnittsweise zwischen dem ersten Abschnitt (OUB₁) des optisch ungenutzten Bereichs (OUB) und dem optisch genutzten Bereich (OGB) angeordnet ist und/oder der optisch genutzte Bereich (OGB) wenigstens abschnittsweise in der Mitte des optischen Elements (10) angeordnet ist.

13. Vorrichtung zur Datenverarbeitung (100) umfassend einen Prozessor (101), der so konfiguriert ist, dass er das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 ausführt.

14. Computerprogramm umfassend Befehle, die dazu ausgebildet sind, bei Ausführung durch mindestens einen Prozessor (101) einer Vorrichtung (100), die Vorrichtung (100) zu veranlassen das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 auszuführen.

15. Computerlesbares Medium (109, 110, 111, 112, 113, 114, 115) umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch mindestens einen Prozessor (101) einer Vorrichtung (100), die Vorrichtung (100) veranlassen das Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12 auszuführen.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

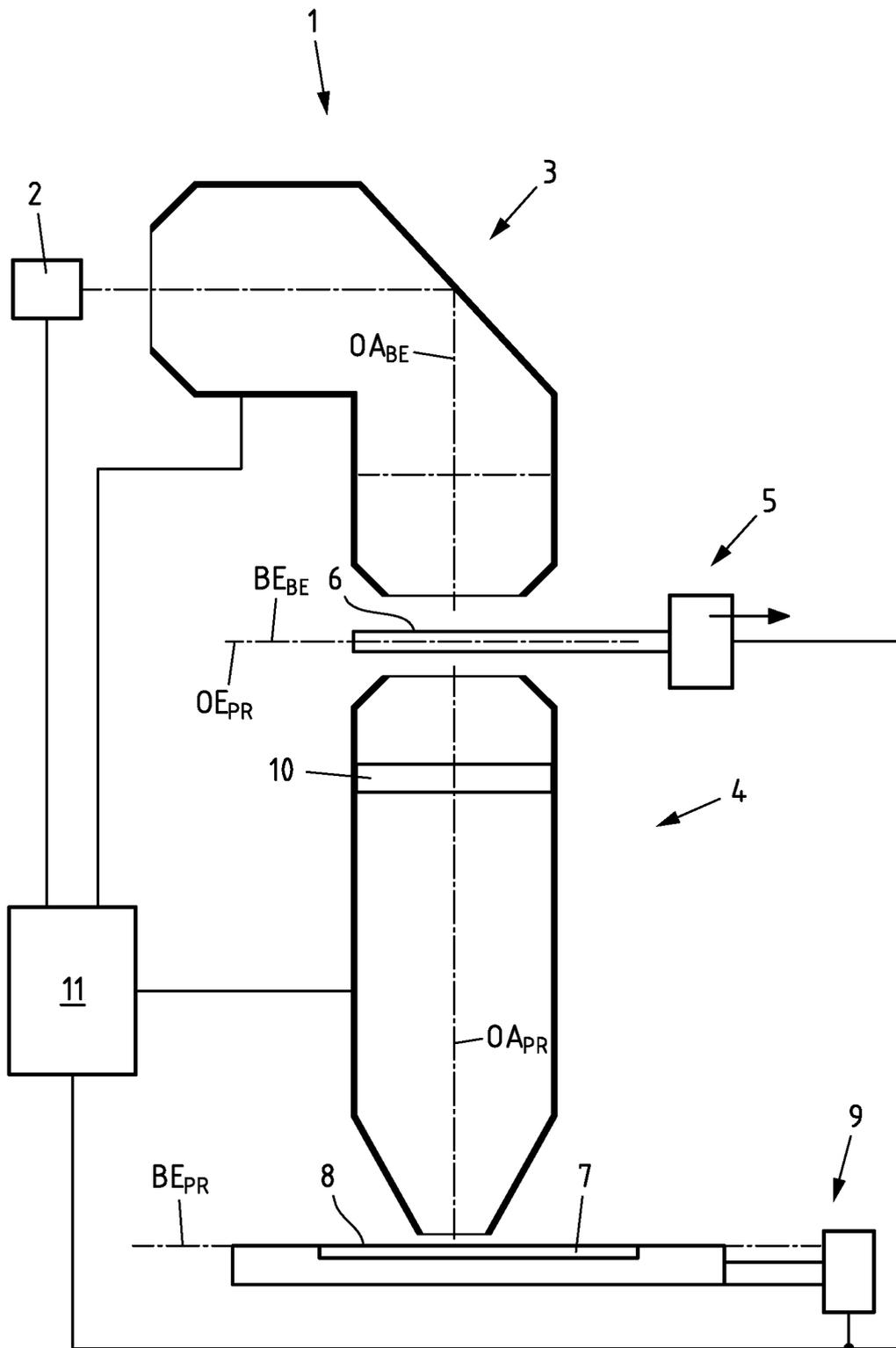
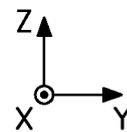


Fig.1



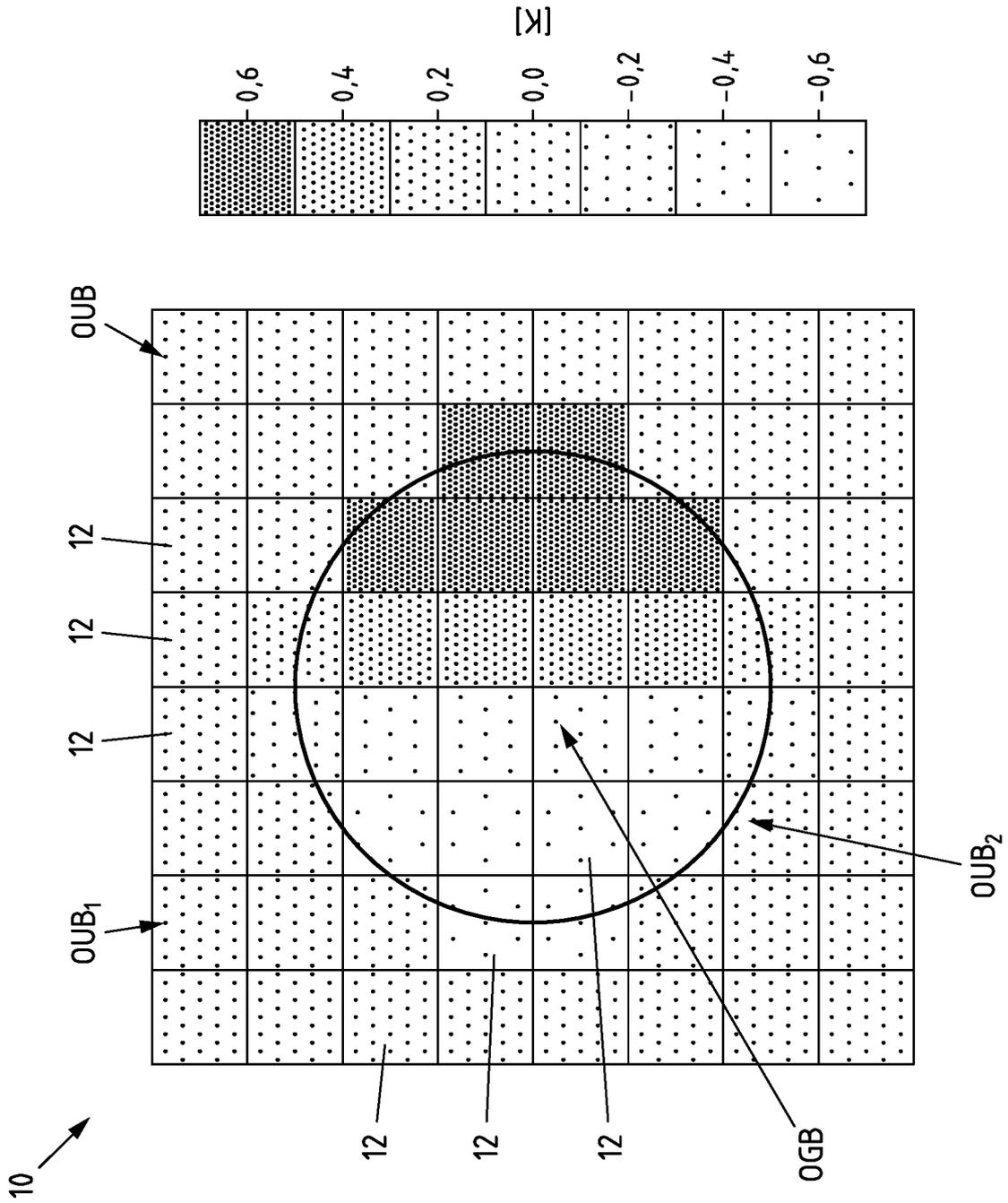


Fig.2A

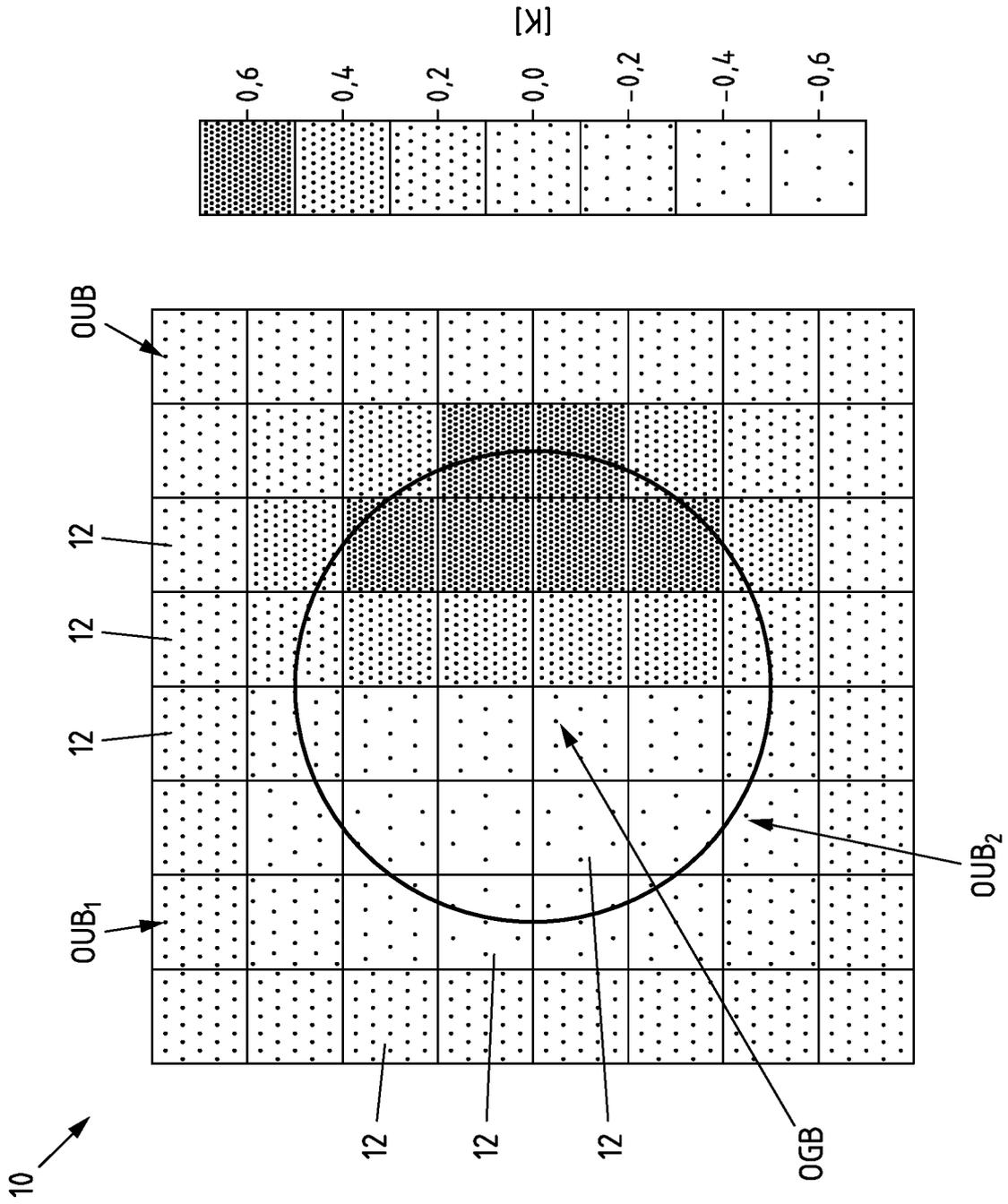


Fig.2B

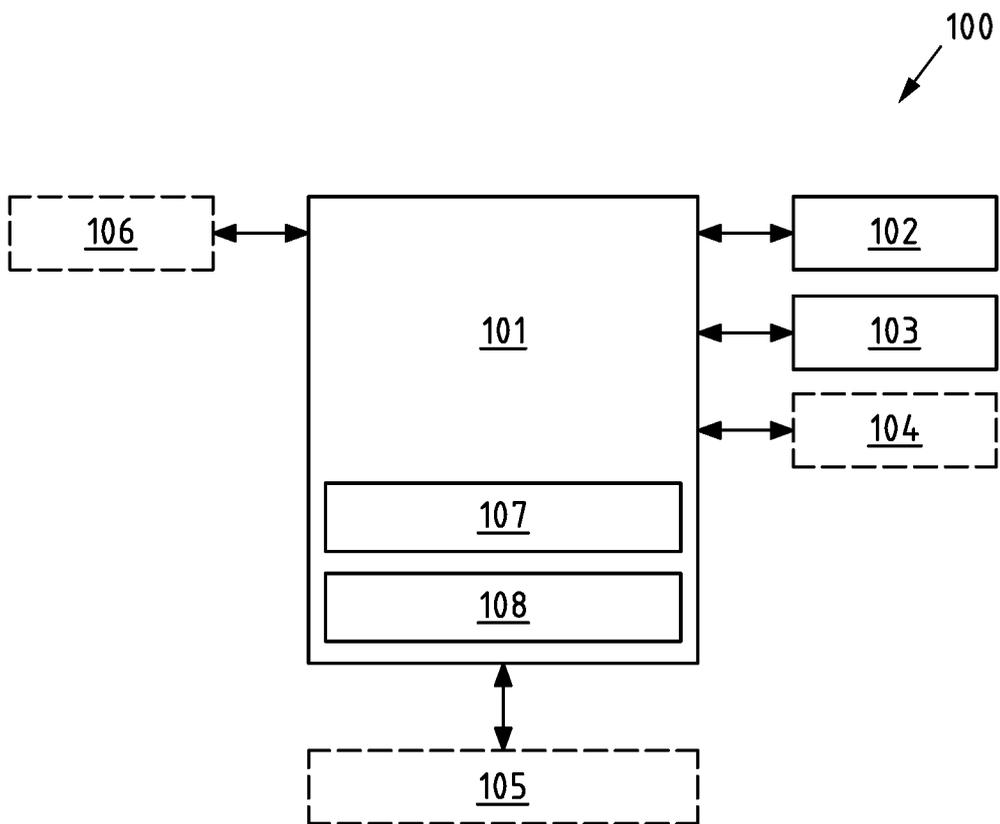


Fig.3

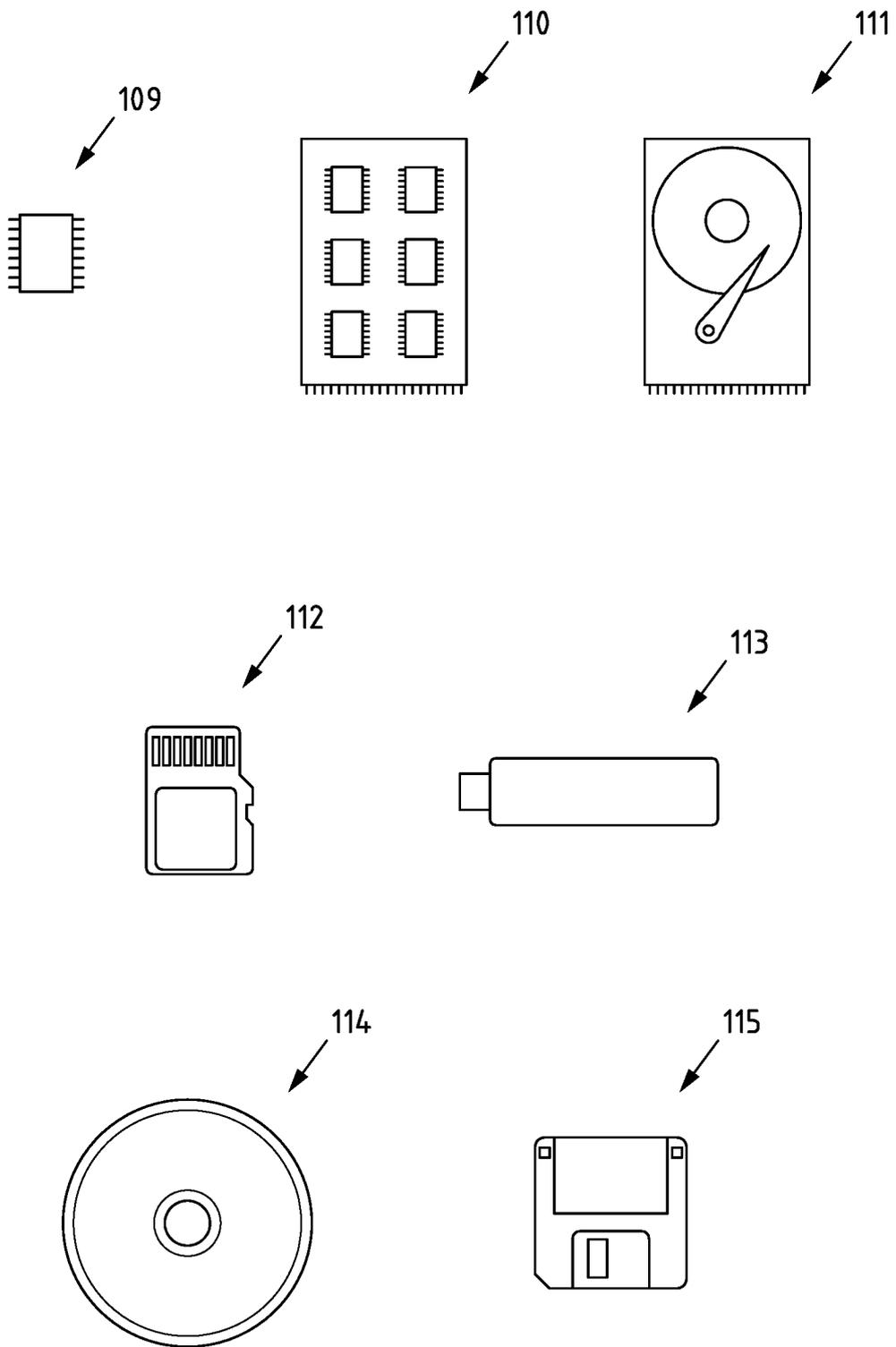


Fig.4