

(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
12. Januar 2017 (12.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/005912 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/066310

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Juli 2016 (08.07.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 212 878.4 9. Juli 2015 (09.07.2015) DE

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

(72) Erfinder: **PATRA, Michael**; Schubartweg 41, 73447
Oberkochen (DE).

(74) Anwalt: **RAU, SCHNECK & HÜBNER**
PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE
PARTGMBB; Königstrasse 2, 90402 Nürnberg (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, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A BEAM GUIDING DEVICE, AND BEAM GUIDING DEVICE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINER STRAHLFÜHRUNGSVORRICHTUNG UND
STRAHLFÜHRUNGSVORRICHTUNG

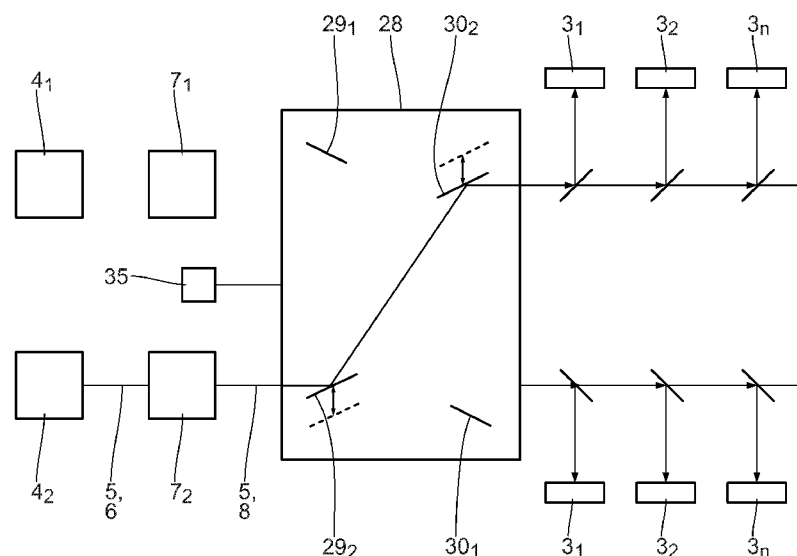


Fig. 2

(57) Abstract: Illumination radiation (5) emitted by different radiation sources (4_i) can be guided towards different scanners (3_i) by means of a beam guiding device (28).

(57) Zusammenfassung: Mittels einer Strahlführungsvorrichtung (28) kann Beleuchtungsstrahlung (5) von unterschiedlichen Strahlungsquellen (4_i) zu unterschiedlichen Scannern (3_i) gelenkt werden.

WO 2017/005912 A2

Verfahren zur Steuerung einer Strahlführungsvorrichtung und Strahlführungsvorrichtung

Die vorliegende Patentanmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2015 212 878.4 in Anspruch, deren Inhalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird.

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Strahlführungsvorrichtung sowie eine Vorrichtung zur Führung eines Strahlengangs von Beleuchtungsstrahlung, insbesondere eines Strahlengangs von Beleuchtungsstrahlung in einem Beleuchtungssystem eines Projektionsbelichtungssystems. Außerdem betrifft die Erfindung ein Strahlführungselement. Die Erfindung betrifft
10 außerdem ein Beleuchtungssystem für ein Projektionsbelichtungssystem mit einer derartigen Strahlführungsvorrichtung. Außerdem betrifft die Erfindung ein Projektionsbelichtungssystem mit einem entsprechenden Beleuchtungssystem, ein Verfahren zum Betrieb und ein Verfahren zur Wartung eines derartigen Projektionsbelichtungssystems. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements sowie ein ver-
15 fahrensgemäß hergestelltes Bauelement.

Als Strahlungsquelle für ein Projektionsbelichtungssystem kann ein Freie Elektronen-Laser (FEL) dienen. Freie Elektronen-Laser sind relativ zu der von ihnen insgesamt emittierten Strahlungsleistung umso kostengünstiger, je größer sie sind. Dies ist von daher wünschenswert, einen
20 einzelnen FEL als Strahlungsquelle für eine Mehrzahl von Scanner zu verwenden. Fällt dieser FEL allerdings aus, hat dies dann eine Auswirkung auf mehrere Scanner.

Eine EUV-Lithographieanlage mit einem Freie-Elektronen-Laser und mehreren Scannern ist beispielsweise aus der DE 10 2013 211 830 A1 bekannt.

25 Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung einer Strahlführungsvorrichtung und eine Vorrichtung bereitzustellen, mittels welcher der Betrieb eines Projektionsbelichtungssystems, insbesondere eines Projektionsbelichtungssystems mit mindestens zwei Strahlungsquellen, insbesondere in Form von FEL, und einer Mehrzahl von Scannern verbessert wird.

30 Diese Aufgaben werden durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 bzw. durch eine Strahlführungsvorrichtung gemäß Anspruch 3 gelöst.

Der Kern der Erfindung besteht darin, bei einem Verfahren zur Steuerung einer Strahlführungsvorrichtung in einem Betriebsmodus einen periodischen Wechsel der Zuordnung mindestens eines der Eingänge der Strahlführungsvorrichtung zu deren Ausgängen vorzusehen, wobei die

5 Periode dieses Wechsels an die Belichtungsdauer eines Dies angepasst ist. Das Verhältnis der Periode des Wechsels zur Belichtungsdauer eines Dies liegt insbesondere im Bereich von 1:2 bis 2:1, insbesondere im Bereich von 0,9 bis 1,1. Die Periode kann insbesondere gerade der Beleuchtungsdauer eines Dies entsprechen.

- 10 Vorzugsweise kann ein Wechsel der Zuordnungen eines der Eingänge der Strahlungsvorrichtung zu den Ausgängen derselben durch eine Rotation eines Strahlführungs-Elements erreicht werden. Es ist insbesondere eine gleichmäßige Rotation des Strahlführungselements vorgesehen. Hierdurch können Winkelbeschleunigungen des Strahlführungselements vermieden werden.
- 15 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist die Strahlvorrichtung einen weiteren Betriebsmodus auf, in welchem eine konstante Zuordnung der Eingänge der Strahlführungsvorrichtung zu den Ausgängen der Strahlführungsvorrichtung vorgegeben ist.

Zwischen den beiden Betriebsmodi kann insbesondere manuell umgeschaltet werden.

- 20 Das Verfahren eignet sich somit insbesondere sowohl zum Betrieb einer Mehrzahl von Scannern mit einer einzigen Strahlungsquelle als auch zum Betrieb der Scanner mit mehreren Strahlungsquellen. Es ist insbesondere möglich, beim Ausfall einer Strahlungsquelle, beispielsweise zu Wartungszwecken, zwischen den beiden Betriebsmodi umzuschalten.

- 25 Ein weiterer Kern der Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zur Führung des Strahlengangs von Beleuchtungsstrahlung bereitzustellen, mittels welcher die Beleuchtungsstrahlung von mindestens einer Strahlungsquelle, insbesondere einem FEL, auf unterschiedliche Teilmengen von Scannern verteilt werden kann. Die Vorrichtung umfasst mindestens einen Eingang und mindestens zwei Ausgänge für Beleuchtungsstrahlung sowie mindestens ein Strahlführungs-Element,
- 30 welches zwischen mindestens zwei Verlagerungspositionen verlagerbar ist, wobei die Beleuch-

tungsstrahlung vom mindestens einen Eingang in Abhängigkeit von der Verlagerungsposition des Strahlführungs-Elements zu unterschiedlichen der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist.

Mit einer derartigen Strahlführungsvorrichtung ist es möglich, eine Mehrzahl von Scannern, insbesondere mindestens zwei Gruppen von Scannern, mit einem einzigen FEL mit Beleuchtungsstrahlung zu versorgen. Die Scanner werden insbesondere intervallweise, insbesondere sequentiell, mit Beleuchtungsstrahlung versorgt. Überraschenderweise wurde erkannt, dass dies ohne einen erheblichen Produktionsverlust möglich ist.

10 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst die Vorrichtung mindestens zwei Eingänge für Beleuchtungsstrahlung und mindestens zwei Ausgänge für Beleuchtungsstrahlung sowie mindestens zwei Strahlführungs-Elemente, welche jeweils zwischen mindestens zwei Verlagerungspositionen verlagerbar sind, wobei die Beleuchtungsstrahlung vom ersten Eingang in Abhängigkeit der Verlagerungsposition des ersten Strahlführungs-Elements zu unterschiedlichen
15 der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist, und wobei die Beleuchtungsstrahlung vom zweiten Eingang in Abhängigkeit von der Verlagerungsposition des zweiten Strahlführungs-Elements zu unterschiedlichen der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist.

Es wurde erkannt, dass es mit einer derartigen Strahlführungsvorrichtung möglich ist, die Beleuchtungsstrahlung von mindestens zwei separaten Strahlungsquellen, insbesondere zwei FEL, auf unterschiedliche Teilmengen von Scannern zu verteilen. Es ist insbesondere möglich, eine Mehrzahl von Scannern mittels zweier FEL mit Beleuchtungsstrahlung zu versorgen, wobei jeder der beiden FEL im Falle eines Ausfalls des jeweils anderen der FEL auch die im Grundzustand von diesem mit Beleuchtungsstrahlung versorgten Scanner mit Beleuchtungsstrahlung versorgen kann. Es ist insbesondere möglich, während eines Wartungsintervalls, in welchem der eine der FEL ausgeschaltet ist, sämtliche Scanner des Projektionsbelichtungssystems mittels des anderen FEL mit Beleuchtungsstrahlung zu versorgen. Im Idealfall kommt es hierbei zu keinem Produktionsverlust. Der Produktionsverlust im Wartungsintervall beträgt insbesondere höchstens 25%, insbesondere höchstens 20%, insbesondere höchstens 15%, insbesondere höchstens 10%,
25 insbesondere höchstens 5%.
30

Die Strahlführungsvorrichtung ist insbesondere derart ausgebildet, dass die Beleuchtungsstrahlung von den FEL in Abhängigkeit von den Verlagerungspositionen der Strahlführungselemente zu unterschiedlichen Ausgängen, das heißt zu unterschiedlichen Scannern, geführt wird.

5

Die Strahlführungsvorrichtung ist insbesondere zum Einsatz in einem Beleuchtungssystem mit mindestens zwei Freie-Elektronen-Laser (FEL) und einer Mehrzahl von Scannern vorgesehen.

Bei den Strahlführungselementen handelt es sich insbesondere um Spiegel-Einrichtungen oder Spiegel-Elemente.

10

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist das mindestens eine Strahlführungselement mittels einer Steuervorrichtung gesteuert verlagerbar.

Mittels der Steuervorrichtung ist insbesondere eine präzise Steuerung der zeitlichen Abfolge der Zuordnungswechsel möglich. Die Steuervorrichtung kann softwareunterstützt sein. Mit Hilfe der Steuervorrichtung ist insbesondere die Verteilung der Beleuchtungsstrahlung auf die unterschiedlichen Ausgänge und damit zu den unterschiedlichen Scannern optimierbar. Es ist insbesondere möglich, die Zuordnung der Eingänge zu den Ausgängen an die Belichtungsdauer der

Dies anzupassen. Hierdurch kann ein Durchsatzverlust, insbesondere beim Ausfall einer der Strahlungsquellen, minimiert werden.

20

Die Steuervorrichtung weist insbesondere einen Betriebsmodus auf, bei welchem eine periodenweise wechselnde Zuordnung einer der Eingänge der Strahlungsvorrichtung zu den Ausgängen der Strahlungsvorrichtung erfolgt, wobei die Periode gerade der Dauer der Belichtung eines Dies entspricht.

25

Außerdem kann die Steuervorrichtung vorzugsweise einen weiteren Betriebsmodus aufweisen, bei welchem eine konstante Zuordnung der Eingänge der Strahlungsvorrichtung zu den Ausgängen derselben vorgegeben ist.

30

Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die Strahlführungs-Elemente in einer ersten Verlagerungsposition jeweils außerhalb des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung angeordnet. Sie sind insbesondere derart angeordnet, dass sie in der ersten Verlagerungsposition jeweils nicht zu einer Umlenkung des Strahlengangs führen.

5

Die Stellung der Strahlführungs-Elemente in ihrer ersten Verlagerungsposition wird daher auch als Grundzustand bezeichnet. Im Grundzustand ist jedem der Eingänge der Strahlführungsvorrichtung genau einer der Ausgänge der Strahlführungsvorrichtung zugeordnet.

- 10 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung sind bei einer Anordnung sämtlicher der Strahlführungs-Elemente in ihrer ersten Verlagerungsposition sämtliche Ausgänge der Strahlführungsvorrichtung gleichzeitig mit Beleuchtungsstrahlung beaufschlagbar.

- 15 Im Grundzustand kann insbesondere der erste der FEL eine erste Teilmenge der Scanner mit Beleuchtungsstrahlung versorgen, während der zweite der FEL eine hiervon disjunkte zweite Teilmenge der Scanner mit Beleuchtungsstrahlung versorgt.

- 20 Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Zuordnung mindestens einer der Ausgänge zu einem der Eingänge, das heißt die Zuordnung mindestens eines der Scanner zu einem der FEL, durch eine Verlagerung eines der Strahlführungs-Elemente in eine zweite Verlagerungsposition im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung verändert.

- 25 Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist es insbesondere möglich, durch eine Verlagerung eines der Strahlführungs-Elemente in die zweite Verlagerungsposition die Zuordnung eines der Eingänge zu einem der Ausgänge zu verändern. Konkret bedeutet dies, dass die Beleuchtungsstrahlung von einem einzigen der beiden FEL durch Verlagerung eines der Strahlführungs-Elemente zwischen dessen beiden Verlagerungspositionen zwischen den beiden disjunkten Teilmengen der Scanner hin und her geschaltet werden kann.

- 30 Bei einer Anordnung eines der Strahlführungs-Elemente in seiner zweiten Verlagerungsposition ist insbesondere nur einer der Ausgänge zu einem bestimmten Zeitpunkt mit Beleuchtungsstrahlung beaufschlagbar. Dies bedeutet, dass zu einem gegebenen Zeitpunkt jeweils nur eine Teil-

menge der Scanner gleichzeitig mit Beleuchtungsstrahlung versorgt werden kann. Wie nachfolgend noch dargelegt wird, ist es jedoch möglich, durch eine gezielte Steuerung der Verlagerung des entsprechenden Strahlführungs-Elements zu erreichen, dass unterschiedliche Scanner sequentiell, insbesondere alternierend, mit Beleuchtungsstrahlung versorgt werden. Hierbei kann
5 ein möglicher Produktionsverlust durch geeignete Steuerung der Verlagerung des entsprechenden Strahlführungs-Elements verringert, insbesondere minimiert, vorzugsweise verhindert werden.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind zumindest zwei der Strahlführungs-Elemente mit einer
10 Frequenz von mindestens 1 Hz zwischen einer ersten und einer zweiten Verlagerungsposition verlagerbar. Hierdurch wird ein ausreichend schnelles Umschalten des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung von einem der Eingänge auf mindestens zwei unterschiedliche Ausgänge ermöglicht. Die Frequenz, mit welcher die Strahlführungs-Elemente verlagerbar sind, kann insbesondere mindestens 2 Hz, insbesondere mindestens 3 Hz, insbesondere mindestens 5 Hz, insbesondere
15 mindestens 10 Hz betragen.

Die Strahlführungsvorrichtung kann außerdem weitere Strahlführungs-Elemente aufweisen, welche eine geringere Verlagerungsfrequenz aufweisen. Derartige Strahlführungs-Elemente können vorteilhaft sein, um zu erreichen, dass die Beleuchtungsstrahlung von den unterschiedlichen FEL
20 an identischen Ausgängen eine identische Richtung, insbesondere eine identische Richtungsverteilung, aufweist. Das langsamere der Strahlführungs-Elemente kann insbesondere während des gesamten Wartungsintervalls in seiner zweiten Verlagerungsposition bleiben. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es daher ausreichend ist, wenn das entsprechende Strahlführungs-Element lediglich quasi-statisch verlagerbar ist.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfassen die Strahlführungs-Elemente jeweils mindestens eine rotierbar gelagerte Spiegeleinrichtung. Die Spiegeleinrichtung kann insbesondere mehrere Reflexionsflächen aufweisen. Sie kann insbesondere mehrere strahlungsdurchlässige Bereiche aufweisen. Sie weist insbesondere eine steuerbare Rotationsfrequenz auf. Vorzugsweise weist
25 die Spiegeleinrichtung abgesehen von der steuerbaren Frequenz eine konstante Winkelgeschwindigkeit auf. Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge können somit vermieden werden.

Es wurde erkannt, dass es für die Verlagerung der Strahlführungs-Elemente vorteilhaft ist, wenn diese entlang einer Tangente zu ihrer Reflexionsfläche verlagert werden. Bei einem planen Spiegel entspricht dies einer geradlinigen Verlagerung parallel zur Reflexionsfläche. Bei einem gekrümmten Spiegel, insbesondere einem Spiegel mit konstantem Krümmungsradius, kann dies durch eine kreisförmige Verlagerung, das heißt eine Verschwenkung, erreicht werden.

Die Verbesserung eines derartigen Strahlführungs-Elements ist eine weitere Aufgabe der Erfindung.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist das Strahlführungs-Element eine Mehrzahl von gekrümmt ausgebildeten Reflexionsflächen auf, deren Krümmungsradius gerade ihrem Abstand zur Drehachse entspricht. Hierdurch kann erreicht werden, dass die Ablenkung der Beleuchtungsstrahlung mittels des Strahlführungs-Elements auch bei einer Rotation derselben für einen bestimmten Zeitraum konstant ist. Die Ablenkung wird dann quasi instantan umgeschaltet, wenn die Beleuchtungsstrahlung aufgrund der Rotation des Strahlführungselements nicht mehr auf dieselbe Reflexionsfläche fällt.

Die Anzahl der Reflexionsflächen des Strahlführungselements beträgt insbesondere mindestens 2. Sie kann 3, 4, 5, 6 oder mehr als 6 betragen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung sind benachbarte Reflexionsflächen jeweils durch einen Zwischenbereich voneinander getrennt. Die Zwischenbereiche können insbesondere strahlungsdurchlässig ausgebildet. In diesem Fall kann die Beleuchtungsstrahlung das Strahlführungselement unbeeinflusst von diesem passieren, sofern sie nicht auf eine der Reflexionsflächen auftrifft. Das Strahlführungselement ermöglicht es somit, die Beleuchtungsstrahlung periodenweise in unterschiedliche, vorgegebene Richtungen zu lenken. Es ermöglicht es insbesondere die Beleuchtungsstrahlung abwechselnd in zwei unterschiedliche Richtungen zu lenken.

Bei einer gleichförmigen Rotation des Strahlführungselements kann die Dauer, für welche die Beleuchtungsstrahlung in eine bestimmte Richtung gelenkt wird, durch den von den Reflexionsflächen bzw. den strahlungsdurchlässigen Zwischenbereichen überdeckten Winkelbereich beein-

flusst werden. Die Winkelbereiche können jeweils gleich sein. Sie können auch unterschiedlich sein.

5 Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, ein Beleuchtungssystem für ein Projektionsbeleuchtungssystem und ein derartiges Projektionsbeleuchtungssystem zu verbessern.

Diese Aufgaben werden durch ein Beleuchtungssystem mit einer Strahlführungsvorrichtung gemäß der vorhergehenden Beschreibung gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen der Strahlführungsvorrichtung.

10

Bei den Strahlungsquellen des Beleuchtungssystems handelt es sich insbesondere um Freie-Elektronen-Laser (FEL).

15

Mit Hilfe der Strahlführungsvorrichtung ist es insbesondere möglich, Beleuchtungsstrahlung von einer einzigen, zwei oder mehr Strahlungsquellen, insbesondere in Form von Freie-Elektronen-Lasern (FEL), derart auf eine Mehrzahl von Scanner aufzuteilen, dass im Grundzustand jeder der FEL eine disjunkte Teilmenge von Scannern mit Beleuchtungsstrahlung versorgt, im Falle eines Ausfalls eines der FEL jedoch der andere FEL beide Teilmengen der Scanner, insbesondere sämtliche Scanner des Projektionsbeleuchtungssystems, mit Beleuchtungsstrahlung versorgt.

20

Durch das erfindungsgemäße Beleuchtungssystem, insbesondere durch die Strahlführungsvorrichtung, lässt sich insbesondere der Produktionsverlust, welcher durch den Ausfall eines FEL, insbesondere aufgrund von Wartungsarbeiten, verursacht werden kann, verringern, insbesondere verhindern.

25

Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die Strahlführungsvorrichtungen jeweils im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung hinter einer Auskoppereinheit angeordnet. Hierdurch ist es möglich, Beleuchtungsstrahlung flexibel zwischen paarweise einander zugeordneten Scannern der unterschiedlichen Teilmengen hin und her zu schalten.

30

Die Auskoppereinheit dient hierbei der Erzeugung von mehreren Einzelausgabestrahlen aus einem Sammel-Ausgabestrahle. Die Einzelausgabestrahlen dienen jeweils der Versorgung einzelner

Scanner mit Beleuchtungsstrahlung. Der Sammel-Ausgabestrahle kann mit einer Strahlformungsoptik aus einem von der Strahlungsquelle emittierten Rohstrahl geformt werden.

5 Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, jeder der beiden Strahlungsquellen jeweils eine Gruppe von N Scannern zuzuordnen und jedem Scanner der einen Gruppe einen bestimmten Scanner der anderen Gruppe zuzuordnen, wobei für jeweils zwei einander zugeordnete Scanner unterschiedlicher Gruppen eine Strahlführungsvorrichtung gemäß der vorhergehenden Beschreibung vorgesehen ist.

10 Die Scanner der unterschiedlichen Gruppen werden insbesondere paarweise einander zugeordnet. Mittels der Strahlführungsvorrichtung ist es in diesem Fall möglich, für jedes Paar der Scanner zu steuern, ob beziehungsweise insbesondere zu welchem Zeitpunkt die Beleuchtungsstrahlung von den Strahlungsquellen zu welchen der Scanner geführt wird. Es ist insbesondere möglich, die Beleuchtungsstrahlung von einer der Strahlungsquellen zwischen den beiden einander
15 zugeordneten Scannern hin und her zu schalten, ohne dass hierdurch die Versorgung der übrigen Scanner des Projektionsbelichtungssystems mit Beleuchtungsstrahlung beeinflusst wird.

Hierdurch wird die Flexibilität der Versorgung der einzelnen Scanner mit Beleuchtungsstrahlung verbessert. Dadurch kann der Produktionsverlust weiter verringert, insbesondere minimiert, insbesondere
20 vollständig verhindert werden. Details hierzu ergeben sich aus einem nachfolgend noch näher beschriebenen Verfahren.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist die Strahlführungsvorrichtung im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung vor einer Auskoppereinheit angeordnet.

25

Dies hat den Vorteil, dass mittels der Strahlführungsvorrichtung gleichzeitig der Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung für eine Mehrzahl der Scanner beeinflussbar ist.

Bei dieser Variante können in die Strahlführungsvorrichtung auch zusätzliche optische Komponenten, beispielsweise zur Strahlformung und/oder Komponenten der Auskoppelloptik integriert
30 sein.

Prinzipiell ist es möglich, die Strahlführungsvorrichtung und die Auskoppeloptik als eine einzige optische Vorrichtung, insbesondere als ein einziges optisches Modul, auszubilden. Die Strahlführungsvorrichtung kann insbesondere in die Auskoppeloptik integriert sein. Es ist auch möglich, die Auskoppeloptik in die Umlenk-Vorrichtung zu integrieren.

5

Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist jeder der beiden Strahlungsquellen jeweils eine Gruppe von Scannern und eine Strahlführungsvorrichtung gemäß der vorhergehenden Beschreibung zugeordnet, wobei die Zuordnung der Scanner einer Gruppe zu einer der beiden Strahlungsquellen mit Hilfe der Strahlführungsvorrichtung gewechselt werden kann.

10

Dies ermöglicht ein besonders einfaches Ändern der Zuordnung der Scanner zu den Strahlungsquellen.

15

Die Vorteile des Projektionsbelichtungssystems ergeben sich aus denen des Beleuchtungssystems.

20

Durch das erfindungsgemäße Beleuchtungssystem, insbesondere durch die Strahlführungsvorrichtung, lässt sich ein Produktionsverlust bei Ausfall eines der FEL verringern, insbesondere vollständig vermeiden.

25

Mittels der erfindungsgemäßen Strahlführungsvorrichtung lässt sich allgemein die Strahlung von einem einzigen FEL besonders effizient auf zwei Gruppen von Scannern verteilen. Dies führt insbesondere zu einer Steigerung der Effizienz, insbesondere zu einer Steigerung des Durchsatzes.

30

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Betrieb eines Projektionsbelichtungssystems zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, bei welchem unterschiedliche Scanner eines Projektionsbelichtungssystems mit Beleuchtungsstrahlung von einer einzigen Strahlungsquelle in Form eines FEL versorgt werden, wobei die Beleuchtungsstrahlung von diesem FEL mittels einer Strahlführungsvorrichtung gemäß der vorhergehenden Beschreibung intervallweise zu unter-

schiedlichen der Scanner umgelenkt wird. Hierbei können die Dies unter Berücksichtigung ihrer gegebenenfalls unterschiedlichen Größe unterschiedlichen Scannern zugeordnet werden.

5 Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Zuordnung der Dies zu den Scannern derart festgelegt, dass die Produktionsverluste, welche durch den Ausfall eines der FEL verursacht werden, reduziert, insbesondere minimiert, insbesondere vollständig vermieden werden. Mit anderen Worten wird die Zuordnung der Dies zu den Scannern derart bestimmt, dass die Effizienz des Projektionsbelichtungssystems gesteigert, insbesondere maximiert wird. Hierbei kann insbesondere eine Totzeit, in welcher keine Belichtung eines Dies stattfindet, obwohl Beleuchtungsstrahlung angeboten wird, reduziert, insbesondere minimiert, insbesondere vollständig vermieden
10 werden.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann vorgesehen sein, die zu belichtenden Dies in Abhängigkeit ihrer Größe zu sortieren, insbesondere umzusortieren. Diese können insbesondere dann
15 so in zwei Gruppen aufgeteilt werden, dass alle Dies einer ersten Gruppe größer oder gleichgroß wie alle Dies einer zweiten Gruppen sind. Die Dies werden dann so den Scannern zugeordnet, dass die Scanner der Dies der einen Gruppe gleichzeitig und die Scanner der Dies der anderen Gruppe gleichzeitig belichtet werden.

20 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, Paare von Dies zu bestimmen, welche sich höchstens um einen vorgegebenen Maximalwert in ihren Größen unterscheiden, sodann die entsprechenden Scanner paarweise einander zuzuordnen und die Dies der vorhergehend bestimmten Paare abwechselnd zu belichten, wobei zum abwechselnden Belichten dieser Dies jeweils eines der Strahlführungs-Elemente zwischen seinen beiden Verlagerungspositionen hin
25 und her verlagert wird.

Hierdurch können Produktionsverluste besonders gut reduziert, insbesondere minimiert werden.

Der maximale Größenunterschied der beiden Dies eines Paares beträgt insbesondere höchstens
30 25%, insbesondere höchstens 10%, insbesondere höchstens 5%, insbesondere höchstens 3%, insbesondere höchstens 1%.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden zum Bestimmen der Menge der im bestimmten Zeitraum zu belichtenden N Dies aus der Gesamtheit der Dies N ausgewählt, derart dass ein Größenunterschied zwischen dem größten dieser Dies und dem kleinsten dieser Dies kleiner ist als ein maximaler Größenunterschied sämtlicher Dies.

5

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Wartung eines Projektionsbelichtungssystems zu verbessern.

10 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, bei welchem sämtliche Scanner des Projektionsbelichtungssystems während des Wartungszeitraums eines der FEL vom anderen der FEL mit Beleuchtungsstrahlung versorgt werden. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, die Beleuchtungsstrahlung von dem aktiven FEL intervallweise zu unterschiedlichen der Scanner zu führen. Hierbei können die Dies unter Berücksichtigung ihrer gegebenenfalls unterschiedlichen Größe unterschiedlichen Scannern zugeordnet werden.

15

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung von mikro- oder nanostrukturierten Bauelementen zu verbessern.

20 Diese Aufgabe wird durch Bereitstellung eines erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungssystems gelöst.

Das Verfahren führt insbesondere zu einem verringerten Produktionsverlust und damit zu einer erhöhten Produktivität. Es führt insbesondere zu einer Erhöhung der über die Zeit gemittelten Produktivität der einzelnen Scanner.

25 Weitere Vorteile, Details und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Bestandteile eines Projektionsbelichtungssystems mit einer Mehrzahl von Scannern,

30

Fig. 2 eine Darstellung des Projektionsbelichtungssystems gemäß Fig. 1 mit einer veränderten Strahlführung,

- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer ersten Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Elements,
- 5 Fig. 4 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Elements,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Element,
- 10 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Element,
- Fig. 7 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Element,
- 15 Fig. 8 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines verlagerbaren Strahlführungs-Element,
- 20 Fig. 9 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des zeitlichen Ablaufs eines Betriebsmodus für das Projektionsbelichtungssystem gemäß Fig. 1,
- Fig. 10 eine Darstellung gemäß Fig. 9 für den Betriebsmodus des Projektionsbelichtungssystems gemäß Fig. 2,
- 25 Fig. 11 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante des Projektionsbelichtungssystems gemäß Fig. 1,
- Fig. 12 eine schematische Darstellung einer Variante zum Betriebsmodus gemäß Fig. 10,
- 30

Fig. 13 eine Darstellung entsprechend Fig. 12, in welcher die Reihenfolge der Scanner exemplarisch umsortiert dargestellt ist,

Fig. 14 und 15 schematische Darstellungen weiterer Varianten von Betriebsmodi des Projektionsbelichtungssystems,

Fig. 16 eine schematische Darstellung einer weiteren Variante eines Projektionsbelichtungssystems,

Fig. 17 eine Darstellung gemäß Fig. 10 einer Alternative, bei welcher die Dies auf den Scannern 1 bis 3 gleichlang oder länger sind als die Dies auf den Scannern 4 bis 6, und

Fig. 18A bis 18D eine schematische, ausschnittsweise Darstellung einer alternativen Ausführungsform des Projektionsbelichtungssystems gemäß Fig. 1 mit unterschiedlichen Verlagerungspositionen der Strahlführungselemente, und

Fig. 19 eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform des Projektionsbelichtungssystems gemäß Fig. 1.

Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Fig. 1 zunächst die wesentlichen Bestandteile eines Projektionsbelichtungssystems 1 beschrieben.

Die nachfolgend vorgenommene Unterteilung des Projektionsbelichtungssystems 1 in Teilsysteme dient primär der begrifflichen Abgrenzung derselben. Die Teilsysteme können separate konstruktive Teilsysteme bilden. Die Aufteilung in Teilsysteme muss sich jedoch nicht notwendigerweise in einer konstruktiven Abgrenzung widerspiegeln.

Das Projektionsbelichtungssystem 1 umfasst zwei Strahlungsquellenmodule 2 und eine Mehrzahl von Scannern 3_i. Die Bestandteile der Strahlungsquellenmodule 2 können auch in einem einzigen Strahlungsquellenmodul 2 zusammengefasst sein.

Die Strahlungsquellenmodule 2 umfassen jeweils eine Strahlungsquelle 4 zur Erzeugung von Beleuchtungsstrahlung 5.

Bei der Strahlungsquelle 4 handelt es sich insbesondere um einen Freie Elektronen-Laser (FEL).

- 5 Es kann sich auch um eine Synchrotronstrahlungsquelle beziehungsweise um eine synchrotronstrahlungsbasierte Strahlungsquelle, die kohärente Strahlung mit sehr hoher Brillanz erzeugt, handeln. Exemplarisch sei für derartige Strahlungsquellen auf die US 2007/0152171 A1 und die DE 103 58 225 B3 verwiesen.
- 10 Die Strahlungsquelle 4 hat beispielsweise eine mittlere Leistung im Bereich von 1 kW bis 25 kW. Sie weist eine Pulsfrequenz im Bereich von 10 MHz bis 10 GHz auf. Jeder einzelne Strahlungsimpuls kann beispielsweise eine Energie von 83 μ J betragen. Bei einer Strahlungsimpulslänge von 100 fs entspricht dies einer Strahlungsimpulsleistung von 833 MW.
- 15 Die Strahlungsquelle 4 kann auch eine Repetitionsrate im Kilohertzbereich, beispielsweise von 100 kHz, oder im niederen Megahertzbereich, beispielsweise bei 3 MHz, im mittleren Megahertzbereich, beispielsweise bei 30 MHz, im oberem Megahertzbereich, beispielsweise bei 300 MHz oder auch im Gigahertzbereich, beispielsweise bei 1,3 GHz, besitzen.
- 20 Bei der Strahlungsquelle 4 handelt es sich insbesondere um eine EUV-Strahlungsquelle. Die Strahlungsquelle 4 emittiert insbesondere EUV-Strahlung im Wellenlängenbereich beispielsweise zwischen 2 nm und 30 nm, insbesondere zwischen 2 nm und 15 nm.
- Die Strahlungsquelle 4 emittiert die Beleuchtungsstrahlung 5 in Form eines Rohstrahls 6. Der
- 25 Rohstrahl 6 hat eine sehr kleine Divergenz. Die Divergenz des Rohstrahls 6 kann kleiner als 10 mrad sein, insbesondere kleiner als 1 mrad, insbesondere kleiner als 100 μ rad, insbesondere kleiner als 10 μ rad. Zur einfacheren Beschreibung von Lageverhältnissen werden im Folgenden Koordinaten eines kartesischen xyz-Koordinatensystems verwendet. Die x-Koordinate spannt mit der y-Koordinate regelmäßig einen Bündelquerschnitt der Beleuchtungsstrahlung 5 auf. Die
- 30 z-Richtung verläuft regelmäßig in Strahlungsrichtung der Beleuchtungsstrahlung 5. Im Bereich der Objektebene 21 beziehungsweise der Bildebene 24 verläuft die y-Richtung parallel zu einer Scanrichtung. Die x-Richtung verläuft senkrecht zur Scanrichtung. Der Rohstrahl 6 wird von der

Strahlungsquelle 4 in eine bestimmte Richtung emittiert. Diese wird im Folgenden auch als Pointing P bezeichnet.

Der Rohstrahl 6 kann einen Lichtleitwert aufweisen, welcher kleiner ist als $0,1 \text{ mm}^2$, insbesondere kleiner als $0,01 \text{ mm}^2$. Beim Lichtleitwert handelt es sich um das kleinste Volumen eines Phasenraums, welches 90 % der Energie der von der Strahlungsquelle 2 emittierten Beleuchtungsstrahlung 5 enthält. Hierzu entsprechende Definitionen des Lichtleitwerts finden sich beispielsweise in der EP 1 072 957 A2 und der US 6 198 793 B1.

Die Strahlungsquellenmodule 2 umfassen weiterhin jeweils eine der Strahlungsquelle 4 nachgeordnete Strahlformungsoptik 7. Die Strahlformungsoptik 7 dient zur Erzeugung eines Sammel-Ausgabestrahls 8 aus dem Rohstrahl 6. Der Sammel-Ausgabestrahl 8 hat eine sehr kleine Divergenz. Die Divergenz des Sammel-Ausgabestrahls 8 kann kleiner als 10 mrad sein, insbesondere kleiner als 1 mrad, insbesondere kleiner als 100 μrad , insbesondere kleiner als 10 μrad .

Mittels der Strahlformungsoptik 7 kann insbesondere der Durchmesser des Rohstrahls 6 beziehungsweise des Sammel-Ausgabestrahls 8 beeinflusst werden. Mittels der Strahlformungsoptik 7 kann insbesondere eine Aufweitung des Rohstrahls 6 erreicht werden. Der Rohstrahl 6 kann mittels der Strahlformungsoptik 7 insbesondere um einen Faktor von mindestens 1,5, insbesondere mindestens 2, insbesondere mindestens 3, insbesondere mindestens 5, insbesondere mindestens 10 aufgeweitet werden. Der Aufweitungsfaktor ist insbesondere kleiner als 1000. Es ist auch möglich, den Rohstrahl 6 in unterschiedlichen Richtungen unterschiedlich stark aufzuweiten. Er kann insbesondere in einer x-Richtung stärker aufgeweitet werden als in einer y-Richtung. Hierbei entspricht die y-Richtung im Bereich des Objektfeldes 11_i der Scanrichtung. Die Divergenz des Sammel-Ausgabestrahls 8 kann kleiner sein als die Divergenz, insbesondere kleiner als die halbe Divergenz, des Rohstrahls 6.

Alternativ kann der Rohstrahl 6 in einer y-Richtung stärker als in einer x-Richtung aufgeweitet werden. Der Unterschied im Aufweitungsfaktor kann insbesondere ungefähr gleich der Gesamtzahl der später erzeugten Einzel-Ausgabestrahlen 10_i sein.

Für weitere Details der Strahlformungsoptik 7 sei auf die DE 10 2013 223 935.1 verwiesen, die hiermit in die vorliegende Anmeldung integriert ist. Die Strahlformungsoptik 7 kann insbesondere jeweils eine oder zwei Strahlformungsspiegelgruppen mit jeweils zwei Spiegeln aufweisen. Die Strahlformungsspiegelgruppen dienen insbesondere zur Strahlformung des Sammel-

5 Ausgabestrahls 8 in zueinander senkrechten Ebenen, welche parallel zur Ausbreitungsrichtung des Sammel-Ausgabestrahls 8 verlaufen.

Die Strahlformungsoptik 7 kann auch weitere Strahlformungsspiegel umfassen.

- 10 Die Strahlformungsoptik 7 kann insbesondere Zylinderspiegel, insbesondere mindestens einen konvexen und mindestens einen konkaven Zylinderspiegel, umfassen. Sie kann auch Spiegel mit einem Freiformprofil umfassen. Derartige Spiegel weisen jeweils ein Höhenprofil auf, welches nicht als Kegelschnitt darstellbar ist.
- 15 Mittels der Strahlformungsoptik 7 kann außerdem das Intensitätsprofil des Rohstrahls 6 beeinflusst werden.

Außerdem kann das Strahlungsquellenmodul 2 jeweils eine der Strahlformungsoptik 7 nachgeordnete Auskoppeloptik 9 umfassen. Die Auskoppeloptik 9 dient zur Erzeugung von mehreren,

20 nämlich von n , Einzelausgabestrahlen 10_i ($i = 1$ bis n) aus dem Sammel-Ausgabestrahls 8. Die Einzelausgabestrahlen 10_i bilden jeweils Strahlenbündel zur Beleuchtung eines Objektfeldes 11_i . Die Einzelausgabestrahlen 10_i sind jeweils einem der Scanner 3_i zugeordnet. Die Strahlenbündel der Einzelausgabestrahlen 10_i können jeweils eine Mehrzahl von separaten Teilstrahlen 12_i umfassen.

25 Das Strahlungsquellenmodul 2 ist jeweils insbesondere in einem evakuierbaren Gehäuse angeordnet.

Die Scanner 3_i umfassen jeweils eine Strahlführungsoptik 13_i und eine Projektionsoptik 14_i .

Die Strahlführungsoptik 13_i der Scanner 3_i dient der Führung der Beleuchtungsstrahlung 5, insbesondere der jeweiligen Einzel-Ausgabestrahlen 10_i zu den Objektfeldern 11_i der einzelnen Scanner 3_i.

- 5 Die Projektionsoptik 14_i dient jeweils der Abbildung eines in einem der Objektfelder 11_i angeordneten Retikels 22_i in ein Bildfeld 23_i, insbesondere auf einen im Bildfeld 23_i angeordneten Wafer 25_i.

- 10 Die Strahlungsführungsoptik 13_i umfasst in der Reihenfolge des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung 5 jeweils eine Umlenkoptik 15_i, eine Einkoppeloptik 16_i, insbesondere in Form einer Fokussier-Baugruppe, und eine Beleuchtungsoptik 17_i. Die Einkoppeloptik 16_i kann insbesondere auch als Wolter-Type-III-Kollektor ausgebildet sein.

- 15 Die Umlenkoptik 15_i kann auch in die Auskoppeloptik 9 integriert sein. Die Auskoppeloptik 9 kann insbesondere derart ausgebildet sein, dass sie die Einzelausgabestrahlen 10_i bereits in eine gewünschte Richtung umlenkt. Gemäß einer Variante kann auch auf die Umlenkoptiken 15_i insgesamt verzichtet werden. Allgemein können die Auskoppeloptik 9 und die Umlenkoptiken 15_i eine Auskoppel-Umlenk-Einrichtung bilden. Gemäß einer weiteren Variante kann die Auskoppeloptik 9 auch jeweils im Strahlengang nach der Umlenkoptik 15_i angeordnet sein. Diese unter-
- 20 schiedlichen Varianten beziehen sich auf sämtliche nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele.

- Für unterschiedliche Varianten der Umlenkoptiken 15_i sei beispielsweise auf die DE 10 2013 223 935.1 verwiesen, die hiermit als Bestandteil der vorliegenden Anmeldung in diese integriert
- 25 ist.

- Die Einkoppeloptik 16_i dient insbesondere dem Einkoppeln der Beleuchtungsstrahlung 5, insbesondere eines der von der Auskoppeloptik 9 erzeugten Einzel-Ausgabestrahlen 10_i in jeweils eine der Beleuchtungsoptiken 17_i.

30

Die Strahlführungsoptik 13_i bildet jeweils zusammen mit der Strahlformungsoptik 7 und der Auskoppeloptik 9 Bestandteile einer Beleuchtungseinrichtung 18.

Die Beleuchtungseinrichtung 18 ist ebenso wie die Strahlungsquelle 4 jeweils Bestandteil eines Beleuchtungssystems 19.

- 5 Jeder der Beleuchtungsoptiken 17_i ist jeweils eine der Projektionsoptiken 14_i zugeordnet. Zusammen werden die einander zugeordnete Beleuchtungsoptik 17_i und die Projektionsoptik 14_i auch als optisches System 20_i bezeichnet.

- 10 Die Beleuchtungsoptik 17_i dient jeweils zur Überführung von Beleuchtungsstrahlung 5 zu einem im Objektfeld 11_i in einer Objektebene 21_i angeordneten Retikel 22_i . Die Projektionsoptik 14_i dient zur Abbildung des Retikels 22_i , insbesondere zur Abbildung von Strukturen auf dem Retikel 22_i , auf einen in einem Bildfeld 23_i in einer Bildebene 24 angeordneten Wafer 25_i .

- 15 Das Projektionsbelichtungssystem 1 umfasst insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens vier, insbesondere mindestens fünf, insbesondere mindestens sechs, insbesondere mindestens sieben, insbesondere mindestens acht, insbesondere mindestens neun, insbesondere mindestens zehn Scanner 3_i . Das Projektionsbelichtungssystem 1 kann auch zwanzig oder mehr Scanner 3_i umfassen. Je nach Ausbildung des Strahlungsquellenmoduls 2, insbesondere je nach Anzahl der Strahlungsquellen 4, kann das Projektionsbelichtungssystem 20 1 beispielsweise auch bis zu 100 Scanner 3_i umfassen.

Die Scanner 3_i werden von den gemeinsamen Strahlungsquellenmodulen 2, insbesondere von den Strahlungsquellen 4, mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt.

- 25 Das Projektionsbelichtungssystem 1 dient zur Herstellung von mikro- beziehungsweise nano-strukturierten Bauelementen, insbesondere elektronischen Halbleiter-Bauelementen.

- 30 Die Einkoppeloptik 16_i ist im Strahlengang zwischen dem Strahlungsquellenmodul 2, insbesondere der Auskoppeloptik 9, und jeweils einer der Beleuchtungsoptiken 17_i angeordnet. Sie ist insbesondere als Fokussier-Baugruppe ausgebildet. Sie dient der Überführung jeweils eines der Einzel-Ausgabestrahlen 10_i in einen Zwischenfokus 26_i in einer Zwischenfokusebene 27. Der

Zwischenfokus 26_i kann im Bereich einer Durchtrittsöffnung eines Gehäuses des optischen Systems 20_i oder des Scanners 3_i angeordnet sein. Das Gehäuse ist insbesondere evakuierbar.

Die Beleuchtungsoptik 17_i umfasst jeweils einen ersten Facettenspiegel und einen zweiten Facettenspiegel, deren Funktion jeweils derjenigen entspricht, die aus dem Stand der Technik bekannt sind. Beim ersten Facettenspiegel kann es sich insbesondere um einen Feldfacettenspiegel handeln. Beim zweiten Facettenspiegel kann es sich insbesondere um einen Pupillenfaccettenspiegel handeln. Der zweite Facettenspiegel kann jedoch auch beabstandet zu einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik 17_i angeordnet sein. Dieser allgemeine Fall wird auch als spekulärer Reflektor bezeichnet.

Die Facettenspiegel umfassen jeweils eine Vielzahl von ersten beziehungsweise zweiten Facetten. Beim Betrieb des Projektionsbelichtungssystems 1 ist jeder der ersten Facetten jeweils eine der zweiten Facetten zugeordnet. Die einander zugeordneten Facetten bilden jeweils einen Beleuchtungskanal der Beleuchtungsstrahlung 5 zur Beleuchtung des Objektfeldes 11_i unter einem bestimmten Beleuchtungswinkel.

Die kanalweise Zuordnung der zweiten Facetten zu den ersten Facetten erfolgt in Abhängigkeit einer gewünschten Beleuchtung, insbesondere eines vorgegebenen Beleuchtungssettings. Die Facetten des ersten Facettenspiegels können verlagerbar, insbesondere verkippar, insbesondere mit jeweils zwei Kippfreiheitsgraden, ausgebildet sein. Die Facetten des ersten Facettenspiegels sind insbesondere zwischen unterschiedlichen Stellungen schaltbar. Sie sind in unterschiedlichen Schaltstellungen unterschiedlichen der zweiten Facetten zugeordnet. Es kann jeweils auch mindestens eine Schaltstellung der ersten Facetten vorgesehen sein, in welcher die auf sie auftreffende Beleuchtungsstrahlung 5 nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes 11_i beiträgt. Die Facetten des ersten Facettenspiegels können als virtuelle Facetten ausgebildet sein. Hierunter sei verstanden, dass sie durch eine variable Gruppierung einer Mehrzahl von Einzelspiegeln, insbesondere einer Mehrzahl von Mikrosiegeln, gebildet werden. Für Details sei auf die WO 2009/100856 A1 verwiesen, die hiermit als Bestandteil der vorliegenden Anmeldung in diese integriert ist.

Die Facetten des zweiten Facettenspiegels können entsprechend als virtuelle Facetten ausgebildet sein. Sie können auch entsprechend verlagerbar, insbesondere verkippar, ausgebildet sein.

Über den zweiten Facettenspiegel und gegebenenfalls über eine nachfolgende, in den Figuren nicht dargestellte Übertragungsoptik, welche beispielsweise drei EUV-Spiegel umfasst, werden die ersten Facetten in das Objektfeld 11_i in der Retikel- beziehungsweise Objektebene 21 abgebildet.

Die einzelnen Beleuchtungskanäle führen zur Beleuchtung des Objektfeldes 11_i mit bestimmten Beleuchtungswinkeln. Die Gesamtheit der Beleuchtungskanäle führt somit zu einer Beleuchtungswinkelverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes 11_i durch die Beleuchtungsoptik 17_i .

Die Beleuchtungswinkelverteilung wird auch als Beleuchtungssetting bezeichnet.

Bei einer weiteren Ausführung der Beleuchtungsoptik 17_i , insbesondere bei einer geeigneten Lage der Eintrittspupille der Projektionsoptik 14_i , kann auf die Spiegel der Übertragungsoptik vor dem Objektfeld 11_i auch verzichtet werden, was zu einer entsprechenden Transmissionserhöhung für das Nutzstrahlungsbündel führt.

Das Retikel 22_i mit für die Beleuchtungsstrahlung 5 reflektierenden Strukturen ist in der Objektebene 21 im Bereich des Objektfeldes 11_i angeordnet. Das Retikel 22_i wird von einem Retikelhalter getragen. Der Retikelhalter ist über eine Verlagerungseinrichtung angesteuert verlagerbar.

Die Projektionsoptik 14_i bildet jeweils das Objektfeld 11_i in das Bildfeld 23_i in der Bildebene 24 ab. In dieser Bildebene 24 ist bei der Projektionsbelichtung der Wafer 25_i angeordnet. Der Wafer 25_i weist eine lichtempfindliche Beschichtung auf, die während der Projektionsbelichtung mit dem Projektionsbelichtungssystem 1 belichtet wird. Der Wafer 25_i wird von einem Waferhalter getragen. Der Waferhalter ist mittels einer Verlagerungseinrichtung gesteuert verlagerbar.

Die Verlagerungseinrichtung des Retikelhalters und die Verlagerungseinrichtung des Waferhalters können in Signalverbindung miteinander stehen. Sie sind insbesondere synchronisiert. Das Retikel 22_i und der Wafer 25_i sind insbesondere synchronisiert zueinander verlagerbar.

Auf dem Retikel 22_i sind Strukturen angebracht. Der Flächenbereich, auf dem die Strukturen angebracht sind, wird im Folgenden als Die bezeichnet. Das Die ist im Regelfall größer als das

Objektfeld 11_i, weswegen zu seiner Abbildung auf den Wafer 25_i eine synchronisierte Scanbewegung von Retikel 22_i und Wafer 25_i notwendig ist. Wird während einen Zeitraums des Scanvorgangs nur ein Teil des Objektfeldes 11_i vom Die überdeckt, so kann der restliche Bereich des Objektfeldes 11_i mittels verfahrbarer Retikelmaskierungsblenden abgedeckt werden.

5

Durch den Scan- und Belichtungsprozess entstehen in der lichtempfindlichen Beschichtung auf dem Wafer 25_i Strukturen, welche in erster Näherung ein verkleinertes Abbild des Dies darstellen. Ein solches Abbild des Dies auf dem Wafer 25_i umfasst im Normalfall alle Strukturen eines oder mehrerer mikro- oder nanolithographischer Bauelemente wie z.B. Halbleiterchips. Ein Die kann also insbesondere Strukturen umfassen, die nach Auseinandersägen eines fertig prozessierten Wafers 25_i zu mehr als einem einzigen Halbleiterchip gehören.

10

Jedes Retikel 22_i enthält im Regelfall genau einen Die. Die maximale Größe des Retikels 22_i ist im Regelfall begrenzt, und damit auch die maximale Größe eines Dies. Ein Die kann jedoch kleiner als diese Maximalgröße sein.

15

Die verschiedenen Retikel 22_i, die jeweils einem Scanner 3_i zugeordnet sind, können identische oder unterschiedliche Dies tragen. Die Retikel 22_i sind im Allgemeinen automatisiert austauschbar und zwischen verschiedenen Scannern 3_i austauschbar. Das Projektionsbelichtungssystem 1 besitzt im Regelfall ein System, um ein bestimmtes Retikel 22_i in einen bestimmten Scanner 3_k einführen zu können, damit anschließend durch diesen Scanner ein oder mehrere Wafer 25_k mittels des entsprechenden Dies belichtet werden. Umgekehrt bedeutet dies, dass zur Belichtung eines bestimmten Dies das entsprechende Retikel 25_i in den Scanner 3_k eingebracht werden muss.

20

25

Im Folgenden wird eine vorteilhafte Ausführungsform des Beleuchtungssystems 19 beschrieben.

Es wurde erkannt, dass als Strahlungsquellen 4 vorteilhafterweise Freie Elektronen Laser (FEL) oder synchrotronbasierte Strahlungsquelle eingesetzt werden können. Ein FEL skaliert sehr gut, das heißt er kann insbesondere dann besonders ökonomisch betrieben werden, wenn er groß genug ausgelegt wird, um eine Mehrzahl von Scannern 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5 zu versor-

30

gen. Der FEL kann insbesondere jeweils bis zu acht, zehn, zwölf oder auch zwanzig Scanner mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgen.

Fällt einer der FEL aus, beispielsweise weil er wegen Wartungsarbeiten abgeschaltet werden muss, so hat dies Konsequenzen für eine entsprechende Mehrzahl von Scannern 3_i . Ohne geeignete Kompensationsmaßnahmen stehen die im Grundzustand von diesem FEL mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgten Scanner 3_i dann still. Dies ist aus Effizienzgründen nicht wünschenswert.

10 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass dieses Problem dadurch gelöst werden kann, dass das Projektionsbelichtungssystem 1 mindestens zwei FEL als Strahlungsquellen 4_i umfasst. Im Folgenden werden die Begriffe Strahlungsquelle 4_i und FEL austauschbar verwendet.

Mittels einer Strahlführungsvorrichtung 28 kann die Beleuchtungsstrahlung von den beiden FEL je nach Bedarf flexibel auf die unterschiedlichen Scanner 3_i aufgeteilt werden. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, dass der erste FEL in einem Grundzustand eine erste Teilmenge der Scanner 3_1 bis 3_N mit Beleuchtungsstrahlung versorgt, während der zweite FEL im Grundzustand eine zweite Teilmenge der Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt. Fällt einer der FEL aus, beispielsweise weil er zu Wartungsarbeiten ausgeschaltet werden muss, kann der andere der FEL sämtliche Scanner 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgen. Dies wird im Nachfolgenden noch näher beschrieben. Die Strahlführungsvorrichtung 28 kann ein Bestandteil des Strahlungsquellenmoduls 2 bilden. Sie bildet insbesondere einen Bestandteil des Beleuchtungssystems 19.

25 Die beiden Teilmengen können auch unterschiedliche Anzahlen von Scannern 3_i umfassen.

Die Kernidee der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden anhand eines Projektionsbelichtungssystems 1 mit zwei Strahlungsquellen $4_1, 4_2$ beschrieben. Dies ist nicht einschränkend zu verstehen. Das erfindungsgemäße Prinzip lässt sich problemlos auf den Fall einer größeren Anzahl von Strahlungsquellen 4_i erweitern. Das Projektionsbelichtungssystem 1 kann insbesondere auch drei, vier, fünf, sechs oder mehr Strahlungsquellen 4_i , insbesondere in Form von FEL, umfassen.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es bei der Belichtung der Wafer 25_i Zeitintervalle gibt, während welcher zumindest ein Teil der Scanner 3_i nicht mit Beleuchtungsstrahlung 5 oder zumindest nicht mit der Maximalintensität der Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt zu werden brauchen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die sogenannten Retikel-Maskierungs-Blenden teilweise, insbesondere vollständig, geschlossen sind. Dies kann insbesondere im Zeitraum zwischen der Belichtung zweier aufeinanderfolgender Dies der Fall sein. Dies kann insbesondere der Fall sein, wenn der Wafer 25_i verschoben wird, während das zugehörige Retikel 22_i still steht.

- 10 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass ein gegebener der Scanner 3_i typischerweise nur zu höchstens 70%, insbesondere nur zu höchstens 60%, insbesondere höchstens etwa 55% der Zeit mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt zu werden braucht. Erfindungsgemäß wurde weiter erkannt, dass diese Tatsache ausgenutzt werden kann, um in den Zeitintervallen, in denen ein bestimmter der Scanner 3_i nicht mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt zu werden braucht, die für diesen
- 15 Scanner 3_i bereitgestellte Beleuchtungsstrahlung 5 zu einem anderen der Scanner 3_i zu führen.

Im Folgenden werden unterschiedliche Ausführungsformen der Strahlführungsvorrichtung 28 sowie des mittels dieser vorgesehenen Verfahren zur Führung der Beleuchtungsstrahlung 5 beschrieben.

- 20 Gemäß einem ersten in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Strahlführungsvorrichtung 28 für jeden der FEL einen ersten Spiegel 29₁, 29₂ und einen zweiten Spiegel 30₁, 30₂.

- 25 Die Spiegel 29_i, 30_i bilden allgemein Strahlführungs-Elemente. Die Spiegel 29_i, 30_i sind verlagerbar, insbesondere aktuiert verlagerbar.

Der erste Spiegel 29_i weist jeweils eine Reflexionsfläche 33 auf.

- 30 In einem in Fig. 1 exemplarisch dargestellten Grundzustand sind sämtliche Spiegel 29_i, 30_i der Strahlführungsvorrichtung 28 außerhalb des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung 5 ange-

ordnet. Die Spiegel 29_i , 30_i der Strahlführungsvorrichtung 28 sind somit im Grundzustand funktionslos.

Die Spiegel 29_i , 30_i sind insbesondere jeweils zwischen zwei Verlagerungspositionen verlagerbar. Hierbei ist die erste Verlagerungsposition derart, dass die Spiegel 29_i , 30_i außerhalb des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung 5 angeordnet sind. Die zweite Verlagerungsposition der Spiegel 29_i , 30_i ist gerade derart gewählt beziehungsweise eingestellt, dass der Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung 5 bei einer Positionierung der Spiegel 29_2 , 30_2 in deren zweiten Verlagerungsposition von der zweiten Strahlungsquelle 4_2 zur ersten Teilmenge der Scanner 3_1 bis 3_N geführt wird (siehe Fig. 2). Entsprechend wird die Beleuchtungsstrahlung 5 der Spiegel 29_1 , 30_1 in deren zweiten Verlagerungsposition von der ersten Strahlungsquelle 4_1 zur zweiten Teilmenge der Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} geführt.

Die Spiegel 29_i , 30_i sind insbesondere derart ausgebildet, dass die Beleuchtungsstrahlung 5 von einer der beiden Strahlungsquellen 4_i bei einer Anordnung der entsprechenden Spiegel 29_i , 30_i in deren zweiten Verlagerungsposition unter einem Einfallswinkel zur Auskoppeloptik 9_j , insbesondere zum Eingang der entsprechenden Scanner 3_j , geführt wird, welche gerade dem Einfallswinkel der Beleuchtungsstrahlung 5 von der anderen Strahlungsquelle 4_j im Grundzustand entspricht. Für die Scanner 3_i ergibt sich somit aus einer Verlagerung der Spiegel 29_i , 30_i kein Unterschied im Hinblick auf die Einfallswinkel der Beleuchtungsstrahlung 5.

Allgemein kann mittels der Strahlführungsvorrichtung 28, insbesondere durch Verlagerung der Spiegel 29_i , 30_i , eine Führung der Beleuchtungsstrahlung 5 zwischen mindestens zwei Eingängen der Strahlführungsvorrichtung 28 und mindestens zwei Ausgängen derselben gesteuert werden. Hierbei sind die als Strahlungsquellen 4_i vorgesehenen FEL jeweils einem der Eingänge der Strahlführungsvorrichtung 28 zugeordnet. Die Teilmengen der Scanner 3_i sind jeweils einem der Ausgänge der Strahlführungsvorrichtung 28 zugeordnet (siehe die schematische Darstellung in den Figuren).

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird zur Erläuterung der Erfindungsidee im Folgenden exemplarisch davon ausgegangen, dass die Strahlungsquelle 4_1 zu Wartungszwecken abgeschaltet werden soll (siehe Fig. 2). In diesem Fall ist vorgesehen, den zweiten Spiegel 30_2 in seine

zweite Verlagerungsposition zu verlagern. Er kann für die gesamte Dauer des Wartungsvorgangs in der zweiten Verlagerungsposition bleiben. Es genügt daher, wenn die zweiten Spiegel 30_i langsam, quasistatisch verlagerbar sind.

- 5 Der erste Spiegel 29_2 wird zum Umschalten der Beleuchtungsstrahlung 5 zwischen der ersten Teilmenge der Scanner 3_1 bis 3_N und der zweiten Teilmenge der Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} während des Wartungsvorgangs der ersten Strahlungsquelle 4_1 zwischen seiner ersten und zweiten Verlagerungsposition hin und her verlagert. In der Fig. 2 sind die beiden Strahlengänge der Beleuchtungsstrahlung 5, welche sich aus den unterschiedlichen Verlagerungspositionen des ersten Spiegels 29_2 ergeben, exemplarisch mit einer Strichlierung entsprechend der des Spiegels 29_2 in den unterschiedlichen Verlagerungspositionen dargestellt.
- 10

Der erste Spiegel 29_i ist vorzugsweise mit einer Frequenz von mindestens 1 Hz, insbesondere mindestens 2 Hz, insbesondere mindestens 3 Hz, insbesondere mindestens 5 Hz, insbesondere mindestens 10 Hz zwischen der ersten und zweiten Verlagerungsposition hin und her verlagerbar.

15

Die zur Verlagerung der Spiegel 29_i , 30_i vorgesehenen Aktuatoren erfüllen die üblichen Voraussetzungen für die Aktuatoren eines Projektionsbelichtungssystems 1, insbesondere eines EUV-Projektionsbelichtungssystems 1.

20

Die Aktuatoren sind vakuumtauglich oder so gekapselt, dass sie vakuumtauglich ist. Sie sind unempfindlich gegen atomaren Wasserstoff, insbesondere auch gegen ionisierten Wasserstoff. Sie enthalten keine Substanzen, die ausgasen können, insbesondere keine Substanzen, die zu einer Verschmutzung der Spiegel des EUV-Projektionsbelichtungssystems führen können, oder sie sind so gekapselt, dass ein Austritt solcher Substanzen verhindert wird.

25

Die Aktuatoren sind vorteilhafterweise abriebsfrei, d.h., bei einer Bewegung der aktuierten Komponenten werden keine Partikel freigesetzt, oder der Aktuator ist so gekapselt, dass der Austritt von Partikeln verhindert wird.

30

Die Aktuatoren sind wartungsarm, vorzugsweise wartungsfrei.

Zur Steuerung der Verlagerung der Spiegel 29_i, 30_i ist eine Steuervorrichtung 35 vorgesehen.
Die Steuervorrichtung 35 kann eine Recheneinheit umfassen.

5 Im Folgenden werden unterschiedliche Optionen der Verlagerung des ersten Spiegels 29_i anhand der Fig. 3 bis 8 beschrieben.

In den Fig. 3 bis 8 ist die Bewegungsrichtung des ersten Spiegels 29_i jeweils schematisch durch einen Doppelpfeil 32 verdeutlicht.

10 Wie in der Fig. 3 schematisch dargestellt ist, kann der erste Spiegel 29_i aktuiertbar verschwenkbar um eine Drehachse 31 gelagert sein.

Alternativ hierzu kann der Spiegel 29_i, wie in der Fig. 4 exemplarisch dargestellt ist, linear, insbesondere in Richtung senkrecht zur Beleuchtungsstrahlung 5, verlagerbar sein.

15 Als Aktuatoren eignen sich insbesondere Lorentz-Aktuatoren, insbesondere mit einer Spulen-Magnetanordnung. Derartige Aktuatoren können sowohl Rotations- bzw. Verschwenkbewegungen als auch Translationsbewegungen bewirken.

20 Es können auch pneumatische und/oder hydraulische Aktuatoren eingesetzt werden. Es können prinzipiell auch andere Aktuatortypen, wie z.B. Piezoaktuatoren, Bimetallaktuatoren oder auf Formgedächtnislegierungen beruhende Aktuatoren, verwendet werden.

25 Lager können als Festkörpergelenke ausgeführt sein. Diese sind vorteilhafterweise reibungsfrei und/oder abriebsfrei ausgebildet. Die Lager können auch als magnetische Lager ausgeführt sein. Diese können insbesondere berührungsfrei sein.

Weiterhin können Lager als Wälzlager, insbesondere als Kugellager, ausgeführt sein. Zur Schmierung der Lager können vakuumtaugliche Schmierstoffe vorgesehen sein. Es können auch
30 Gleitlager verwendet werden. Diese sind vorteilhafterweise reibungsfrei oder so gekapselt, dass Abrieb nicht das Lager verlassen kann.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es für die Präzision der Positionierung des Spiegels 29_i in den Verlagerungspositionen vorteilhaft ist, wenn er entlang einer Tangente an seine Reflexionsfläche verlagert wird. Entsprechende Varianten sind in den Fig. 5 und 6 schematisch dargestellt. Bei der Variante gemäß Fig. 5 ist die Reflexionsfläche des ersten Spiegels 29_i gekrümmt ausgebildet. Ihr Krümmungsradius entspricht hierbei insbesondere gerade dem Abstand zur Drehachse 31.

Bei einer gekrümmten Ausführung des ersten Spiegels 29_i ist vorzugsweise vorgesehen, auch den diesem im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung 5 nachfolgenden zweiten Spiegel 30_i gekrümmt auszubilden. Der zum ersten Spiegel 29_i gehörende zweite Spiegel 30_i ist insbesondere derart ausgebildet, dass eine durch die Krümmung des ersten Spiegels 29_i verursachte Auffächerung des Beleuchtungsstrahls durch eine geeignete Krümmung des zweiten Spiegels 30_i wieder ausgeglichen wird.

Bei einer planen Ausbildung der Reflexionsfläche des Spiegels 29_i entspricht die Verlagerung entlang einer Tangente an die Reflexionsfläche gerade einer linearen Verlagerung in der Reflexionsflächenebene. Diese Alternative ist schematisch in Fig. 6 dargestellt.

Bei einer Ausbildung und Verlagerbarkeit des ersten Spiegels 29_i gemäß einer der Fig. 5 oder 6 ist das präzise Erreichen der Verlagerungspositionen in Bezug auf die Verlagerungsrichtung nicht besonders wichtig. Solange die Beleuchtungsstrahlung 5 auf den Spiegel 29_i auftrifft, wird sie unabhängig von dessen genauen Verlagerungsposition weitergelenkt. Hierdurch wird die Verlagerung des ersten Spiegels 29_i, insbesondere dessen schnelle Verlagerung, erheblich vereinfacht.

In den Fig. 7 und 8 sind zwei weitere Alternativen für die Ausführung des ersten Spiegels 29_i und dessen Anordnung im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung 5 dargestellt. Bei diesen Alternativen ist der erste Spiegel 29_i als rotierbar gelagerte Spiegeleinrichtung ausgebildet. In den exemplarischen Fig. 7 und 8 weist der erste Spiegel 29_i jeweils vier Reflexionsflächen 33 auf.

Der Spiegel 29_i kann auch eine andere Anzahl an Reflexionsflächen 33 aufweisen. Er weist insbesondere mindestens eine, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbe-

sondere mindestens vier, insbesondere mindestens fünf, insbesondere mindestens sechs Reflexionsflächen 33 auf.

Die Ausbildung der Reflexionsfläche 33 entspricht jeweils der des in der Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiels.

Der erste Spiegel 29_i ist insbesondere um die Drehachse 31 rotierbar gelagert. Er kann eine konstante Rotationsfrequenz aufweisen. Die Rotationsfrequenz kann steuerbar sein.

Bei einer gleichmäßigen Rotation ist fest vorgegeben, zu welchem Anteil der Rotationsperiode die Beleuchtungsstrahlung 5 auf eine der Reflexionsflächen 33 fällt. Der Spiegel 29_i ist insbesondere derart ausgebildet, dass die Reflexionsflächen 33 insgesamt gerade die Hälfte des Umfangsbereichs des ersten Spiegels 29_i ausmachen. Bei einer konstanten Rotation führt dies zu einem Tastverhältnis von 1 : 1, das heißt die Beleuchtungsstrahlung 5 fällt im Mittel genau so lange auf eine der Reflexionsflächen 33 wie sie auf einen der zwischen zwei Reflexionsflächen 33 vorgesehenen Zwischenbereich 34 fällt.

Alternative Tastverhältnisse sind ebenfalls möglich. Diese liegen insbesondere zwischen 45:55 und 55:45.

Bei der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsform sind die Zwischenbereiche 34 strahlungsdurchlässig ausgebildet.

Die Rotationsfrequenz ist insbesondere an die Größe der zu belichtenden Dies auf den Wafern 25_i anpassbar. Ist die Größe der Dies vorgegeben, kann die Rotationsfrequenz, wenn sie einmal geeignet eingestellt ist, konstant gehalten werden. Es ist insbesondere keine Winkelbeschleunigung während des eigentlichen Betriebs, das heißt während der Belichtung der Dies, notwendig.

Die Rotationsfrequenz kann insbesondere derart eingestellt werden, dass die Dauer des Zeitraums, während dessen sich eine der Reflexionsflächen 33 des Spiegels 29_i im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung befindet, gerade der Belichtungsdauer eines der Dies entspricht. Entsprechend kann die Dauer, für welche die Beleuchtungsstrahlung auf einen der Zwischenbereiche 34

zwischen zwei der Reflexionsflächen 33 fällt, gerade der Dauer der Belichtung eines Dies entsprechen.

Der Spiegel 29_i ist vorzugsweise ausgewuchtet. Dies kann beispielsweise durch eine geeignete
5 Formgebung eines Spiegelrahmens, welcher beispielsweise in den Fig. 7 und 8 vor und/oder hinter der Zeichenebene angeordnet sein kann, erreicht werden.

Im Grundzustand, das heißt wenn sämtliche der Strahlungsquellen 4_i Beleuchtungsstrahlung 5
emittieren, ist der erste Spiegel 29_i insbesondere derart angeordnet, dass er nicht zu einer Ablen-
10 kung der Beleuchtungsstrahlung 5 führt. Der erste Spiegel 29_i kann hierzu zusätzlich zu seiner Rotierbarkeit linear verlagerbar, das heißt verschiebbar, sein. Es ist insbesondere möglich, den Spiegel 29_i derart zu lagern, dass seine Drehachse 31 linear verlagerbar, das heißt verschiebbar, ist.

15 Die ersten Spiegel 29_i können auch bei den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen beliebig gemäß einer der anhand der Fig. 3 bis 8 beschriebenen Alternativen ausgebildet sein.

Im Folgenden wird ein Verfahren zum Betrieb des Projektionsbelichtungssystems 1, insbesondere ein Verfahren zur Wartung desselben, beschrieben. Im Grundzustand, welcher auch als nor-
20 maler Betriebsmodus bezeichnet wird, sind beide Strahlungsquellen 4_i funktionsfähig.

Der erste FEL versorgt die Scanner 3₁ bis 3_N kontinuierlich mit Beleuchtungsstrahlung 5. Die Pulsstruktur des FEL sei hierbei ignoriert, da sie für die vorliegende Erfindung irrelevant ist. Analog versorgt der zweite FEL die Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} mit Beleuchtungsstrahlung 5. Ein zeit-
25 licher Ablauf dieses Betriebsmodus ist beispielhaft für N = 3 in der Fig. 9 dargestellt. Jede Zeile entspricht der Versorgung eines der Scanner 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5. Die Schraffuren verdeutlichen, von welchem der FEL der jeweilige Scanner 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt wird. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit ist Beleuchtungsstrahlung 5 vom ersten FEL durch eine vertikale Schraffur gekennzeichnet, während Beleuchtungsstrahlung 5 vom zweiten
30 FEL durch eine horizontale Schraffur gekennzeichnet ist. Mit einer durchgehenden Schraffur sind die Zeiträume gekennzeichnet, in welchen einem bestimmten der Scanner 3_i Beleuchtungsstrahlung 5 zur Verfügung gestellt und von diesem auch tatsächlich genutzt wird. Unterbrochen

schraffiert dargestellt sind Zeiträume, in denen einem bestimmten der Scanner 3_i Beleuchtungsstrahlung 5 zur Verfügung gestellt wird, diese jedoch von dem entsprechenden Scanner 3_i gar nicht oder nicht vollständig genutzt wird, beispielsweise weil die Retikel-Maskierungs-Blenden teilweise oder vollständig geschlossen sind.

5

Diese Zeiträume können für die unterschiedlichen Scanner 3_i unterschiedlich lang sein. Dies ist beispielsweise darauf zurückzuführen, dass durch den Aufbau des Projektionsbelichtungssystems 1 eine maximale Länge und Breite der Dies vorgegeben ist, jedoch keine minimale Länge und Breite derselben. Ist ein bestimmter Dies kleiner als die maximal mögliche Größe, so dauert die Belichtung desselben entsprechend kürzer. Die unterschiedliche Dauer der Zeiträume kann auch darauf zurückzuführen sein, dass für bestimmte Dies der Scanvorgang verlangsamt durchgeführt werden muss, z.B. weil für diesen Anwendungsfall eine höhere Strahlungs-dosis auf der lichtempfindlichen Schicht des Wafers 25_i notwendig ist. Dies kann als eine effektive Verlängerung des Dies angesehen werden, und der Begriff der Länge des Dies ist so zu verstehen.

15

In der Fig. 10 ist exemplarisch der Betrieb des Projektionsbelichtungssystems 1 im Wartungsmodus, das heißt wenn nur einer der FEL, in diesem Fall der erste FEL zur Verfügung steht, dargestellt. In diesem Fall ist vorgesehen, die Beleuchtungsstrahlung 5 vom ersten FEL abwechselnd auf die Scanner 3_1 bis 3_N und auf die Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} zu verteilen.

20

Ohne Schraffur sind die Zeiträume dargestellt, während welcher die entsprechenden Scanner 3_i nicht mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt werden.

25

Die Beleuchtungsstrahlung 5 wird jeweils für die Dauer eines Intervalls I_i zu einer Teilmenge der Scanner 3_i geführt. Die Intervalle I_i haben sämtliche dieselbe Länge T . Die beiden Teilmengen, insbesondere die beiden disjunkten Teilmengen der Scanner 3_1 bis 3_N und 3_{N+1} bis 3_{2N} werden mit anderen Worten alternierend mit Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt. Das Tastverhältnis beträgt 1 : 1.

30

Das Tastverhältnis kann auch leicht von 1 : 1 abweichen, allerdings sind dann weiterhin alle geraden Zeitintervalle gleich lang, $I_0 = I_2 = I_4 = \dots$, und alle ungeraden Zeitintervalle gleich lang, $I_1 = I_3 = I_5 = \dots$. Dieses kann insbesondere dann vorteilhaft ausgenutzt werden, wenn die verschie-

denen, auf Wafer 25_i abzubildenden Dies nicht beliebig auf die Scanner 3_i verteilt werden, sondern alle Dies auf den Scannern 3₁ bis 3_N gleich lang oder länger als die Dies auf den Scannern 3_{N+1} bis 3_{2N} sind. Analog gilt dieses dafür, dass alle Dies auf den Scannern 3₁ bis 3_N gleich lang oder kürzer als die Dies auf den Scannern 3_{N+1} bis 3_{2N} sind. Dies kann z.B. mittels einer zentralen Produktionsplanung- und -steuerung erreicht werden. Figur 17 zeigt eine zu Fig. 10 analoge Darstellung einer derartigen Situation, bei der alle Dies auf den Scannern 3₁ bis 3_N gleich lang oder länger als die Dies auf den Scannern 3_{N+1} bis 3_{2N} sind.

Erfindungsgemäß wurde gefunden, dass im Fall, dass alle Dies gleich groß sind und die maximale mögliche Die-Größe aufweisen, die zur Belichtung sämtlicher Dies benötigte Zeit im Wartungsmodus lediglich um etwa 10% gegenüber dem normalen Betriebsmodus zunimmt. Die Produktivität nimmt also nur um etwa 10% ab. Der Produktionsverlust, welcher durch den Ausfall eines der FEL verursacht wird, beträgt also lediglich etwa 10%.

Die Strahlführungsvorrichtung 28 kann vorteilhaft mit weiteren Funktionen kombiniert werden. Die Figuren 18A bis 18D zeigen eine beispielhafte Kombination mit einer Umlenkfunktion. Diese Umlenkfunktion kann mit der der Umlenkgruppe 15 identisch sein, aber auch andere Umlenkfunktionen erfüllen. In der in der Figur 18A dargestellten Konfiguration sind Spiegel 29₁ und 30₂ so verlagert, dass sie die Beleuchtungsstrahlung 5 auf Umlenkspiegel 36 lenken. Die Spiegel 29₂ und 30₁ sind so verlagert, dass sie die Beleuchtungsstrahlung 5 nicht beeinflussen. In der in der Figur 18D dargestellten Konfiguration sind die Spiegel 29₂ und 30₁ so verlagert, dass die Beleuchtungsstrahlung 5 auf andere zugeordnete Umlenkspiegel 36 gelenkt wird, während die Spiegel 29₁ und 30₂ so verlagert sind, dass sie die Beleuchtungsstrahlung 5 nicht beeinflussen.

Sowohl mit der Konfiguration gemäß Figur 18A als auch mit der Konfiguration gemäß Figur 18D wird die Beleuchtungsstrahlung 5₁, 5₂ von beiden Strahlungsquellen 4₁, 4₂ zu den Scannern 3_i gelenkt. Der Einfachheit halber sind in den Figuren jeweils nur zwei Beleuchtungsoptiken 17₁, 17₂ dargestellt. Dies ist nicht einschränkend zu verstehen. Die Beleuchtungsstrahlung 5 kann auch bei diesem Ausführungsbeispiel auf eine Vielzahl von Scannern 3_i mit einer Vielzahl von optischen Systemen 20_i aufgeteilt werden. Diesbezüglich sei auf die Beschreibung der Ausführungsform gemäß Figur 1 verwiesen.

In den Figuren 18B beziehungsweise 18C sind schematisch Konfigurationen der Strahlführungs-
vorrichtung 28 dargestellt, welche für den Fall vorgesehen sind, dass eine der Strahlungsquellen
4₁ beziehungsweise 4₂ ausfällt, was beispielsweise aufgrund von Wartungsarbeiten notwendig
sein kann.

5

Bei der in Figur 18B dargestellten Konfiguration versorgt ausschließlich die Strahlungsquelle 4₁
die Scanner 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5. Der Spiegel 30₁ wird in diesem Fall in den Strah-
lengang der Beleuchtungsstrahlung 5, welche von der ersten Strahlungsquelle 4₁ emittiert wird,
verlagert. Er kann in dieser Position belassen werden. Zur Umstellung, welche der Scanner 3_i mit
10 Beleuchtungsstrahlung 5 versorgt werden, kann, wie vorhergehend beschrieben, der Spiegel 29₁
zwischen zwei Verlagerungspositionen verlagert werden. Für Details sei wiederum auf die vor-
hergehende Beschreibung verwiesen.

Entsprechend werden bei der in der Figur 18C dargestellten Konfiguration die Spiegel 29₁ und
15 30₁ außerhalb des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung 5 angeordnet. Der Spiegel 30₂ kann
ortsfest im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung 5 angeordnet werden. Der Spiegel 29₂ ist zur
Führung der Beleuchtungsstrahlung 5 zu unterschiedlichen Teilmengen der Scanner 3_i zwischen
zwei Verlagerungspositionen verlagerbar.

20 Bei dieser Alternative kann der Spiegel 30₂ ortsfest angeordnet sein. Er kann insbesondere einen
Referenzpunkt für die Anordnung der Strahlführungsanordnung 28 bilden.

Bei der Variante gemäß den Figuren 18A bis 18D ist die Anzahl der Reflexionen der Beleuch-
tungsstrahlung 5 im Strahlengang zwischen der Strahlformungsoptik 7_i und der Beleuchtungsoptik
25 17_i unabhängig von der Konfiguration der Strahlführungsanordnung 28. Dies kann vorteil-
haft sein. Hierdurch kann insbesondere die auf das Retikel 22_i auftreffende Dosis der Beleuch-
tungsstrahlung 5 unabhängig von der Konfiguration der Strahlführungsanordnung 28 konstant
gehalten werden. Weiterhin kann die Anzahl der Reflexionen der Beleuchtungsstrahlung 5 im
Strahlengang zwischen der Strahlformungsoptik 7_i und der Beleuchtungsoptik 17_i identisch mit
30 der Anzahl der Reflexion, die für eine reine Umlenkung durch Umlenkspiegel 36 notwendig
wäre, sein. Für die Funktionalität der Verlagerung des Strahlpfades ist dann keine zusätzliche
Reflexion notwendig.

Bei dieser Alternative können die Spiegel 29_i , 30_i Bestandteile der Umlenkoptik 15_i bilden.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass der Produktionsverlust, welcher durch den Ausfall eines der FEL verursacht wird, unter Umständen weiter reduziert werden kann. Hierfür ist vorgesehen, die Scanner 3_i jeweils paarweise einander zuzuordnen. Es ist insbesondere vorgesehen, jeweils einen der Scanner 3_1 bis 3_N und einen der Scanner 3_{N+1} bis 3_{2N} einander zuzuordnen. Beispielsweise können jeweils die Scanner 3_k und 3_{2N+1-k} ($k=1 \dots N$) einander zugeordnet werden. Dies ist exemplarisch in der Fig. 11 dargestellt.

Gemäß der in Figur 11 dargestellten Alternative ist für jedes Paar der einander zugeordneten Scanner 3_k , 3_{2N+1-k} eine Strahlführungsvorrichtung 28 mit ersten und zweiten Spiegeln 29_i , 30_i vorgesehen. Die Beleuchtungsstrahlung 5 kann somit gezielt jeweils zwischen den Scannern 3_k und 3_{2N+1-k} umverteilt werden. Dies führt zu einer größeren Flexibilität. Sofern unterschiedlich große Dies auf den Wafern 25_i belichtet werden sollen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, Dies ähnlicher Größe jeweils auf den einander zugeordneten Scannern 3_k , 3_{2N+1-k} eines Paares zu belichten. Dies ist insbesondere durch eine zentrale Produktionsplanung und -steuerung aller Scanner 3_i des Projektionsbelichtungssystems 1 erreichbar. Im Gegensatz zum vorhergehend beschriebenen Ausführungsbeispiel genügt es somit, wenn sich Paare von Dies mit ungefähr gleicher Größe finden lassen. Diese können dann jeweils auf den beiden Scannern 3_k , 3_{2N+1-k} , die miteinander gekoppelt sind, hergestellt werden. Es ist nicht mehr notwendig, dass sämtliche Dies ungefähr gleich groß sind, um einen effizienten Betriebsmodus zu erhalten. Ein entsprechender Betriebsmodus ist exemplarisch in der Fig. 12 dargestellt. In diesem Fall ließ sich der Produktionsverlust trotz unterschiedlicher Größe der einzelnen Dies auf null reduzieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich jeweils Paare gleichgroßer Dies finden ließen.

Fig. 13 stellt dieselbe Situation dar wie Fig. 12, wobei die Reihenfolge der Scanner entsprechend der exemplarisch in der Fig. 11 dargestellten Ausführungsform umsortiert dargestellt ist. Bei diesem exemplarisch dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Intervalle I_i zum Hin- und Herschalten der Beleuchtungsstrahlung 5 zwischen jeweils zwei der Scanner 3_k und 3_{2N+1-k} gleich lang. Die Intervalle I_i eines bestimmten Paares der Scanner 3_k , 3_{2N+1-k} sind jedoch unabhängig von denen eines anderen Paares.

Sofern sich jeweils paarweise Dies ähnlicher Größen, vorzugsweise identischer Größen, finden lassen, lässt sich durch diese paarweise Gruppierung die Effizienz verbessern, insbesondere maximieren.

5

Es kann insbesondere vorgesehen sein, für den Wartungszeitraum eines der Scanner zu belichtende Dies derart auszuwählen, dass sich jeweils Paare von Dies finden lassen, deren Größe sich höchstens um einen vorgegebenen Maximalwert unterscheidet. Der maximale Größenunterschied der beiden Dies eines Paares kann insbesondere höchstens 25%, insbesondere höchstens 10%, insbesondere höchstens 5%, insbesondere höchstens 3%, insbesondere höchstens 1% betragen. In diesem Fall ist es möglich, den Produktionsverlust besonders weitgehend, insbesondere vollständig, zu vermeiden.

10

Ein weiteres Beispiel ist exemplarisch in der Fig. 14 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel weisen Paare von Dies sehr unterschiedliche Größen auf. Beispielsweise sind die Dies, welche auf den Scannern 3_2 und 3_5 belichtet werden, nur ungefähr halb so groß wie die Dies, die auf den Scannern 3_1 und 3_6 belichtet werden. Die Periode T für das Umschalten der Beleuchtungsstrahlung 5 ist somit beim Paar der Scanner $3_2, 3_5$ lediglich etwa halb so lang wie beim Paar der Scanner $3_1, 3_6$.

15

Exemplarisch ist in der Fig. 15 dieselbe Situation wie in Fig. 14 dargestellt, jedoch für den Fall, dass die Scanner 3_i nicht in Abhängigkeit von der Größe der Dies paarweise gruppiert sind. Wie man der Fig. 15 entnehmen kann, kommt es in diesem Fall zu Totzeiten 35, bei einer der Scanner 3_i bereits mit Belichten fertig ist, bevor der jeweils zugeordnete andere Scanner 3_j wieder Beleuchtungsstrahlung 5 benötigt.

20

Gemäß einer weiteren Alternative der Erfindung kann die Flexibilität der Strahlführung von den FEL zu den unterschiedlichen Scannern 3_i weiter vergrößert werden. Es ist grundsätzlich möglich, für N Scanner 3_i bis zu $N(N-1)$ Strahlführungsvorrichtungen 21 vorzusehen. In diesem Fall ist es möglich, die Beleuchtungsstrahlung 5 beliebig paarweise zwischen den Scannern 3_i umzuverteilen. Mit anderen Worten, kann jeder Scanner 3_i des einen FEL mit jedem Scanner 3_j des

25

30

anderen FEL verbunden werden. Aus Übersichtlichkeitsgründen ist diese Option nicht in einer Figur dargestellt.

5 Eine äquivalente Alternative ist in Figur 19 dargestellt. Jede der beiden Strahlformungsoptiken 7_i erzeugt an Stelle eines Sammelausgabestrahls 8 mit Beleuchtungslicht 5 eine diskrete Anzahl von Einzelausgabestrahlen 10_i . Spiegel $29_{i,k}$ lenken in einer ersten Verlagerungsposition den Strahl zum Scanner 3_k . Diese Verlagerungsposition ist in der Figur durchgezogen dargestellt. In einer zweiten Verlagerungsposition beeinflusst der Spiegel $29_{i,k}$ den Strahl 10_i nicht. Ein Spiegel in einer solchen zweiten Verlagerungsposition ist in der Figur gestrichelt gezeichnet. Benötigt
10 ein Scanner 3_k , der bisher vom Strahl 10_i mit Beleuchtungslicht 5 versorgt wurde, kein Beleuchtungslicht 5 mehr, so kann der Strahl 10_i nun zur Beleuchtung des Scanners $3_{k'}$, der vorher kein Beleuchtungslicht erhielt, verwendet werden. Für diese Umschaltung müssen nur die Spiegel $29_{i,k}$ und $29_{i,k'}$ verlagert werden, während alle anderen Spiegel 29 unverändert bleiben können. Von den beiden Spiegeln $29_{i,k}$ und $29_{i,k'}$ muss nur einer schnell bewegt werden, und zwar der im
15 Strahlengang vordere.

Bei dieser sämtlichen Alternativen lässt sich die Effizienz des Projektionsbelichtungssystems 1 bei Ausfall eines der FEL maximieren. Der Produktionsverlust lässt sich bestmöglich verringern, das heißt insbesondere minimieren. Zur Aufteilung der Beleuchtungsstrahlung 5 auf die einzel-
20 nen Scanner 3_i , insbesondere zur Steuerung der Verlagerung der Spiegel 29, der Strahlführungs-
vorrichtung 28, ist in diesem Fall insbesondere eine Steuervorrichtung 35 vorgesehen.

Mittels der Steuereinrichtung 35 ist insbesondere die Verteilung der Beleuchtungsstrahlung 5 auf die unterschiedlichen Scanner 3_i optimierbar.

25 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 16 eine weitere Alternative beschrieben. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 16 bilden die ersten Spiegel 29_i Auskoppelspiegel zum Auskoppeln eines Einzelausgabestrahls 10_i aus dem Sammel-Ausgabestrahls 8. Auf eine separate Auskoppeloptik 9 kann in diesem Fall verzichtet werden. Es ist jedoch auch möglich, zusätzlich
30 zu den ersten Spiegeln 29_i eine Auskoppeloptik 9 mit weiteren Bestandteilen vorzusehen.

Bei diesem Ausführungsbeispiel sind jedem der Scanner 3_i jeweils zwei Auskoppelspiegel 29_i zugeordnet. Mit Hilfe der Auskoppelspiegel 29_i ist es möglich, Beleuchtungsstrahlung 5 von jedem der beiden FEL 4_1 , 4_2 zu einem bestimmten der Scanner 3_i zu führen.

- 5 Bei diesem Ausführungsbeispiel sind für N Scanner 3_i lediglich 2N Aktuatoren notwendig. Allerdings weisen die Spiegel 29_i in diesem Fall mehr als zwei Verlagerungspositionen auf. Die Anzahl der Verlagerungspositionen der Spiegel 29_i entspricht insbesondere der Anzahl der Scanner 3_i . Vorteilhafterweise sind die Spiegel 29_i bei diesem Ausführungsbeispiel kontinuierlich verlagerbar.

10

Außerdem ist die Steuervorrichtung 35 bei diesem Ausführungsbeispiel komplexer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einem Umschalten der Beleuchtungsstrahlung 5 zwischen zwei bestimmten Scannern 3_i , 3_j unter Umständen auch Spiegel 29_k , welche nicht unmittelbar einem dieser beiden Scanner 3_i , 3_j zugeordnet sind, verlagert werden müssen.

15

Im Folgenden werden weitere Aspekte der unterschiedlichen Ausführungsformen stichwortartig beschrieben.

- Um die verschiedenen Optionen für den Wartungsmodus bewerten zu können, muss berücksichtigt werden, dass das Projektionsbelichtungssystem 1 zentral gesteuert wird. Sofern absehbar ist, dass einer der FEL, beispielsweise zu Wartungszwecken, heruntergefahren werden muss, das heißt ausgeschaltet werden muss, kann bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 versucht werden, den Produktionsprozess so umzusortieren, dass im Wartungszeitraum immer möglichst gleich große Dies auf sämtlichen der Scanner 3_i belichtet werden. Da das Wechseln der Retikel 22 eine nicht-triviale Aktion ist und da möglicherweise gar nicht entsprechend viele Wafer 25_i mit gleich großen Dies gebraucht werden, kann dieses Ziel gegebenenfalls nur eingeschränkt erreicht werden. In diesem Fall kommt es bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 zu einem unvermeidbaren Produktionsverlust. Dieser Produktionsverlust ist jedoch geringer als der welcher ohne die Strahlführungsvorrichtung 28 bei Ausfall eines der FEL auftreten würde.

30

Je größer die Flexibilität der Umverteilung der Beleuchtungsstrahlung 5 zwischen den unterschiedlichen FEL und den Scannern 3_i ist, desto mehr lässt sich der Produktionsverlust bei Aus-

fall eines der FEL verringern. Insbesondere lässt sich bei dem nicht in einer Figur dargestellten Ausführungsbeispiel mit $N(N-1)$ Strahlführungsvorrichtungen 28 beziehungsweise beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 16 auch ohne eine zentrale Produktionsplanung stets mit maximaler Effizienz arbeiten, das heißt der Produktionsverlust, welcher durch Ausfall eines der FEL verursacht wird, minimieren.

Beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 11 lässt sich die maximale Effizienz zwar nicht immer erreichen, jedoch lässt sich der Produktionsverlust, welcher durch Ausfall eines der FEL verursacht wird, in der Regel erheblich reduzieren. Insbesondere sofern die Größenunterschiede der unterschiedlichen Dies nicht zu groß sind und/oder dann, wenn sich wenigstens Paare aus ähnlich großen Dies finden lassen, lässt sich mit der Ausführungsform gemäß Fig. 11 die maximale oder zumindest fast die maximale Effizienz des Projektionsbelichtungssystems 1 erreichen. Diese Ausführungsform hat außerdem den Vorteil eines wesentlich weniger komplexen mechanischen Aufbaus.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 11 lässt sich insbesondere durch eine zentrale Produktionsplanung die Effizienz des Projektionsbelichtungssystems 1 steigern. Zur Steigerung der Effizienz, insbesondere zur Verringerung des Produktionsverlustes während eines Wartungszeitraums, ist erfindungsgemäß insbesondere vorgesehen, die Menge der im Wartungszeitraum zu belichtenden Dies gezielt auszuwählen. Es kann insbesondere vorgesehen sein, für den Wartungszeitraum eine Menge von Dies ähnlicher Größe auszuwählen, so dass die auf den unterschiedlichen Scannern zu belichtenden Dies Größen aufweisen, welche sich höchstens um einen vorgegebenen Maximalwert in ihren Größen unterscheiden. Der maximale Größenunterschied zwischen dem größten und dem kleinsten zu belichtenden Dies beträgt insbesondere höchstens 25%, insbesondere höchstens 20%, insbesondere höchstens 15%, insbesondere höchstens 10%, insbesondere höchstens 5%, insbesondere höchstens 3%, insbesondere höchstens 2%, insbesondere höchstens 1%. Vorzugsweise weisen sämtliche zu belichtenden Dies dieselbe Größe auf.

Im Falle einer Ausführung gemäß der Fig. 11 genügt es, wenn sich jeweils Paare gleichgroßer oder zumindest ähnlich großer Dies finden lassen. In diesem Fall genügt es insbesondere, wenn sich für den Wartungszeitraum zu belichtende Dies finden lassen, so dass sich die beiden Dies

jeweils höchstens nur um den vorhergehend genannten Maximalwert in ihrer Größe unterscheiden.

Im Folgenden werden weitere Aspekte der Erfindung beschrieben.

5

Beim Umschalten zwischen dem Normalbetrieb (Grundzustand) und dem Wartungsbetrieb wird sich die Ausleuchtung an den Eingängen der Scanner 3_i in aller Regel etwas verändern. Dementsprechend müssen einige Komponenten des Beleuchtungssystems 19, beispielsweise Uniformitätskorrekturblenden, nachkalibriert werden. Ein Die wird typischerweise nicht zur Belichtung eines einzelnen Wafers 25_i verwendet, sondern zu Belichtung einer Mehrzahl von Wafern, welche als Lot bezeichnet werden. Ein Lot umfasst üblicherweise etwa 25 Wafern 25_i . Für die Belichtung eines derartigen Lots sind üblicherweise bis zu 10 Minuten vorgesehen. Zwischen Lots findet sowie eine Kalibration einiger Komponenten des Beleuchtungssystems 19_i statt. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, nicht während der Belichtung eines Lots, sondern zwischen der Belichtung aufeinanderfolgender Lots, zwischen Normalbetrieb und Wartungsbetrieb umzuschalten. Hierdurch wird ein zusätzlicher Kalibrationsaufwand vermieden.

10

15

Weiter wurde erkannt, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zur Versorgung mindestens zweier Gruppen von Scannern 3_i mittels eines einzigen FEL auch für den allgemeinen Betrieb eines Projektionsbelichtungssystems 1 vorteilhaft sein kann. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung 28 ist es insbesondere möglich, Beleuchtungsstrahlung 5 von einem einzigen FEL 4 auf zwei oder mehr Gruppen von Scannern 3_i zu verteilen, ohne dass dies zu einer erheblichen Reduzierung des Durchsatzes führen würde. Die Vorrichtung 28 ermöglicht insbesondere eine sequentielle, intervallweise Versorgung zweier oder mehrerer Gruppen von Scannern 3_i mit Beleuchtungsstrahlung 5 von einem einzigen FEL 4.

20

25

In diesem Fall ist es ausreichend, wenn die Vorrichtung 28 einen einzigen Eingang für Beleuchtungsstrahlung 5 aufweist.

Selbstverständlich können sämtliche der vorhergehend beschriebenen Ausführungsbeispiele auch mit lediglich einem einzigen FEL verwendet werden, wie dies im vorhergehend beschriebenen Wartungszustand ohnehin der Fall ist.

30

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Steuerung einer Strahlführungsvorrichtung (28) zur Führung eines Strahlengangs von Beleuchtungsstrahlung (5) in einem Beleuchtungssystem (19) für ein Projektionsbelichtungssystem (1) mit mindestens einer Strahlungsquelle (4_i) und einer Mehrzahl von Scannern (3_i) umfassend mindestens einen Eingang für Beleuchtungsstrahlung (5), mindestens zwei Ausgänge für Beleuchtungsstrahlung (5) und mindestens ein Strahlführungselement (29_i, 30_i), welches jeweils mittels einer Steuervorrichtung (35) zwischen mindestens zwei Verlagerungspositionen verlagerbar ist, wobei die Beleuchtungsstrahlung (5) vom mindestens einen Eingang in Abhängigkeit von der Verlagerungsposition des ersten Strahlführungselements (29_i) zu unterschiedlichen der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Betriebsmodus der Steuervorrichtung (35) ein regelmäßiger Wechsel der Zuordnung des mindestens einen Eingangs der Strahlführungsvorrichtung (28) zu den Ausgängen der Strahlführungsvorrichtung (28) erfolgt mit einer Periode, wobei das Verhältnis der Periode des Wechsels der Zuordnung des mindestens einen Eingangs der Strahlführungsvorrichtung (28) zu den Ausgängen der Strahlführungsvorrichtung (28) zu einer Belichtungsdauer eines Dies im Bereich von 1:2 bis 2:1 liegt.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuervorrichtung (35) einen weiteren Betriebsmodus aufweist, in welchem eine konstante Zuordnung einer Mehrzahl von Eingängen der Strahlführungsvorrichtung (28) zu den Ausgängen der Strahlführungsvorrichtung (28) vorgegeben ist.
3. Vorrichtung (28) zur Führung eines Strahlengangs von Beleuchtungsstrahlung (5) in einem Beleuchtungssystem (19) für ein Projektionsbelichtungssystem (1) mit mindestens einer Strahlungsquelle (4_i) und einer Mehrzahl von Scannern (3_i) umfassend
 - 3.1. mindestens einen Eingang für Beleuchtungsstrahlung (5),
 - 3.2. mindestens zwei Ausgänge für Beleuchtungsstrahlung (5) und
 - 3.3. mindestens ein Strahlführungselement (29_i, 30_i), welches jeweils zwischen mindestens zwei Verlagerungspositionen verlagerbar ist,

3.4. wobei die Beleuchtungsstrahlung (5) vom mindestens einen Eingang in Abhängigkeit von der Verlagerungsposition des ersten Strahlführungs-Elements (29_i) zu unterschiedlichen der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist.

- 5 4. Vorrichtung (28) gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens zwei
Eingänge für Beleuchtungsstrahlung (5) und mindestens zwei Strahlführungs-Elemente (29_i,
30_i), welche jeweils zwischen mindestens zwei Verlagerungspositionen verlagerbar sind,
aufweist, wobei die Beleuchtungsstrahlung (5) vom zweiten Eingang in Abhängigkeit von
der Verlagerungsposition des zweiten Strahlführungs-Elements (29_i) zu unterschiedlichen
10 der mindestens zwei Ausgänge lenkbar ist.
5. Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das
mindestens eine Strahlführungselement (29_i) mittels einer Steuervorrichtung (35) gesteuert
verlagerbar ist.
- 15 6. Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Strahlführungs-Elemente (29_i, 30_i) in einer ersten Verlagerungsposition jeweils außerhalb
des Strahlengangs der Beleuchtungsstrahlung (5) angeordnet sind.
- 20 7. Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei
einer Anordnung sämtlicher der Strahlführungs-Elemente (29_i, 30_i) in ihrer ersten Verlage-
rungsposition sämtliche Ausgänge gleichzeitig mit Beleuchtungsstrahlung (5) beaufschlag-
bar sind.
- 25 8. Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Strahlführungs-Elemente (29_i, 30_i) mit einer Frequenz von mindestens 1 Hz zwischen ihren
Verlagerungspositionen verlagerbar sind.
- 30 9. Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Strahlführungs-Elemente (29_i) jeweils mindestens eine rotierbar gelagerte Spiegeleinrich-
tung umfassen.

10. Strahlführungselement (29_i) zur räumlich-zeitlich veränderlichen Führung von Beleuchtungsstrahlung (5) mit
- a. einer Mehrzahl von gekrümmt ausgebildeten Reflexionsflächen (33) mit einem Krümmungsradius,
 - 5 b. wobei das Strahlführungselement (29_i) um eine Drehachse (31) rotierbar gelagert ist, und
 - c. wobei der Krümmungsradius der Reflexionsflächen (33) jeweils gerade ihrem Abstand zur Drehachse (31) entspricht.
- 10 11. Beleuchtungssystem (19) für ein Projektionsbelichtungssystem (1) mit einer Mehrzahl von Scannern (3_i) umfassend
- 11.1. mindestens eine Strahlungsquelle (4_i) und
 - 11.2. mindestens eine Vorrichtung (18) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 9.
- 15 12. Beleuchtungssystem (19) gemäß Anspruch 11 für zwei Gruppen von N Scannern (3_i bis 3_N, 3_{N+1} bis 3_{2N}), **dadurch gekennzeichnet, dass** jedem Scanner (3_i...3_N) der einen Gruppe ein bestimmter Scanner (3_{2N+1}...3_{2N}) der anderen Gruppe zugeordnet ist, wobei für jeweils zwei einander zugeordnete Scanner (3_k, 3_{2N+1-k}; k = 1...N) unterschiedlicher Gruppen eine Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 9 vorgesehen ist.
- 20 13. Beleuchtungssystem (19) gemäß einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (28) jeweils im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung (5) hinter einer Auskoppeloptik (9) angeordnet ist.
- 25 14. Beleuchtungssystem (19) gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (28) im Strahlengang der Beleuchtungsstrahlung (5) vor einer Auskoppeloptik (9) angeordnet ist.
- 30 15. Beleuchtungssystem (19) gemäß Anspruch 11 oder 14 mit zwei Strahlungsquellen (4_i), **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder der beiden Strahlungsquellen (4_i) jeweils eine Gruppe von Scannern (3_i) und eine Vorrichtung (28) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 9 zugeordnet

ist, wobei die Zuordnung der Scanner (3_i) einer Gruppe zu einer der beiden Strahlungsquellen (4_i) mithilfe der Vorrichtung (28) gewechselt werden kann.

16. Projektionsbelichtungssystem (1) für die Mikrolithographie umfassend

- 5 16.1. ein Beleuchtungssystem (19) gemäß einem der Ansprüche 11 bis 15 und
16.2. eine Projektionsoptik (14) zur Projektion eines in einem Objektfeld (11_i) angeordneten Retikels (22_i) auf einen in einem Bildfeld (23_i) angeordneten Wafer (25_i).

17. Verfahren zum Betrieb eines Projektionsbelichtungssystems (1) gemäß Anspruch 16 umfassend die folgenden Schritte:

- 10 17.1. Bestimmen eines Zeitraums für eine Belichtung von Dies,
17.2. Bestimmen einer Menge von in dem bestimmten Zeitraum zu belichtenden Dies,
17.3. Bestimmen einer Zuordnung der unterschiedlichen zu belichtenden Dies zu den unterschiedlichen Scannern (3_i) unter Berücksichtigung gegebenenfalls unterschiedlicher Größen der Dies,
15 17.5. Versorgen sämtlicher Scanner (3_i) des Projektionsbelichtungssystems (1) mit Beleuchtungsstrahlung (5) von einer einzigen Strahlungsquelle in Form eines FEL (4_i),
17.6. wobei die Beleuchtungsstrahlung (5) vom diesem FEL (4_i) mittels der mindestens
20 einen Vorrichtung (28) intervallweise zu unterschiedlichen der Scanner (3_i) umgelenkt wird.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- 25 18.1. Bestimmen von Paaren von Dies, welche sich höchstens um einen vorgegebenen Maximalwert in ihren Größen unterscheiden,
18.2. paarweises einander Zuordnen der Scanner (3_i) zur Belichtung von Wafern (25_i) mit Dies der vorhergehend bestimmten Paare,
18.3. abwechselndes Belichten der Dies der vorhergehend bestimmten Paare,
30 18.4. wobei zum abwechselnden Belichten dieser Dies jeweils eine der Strahlführungselemente (29_i) zwischen den beiden Verlagerungs-Positionen hin und her verlagert wird.

19. Verfahren gemäß Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Bestimmen der Menge der im bestimmten Zeitraum zu belichtenden N Dies, aus der Gesamtheit der Dies N ausgewählt werden, derart dass ein Größenunterschied zwischen dem größten dieser Dies und dem kleinsten dieser Dies kleiner ist als ein maximaler Größenunterschied sämtlicher Dies.

5

20. Verfahren zur Wartung eines Projektionsbelichtungssystems (1) umfassend sämtliche Schritte gemäß einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet,**

20.1. **dass** das Projektionsbelichtungssystem (1) mindestens zwei Strahlungsquellen in Form von FEL (4_i) aufweist,

- 10 20.2. **dass** es sich beim bestimmten Zeitraum um einen Wartungszeitraum für einen der FEL (4_i) handelt, und

20.4. **dass** einer der FEL (4_i) während des Wartungszeitraums zur Wartung ausgeschaltet wird, wobei sämtliche Scanner (3_i) des Projektionsbelichtungssystems (1) mit Beleuchtungsstrahlung (5) vom anderen der FEL (4_i) versorgt werden, und wobei die
15 Beleuchtungsstrahlung (5) vom anderen der FEL (4_i) mittels der mindestens einen Vorrichtung (28) intervallweise zu unterschiedlichen der Scanner (3_i) umgelenkt wird.

21. Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements umfassend die
20 folgenden Schritte:

21.1. Bereitstellen eines Projektionsbelichtungssystems (1) gemäß Anspruch 16,

21.2. Bereitstellen mindestens eines Retikels (22_i),

21.3. Bereitstellen mindestens eines Wafers (25_i) mit einer für die Beleuchtungsstrahlung (5) empfindlichen Beschichtung,

- 25 21.4. Projizieren mindestens eines Abschnitts des mindestens einen Retikels (22_i) auf den mindestens einen Wafer (25_i) mit Hilfe des Projektionsbelichtungssystems (1),

21.5. Entwickeln der mit der Beleuchtungsstrahlung (5) belichteten lichtempfindlichen Schicht auf dem Wafer (25_i).

30

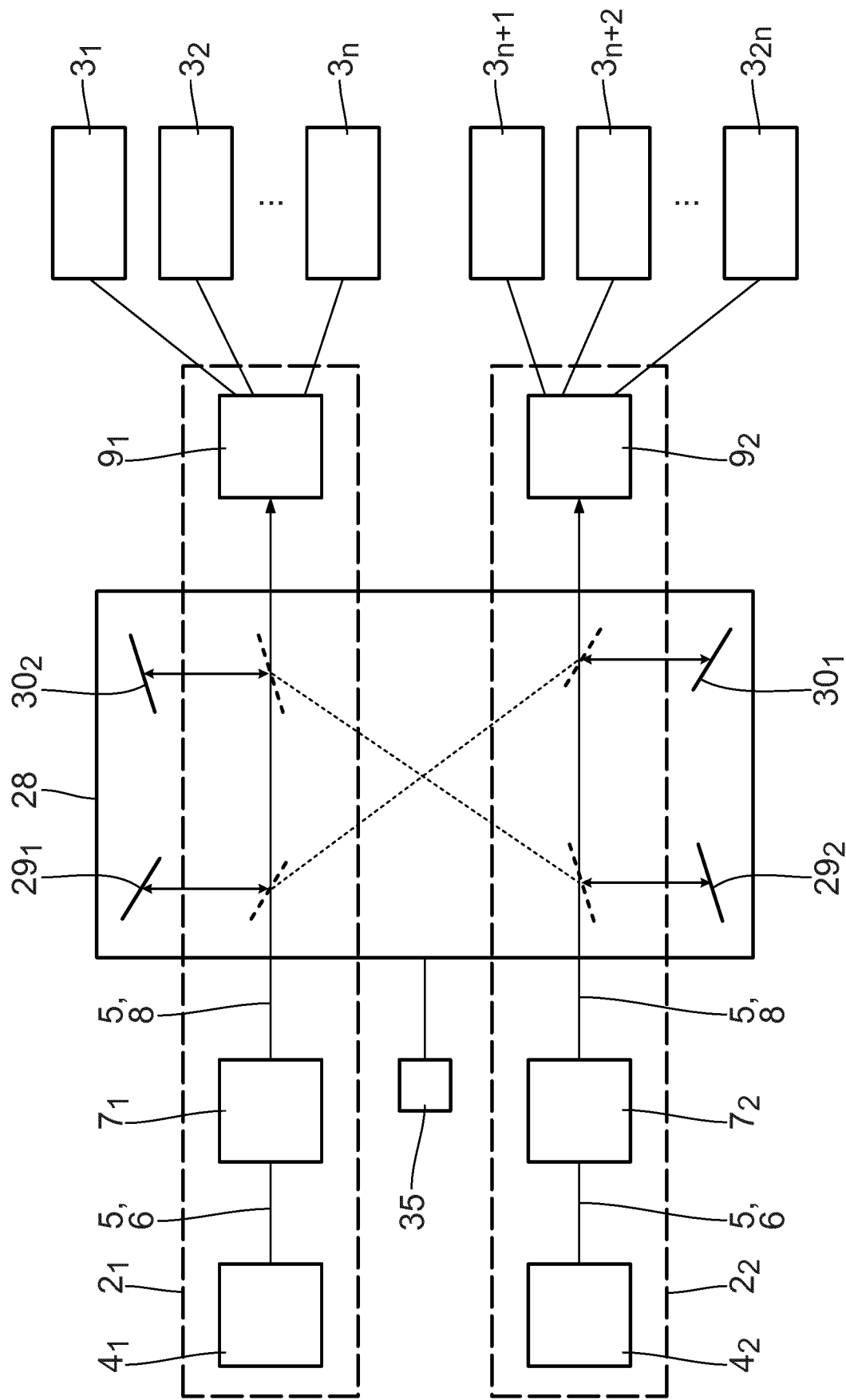


Fig. 1A

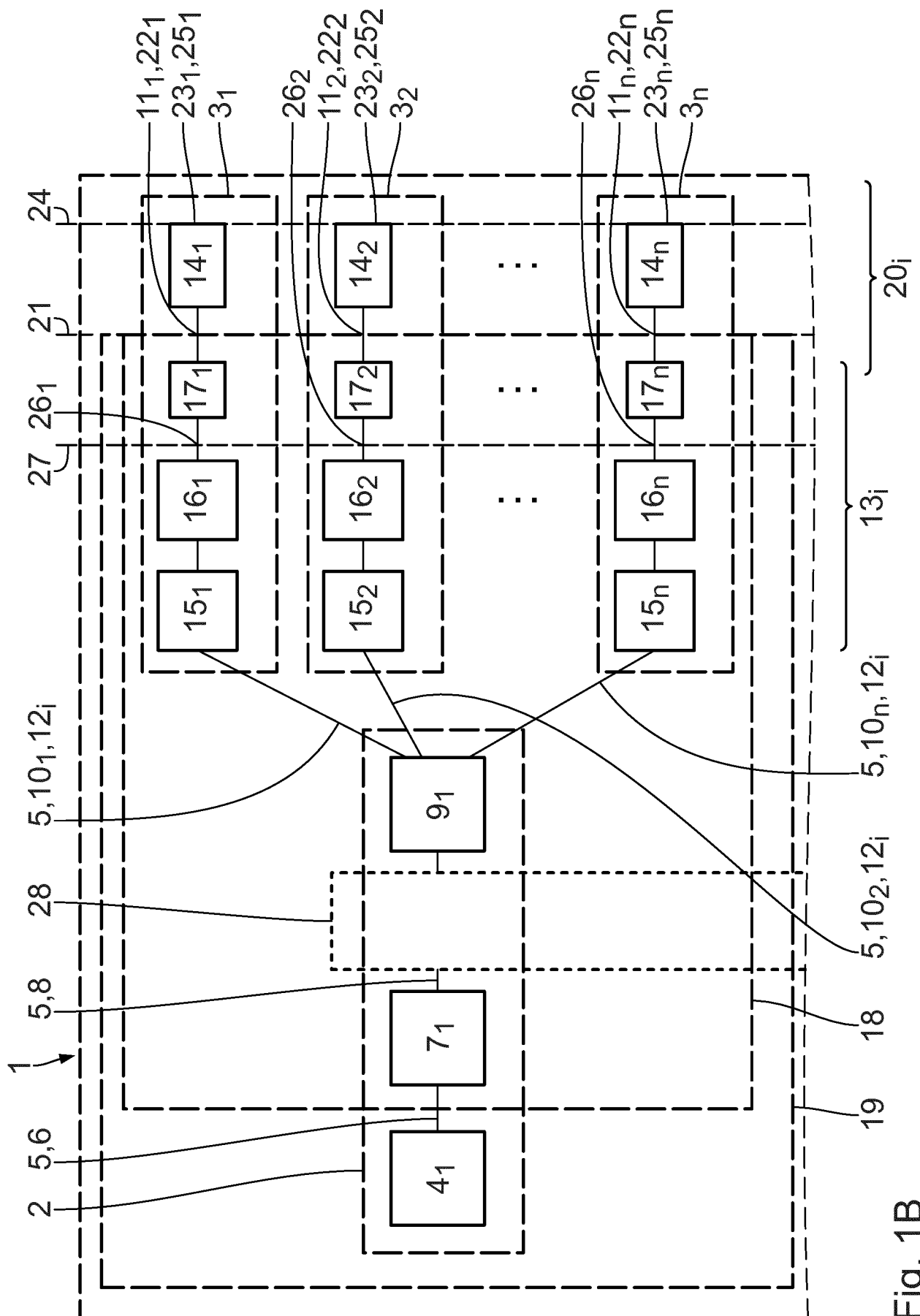


Fig. 1B

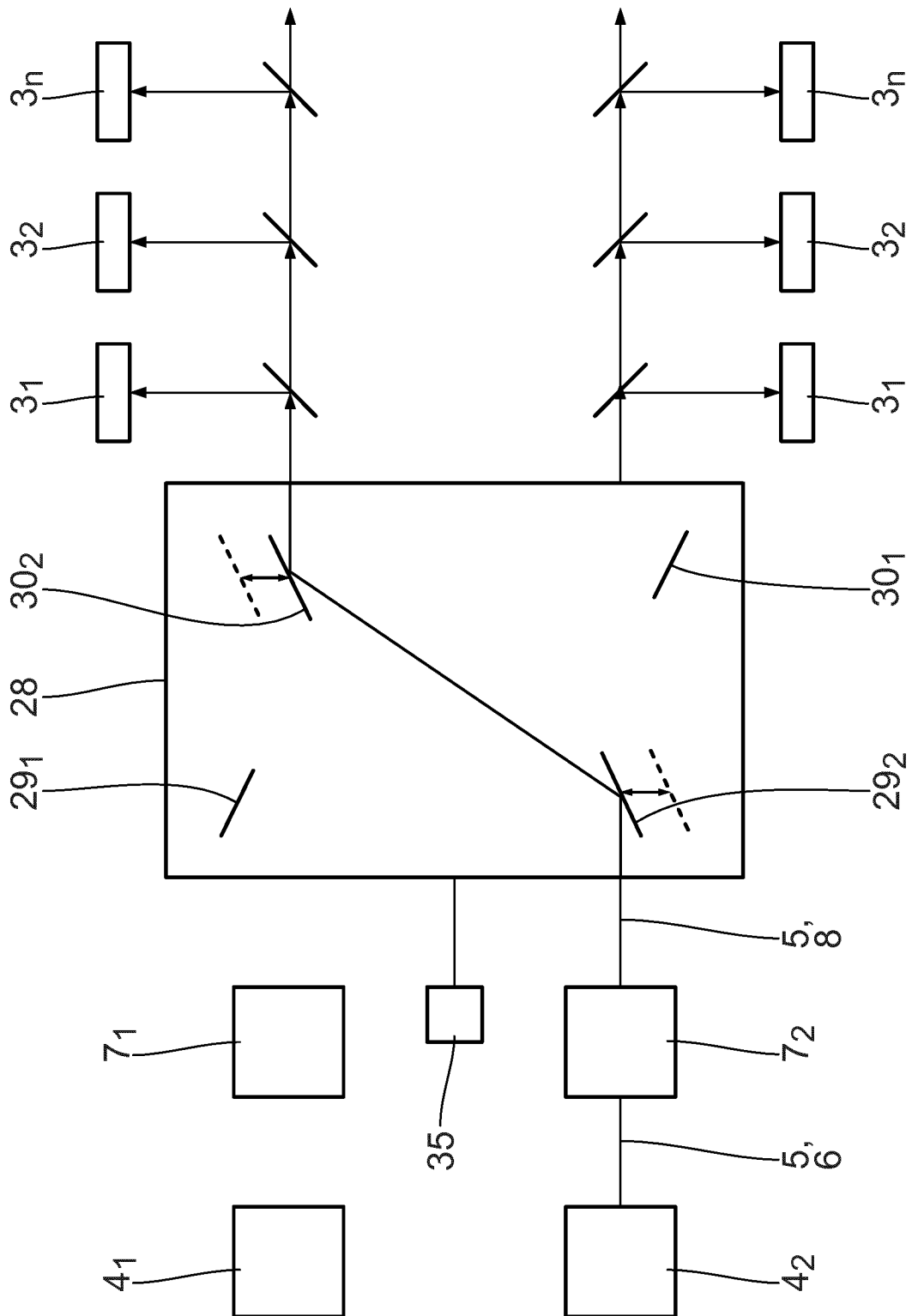


Fig. 2

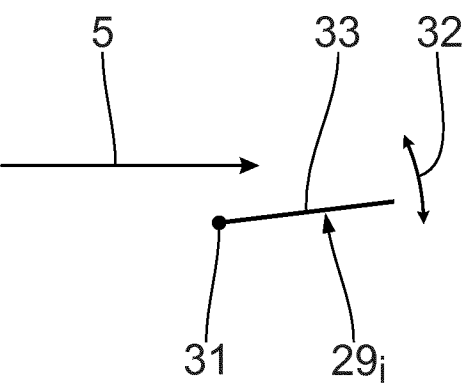


Fig. 3

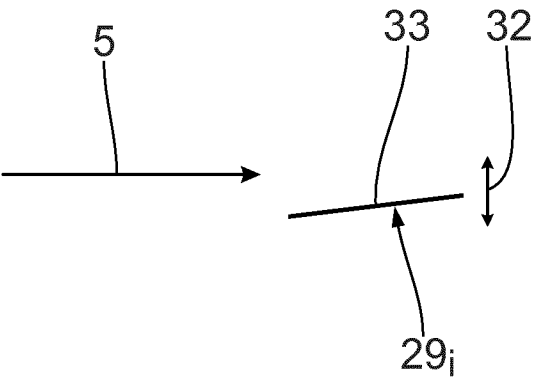


Fig. 4

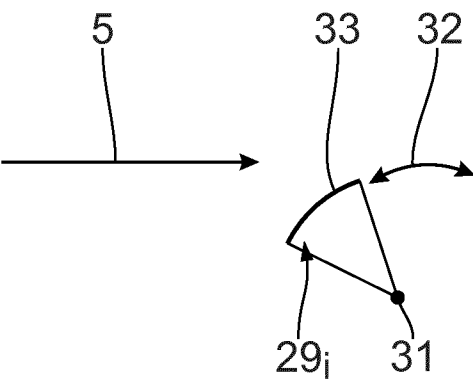


Fig. 5

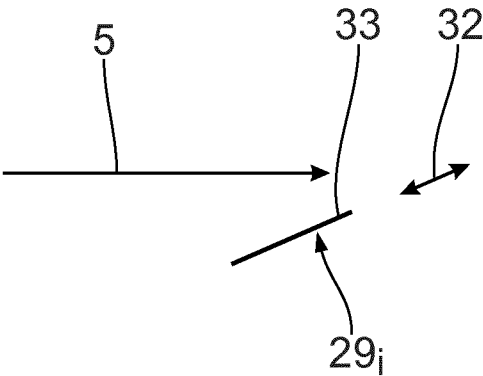


Fig. 6

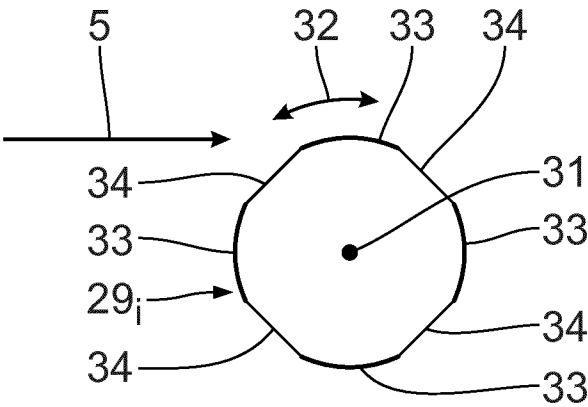


Fig. 7

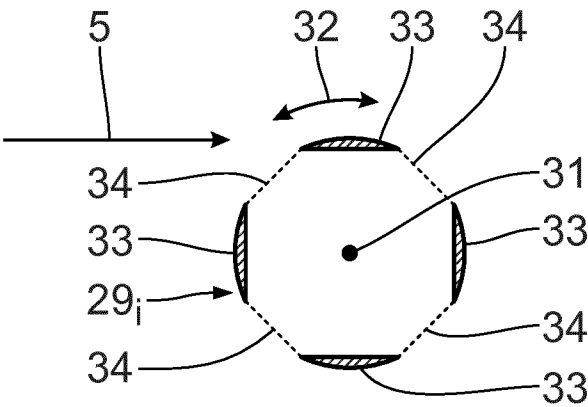


Fig. 8

6/13

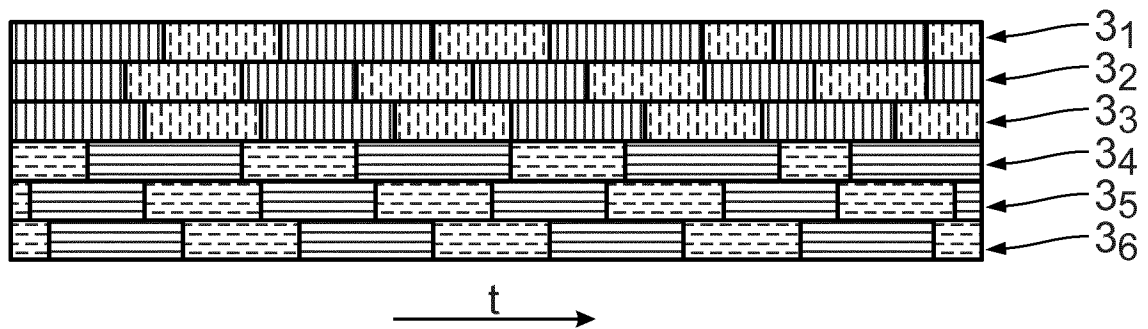


Fig. 9

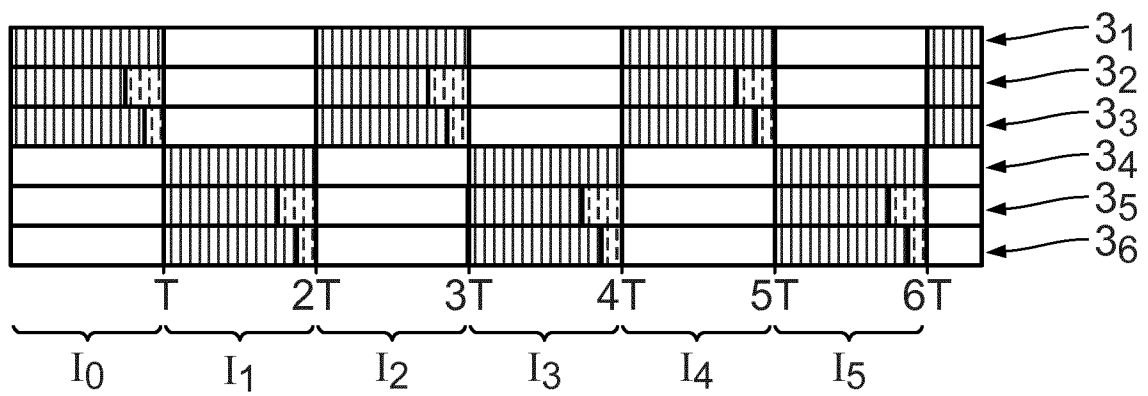


Fig. 10

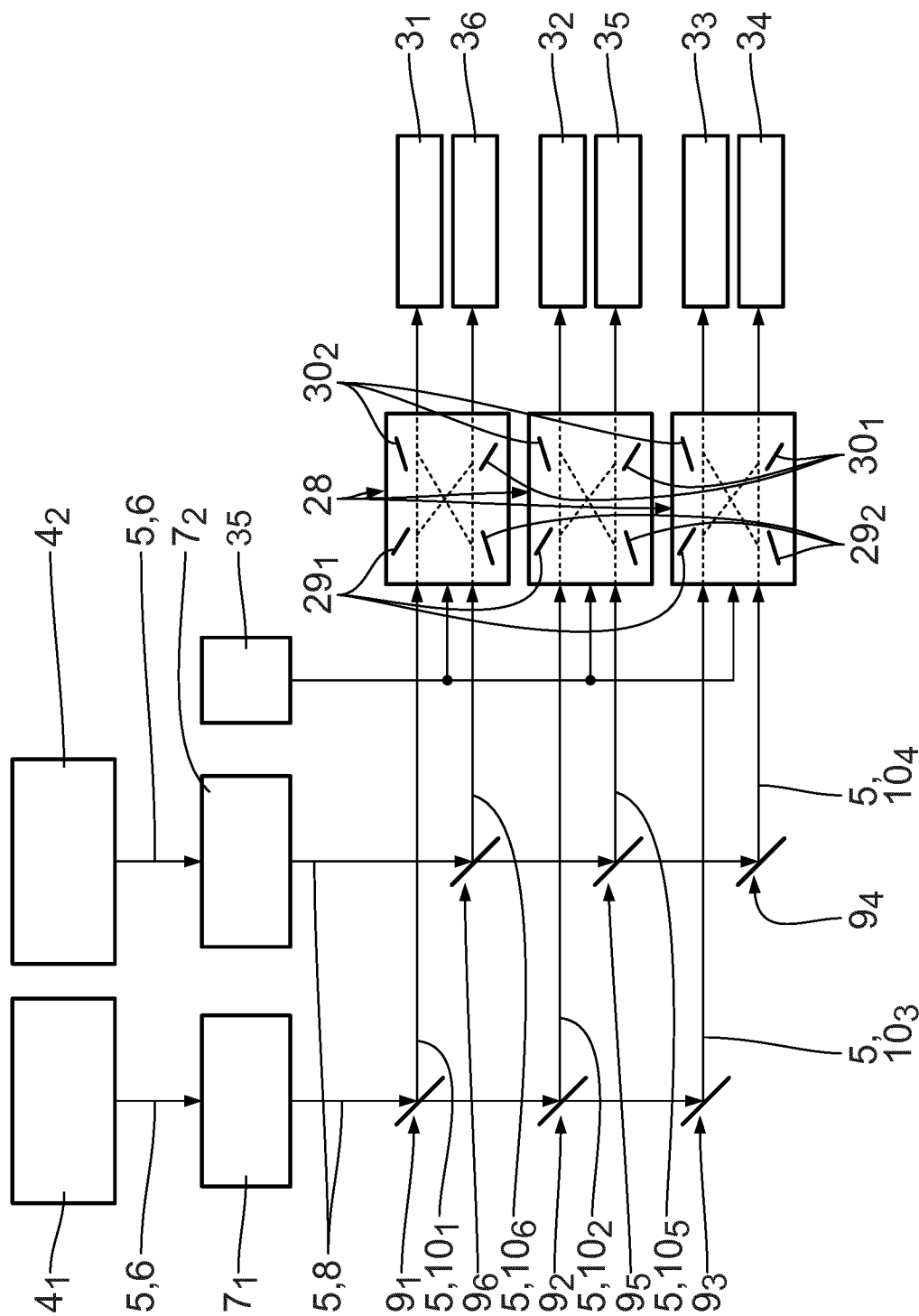


Fig. 11

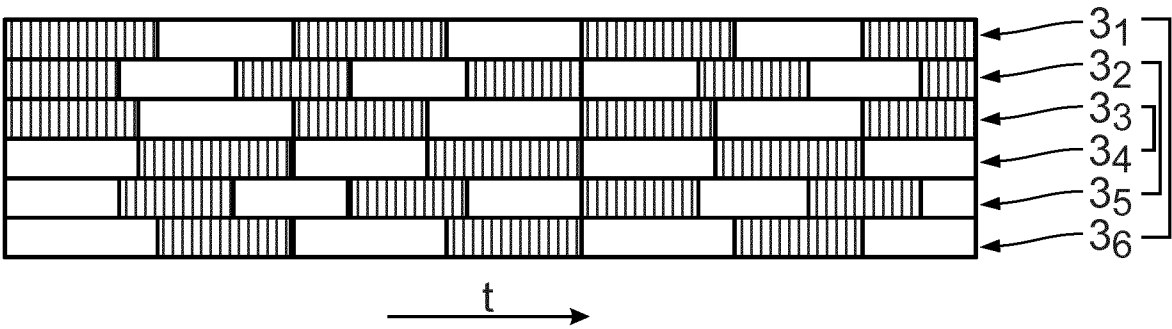


Fig. 12

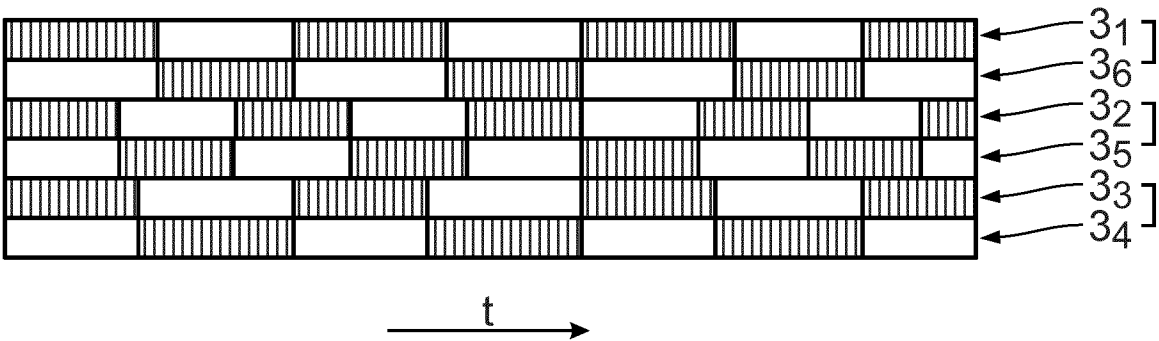


Fig. 13

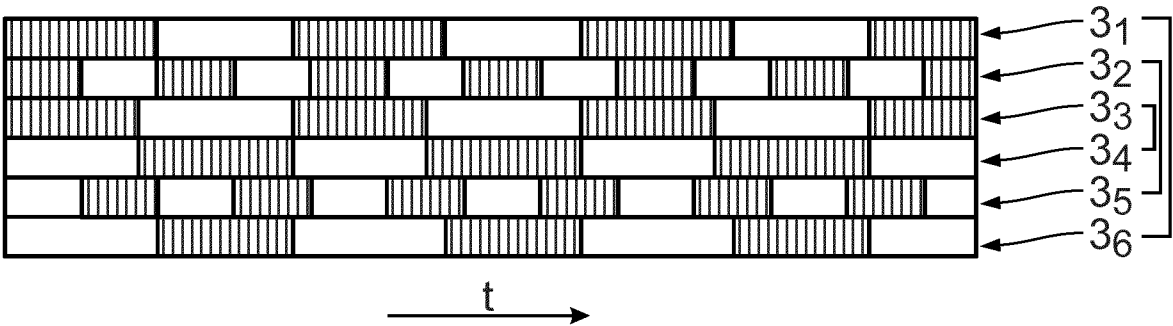


Fig. 14

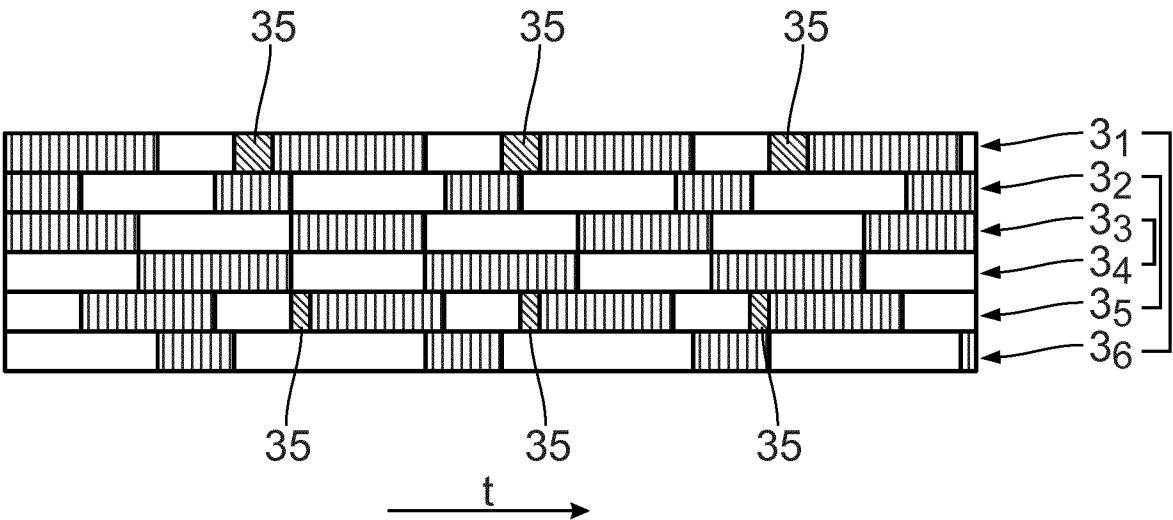


Fig. 15

10/13

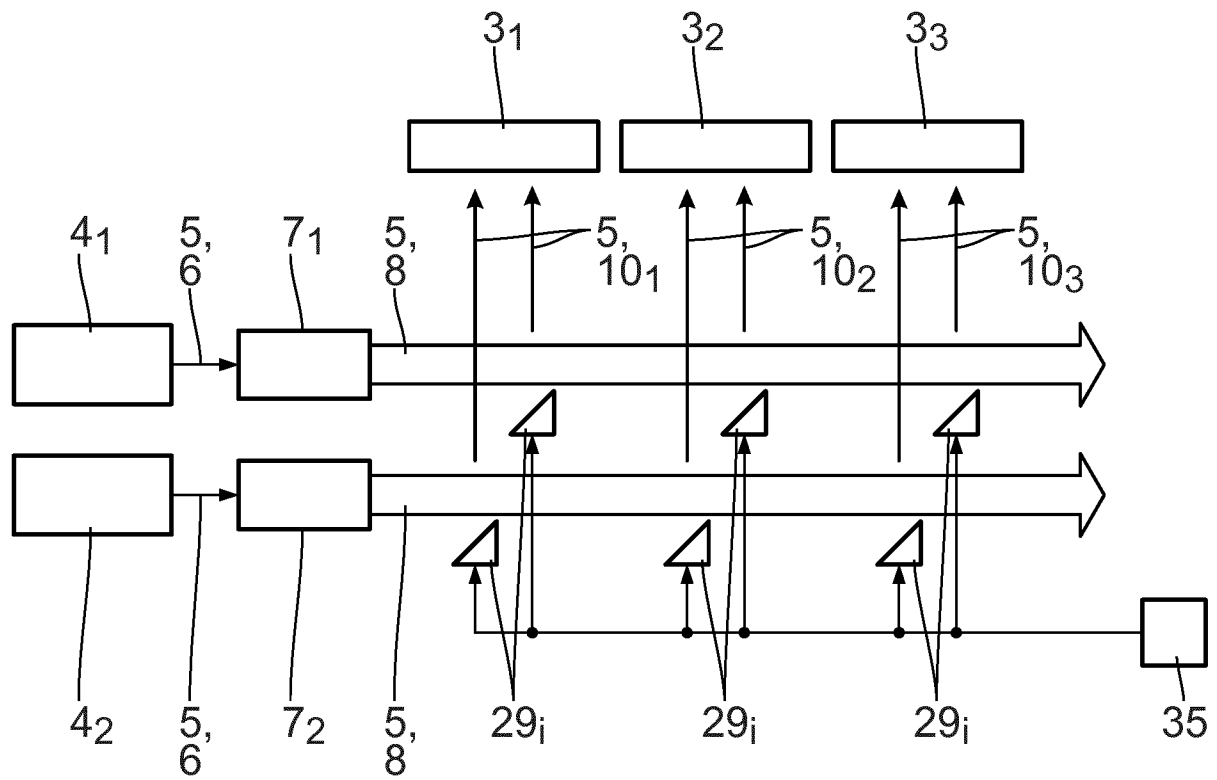


Fig. 16

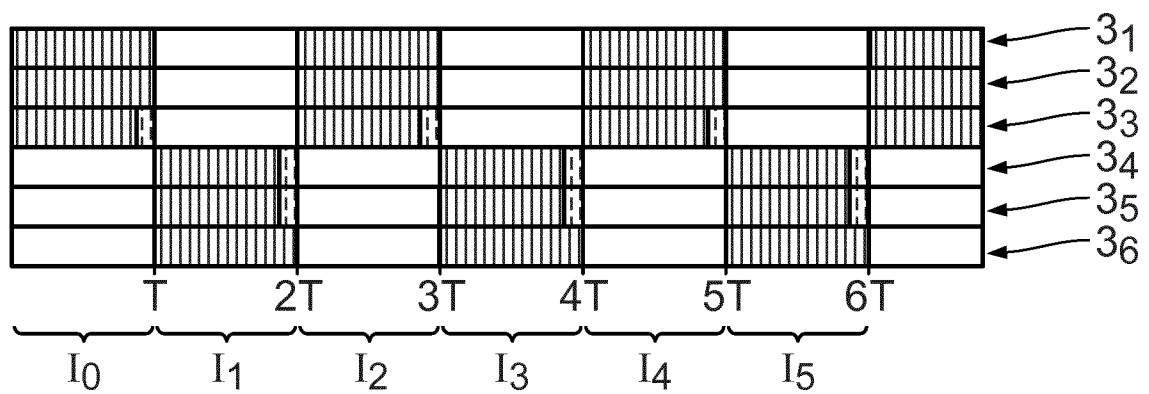


Fig. 17

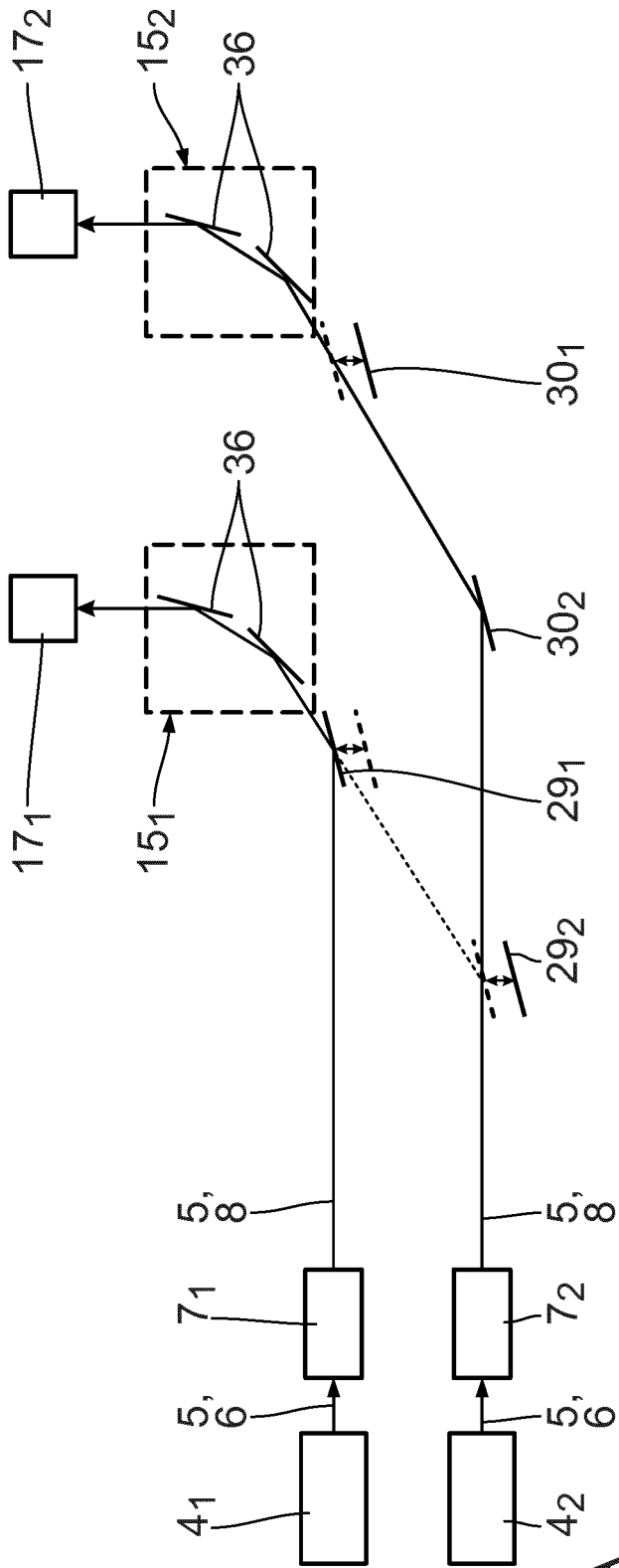


Fig. 18A

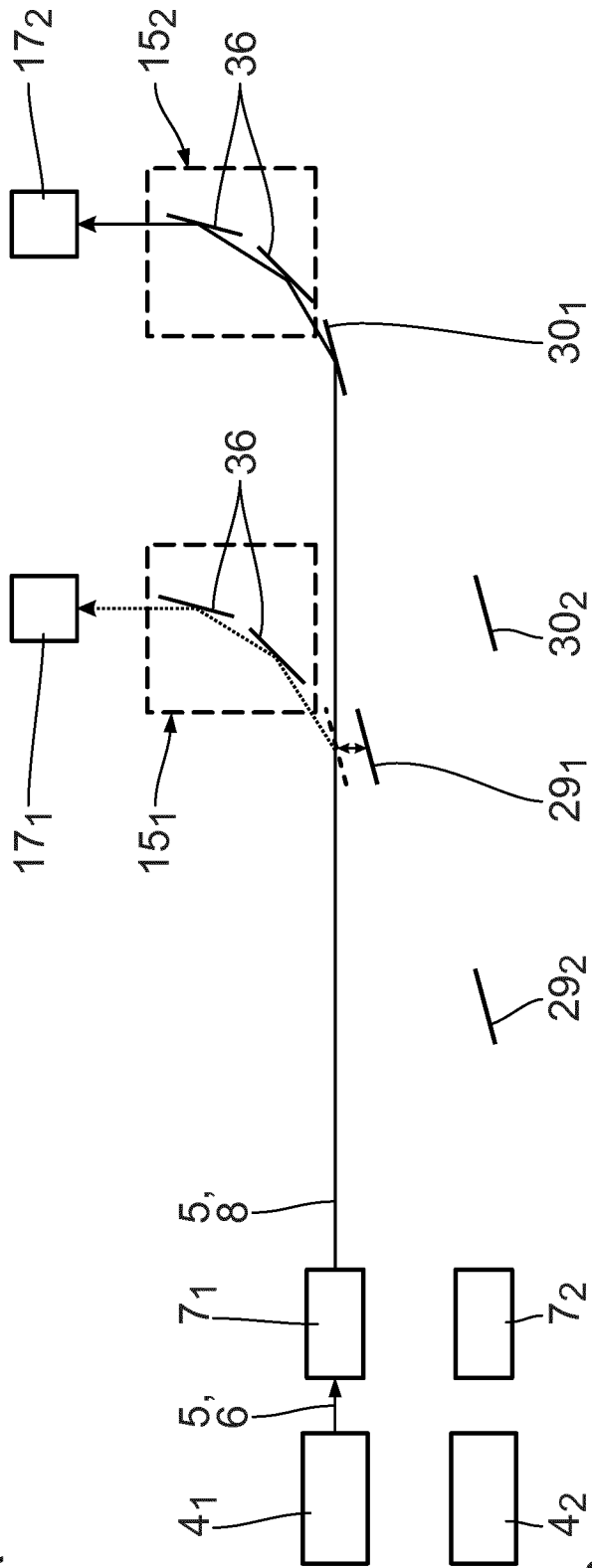


Fig. 18B

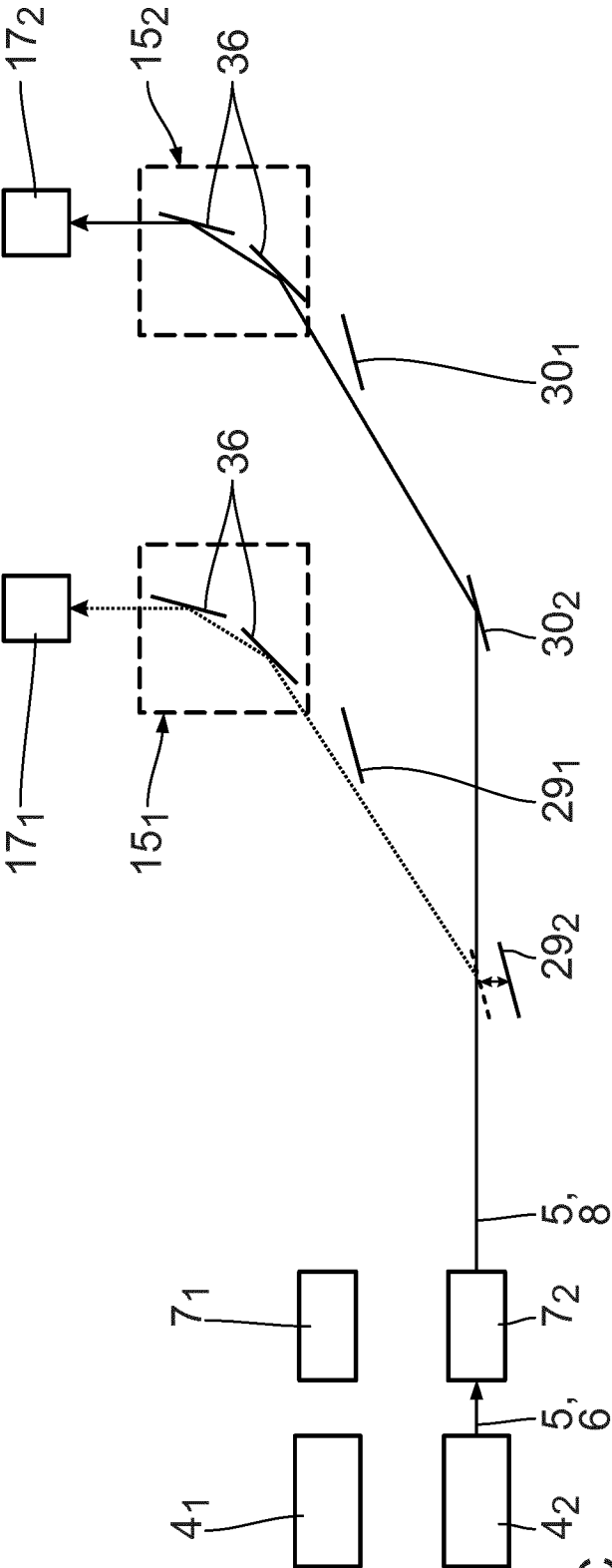


Fig. 18C

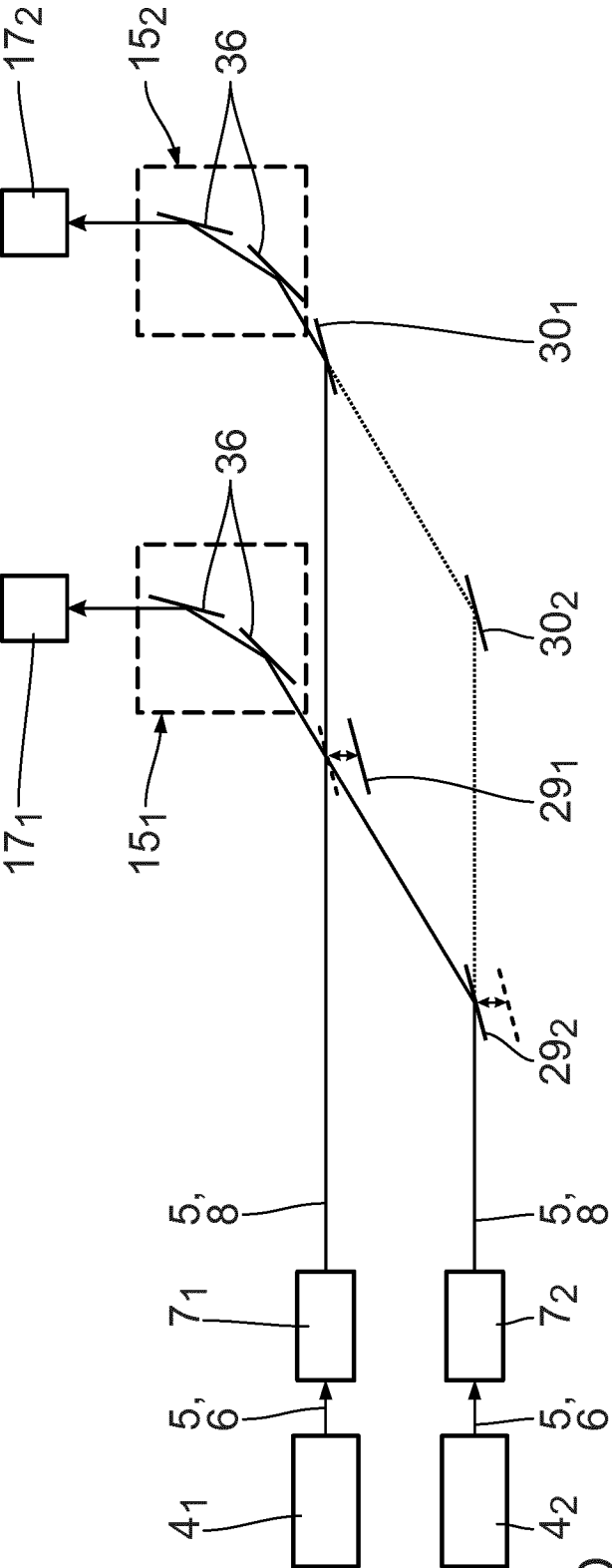


Fig. 18D

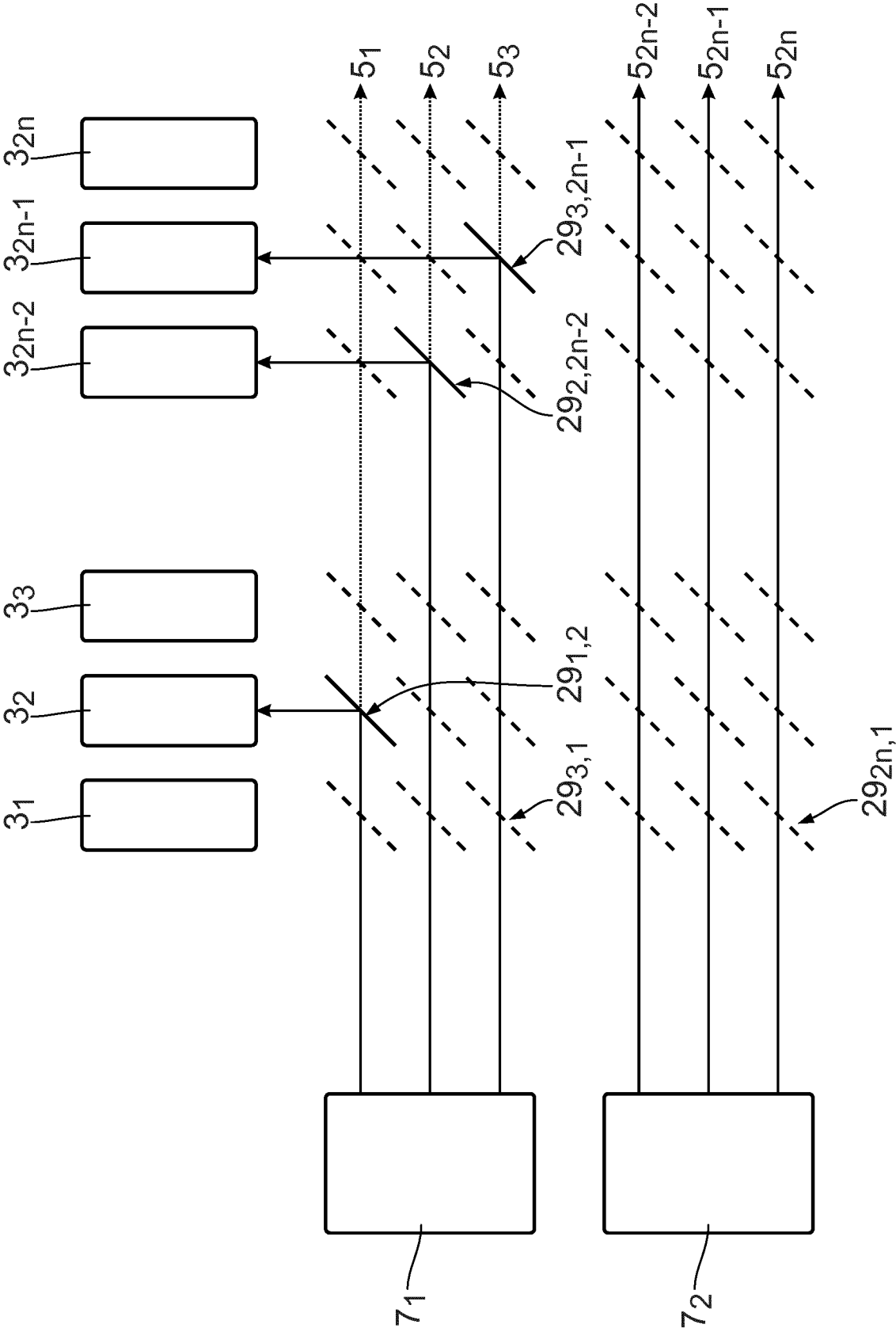


Fig. 19