



(10) **DE 10 2013 223 935 A1** 2015.05.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 223 935.1**
 (22) Anmeldetag: **22.11.2013**
 (43) Offenlegungstag: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **G21K 1/06 (2006.01)**
G03F 7/20 (2006.01)
G02B 17/00 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 2003 / 0 043 359 A1
US 5 896 438 A

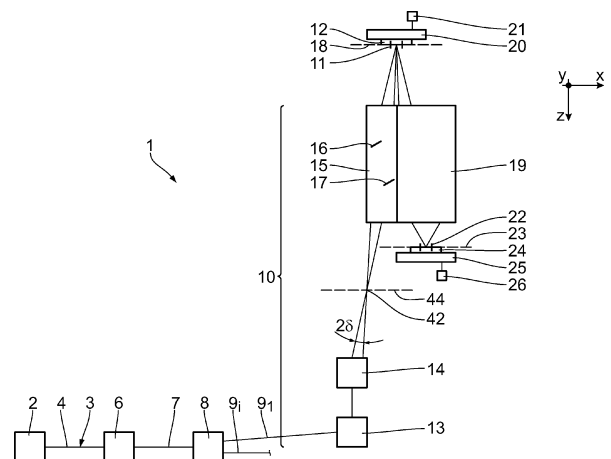
(72) Erfinder:
Patra, Michael, 73447 Oberkochen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungssystem für die EUV-Belichtungslithographie**

(57) Zusammenfassung: Ein Beleuchtungssystem für die EUV-Projektionslithographie hat eine Strahlformungsoptik (6) zur Erzeugung eines EUV-Sammel-Ausgabestrahls (7) aus einem EUV-Rohstrahl (4) einer synchrotron-strahlungs-basierten Lichtquelle (2). Eine Auskoppeloptik (8) dient zur Erzeugung mehrerer EUV-Einzel-Ausgabestrahlen (9_i) aus dem EUV-Sammel-Ausgabestrahl (7). Jeweils eine Strahlführungsoptik (10) dient zur Führung des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls (9_i) hin zu einem Objektfeld (11), in dem eine Lithographiemaske (12) anordenbar ist. Es resultiert ein Beleuchtungssystem mit einer möglichst verlustfreien und gleichzeitig flexiblen Führung von EUV-Licht einer synchrotronstrahlungs-basierten Lichtquelle.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für die EUV-Projektionslithographie. Ferner betrifft die Erfindung eine Strahlformungsoptik zur Erzeugung eines EUV-Sammel-Ausgabestrahls für die EUV-Projektionslithographie, eine Umlenkoptik als Teil einer Strahlführungsoptik zur Führung eines EUV-Ausgabestrahls hin zu einem Objektfeld, eine Fokussier-Baugruppe als Teil einer Strahlführungsoptik zur Führung eines EUV-Ausgabestrahls hin zu einem Objektfeld, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem und einer Projektionsoptik, ein Herstellungsverfahren für ein mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauteil unter Einsatz einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mit diesem Verfahren hergestelltes mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauteil.

[0002] Eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem ist bekannt aus der US 2011/0 014 799 A1, aus der WO 2009/121 438 A1, aus der US 2009/0 174 876 A1, aus der US 6,438,199 B1 und der US 6,658,084 B2. Eine EUV-Lichtquelle ist bekannt aus der DE 103 58 225 B3 und der US 6,859,515 B. Weitere Komponenten für die EUV-Projektionslithografie sind bekannt aus der US 2003/0002022 A1, der DE 10 2009 025 655 A1, der US 6,700,952 und der US 2004/0140440 A. Weitere Referenzen, aus denen eine EUV-Lichtquelle bekannt ist, finden sich in der WO 2009/121 438 A1. EUV-Beleuchtungsoptiken sind weiterhin bekannt aus der US 2003/0043359 A1 und der US 5,896,438.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Beleuchtungssystem sowie Komponenten hierfür so weiterzubilden, dass eine möglichst verlustfreie und gleichzeitig flexible Führung von EUV-Licht einer synchrotron-strahlungs-basierten Lichtquelle bereitgestellt ist.

[0004] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst einerseits durch ein Beleuchtungssystem sowie andererseits durch strahlungsführende Komponenten mit den in den Ansprüchen angegebenen Merkmalen.

[0005] Die Strahlführung von EUV-Licht bzw. EUV-Strahlung, bereitgestellt von einer synchrotron-strahlungs-basierten Lichtquelle, erfordert aufgrund der Eigenschaften des von einer derartigen Lichtquelle emittierten EUV-Rohstrahls eine spezifische Aufbereitung. Diese Aufbereitung wird durch die erfindungsgemäße Strahlformungsoptik, die Auskoppeloptik sowie die Strahlführungsoptik sowie durch die einzelnen strahlführenden Komponenten, nämlich die Umlenkoptik und die Fokussier-Baugruppe gewährleistet. Bei der synchrotron-strahlungs-basierten Lichtquelle kann es sich um einen Freie-Elektronen-Laser (FEL), um einen Undulator, um einen Wiggler oder um einen Röntgenlaser handeln. Die synchrotron-strahlungs-basierte Lichtquelle kann einen Lichtleitwert kleiner als 20,1 mm oder einen noch kleineren Lichtleitwert aufweisen. Die erfindungsgemäßen Optiken können generell mit der Emission einer Lichtquelle mit einem derart kleinen Lichtleitwert arbeiten, unabhängig davon, ob es sich um eine synchrotron-strahlungs-basierte Lichtquelle handelt. Die Strahlformungsoptik sorgt für eine Vorformung eines Sammel-Ausgabestrahls aus dem Rohstrahl zur Vorbereitung einer nachfolgenden Auskopplung über die Auskoppeloptik in Einzel-Ausgabestrahlen. Letztere werden durch die Strahlführungsoptik zum jeweiligen Objektfeld geführt. Es resultiert die Möglichkeit, mit ein und derselben synchrotron-strahlungs-basierten Lichtquelle eine Mehrzahl von Objektfeldern zu beleuchten, was wiederum zur Möglichkeit führt, eine Mehrzahl von Projektionsbelichtungsanlagen, mit denen mikro- bzw. nanostrukturierte Bauelemente, zum Beispiel Halbleiterchips, insbesondere Speicherchips, hergestellt werden können, über ein und dieselbe synchrotron-strahlungs-basierte Lichtquelle zu versorgen.

[0006] Über die Auskoppeloptik und die nachfolgende Strahlführungsoptik lässt sich eine variable Intensitätsverteilung für die Anteile der Strahlungsleistung in den verschiedenen EUV-Einzel-Ausgabestrahlen gewährleisten. Hierdurch kann eine Anpassung an die Anzahl der zu versorgenden Projektionsbelichtungsanlagen sowie eine Anpassung an die von der jeweiligen Projektionsbelichtungsanlage geforderte Lichtleistung erfolgen. Auch unterschiedliche Anforderungen, die zur Herstellung spezifischer Strukturen an die jeweils hierfür erforderliche Lichtleistung bestehen, können dann durch entsprechende Anpassung des Beleuchtungssystems erfüllt werden.

[0007] Ein Beleuchtungssystem mit einer Strahlformungsoptik und einer Auskoppeloptik nach Anspruch 2 ermöglicht die Bereitstellung einer Mehrzahl von EUV-Einzel-Ausgabestrahlen mit vorgegebenem Aspektverhältnis eines EUV-Strahldurchmessers. Die von der Strahlformungsoptik einerseits und von der Auskoppeloptik und der nachfolgenden Strahlführungsoptik andererseits bereitgestellten Aspektverhältnisbeiträge können noch mit einem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden, zum Beispiel mit dem Aspektverhältnis eines zu beleuchtenden Objektfeldes. Das Erzeugen eines gewünschten Aspektverhältnisbeitrages der mehreren Einzel-Ausgabestrahlen von 1:1 wird, ausgehend vom Rohstrahl, verteilt einerseits auf die Erzeugung eines Aspektverhältnisbeitrages ungleich 1 über die Strahlformungsoptik sowie, nach dem Aufteilen des

Sammel-Ausgabestrahls in die mehreren Einzel-Ausgabestrahlen, durch die Erzeugung eines entsprechenden Aspektverhältnisbeitrages durch die Auskoppeloptik und die Strahlführungsoptik. Dies ermöglicht auf dem Weg des EUV-Beleuchtungslichts von der Lichtquelle bis zum Objektfeld moderate Aspektverhältnis-Änderungen, die durch die verschiedenen optischen Baugruppen, die der EUV-Strahl durchläuft, herbeigeführt werden müssen. Alternativ kann mit der Strahlformungsoptik zunächst auch ein anderer Aspektverhältnisbeitrag erzeugt werden, beispielsweise ein Aspektverhältnisbeitrag von 1:N für N EUV-Einzel-Ausgabestrahlen. Eine nachfolgende Auskoppeloptik muss den so erzeugten EUV-Sammel-Ausgabestrahle dann noch aufteilen, benötigt dann aber zur Vorgabe der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen mit dem Aspektverhältnisbeitrag von jeweils 1:1 keine eigene aspektverhältnisbeeinflussende Wirkung. Auch eine andere Verteilung der Aspektverhältnisbeiträge, die von der Strahlformungsoptik einerseits und von der Auskoppeloptik bzw. der Strahlführungsoptik andererseits erzeugt werden, zur Erzeugung einer Anzahl N von EUV-Einzel-Ausgabestrahlen mit einem Aspektverhältnisbeitrag von jeweils 1:1, ist möglich.

[0008] Bei einer Strahlformungsoptik nach Anspruch 3 können die Gruppen-Einfallsebenen aufeinander senkrecht stehen. Spiegelgruppen der Strahlformungsoptik können zwei Spiegel, drei Spiegel oder noch mehr Spiegel aufweisen. Durch den Einsatz mehrerer Spiegelgruppen mit verschiedenen Gruppen-Einfallsebenen kann die EUV-Strahlung in zwei Querdimensionen unabhängig zur Erzeugung eines gewünschten Aspektverhältnisses beeinflusst werden.

[0009] Die Spiegelgruppen können nach Art von Galilei-Teleskopen gestaltet sein.

[0010] Die Spiegel der Strahlformungsoptik können als z. B. konvexe oder konkave Zylinderspiegel ausgeführt sein.

[0011] Die Spiegel für streifenden Einfall sind für einen Einfallswinkel größer als 60° gestaltet. Der Einfallswinkel kann noch größer sein.

[0012] Eine Anordnung nach Anspruch 4 schafft die Möglichkeit, einen großen Abstand zwischen denjenigen Spiegeln ein und derselben Spiegelgruppe zu schaffen, die zur Erzeugung eines gewünschten Aspektverhältnisses beispielsweise einen großen Aufweitfaktor bereitstellen müssen.

[0013] Einfallswinkel der EUV-Strahlung nach Anspruch 5 ermöglichen eine Transmissions-Optimierung für die EUV-Strahlung beim Durchgang durch die Strahlformungsoptik.

[0014] Einfallswinkel nach Anspruch 6 erhöhen eine Flexibilität bei der Auslegung der Strahlformungsoptik und ermöglichen es beispielsweise, einen streifenden Einfall so an einen vorgegebenen Strahldurchmesser des einfallenden EUV-Strahls anzupassen, dass eine Spiegelgröße innerhalb vorgegebener Dimensionen bleibt.

[0015] Eine Gestaltung der Strahlformungsoptik nach Anspruch 7 ermöglicht es beispielsweise, sowohl den in die Strahlformungsoptik einfallenden als auch den aus der Strahlformungsoptik ausfallenden Strahl horizontal zu führen.

[0016] Eine Divergenz des EUV-Sammel-Ausgabestrahls kann kleiner sein als eine halbe Divergenz des EUV-Rohstrahls. Eine entsprechende Gestaltung der Strahlformungsoptik ermöglicht es, den EUV-Sammel-Ausgabestrahle über große Entfernung führen zu können.

[0017] Mindestens ein Spiegel der Strahlformungsoptik kann eine Abweichung von mindestens $5 \mu\text{m}$ von einem bestangepassten (best fit) Kegelschnitt haben. Mindestens ein Spiegel der Strahlformungsoptik kann als Freiformfläche ausgeführt sein. Entsprechende Spiegelgestaltungen der Strahlformungsoptik erhöhen die Freiheitsgrade, um eine optische Wirkung der Strahlformungsoptik an Vorgabewerte anzupassen.

[0018] Eine Umlenkoptik nach Anspruch 8 führt zu geringen Verlusten der von der Umlenkoptik umgelenkten EUV-Strahlung.

[0019] Die Spiegel für streifenden Einfall sind für einen Einfallswinkel größer als 60° gestaltet. Der Einfallswinkel kann noch größer sein.

[0020] Mindestens einer der Umlenkspiegel für streifenden Einfall kann als konvexer Zylinderspiegel ausgeführt sein. Mindestens einer der Umlenkspiegel für streifenden Einfall kann als konkaver Zylinderspiegel aus-

geführt sein. Ausführungen der Umlenkoptik können eine größere Anzahl konkaver Zylinderspiegel als konvexe Zylinderspiegel aufweisen.

[0021] Ein parallel in die Umlenkoptik einfallender EUV-Strahl, insbesondere ein EUV-Einzel-Ausgabestrahler, kann nach Verlassen der Umlenkoptik eine Divergenz von weniger als 1 mrad haben. Eine derartige Gestaltung der Umlenkoptik ermöglicht es, den EUV-Strahl über große Entfernung führen zu können.

[0022] Bei einer Umlenkoptik nach Anspruch 9 lässt sich ein durch die Umlenkoptik erzeugter Aspektverhältnisbeitrag der Strahlführungsoptik an einen Vorgabewert anpassen. Beispielsweise lässt sich ein Aufweitfaktor für das Aspektverhältnis zwischen einem Wert 4 und einem Wert 5 oder zwischen einem Wert 1,5 und einem Wert 2 insbesondere stufenlos verändern. Mindestens einer der Umlenkspiegel für streifenden Einfall der Umlenkoptik kann mit angetrieben veränderbarem Krümmungsradius ausgeführt sein. Hierdurch lässt sich eine weitere Anpassung der optischen Wirkung der Umlenkoptik an einen Vorgabewert erreichen.

[0023] Eine Strahlführungsoptik nach Anspruch 10 ermöglicht es, die EUV-Strahlung durch eine vergleichsweise kleine Durchtrittsöffnung durch eine Blende oder eine Wand hindurchzuführen. Diese ermöglicht eine erwünschte Trennung zwischen verschiedenen Kammern, in denen die EUV-Strahlung geführt ist. Zudem können nach dem Zwischenfokus Baugruppen von Projektionsbelichtungsanlagen genutzt werden, die auf einen Zwischenfokus des EUV-Beleuchtungslichts mit vorgegebener numerischer Apertur abgestimmt sind.

[0024] Eine Fokussier-Baugruppe nach Anspruch 11 kann nach Art einer Wolter-Spiegelgruppe vom Typ I, vom Typ II oder vom Typ III ausgeführt sein. Die mindestens zwei Spiegel der Fokussier-Baugruppe können sequentiell im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls angeordnet sein.

[0025] Die Fokussier-Baugruppe kann so ausgeführt sein, dass ein Bauraum der Fokussier-Baugruppe längs eines Strahlweges des EUV-Einzel-Ausgabestrahls etwa doppelt so groß ist wie eine große Halbachse eines Ellipsoid-Spiegels der Fokussier-Baugruppe. Die Fokussier-Baugruppe kann so ausgeführt sein, dass ein Bauraum der Fokussier-Baugruppe längs eines Strahlweges des EUV-Einzel-Ausgabestrahls etwa fünfzig Mal so groß ist wie ein Durchmesser des EUV-Einzel-Ausgabestrahls beim Eintritt in die Fokussier-Baugruppe. Die Fokussier-Baugruppe kann so ausgeführt sein, dass für ein Verhältnis b/a aus einer kleinen Halbachse b des Ellipsoid-Spiegels und einer großen Halbachse a des Ellipsoid-Spiegels gilt: $0,7 \text{ NA} < b/a < 0,9 \text{ NA}$, wobei NA die numerische Apertur im Zwischenfokus der Fokussier-Baugruppe bezeichnet.

[0026] Die Fokussier-Baugruppe kann so ausgeführt sein, dass sie mindestens einen Paraboloid-Spiegel aufweist, wobei für ein Verhältnis a/f aus einer großen Halbachse a des Ellipsoid-Spiegels und einer Brennweite f des Paraboloid-Spiegels gilt: $a/f > 50$.

[0027] Die Fokussier-Baugruppe kann so ausgeführt sein, dass ein geringster Ablenkwinkel, den ein Randstrahl des EUV-Einzel-Ausgabestrahls durch die Fokussier-Baugruppe erfährt, nicht größer ist als 5° .

[0028] Die Vorteile eines Beleuchtungssystems nach Anspruch 12, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 14 und eines strukturierten Bauteils nach Anspruch 15 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die vorhergehenden Ansprüche bereits erläutert wurden.

[0029] Bei der Lichtquelle des Beleuchtungssystems kann es sich um einen Freie-Elektronen-Laser (FEL), um einen Undulator, um einen Wiggler oder um einen Röntgenlaser handeln.

[0030] Der EUV-Sammel-Ausgabestrahler kann innerhalb eines Nutzquerschnitts eine Intensitätsverteilung aufweisen, die in jedem Punkt des Nutzquerschnitts von einer homogenen Intensität um weniger als 10 % abweicht. Eine entsprechende Homogenität kann ein jeweiliger EUV-Einzel-Ausgabestrahler nach der Umlenkoptik aufweisen.

[0031] Alle Spiegel des Beleuchtungssystems können hochreflektierende Beschichtungen tragen.

[0032] Die Strahlformungsoptik, die Umlenkoptik und die Fokussier-Baugruppe sind Baugruppen, die auch eigenständig, also ohne die weiteren Baugruppen des Beleuchtungssystems, erfindungswesentlich sind.

[0033] Alle Anspruchsmerkmale können auch in anderer Kombination miteinander kombiniert werden.

[0034] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

[0035] Fig. 1 schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektionslithographie;

[0036] Fig. 2 ebenfalls schematisch einen führenden Abschnitt eines EUV-Strahlengangs für ein System mehrerer Projektionsbelichtungsanlagen nach Fig. 1, ausgehend von einer EUV-Lichtquelle zur Erzeugung eines EUV-Rohstrahls bis nach einer Auskoppeloptik zur Erzeugung mehrerer EUV-Einzel-Ausgabestrahlen aus einem EUV-Sammel-Ausgabestrahls;

[0037] Fig. 3 Querschnittsverhältnisse der EUV-Strahlung im Verlauf des EUV-Strahlengangs zwischen der Lichtquelle und der Bündelführung in einer einem Objektfeld der Projektionsbelichtungsanlage vorgelagerten Beleuchtungsoptik;

[0038] Fig. 4 eine Seitenansicht einer Strahlformungsoptik zur Erzeugung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls aus dem EUV-Rohstrahl;

[0039] Fig. 5 eine weitere Seitenansicht aus Richtung V in Fig. 4;

[0040] Fig. 6 und Fig. 7 stark schematisch die Strahlformungsoptik nach den Fig. 4 und Fig. 5 zur Verdeutlichung von Umlenkswinkeln, die von Spiegeln der Strahlformungsoptik hervorgerufen werden;

[0041] Fig. 8 und Fig. 9 in einer zu den Fig. 6 und Fig. 7 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Strahlformungsoptik;

[0042] Fig. 10 und Fig. 11 in einer zu den Fig. 6 und Fig. 7 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Strahlformungsoptik;

[0043] Fig. 12 weniger schematisch als in den Fig. 1 und Fig. 2 einen EUV-Strahlengang zwischen der Strahlformungsoptik und einer Umlenkoptik als Teil einer Strahlführungsoptik zur Führung des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls hin zum Objektfeld, wobei die Umlenkoptik der Auskoppeloptik im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls nachgeordnet ist;

[0044] Fig. 13 in einem Schnitt parallel zur Einfallsebene auf den Umlenkspiegeln stark schematisch eine Ausführung der Umlenkoptik mit im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls zunächst zwei konvexen Zylinderspiegeln, einem nachfolgenden Planspiegel und drei nachfolgenden konkaven Zylinderspiegeln;

[0045] Fig. 14 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit einem konvexen Zylinderspiegel und im EUV-Strahlengang sich sequentiell anschließenden drei konkaven Zylinderspiegeln;

[0046] Fig. 15 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit sequentiell im EUV-Strahlengang nacheinander angeordnet einem konvexen Zylinderspiegel, einem Planspiegel und zwei konkaven Zylinderspiegeln;

[0047] Fig. 16 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit sequentiell im EUV-Strahlengang nacheinander angeordnet einem konvexen Zylinderspiegel, einem Planspiegel und drei konkaven Zylinderspiegeln;

[0048] Fig. 17 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit sequentiell im EUV-Strahlengang nacheinander angeordnet einem konvexen Zylinderspiegel, zwei nachfolgenden konkaven Zylinderspiegeln, einem nachfolgenden Planspiegel und zwei nachfolgenden konkaven Zylinderspiegeln;

[0049] Fig. 18 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit sequentiell im EUV-Strahlengang nacheinander angeordnet einem konvexen Zylinderspiegel, einem nachfolgenden Planspiegel und vier sequentiell nachfolgenden konkaven Zylinderspiegeln;

[0050] Fig. 19 in einer zu Fig. 13 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Umlenkoptik mit sequentiell im EUV-Strahlengang nacheinander angeordnet einem konvexen Zylinderspiegel, zwei sequentiell nachfolgenden Planspiegeln und drei sequentiell nachfolgenden konkaven Zylinderspiegeln;

[0051] Fig. 20 einen Ausschnitt des Strahlengangs eines der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen zwischen der Umlenkoptik und einer Zwischenfokusebene zur Verdeutlichung der Funktion einer Fokussier-Baugruppe bzw. Einkoppeloptik der Strahlführungsoptik zur Führung des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls zum Objektfeld;

[0052] Fig. 21 in einer zu Fig. 20 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung der Einkoppeloptik;

[0053] Fig. 22 eine Ausführung der Einkoppeloptik des Typs Wolter I;

[0054] Fig. 23 eine Ausführung der Einkoppeloptik des Typs Wolter II;

[0055] Fig. 24 eine Ausführung der Einkoppeloptik des Typs Wolter III;

[0056] Fig. 25 eine weitere Ausführung der Einkoppeloptik des Typs Wolter III.

[0057] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** für die Mikrolithographie ist Teil eines Systems aus mehreren Projektionsbelichtungsanlagen, von denen in der Fig. 1 eine der Projektionsbelichtungsanlagen **1** dargestellt ist. Die Projektionsbelichtungsanlage **1** dient zur Herstellung eines mikro- bzw. nanostrukturierten elektronischen Halbleiter-Bauelements. Eine für alle Projektionsbelichtungsanlagen des System gemeinsame Licht- bzw. Strahlungsquelle **2** emittiert EUV-Strahlung im Wellenlängenbereich beispielsweise zwischen 2 nm und 30 nm, insbesondere zwischen 2 nm und 15 nm. Die Lichtquelle **2** ist als Freie-Elektronen-Laser (FEL) ausgeführt. Es handelt sich dabei um eine Synchrotronstrahlungsquelle bzw. um eine synchrotron-strahlungsbasierte Lichtquelle, die kohärente Strahlung mit sehr hoher Brillanz erzeugt. Vorveröffentlichungen, in denen derartige FEL beschrieben sind, sind in der WO 2009/121 438 A1 angegeben. Eine Lichtquelle **2**, die beispielsweise zum Einsatz kommen kann, ist beschrieben in Uwe Schindler „Ein supraleitender Undulator mit elektrisch umschaltbarer Helizität“, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, wissenschaftliche Berichte, FZKA 6997, August 2004, in der US 2007/0152171 A1 und in der DE 103 58 225 B3.

[0058] Die Lichtquelle **2** hat in einem Rohstrahl einen ursprünglichen Lichtleitwert, der kleiner ist als $0,1 \text{ mm}^2$. Beim Lichtleitwert handelt es sich um das kleinste Volumen eines Phasenraums, der 90 % der Lichtenergie einer Emission einer Lichtquelle enthält. Hierzu entsprechende Definitionen des Lichtleitwertes finden sich in der EP 1 072 957 A2 und der US 6 198 793 B1, in denen angegeben ist, dass der Lichtleitwert durch Multiplikation der Beleuchtungsdaten x , y und NA^2 erhalten ist, wobei x und y die Felddimensionen sind, die ein beleuchtetes Beleuchtungsfeld aufspannen und NA die numerische Apertur der Feldbeleuchtung. Auch noch kleinere Lichtleitwerte der Lichtquelle als $0,1 \text{ mm}^2$ sind möglich, beispielsweise ein Lichtleitwert kleiner als $0,01 \text{ mm}^2$.

[0059] Die EUV-Lichtquelle **2** hat eine Elektronenstrahl-Versorgungseinrichtung zur Erzeugung eines Elektronenstrahls und eine EUV-Generationseinrichtung. Letztere wird über die Elektronenstrahl-Versorgungseinrichtung mit dem Elektronenstrahl versorgt. Die EUV-Generationseinrichtung ist als Undulator ausgeführt. Der Undulator kann optional durch Verlagerung verstellbare Undulatomagnete aufweisen. Der Undulator kann Elektromagnete aufweisen. Auch ein Wiggler kann bei der Lichtquelle **2** vorgesehen sein.

[0060] Die Lichtquelle **2** hat eine mittlere Leistung von 2,5 kW. Die Pulsfrequenz der Lichtquelle **2** beträgt 30 MHz. Jeder einzelne Strahlungsimpuls trägt dann eine Energie von 83 μJ . Bei einer Strahlungsimpulslänge von 100 fs entspricht dies einer Strahlungsimpulsleistung von 833 MW.

[0061] Eine Repetitionsrate der Lichtquelle **2** kann im Kilohertzbereich, beispielsweise bei 100 kHz, oder im niedrigeren Megahertzbereich, beispielsweise bei 3 MHz, im mittleren Megahertzbereich, beispielsweise bei 30 MHz, im oberen Megahertzbereich, beispielsweise bei 300 MHz, oder auch im Gigahertzbereich, beispielsweise bei 1,3 GHz, liegen.

[0062] Zur Erleichterung der Darstellung von Lagebeziehungen wird nachfolgend ein kartesisches xyz-Koordinatensystem verwendet. Die x-Koordinate spannt mit der y-Koordinate bei diesen Darstellungen regelmäßig einen Bündelquerschnitt des EUV-Beleuchtungs- und Abbildungslichts **3** auf. Entsprechend verläuft die z-Richtung regelmäßig in der Strahlrichtung des Beleuchtungs- und Abbildungslichts **3**. Die x-Richtung verläuft

zum Beispiel in den **Fig. 2** und **Fig. 12** vertikal, also senkrecht zu Gebäudeebenen, in denen das System der Projektionsbelichtungsanlagen **1** untergebracht ist. Das Koordinatensystem der **Fig. 4** bis **Fig. 11** ist hierzu um 90° um die z-Achse verdreht.

[0063] **Fig. 1** zeigt stark schematisch Hauptkomponenten einer der Projektionsbelichtungsanlagen **1** des Systems.

[0064] Die Lichtquelle **2** imitiert Beleuchtungs- und Abbildungslicht **3** in Form zunächst eines EUV-Rohstrahls **4**. **Fig. 3** zeigt stark schematisch links einen Querschnitt durch den EUV-Rohstrahl **4** mit einem x/y-Aspektverhältnis von 1:1. In der Regel liegt der Rohstrahl **4** als Bündel mit einem gaußförmigen Intensitätsprofil vor, also als im Querschnitt rundes Bündel, was in der **Fig. 3** durch eine gestrichelte Begrenzungslinie **5** angedeutet ist. Der EUV-Rohstrahl **4** hat eine sehr kleine Divergenz.

[0065] Eine Strahlformungsoptik **6** (vgl. **Fig. 1**) dient zur Erzeugung eines EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** aus dem EUV-Rohstrahl **4**. Dies ist in der **Fig. 1** sehr stark schematisch und in der **Fig. 2** etwas weniger stark schematisch dargestellt. Der EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** hat eine sehr kleine Divergenz. **Fig. 3** verdeutlicht in der zweiten Querschnittsdarstellung von links wiederum ein Aspektverhältnis des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7**. Dieses Aspektverhältnis wird von der Strahlformungsoptik **6** abhängig von einer Anzahl N der innerhalb des Systems mit der Lichtquelle **2** zu versorgenden Projektionsbelichtungsanlagen **1** vorgegeben. Das x/y-Aspektverhältnis, das durch die Strahlformungsoptik **6** erzeugt wird, beträgt im Allgemeinen $\sqrt{N}:1$, wobei ein rechteckiges Strahlprofil des Beleuchtungslichts **3** resultiert, wie in der **Fig. 3** dargestellt. Der EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** hat die Form eines homogen ausgeleuchteten Rechtecks. Der Aspektverhältnisbeitrag $\sqrt{N}:1$ kann noch mit einem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden, zum Beispiel mit dem Aspektverhältnis eines zu beleuchtenden Objektfeldes.

[0066] **Fig. 2** deutet eine Systemauslegung mit $N = 4$ an, bei der die Lichtquelle **2** also vier Projektionsbelichtungsanlagen nach Art der Projektionsbelichtungsanlage **1** nach **Fig. 1** mit dem Beleuchtungslicht **3** versorgt. Für $N = 4$ beträgt das x/y-Aspektverhältnis des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** 2:1. Die Anzahl N der Projektionsbelichtungsanlagen **1** kann auch noch größer sein und kann beispielsweise bis zu **10** betragen.

[0067] Bei einer alternativen Systemauslegung hat der EUV-Sammel-Ausgabestrahls ein x/y-Aspektverhältnis von $N:1$. Auch dieses Verhältnis kann noch mit einem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden.

[0068] Eine Auskoppeloptik **8** (vgl. **Fig. 1** und **Fig. 2**) dient zur Erzeugung von mehreren, nämlich von N , EUV-Einzel-Ausgabestrahlen 9_1 bis 9_N ($i = 1, \dots, N$) aus dem EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7**.

[0069] Die **Fig. 1** zeigt die weitere Führung genau eines dieser EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9**, nämlich des Ausgabestrahls 9_1 . Die anderen, von der Auskoppeloptik **8** erzeugten EUV-Einzel-Ausgabestrahlen 9_i , die in der **Fig. 1** ebenfalls schematisch angedeutet ist, werden anderen Projektionsbelichtungsanlagen des Systems zugeführt.

[0070] Nach der Auskoppeloptik **8** wird das Beleuchtungs- und Abbildungslicht **3** von einer Strahlführungsoptik **10** (vgl. **Fig. 1**) hin zu einem Objektfeld **11** der Projektionsbelichtungsanlage **1** geführt, indem eine Lithografiemaske **12** in Form eines Retikels als zu projizierendes Objekt angeordnet ist. Zusammen mit der Strahlführungsoptik **10** stellen die Strahlformungsoptik **6** und die Auskoppeloptik **8** ein Beleuchtungssystem für die Projektionsbelichtungsanlage **1** dar.

[0071] Die Strahlführungsoptik **10** umfasst in der Reihenfolge des Strahlengangs für das Beleuchtungslicht **3**, also für den EUV-Einzel-Ausgabestrahls 9_i , eine Umlenkoptik **13**, eine Einkoppeloptik in Form einer Fokussier-Baugruppe **14** und eine nachgeschaltete Beleuchtungsoptik **15**. Die Beleuchtungsoptik **15** beinhaltet einen Feldfacettenspiegel **16** und einen Pupillenfacettenspiegel **17**, deren Funktion derjenigen entspricht, die aus dem Stand der Technik bekannt ist und die daher in der **Fig. 1** lediglich äußerst schematisch und ohne zugehörigen EUV-Strahlengang dargestellt sind.

[0072] Nach Reflexion am Feldfacettenspiegel **16** trifft das in EUV-Strahlbündel, die einzelnen, nicht dargestellten Feldfacetten des Feldfacettenspiegels **16** zugeordnet sind, aufgeteilte Nutzstrahlungsbündel des Beleuchtungslichts **3** auf den Pupillenfacettenspiegel **17**. In der **Fig. 1** nicht dargestellte Pupillenfacetten des Pupillenfacettenspiegels **17** sind rund. Jedem von einer der Feldfacetten reflektierten Strahlbündel des Nutzstrahlungsbündels ist eine dieser Pupillenfacetten zugeordnet, so dass jeweils ein beaufschlagtes Facettenpaar mit einer der Feldfacetten und einer der Pupillenfacetten einen Ausleuchtungskanal bzw. Strahlführungs-

kanal für das zugehörige Strahlbüschel des Nutzstrahlungsbündels vorgibt. Die kanalweise Zuordnung der Pupillenfacetten zu den Feldfacetten erfolgt abhängig von einer gewünschten Beleuchtung durch die Projektionsbelichtungsanlage **1**. Das Beleuchtungslicht **3** ist also zur Vorgabe individueller Beleuchtungswinkel längs des Ausleuchtungskanals sequentiell über Paare aus jeweils einer der Feldfacetten und jeweils einer der Pupillenfacette geführt. Zur Ansteuerung jeweils vorgegebener Pupillenfacetten werden die Feldfacetten Spiegel jeweils individuell verkippt.

[0073] Über den Pupillenfacetten Spiegel **17** und ggf. über eine nachfolgende, aus zum Beispiel drei nicht dargestellten EUV-Spiegeln bestehende Übertragungsoptik werden die Feldfacetten in das Beleuchtungs- bzw. Objektfeld **11** in einer Retikel- bzw. Objektebene **18** einer in der **Fig. 1** ebenfalls schematisch dargestellten Projektionsoptik **19** der Projektionsbelichtungsanlage **1** abgebildet.

[0074] Aus den einzelnen Beleuchtungswinkeln, die über alle Ausleuchtungskanäle über eine Beleuchtung der Feldfacetten des Feldfacetten Spiegels **16** herbeigeführt werden, ergibt sich eine Beleuchtungswinkelverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes **11** durch die Beleuchtungsoptik **15**.

[0075] Bei einer weiteren Ausführung der Beleuchtungsoptik **15**, insbesondere bei einer geeigneten Lage einer Eintrittspupille der Projektionsoptik **19**, kann auf die Spiegel der Übertragungsoptik vor dem Objektfeld **11** auch verzichtet werden, was zu einer entsprechenden Transmissionserhöhung der Projektionsbelichtungsanlage **1** für das Nutzstrahlungsbündel führt.

[0076] In der Objektebene **18** im Bereich des Objektfeldes **11** ist das das Nutzstrahlungsbündel reflektierende Retikel **12** angeordnet. Das Retikel **12** wird von einem Retikelhalter **20** getragen, der über einen Retikelverlagerungsantrieb **21** angesteuert verlagerbar ist.

[0077] Die Projektionsoptik **19** bildet das Objektfeld **11** in ein Bildfeld **22** in einer Bildebene **23** ab. In dieser Bildebene **23** ist bei der Projektionsbelichtung ein Wafer **24** angeordnet, der eine lichtempfindliche Schicht trägt, die während der Projektionsbelichtung mit der Projektionsbelichtungsanlage **1** belichtet wird. Der Wafer **24** wird von einem Waferhalter **25** getragen, der wiederum über einen Waferverlagerungsantrieb **26** gesteuert verlagerbar ist.

[0078] Bei der Projektionsbelichtung werden sowohl das Retikel **12** als auch der Wafer **24** in der **Fig. 1** in x-Richtung durch entsprechende Ansteuerung des Retikelverlagerungsantriebs **21** und des Waferverlagerungsantriebs **26** synchronisiert gescannt. Der Wafer wird während der Projektionsbelichtung mit einer Scangeschwindigkeit von typisch 600 mm/s in der x-Richtung gescannt.

[0079] **Fig. 4** und **Fig. 5** zeigen eine Ausführung der Strahlformungsoptik **6**. Die Strahlformungsoptik **6** nach den **Fig. 4** und **Fig. 5** hat insgesamt vier Spiegel BS1, BS2, BS3 und BS4, die in der Reihenfolge ihrer Beaufschlagung durch das Beleuchtungslicht **3** durchnummeriert sind. **Fig. 4** zeigt die Strahlformungsoptik **6** in einer Ansicht parallel zur xz-Ebene. **Fig. 5** zeigt die Strahlformungsoptik **6** in einer Aufsicht parallel zur yz-Ebene.

[0080] Die Darstellung einer Strahlumlenkung durch die Spiegel BS1 bis BS4 der Strahlformungsoptik **6** ist in den **Fig. 4** und **Fig. 5** insoweit von der Realität abweichend, als die Spiegel BS1 und BS4 in der **Fig. 4** und die Spiegel BS2 und BS3 in der **Fig. 5** jeweils beide in der Aufsicht mit dem Betrachter zugewandter Reflexionsfläche dargestellt sind. Tatsächlich ist eine Reflexionsfläche des Spiegels BS4 in der **Fig. 4** und eine Reflexionsfläche des Spiegels BS3 in der **Fig. 5** vom Betrachter abgewandt.

[0081] Die Spiegel BS1 bis BS4 werden allesamt unter streifendem Einfall mit dem Beleuchtungslicht **3** beaufschlagt. Ein streifender Einfall liegt dann vor, wenn ein Einfallswinkel α zwischen einer Einfalls- bzw. Ausfalls-Haupttrichtung des Beleuchtungslichts **3** und einer Normalen N auf einen mit dem Beleuchtungslicht **3** beaufschlagten Reflexionsflächenabschnitt des jeweiligen Spiegels größer ist als 60° . Der Einfallswinkel α kann beispielsweise größer sein als 65° , kann größer sein als 70° und kann auch größer sein als 75° .

[0082] Die Strahlformungsoptik **6** nach den **Fig. 4** und **Fig. 5** hat zwei Strahlformungs-Spiegelgruppen **27**, **28**, nämlich einerseits die Strahlformungs-Spiegelgruppe **27** mit den Spiegeln BS1 und BS4, die in der **Fig. 4** auch mit **27₁** und **27₂** bezeichnet sind, und die Strahlformungs-Spiegelgruppe **28** mit den Spiegeln BS2 und BS3, die in der **Fig. 5** auch mit **28₁** und **28₂** bezeichnet sind. Jede Spiegelgruppe **27**, **28** hat eine gemeinsame Gruppen-Einfallsebene. Die Einfallsebene der Spiegelgruppe **27** ist parallel zur yz-Ebene (Zeichenebene der **Fig. 5**). Die Gruppen-Einfallsebene der Spiegelgruppe **28** ist parallel zur xz-Ebene (Zeichenebene der **Fig. 4**).

Die beiden Gruppen-Einfallsebenen yz und xz der Spiegelgruppen **27**, **28** unterscheiden sich also voneinander und stehen bei der dargestellten Ausführung senkrecht aufeinander.

[0083] Die Strahlformungs-Spiegelgruppe **27** dient zur Strahlformung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** in der yz-Ebene. Die Strahlformungs-Spiegelgruppe **28** dient zur Strahlformung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** in der xz-Ebene.

[0084] Die Strahlformungs-Spiegelgruppen **27** einerseits und **28** andererseits haben prinzipiell die Wirkung eines Galilei-Zylinderteleskops. Um eine Umformung des Strahlprofils zu erreichen, zum Beispiel aus einen im wesentlichen runden Rohstrahl **4** mit einem gaußförmigen Intensitätsprofil in einen im wesentlichen rechteckigen EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** mit homogenem Intensitätsprofil innerhalb eines rechteckigen Nutz-Querschnitts, können zumindest einige der Spiegel der Strahlformungs-Spiegelgruppen **27** und/oder **28** mit einem Freiformprofil versehen sein, also als Reflexionsfläche eine Freiformfläche aufweisen. Ein Freiformprofil ist ein Höhenprofil, welches nicht als Kegelschnitt darstellbar ist. Unter Kegelschnitt sei hier auch eine Oberflächenform verstanden, die in zwei orthogonalen Richtungen durch einen unterschiedlichen Kegelschnitt beschrieben wird; ein Beispiel für eine solche Oberflächenform ist ein Zylinder. Ein Freiformprofil ist auch durch einen solchen Kegelschnitt nicht beschreibbar. Die Abweichung des Höhenprofils eines oder mehrerer Spiegel der Strahlformungsoptik **6** kann mehr als 1 Mikrometer (μm) betragen, insbesondere mehr als 5 Mikrometer und insbesondere mehr als 20 Mikrometer.

[0085] Die Spiegelgruppe **28** mit den Spiegeln BS2 und BS3 ist insgesamt im Strahlengang nach dem ersten Spiegel BS1 der weiteren Spiegelgruppe **27** und vor dem zweiten und letzten Spiegel BS4 dieser weiteren Spiegelgruppe **27** angeordnet.

[0086] Je nach Ausführung der Strahlformungsoptik **6** können die Einfallswinkel des Beleuchtungslichts **3** auf allen Spiegeln einer der Spiegelgruppen **27**, **28** gleich groß sein oder können auf mindestens zwei Spiegeln einer der Spiegelgruppen **27**, **28** verschieden groß sein. Unter Einfallswinkel wird in diesem Zusammenhang der Einfallswinkel eines Strahls, der zentral im EUV-Rohstrahl **4** verläuft, verstanden.

[0087] Der Spiegel BS1 ist als konvexer Zylinderspiegel ausgeführt, dessen Zylinderachse parallel zur x-Achse verläuft. Der Spiegel BS2 ist als konvexer Zylinderspiegel ausgeführt, dessen Zylinderachse parallel zur y-Achse verläuft. Der Spiegel BS3 ist als konkaver Zylinderspiegel ausgeführt, dessen Zylinderachse parallel zur y-Richtung verläuft. Der Spiegel BS4 ist als konkaver Zylinderspiegel ausgeführt, dessen Zylinderachse parallel x-Achse verläuft.

[0088] Die Spiegelgruppe **27** sorgt für eine Aufweitung eines Bündeldurchmessers des Rohstrahls in der x-Dimension um einen Faktor 2 im Vergleich zur aufweitenden Wirkung der Spiegelgruppe **28** in der y-Dimension. Ferner dienen die beiden Spiegelgruppen **27**, **28** zur Formung der Rechteck-Querschnittskontur des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7**.

[0089] Fig. 6 bis Fig. 11 zeigen weitere Ausführungen der Strahlformungsoptik **6**. Diese Ausführungen unterscheiden sich in der Abfolge der über die verschiedenen Strahlformungsspiegel BS_i ($i = 1, \dots$) erzeugten Umlenkwinkel. Es ist daher in den Fig. 6 bis Fig. 11 nur jeweils die Umlenkwirkung der Spiegel BS_i dargestellt, ohne dass die Spiegel selbst körperlich angedeutet sind.

[0090] Die Ausführung der Strahlformungsoptik **6** nach den Fig. 6 und Fig. 7 entspricht hinsichtlich der Einfallswinkel des Beleuchtungslichts **3** auf den Spiegeln BS1 bis BS4 und auch hinsichtlich der Zuordnung der Spiegel BS1 bis BS4 zu den Spiegelgruppen **27**, **28** der Ausführungen nach den Fig. 4 und Fig. 5. Die Einfallswinkel α des Beleuchtungslichts **3** an den Spiegeln BS1 bis BS4 ist für alle diese Spiegel bei der Ausführung nach den Fig. 6 und Fig. 7 identisch. Eine Haupt-Strahlrichtung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** ist damit identisch zur Haupt-Strahlrichtung des in die Strahlformungsoptik **6** einfallenden EUV-Rohstrahls **4**.

[0091] Fig. 8 und Fig. 9 zeigen eine weitere Ausführung einer Strahlformungsoptik **29**, die anstelle der Strahlformungsoptik **6** nach den Fig. 4 bis Fig. 7 zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Strahlformungsoptik **6** bereits erläutert wurden, tragen bei der Strahlformungsoptik **29** die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0092] Im Unterschied zur Strahlformungsoptik **6** liegen bei der Strahlformungsoptik **29** verschiedene Einfallswinkel α , β der EUV-Strahlung auf den Spiegeln BS1 bis BS4 vor. Die Spiegel BS1 und BS2 reflektieren jeweils

mit dem Einfallswinkel α , sodass der Strahlengang der Strahlformungsoptik **29** bis zum dritten Spiegel BS3 mit dem Strahlengang in der Strahlformungsoptik **6** übereinstimmt. An den Spiegeln BS3 und BS4 wird das Beleuchtungslicht **3** mit einem im Vergleich zum Einfallswinkel α kleineren Einfallswinkel β , aber immer noch unter streifendem Einfall, reflektiert. Dies führt dazu, dass eine Haupt-Strahlrichtung des aus der Strahlformungsoptik **29** ausfallenden EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** nicht parallel zur z-Richtung verläuft, sondern sowohl in der xz-Ebene als auch in der yz-Ebene einen von Null verschiedenen Winkel zur Einfallsrichtung, die parallel zur z-Richtung verläuft, einschließt.

[0093] Die kleineren Einfallswinkel β an den beiden letzten Spiegeln BS3 und BS4 der Strahlformungsoptik **29** ermöglichen eine baukleinere Ausführung dieser beiden letzten Spiegel BS3 und BS4, also eine Ausführung mit geringer ausgedehnter Reflexionsfläche. Dies spielt bei diesen beiden letzten Spiegeln BS3 und BS4 der Strahlformungsoptik **29** eine größere Rolle als bei den beiden führenden Spiegeln BS1 und BS2, da am Ort der letzten Spiegel BS3 und BS4 das Beleuchtungslicht bereits im Vergleich zum einfallenden EUV-Rohstrahl im Querschnitt deutlich aufgeweitet ist.

[0094] Fig. 10 und Fig. 11 zeigen eine weitere Ausführung einer Strahlformungsoptik **30**, die anstelle der Strahlformungsoptiken **6**, **29** zum Einsatz kommen kann. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Strahlformungsoptiken **6**, **29** bereits erläutert wurden, tragen bei der Strahlformungsoptik **30** die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0095] Die Strahlformungsoptik **30** hat insgesamt fünf Strahlformungsspiegel BS1, BS2, BS3, BS4, BS5, die wiederum in der Reihenfolge ihrer Beaufschlagung mit dem Beleuchtungslicht **3** innerhalb der Strahlformungsoptik **30** durchnummeriert sind. Die Spiegel BS1, BS2 und BS5 gehören zur ersten Spiegelgruppe **27** der Strahlformungsoptik **30** mit yz-Einfallsebene. Die beiden verbleibenden Spiegel BS3 und BS4 gehören zur Spiegelgruppe **28** mit xz-Einfallsebene.

[0096] Nach Reflexion am ersten Spiegel BS1 entspricht der Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** in der Strahlformungsoptik **30** demjenigen in der Strahlformungsoptik **29**, wobei dann die Spiegel BS2 bis BS5 der Strahlformungsoptik **30** die Funktion der Spiegel BS1 bis BS4 der Strahlformungsoptik **29** haben.

[0097] Der erste BS1 der Strahlformungsoptik **30** wird vom Beleuchtungslicht **3**, also vom EUV-Rohstrahl **4**, unter einem sehr streifenden Einfall beaufschlagt. Ein Einfallswinkel γ des Beleuchtungslichts **3** auf dem ersten Spiegel BS1 der Strahlformungsoptik **30** ist also größer als der Einfallswinkel α . Der Einfallswinkel γ ist so groß, dass er einen Strahlrichtungsunterschied des Beleuchtungslichts **3**, den das Beleuchtungslicht **3** zwischen den Spiegeln BS1 und BS2 einerseits und nach dem Spiegel BS5 andererseits in der yz-Ebene aufweist, genau kompensiert, sodass eine Haupt-Strahlrichtung des Beleuchtungslichts **3** in der yz-Ebene nach Austritt aus der Strahlformungsoptik **30** parallel zur Haupt-Strahlrichtung in der yz-Ebene beim Eintritt in die Strahlformungsoptik **30**, nämlich parallel zur z-Richtung, ist.

[0098] Vor und nach der Strahlformungsoptik **30** verläuft das Beleuchtungslicht **3** parallel zu den Gebäudedecken des Gebäudes, in dem das System untergebracht ist.

[0099] Projiziert auf die Gruppen-Einfallsebene yz der Spiegelgruppe **27** der Strahlformungsoptik **30**, in der die einzelnen Spiegel **27**₁ (BS1), **27**₂ (BS2) und **27**₃ (BS5) unterschiedliche Einfallswinkel, nämlich γ , α und β haben, verläuft der mit der Strahlformungsoptik **30** erzeugte EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** in der gleichen Richtung, nämlich in der z-Richtung, wie der EUV-Rohstrahl **4**, der in die Strahlformungsoptik **30** einfällt.

[0100] Eine typische Querschnittsdimension von Reflexionsflächen des letzten Spiegels BS4 bzw. BS5 der Strahlformungsoptik **6** bzw. **30** ist 1 m bis 1,5 m, wobei diese Spiegel typischerweise eine in erster Näherung rechteckförmige Reflexionsfläche besitzen und die angegebene Querschnittsdimension sich auf die längere der beiden Achsen bezieht. Eine typische Querschnittsdimension von Reflexionsflächen des ersten Spiegels BS1 der Strahlformungsoptik beträgt 20 mm bis 100 mm.

[0101] Nach Verlassen der Strahlformungsoptik **6** bzw. **30** verlaufen die Strahlen des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** im Wesentlichen parallel. Die Divergenz des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** kann kleiner als **10** mrad sein, insbesondere kleiner als 1 mrad, insbesondere kleiner als 100 μ rad und insbesondere kleiner als 10 μ rad. Fig. 2 und Fig. 12 zeigen Beispiele für die Auskoppeloptik **8** zur Erzeugung der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** aus dem EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7**. Die Auskoppeloptik hat eine Mehrzahl von Auskoppelspiegeln **31**₁, **31**₂, ..., die den EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9**₁, **9**₂, ... zugeordnet sind und diese aus dem EUV-

Sammel-Ausgabestrahls **7** auskoppeln. **Fig. 2** zeigt eine Anordnung der Auskoppelspiegel **31** derart, dass das Beleuchtungslicht **3** bei der Auskopplung um 90° mit den Auskoppelspiegeln **31** umgelenkt wird. Bevorzugt ist eine Ausführung, bei der die Auskoppelspiegel **31** unter streifendem Einfall des Beleuchtungslichts **3** betrieben werden, wie schematisch in der **Fig. 12** gezeigt. Ein Einfallswinkel α des Beleuchtungslichts **3** auf den Auskoppelspiegel **31** ist bei der Ausführung nach **Fig. 2** etwa 70° , kann aber auch noch deutlich darüber liegen und beispielsweise im Bereich von 85° liegen, sodass eine effektive Umlenkung des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** durch den jeweiligen Auskoppelspiegel **31** im Vergleich zur Einfallrichtung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** bei 10° liegt.

[0102] Jeder der Auskoppelspiegel **31_i** ist an einen nicht näher dargestellten Kühlkörper thermisch angekoppelt.

[0103] **Fig. 2** zeigt eine Auskoppeloptik **8** mit insgesamt vier Auskoppelspiegeln **31₁** bis **31₄**. **Fig. 12** zeigt eine Variante der Auskoppeloptik **8** mit insgesamt drei Auskoppelspiegeln **31₁** bis **31₃**. Auch eine andere Anzahl N der Auskoppelspiegel **31** ist möglich, je nach der Anzahl N der mit der Lichtquelle **2** zu versorgenden Projektionsbelichtungsanlagen **1**, beispielsweise $N = 2$ oder $N \geq 4$, insbesondere $N \geq 8$.

[0104] Nach der Auskopplung hat jeder der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** ein x/y -Aspektverhältnis von $1/\sqrt{N}:1$. In der zweiten Querschnittsdarstellung von rechts in der **Fig. 3** ist einer der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** mit diesem Aspektverhältnis dargestellt. Für den Fall $N = 4$ beträgt das x/y -Aspektverhältnis also $1:2$. Auch dieser Aspektverhältnisbeitrag kann noch mit dem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden.

[0105] Die Auskoppelspiegel **31_i** ($i = 1, 2, \dots$) sind im Strahlengang des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** versetzt hintereinander so in Strahlrichtung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** angeordnet, dass der jeweils nächste Auskoppelspiegel **31_i** einen randseitigen Querschnittsanteil des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** reflektiert und dadurch diesen Querschnittsanteil als EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9**, aus dem verbleibenden und an diesem Auskoppelspiegel **31_i** vorbeifliegenden EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** auskoppelt. Dieses Auskoppeln vom Rand her wiederholt sich durch die folgenden Auskoppelspiegel **31_{i+1}**, ..., bis der letzte noch verbleibende Querschnittsanteil des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** ausgekoppelt ist.

[0106] Im Querschnitt des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** erfolgt eine Trennung zwischen den den EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9_i** zugeordneten Querschnittsanteilen längs Trennlinien **32**, die parallel zur y -Achse, also parallel zur kürzeren Seite des x/y -Rechteckquerschnitts des EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** verlaufen. Die Trennung der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9**, kann derart erfolgen, dass jeweils der Querschnittsanteil, der am weitesten von der im Strahlengang nächstfolgenden optischen Komponente entfernt ist, abgeschnitten wird. Dieses erleichtert unter anderem die Kühlung der Auskoppeloptik **8**.

[0107] Die der Auskoppeloptik **8** im Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** nachfolgende Umlenkoptik **13** dient einerseits zum Umlenken der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** so, dass diese nach der Umlenkoptik **13** jeweils eine vertikale Strahlrichtung haben, und andererseits zur Anpassung des x/y -Aspektverhältnisses der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** auf ein x/y -Aspektverhältnis von $1:1$, wie in der **Fig. 3** ganz rechts dargestellt. Auch dieser Aspektverhältnisbeitrag kann noch mit dem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden. Bei den vorstehenden x/y -Aspektverhältnissen, handelt es sich also um Aspektverhältnisbeiträge, die, multipliziert mit einem Soll-Aspektverhältnis, zum Beispiel dem Aspektverhältnis eines rechteckigen oder bogenförmigen Objektfeldes, ein gewünschtes Ist-Aspektverhältnis ergeben. Es kann sich bei den vorstehenden x/y -Soll-Aspektverhältnissen um das Aspektverhältnis eines ersten optischen Elements einer Beleuchtungsoptik **15** handeln. Es kann sich bei den vorstehenden x/y -Soll-Aspektverhältnissen um das Aspektverhältnis der Winkel des Beleuchtungslichts **3** an einem Zwischenfokus **42** einer Beleuchtungsoptik **15** handeln.

[0108] Für den Fall, dass nach der Auskoppeloptik **8** bereits ein vertikaler Strahlengang der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** vorliegt, kann auf eine umlenkende Wirkung der Umlenkoptik **13** verzichtet werden und es genügt die Anpassungswirkung in Bezug auf das x/y -Aspektverhältnis der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9**.

[0109] Die EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9** können hinter der Umlenkoptik **13** derart verlaufen, dass sie, gegebenenfalls nach Durchlaufen einer Fokussier-Baugruppe **14**, unter einem Winkel in die Beleuchtungsoptik **15** treffen, wobei dieser Winkel eine effiziente Faltung der Beleuchtungsoptik erlaubt. Hinter der Umlenkoptik **13** kann der EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** in einem Winkel von 0° bis 10° zur Senkrechten, in einem Winkel von 10° bis 20° zur Senkrechten, oder in einem Winkel von 20° bis 30° zur Senkrechten verlaufen.

[0110] Anhand der **Fig. 13** bis **Fig. 19** werden nachfolgend verschiedene Varianten für die Umlenkoptik **13** beschrieben. Das Beleuchtungslicht **3** wird dabei schematisch als ein einziger Strahl dargestellt, es wird also auf eine Bündeldarstellung verzichtet.

[0111] Die Divergenz des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** nach Durchlaufen der Umlenkoptik ist kleiner als 10 mrad, insbesondere kleiner als 1 mrad und insbesondere kleiner als 100 µrad, d.h., der Winkel zwischen zwei beliebigen Strahlen im Strahlenbündel des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** ist kleiner als 20 mrad, insbesondere kleiner als 2 mrad und insbesondere kleiner als 200 µrad. Dies ist für die im folgenden beschriebenen Varianten erfüllt.

[0112] Die Umlenkoptik **13** nach **Fig. 13** lenkt den ausgekoppelten EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** insgesamt um einen Umlenkwinkel von etwa 75° ab. Der EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** fällt auf die Umlenkoptik **13** nach **Fig. 13** also unter einem Winkel von etwa 15° zur Horizontalen (xy-Ebene) ein und verlässt die Umlenkoptik **13** mit einer Strahlrichtung parallel zur x-Achse in der **Fig. 13**. Die Umlenkoptik **13** hat eine Gesamttransmission für den EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** von etwa 55 %.

[0113] Die Umlenkoptik **13** nach **Fig. 13** hat insgesamt sechs Umlenkspiegel D1, D2, D3, D4, D5 und D6, die in der Reihenfolge ihrer Beaufschlagung im Strahlengang des Beleuchtungslichts **3** durchnummeriert sind. Von den Umlenkspiegeln D1 bis D6 ist schematisch jeweils nur ein Schnitt durch deren Reflexionsfläche dargestellt, wobei eine Krümmung der jeweiligen Reflexionsfläche stark übertrieben dargestellt ist. Alle Spiegel D1 bis D6 der Umlenkoptik **13** nach **Fig. 13** werden unter streifendem Einfall mit dem Beleuchtungslicht **3** in einer gemeinsamen Umlenk-Einfallsebene parallel zur xz-Ebene beaufschlagt.

[0114] Die Spiegel D1 und D2 sind als konvexe Zylinderspiegel mit Zylinderachse parallel zur y-Achse ausgeführt. Der Spiegel D3 ist als Planspiegel ausgeführt. Die Spiegel D4 bis D6 sind als konkave Zylinderspiegel wiederum mit Zylinderachse parallel zur y-Achse ausgeführt.

[0115] Die konvexen Zylinderspiegel werden auch als domförmige Spiegel bezeichnet. Die konkaven Zylinderspiegel werden auch als schüsselförmige Spiegel bezeichnet.

[0116] Die kombinierte bündelformende Wirkung der Spiegel D1 bis D6 ist so, dass das x/y-Aspektverhältnis vom Wert $1/\sqrt{N}$:1 auf den Wert 1:1 angepasst wird. In der x-Dimension erfolgt also im Verhältnis eine Streckung des Bündelquerschnitts um den Faktor \sqrt{N} .

[0117] Mindestens einer der Umlenkspiegel D1 bis D6 oder auch alle Umlenkspiegel D1 bis D6 können über zugeordnete Aktoren **34** in der x-Richtung und/oder in der z-Richtung verlagerbar ausgeführt sein. Hierdurch kann eine Anpassung einerseits der Umlenkwirkung und andererseits der Aspektverhältnis-Anpassungswirkung der Umlenkoptik **13** herbeigeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens einer der Umlenkspiegel D1 bis D6 als hinsichtlich seines Krümmungsradius anpassbarer Spiegel ausgeführt sein. Hierzu kann der jeweilige Spiegel D1 bis D6 aus einer Mehrzahl von Einzelspiegeln aufgebaut sein, die aktorisch zueinander verlagerbar sind, was in der Zeichnung nicht dargestellt ist.

[0118] Die verschiedenen optischen Baugruppen des Systems mit den Projektionsbelichtungsanlagen **1** können adaptiv ausgeführt sein. Es kann also zentral vorgegeben werden, wie viele der Projektionsbelichtungsanlagen **1** mit welchem energetischen Verhältnis mit EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9_i** von der Lichtquelle **2** versorgt werden sollen und welche Bündelgeometrie bei jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** nach Durchlaufen der jeweiligen Umlenkoptik **13** vorliegen soll. Je nach Vorgabewerten können sich die EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9_i** in ihrer Intensität und auch in ihrem Soll-x/y-Aspektverhältnis unterscheiden. Insbesondere ist es möglich, durch adaptive Einstellung der Auskoppelspiegel **31_i** die energetischen Verhältnisse der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9_i** zu verändern, und durch adaptive Einstellung der Umlenkoptik **13** die Größe und das Aspektverhältnis des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** nach Durchlaufen der Umlenkoptik **13** unverändert zu halten.

[0119] Anhand der **Fig. 14** bis **Fig. 19** werden nachfolgend weitere Ausführungen von Umlenkoptiken beschrieben, die anstelle der Umlenkoptik **13** nach **Fig. 13** bei einem System mit N Projektionsbelichtungsanlagen **1** zum Einsatz kommen können. Komponenten und Funktionen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 13** und insbesondere unter Bezugnahme auf die **Fig. 13** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0120] Eine Umlenkoptik **35** nach **Fig. 14** hat insgesamt vier Spiegel D1, D2, D3, D4 im Strahlengang des Beleuchtungslichts **3**. Der Spiegel D1 ist als konvexer Zylinderspiegel ausgeführt. Die Spiegel D2 bis D4 sind als konkave Zylinderspiegel ausgeführt.

[0121] Genauere optische Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die erste Spalte bezeichnet hierbei den Krümmungsradius des jeweiligen Spiegels D1 bis D4 und die zweite Spalte den Abstand des jeweiligen Spiegels D1 bis D3 zum jeweils nachfolgenden Spiegel D2 bis D4. Der Abstand bezieht sich auf diejenige Distanz, die ein zentraler Strahl innerhalb des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9**_i zwischen den entsprechenden Reflexionen zurücklegt. Die in dieser und den nachfolgenden Tabellen verwendete Einheit ist jeweils mm, soweit nichts anderes beschrieben ist. Der EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9**_i fällt hierbei mit einem Halbmesser $d_{in}/2$ von 10 mm in die Umlenkoptik **13** ein.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	2922.955800	136.689360
D2	-49802.074797	244.501473
D3	-13652.672229	342.941568
D4	-22802.433560	

Tabelle zu Fig. 14

[0122] Die Umlenkoptik **35** nach **Fig. 14** weitet das x/y-Aspektverhältnis um einen Faktor 3 auf.

[0123] **Fig. 15** zeigt eine weitere Ausführung einer Umlenkoptik **36** ebenfalls mit vier Spiegeln D1 bis D4. Der Spiegel D1 ist ein konvexer Zylinderspiegel. Der Spiegel D2 ist ein Planspiegel. Die Spiegel D3 und D4 sind zwei Zylinderspiegel mit identischem Krümmungsradius.

[0124] Genauere Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, die vom Aufbau der Tabelle zur **Fig. 14** entspricht.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	5080.620899	130.543311
D2	0.000000	187.140820
D3	-18949.299940	226.054877
D4	-18949.299940	

Tabelle zu Fig. 15

[0125] Die Umlenkoptik **36** nach **Fig. 15** weitet das x/y-Aspektverhältnis des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** um einen Faktor 2 auf.

[0126] **Fig. 16** zeigt eine weitere Ausführung einer Umlenkoptik **37** mit fünf Spiegeln D1 bis D5. Der erste Spiegel D1 ist ein konvexer Zylinderspiegel. Der zweite Spiegel D2 ist ein Planspiegel. Die weiteren Spiegel D3 bis D5 sind drei konkave Zylinderspiegel.

[0127] Genauere Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, die vom Aufbau den Tabellen zu **Fig. 14** und **Fig. 15** entspricht.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	3711.660251	172.323866
D2	0.000000	352.407636

D3	-27795.782391	591.719804
D4	-41999.478002	717.778100
D5	-101011.739006	

Tabelle zu Fig. 16

[0128] Die Umlenkoptik **37** nach **Fig. 16** weitet das x/y-Aspektverhältnis des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** um einen Faktor 5 auf.

[0129] Eine weitere Ausführung der Umlenkoptik **37** unterscheidet sich von der Ausführung nach **Fig. 16** nur durch die Krümmungsradien und die Spiegelabstände, die in der nachfolgenden Tabelle angegeben sind:

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	4283.491081	169.288384
D2	0.000000	318.152124
D3	-26270.138665	486.408438
D4	-41425.305704	572.928893
D5	-91162.344644	

Tabelle „Alternativdesign zu Fig. 16“

[0130] Im Unterschied zur ersten Ausführung nach **Fig. 16** hat dieses Alternativdesign einen Aufweitungsfaktor von 4 für das x/y-Aspektverhältnis.

[0131] Noch eine weitere Ausführung der Umlenkoptik **37** unterscheidet sich von der Ausführung nach **Fig. 16** durch die Krümmungsradien und die Spiegelabstände, die in der nachfolgenden Tabelle angegeben sind:

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	5645.378471	164.790501
D2	0.000000	269.757678
D3	-28771.210382	361.997270
D4	-55107.732703	424.013033
D5	-55107.732703	

Tabelle „weiteres Alternativdesign“ zu Fig. 16

[0132] Im Unterschied zur vorstehend beschriebenen Ausführungsform hat dieses weitere Alternativdesign einen Aufweitungsfaktor von 3 für das x/y-Aspektverhältnis. Die Krümmungsradien der beiden letzten Spiegel D4 und D5 sind identisch.

[0133] **Fig. 17** zeigt eine weitere Ausführung einer Umlenkoptik **38** mit sechs Spiegeln D1 bis D6. Der erste Spiegel D1 ist ein konvexer Zylinderspiegel. Die beiden nächsten Umlenkspiegel D2, D3 sind jeweils konkave Zylinderspiegel mit identischem Krümmungsradius. Der nächste Umlenkspiegel D4 ist ein Planspiegel. Die beiden letzten Umlenkspiegel D5, D6 der Umlenkoptik **38** sind wiederum konkave Zylinderspiegel mit identischem Krümmungsradius.

[0134] Genauere Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, die vom Aufbau der Tabelle zu **Fig. 16** entspricht.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	7402.070457	197.715713
D2	-123031.042588	332.795789

D3	-123031.042588	459.491141
D4	0.000000	608.342998
D5	-87249.129389	857.423893
D6	-87249.129389	

Tabelle zu Fig. 17

[0135] Die Umlenkoptik **38** hat einen Aufweitungsfaktor von 5 für das x/y-Aspektverhältnis.

[0136] Fig. 18 zeigt eine weitere Ausführung einer Umlenkoptik **39** mit sechs Spiegeln D1 bis D6. Der erste Spiegel D1 der Umlenkoptik **39** ist ein konvexer Zylinderspiegel. Der nachfolgende zweite Umlenkspiegel D2 ist ein Planspiegel. Die nachfolgenden Umlenkspiegel D3 bis D6 sind jeweils konkave Zylinderspiegel. Die Krümmungsradien der Spiegel D3 und D4 einerseits sowie der Spiegel D5 und D6 andererseits sind identisch.

[0137] Genauere Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, die vom Aufbau der Tabelle zu Fig. 17 entspricht.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	7950.882348	196.142128
D2	0.000000	322.719989
D3	-207459.983757	451.327919
D4	-207459.983757	627.317787
D5	-90430.481262	839.555523
D6	-90430.481262	

Tabelle zu Fig. 18

[0138] Die Umlenkoptik **39** hat einen Aufweitungsfaktor von 5 für das x/y-Aspektverhältnis.

[0139] Bei einem Alternativdesign zu Fig. 18 ist die Spiegelabfolge konvex/plan/konkav/konkav/konkav/konkav genau wie bei der vorstehend beschriebenen Ausführung der Umlenkoptik **39**. Dieses Alternativdesign zu Fig. 18 unterscheidet sich in den konkreten Krümmungsradien und Spiegelabständen, wie die nachfolgende Tabelle verdeutlicht:

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	10293.907897 S	192.462359
D2	0.000000 S	285.944981
D3	-101659.408806 S	360.860262
D4	-101659.408806 S	451.967976
D5	-101659.408806 S	517.093086
D6	-101659.408806	

Tabelle „Alternativdesign zu Fig. 18“

[0140] Dieses Alternativdesign zu Fig. 18 hat einen Aufweitungsfaktor von 4 für das x/y-Aspektverhältnis des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9**.

[0141] Fig. 19 zeigt eine weitere Ausführung einer Umlenkoptik **40** mit sechs Spiegeln D1 bis D6. Der erste Umlenkspiegel D1 der Umlenkoptik **40** ist ein konvexer Zylinderspiegel. Die beiden nachfolgenden Umlenkspiegel D2 und D3 sind Planspiegel. Die nachfolgenden Umlenkspiegel D4 bis D6 der Umlenkoptik **40** sind konkave Zylinderspiegel. Die Krümmungsradien der beiden letzten Umlenkspiegel D5 und D6 sind iden-

tisch. Genauere Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden, die vom Aufbau der Tabelle zu Fig. 18 entspricht.

	Krümmungsradius	Abstand zum nächsten Spiegel
D1	8304.649871	195.440359
D2	0.000000	314.991402
D3	0.000000	435.995630
D4	-237176.552267	622.135962
D5	-85355.457233	852.531832
D6	-85355.457233	

Tabelle zu Fig. 19

[0142] Die Umlenkoptik **40** hat einen Aufweitfaktor von 5 für das x/y-Aspektverhältnis.

[0143] Bei einer weiteren, nicht dargestellten Variante hat die Umlenkoptik insgesamt acht Spiegel D1 bis D8. Die im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** führenden beiden Umlenkspiegel D1 und D2 sind konkave Zylinderspiegel. Die vier nachfolgenden Umlenkspiegel D3 bis D6 sind konvexe Zylinderspiegel. Die beiden letzten Umlenkspiegel D7 und D8 dieser Umlenkoptik sind wiederum konkave Zylinderspiegel.

[0144] Diese Spiegel D1 bis D8 sind vergleichbar zum Spiegel D1 der Fig. 13 mit Aktoren **34** verbunden, über die ein Abstand zwischen benachbarten Spiegeln D1 bis D8 vorgegeben werden kann.

[0145] Die nachfolgende Tabelle zeigt die Auslegung dieser Umlenkoptik mit den acht Spiegeln D1 bis D8, wobei neben den Krümmungsradien auch die Spiegelabstände für verschiedenen Halbmesser $d_{out}/2$ des ausfallenden EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** angegeben sind. Der EUV-Einzel-Ausgabestrahls fällt hierbei mit einer Halbmesser $d_{in}/2$ von 10 mm in die Umlenkoptik mit acht Spiegeln D1 bis D8 ein, sodass je nach den angegebenen Abstandswerten Aufweitfaktoren für das x/y-Aspektverhältnis des umgelenkten EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** von 4,0, von 4,5 und von 5,0 realisiert werden.

	Krümmungsradius [mm]	40 mm Halbmesser	Abstände [mm] für 45 mm Halbmesser	50 mm Halbmesser
D1	-24933.160828	233.314949	313.511608	355.515662
D2	-96792.387128	261.446908	184.453510	159.189884
D3	13933.786194	120.747224	278.984993	124.048048
D4	7248.275614	150.818354	311.248621	385.643707
D5	29532.874950	204.373669	219.654058	296.180993
D6	100989.002210	872.703663	698.841397	665.602749
D7	-87933.616578	1176.395997	1462.002885	1318.044212
D8	-79447.352117			

[0146] Bei einer weiteren, ebenfalls nicht dargestellten Ausführung der Umlenkoptik sind vier Spiegel D1 bis D4 vorhanden. Der erste Spiegel D1 und der dritte Spiegel D3 im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9**, sind als konvexe Zylinderspiegel und die beiden weiteren Spiegel D2 und D4 sind als konkave Zylinderspiegel ausgeführt. In der nachfolgenden Tabelle sind neben den Krümmungsradien auch Abstandswerte angegeben, die für einen Eingangs-Halbmesser $d_{in}/2$ des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** von 10 mm gerechnet sind, die also zu Aufweitfaktoren beim Durchgang durch diese Umlenkgruppe mit den vier Spiegeln D1 bis D4 für das x/y-Aspektverhältnis von 1,5, (Halbmesser $d_{out}/2$ 15 mm) von 1,75 (Halbmesser $d_{out}/2$ 17,5 mm) und von 2,0 (Halbmesser $d_{out}/2$ 20 mm) führen.

	Krümmungsradius [mm]	15 mm Halbmesser	Abstände [mm] für 17,5 mm Halbmesser	20 mm Halbmesser
D1	112692.464497	1718.226630	6884.616863	7163.537958
D2	-488601.898900	250.044362	205.433074	3185.838011
D3	112362.082498	1439.444519	263.976778	175.458248
D4	-86905.078626			

[0147] Die Umlenkoptik **13** kann derart ausgelegt sein, dass parallel einfallendes Licht die Umlenkoptik parallel wieder verlässt. Die Abweichung der Richtungen parallel in die Umlenkoptik **13** eingefallener Strahlen des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** nach Verlassen der Umlenkoptik kann kleiner als 10 mrad, insbesondere kleiner als 1 mrad und insbesondere kleiner als 100 μ rad sein.

[0148] Die Spiegel D_i der Umlenkoptik **13** können auch ohne Brechkraft, also plan, ausgeführt sein. Dies ist insbesondere möglich, wenn das x/y-Aspektverhältnis eines EUV-Sammel-Ausgabestrahls **7** ein Seitenverhältnis von N:1 besitzt, wobei N eine Anzahl der mit der Lichtquelle **2** zu versorgenden Projektionsbelichtungsanlagen **1** ist. Das Aspektverhältnis kann noch mit einem gewünschten Soll-Aspektverhältnis multipliziert werden.

[0149] Eine Umlenkoptik **13** aus Spiegeln D_i ohne Brechkraft kann aus drei bis zehn Spiegeln bestehen, insbesondere aus vier bis acht Spiegeln, insbesondere aus vier oder fünf Spiegeln.

[0150] Die Lichtquelle **2** kann linear polarisiertes Licht abgeben, die Polarisationsrichtung, d.h., die Richtung des elektrischen Feldstärkevektors, des Beleuchtungslichts **3** beim Auftritt auf einen Spiegel der Umlenkoptik **13** kann senkrecht auf der Einfallsebene stehen. Eine Umlenkoptik **13** aus Spiegeln D_i ohne Brechkraft kann aus weniger als drei Spiegeln bestehen, insbesondere aus einem Spiegel.

[0151] In der Strahlführungsoptik **10** der jeweiligen Umlenkoptik im Strahlengang des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9** nachgelagert ist eine Fokussier-Baugruppe **41**, die auch als Einkoppeloptik bezeichnet ist.

[0152] Fig. 20 zeigt schematisch die Funktion der Einkoppeloptik **41** für einen der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen **9_i**. Die Fokussier-Baugruppe **41** überführt den jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestahl **9_i** in einen Zwischenfokus **42** der Strahlführungsoptik **10**. Der Zwischenfokus **42** ist am Ort einer Durchtrittsöffnung **43** für das Beleuchtungslicht **3** angeordnet. Die Durchtrittsöffnung **43** kann in einer Gebäudedecke eines Gebäudes ausgeführt sein, in dem das System mit den Projektionsbelichtungsanlagen **1** untergebracht ist. Die Gebäudedecke verläuft in einer Zwischenfokusebene **44** der Strahlführungsoptik **10**, die auch in der Fig. 1 dargestellt ist.

[0153] Die Fokussier-Baugruppe **41** hat einen effektiven Umlenkwinkel für einen zentralen Hauptstrahl CR von etwa 10°.

[0154] In einer anderen Ausgestaltung hat die Fokussier-Baugruppe **41** einen effektiven Umlenkwinkel für einen zentralen Hauptstrahl CR, wobei der effektive Umlenkwinkel zwischen $\delta/2$ und δ liegt, und δ der Winkel im Zwischenfokus **42** zwischen einem zentralen Hauptstrahl und einem Randstrahl ist. Der Sinus von δ wird auch als numerische Apertur (NA) der Strahlung **3** im Zwischenfokus **42** bezeichnet.

[0155] Fig. 21 verdeutlicht die fokussierende Wirkung einer alternativen Fokussier-Baugruppe **45**, die anstelle der Fokussier-Baugruppe **41** nach Fig. 20 zum Einsatz kommen kann. Im Unterschied zur Fokussier-Baugruppe **41** lenkt die Fokussier-Baugruppe **45** alle Einzelstrahlen des einfallenden EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** in der xz-Einfallsebene in der gleichen Ablenkrichtung, nämlich hin zu negativen y-Werten, ab. Der geringste Ablenkwinkel des in der Fig. 21 ganz links dargestellten, fokussierten Einzelstrahls **46** des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** ist in der Fig. 21 mit α bezeichnet und beträgt 5° oder weniger.

[0156] Die Fokussier-Baugruppe **45** hat einen effektiven Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR von etwa 20°.

[0157] In einer anderen Ausgestaltung hat die Fokussier-Baugruppe **45** einen effektiven Umlenkwinkel für einen zentralen Hauptstrahl CR, wobei der effektive Umlenkwinkel zwischen $\delta/2$ und δ liegt, und δ der Winkel im Zwischenfokus **42** zwischen einem zentralen Hauptstrahl und einem Randstrahl ist.

- [0158] Anhand der **Fig. 22** bis **Fig. 25** werden nachfolgend Ausführungsvarianten für Fokussier-Baugruppen erläutert, die für die Fokussier-Baugruppen **41** oder **45** zum Einsatz kommen können.
- [0159] Die **Fig. 22** bis **Fig. 25** stellen jeweils Meridionalschnitte durch die beteiligten Spiegel-Reflexionsflächen dar. Genutzte Reflexionsabschnitte dieser Spiegelflächen sind durch stärkere Linien hervorgehoben. Zur Verdeutlichung der Flächenkonstruktion Ellipsoid-Hyperboloid/Paraboloid sind für die jeweilige Spiegelform charakteristische Parent-Flächenschnitte mit dünneren Linien ebenfalls eingezeichnet.
- [0160] Eine Fokussier-Baugruppe **46** nach **Fig. 22** hat zwei im Strahlengang des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** nachgeordnete Spiegel, nämlich einen führenden Ellipsoid-Spiegel **47** und einen nachfolgenden Hyperboloid-Spiegel **48**.
- [0161] Ein effektiver Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** beträgt bei der Fokussier-Baugruppe **46** etwa 50°. Bei der Fokussier-Baugruppe **46** addieren sich die Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR bei der Reflexion an den beiden Spiegeln **47** und **48**.
- [0162] Die Spiegel **47** und **48** sind als Konkavspiegel ausgeführt. Die Fokussier-Baugruppe **46** ist nach Art eines Wolter-Kollektors vom Typ I ausgeführt. Informationen zu den verschiedenen Typen von Wolter-Kollektoren finden sich in: H.Wolter, Spiegelsysteme streifenden Einfalls als abbildende Optiken für Röntgenstrahlen, Annalen der Physik, Band 10, Seiten 94 bis 114, 1952.
- [0163] In einer alternativen Ausgestaltung ist ein effektiver Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR des EUV-Ausgabestrahls **9_i** bei der Fokussier-Baugruppe **46** kleiner als 40°, insbesondere kleiner als 30°, insbesondere kleiner als 15°, und insbesondere kleiner als 10°.
- [0164] In einer alternativen Ausgestaltung ist ein effektiver Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR des EUV-Ausgabestrahls **9_i** bei der Fokussier-Baugruppe **46** kleiner als der doppelte Winkel zwischen dem zentralen Hauptstrahl CR und einem Randstrahl im Zwischenfokus **42**.
- [0165] Eine Fokussier-Baugruppe **49** nach **Fig. 23** umfasst ebenfalls zwei Spiegel, nämlich einen führenden Ellipsoid-Spiegel **50** und einen nachfolgenden Hyperboloid-Spiegel **51**.
- [0166] Der Spiegel **50** ist konkav und der Spiegel **51** ist konvex.
- [0167] Bei der Fokussier-Baugruppe **49** subtrahieren sich die Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR bei der Reflexion an den Spiegeln **50** und **51**.
- [0168] Ein effektiver Umlenkwinkel für den Hauptstrahl CR beträgt bei der Fokussier-Baugruppe **49** etwa 30°.
- [0169] Die Fokussier-Baugruppe **49** ist nach Art eines Wolter-Kollektors vom Typ II ausgeführt.
- [0170] In einer alternativen Ausgestaltung hat die Fokussier-Baugruppe **49** einen effektiven Umlenkwinkel für den Hauptstrahl CR von maximal 20°, insbesondere von maximal 15°, und insbesondere von maximal 10°.
- [0171] In einer Ausgestaltung der Fokussier-Baugruppe **49** beträgt der effektive Umlenkwinkel für den Hauptstrahl CR weniger als der doppelte Winkel zwischen Hauptstrahl CR und einem Randstrahl im Zwischenfokus **42**.
- [0172] Eine Fokussier-Baugruppe **52** nach **Fig. 24** hat ebenfalls zwei im Strahlengang des EUV-Einzel-Ausgabestrahls **9_i** einander nachgeordnete Spiegel, nämlich einen führenden Paraboloid-Spiegel **53** und einen nachfolgenden Ellipsoid-Spiegel **54**.
- [0173] Der Spiegel **53** ist konvex und der Spiegel **54** ist konkav.
- [0174] Bei der Fokussier-Baugruppe **52** subtrahieren sich die Umlenkwinkel für den zentralen Hauptstrahl CR bei der Reflexion an den Spiegeln **53** und **54**.
- [0175] Ein effektiver Umlenkwinkel für den Hauptstrahl CR beträgt bei der Fokussier-Baugruppe **52** etwa 50°.
- [0176] Die Fokussier-Baugruppe **52** ist nach Art eines Wolter-Kollektors vom Typ III ausgeführt.

[0177] Fig. 25 zeigt eine weitere Ausführung einer Fokussier-Baugruppe **52**, die ebenfalls nach Art eines Wolter-Kollektors des Typs III ausgeführt ist. Komponenten und Funktionen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fokussier-Baugruppen nach den Fig. 21 bis Fig. 24 und insbesondere unter Bezugnahme auf die Fokussier-Baugruppe nach Fig. 24 bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0178] Eine Ausgangsdivergenz des EUV-Einzel-Ausgabestrahls 9_i wird vorgegeben durch eine numerische Apertur NA des EUV-Einzel-Ausgabestrahls 9_i im Zwischenfokus **42**. Abhängig von dieser numerischen Apertur NA kann näherungsweise für eine Transmission T der Fokussier-Baugruppe nach Fig. 25 angegeben werden:

$$T = 1 - 0,9 NA$$

[0179] Hierbei ist die numerische Apertur NA als der Sinus des Winkels zwischen einem Hauptstrahl und einem Randstrahl im Zwischenfokus **42** definiert. Eine äquivalente Definition lautet, dass die NA der Sinus des halben Bündel-Divergenzwinkels ist.

[0180] Eine große Halbachse eines Ellipsoids, welches die Reflexionsfläche des Ellipsoid-Spiegels **54** beschreibt, hat die Länge a. Ein Bauraum **2a**, der für die Fokussier-Baugruppe **55** erforderlich ist, hat eine typische Dimension von **2a**.

[0181] Die typische Bauraum-Dimension **2a** beträgt etwa das fünfzigfache eines Strahldurchmessers d des EUV-Einzel-Ausgabestrahls 9_i beim Einfall in die Fokussier-Baugruppe **55**. Dieses Verhältnis allenfalls schwach abhängig von der numerischen Apertur NA im Zwischenfokus **42**.

[0182] Eine typische Dimension der Reflexionsflächen des Ellipsoid-Spiegels **54** beträgt ebenfalls a. Bei einer typischen Ausdehnung der Reflexionsfläche des Ellipsoid-Spiegels **54** von 1,4 m folgt für den Strahldurchmesser d ein Durchmesser von etwa 60 mm.

[0183] Der Ellipsoid-Spiegel **54** hat eine kurze Halbachse b. Diese kurze Halbachse b steht senkrecht auf der Zeichenebene der Fig. 25. Für das Verhältnis der Halbachsen b/a gilt:

$$b/a \sim 0,8 NA$$

[0184] NA ist hierbei die numerische Apertur im Zwischenfokus **42**.

[0185] Der Paraboloid-Spiegel **53** hat eine Brennweite f. Für das Verhältnis aus der langen Halbachse a des Ellipsoid-Spiegels **54** und der Brennweite f des Paraboloid-Spiegels gilt:

$$a/f > 50$$

[0186] Bei der Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauteils mit der Projektionsbelichtungsanlage **1** werden zunächst das Retikel **12** und der Wafer **24** bereitgestellt. Anschließend wird eine Struktur auf dem Retikel **12** auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers **24** mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** projiziert. Durch Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht wird eine Mikro- oder Nanostruktur auf dem Wafer **24** und somit das mikro- oder nanostrukturierte Bauteil hergestellt, beispielsweise ein Halbleiterbauelement in Form eines Speicherchips.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2011/0014799 A1 [0002]
- WO 2009/121438 A1 [0002, 0002, 0057]
- US 2009/0174876 A1 [0002]
- US 6438199 B1 [0002]
- US 6658084 B2 [0002]
- DE 10358225 B3 [0002, 0057]
- US 6859515 B [0002]
- US 2003/0002022 A1 [0002]
- DE 102009025655 A1 [0002]
- US 6700952 [0002]
- US 2004/0140440 A [0002]
- US 2003/0043359 A1 [0002]
- US 5896438 [0002]
- US 2007/0152171 A1 [0057]
- EP 1072957 A2 [0058]
- US 6198793 B1 [0058]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Uwe Schindler „Ein supraleitender Undulator mit elektrisch umschaltbarer Helizität“, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, wissenschaftliche Berichte, FZKA 6997, August 2004 [0057]
- H.Wolter, Spiegelsysteme streifenden Einfalls als abbildende Optiken für Röntgenstrahlen, Annalen der Physik, Band 10, Seiten 94 bis 114, 1952 [0162]

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem für die EUV-Projektionslithographie
 - mit einer Strahlformungsoptik (6) zur Erzeugung eines EUV-Sammel-Ausgabestrahls (7) aus einem EUV-Rohstrahl (4) einer synchrotronstrahlungsbasierten Lichtquelle (2),
 - mit einer Auskoppeloptik (8) zur Erzeugung mehrerer EUV-Einzel-Ausgabestrahlen (9_i) aus dem EUV-Sammel-Ausgabestrahl (7),
 - mit jeweils einer Strahlführungsoptik (10) zur Führung des jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahls (9_i) hin zu einem Objektfeld (11), in dem eine Lithographiemaske (12) anordenbar ist.
2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlformungsoptik (6) zur Erzeugung des EUV-Sammel-Ausgabestrahls (7) mit einem Aspektverhältnisbeitrag von $1:\sqrt{N}$ ausgeführt ist, wobei die Auskoppeloptik (8) und/oder die Strahlführungsoptik (10) zur nachfolgenden Erzeugung einer Anzahl N der EUV-Einzel-Ausgabestrahlen (9₁, 9_N) mit einem Aspektverhältnisbeitrag von jeweils 1:1 ausgeführt sind.
3. Strahlformungsoptik (6) für ein Beleuchtungssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlformungsoptik (6) mindestens zwei Gruppen (27, 28) von Spiegeln (27_i, 28_i) aufweist, die unter streifendem Einfall mit EUV-Strahlung (3) beaufschlagt werden, wobei jede Spiegelgruppe (27, 28) eine gemeinsame Gruppen-Einfallsebene (yz, xz) aufweist, wobei sich die Gruppen-Einfallsebenen (yz, xz) der Spiegelgruppen (27, 28) voneinander unterscheiden.
4. Strahlformungsoptik nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Spiegel (28₁, 28₂) einer der Spiegelgruppen (28) im Strahlengang nach einem ersten Spiegel (27₁) einer weiteren Spiegelgruppe (27) und vor einem letzten Spiegel (27₂; 27₃) dieser weiteren Spiegelgruppe (27) angeordnet sind.
5. Strahlformungsoptik nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einfallswinkel (α) der EUV-Strahlung auf allen Spiegeln (27_i, 28_i) einer der Spiegelgruppen (27, 28) gleich groß sind.
6. Strahlformungsoptik nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch verschiedene Einfallswinkel (α, β ; α, β, γ) der EUV-Strahlung (3) auf mindestens zwei Spiegeln (27₁, 27₂; 28₁, 28₂; 27₁, 27₂, 27₃) einer der Spiegelgruppen (27, 28).
7. Strahlformungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass, projiziert auf die Gruppen-Einfallsebene (xz) der Spiegelgruppe (27) mit verschiedenen Einfallswinkeln (α, β ; α, β, γ), der erzeugte EUV-Sammel-Ausgabestrahl (7) in der gleichen Richtung (z) verläuft wie der EUV-Rohstrahl (4), der in die Strahlformungsoptik (30) einfällt.
8. Umlenkoptik (13; 35; 36; 37, 38; 39; 40) als Teil einer Strahlführungsoptik (10) eines Beleuchtungssystems nach Anspruch 1 oder 2
 - mit einer Mehrzahl von Umlenkspiegeln (D1 bis D4; D1 bis D5, D1 bis D6; D1 bis D8), die in einer gemeinsamen Umlenk-Einfallsebene (xz) unter streifendem Einfall mit EUV-Strahlung (3) beaufschlagt werden,
 - wobei mindestens vier Umlenkspiegel (D1 bis D4) für streifenden Einfall vorgesehen sind, die gemeinsam eine Umlenkwirkung in der Umlenk-Einfallsebene (xz) von mehr als 70° haben.
9. Umlenkoptik nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der Umlenkspiegel (D1; D1 bis D8; D1 bis D4) angetrieben verlagerbar ausgeführt ist.
10. Strahlführungsoptik (10) für ein Beleuchtungssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlführungsoptik (10) eine Fokussier-Baugruppe (14; 41; 45; 46; 49; 52; 55) aufweist, die den jeweiligen EUV-Einzel-Ausgabestrahl (9_i) in einen Zwischenfokus (42) der Strahlführungsoptik (10) überführt.
11. Strahlführungsoptik nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fokussier-Baugruppe (14; 41; 45, 46; 49; 52; 55) mindestens zwei Spiegel (47, 48; 50; 51; 53, 54), nämlich
 - mindestens einen Ellipsoid-Spiegel (47; 50; 54) einerseits und
 - mindestens einen Paraboloid-Spiegel (53) oder mindestens einen Hyperboloid-Spiegel (48; 51) andererseits aufweist.
12. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1 oder 2 mit einer EUV-Lichtquelle (2).
13. Projektionsbelichtungsanlage (1) für die EUV-Lithographie

- mit einem Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, 2 oder 12,
- mit einem Retikelhalter (20) zur Halterung eines mit Beleuchtungslicht (3) des optischen Systems zu beaufschlagenden Retikels (12) in dem Objektfeld (11),
- mit der Projektionsoptik (19) zur Abbildung des Beleuchtungsfeldes (11) in ein Bildfeld (22) in einer Bildebene (23),
- mit einem Waferhalter (25) zur Halterung eines Wafers (24) in der Bildebene (23) derart, dass bei einer Projektionsbelichtung im Objektfeld (11) angeordnete Retikel-Strukturen auf einen im Bildfeld (22) angeordneten Waferabschnitt abgebildet werden.

14. Verfahren zur Herstellung eines strukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bereitstellen eines Retikels (12) und eines Wafers (24),
- Projizieren einer Struktur auf dem Retikel (12) auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers (24) mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (1) nach Anspruch 13,
- Erzeugen einer Mikro- bzw. Nanostruktur auf dem Wafer (24).

15. Strukturiertes Bauteil, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 14.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

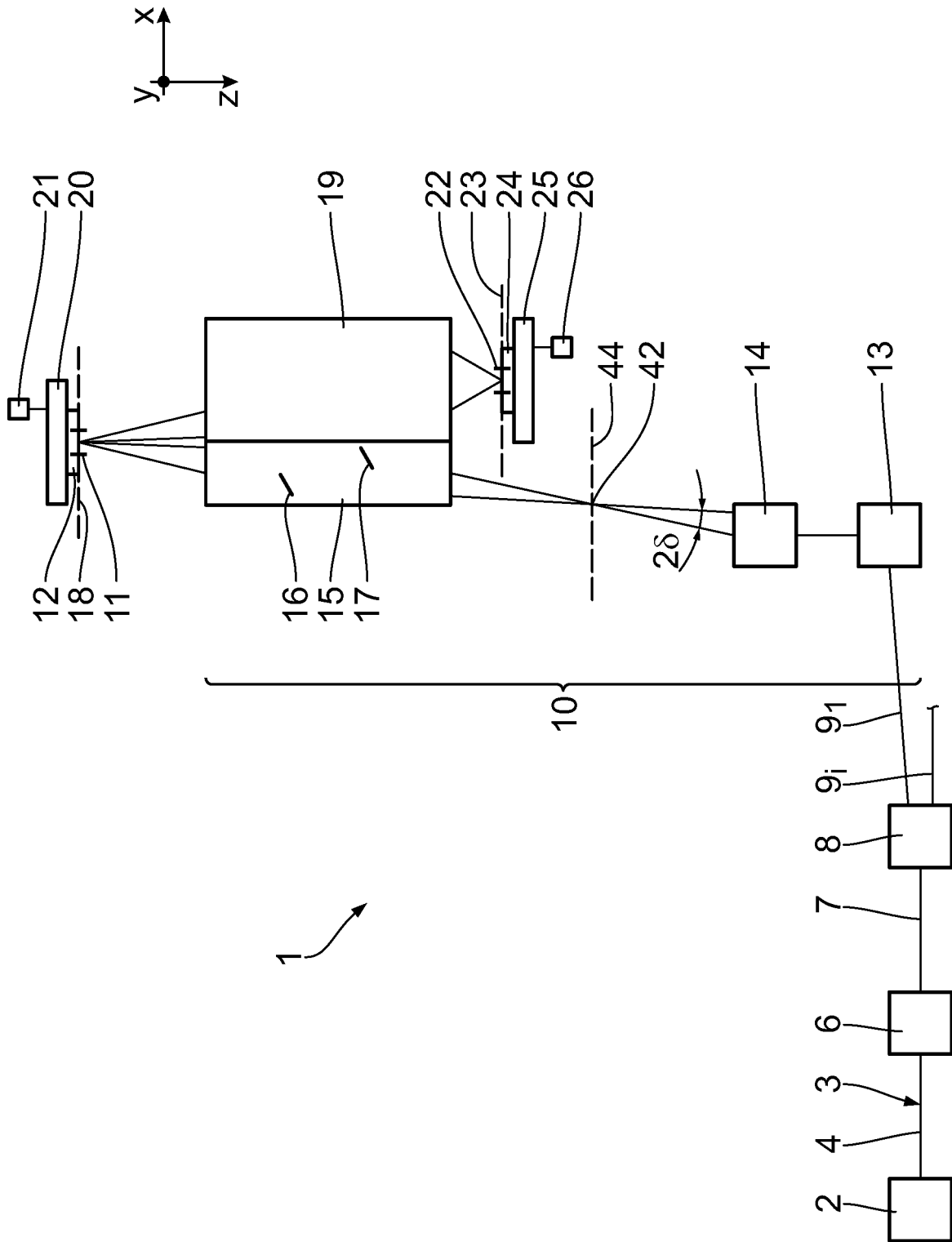
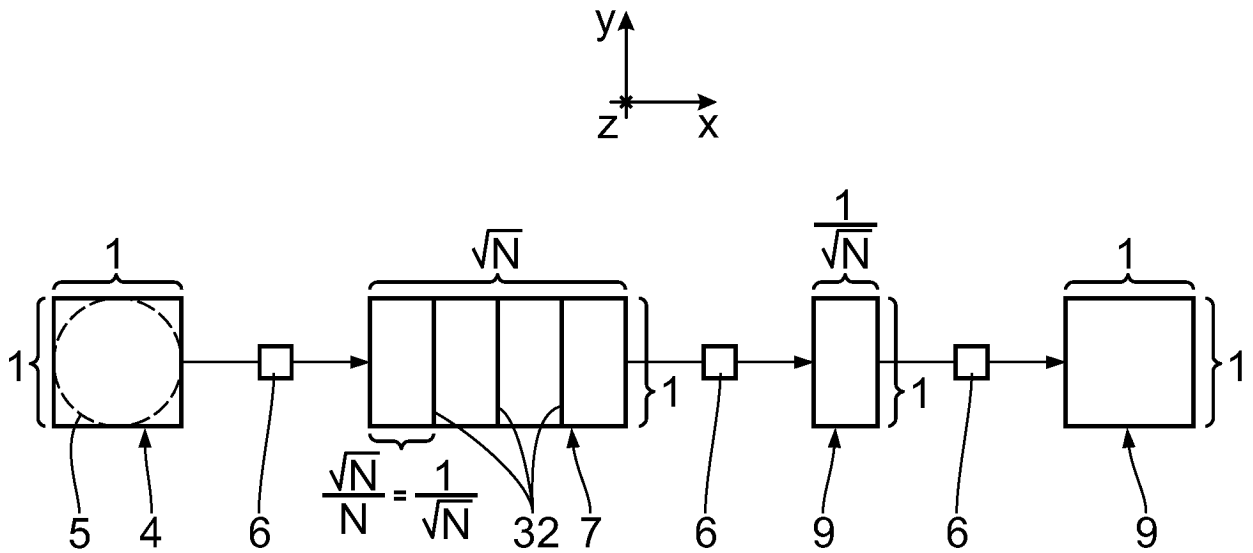
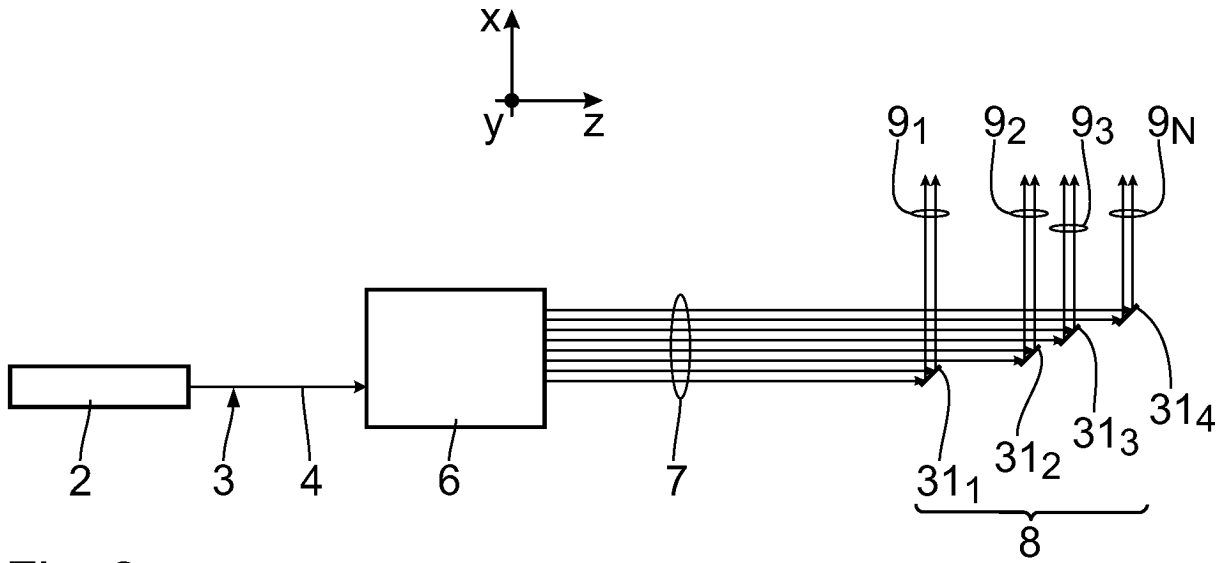


Fig. 1



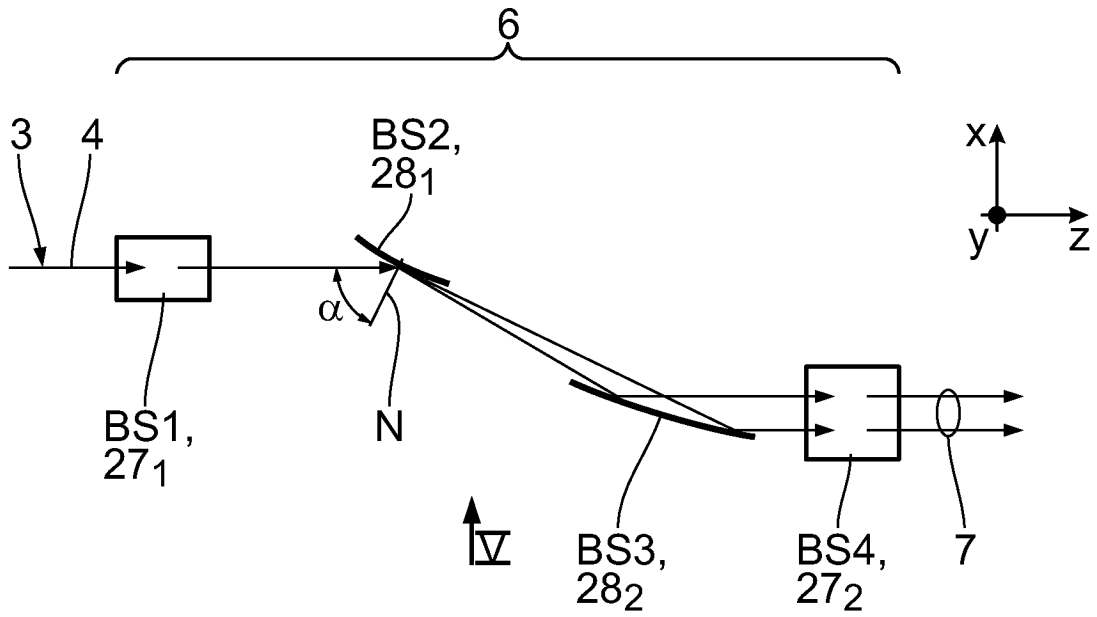


Fig. 4

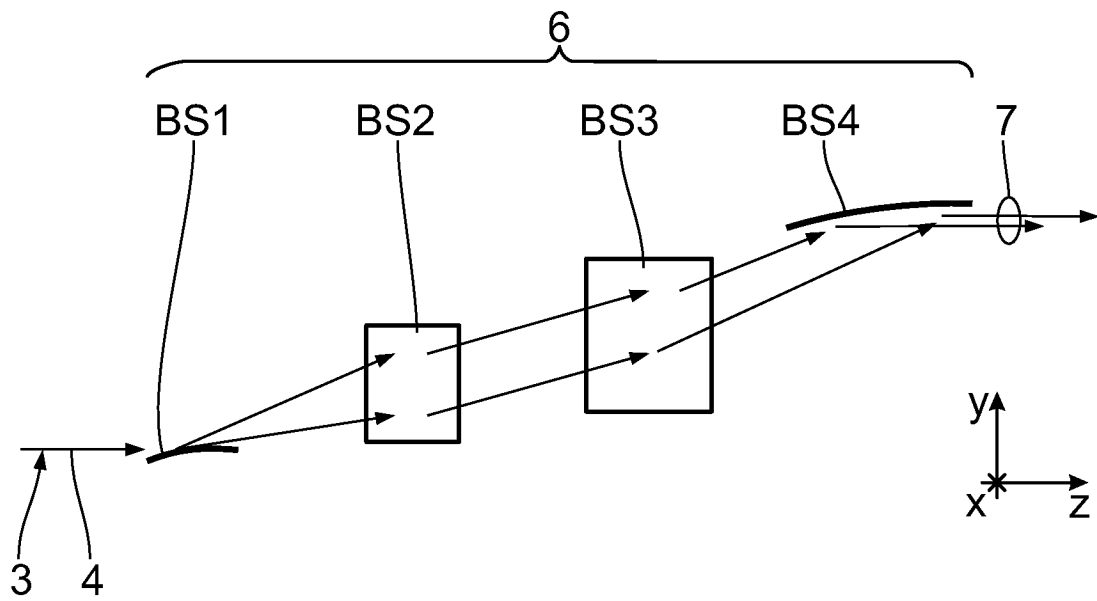


Fig. 5

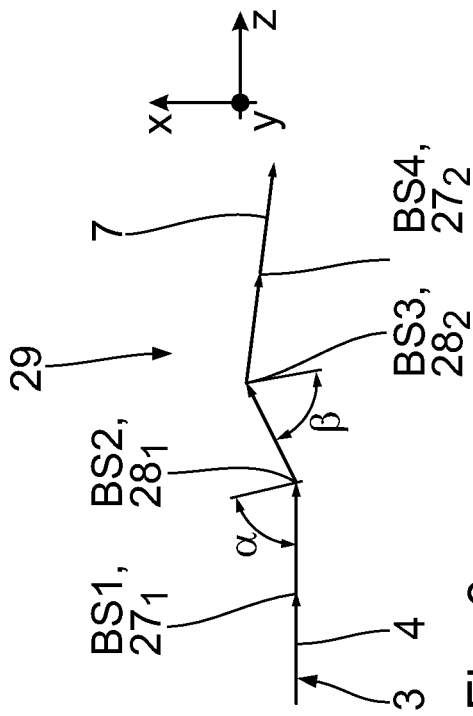


Fig. 8

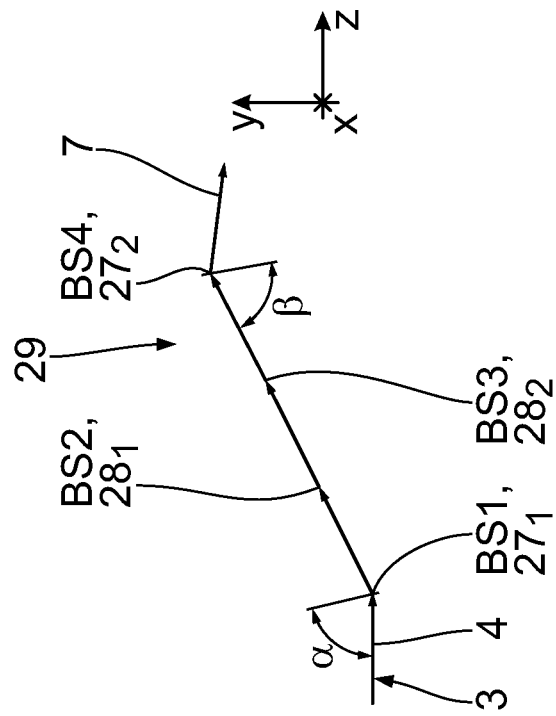


Fig. 9

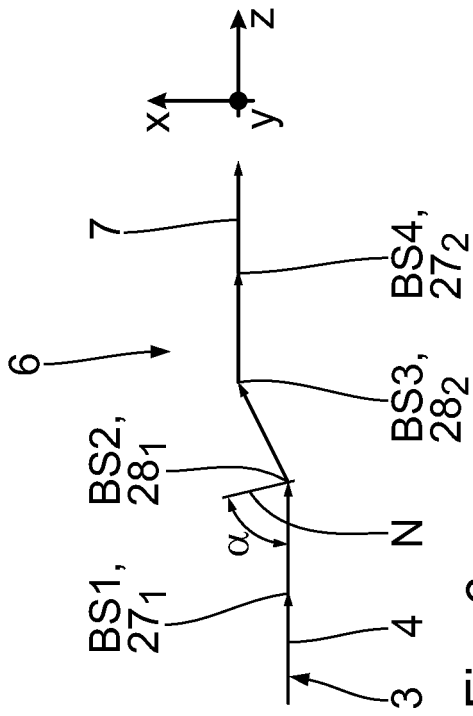


Fig. 6

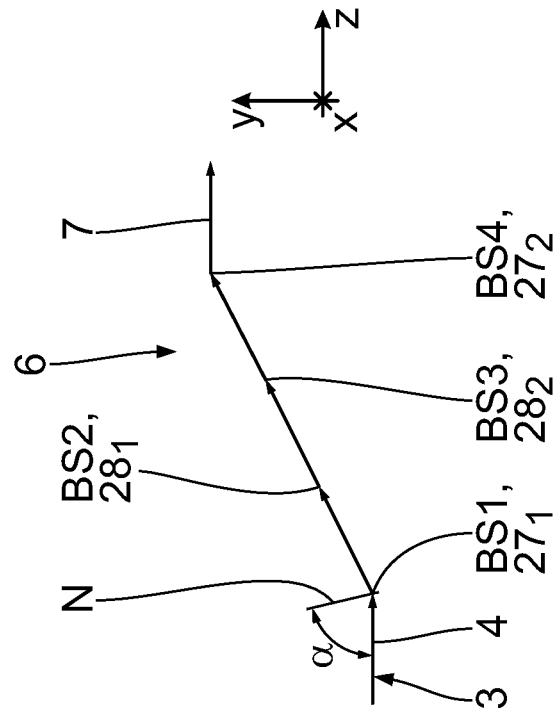


Fig. 7

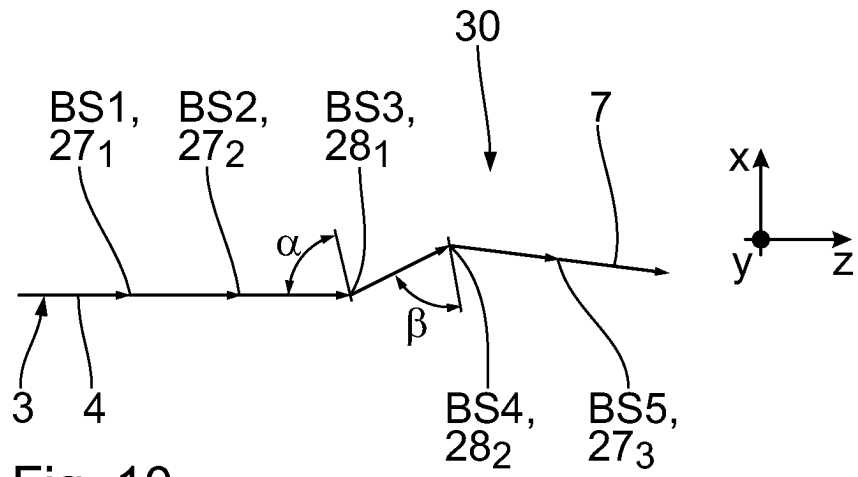


Fig. 10

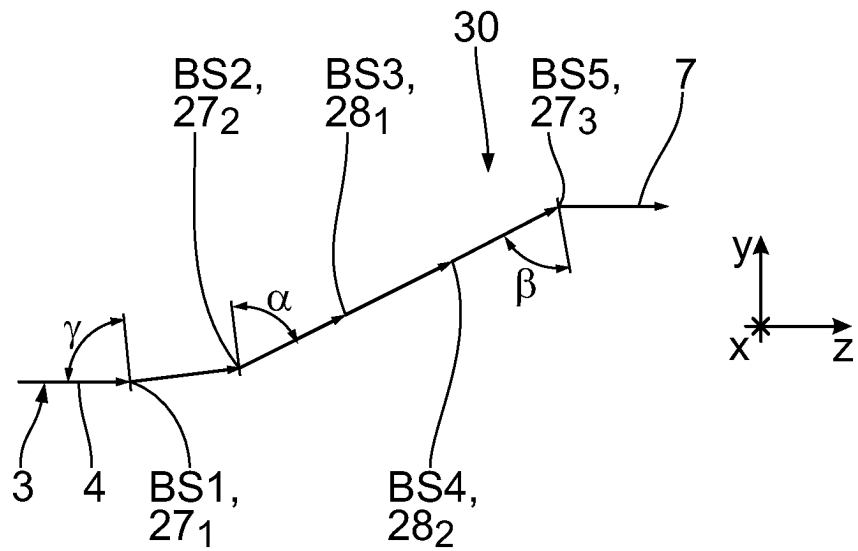


Fig. 11

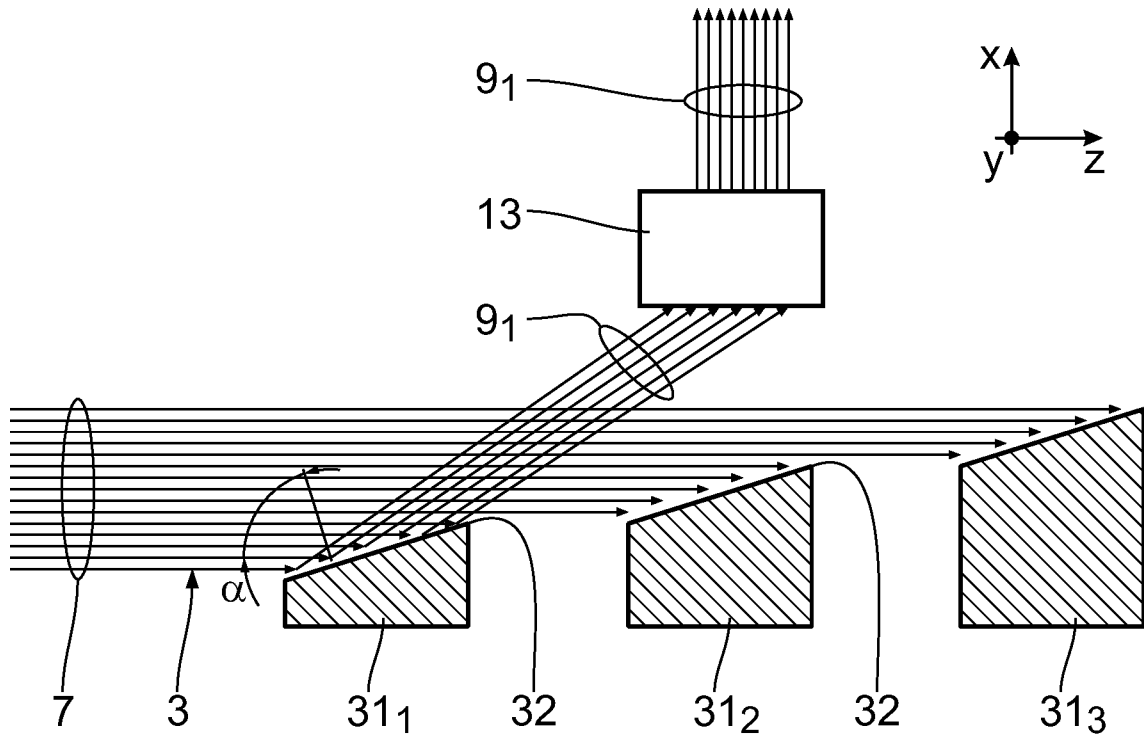


Fig. 12

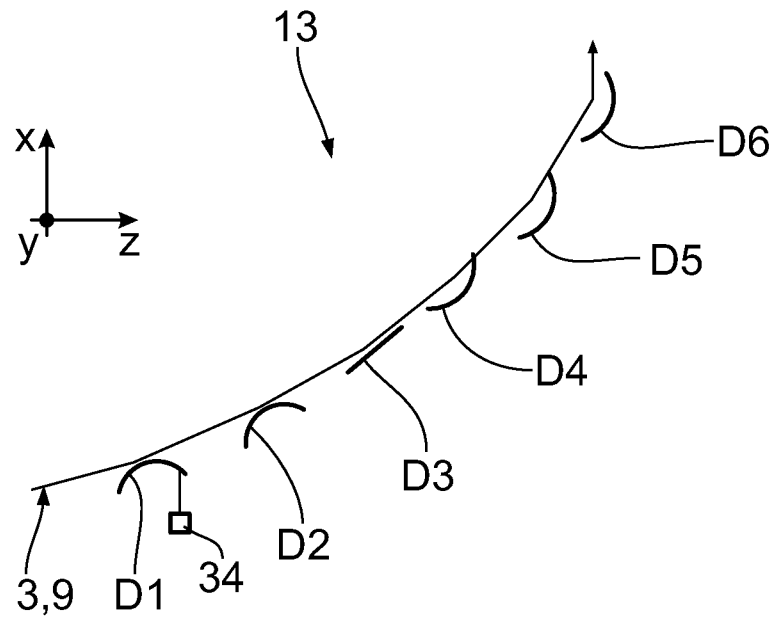


Fig. 13

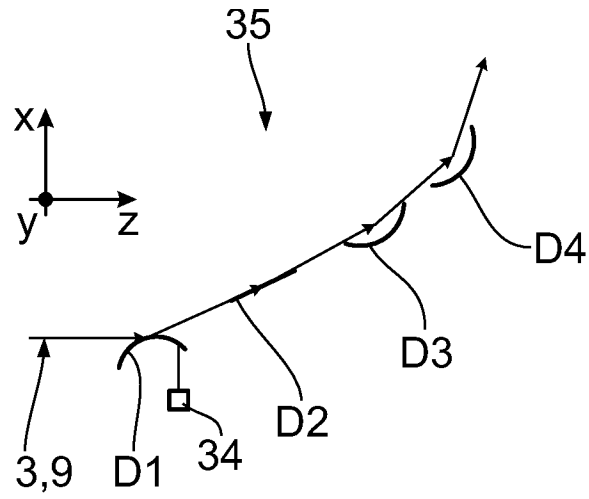


Fig. 14

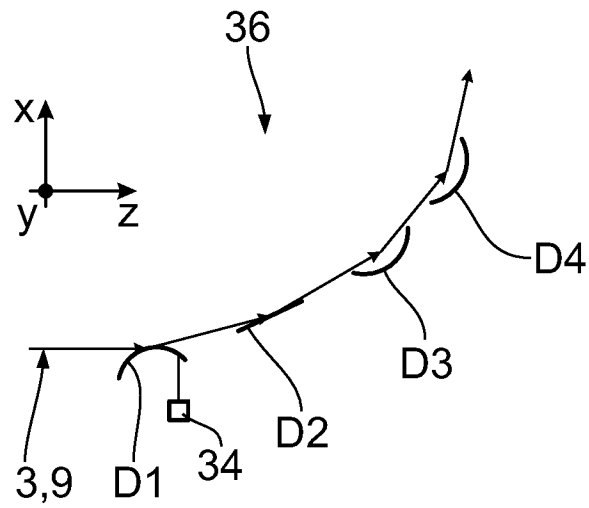


Fig. 15

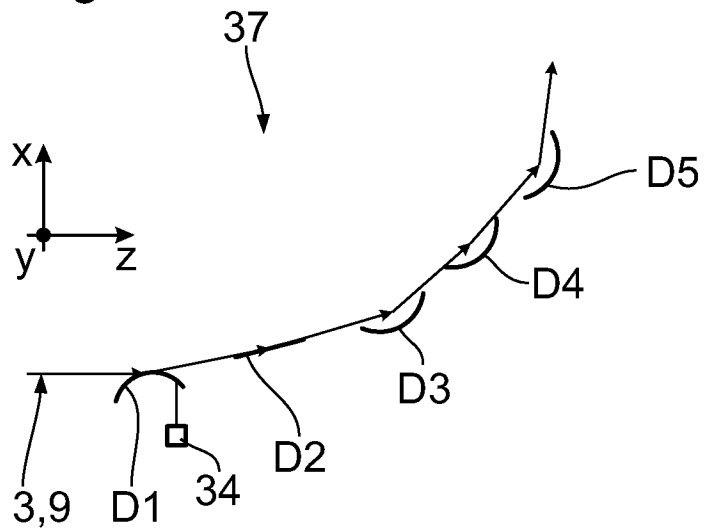


Fig. 16

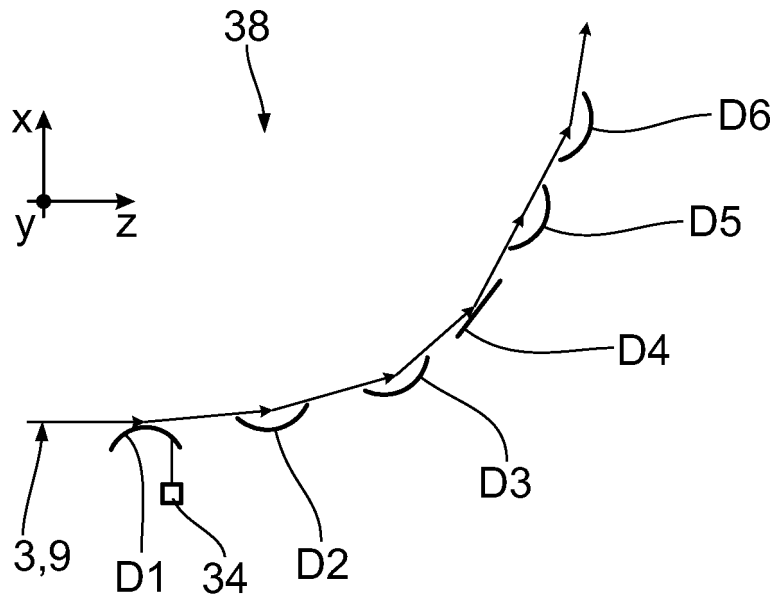


Fig. 17

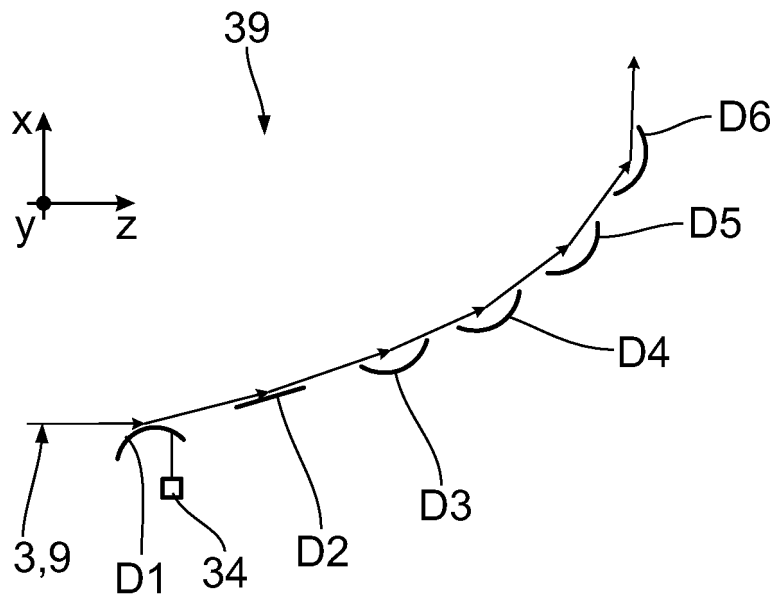


Fig. 18

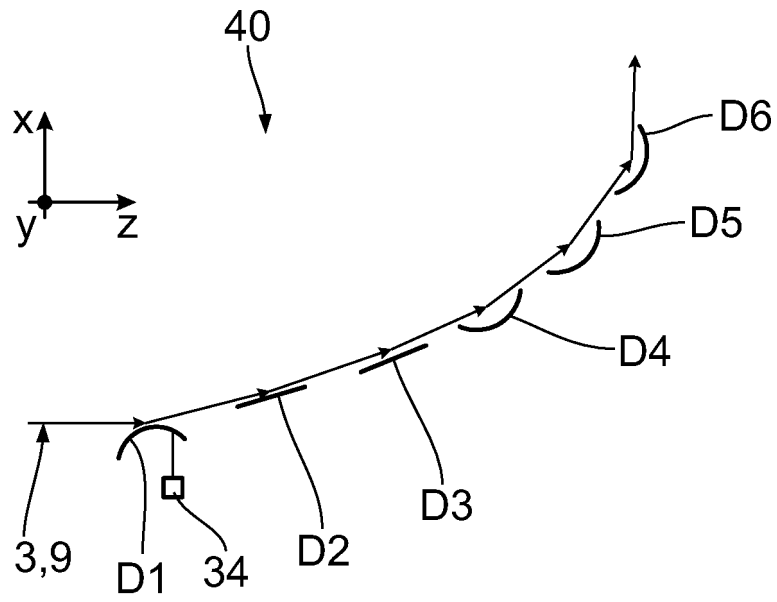


Fig. 19

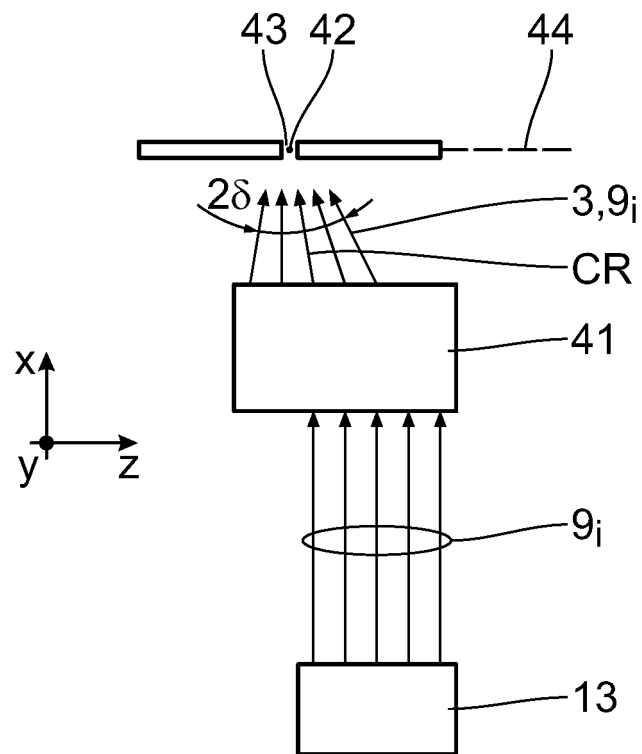


Fig. 20

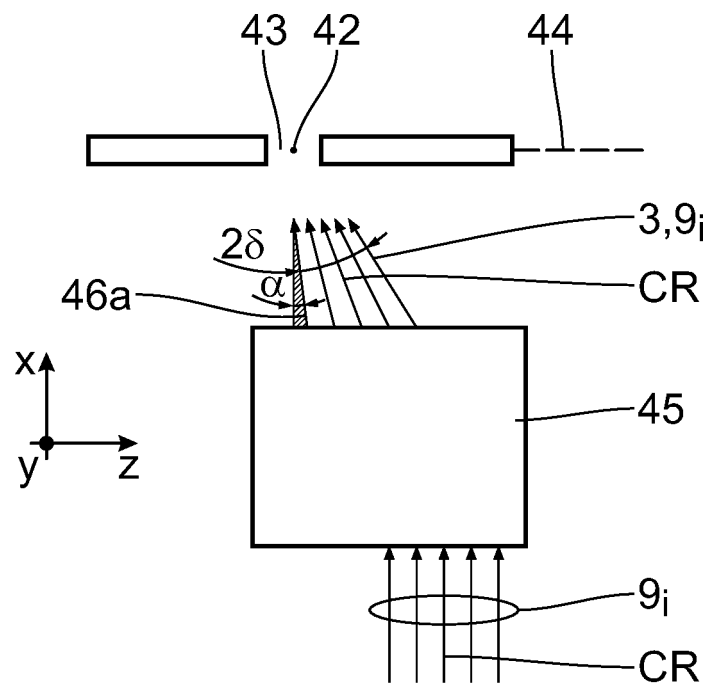


Fig. 21

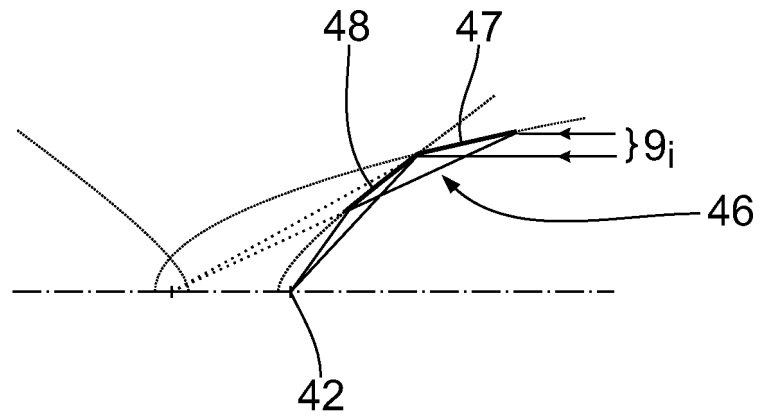


Fig. 22

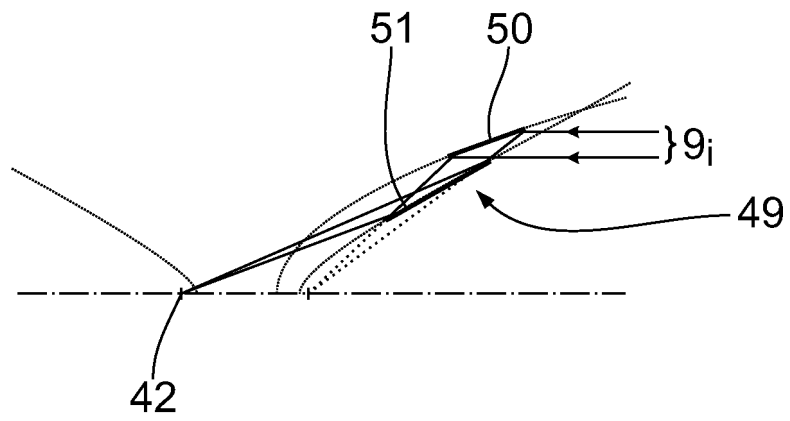


Fig. 23

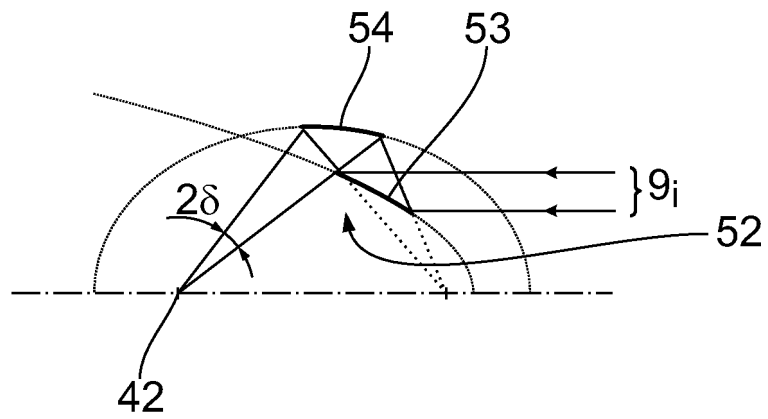


Fig. 24

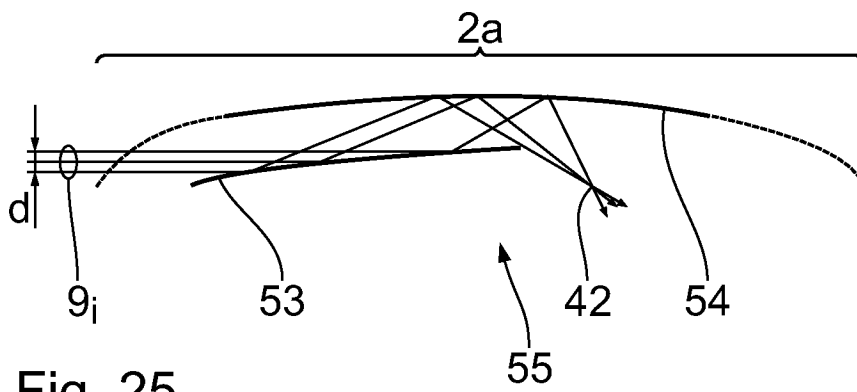


Fig. 25