

(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
27. Januar 2022 (27.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/017709 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03F 7/20 (2006.01) G02B 27/00 (2006.01)
G02B 7/00 (2021.01) F16B 33/06 (2006.01)

(74) Anwalt: **HORN KLEIMANN WAITZHOFFER PA-
TENTANWÄLTE PARTG MBB**; Ganghoferstr. 29a,
80339 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/066918

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juni 2021 (22.06.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 209 146.3
21. Juli 2020 (21.07.2020) DE

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

(72) Erfinder: **BADER, Dieter**; Friedhofweg 19, 73571 Gög-
gingen (DE). **OSTENDORF, Alexander**; Edith-Stein-Str.
21, 89129 Langenau (DE). **FRITZSCHE, Steffen**; Tog-
genburgerstr. 4, 73432 Aalen (DE). **BURGER, Andreas**;
Weinbergstr. 25, 86735 Amerdingen (DE). **DISTL, Josef**;
Meisengasse 7, 73447 Oberkochen (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, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
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,

(54) Title: FASTENING ELEMENT FOR A LITHOGRAPHY SYSTEM, LITHOGRAPHY SYSTEM, AND METHOD FOR PRO-
DUCING A FASTENING ELEMENT

(54) Bezeichnung: BEFESTIGUNGSELEMENT FÜR EINE LITHOGRAPHIEANLAGE, LITHOGRAPHIEANLAGE UND
VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES BEFESTIGUNGSELEMENTS

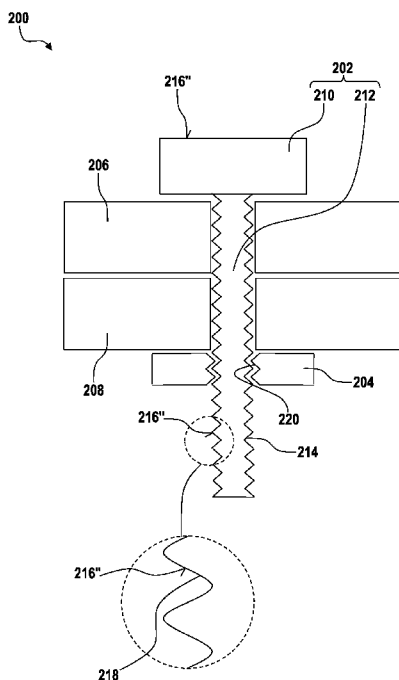


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a fastening element (202) for a lithography sys-
tem (100A, 100B), a surface (216'') of the fastening element (202) having macroscopic
uneven portions (1102) of microscopic smoothness.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Befestigungselement (202) für eine Lithographie-
anlage (100A, 100B) offenbart, wobei eine Oberfläche (216'') des Befestigungselements
(202) makroskopische Unebenheiten (1102) mit einer mikroskopischen Glätte aufweist.

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:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)*

BEFESTIGUNGSELEMENT FÜR EINE LITHOGRAPHIEANLAGE,
LITHOGRAPHIEANLAGE UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES
BEFESTIGUNGSELEMENTS

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Befestigungselement für eine Lithographieanlage, eine Lithographieanlage mit einem derartigen Befestigungselement und ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen Befestigungselements.

Der Inhalt der Prioritätsanmeldung DE 10 2020 209 146.3 wird durch Bezug-
10 nahme vollumfänglich mit einbezogen.

Die Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird mit einer Lithographieanlage durchgeführt, welche ein Be-
15 leuchtungssystem und ein Projektionssystem aufweist. Das Bild einer mittels des Beleuchtungssystems beleuchteten Maske (Retikel) wird hierbei mittels des Projektionssystems auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionssystems angeordnetes Substrat, beispielsweise einen Siliziumwafer, projiziert, um die Maskenstruktur auf
20 die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

Verschiedene Komponenten in der Lithographieanlage werden mittels Schraubverbindungen miteinander verbunden. Hier besteht jedoch das Risiko eines Kaltverschweißens der Schraubverbindung, zum Beispiel eines Kaltverschweißens einer Schraube mit einer Mutter. Ein Kaltverschweißen wird auch dadurch
25 begünstigt, dass die Schraubverbindungen meist fettfrei gehalten werden.

Zur Vermeidung eines Kaltverschweißens werden zum Beispiel goldbeschichtete Schrauben oder Nitronic-Schrauben (nitrogen strengthened stainless steel alloy)
30 verwendet. Diese Lösung hat allerdings den Nachteil, dass bei der Montage

durch Abrieb in der Gewindebohrung und im Bereich der Kopfauflage der Schraube Partikel erzeugt werden. Besonders viele Partikel werden bei Verschraubungen mit mehreren Umdrehungen und hohem Drehmoment erzeugt. In Anwendungsfällen, in denen die Schraubverbindung über einem optischen Element, einem mechanischen System oder einer elektronischen Anordnung der Lithographieanlage angeordnet ist, können diese Komponenten durch von der Schraubverbindung abfallende Partikel beschädigt werden. Beispielsweise können abgeriebene Partikel ein optisches Element verunreinigen, was zu Abbildungsfehlern oder einem Ausfall des optischen Elements führen kann. Beispielsweise können abgeriebene Partikel einen Kurzschluss einer elektronischen Anordnung verursachen. Beispielsweise können abgeriebene Partikel auf einer Vakuumdichtung zu Leckagen führen und somit zu einem Verlust des Vakuums in einer Vakuumkammer. Dies kann zu Beeinträchtigungen des Betriebs bis hin zum Ausfall der Lithographieanlage führen.

Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Befestigungselement für eine Lithographieanlage, eine Lithographieanlage mit einem derartigen Befestigungselement und ein verbessertes Verfahren zum Herstellen eines derartigen Befestigungselements bereitzustellen.

Demgemäß wird ein Befestigungselement für eine Lithographieanlage vorgeschlagen. Eine Oberfläche des Befestigungselements weist makroskopische Unebenheiten mit einer mikroskopischen Glätte auf.

Aufgrund der mikroskopischen Glätte des Befestigungselements wird ein Partikelabrieb bei einem Festziehen des Befestigungselements verringert. Insbesondere wird ein Partikelabrieb an der Oberfläche des Befestigungselements verringert. Während das mikroskopische Glätten zwar zu einem geringeren Partikelabrieb führt, tritt bei einer solchermaßen geglätteten Oberfläche jedoch ein

Kaltverschweißen eher auf. Aufgrund der makroskopischen Unebenheiten wird allerdings ein Kaltverschweißen des Befestigungselements mit einem Verbindungsgegenstück (z. B. Mutter mit Gegengewinde) verringert. Insbesondere wird ein Kaltverschweißen der Oberfläche des Befestigungselements mit einer Oberfläche des Verbindungsgegenstücks verringert, selbst wenn das Befestigungselement und das Verbindungsgegenstück fettfrei miteinander verbunden werden.

Insbesondere ist aufgrund der makroskopischen Unebenheiten eine Kontaktfläche der Oberfläche des Befestigungselements mit einer Oberfläche des Verbindungsgegenstücks verringert im Vergleich zu einem Fall, in dem die Oberfläche des Befestigungselements nur die mikroskopische Glätte aufweist. Insbesondere ist aufgrund der makroskopischen Unebenheiten ein Kontakt zwischen der Oberfläche des Befestigungselements und einer Oberfläche des Verbindungsgegenstücks nur punktuell.

Das Befestigungselement ist beispielsweise eine Schraube. Die Schraube weist insbesondere ein Gewinde, z. B. ein Außengewinde, auf. Die Schraube wird mit einem Verbindungsgegenstück mit Gegengewinde, wie z. B. einer Mutter, zusammengeschraubt. Alternativ kann das Befestigungselement auch das Verbindungsgegenstück einer Schraube sein, zum Beispiel kann das Befestigungselement auch eine Mutter oder ein anderes Verbindungsgegenstück mit einem passenden Innengewinde sein.

Die Oberfläche des Befestigungselements, welche die mikroskopische Glätte und die makroskopischen Unebenheiten aufweist, ist beispielsweise eine Oberfläche eines Gewindes des Befestigungselements. Die Oberfläche ist beispielsweise eine Oberfläche einer Gewindeflanke des Befestigungselements. Die Oberfläche des Befestigungselements, welche die mikroskopische Glätte und die makroskopi-

schen Unebenheiten aufweist, ist beispielsweise eine Oberfläche eines Kopfes des Befestigungselements, z. B. eine Kopfauflage.

Die mikroskopisch glatte Oberfläche des Befestigungselements ist beispielsweise
5 eine entgratete Oberfläche, an der Grate, Spitzen und Kanten entfernt wurden.
Die mikroskopisch glatte Oberfläche des Befestigungselements ist beispielsweise eine Oberfläche, an der eine Mikrorauheit verringert wurde.

Die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche des Befestigungselements
10 haben zum Beispiel eine (unregelmäßige) dreidimensionale Wellenstruktur
und/oder weisen eine Dünenlandschaft auf. Die makroskopischen Unebenheiten weisen beispielsweise Maxima (Berge) und Minima (Täler) auf.

Die Oberfläche des Befestigungselements ist insbesondere auf einer mikroskopi-
15 schen Größenskala glatt und ist auf einer makroskopischen Größenskala un-
eben.

Das Befestigungselement ist beispielsweise aus Metall, z. B. aus Stahl, herge-
stellt. Das Material des Befestigungselements ist beispielsweise ein austeniti-
20 scher und/oder nichtrostender Stahl. Das Material des Befestigungselements weist beispielsweise Stahl gemäß der Stahlgruppe A1, A2, A3, A4 und/oder A5 auf (Klassifizierung von austenitischen Stahlsorten nach ISO 3506).

Die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche des Befestigungselements
25 sind beispielsweise (teilweise) freigelegte, im Stahl des Befestigungselements angelegte Inhomogenitäten. Die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche des Befestigungselements sind beispielsweise (teilweise) freigelegte, im Stahl des Befestigungselements vorhandene Konzentrationsschwankungen der Bestandteile des Stahls. Die Konzentrationsschwankungen der Bestandteile des Stahls

entstehen insbesondere beim Erzeugen des Stahlmaterials, z. B. beim Erstarren einer Schmelze (Seigerung).

5 Gemäß einer Ausführungsform ist die mikroskopische Glätte der Oberfläche des Befestigungselements mikroskopisch glatt bis auf mikroskopische Unebenheiten mit einer Periode von 1 μm oder kleiner, 0,5 μm oder kleiner und/oder 0,1 μm oder kleiner.

10 Dadurch kann ein Partikelabrieb in stärkerem Ausmaß vermieden werden. Insbesondere ist der Partikelabrieb umso geringer, je kleiner die verbleibenden mikroskopischen Unebenheiten sind (je kleiner eine Periode der verbleibenden mikroskopischen Unebenheiten ist).

15 Eine Periode der mikroskopischen Unebenheiten ist beispielsweise ein (mittlerer) Abstand von (lokalen) Maxima der mikroskopischen Unebenheiten.

20 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen mikroskopische Unebenheiten der Oberfläche eine Höhe von kleiner als 1000 nm, kleiner als 500 nm, kleiner als 300 nm und/oder kleiner als 100 nm auf.

Dadurch kann ein Partikelabrieb noch besser vermieden werden. Insbesondere ist der Partikelabrieb umso geringer, je kleiner die Höhe der verbleibenden mikroskopischen Unebenheiten ist.

25 Eine Höhe der mikroskopischen Unebenheiten ist beispielsweise ein (mittlerer oder maximaler) Höhenunterschied zwischen einem Minimum (Minima) der mikroskopischen Unebenheiten und einem Maximum (Maxima) der mikroskopischen Unebenheiten. Eine Höhe der mikroskopischen Unebenheiten ist beispielsweise ein (mittlerer oder maximaler) Höhenunterschied zwischen einem

Tal (Tälern) der mikroskopischen Unebenheiten und einem Berg (Bergen) der mikroskopischen Unebenheiten.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche eine Periode auf, die um mindestens einen Faktor 100 oder einen Faktor 1000 größer ist als eine Periode von mikroskopischen Unebenheiten der Oberfläche.

10 Dadurch kann ein Kaltverschweißen des Befestigungselements mit einem Gegenstück besser vermieden werden. Insbesondere ist eine Kontaktfläche der Oberfläche des Befestigungselements mit einer Oberfläche des Verbindungsgegenstücks – bei vorgegebener mikroskopischer Glätte – umso geringer, umso größer die Periode der makroskopischen Unebenheiten ist.

15 Eine Periode der makroskopischen Unebenheiten ist beispielsweise ein (mittlerer) Abstand von (lokalen) Maxima der makroskopischen Unebenheiten.

20 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche eine Periode von 50 μm oder größer, 100 μm oder größer und/oder 500 μm oder größer auf.

25 Dadurch kann ein Kaltverschweißen des Befestigungselements mit einem Gegenstück besser vermieden werden. Insbesondere wird ein Kaltverschweißen umso stärker vermieden, umso größer die Periode der makroskopischen Unebenheiten ist. Die Limitierung der Vergrößerung der Periode ist durch die Geometrie des Bauteils gegeben. So sollten pro Gewindegang (360°) mindestens 3 Perioden vorhanden sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die makroskopischen Unebenheiten der Oberfläche eine Höhe von größer als 1000 nm, größer als 2000 nm und/oder größer als 3000 nm auf.

- 5 Dadurch kann ein Kaltverschweißen des Befestigungselements mit einem Gegenstück besser vermieden werden. Insbesondere wird ein Kaltverschweißen umso stärker vermieden, umso größer die Höhe der makroskopischen Unebenheiten ist. Die Limitierung der Vergrößerung der Höhe ist gegeben durch das weiterhin vorhandene Spiel zwischen den Fügepartnern und der Festigkeit der
- 10 Bauteile.

Eine Höhe der makroskopischen Unebenheiten ist beispielsweise ein (mittlerer oder maximaler) Höhenunterschied zwischen einem Minimum (Minima) der makroskopischen Unebenheiten und einem Maximum (Maxima) der makroskopischen Unebenheiten. Eine Höhe der makroskopischen Unebenheiten ist bei-

15 spielsweise ein (mittlerer oder maximaler) Höhenunterschied zwischen einem Tal (Tälern) der makroskopischen Unebenheiten und einem Berg (Bergen) der makroskopischen Unebenheiten

- 20 Gemäß einem zweiten Aspekt wird eine Lithographieanlage mit einem wie vorstehend beschriebenen Befestigungselement vorgeschlagen.

Bei einer Lithographieanlage, bei der Komponenten mittels des vorstehend beschriebenen Befestigungselements befestigt sind, kann eine Beschädigung von

25 Komponenten der Lithographieanlage durch einen Partikelabrieb von dem Befestigungselement besser verhindert werden, während gleichzeitig ein Kaltverschweißen vermieden wird.

- Insbesondere kann vermieden werden, dass von dem Befestigungselement, z. B.
- 30 beim Befestigen, Partikel abgerieben werden und auf eine Komponente der Li-

thographieanlage fallen. Beispielsweise kann vermieden werden, dass ein optisches Element der Lithographieanlage durch abgeriebene Partikel verunreinigt wird und eine optische Eigenschaft des optischen Elements beeinträchtigt wird. Beispielsweise kann vermieden werden, dass ein mechanisches System der Lithographieanlage durch abgeriebene Partikel verunreinigt wird und in seiner Funktion beeinträchtigt wird. Beispielsweise kann vermieden werden, dass eine elektronische Anordnung der Lithographieanlage durch abgeriebene Partikel verunreinigt wird und es zum Beispiel zu einem Kurzschluss in der elektronischen Anordnung kommt.

Die Lithographieanlage ist zum Beispiel eine DUV- oder eine EUV-Lithographieanlage. Dabei steht EUV für "extremes Ultraviolett" (Engl.: extreme ultraviolet, EUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 0,1 nm und 30 nm. Weiterhin steht DUV für "tiefes Ultraviolett" (Engl.: deep ultraviolet, DUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 nm und 250 nm.

Die DUV- oder EUV-Lithographieanlage umfasst ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem und ein Projektionssystem. Insbesondere wird mit der DUV- oder EUV-Lithographieanlage das Bild einer mittels des Beleuchtungssystems beleuchteten Maske (Retikel) mittels des Projektionssystems auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionssystems angeordnetes Substrat, beispielsweise einen Siliziumwafer, projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

Gemäß einem dritten Aspekt wird ein Verfahren zum Herstellen eines Befestigungselements für eine Lithographieanlage vorgeschlagen. Das Verfahren weist die Schritte auf:

a) mikroskopisches Glätten einer Oberfläche des Befestigungselements, und

b) makroskopisches Verformen der mikroskopisch geglätteten Oberfläche, so dass makroskopische Unebenheiten der Oberfläche entstehen.

Insbesondere wird Schritt b) nach Schritt a) ausgeführt. Insbesondere wird das
5 makroskopische Verformen an der bereits mikroskopisch geglätteten Oberfläche ausgeführt.

Die Oberfläche wird insbesondere dadurch makroskopisch verformt, dass die Oberfläche mit makroskopischen Unebenheiten, zum Beispiel in Form einer Dü-
10 nenlandschaft und/oder zweidimensionalen Wellenstruktur versehen wird.

Gemäß einer Ausführungsform des dritten Aspekts weist das mikroskopische Glätten ein Entgraten auf und/oder weist das makroskopische Verformen einen Materialabtrag auf.
15

Insbesondere weist das mikroskopische Glätten ein Abtragen von Material in Form eines Abtragens von Graten, Spitzen und Kanten auf.

Insbesondere wird das makroskopische Verformen an einer bereits mikrosko-
20 pisch glatten Oberfläche ausgeführt. Insbesondere wird das makroskopische Verformen an einer entgrateten Oberfläche ausgeführt. Insbesondere erfolgt ein Materialabtrag beim makroskopischen Verformen großflächiger als beim mikroskopischen Glätten.

25 Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts wird die Oberfläche des Befestigungselements derart mikroskopisch geglättet, dass die geglättete Oberfläche glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten mit einer Periode von 1 μm oder kleiner, 0,5 μm oder kleiner und/oder 0,1 μm oder kleiner.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts wird die Oberfläche des Befestigungselements derart mikroskopisch geglättet, dass die geglättete Oberfläche glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten mit einer Höhe von kleiner als 1000 nm, kleiner als 500 nm, kleiner als 300 nm und/oder kleiner als 100 nm.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts wird die Oberfläche des Befestigungselements derart makroskopisch verformt, dass die makroskopischen Unebenheiten eine Periode aufweisen, die um mindestens einen Faktor 100 oder einen Faktor 1000 größer ist als eine Periode der mikroskopischen Unebenheiten.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts wird die Oberfläche des Befestigungselements derart makroskopisch verformt, dass die makroskopischen Unebenheiten eine Höhe von größer als 1000 nm, größer als 2000 nm und/oder größer als 3000 nm aufweisen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts weist das mikroskopische Glätten der Oberfläche ein erstes Elektropolieren auf zum Herstellen der mikroskopisch geglätteten Oberfläche, und/oder weist das makroskopische Verformen der mikroskopisch geglätteten Oberfläche ein zweites Elektropolieren derart auf, dass dabei die mikroskopisch geglättete Oberfläche mit makroskopischen Unebenheiten versehen wird.

Dadurch, dass das mikroskopische Glätten und das makroskopische Verformen durch Elektropolieren erfolgt, kann das mikroskopische Glätten und/oder das makroskopische Verformen ohne Anwendung mechanischer Prozesse (z. B. ohne mechanische Beanspruchung und mechanisches Druckausüben) ausgeführt werden. Insbesondere kann das mikroskopische Glätten und/oder das makroskopische Verformen genau und/oder gut reproduzierbar ausgeführt werden.

Das erste und zweite Elektropolieren ist insbesondere ein elektrochemisches Abtragen von Material an der Oberfläche des Befestigungselements. Dabei bildet das Befestigungselement eine Anode in einem elektrochemischen Prozess, durch den Material von der Oberfläche des anodischen Befestigungselements abgetra-
5 gen und in ein Elektrolytbad, in das das Befestigungselement getaucht ist, abgegeben wird. Beispielsweise ist ein Pluspol einer Gleichspannungsquelle elektrisch mit dem Befestigungselement verbunden, während ein Minuspol der Gleichspannungsquelle elektrisch mit einem in das Elektrolytbad eingetauchten
10 elektrischen Leiter (Kathode) verbunden ist. Bei Anlegen einer Spannung fließt ein Strom von der Anode zur Kathode, wobei Metallionen von der Oberfläche des anodischen Befestigungselements abgetragen werden.

Beispielsweise weist das mikroskopische Glätten der Oberfläche ein erstes
15 Elektropolieren derart auf, dass dabei die Oberfläche bis auf mikroskopische Unebenheiten mit einer Periode von 1 μm oder kleiner, 0,5 μm oder kleiner und/oder 0,1 μm oder kleiner geglättet wird.

Das zweite Elektropolieren erfolgt zum Beispiel kontinuierlich mit dem ersten
20 Elektropolieren. Das zweite Elektropolieren ist beispielsweise ein Überelektropolieren, bei dem in ein Grundmaterial des Befestigungselements hinein Material abgetragen wird.

Bei dem ersten Elektropolieren, durch das die Oberfläche mikroskopisch geglä-
25 tet wird, ist der Materialabtrag überwiegend von einem herrschenden elektrischen Feld abhängig. Da das elektrische Feld an scharfen Kanten der Oberfläche (z. B. an Graten) größer ist als an der übrigen Oberfläche, werden beim ersten Elektropolieren (herausstehende) Spitzen, Kanten und Grate sowie Erhöhungen (Berge) einer Mikrorauheit der Oberfläche abgetragen.

Bei Beginn des zweiten Elektropolierens ist die Oberfläche bereits mikroskopisch geglättet. Durch das zweite Elektropolieren wird die Oberfläche sodann makroskopisch uneben gestaltet, da dabei der Materialabtrag überwiegend von chemischen Eigenschaften der Oberfläche abhängt. Schwankungen der Materialzusammensetzung an der Oberfläche des Befestigungselements führen zu einem lokal unterschiedlichen Materialabtrag und somit zu den makroskopischen Unebenheiten.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts wird das erste Elektropolieren mindestens eine Minute, mindestens zwei Minuten und/oder mindestens drei Minuten angewendet, und/oder wird das zweite Elektropolieren mindestens eine Minute, mindestens zwei Minuten, mindestens drei Minuten, mindestens vier Minuten, mindestens fünf Minuten und/oder mindestens sechs Minuten angewendet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des dritten Aspekts weist das Verfahren nach dem makroskopischen Verformen der Oberfläche in Schritt b) einen Schritt eines Härtens der Oberfläche auf.

Durch das Härten der Oberfläche kann eine mechanische Eigenschaft des Befestigungselements verbessert werden. Beispielsweise kann eine Abnutzungsbeständigkeit verbessert werden. Durch das Härten der Oberfläche kann beispielsweise ein Partikelabrieb und ein Kaltverschweißen des Befestigungselements mit einem Verbindungsgegenstück noch besser verhindert werden.

Das Härten ist zum Beispiel ein Kolsterisieren der Oberfläche. Durch Kolsterisieren wird die Oberfläche des Befestigungselements gehärtet, ohne seine Korrosionsbeständigkeit zu beeinträchtigen.

Kolsterisieren ist insbesondere eine Oberflächenhärtung von austenitischen, rostfreien Edelstahlmaterialien. Dabei werden bei niedriger Temperatur (kleiner 500 Grad Celsius) erhebliche Mengen an Kohlenstoff in das Befestigungselement eindiffundiert.

5

"Ein" ist vorliegend nicht zwingend als beschränkend auf genau ein Element zu verstehen. Vielmehr können auch mehrere Elemente, wie beispielsweise zwei, drei oder mehr, vorgesehen sein. Auch jedes andere hier verwendete Zählwort ist nicht dahingehend zu verstehen, dass eine Beschränkung auf genau die genann-

10 te Anzahl von Elementen gegeben ist. Vielmehr sind zahlenmäßige Abweichungen nach oben und nach unten möglich, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

15

Die für das Befestigungselement beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten für die vorgeschlagene Lithographieanlage und für das vorgeschlagene Verfahren entsprechend und umgekehrt.

20

Weitere mögliche Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale oder Ausführungsformen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der Erfindung hinzufügen.

25

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Aspekte der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung. Im Weiteren wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher erläutert.

Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer EUV-Lithographieanlage;

Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer DUV-Lithographieanlage;

Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht einer Schraubverbindung der EUV-Lithographieanlage aus Fig. 1A oder der DUV-Lithographieanlage aus Fig. 1B;

Fig. 3 zeigt einen Aufbau zum elektrochemischen Elektropolieren einer Schraube der Schraubverbindung aus Fig. 2;

Fig. 4 zeigt eine vergrößerte Darstellung einer Oberfläche der Schraube der Schraubverbindung aus Fig. 2 vor einem ersten Elektropolieren;

Fig. 5 zeigt einen Bildausschnitt V aus Fig. 4 in einer vergrößerten Ansicht;

Fig. 6 zeigt einen Bildausschnitt VI aus Fig. 5 in einer vergrößerten Ansicht;

Fig. 7 zeigt eine Ansicht ähnlich wie Fig. 4, wobei die Oberfläche der Schraube nach dem ersten Elektropolieren gezeigt ist;

Fig. 8 zeigt einen Bildausschnitt VIII aus Fig. 7 in einer vergrößerten Ansicht;

Fig. 9 zeigt einen Bildausschnitt IX aus Fig. 8 in einer vergrößerten Ansicht;

Fig. 10 zeigt eine Ansicht ähnlich wie Fig. 7, wobei die Oberfläche der Schraube nach einem zweiten Elektropolieren gezeigt ist;

Fig. 11 zeigt einen Bildausschnitt XI aus Fig. 10 in einer vergrößerten Ansicht;

Fig. 12 zeigt einen Bildausschnitt XII aus Fig. 11 in einer vergrößerten Ansicht;
und

- 5 Fig. 13 zeigt ein Flussablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen der Schraube aus Fig. 2.

In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist. Ferner
10 sollte beachtet werden, dass die Darstellungen in den Figuren nicht notwendigerweise maßstabsgerecht sind.

Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht einer EUV-Lithographieanlage 100A, welche ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und ein Projektions-
15 system 104 umfasst. Dabei steht EUV für "extremes Ultraviolett" (Engl.: extreme ultraviolet, EUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 0,1 nm und 30 nm. Das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und das Projektionssystem 104 sind jeweils in einem nicht gezeigten Vakuum-
20 Gehäuse vorgesehen, wobei jedes Vakuum-Gehäuse mit Hilfe einer nicht dargestellten Evakuierungsvorrichtung evakuiert wird. Die Vakuum-Gehäuse sind von einem nicht dargestellten Maschinenraum umgeben, in welchem Antriebsvorrichtungen zum mechanischen Verfahren beziehungsweise Einstellen von optischen Elementen vorgesehen sind. Ferner können auch elektrische Steuerungen und dergleichen in diesem Maschinenraum vorgesehen sein.

25

Die EUV-Lithographieanlage 100A weist eine EUV-Lichtquelle 106A auf. Als EUV-Lichtquelle 106A kann beispielsweise eine Plasmaquelle (oder ein Synchrotron) vorgesehen sein, welche Strahlung 108A im EUV-Bereich (extrem ultravioletter Bereich), also beispielsweise im Wellenlängenbereich von 5 nm bis 20
30 nm, aussendet. Im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 wird die EUV-

Strahlung 108A gebündelt und die gewünschte Betriebswellenlänge aus der EUV-Strahlung 108A herausgefiltert. Die von der EUV-Lichtquelle 106A erzeugte EUV-Strahlung 108A weist eine relativ niedrige Transmissivität durch Luft auf, weshalb die Strahlführungsräume im Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und im Projektionssystem 104 evakuiert sind.

Das in Fig. 1A dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 weist fünf Spiegel 110, 112, 114, 116, 118 auf. Nach dem Durchgang durch das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 wird die EUV-Strahlung 108A auf eine Photomaske (Engl.: reticle) 120 geleitet. Die Photomaske 120 ist ebenfalls als reflektives optisches Element ausgebildet und kann außerhalb der Systeme 102, 104 angeordnet sein. Weiter kann die EUV-Strahlung 108A mittels eines Spiegels 122 auf die Photomaske 120 gelenkt werden. Die Photomaske 120 weist eine Struktur auf, welche mittels des Projektionssystems 104 verkleinert auf einen Wafer 124 oder dergleichen abgebildet wird.

Das Projektionssystem 104 (auch als Projektionsobjektiv bezeichnet) weist sechs Spiegel M1 bis M6 zur Abbildung der Photomaske 120 auf den Wafer 124 auf. Dabei können einzelne Spiegel M1 bis M6 des Projektionssystems 104 symmetrisch zu einer optischen Achse 126 des Projektionssystems 104 angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Spiegel M1 bis M6 der EUV-Lithographieanlage 100A nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Spiegel M1 bis M6 vorgesehen sein. Des Weiteren sind die Spiegel M1 bis M6 in der Regel an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

Fig. 1B zeigt eine schematische Ansicht einer DUV-Lithographieanlage 100B, welche ein Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und ein Projektionssystem 104 umfasst. Dabei steht DUV für "tiefes Ultraviolett" (Engl.: deep ultraviolet, DUV) und bezeichnet eine Wellenlänge des Arbeitslichts zwischen 30 nm

und 250 nm. Das Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 und das Projektionssystem 104 können - wie bereits mit Bezug zu Fig. 1A beschrieben - in einem Vakuumgehäuse angeordnet und/oder von einem Maschinenraum mit entsprechenden Antriebsvorrichtungen umgeben sein.

5

Die DUV-Lithographieanlage 100B weist eine DUV-Lichtquelle 106B auf. Als DUV-Lichtquelle 106B kann beispielsweise ein ArF-Excimerlaser vorgesehen sein, welcher Strahlung 108B im DUV-Bereich bei beispielsweise 193 nm emittiert.

10

Das in Fig. 1B dargestellte Strahlformungs- und Beleuchtungssystem 102 leitet die DUV-Strahlung 108B auf eine Photomaske 120. Die Photomaske 120 ist als transmissives optisches Element ausgebildet und kann außerhalb der Systeme 102, 104 angeordnet sein. Die Photomaske 120 weist eine Struktur auf, welche
15 mittels des Projektionssystems 104 verkleinert auf einen Wafer 124 oder dergleichen abgebildet wird.

20

Das Projektionssystem 104 weist mehrere Linsen 128 und/oder Spiegel 130 zur Abbildung der Photomaske 120 auf den Wafer 124 auf. Dabei können einzelne
20 Linsen 128 und/oder Spiegel 130 des Projektionssystems 104 symmetrisch zu einer optischen Achse 126 des Projektionssystems 104 angeordnet sein. Es sollte beachtet werden, dass die Anzahl der Linsen 128 und Spiegel 130 der DUV-Lithographieanlage 100B nicht auf die dargestellte Anzahl beschränkt ist. Es können auch mehr oder weniger Linsen 128 und/oder Spiegel 130 vorgesehen
25 sein. Des Weiteren sind die Spiegel 130 in der Regel an ihrer Vorderseite zur Strahlformung gekrümmt.

Ein Luftspalt zwischen der letzten Linse 128 und dem Wafer 124 kann durch ein flüssiges Medium 132 ersetzt sein, welches einen Brechungsindex > 1 aufweist.

30

Das flüssige Medium 132 kann beispielsweise hochreines Wasser sein. Ein sol-

cher Aufbau wird auch als Immersionslithographie bezeichnet und weist eine erhöhte photolithographische Auflösung auf. Das Medium 132 kann auch als Immersionsflüssigkeit bezeichnet werden.

5 Fig. 2 zeigt eine Schraubverbindung 200 der EUV-Lithographieanlage 100A aus Fig. 1A oder der DUV-Lithographieanlage 100B aus Fig. 1B. Die Schraubverbindung 200 weist ein Befestigungsmittel 202 in Form einer Schraube und ein Verbindungsgegenstück 204 in Form einer Mutter auf. Die Schraube 202 und das Verbindungsgegenstück 204 dienen zur Befestigung von Komponenten 206 und
10 208 der EUV- und/oder DUV-Lithographieanlage 100A, 100B. Die Komponenten 206 und 208 können beliebige Komponenten der EUV- und/oder DUV-Lithographieanlage 100A, 100B sein. In Fig. 2 sind die Komponenten 206 und 208 nur teilweise gezeigt. Insbesondere ist jeweils lediglich ein Bereich der Komponenten 206 und 208 gezeigt, der ihre Befestigung aneinander zeigt.

15

Die Schraube 202 weist einen Schraubenkopf 210 und einen Schaft 212 mit einem Außengewinde 214 auf. Die Schraube 202 ist beispielsweise aus einem austenitischen Edelstahl hergestellt. Die Schraube ist zum Beispiel aus einem austenitischen Edelstahl der Stahlgruppe A2 nach ISO 3506 hergestellt.

20

Eine Oberfläche 216" der Schraube 202 ist mikroskopisch glatt (Fig. 12) und weist zudem makroskopische Unebenheiten (1102, Fig. 11) auf. Die Oberfläche 216" kann jede Oberfläche der Schraube 202 sein. Die Oberfläche 216" kann zum Beispiel eine Oberfläche des Schraubenkopfs 210 sein. Die Oberfläche 216" kann zum Beispiel eine Oberfläche des Gewindes 214 der Schraube 202 sein.
25 Beispielsweise ist die Oberfläche 216" eine Oberfläche einer Schraubenflanke 218 des Gewindes 214, wie in dem vergrößerten Bildausschnitt in Fig. 2 zu sehen.

Beim Verbinden der Schraube 202 mit der Mutter 204 greift das Außengewinde 214 der Schraube 202 in ein Innengewinde 220 der Mutter 204 ein.

Die Schraube 202 wird beispielsweise mit einem Drehmoment von 10 Newtonmeter an die Mutter 204 angezogen. Die Schraube kann auch mit einer anderen Drehmomentzahl angezogen werden.

Im Folgenden wird ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform zum Herstellen der Schraube 202, insbesondere zum Bearbeiten der Oberfläche 216, 216', 216" der Schraube 202 mit Bezug zu den Figuren 3 bis 13 beschrieben.

Fig. 3 zeigt einen Aufbau 300 zum elektrochemischen Elektropolieren der Schraube 202 aus Fig. 2. Als Beispiel sind in Fig. 3 drei gleiche Schrauben 202 gezeigt, die gleichzeitig in einer Elektrolytlösung 302 in einem Behälter 304 elektropoliert werden. Dazu sind die Schrauben 202 elektrisch mit einem Pluspol 306 einer Gleichstromquelle 308 verbunden. Weiterhin ist eine Kathode 310 elektrisch mit einem Minuspol 312 der Gleichstromquelle 308 verbunden. Die Schrauben 202 und die Kathode 310 sind in die Elektrolytlösung 302 eingetaucht. Beim Erzeugen einer Spannung mit der Gleichstromquelle 308 lösen sich Metallionen 314 von jeder der Schrauben 202 in die Elektrolytlösung 302. Die Metallionen 314 fließen (in Richtung) zu der Kathode 310.

Die Elektrolytlösung 302 ist zum Beispiel ein Gemisch aus Schwefelsäure und Phosphorsäure. Weiterhin kann die Elektrolytlösung 302 auch einen Wasseranteil aufweisen. Die Elektrolytlösung 302 kann auch eine andere Zusammensetzung aufweisen.

Die von der Gleichstromquelle 308 erzeugte Spannung beträgt zum Beispiel zwischen 3 und 6 Volt. Es kann auch ein anderer Spannungswert angewendet werden.

Fig. 4 zeigt eine vergrößerte Darstellung der Oberfläche 216 der Schraube 202 vor einem ersten Elektropolieren der Oberfläche 216. In Fig. 4 ist die Oberfläche 216 der Schraube 202 im Bereich der Schraubenflanke 218 des Gewindes 214 der Schraube 202 zu sehen. Der in Fig. 4 gezeigte Ausschnitt hat zum Beispiel eine Breite von 0,7 mm.

Die Oberfläche 216 der Schraube 202 weist vor dem ersten Elektropolieren zum Beispiel Spitzen, Kanten und Grate auf. Als Beispiel ist in Fig. 4 ein Grat 402 im Querschnitt gezeigt. Des Weiteren weist die Oberfläche 216 vor dem ersten Elektropolieren auch außerhalb von Graten eine Mikrorauigkeit auf, wie in Fig. 5 zu sehen.

Fig. 5 zeigt einen Bildausschnitt V aus Fig. 4 in einer vergrößerten Ansicht. Der in Fig. 5 gezeigte Ausschnitt misst zum Beispiel 0 bis 500 μm in der Breite und 0 bis 24 μm in der Höhe. Wie in Fig. 5 zu sehen, ist die Oberfläche 216 vor dem ersten Elektropolieren mikroskopisch nicht glatt, sondern weist eine Mikrorauigkeit auf.

Fig. 6 zeigt einen Bildausschnitt VI aus Fig. 5 in einer vergrößerten Ansicht. Der in Fig. 6 gezeigte Ausschnitt misst 0 bis 10 μm in der Breite und 0 bis 2500 nm in der Höhe. Wie in Fig. 6 zu sehen, weist die Oberfläche 216 eine Mikrorauigkeit 602 auf, die lokale Maxima 604 (Berge) und lokale Minima 606 (Täler) aufweist. In Fig. 6 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit lediglich einige der Maxima und Minima 604, 606 mit Bezugszeichen versehen. Vor dem ersten Elektropolieren beträgt ein Höhenunterschied zwischen Maxima 604 und Minima 606 der Mikrorauigkeit 602 der Oberfläche 216 bis zu 2500 nm.

Würde man die Schraube 202 mit der ungeglätteten Oberfläche 216, wie sie in den Figuren 4 bis 6 gezeigt ist, mit einer Mutter 204 (Fig. 2) verbinden, so wäre

der Abrieb von Partikeln von der Oberfläche 216 im Bereich des Gewindes 214 und der Kopfaufgabe des Schraubenkopfes 210 groß.

In einem ersten Schritt S1 des Verfahrens wird die Schraube 202 mit der ungeglätteten Oberfläche 216 (Figuren 4 bis 6) mit dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau 300 elektropoliert. Die Schraube 202 wird dabei solange elektropoliert bis Spitzen, Kanten und Grate, wie beispielsweise der Grat 402 (Fig. 4) sowie eine Mikrorauheit (Fig. 5 und 6) elektrochemisch abgetragen sind. Beispielsweise wird die Schraube 202 in Schritt S1 drei Minuten lang mit dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau 300 elektropoliert.

Das Ergebnis eines solchen ersten Elektropolierens ist in den Figuren 7 bis 9 gezeigt. Die Figuren 7, 8 und 9 zeigen entsprechend ähnliche Ansichten und Ausschnitte wie die Figuren 4, 5 und 6.

15

Fig. 7 zeigt einen Ausschnitt der Oberfläche 216' der Schraube 202 im Bereich der Schraubenflanke 218 nach dem ersten Elektropolieren in Schritt S1. Der in Fig. 7 gezeigte Ausschnitt hat zum Beispiel eine Breite von 0,7 mm.

20

Die Oberfläche 216' der Schraube 202 weist nach dem ersten Elektropolieren keine Grate mehr auf, zum Beispiel weist sie den Grat 402 (Fig. 4) nicht mehr auf. Außerdem ist die Oberfläche 216' auch darüber hinaus mikroskopisch geglättet.

25

Fig. 8 zeigt einen Bildausschnitt VIII aus Fig. 7 in einer vergrößerten Ansicht, und Fig. 9 zeigt einen Bildausschnitt IX aus Fig. 8 in einer vergrößerten Ansicht. Wie in Fig. 9 zu sehen, ist die Oberfläche 216' nach dem ersten Elektropolieren in Schritt S1 glatt bis auf mikroskopische Unebenheiten 902. Die mikroskopischen Unebenheiten 902 der Oberfläche 216' weisen zum Beispiel lokale Maxima 904 und zwischen lokalen Maxima 904 lokale Minima auf. Aus Gründen der

30

Übersichtlichkeit sind in Fig. 9 lediglich zwei der Maxima 904 mit Bezugszeichen versehen. Ein (mittlerer) Abstand P1 zwischen zwei nebeneinanderliegenden Maxima 904, d. h. eine Periode P1 der mikroskopischen Unebenheiten 902, hat zum Beispiel eine Größe im sub- μm -Bereich. In dem in Fig. 9 gezeigten Beispiel ist der mittlere Abstand P1 zwischen zwei benachbarten Maxima 904 der mikroskopischen Unebenheiten 902 kleiner als $0,2\ \mu\text{m}$. In anderen Beispielen kann der mittlere Abstand P1 zwischen zwei benachbarten Maxima 904 der mikroskopischen Unebenheiten 902 (Periode P1 der mikroskopischen Unebenheiten 902) auch kleiner als $0,1\ \mu\text{m}$ sein. Eine Höhe H1 der mikroskopischen Unebenheiten 902 (d. h. zum Beispiel ein Abstand in der Höhe zwischen einem Maximum 904 und einem Minimum der mikroskopischen Unebenheiten 902) ist beispielsweise kleiner als $300\ \text{nm}$.

Bei einer Schraube 202 mit der mikroskopisch geglätteten Oberfläche 216' (Figuren 7 bis 9) wäre ein Partikelabrieb bei einem Verschrauben verringert im Vergleich zu einer Schraube 202 mit der uneglätteten Oberfläche 216 (Figuren 4 bis 6). Jedoch wäre das Risiko eines Festfressens gegeben.

In einem zweiten Schritt S2 des Verfahrens wird die Schraube 202 mit der mikroskopisch geglätteten Oberfläche 216' (Figuren 7 bis 9) mit dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau 300 weiter elektropoliert. Die Schraube 202 wird dabei solange weiter elektropoliert bis sich ausgehend von der geglätteten Oberfläche 216' zusätzlich makroskopische Unebenheiten (Figuren 10 bis 12) herausbilden. Beispielsweise wird die Schraube 202 in Schritt S2 weitere drei Minuten mit dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau 300 elektropoliert.

Das Ergebnis eines solchen zweiten Elektropolierens in Schritt S2 ist in den Figuren 10 bis 12 gezeigt. Die Figuren 10, 11 und 12 zeigen entsprechend ähnliche Ansichten und Ausschnitte wie die Figuren 4, 5 und 6.

Wie in Fig. 10 zu sehen, wurde durch das weitere Elektropolieren (zweites Elektropolieren) in Schritt S2 großflächig Material an der Oberfläche 216" der Schraube 202 abgetragen. Fig. 11 zeigt einen Bildausschnitt XI aus Fig. 10 in einer vergrößerten Ansicht, und Fig. 12 zeigt einen Bildausschnitt XII aus

5 Fig. 11 in einer vergrößerten Ansicht. Durch das großflächige Abtragen von Material an der Oberfläche 216" bei dem zweiten Elektropolieren haben sich makroskopische Unebenheiten 1102 (Fig. 11) in der Art einer Dünenlandschaft und/oder einer dreidimensionalen Wellenstruktur (zweidimensional in der Querschnittsansicht der Figuren) herausgebildet. Die makroskopischen Unebenheiten 1102 weisen lokale Maxima 1104 und lokale Minima 1106 auf. In dem Ausschnitt von Fig. 11 sind lediglich zwei der Maxima 1104 und eines der Minima 1106 gezeigt und mit einem Bezugszeichen versehen. Eine Periode P2 (durchschnittlicher Abstand nebeneinanderliegender Maxima 1104) der makroskopischen Unebenheiten 1102 nach dem zweiten Elektropolieren in Schritt S2 beträgt etwa 50 bis 500 μm (0,05 bis 0,5 mm) und liegt damit im sub-mm-Bereich. Die Periode P2 liegt jedoch insbesondere nicht im sub- μm -Bereich.

Eine Höhe H2 der makroskopischen Unebenheiten 1102 (d. h. zum Beispiel ein Abstand in der Höhe zwischen einem Maximum 1104 und einem Minimum 1106 der makroskopischen Unebenheiten 1102) ist beispielsweise größer als 3000 nm (3 μm). In dem in Fig. 11 gezeigten Beispiel ist eine Höhe H2 zwischen dem rechten mit einem Bezugszeichen versehenen Maximum 1104 und dem mit dem Bezugszeichen 1106 versehenen Minimum etwa 6000 nm (6 μm).

25 In der Vergrößerung von Fig. 12 ist zu sehen, dass die Oberfläche 216" auf einer mikroskopischen Skala noch immer glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten 902 (siehe auch Fig. 9).

Wird die Schraube 202 mit der Oberfläche 216" (Figuren 10 bis 12) mit einer Mutter 204 (Fig. 2) verschraubt, dann ist die Oberfläche 216" im Bereich der

Schraubenflanke 218 des Gewindes 214 der Schraube 202 nur im Bereich der Maxima 1104 mit einer Oberfläche des Innengewindes 220 der Mutter 204 in Kontakt. Insbesondere ist die Oberfläche 216" der Schraube 202 nur punktuell im Bereich der Maxima 1104 mit einer Oberfläche der Mutter 204 in Kontakt.

5 Durch diese Verringerung der Kontaktfläche zwischen der Schraube 202 und der Mutter 204 wird ein Kaltverschweißen der Schraube 202 mit der Mutter 204 vermieden. Außerdem ist dadurch, dass die Oberfläche 216" mikroskopisch glatt ist, ein Partikelabrieb von der Oberfläche 216" gering.

10 In einem Schritt S3 des Verfahrens wird die Oberfläche 216" gehärtet, zum Beispiel kolsterisiert, um ein Kaltverschweißen mit dem Verbindungsgegenstück der Schraube 202 (Mutter 204, Fig. 2) noch besser zu vermeiden.

Folglich kann sowohl ein Kaltverschweißen als auch ein Partikelabrieb durch
15 eine Schraubverbindung in der DUV- oder EUV-Lithographieanlage verhindert werden.

Es wird angemerkt, dass in dem gezeigten Beispiel das Verbindungsgegenstück der Schraube 202 (Mutter 204) nicht elektropoliert und/oder nicht gehärtet wird.

20

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

BEZUGSZEICHENLISTE

	100A	EUV-Lithographieanlage
	100B	DUV-Lithographieanlage
5	102	Strahlformungs- und Beleuchtungssystem
	104	Projektionssystem
	106A	EUV-Lichtquelle
	106B	DUV-Lichtquelle
	108A	EUV-Strahlung
10	108B	DUV-Strahlung
	110	Spiegel
	112	Spiegel
	114	Spiegel
	116	Spiegel
15	118	Spiegel
	120	Photomaske
	122	Spiegel
	124	Wafer
	126	optische Achse
20	128	Linse
	130	Spiegel
	132	Medium
	200	Schraubverbindung
	202	Befestigungsmittel (Schraube)
25	204	Mutter
	206	Komponente
	208	Komponente
	210	Kopf
	212	Schaft
30	214	Gewinde

	216, 216', 216"	Oberfläche
	218	Flanke
	220	Gewinde
	300	Aufbau
5	302	Elektrolyt
	304	Behälter
	306	Pluspol
	308	Gleichspannungsquelle
	310	Kathode
10	312	Minuspol
	314	Ion
	402	Grat
	602	Mikrorauheit
	604	Maximum
15	606	Minimum
	902	Unebenheiten
	904	Maximum
	1102	Unebenheiten
	1104	Maximum
20	1106	Minimum
	H1	Höhe
	H2	Höhe
	M1	Spiegel
25	M2	Spiegel
	M3	Spiegel
	M4	Spiegel
	M5	Spiegel
	M6	Spiegel
30	P1	Periode (mittlerer Abstand)

P2 Periode (mittlerer Abstand)

S1 Verfahrensschritt

S2 Verfahrensschritt

S3 Verfahrensschritt

PATENTANSPRÜCHE

1. Befestigungselement (202) für eine Lithographieanlage (100A, 100B), wobei eine Oberfläche (216") des Befestigungselements (202) makroskopische Unebenheiten (1102) mit einer mikroskopischen Glätte aufweist.
5
2. Befestigungselement nach Anspruch 1, wobei die mikroskopische Glätte der Oberfläche (216") mikroskopisch glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten (902) mit einer Periode (P1) von 1 μm oder kleiner, 0,5 μm oder kleiner und/oder 0,1 μm oder kleiner.
10
3. Befestigungselement nach Anspruch 1 oder 2, wobei mikroskopische Unebenheiten (902) der Oberfläche (216") eine Höhe (H1) von kleiner als 1000 nm, kleiner als 500 nm, kleiner als 300 nm und/oder kleiner als 100 nm aufweisen.
15
4. Befestigungselement nach einem der Ansprüche 1 - 3, wobei die makroskopischen Unebenheiten (1102) der Oberfläche (216") eine Periode (P2) aufweisen, die um mindestens einen Faktor 100 oder einen Faktor 1000 größer ist als eine Periode (P1) von mikroskopischen Unebenheiten (902) der Oberfläche (216").
20
5. Befestigungselement nach einem der Ansprüche 1 - 4, wobei die makroskopischen Unebenheiten (1102) der Oberfläche (216") eine Periode (P2) von 50 μm oder größer, 100 μm oder größer und/oder 500 μm oder größer aufweisen.
25
6. Befestigungselement nach einem der Ansprüche 1 - 5, wobei die makroskopischen Unebenheiten (1102) der Oberfläche (216") eine Höhe (H2) von größer als 1000 nm, größer als 2000 nm und/oder größer als 3000 nm aufweisen.

7. Verfahren zum Herstellen eines Befestigungselements (202) für eine Lithographieanlage (100A, 100B), mit den Schritten:

a) mikroskopisches Glätten (S1) einer Oberfläche (216) des Befestigungselements (202), und

5 b) makroskopisches Verformen (S2) der mikroskopisch geglätteten Oberfläche (216'), so dass makroskopische Unebenheiten (1102) der Oberfläche (216') entstehen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das mikroskopische Glätten (S1) ein Entgraten aufweist und/oder wobei das makroskopische Verformen (S2) einen Materialabtrag aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Oberfläche (216) des Befestigungselements (202) derart mikroskopisch geglättet wird (S1), dass die geglättete Oberfläche (216') glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten (902) mit einer Periode (P1) von 1 µm oder kleiner, 0,5 µm oder kleiner und/oder 0,1 µm oder kleiner.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Oberfläche (216) des Befestigungselements (202) derart mikroskopisch geglättet wird (S1), dass die geglättete Oberfläche (216') glatt ist bis auf mikroskopische Unebenheiten (902) mit einer Höhe (H1) von kleiner als 1000 nm, kleiner als 500 nm, kleiner als 300 nm und/oder kleiner als 100 nm.

25 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Oberfläche (216') des Befestigungselements derart makroskopisch verformt wird (S2), dass die makroskopischen Unebenheiten (1102) eine Periode (P2) aufweisen, die um mindestens einen Faktor 100 oder einen Faktor 1000 größer ist als eine Periode (P1) der mikroskopischen Unebenheiten (902).

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei die Oberfläche (216') des Befestigungselements (202) derart makroskopisch verformt wird (S2), dass die makroskopischen Unebenheiten (1102) eine Höhe (H2) von größer als 1000 nm, größer als 2000 nm und/oder größer als 3000 nm aufweisen.

5

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei:

das mikroskopische Glätten (S1) der Oberfläche (216) ein erstes Elektropolieren aufweist zum Herstellen der mikroskopisch geglätteten Oberfläche (216'), und/oder

10 das makroskopische Verformen (S2) der mikroskopisch geglätteten Oberfläche (216') ein zweites Elektropolieren derart aufweist, dass dabei die mikroskopisch geglättete Oberfläche (216') mit makroskopischen Unebenheiten (1102) versehen wird.

15 14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei:

das erste Elektropolieren (S1) mindestens eine Minute, mindestens zwei Minuten und/oder mindestens drei Minuten angewendet wird, und/oder

das zweite Elektropolieren (S2) mindestens eine Minute, mindestens zwei Minuten, mindestens drei Minuten, mindestens vier Minuten, mindestens fünf
20 Minuten und/oder mindestens sechs Minuten angewendet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, wobei es nach dem makroskopischen Verformen (S2) der Oberfläche (216') in Schritt b) einen Schritt eines Härtens (S3) der Oberfläche (216'') aufweist.

25

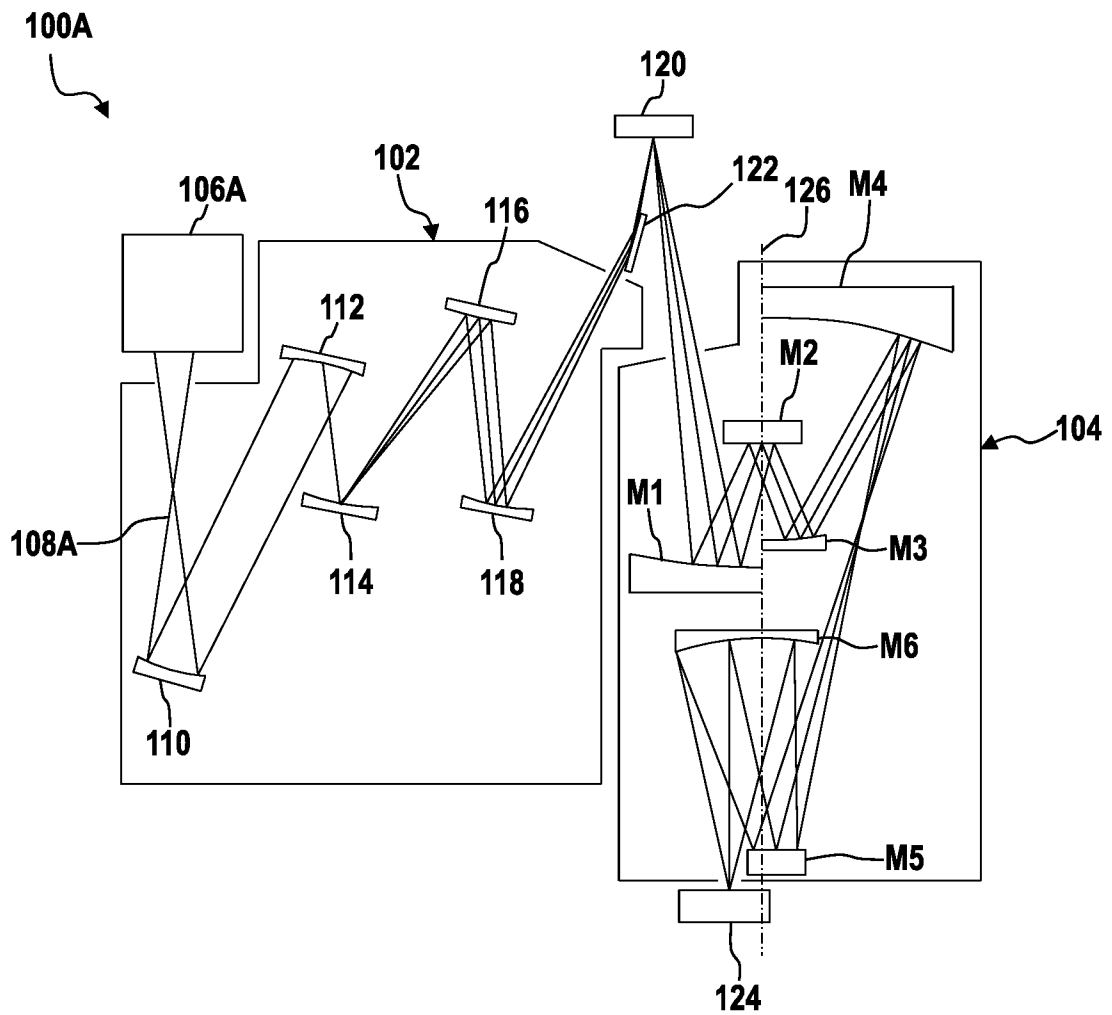


Fig. 1A

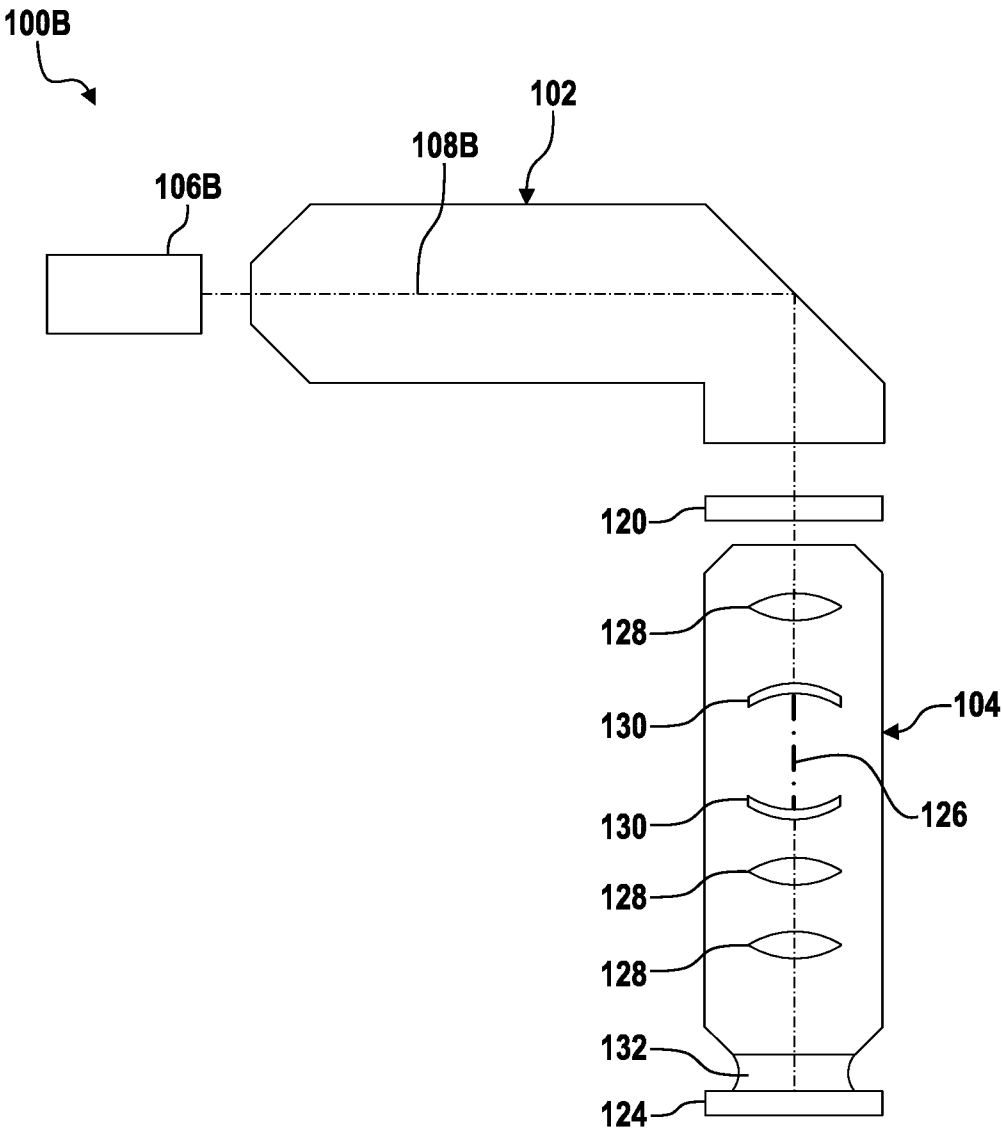


Fig. 1B

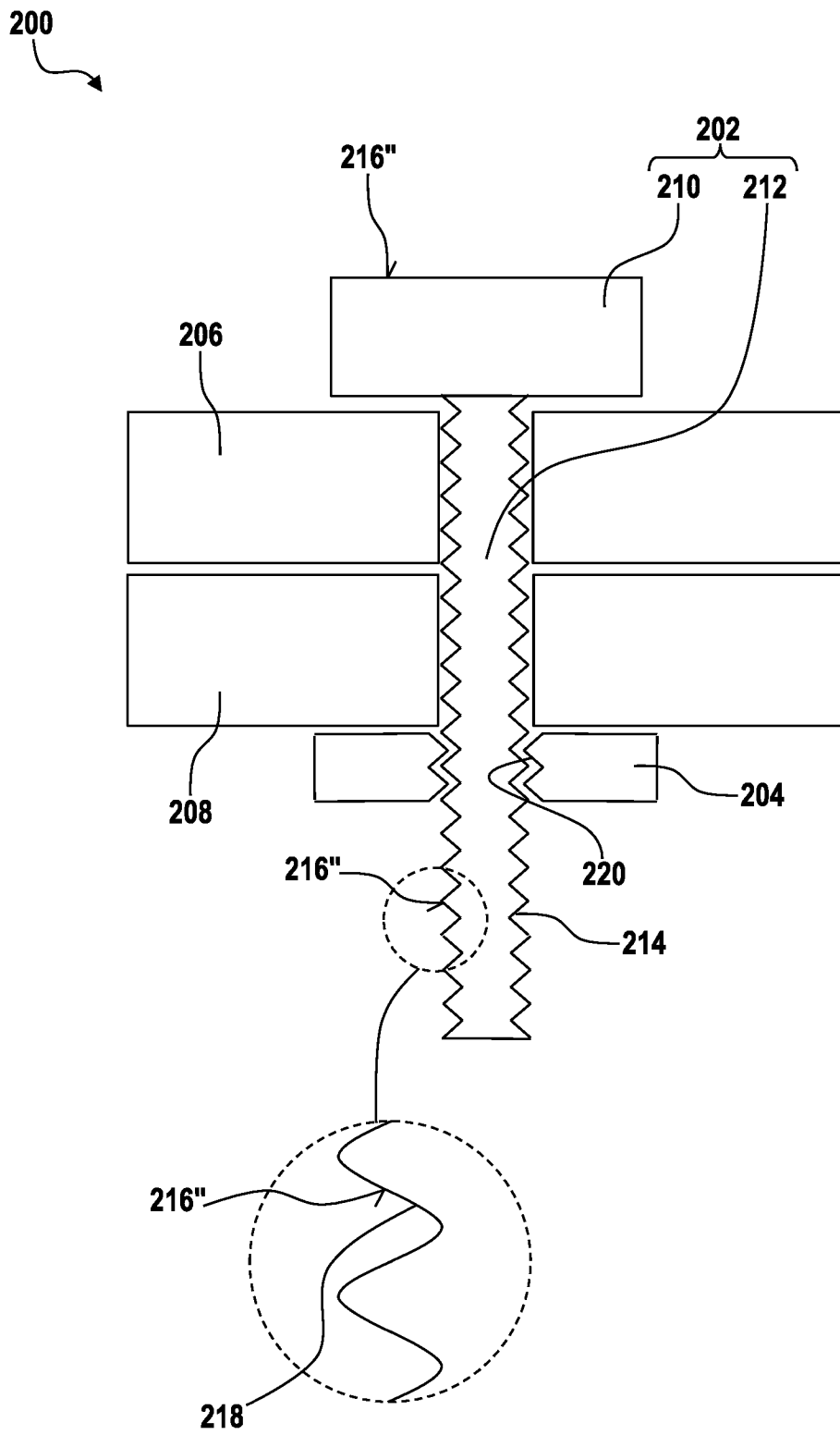


Fig. 2

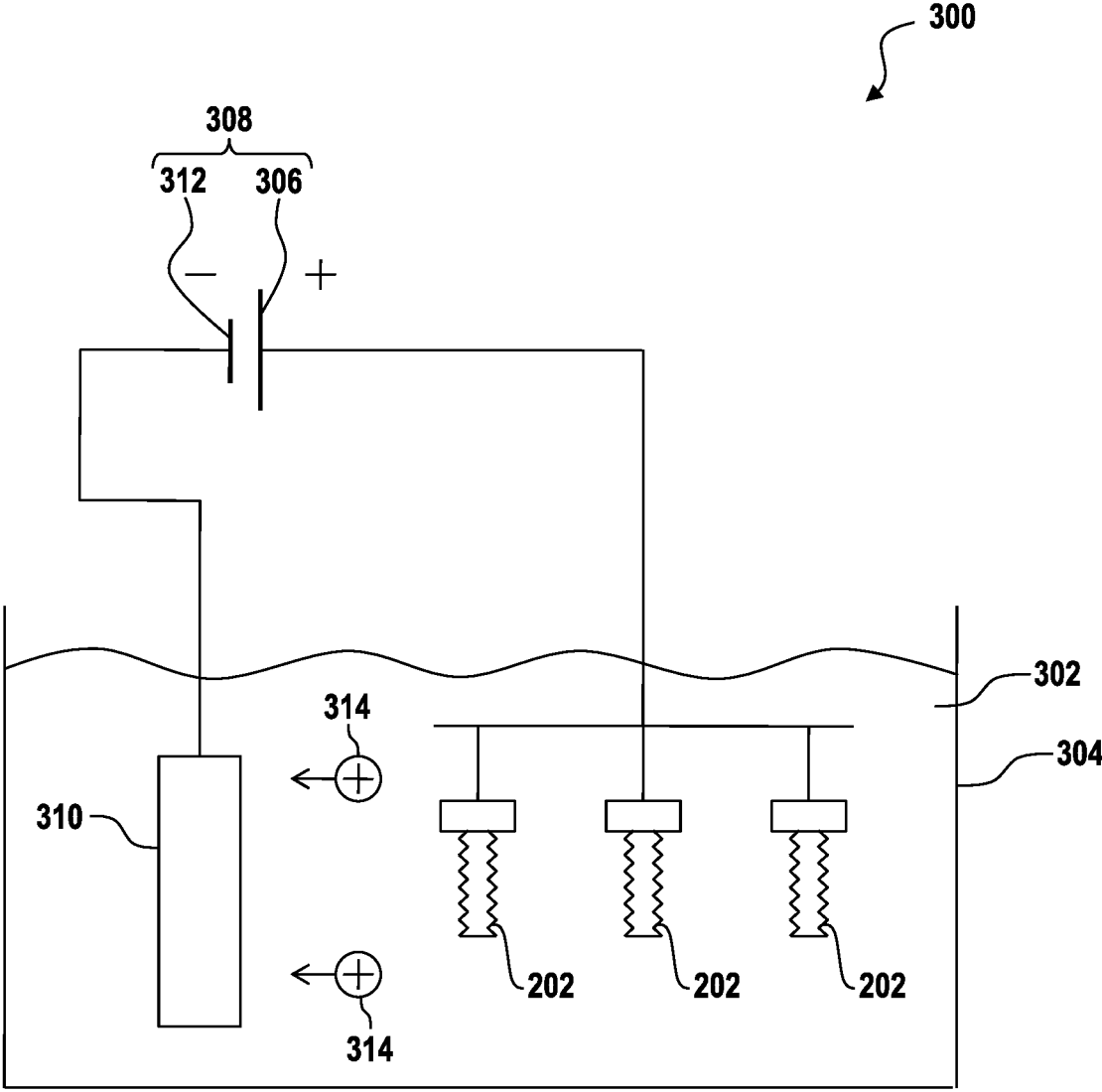


Fig. 3

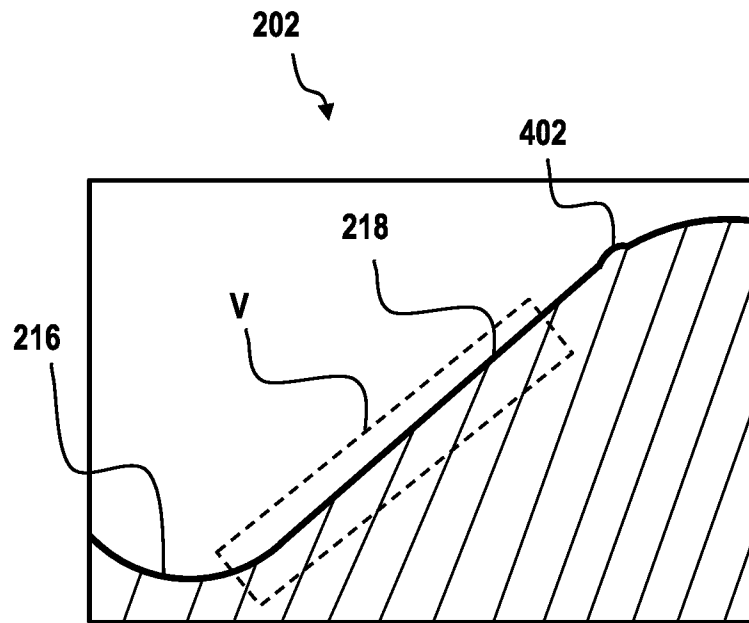


Fig. 4

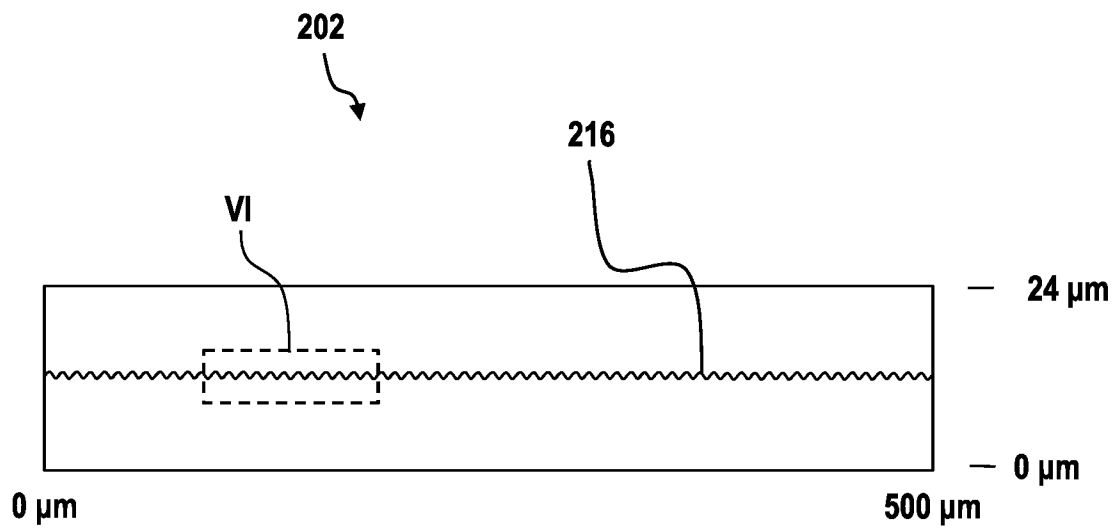


Fig. 5

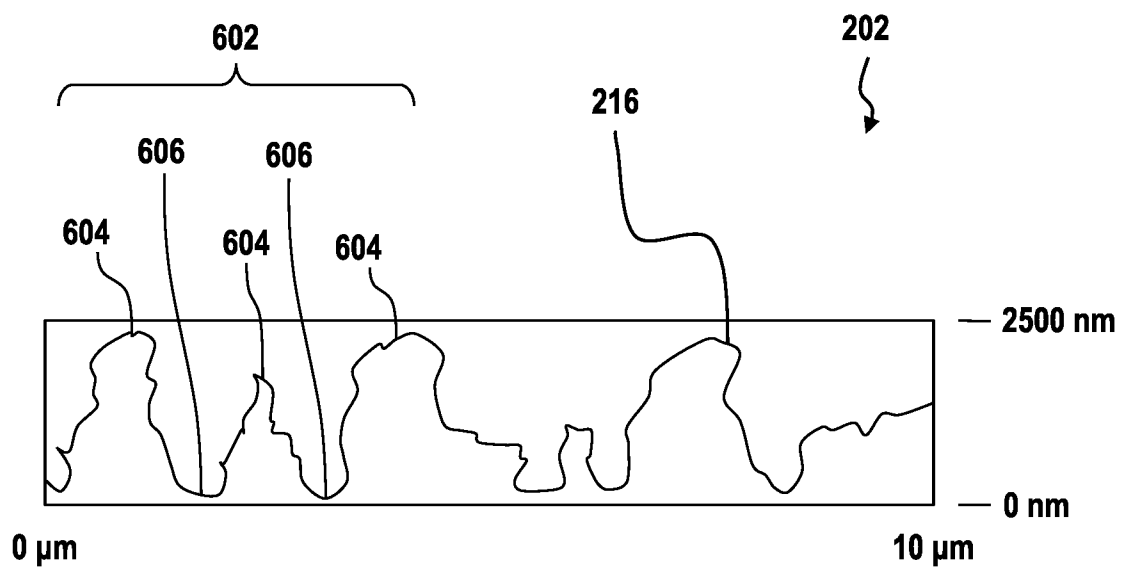


Fig. 6

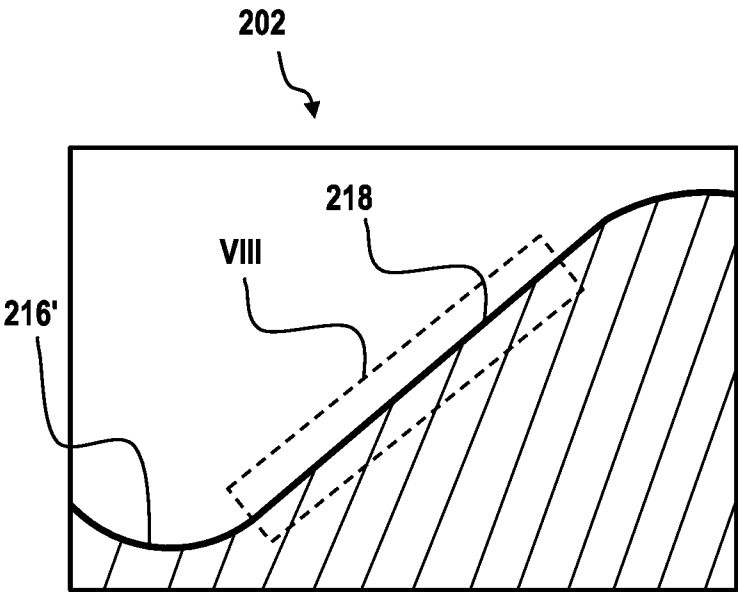


Fig. 7

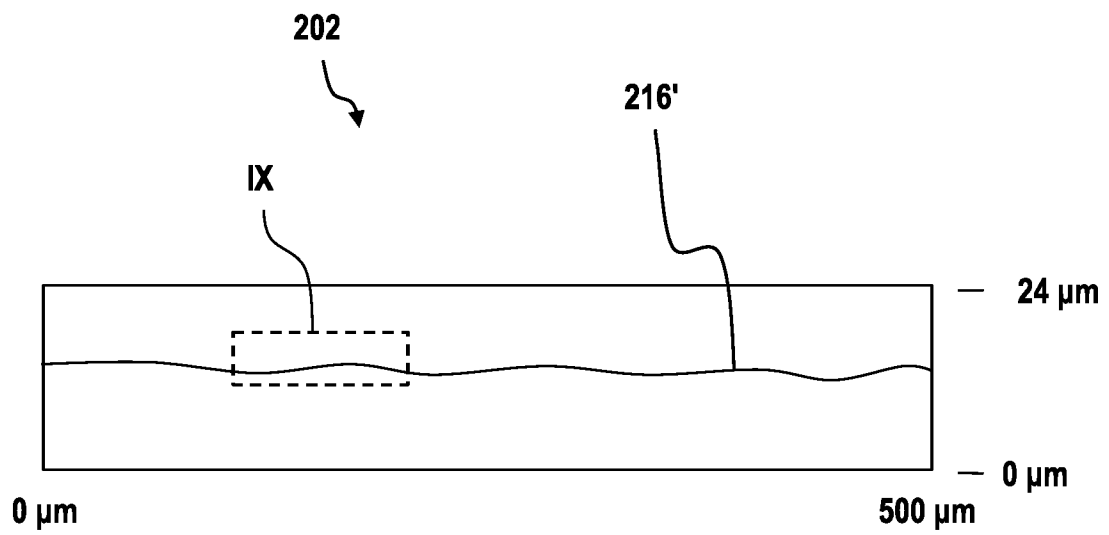


Fig. 8

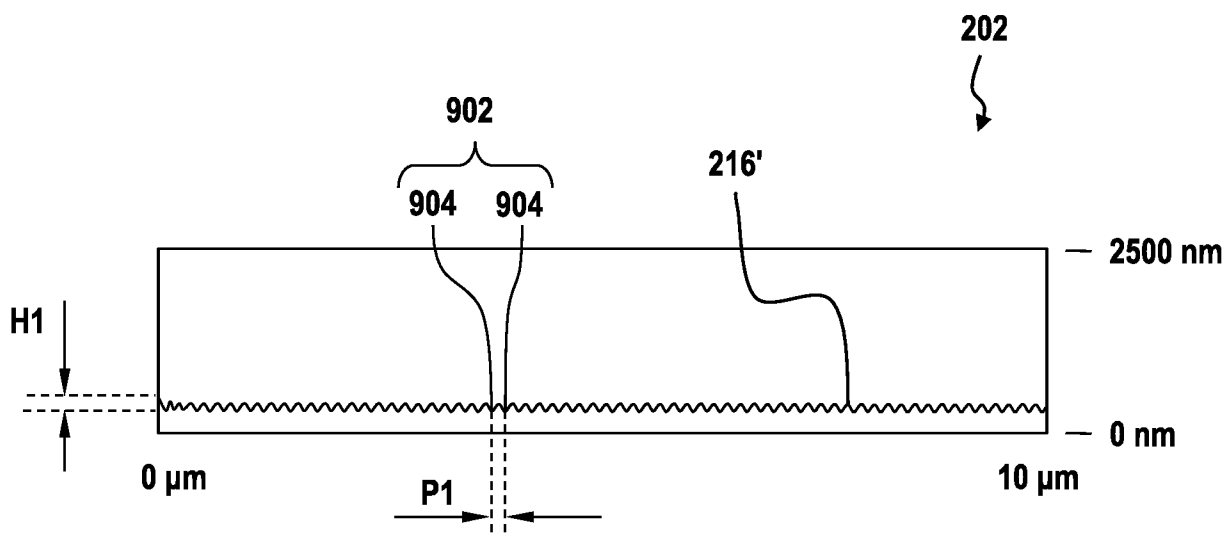


Fig. 9

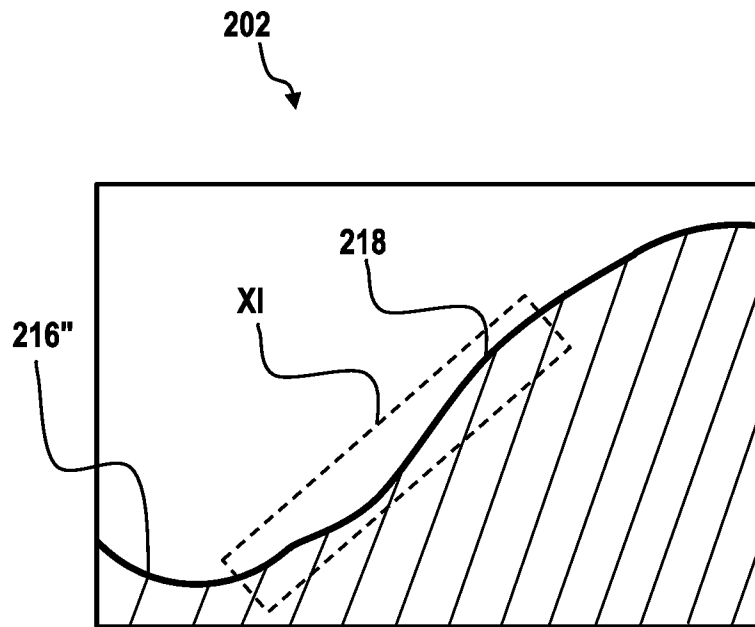


Fig. 10

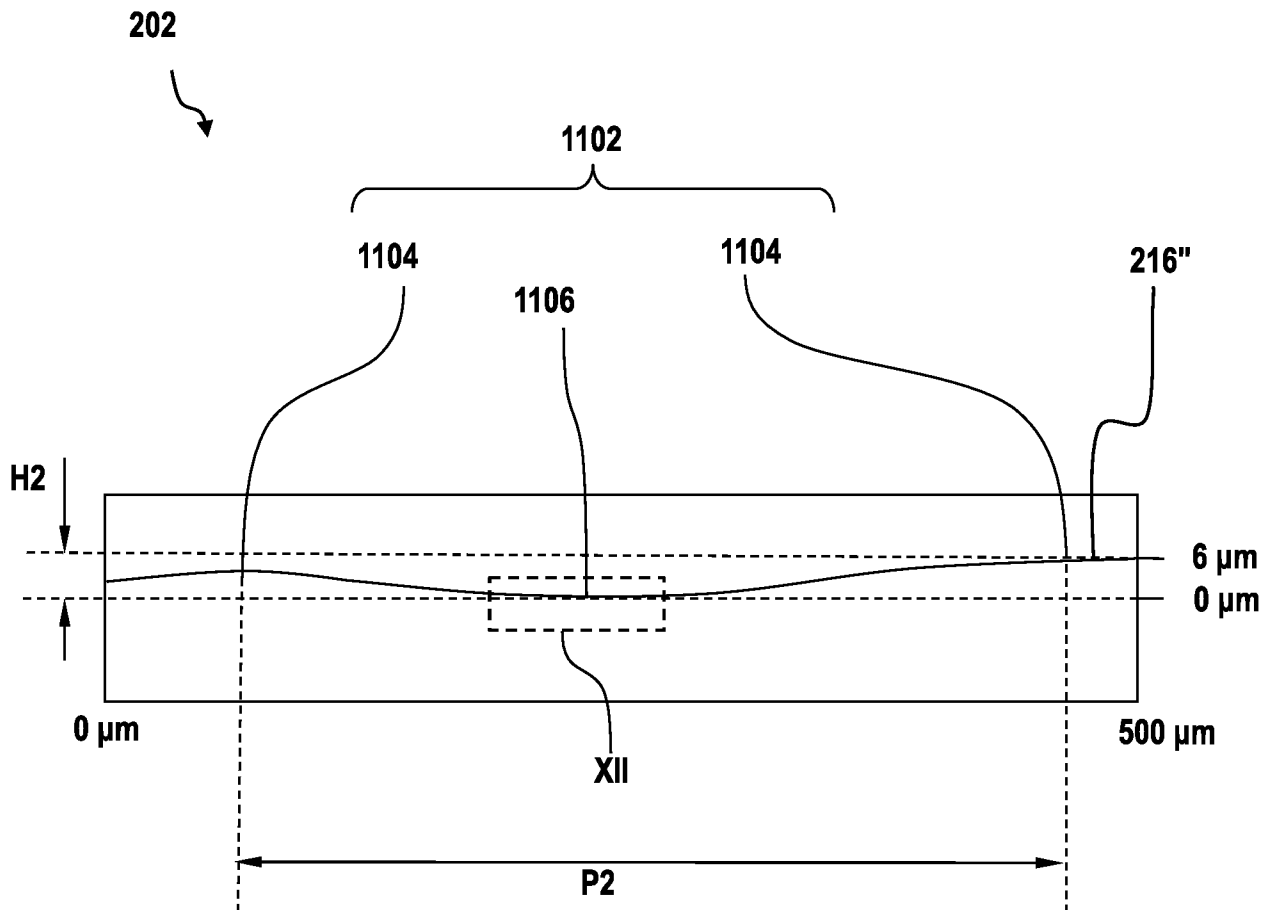


Fig. 11

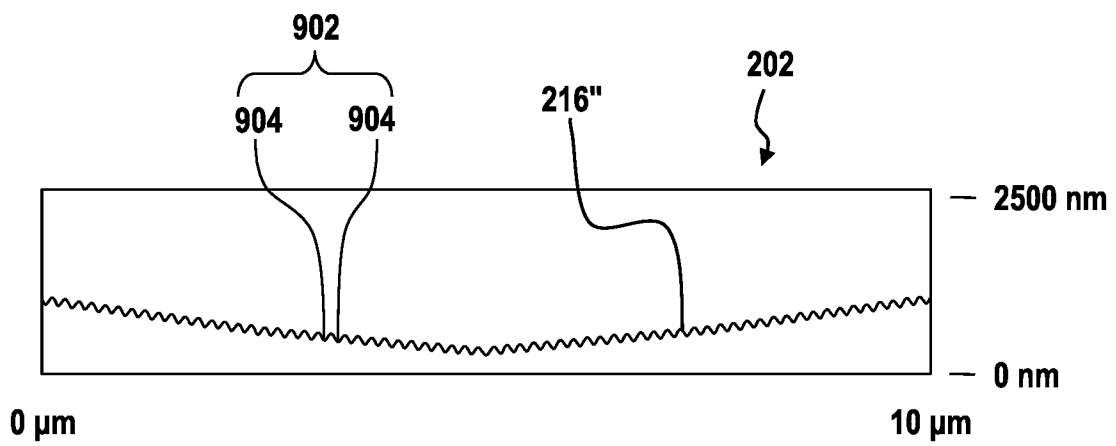


Fig. 12

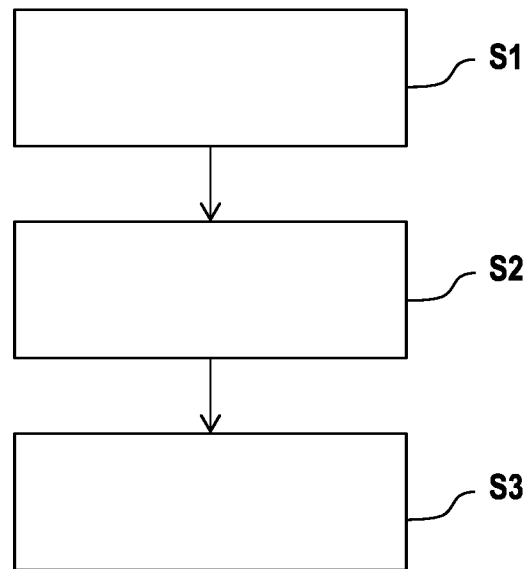


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/066918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G03F 7/20**(2006.01)i; **G02B 7/00**(2021.01)i; **G02B 27/00**(2006.01)i; **F16B 33/06**(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F; G02B; F16B

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2011256412 A (TANAKA:KK) 22 December 2011 (2011-12-22)	1-6
A	paragraphs [0006], [0043] - [0052]	7-15
A	Edelstahlprofile Krupp ET AL. "Ein Unternehmen von ThyssenKrupp Steel Wie vermeide ich das Festfressen rostfreier Verbindungselemente?" 01 July 2002 (2002-07-01), Retrieved from the Internet: https://www.edelstahl-rostfrei.de/fileadmin/user_upload/ISER/downloads/Festfressen_vermeiden.pdf [retrieved on 2021-10-06] XP055848643 the whole document	7-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 October 2021

Date of mailing of the international search report

18 October 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

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

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

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

Authorized officer

Eisner, Klaus

Telephone No.

International application No.
PCT/EP2021/066918

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2011256412	A	22 December 2011	JP	5746832	B2	08 July 2015
				JP	2011256412	A	22 December 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G03F7/20 G02B7/00 G02B27/00 F16B33/06 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G03F G02B F16B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2011 256412 A (TANAKA:KK) 22. Dezember 2011 (2011-12-22)	1-6
A	Absätze [0006], [0043] - [0052] -----	7-15
A	Edelstahlprofile Krupp ET AL: "Ein Unternehmen von ThyssenKrupp Steel Wie vermeide ich das Festfressen rostfreier Verbindungselemente?", 1. Juli 2002 (2002-07-01), XP055848643, Gefunden im Internet: URL: https://www.edelstahl-rostfrei.de/fileadmin/user_upload/ISER/downloads/Festfressen_vermeiden.pdf [gefunden am 2021-10-06] das ganze Dokument -----	7-15
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. Oktober 2021		18/10/2021
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Eisner, Klaus

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2021/066918

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (April 2005)