



(10) **DE 10 2020 116 790 B4** 2022.01.13

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 116 790.3**
(22) Anmeldetag: **25.06.2020**
(43) Offenlegungstag: **30.12.2021**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.01.2022**

(51) Int Cl.: **G01B 11/00 (2006.01)**
G03F 9/00 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE; Gottfried Wilhelm Leibniz
Universität Hannover, 30167 Hannover, DE**

(72) Erfinder:
Schell, Andreas, Prof. Dr., 30451 Hannover, DE

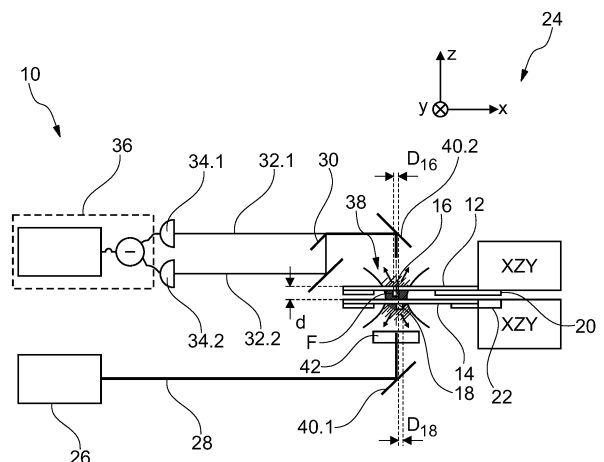
(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte
PartGmbH, 38122 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	37 19 539	A1
DE	19 19 991	A
US	6 529 625	B2
US	5 446 542	A
US	5 465 148	A
JP	2007- 218 754	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen einer Fehlausrichtung und Ausrichtvorrichtung zum Ausrichten zweier flacher Objekte relativ zueinander**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen einer Fehlausrichtung (a) eines ersten flachen Objekts (12), das eine erste Markierung (16) aufweist, und (b) eines zweiten flachen Objekts (14), das eine zweite Markierung (18) aufweist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass (c) die erste Markierung (16) eine erste Ausdehnung (D_{16}) hat und die zweite Markierung (18) eine zweite Ausdehnung (D_{18}) hat, relativ zueinander, mit den Schritten: (i) Bringen der ersten Markierung (16) und der zweiten Markierung (18) in einen Fokus (F) eines Laserstrahls (28) aus Laserlicht, sodass durch Streuung Streu-Laserlicht entsteht, (ii) Interferieren-Lassen des Streu-Laserlichts mit Direkt-Laserlicht, das an keiner der Markierungen gestreut wurde, sodass ein Mess-Laserstrahl (32) entsteht, (iii) Bewegen des ersten flachen Objekts (12) relativ zum Fokus (F) und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt (14) und (iv) Messen einer ersten Intensität (I_1) eines ersten Teils des Mess-Laserstrahls (32.1) mittels eines ersten Detektors (34) und einer zweiten Intensität (I_2) eines zweiten Teils des Mess-Laserstrahls (32.2) mittels eines zweiten Detektors (34) in Abhängigkeit von der Position der flachen Objekte relativ zueinander, sodass die Markierungen zueinander ausgerichtet werden, (v) wobei das Laserlicht eine Laser-Wellenlänge hat und die Ausdehnungen kleiner sind als die Laser-Wellenlänge.



Beschreibung

[0001] Bei der Herstellung von Halbleiterbauteilen ist es notwendig, zwei flache Objekte relativ zueinander auszurichten. Bei dem ersten Objekt handelt es sich um einen Wafer, bei dem zweiten Objekt handelt es sich beispielsweise um eine Maske, die relativ zu dem Wafer möglichst ortsgenau positioniert werden muss.

[0002] Es ist aus der DE 37 19 539 A1 und der US 5 465 148 A bekannt, die beiden flachen Objekte jeweils mit einer Markierung in Form eines Gitters zu versehen, anhand derer die Objekte relativ zueinander ausgerichtet werden. Sind die Gitter relativ zueinander verschoben, ergibt sich ein Beugungsbild, das sich von demjenigen Beugungsbild unterscheidet, das sich ergibt, wenn die beiden flachen Objekte korrekt zueinander ausgerichtet sind.

[0003] Nachteilig an diesen Verfahren ist die durch die geringe Sensitivität bedingte, vergleichsweise lange Messzeit. Wünschenswert ist bei allen Verfahren eine möglichst geringe Messunsicherheit bei der Bestimmung der Ausrichtung der flachen Objekte relativ zueinander.

[0004] Aus der US 6 529 625 B2 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Positionserfassung bekannt, die es ermöglichen, mit hoher Genauigkeit durch ein Bildverarbeitungsverfahren die relativen Positionen von zwei in Richtung der optischen Achse eines optischen Erfassungssystems beabstandeten Halbleiterbauelementen zu erfassen. Bei der Erfassung der relativen Positionen eines ersten Objekts, beispielsweise einer Maske, und eines zweiten Objekts, beispielsweise einem Wafer, ist ein drittes Objekt vorgesehen, das mit separaten Referenzausrichtungsmarken versehen ist. Optische Bilder von der Referenzausrichtungsmarke auf dem dritten Objekt und optische Bilder der Positionserfassungsmarken auf dem ersten und zweiten Objekt werden durch eine Bildaufnahmeverrichtung erfasst. Dadurch wird eine Positionsabweichung zwischen dem ersten und zweiten Objekt erfassbar.

[0005] Die DE 19 19 991 A beschreibt ein Verfahren zur automatischen Ausrichtung von zwei aufeinander einzujustierenden Objekten mittels eines Lichtmikroskops. Jedes Objekt hat eine Justiermarke und beide Justiermarken werden durch dasselbe optische Messsystem abgebildet. Ein derartiges Verfahren ist zeitaufwändig.

[0006] Die US 5 446 542 A beschreibt eine Vorrichtung zur Bestimmung der Position einer Markierung und besitzt eine Laserlichtquelle zum Projizieren eines Laserstrahls auf eine Ausrichtungsmarkierung auf einem zu belichtenden Substrat. Die Ausrichtungsmarkierung hat eine mittlere Fläche und ein

Paar Seitenflächen. Ein räumlicher Filter ist so angeordnet, dass er das von der mittleren ebenen Fläche der Ausrichtungsmarke reflektierte Licht abschirmt. Der räumliche Filter hat ein Paar an Fenstern, die den Durchgang von Streulicht ermöglichen, das von den Seitenflächen der Ausrichtungsmarke stammt. Ein Bildsensor ist so angeordnet, dass er das Streulicht, das den räumlichen Filter passiert hat, empfängt und so ein Bildsignal erzeugt. Ein Bildprozessor empfängt das Bildsignal und berechnet, ob Lichtintensitätsspitzen, die in der erhaltenen Lichtintensitätsverteilung enthalten sind, im Wesentlichen symmetrisch sind oder nicht. Ist das der Fall, ist die gewünschte Position erreicht.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Ausrichten zweier flacher Objekte relativ zueinander zu verbessern.

[0008] Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1.

[0009] Besonders günstig ist es, wenn das Laserlicht eine Laser-Wellenlänge hat und die Ausdehnungen kleiner sind als das Dreifache der Laser-Wellenlänge, insbesondere kleiner als die Laser-Wellenlänge. Günstig ist es, wenn der Laserstrahl monochromatisch ist.

[0010] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch eine Ausrichtvorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 7.

[0011] Es ist günstig nicht aber notwendig, wenn die Markierungen Zylinderform, Halbkugelform oder Kugelform haben.

[0012] Vorzugsweise ist die Laserlichtquelle zum Abgeben eines Laserstrahls aus Laserlicht mit einer Laser-Wellenlänge ausgebildet, wobei die Ausdehnungen kleiner sind als das Dreifache der Laser-Wellenlänge, insbesondere kleiner als die Laser-Wellenlänge.

[0013] Bei dem ersten flachen Objekt handelt es sich vorzugsweise um einen Wafer oder eine Belichtungsmaske zum Belichten des Wafers. Günstig ist es, wenn das zweite flache Objekt vorzugsweise ebenfalls ein Wafer oder eine Belichtungsmaske ist.

[0014] Bei dem Wafer handelt es sich vorzugsweise um einen Silizium-Wafer. Günstig ist, wenn der Abstand der flachen Objekte höchstens 1 Millimeter, insbesondere höchstens 0,5 Millimeter, beträgt.

[0015] Bei den Detektoren handelt es sich vorzugsweise um Punktdetektoren, also Detektoren, die keine Ortsauflösung haben. Es ist allerdings möglich, dass die Detektoren aus einzelnen Teil-Detektoren zusammengesetzt sind, solange das Messergebnis

aus einzelnen Messwerten der einzelnen Teil-Detektoren bestimmt wird. Beispielsweise können die Detektoren auch durch CCD-Chips oder andere Flächendetektoren gebildet sein, solange das Messergebnis aus einzelnen Messwerten der einzelnen Pixel berechnet wird.

[0016] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass meistens vergleichsweise kurze Messzeiten erreicht werden können. So ist es wahrscheinlich, dass eine Messzeit von weniger als 10 Sekunden, insbesondere weniger als 5 Sekunden, erreichbar ist.

[0017] Der Erfindung liegt die Kenntnis zugrunde, dass es nicht notwendig ist, periodische Strukturen zu verwenden, um eine Ausrichtung der flachen Objekte relativ zueinander zu erfassen. Je nach Position der Markierungen innerhalb des Fokus und der Markierungen relativ zueinander ändert sich das Streuverhalten der Markierungen. Diese Änderungen können erfasst werden und erlauben einen Schluss auf die Ausrichtung der flachen Objekte relativ zueinander.

[0018] Der Schritt (ii) des Interferieren-Lassens des Streu-Laserlichts mit Direkt-Laserlicht, das an keiner der Markierungen gestreut wurde, sodass ein Mess-Laserstrahl entsteht, ist nicht zwingend notwendig. Erfindungsgemäß ist in seiner breitesten Form daher zudem ein Verfahren zum Bestimmen einer Fehlausrichtung (a) eines ersten flachen Objekts, das eine erste Markierung aufweist, und (b) eines zweiten flachen Objekts, das eine zweite Markierung aufweist, (c) wobei die erste Markierung eine erste Ausdehnung hat und die zweite Markierung eine zweite Ausdehnung hat, relativ zueinander, mit den Schritten: (i) Bringen der ersten Markierung und der zweiten Markierung in einen Fokus eines Laserstrahls aus Laserlicht, sodass durch Streuung Streu-Laserlicht entsteht, (ii) Bewegen des ersten flachen Objekts relativ zum Fokus und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt und (iii) Messen einer ersten Intensität eines ersten Teils des Streu-Laserlichts mittels eines ersten Detektors und einer zweiten Intensität eines zweiten Teils des Streu-Laserlichts mittels eines zweiten Detektors in Abhängigkeit von der Position der flachen Objekte relativ zueinander, sodass die Markierungen zueinander ausgerichtet werden. Vorteilhaft ist, wenn das Laserlicht eine Laser-Wellenlänge hat und die Ausdehnungen kleiner sind als das Dreifache der Laser-Wellenlänge, insbesondere kleiner als die Laser-Wellenlänge. Das Streu-Laserlicht bildet in diesem Fall den Mess-Laserstrahl.

[0019] Die im Folgenden beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen beziehen sich auch auf dieses und das weiter oben genannte Verfahren.

[0020] Günstig ist es, wenn genau eine erste Markierung und genau eine zweite Markierung in den Fokus gebracht werden. Es wird so ein besonders leicht auswertbares Signal erhalten.

[0021] Günstig ist es, wenn die Detektoren so angeordnet sind, dass eine Differenz der Intensitäten betragsmäßig minimal ist, wenn die Markierungen relativ zueinander in einer Soll-Lage ausgerichtet sind. Insbesondere liegen in der Soll-Lage die Markierungen auf einer optischen Achse des Laserstrahls.

[0022] Günstig ist es, wenn die Detektoren so angeordnet sind, dass die Differenz der Intensitäten null ist, wenn die Markierungen relativ zueinander in der Soll-Lage ausgerichtet sind.

[0023] Unter dem Merkmal, dass die Differenz der Intensitäten null ist, wird ein Verschwinden der Differenz der Intensitäten im technischen Sinne verstanden. Selbstverständlich ist beispielsweise ein Rauschen des Messwerts unvermeidlich, sodass die Differenz im streng mathematischen nie null wird. Das ist auch nicht gemeint, maßgeblich ist, dass die Differenz der Intensitäten so klein wird, dass sie als null betrachtet werden kann.

[0024] Vorzugsweise ist das flache Objekt für das Laserlicht transparent. Die Markierungen sind können für das Laserlicht transparent oder intransparent sein. Maßgeblich ist, dass die Markierungen das Laserlicht streuen, beispielsweise durch Rayleigh-Streuung. Auf diese Weise kann das Laserlicht durch die flachen Objekte hindurchtreten und die Intensitäten und/oder die Differenz der Intensitäten hängen zumindest überwiegend, vorzugsweise im Wesentlichen ausschließlich, von der Position der Markierungen relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus ab.

[0025] Unter dem Merkmal dass die Intensitäten und/oder die Differenz der Intensitäten im Wesentlichen ausschließlich von der Position der Markierungen relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus abhängen, wird insbesondere verstanden, dass zwar andere Effekte einen Einfluss auf die Intensitäten haben können, dass diese aber vernachlässigbar klein sind und beispielsweise die Differenz der Intensitäten um weniger als 10% beeinflussen.

[0026] Günstig ist es, wenn die Laser-Wellenlänge zumindest 0,9 Mikrometer beträgt, insbesondere zumindest 1,4 Mikrometer. Günstig ist es, wenn die Laser-Wellenlänge kürzer als 3 Mikrometer, insbesondere kürzer als 2 Mikrometer. In diesem Wellenlängenbereich ist Silizium weitgehend transparent, sodass Silizium-Wafer mit diesem Verfahren relativ zu einem anderen flachen Objekt ausgerichtet werden können.

[0027] Der Fokusbereich des Fokus beträgt höchstens das Zehnfache, vorzugsweise höchstens das Dreifache, der Laser-Wellenlänge. Ein so kleiner Fokus führt zu einer geringen Messunsicherheit hinsichtlich der Ausrichtung der Markierungen relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus.

[0028] Vorzugsweise bilden die Marker kein periodisches Muster. Insbesondere erfolgt das Messen der Intensitäten nicht in einem Beugungsmuster. Es sei darauf hingewiesen, dass Beugungseffekte nie komplett ausgeschlossen werden können, zumindest theoretisch stets ein geringer Anteil der Verteilung des Lichts auf Beugung rückführbar. Maßgeblich ist jedoch, dass das Verfahren auch dann funktionieren würde, wenn keinerlei Beugungsmuster entsteht.

[0029] Besonders günstig ist es, wenn das Bewegen des ersten flachen Objekts relativ zum Fokus und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt ein Oszillieren mit einer Oszillationsfrequenz ist und die erste Intensität und/oder die zweite Intensität mittels Trägerfrequenzverstärkung bezüglich der Oszillationsfrequenz gemessen wird. Die Trägerfrequenzverstärkung wird auch als Log-In-Verstärkung bezeichnet und führt zu einer besonders geringen Messunsicherheit.

[0030] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (a) Bewegen einer ersten Objektaufnahme, mittels der das erste flache Objekt aufgenommen ist, und einer zweiten Objektaufnahme, mittels der das zweite flache Objekt aufgenommen ist, relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus, (b) Erfassen einer Differenz aus erster Intensität und zweiter Intensität und (c) Ermitteln einer Ziel-Position der ersten Objektaufnahme und der zweiten Objektaufnahme relativ zueinander. Diese Ziel-Position entspricht vorzugsweise derjenigen Position, die die beiden flachen Objekte relativ zueinander haben müssen, um einen nachfolgenden Fertigungsschritt optimal ausführen zu können.

[0031] Vorzugsweise werden die erste Objektaufnahme und die zweite Objektaufnahme entsprechend der Zielposition positioniert. Danach wird vorzugsweise das erste flache Objekt in Form eines Wafers mittels des zweiten flachen Objekts in Form einer Maske belichtet.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren die Schritte (i) Messen einer dritten Intensität I_3 eines ersten Abschnitts des Mess-Laserstrahls, insbesondere mittels eines dritten Detektors, und einer vierten Intensität eines zweiten Abschnitts des Mess-Laserstrahls, insbesondere mittels eines vierten Detektors, in Abhängigkeit von der Position der flachen Objekte relativ zueinander, und (ii) aus den Intensitäten Ermitteln der Soll-Lage. Die Detektoren sind vorzugsweise so angeordnet

sind, dass eine erste Differenz aus erster Intensität und zweiter Intensität minimal und eine zweite Differenz aus dritter Intensität und vierter Intensität minimal ist, wenn die Markierungen relativ zueinander in der Soll-Lage sind.

[0033] Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Detektoren um virtuelle Detektoren handeln kann, die durch zeitlich nacheinander erfolgendes Leiten der Teil-Lichtstrahlen und Abschnitte auf ein Detektorelement und zeitlich nacheinander erfolgendes Messen der jeweiligen Lichtintensität entstehen.

[0034] Günstig ist es, wenn die erfindungsgemäße Ausrichtvorrichtung ausgebildet ist zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1a eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Ausrichtvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform,

Fig. 1b eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Ausrichtvorrichtung,

Fig. 2a eine schematische Ansicht zweier flacher Objekte, deren Markierungen nicht in der Soll-Lage zueinander ausgerichtet sind,

Fig. 2b die zwei flachen Objekte gemäß **Fig. 2a**, wobei die Markierungen in der Soll-Lage zueinander ausgerichtet sind und

Fig. 2c ein Diagramm, in dem die maximal erreichbare Messunsicherheit beim Ausrichten der flachen Objekte relativ zueinander gegen die numerische Apertur, die Wellenlänge und den Abstand der beiden flachen Objekte aufgetragen ist.

[0036] **Fig. 1a** zeigt schematisch eine Ausrichtvorrichtung 10 zum Ausrichten eines ersten flachen Objekts 12 relativ zu einem zweiten flachen Objekt 14. Das erste flache Objekt 12 hat eine erste Markierung 16. Das zweite flache Objekt 14 hat eine zweite Markierung 18.

[0037] Das erste flache Objekt 12 ist von einer ersten Objektaufnahme 20 aufgenommen, bei der es sich beispielsweise um einen x-y-Tisch handelt. Das zweite flache Objekt 14 ist von einer zweiten Objektaufnahme 22 aufgenommen, die baugleich mit der ersten Objektaufnahme 20 sein kann, das ist aber nicht notwendig.

[0038] Es ist günstig, wenn die erste Objektaufnahme 20 einen Antrieb aufweist, mittels dem die erste Objektaufnahme 20 in zwei Raumrichtungen positionierbar ist. Diese Raumrichtungen werden bezüglich eines Koordinatensystems 24 vorzugs-

weise als x- und y-Koordinate betrachtet. Es ist günstig, wenn auch die zweite Objektaufnahme 22 mittels eines Antriebs in x- und y-Richtung positionierbar ausgebildet ist. Ein Abstand d entspricht bei dieser Wahl des Koordinatensystems 24 der Differenz der z-Koordinaten.

[0039] Die erste Markierung 16 hat eine erste Ausdehnung D_{16} . Die zweite Markierung 18 hat eine zweite Ausdehnung D_{18} . Die Ausdehnungen D_{16} und D_{18} sind die Durchmesser der jeweiligen Hüllkugeln. Eine Hüllkugel ist diejenige gedachte Kugel minimalen Durchmessers, die die entsprechende Markierung vollständig enthält.

[0040] Die Ausrichtvorrichtung 10 besitzt zudem eine Laserlichtquelle 26 zum Abgeben eines Laserstrahls 28, der einen Fokus F hat. Der Laserstrahl 28 bildet nach Wechselwirkung mit den Markierungen 16, 18 einen Mess-Laserstrahl 32. Der Mess-Laserstrahl 32 trifft auf einen Strahlteiler 30, der den Laserstrahl in einen ersten Teil 32.1 und einen zweiten Teil 32.2 aufspaltet. Der erste Teil 32.1 fällt auf einen ersten Detektor 34.1. Der zweite Teil 32.2 fällt auf einen zweiten Detektor 34.2. Der erste Detektor 34.1 misst eine erste Intensität I_1 , der zweite Detektor 34.2 misst eine zweite Intensität I_2 . Die Detektoren 34.1 und 34.2 sind der Auswerteeinheit 36, die eine Differenz $\Delta I = I_1 - I_2$ bestimmt.

[0041] Zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens werden die flachen Objekte 12, 14 so im Fokus F positioniert, dass durch Streuung des Laserstrahls 28 Streulicht 32 entsteht. Je nach Position der Markierungen 16, 18 relativ zueinander und relativ zum Fokus F ändern sich die Intensitäten I_1 , I_2 und damit die Differenz $\Delta I = (I_1 - I_2)$.

[0042] Das Laserlicht des Laserstrahls 28 hat eine Wellenlänge λ . Die Ausnehmungen D_{16} , D_{18} sind kleiner als 10λ , insbesondere kleiner als 3λ . Die Objektaufnahmen 20, 22 werden so bewegt, dass sich die flachen Objekte 12, 14 relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus F bewegen. Beispielsweise werden die Objektaufnahmen 20, 22 oszillierend, beispielsweise mit unterschiedlichen Frequenzen, bewegt.

[0043] Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Bewegung entlang nur einer Achse, beispielsweise der x-Achse, erfolgt. Im Folgenden wird dieser Fall beschrieben.

[0044] Die Differenz der Intensitäten ΔI wird von der Auswerteeinheit 36 erfasst. Zudem werden die jeweiligen Koordinaten der flachen Objekte 12, 14 relativ zueinander und relativ zum Fokus und/oder relativ zum Fokus F von der Auswerteeinheit 36 erfasst. Die Auswerteeinheit 36 ermittelt, an welcher Soll-Lage $L_{Soll} = \{x_{12}, y_{12}, x_{14}, y_{14}\}$ der Betrag der Diffe-

renz der Intensitäten ΔI minimal wird. Dabei sind die y-Positionen fest vorgegeben. Diese Stellung ist in **Fig. 2b** gezeigt. Da die Lage des Nullpunkts des Koordinatensystems 24 frei wählbar ist, ist die Soll-Lage L_{Soll} eine Lage der beiden flachen Objekte 12, 14 relativ zueinander.

[0045] Um eine optimale Soll-Lage in beiden Translationsfreiheitsgraden, hier also in x- und in y-Richtung, zu bestimmen besitzt die Ausrichtvorrichtung 10 einen dritten Detektor 34.3 zum Messen einer dritten Intensität I_3 und einen vierten Detektor 34.4 zum Messen einer vierten Intensität I_4 . Die Detektoren 34.i ($i = 1, 2, 3, 4$) sind so angeordnet, dass sowohl der Betrag der ersten Differenz ΔI_1 (die oben als ΔI_1 bezeichnet ist) aus erster Intensität I_1 und zweiter Intensität I_2 als auch der Betrag einer zweiten Differenz $\Delta I_2 = |I_3 - I_4|$ aus dritter Intensität I_3 und vierter Intensität I_4 minimal ist, wenn die Markierungen 16, 18 relativ zueinander in der Soll-Lage L_{Soll} sind.

[0046] Beispielsweise bilden die 34.i einen Detektor 34, der vier Teil-Detektoren aufweist. Ein solcher Detektor ist in **Fig. 1a** im Teilbild oben gezeigt. Die erste Intensität I_1 und die zweite Intensität I_1 werden in diesem Fall berechnet aus den Messergebnissen von je zwei Teil-Detektoren, für die gilt, dass eine Bewegung der Objekte 12, 14 in x-Richtung relativ zueinander die Intensitäten, die diese Teil-Detektoren messen, relativ zueinander verändert, nicht aber eine Bewegung in y-Richtung. Die dritte Intensität I_3 und die vierte Intensität I_4 werden berechnet aus den Messergebnissen von je zwei Teil-Detektoren, für die gilt, dass eine Bewegung der Objekte 12, 14 in y-Richtung relativ zueinander die Intensitäten, die diese Teil-Detektoren messen, relativ zueinander verändert, nicht aber eine Bewegung in x-Richtung.

[0047] Alternativ ist möglich, zumindest einen der beiden Teile 32.1 und/oder 32.2 nochmals zu teilen, und so auf die Detektoren 34.3, 34.4 zu leiten, dass die obige Bedingung erfüllt ist.

[0048] **Fig. 1a** zeigt die Anordnung der Detektoren 34.1, 34.2 in Transmissionsanordnung. **Fig. 1b** zeigt die Anordnung der Detektoren 34.1, 34.2 in Rückstrahlanordnung. Es ist zu erkennen, dass die Ausrichtvorrichtung 10 mehrere Spiegel 40.j aufweisen kann.

[0049] **Fig. 2a** zeigt das Streulicht 38 und schematisch die Intensitäten 11, 12 in dem Fall, in dem die Objekte 12, 14 nicht in der Soll-Lage relativ zueinander sind. In anderen Worten sind die Markierungen 16, 18 nicht auf einer optischen Achse A des Laserstrahls 28 angeordnet.

[0050] **Fig. 2b** zeigt den Fall, dass die beiden Markierungen 16, 18 beide auf der optischen Achse angeordnet sind. Die Intensitäten I_1 , I_2 sind gleich groß.

Das ist bei der Anordnung gemäß **Fig. 2a** nicht der Fall. In **Fig. 2b** ist daher die Differenz ΔI der Intensitäten gleich null. In anderen Worten werden die beiden Markierungen 16, 18 innerhalb des Fokus F des Laserstrahls 28 so angeordnet, dass beide Markierungen 16, 18 bestrahlt werden. Wenn eine der Markierungen in einer Richtung senkrecht zur optischen Achse A von der optischen Achse A bestandet ist, erhöht sich die Streuung in diese Richtung.

[0051] In **Fig. 2a** ist die Markierung 18 nach rechts relativ zur optischen Achse verschoben, daher erhöht sich die Intensität I_2 , die ebenfalls in Richtung rechts von der optischen Achse bezüglich der Ebene der **Fig. 2a** gemessen wird. Nur wenn die Markierungen 16, 18 exakt auf der optischen Achse liegen, ist die Streuung des Laserlichts symmetrisch. Die Situation ist in **Fig. 2b** gezeigt. In diesem Fall ist die Differenz ΔI gleich null.

[0052] Die höchste Sensitivität für die Detektion einer Abweichung von der Soll-Lage ergibt sich, wenn die beiden Strukturen 16, 18 exakt in einer Fokusebene E_F angeordnet sind. Die Fokusebene ist diejenige Ebene senkrecht zur optischen Achse, in der der Fokus F die minimale Fläche einnimmt. Kleinere Abweichungen der Lagen der Markierung 16, 18 von der Fokusebene E_F beeinträchtigen die Sensitivität jedoch nur geringfügig. Die Sensitivität hängt damit von einer numerischen Apertur NA ab. Die numerische Apertur bezieht sich auf eine Optik 42, die in den **Fig. 1a, Fig. 1b** schematisch eingezeichnet ist.

[0053] **Fig. 2c** zeigt die Abhängigkeit der maximalen detektierbaren Auflösung hinsichtlich einer Abweichung q der Position der Markierungen 16, 18 von der Soll-Lage, die in **Fig. 2b** gezeigt ist und von der numerischen Apertur NA, der Wellenlänge λ und/oder einem Abstand d der beiden Objekte 12, 14 voneinander.

[0054] Der in **Fig. 1a** gezeigte Aufbau in Transmissionsanordnung ist besonders günstig, wenn die Objekte 12, 14 für das Laserlicht 28 durchsichtig sind. Der in **Fig. 1b** gezeigte Aufbau in Rückstrahlanordnung ist besonders dann geeignet, wenn eines der Objekte 12, 14 undurchsichtig für den Laserstrahl 28 ist. In beiden Fällen werden das gestreute Licht und das Licht des Laserstrahls 28 auf den Detektoren 34.1, 34.2 überlagert. Bei den Detektoren 34.1, 34.2 handelt es sich vorzugsweise um Photodioden.

[0055] Im in **Fig. 1a** gezeigten Transmissions-Modus tritt der Laserstrahl 28 durch die flachen Objekte 12, 14. Der Laserstrahl 28 kann damit als lokaler Oszillator für eine homodyne Detektion betrachtet werden. Im in **Fig. 1b** gezeigten Rückstrahl-Modus interferiert das gestreute Licht mit einem Referenzstrahl, der von den Spiegeln 40.3., 40.4 erzeugt wird.

[0056] In den **Fig. 1a, Fig. 1b** ist die Detektion der Soll-Lage in x-Richtung gezeigt. Zur Detektion in x- und y-Richtung ist es günstig, wenn die Ausrichtvorrichtung einen dritten und einen vierten Detektor aufweist, die so angeordnet sind, dass eine Bewegung der flachen Objekte in y-Richtung zu einer Veränderung einer Intensitätsdifferenz ΔI_y führt.

[0057] Die Streuung kann als Rayleigh-Streuung betrachtet werden. Die Parameter eines derartigen Streuvorgangs ergeben sich für eine Kugel im Vakuum

$$\alpha = 3V \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (1),$$

wobei n der Brechungsindex des Materials der Markierungen 14, 16 und V_{16} das Volumen der ersten Markierung 16 ist bzw. V_{18} das Volumen der zweiten Markierung 18, wobei $V = V_{16} = V_{18}$ der Einfachheit gelten solle.

[0058] Die minimale Positionsdifferenz Δq , die mit gestreutem Licht gemessen werden kann, ist im Idealfall gegeben als

$$\delta q_i = \frac{\lambda}{4\pi f_i \sqrt{\kappa N_0}} \quad (2),$$

wobei κ der Anteil der gestreuten Photonen ist, N_0 die Gesamtzahl aller einfallenden Photonen. f beschreibt den Impulsübertrag auf das Licht. Für ein kugelförmiges Rayleigh-Partikel in einem fokussierten Gauß-Strahl ergibt sich

$$\kappa = \frac{2}{3} \pi^5 NA^2 \left(\frac{d}{\lambda} \right)^6 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \quad (3),$$

wobei d der Durchmesser des Partikels ist. NA ist die numerische Apertur. Der Parameter f kann als

$$f_y = \frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{1 - \cos(\arcsin NA)} \quad (4)$$

approximiert werden, wobei

$$f_x = \frac{f_y}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

für einen in x-Richtung polarisierten Dipol gilt.

[0059] In **Fig. 2c** ist die minimal detektierbare Positionsdifferenz q für die folgenden Parameter berechnet: NA = 0,5, $l = 1550$ Nanometer, $d = 100$ Nanometer, $n = 3,4$. Eine Laserleistung von 100 Milliwatt wurde angenommen. Eine Integrationszeit von 1 Millisekunde ergibt

$$\delta q_y \approx 0.2 \text{ \AA}$$

(6).

Bezugszeichenliste

10	Ausrichtvorrichtung
12	erstes flaches Objekt
14	zweites flaches Objekt
16	erste Markierung
18	zweite Markierung
20	erste Objektaufnahme
22	zweite Objektaufnahme
24	Koordinatensystem
26	Laserlichtquelle
28	Laserstrahl
30	Strahlteiler
32	Mess-Laserstrahl
32.1	Teil des Laserstrahls
32.2	Teil des Laserstrahls
34	Detektor
36	Auswerteeinheit
38	Streu-Licht
40	Spiegel
42	Optik
λ	Wellenlänge
A	optische Achse
d	Abstand
D_{16}	erste Ausdehnung
D_{18}	zweite Ausdehnung
E_F	Fokusebene
F	Fokus
I	Intensität
L_{Soll}	= $\{x_{12}, y_{12}, x_{14}, y_{14}\}$
NA	numerische Apertur
q	Abweichung
V	Volumen
ΔI	Differenz

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen einer Fehlausrichtung
(a) eines ersten flachen Objekts (12), das eine erste Markierung (16) aufweist, und

(b) eines zweiten flachen Objekts (14), das eine zweite Markierung (18) aufweist,
(c) wobei die erste Markierung (16) eine erste Ausdehnung (D_{16}) hat und die zweite Markierung (18) eine zweite Ausdehnung (D_{18}) hat,
relativ zueinander, mit den Schritten:
(i) Bringen der ersten Markierung (16) und der zweiten Markierung (18) in einen Fokus (F) eines Laserstrahls (28) aus Laserlicht, sodass durch Streuung Streu-Laserlicht entsteht,
(ii) Interferieren-Lassen des Streu-Laserlichts mit Direkt-Laserlicht, das an keiner der Markierungen gestreut wurde, sodass ein Mess-Laserstrahl (32) entsteht,
(iii) Bewegen des ersten flachen Objekts (12) relativ zum Fokus (F) und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt (14) und
(iv) Messen einer ersten Intensität (I_1) eines ersten Teils des Mess-Laserstrahls (32.1) mittels eines ersten Detektors (34.1) und einer zweiten Intensität (I_2) eines zweiten Teils des Mess-Laserstrahls (32.2) mittels eines zweiten Detektors (34.2)
in Abhängigkeit von der Position der flachen Objekte relativ zueinander, sodass die Markierungen zueinander ausgerichtet werden,
(v) wobei das Laserlicht eine Laser-Wellenlänge hat und die Ausdehnungen kleiner sind als die Laser-Wellenlänge.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) genau eine erste Markierung (16) und genau eine zweite Markierung (18) in den Fokus (F) gebracht werden und/oder
(b) die Detektoren (34.1,34.2) so angeordnet sind, dass sie eine betragsmäßig minimale Differenz (ΔI) aus erster Intensität (I_1) und zweiter Intensität (I_2) messen, wenn die Markierungen relativ zueinander in einer Soll-Lage ausgerichtet sind.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) das flache Objekt für das Laserlicht transparent ist und/oder
(b) die Laser-Wellenlänge zumindest 0,9 Mikrometer beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Fokus-Durchmesser des Fokus (F) höchstens das Zehnfache, insbesondere höchstens das Dreifache, der Laser-Wellenlänge beträgt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) das Bewegen des ersten flachen Objekts (12) relativ zum Fokus (F) und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt (14) ein Oszillieren mit einer Oszilla-

tionsfrequenz ist,

(b) die erste Intensität (I_1) und/oder die zweite Intensität (I_2) mittels Trägerfrequenzverstärkung (Lock-In-Verstärkung) bezüglich der Oszillationsfrequenz gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- (a) Bewegen der ersten Objektaufnahme (20) und der zweiten Objektaufnahme (22) relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus (F),
- (b) Erfassen einer Differenz (ΔI) aus erster Intensität (11) eines ersten Teils des Mess-Laserstrahls (32.1) und zweiter Intensität (I_2) eines zweiten Teils des Mess-Laserstrahls (32.2) und
- (c) Ermitteln einer Ziel-Position der ersten Objektaufnahme (20) und der zweiten Objektaufnahme (22) relativ zueinander.

7. Ausrichtvorrichtung (10) zum Ausrichten

- eines ersten flachen Objekts (12), das eine erste Markierung (16) aufweist, relativ zu einem zweiten flachen Objekt (14), das eine zweite Markierung (18) aufweist,
- wobei die erste Markierung (16) eine erste Ausdehnung (D_{16}) hat und die zweite Markierung (18) eine zweite Ausdehnung (D_{18}) hat, mit
- (a) einer Laserlichtquelle (26) zum Abgeben eines Laserstrahls (28), der einen Fokus (F) und eine Laser-Wellenlänge hat,
- (b) einer ersten Objektaufnahme (20) zum Aufnehmen des ersten Objekts, einer zweiten Objektaufnahme (22) zum Aufnehmen des zweiten Objekts,
- (c) einer Bewegungsvorrichtung zum Bewegen des ersten flachen Objekts (12) relativ zum Fokus (F) und/oder relativ zum zweiten flachen Objekt (14),
- (d) einem ersten Detektor (34.1) zum Messen einer ersten Intensität (I_1) von Licht und
- (e) einem zweiten Detektor (34.2) zum Messen einer zweiten Intensität (I_2) von Licht, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (f) der Laserstrahl (28) einen Fokus (F) hat, dessen Fokusbereich höchstens das Zehnfache der Laser-Wellenlänge beträgt,
- (g) die Objektaufnahmen (20, 22) angeordnet sind zum Aufnehmen des jeweiligen Objekts, sodass die Markierungen (16, 18) sich im Fokus (F) befinden,
- (h) die Objektaufnahmen (20, 22), die Bewegungsvorrichtung und die Detektoren (34.1, 34.2) (34) so zueinander angeordnet sind, dass ein vom Fokus (F) ausgehender Mess-Laserstrahl (32)
- mit einem ersten Teil auf den ersten Detektor (34.1) trifft, sodass der erste Detektor (34.1) die erste Intensität (I_1) von Streulicht, das durch Streuung des Laserlichts an den Markierungen entsteht, misst, und
- mit einem zweiten Teil auf den zweiten Detektor (34.2) trifft, sodass der zweite Detektor (34.2) die zweite Intensität (I_2) misst.

8. Ausrichtvorrichtung (10) nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteeinheit (36), die ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:

- (i) Ansteuern der ersten Objektaufnahme (20) und der zweiten Objektaufnahme (22), sodass diese sich im Fokus (F) befinden und relativ zueinander und/oder relativ zum Fokus (F) bewegen,
- (ii) Erfassen (ΔI) der ersten Intensität (I_1) und der zweiten Intensität (I_2) und
- (iii) Ermitteln einer Ziel-Position der ersten Objektaufnahme (20) und der zweiten Objektaufnahme (22) relativ zueinander.

9. Ausrichtvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) die Laserlichtquelle (26) einen Laser und eine Fokussiereinrichtung, insbesondere eine Linse, aufweist,
- (b) eine Laser-Wellenlänge der Laserlichtquelle (26) zwischen $0,9 \mu\text{m}$ und $2 \mu\text{m}$ und
- (c) die Fokussiereinrichtung eine numerische Apertur (NA) von zumindest 0,2, insbesondere zumindest 0,3, hat.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

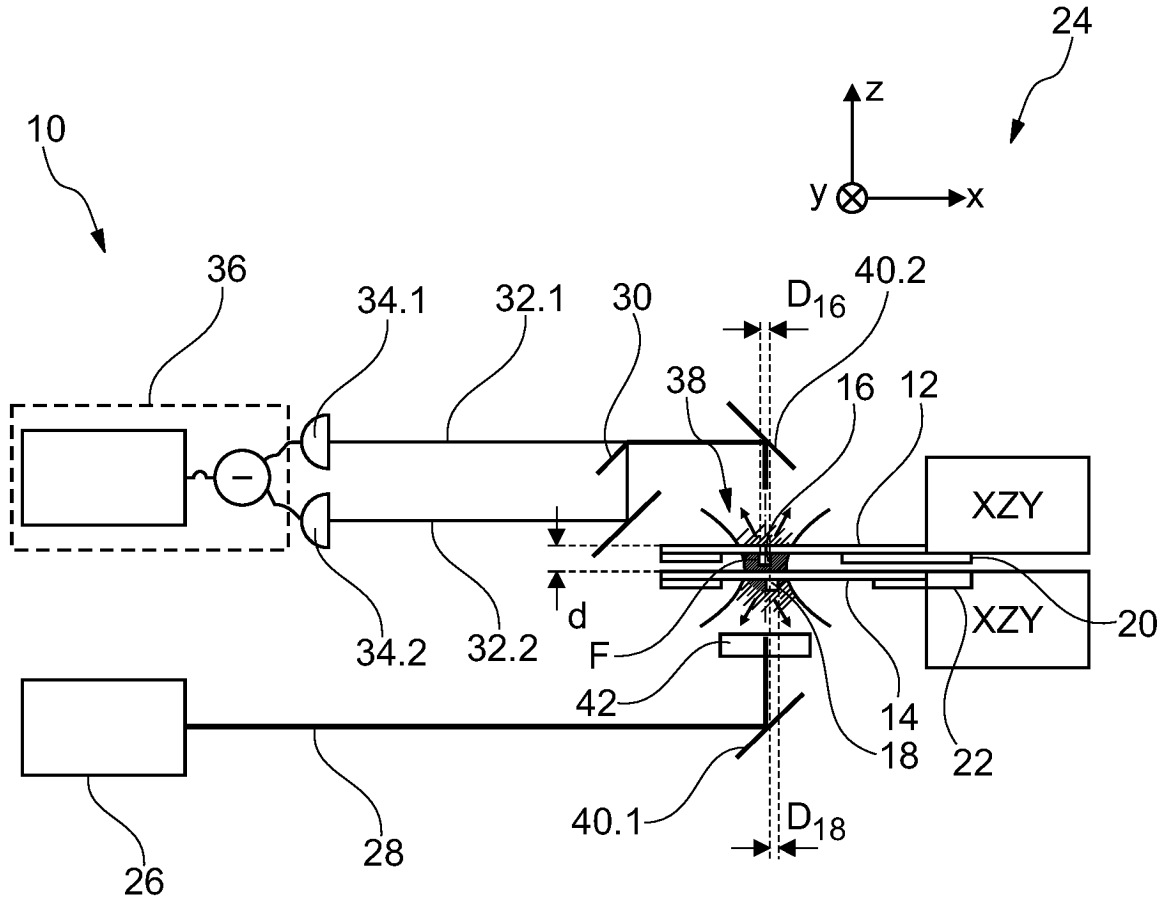


Fig. 1a

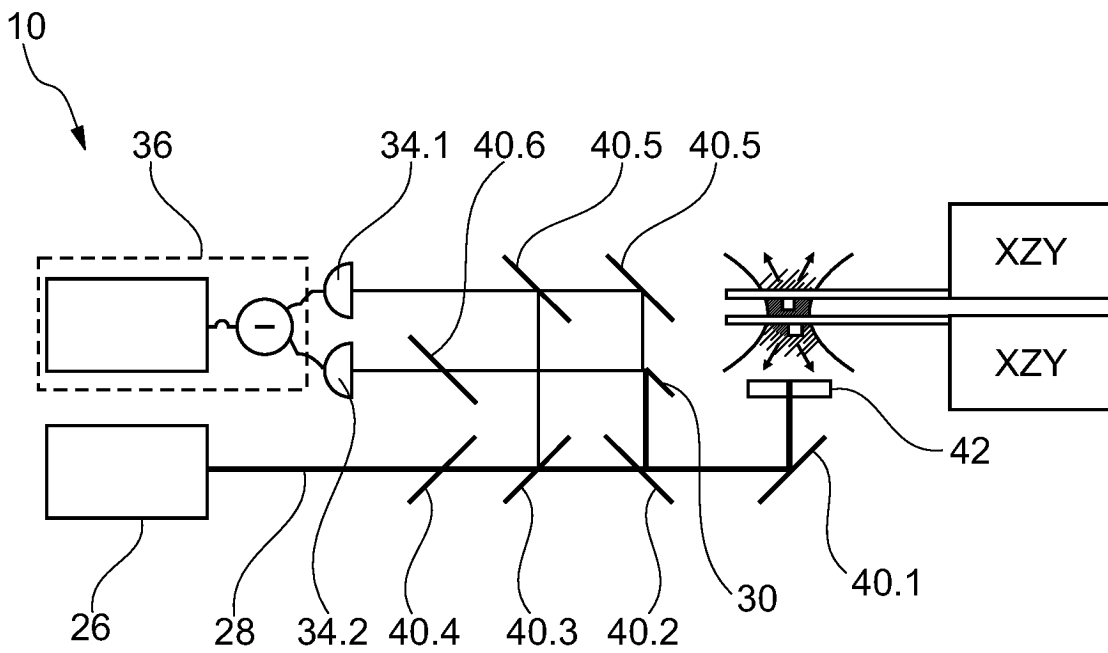


Fig. 1b

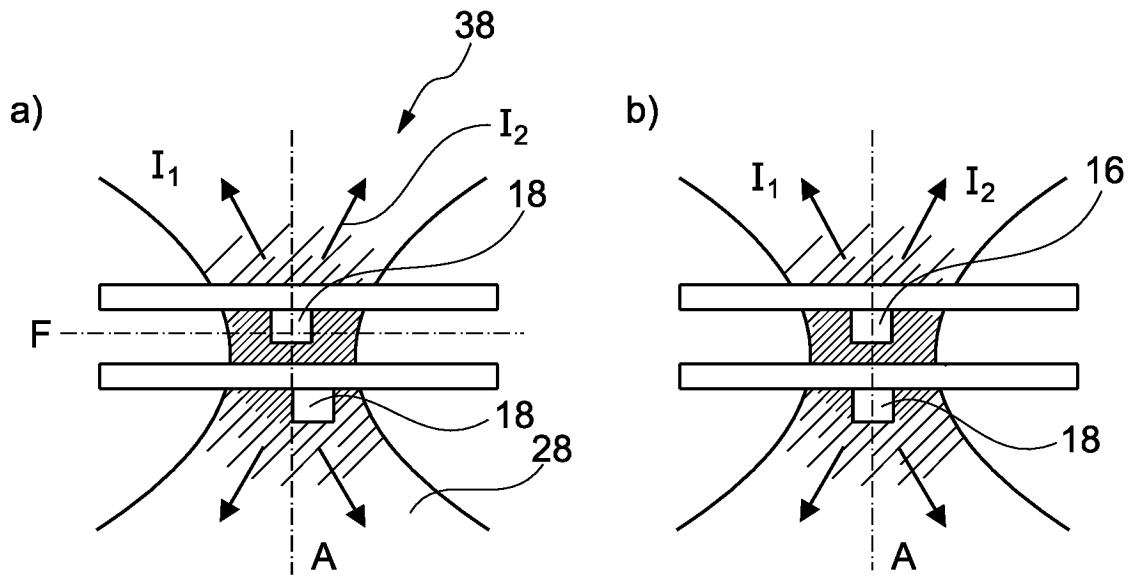


Fig. 2a

Fig. 2b

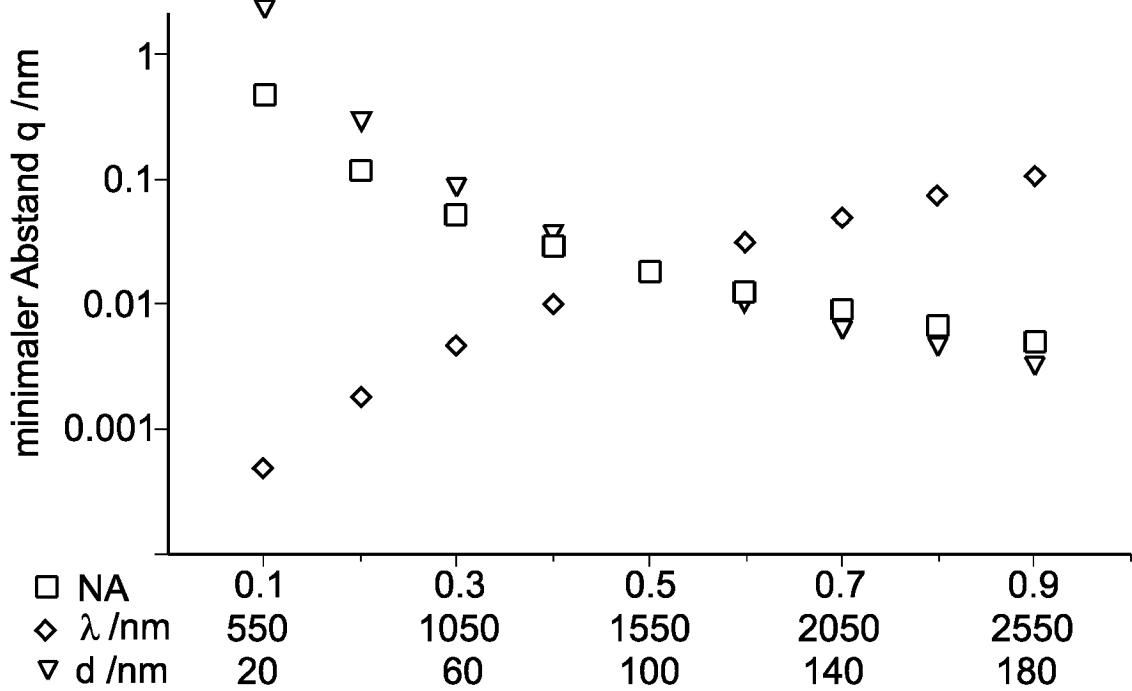


Fig. 2c