



(10) **DE 10 2021 100 994 B3** 2022.03.10

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 100 994.4**  
(22) Anmeldetag: **19.01.2021**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **10.03.2022**

(51) Int Cl.: **G02B 7/198** (2021.01)  
**G02B 5/08** (2006.01)  
**G04F 5/14** (2006.01)  
**H01S 3/13** (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**  
**(Bundesministerium für Wirtschaft und Energie),**  
**38116 Braunschweig, DE**

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

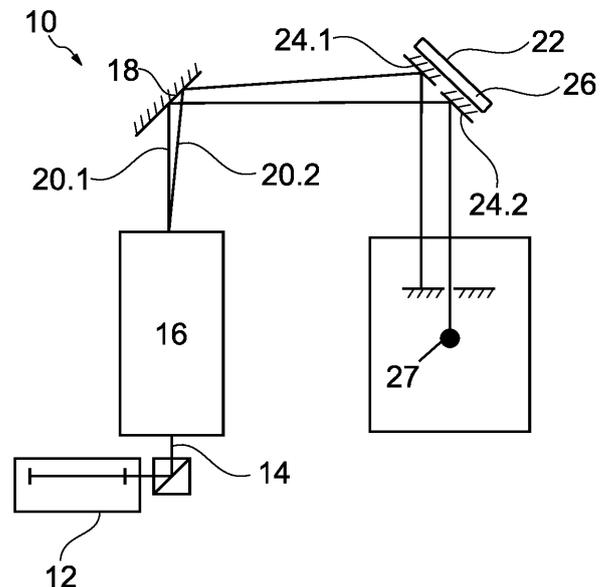
(72) Erfinder:  
**Dawel, Fabian, 38100 Braunschweig, DE; Hannig,**  
**Stephan, Dr., 38110 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2008 062 139	A1
DE	10 2009 025 309	A1
DE	10 2011 006 100	A1
US	6 750 965	B2
EP	3 120 200	B1
JP	H08- 181 063	A

(54) Bezeichnung: **Spiegelhalter, Frequenzstabilisierungs-System und Atomuhr**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Spiegelhalter (22) mit (a) einem Träger (26), (b) einer ersten Spiegelhalterung (28.1), die am Träger (26) befestigt ist, (c) einem ersten Spiegelement (24.1), das (i) zumindest eine erste Spiegelement-Kante (30.1) hat und (ii) an der ersten Spiegelhalterung (28.1) befestigt ist, (d) einer zweiten Spiegelhalterung (28.2), die am Träger (26) befestigt ist, (e) einem zweiten Spiegelement (24.2), das (i) zumindest eine zweite Spiegelement-Kante (30.2) hat, (ii) an der zweiten Spiegelhalterung (28.2) befestigt ist, (iii) wobei die zweite Spiegelement-Kante (30.2) entlang der ersten Spiegelement-Kante (30.1) verläuft und einen Abstand (d) von höchstens 5 Millimeter, insbesondere höchstens 2 Millimeter, von der ersten Spiegelement-Kante (30.1) hat. Erfindungsgemäß ist (f) eine erste Justagevorrichtung zum Justieren des ersten Spiegelements (24.1) relativ zum Träger (26) und (g) eine zweite Justagevorrichtung zum Justieren des zweiten Spiegelements (24.2) relativ zum Träger (26) vorgesehen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Spiegelhalter gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Frequenzstabilisierungs-System.

**[0002]** Derartige Spiegelhalter sind aus der JP H08 181 063 A bekannt und werden verwendet, um Spiegel in optischen Aufbauten in ihre korrekte Lage zu bringen. Hierzu ist es notwendig, den Spiegel zu justieren, also die Neigung des Spiegels relativ beispielsweise zu einem optischen Tisch in kleinen Winkelschritten einstellen zu können.

**[0003]** Es existieren optische Aufbauten, beispielsweise Frequenzstabilisierungs-Systeme, bei denen zwei Laserstrahlen, die einen geringen Abstand voneinander haben, unabhängig voneinander justiert werden müssen. Das erfolgt zurzeit dadurch, dass zwei Spiegelhalter hintereinander mit einem Abstand bezüglich der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlen angeordnet werden. Das ist besonders dann nachteilig, wenn die optischen Pfadlängen beider Laserstrahlen möglichst wenig voneinander abweichen sollen.

**[0004]** Aus der DE 10 2011 006100 A1 ist ein Spiegel-Array bekannt, das eine Vielzahl von Spiegel-Elementen aufweist, welche jeweils eine Reflexionsfläche aufweisen und in einem Verlagerungs-Freiheitsgrad bewegbar sind. Die Spiegel-Elemente bilden eine Parkettierung der Gesamt-Reflexionsfläche des Spiegel-Arrays bilden. Das Spiegel-Array ist modular als Kachel-Element so ausgebildet ist, dass mehrere derartige Spiegel-Arrays aneinanderfügbar sind. Eine manuelle Justage der Spiegelemente in einem Frequenzstabilisierungs-System ist mit einem solchen System aufwändig.

**[0005]** Die US 6,750,965 B2 beschreibt einen Spiegelträger für einen Monochromator, der dazu dient, den Lichtpfad von Licht, das auf ein Beugungsgitter geleitet wird, zu korrigieren. Dieser Spiegelträger kann die Spiegel um Achsenlinien drehen, die einander kreuzen. Dadurch können die Winkellagen der Spiegel in zwei Richtungen eingestellt werden. Auch bei diesem Spiegelträger ist die manuelle Justage in einem Frequenzstabilisierung-System vergleichsweise aufwändig.

**[0006]** Die DE 10 2009 025 309 A1 beschreibt einen Halter zur justierbaren Halterung von Spiegeln. Um die Justage zu erleichtern, besitzt der Halter wenigstens einen Schwenkhebel, der über ein erstes Gelenk mit einem Basisteil verbunden ist und über ein zweites Gelenk mit einem Halteteil verbunden ist, an dem der Spiegel angebracht ist. Die Gelenke bilden ein Getriebe, das über ein Stellorgan so bewegt werden kann, dass das Halteteil den Spiegel

bewegt. Nachteilig an einem derartigen Halter ist der vergleichsweise komplexe Aufbau.

**[0007]** Ein gattungsgemäßes Frequenzstabilisierungs-System ist aus der DE 10 2008 062 139 A1 bekannt. Dort werden aber keine detaillierten Angaben dazu gemacht, wie die darin verwendeten Spiegel möglichst einfach justiert werden können.

**[0008]** Eine optische Atomuhr ist aus der EP 3 120 200 B1 bekannt. Die Druckschrift macht keine spezifischen Angaben zum Justieren der Spiegel der Atomuhr.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Spiegelhalter anzugeben.

**[0010]** Die Erfindung löst das Problem durch einen Spiegelhalter mit den Merkmalen von Anspruch 1. Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Frequenzstabilisierungssystem mit den Merkmalen von Anspruch 6.

**[0011]** Vorteilhaft an diesem Spiegelhalter ist, dass zwei Laserstrahlen, die einen kleinen Abstand von beispielsweise weniger als 5 mm voneinander haben, unabhängig voneinander ausgerichtet werden können.

**[0012]** Vorteilhaft ist zudem, dass die beiden Laserstrahlen in der Regel nur einen geringen Unterschied in den Längen ihrer jeweiligen optischen Pfade haben. Das ist besonders dann vorteilhaft, wenn, wie bei einem erfindungsgemäßen Frequenzstabilisierungs-System, einer der beiden Laserstrahlen in eine Ionenfalle geleitet wird, da dann der andere Laserstrahl dazu verwendet werden kann, um eine Änderung in der Länge des optischen Pfades zu detektieren.

**[0013]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Spiegelhalter ein Bauteil verstanden, das nicht nur prinzipiell dazu geeignet, sondern dazu ausgebildet ist, um die beiden Spiegelemente zu halten. Insbesondere handelt es sich bei dem Spiegelhalter um ein in sich geschlossenes Objekt, das heißt, dass der Spiegelhalter nicht dadurch entsteht, dass zwei andere Objekte relativ zueinander an einem optischen Tisch befestigt sind.

**[0014]** Unter einem Spiegelement wird insbesondere ein Element verstanden, das für Licht zumindest einer Wellenlänge einen Reflexionsgrad von zumindest 0,9, insbesondere 0,99, hat.

**[0015]** Unter dem Merkmal, dass das Spiegelement an der Spiegelhalterung befestigt ist, wird insbesondere verstanden, dass es sich bei dem Spiegelement um ein vom Träger gesondertes Objekt handeln kann. Das ist aber nicht notwendig. Es ist

auch möglich, dass das Spiegelement am Träger ausgebildet ist, beispielsweise kann es sich um eine Metallisierung oder eine sonstige Beschichtung eines Teils des Trägers handeln.

**[0016]** Günstig ist es, wenn der Träger und/oder die Spiegelhalterungen aus einem Metall gefertigt sind. Es ist aber auch möglich, dass der Träger und/oder die Spiegelhalterungen aus einem Nicht-Metall bestehen, beispielsweise aus Keramik oder Stein. Insbesondere ist es möglich und bevorzugt, dass zumindest einer aus der Gruppe, die aus dem Träger, der ersten Spiegelhalterung, der zweiten Spiegelhalterung und Bestandteilen der Justagevorrichtung besteht, aus einem Material aufgebaut ist, das bei einer vorgegebenen Temperatur einen in linearer Näherung verschwindenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten hat. Diese Temperatur liegt vorzugsweise im Intervall von 0°C bis 40°C.

**[0017]** Unter dem Abstand wird insbesondere der mathematisch definierte Abstand verstanden, also die Länge der kürzesten Strecke zwischen der Erstspegelelement-Kante und der Zweitspegelelement-Kante.

**[0018]** Unter einer Justagevorrichtung wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, mittels der die Winkellage des ersten Spiegelements bzw. des zweiten Spiegelements relativ zum Träger auf besser als 1°, insbesondere besser als 0,1°, insbesondere besser als 0,03°, einstellbar ist.

**[0019]** Die Spiegelemente sind vorzugsweise getrennte Objekte. Das heißt, dass sie nicht durch ein, insbesondere starres, Objekt miteinander verbunden sind. Es ist jedoch möglich, dass die Spiegelemente über ein Element miteinander verbunden sind, das die Justage der beiden Spiegelemente relativ zueinander erlaubt, beispielsweise kann es sich dabei um eine Metallfolie handeln.

**[0020]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erstrecken sich das erste Spiegelement und das zweite Spiegelement entlang einer gemeinsamen Spiegelement-Ebene. Unter diesem Merkmal wird insbesondere verstanden, dass es möglich ist, mittels der ersten und der zweiten Justagevorrichtung die beiden Spiegelemente so zueinander auszurichten, dass sie sich in der Spiegelement-Ebene liegen.

**[0021]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist (a) die erste Justagevorrichtung (i) eine Erstjustage-Stützkalotte, insbesondere Erstjustage-Stützkugel, (ii) ein Erstjustage-Federelement, (iii) eine erste Erstjustage-Stellschraube und (iv) eine zweite Erstjustage-Stellschraube auf, die mit der ersten Erstjustage-Stellschraube und der Erstjustage-Stützkalotte in einem nicht-entarteten Dreieck ange-

ordnet ist und/oder (b) die zweite Justagevorrichtung (i) eine Zweitjustage-Stützkalotte, insbesondere Zweitjustage-Stützkugel, (ii) ein Zweitjustage-Federelement, (iii) eine erste Zweitjustage-Stellschraube und (iv) eine zweite Zweitjustage-Stellschraube auf, die mit der ersten Zweitjustage-Stellschraube und der Zweitjustage-Stützkalotte in einem nicht-entarteten Dreieck angeordnet ist.

**[0022]** Eine derartige Justagevorrichtung ist einfach aufgebaut und erlaubt ein hysteresearmes Justieren der Spiegelemente.

**[0023]** Günstig ist es, wenn der Spiegelhalter, dadurch gekennzeichnet ist, dass (a) der Träger eine Träger-Flächengröße hat, die die Größe der Fläche einer Projektion des Trägers auf die Spiegelement-Ebene ist, die erste Spiegelhalter eine Erstspeigelhalter-Flächengröße hat, die die Größe der Fläche einer Projektion der ersten Spiegelhalterung auf die Spiegelement-Ebene ist, und die zweite Spiegelhalterung eine Zweitspeigelhalter-Flächengröße hat, die die Größe der Fläche einer Projektion der zweiten Spiegelhalterung auf die Spiegelement-Ebene ist, und (b) die Summe aus Erstspeigelhalter-Flächengröße und Zweitspeigelhalter-Flächengröße zwischen dem 0,5-fachen und dem Doppelten der Träger-Flächengröße beträgt.

**[0024]** In anderen Worten hat der Träger eine ähnliche Größe wie die Spiegelhalter zusammen. Diese kompakte Bauweise spart Bauraum für optische Aufbauten.

**[0025]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beträgt die Träger-Flächengröße zumindest das 0,5-fache, insbesondere zumindest das 0,7-fache einer Flächengröße der konvexen Höhle der Fläche der Projektion des Trägers auf die Spiegelement-Ebene. In anderen Worten handelt es sich um ein kompaktes Bauteil. Daraus resultiert eine hinreichend hohe Steifigkeit.

**[0026]** Vorzugsweise handelt es sich bei dem Träger um ein starres Objekt. Günstig ist es, wenn der Träger plattenförmig ist.

**[0027]** Vorzugsweise ist der Träger einstückig. Es ergibt sich so eine besonders hohe Steifigkeit bei gleichzeitig einfacher Fertigung.

**[0028]** Der Unterschied in der optischen Pfadlänge zwischen einem ersten Laserstrahl, der vom ersten Spiegelement reflektiert wird, und einem zweiten Laserstrahl, der vom zweiten Spiegelement reflektiert wird, kann dann besonders klein gestaltet werden, wenn die beiden Spiegelemente in hinreichend guter Näherung entlang einer gemeinsamen Ausgleichsebene durch die Spiegelemente verlau-

fen. Dazu kann es vorteilhaft sein, die Spiegelemente kollektiv zu den Laserstrahlen zu bewegen.

**[0029]** Die Erstspiegelement-Kante und die Zweitspiegelement-Kante sind vorzugsweise gerade. Unter einer geraden Kante wird eine im technischen Sinne gerade Kante verstanden. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass eine Abweichung von einer ideal geraden Kante von maximal 1 Millimeter, insbesondere maximal 0,5 Millimeter, besonders bevorzugt höchstens 0,2 Millimeter, tolerabel ist.

**[0030]** Besonders bevorzugt verlaufen die Kanten entlang einer Kanten-Geraden. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass eine Abweichung zwischen einer Ausgleichsgeraden durch die Erstspiegelement-Kante und einer zweiten Ausgleichsgeraden durch die Zweitspiegelement-Kante von der Kanten-Geraden höchstens  $3^\circ$ , insbesondere höchstens  $1^\circ$  beträgt. Günstig ist es, wenn die erste Spiegelhalterung (i) einen ersten Basisabschnitt, der auf einer ersten Seite einer Teilungsebene, die senkrecht auf der Spiegelement-Ebene steht und in der die Kanten-Gerade verläuft, liegt, und (ii) einen ersten Armabschnitt, der am Basisabschnitt befestigt ist und auf einer zweiten Seite der Teilungsebene liegt, hat, (iii) wobei die erste Erstjustage-Stellschraube am ersten Basisabschnitt und die zweite Erstjustage-Stellschraube am ersten Armabschnitt angeordnet ist. Auf diese Weise kann mittels der zweiten Erstjustage-Stellschraube die Winkellage des ersten Spiegelements mit besonders hoher Präzision eingestellt werden.

**[0031]** Vorzugsweise sind die erste Spiegelhalterung und die zweite Spiegelhalterung baugleich. Es ergibt sich so eine besonders einfache Fertigung. Unter dem Merkmal, dass die Spiegelhalterungen baugleich sind, wird insbesondere verstanden, dass diese identisch sein können, das ist aber nicht notwendig. Insbesondere ist es möglich, dass die beiden Spiegelhalterungen voneinander in Details abweichen, insbesondere in solchen Details, die keinen technischen Effekt besitzen.

**[0032]** Erfindungsgemäß ist zudem eine Atomuhr mit einem erfindungsgemäßen Spiegelhalter, insbesondere einem erfindungsgemäßen Frequenzstabilisierungssystem. Bei der Atomuhr handelt es sich vorzugsweise um eine optische Atomuhr, bei der die Resonatorfrequenz mittels der Referenzfrequenzzelle stabilisiert wird. Bei der Referenzfrequenzzelle handelt es sich vorzugsweise um eine Ionenfalle, insbesondere eine Ionenfalle für genau ein Ion.

**[0033]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

**Fig. 1a** ein erfindungsgemäßes Frequenzstabilisierungssystem mit einem Spiegelhalter,

**Fig. 1b** eine Ansicht eines erfindungsgemäßen Spiegelhalters in einer Draufsicht,

**Fig. 1c** eine Ansicht des Spiegelhalters gemäß **Fig. 1b** in einer Seitenansicht,

**Fig. 2a** eine perspektivische Ansicht von schräg vorne auf den Spiegelhalter gemäß **Fig. 1b** und

**Fig. 2b** eine perspektivische Ansicht von schräg hinten auf den Spiegelhalter gemäß **Fig. 1b**.

**[0034]** **Fig. 1a** zeigt eine erfindungsgemäße Atomuhr 10 mit einem optischen Resonator 12, aus dem ein Laserstrahl 14 ausgekoppelt und über einen, im vorliegenden Fall akusto-optischen, Modulator 16 auf einen ersten Spiegel 18 geleitet wird. Der erste Spiegel 18 reflektiert zwei Teil-Laserstrahlen 20.1, 20.2, die aus dem Laserstrahl 14 entstanden sind, in Richtung eines erfindungsgemäßen Spiegelhalters 22.

**[0035]** Der erste Teil-Laserstrahl 20.1 trifft auf ein erstes Spiegelement 24.1 des Spiegelhalters 22, der zweite Teil-Laserstrahl 20.2 trifft auf ein zweites Spiegelement 24.2. Die beiden Spiegelemente 24.1, 24.2 sind an einem Träger 26 befestigt.

**[0036]** Der vom ersten Spiegelement 24.1 reflektierte Teil-Laserstrahl 20.1 trifft auf einen Reflektor und wird in sich selbst zurückreflektiert. Der vom zweiten Spiegelement 24.2 reflektierte Teil-Laserstrahl 20.2 trifft auf einen Ion 27, das in einer Ionenfalle gehalten wird.

**[0037]** **Fig. 1b** zeigt eine Draufsicht auf den Spiegelhalter 22. Es ist zu erkennen, dass der Spiegelhalter 22 eine erste Spiegelhalterung 28.1 besitzt, an der das erste Spiegelement 24.1 befestigt ist. Das zweite Spiegelement 24.2 ist an einer zweiten Spiegelhalterung 28.2 befestigt. Im vorliegenden Fall ergänzen die Spiegelemente 24.1, 24.2 einander zu einem kreisförmigen Spiegel. In anderen Worten ist jedes Spiegelement 24.1, 24.2 halbkreisförmig, was eine bevorzugte Ausführungsform unabhängig von anderen Merkmalen der hier beschriebenen Ausführungsform darstellt.

**[0038]** Das erste Spiegelement 24.1 besitzt eine erste Spiegelement-Kante 30.1. Das zweite Spiegelement 24.2 besitzt eine zweite Spiegelement-Kante 30.2. Die beiden Spiegelement-Kanten 30.i ( $i = 1, 2$ ) haben einen Abstand  $d$  von im vorliegenden Fall  $d = 1$  mm voneinander.

**[0039]** Die Spiegelemente 24.i erstrecken sich entlang einer Spiegelement-Ebene E, die in **Fig. 1b** der Papierebene entspricht.

**[0040]** Gestrichelt eingezeichnet ist eine Erstjustage-Stützkalotte 32 sowie eine erste Erstjustage-Stellschraube 34.1 und eine zweite Erstjustage-Stellschraube 34.2. Mittels der Erstjustage-Stellschrauben 34.i und der Erstjustage-Stützkalotte 32 ist die erste Spiegelhalterung 28.1 auf drei Punkten gelagert und kann durch Verstellen der Erstjustage-Stellschrauben 34.1, 34.2 in seiner Winkellage eingestellt werden. Die Erstjustage-Stützkalotte 32 und die Erstjustage-Stellschrauben 34.i bilden eine erste Justagevorrichtung.

**[0041]** Der Spiegelhalter 22 besitzt zudem eine Zweitjustage-Stützkalotte 36 sowie Zweitjustage-Stellschrauben 38.1, 38.2.

**[0042]** Fig. 1b zeigt, dass der Träger 26 eine Träger-Flächengröße  $A_{26}$  hat, die in guter Näherung einer Summe aus einer Erstspiegelhalter-Flächengröße  $A_{28.1}$  und einer Zweitspiegelhalter-Flächengröße  $A_{28.2}$  entspricht.

**[0043]** Die erste Spiegelhalterung 28 besitzt einen Basisabschnitt 40.1, an den sich ein Armabschnitt 42.1 anschließt. Die erste Erstjustage-Stellschraube ist am Basisabschnitt 40.1 ausgebildet, die zweite Erstjustage-Stellschraube 34.2 am Armabschnitt 42.1.

**[0044]** Fig. 1c zeigt eine Seitenansicht in Richtung A (vgl. Fig. 1b) auf den Spiegelhalter 22. Es ist möglich, dass der Spiegelhalter 22 einen Trägerhalter 44 besitzt, an dem eine Träger-Justier Vorrichtung 46 befestigt ist, mittels der der Träger 26 justierbar ist.

**[0045]** Fig. 2a zeigt eine perspektivische Ansicht des Spiegelhalters 22 schräg von vorne.

**[0046]** Fig. 2b zeigt den Spiegelhalter 22 gemäß Fig. 2a in einer Ansicht schräg von hinten. Zu erkennen ist ein erstes Erstjustage-Federelement 48.1, mittels dem die erste Spiegelhalterung 28.2 auf den Träger 26 zugezogen wird. Mittels eines Zweitjustage-Federelements 50 wird die zweite Spiegelhalterung 28.2 auf den Träger 26 zugezogen. Es ist möglich, dass der Spiegelhalter 22 ein zweites Erstjustage-Federelement 48.2 und ein zweites Zweitjustage-Federelement 50.2 besitzt.

#### Bezugszeichenliste

10	Atomuhr
12	Resonator
14	Laserstrahl
16	akusto-optischer Modulator
18	erster Spiegel
20	Teil-Laserstrahl

22	Spiegelhalter
24	Spiegelement
26	Träger
27	Ion
28	Spiegelhalterung
30	Spiegelement-Kante
32	Erstjustage-Stützkalotte
34	Erstjustage-Stellschraube
36	Zweitjustage-Stützkalotte
38	Zweitjustage-Stellschraube
40	Basisabschnitt
42	Armabschnitt
44	Trägerhalter
46	Träger-Justier Vorrichtung
48	Erstjustage-Federelement
50	Zweitjustage-Federelement
i	Laufindex
d	Abstand
E	Spiegelement-Ebene
$A_{26}$	Träger-Flächengröße
$A_{28}$	Spiegelhalter-Flächengröße

#### Patentansprüche

1. Spiegelhalter (22) mit
  - (a) einem Träger (26),
  - (b) einer ersten Spiegelhalterung (28.1), die am Träger (26) befestigt ist,
  - (c) einem ersten Spiegelement (24.1), das
    - (i) zumindest eine erste Spiegelement-Kante (30.1) hat und
    - (ii) an der ersten Spiegelhalterung (28.1) befestigt ist,
  - (d) einer zweiten Spiegelhalterung (28.2), die am Träger (26) befestigt ist,
  - (e) einem zweiten Spiegelement (24.2), das
    - (i) zumindest eine zweite Spiegelement-Kante (30.2) hat und
    - (ii) an der zweiten Spiegelhalterung (28.2) befestigt ist,
    - (iii) wobei die zweite Spiegelement-Kante (30.2) entlang der ersten Spiegelement-Kante (30.1) verläuft und einen Abstand (d) von höchstens 5 Millimeter von der ersten Spiegelement-Kante (30.1) hat,
  - (f) einer ersten Justagevorrichtung zum Justieren des ersten Spiegelements (24.1) relativ zum Träger (26) und
  - (g) einer zweiten Justagevorrichtung zum Justieren des zweiten Spiegelements (24.2) relativ zum Trä-

ger (26), **gekennzeichnet durch**

- (h) einen Trägerhalter (44), an dem der Träger (26) befestigt ist, und
- (i) eine Träger-Justiervorrichtung (46) zum Justieren des Trägers (26) relativ zum Trägerhalter (44).

2. Spiegelhalter (22) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) die erste Spiegelement-Kante (30.1) gerade ist und/oder die zweite Spiegelement-Kante (30.2) gerade ist und/oder
- (b) das erste Spiegelement (24.1) und das zweite Spiegelement (24.2) sich entlang einer gemeinsamen Spiegelement-Ebene (E) erstrecken.

3. Spiegelhalter (22) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) die erste Justagevorrichtung
  - (i) eine Erstjustage-Stützkalotte (32)
  - (ii) ein Erstjustage-Federelement (48),
  - (iii) eine erste Erstjustage-Stellschraube (34.1) und
  - (iv) eine zweite Erstjustage-Stellschraube (34.2) aufweist und/oder
- (b) die zweite Justagevorrichtung
  - (i) eine Zweitjustage-Stützkalotte (36),
  - (ii) ein Zweitjustage-Federelement (50),
  - (iii) eine erste Zweitjustage-Stellschraube (38.1) und
  - (iv) eine zweite Zweitjustage-Stellschraube (38.2) aufweist.

4. Spiegelhalter (22) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) sich das erste Spiegelement (24.1) und das zweite Spiegelement (24.2) entlang einer gemeinsamen Spiegelement-Ebene (E) erstrecken,
- (b) die erste Spiegelement-Kante (30.1) und die zweite Spiegelement-Kante (30.2) entlang einer Kanten-Geraden verlaufen und
- (c) die erste Spiegelhalterung (28.1)
  - (i) einen ersten Basisabschnitt (40.1), der auf einer ersten Seite einer Teilungsebene, die senkrecht auf der Spiegelement-Ebene (E) steht und in der die Kanten-Gerade verläuft, liegt, und
  - (ii) einen ersten Armabschnitt (42.1), der am ersten Basisabschnitt (40.1) befestigt ist und auf einer zweiten Seite der Teilungsebene liegt, hat (iii) wobei die erste Erstjustage-Stellschraube (34.1) am ersten Basisabschnitt (40.1) und die zweite Erstjustage-Stellschraube (34.2) am ersten Armabschnitt (42.1) angeordnet ist und
  - (d) die zweite Spiegelhalterung (28.2)
    - (i) einen zweiten Basisabschnitt (40.2), der auf der zweiten Seite der Teilungsebene liegt, und
    - (ii) einen zweiten Armabschnitt (42.2), der am zweiten Basisabschnitt (40.2) befestigt ist und auf der ersten Seite der Teilungsebene liegt, hat,
    - (iii) wobei die erste Zweitjustage-Stellschraube (38.1) am zweiten Basisabschnitt (40.2) und die

zweite Zweitjustage-Stellschraube (38.2) am zweiten Armabschnitt (42.2) angeordnet ist.

5. Spiegelhalter (22) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Spiegelhalterung (28.1) und die zweite Spiegelhalterung (28.2) baugleich sind.

6. Frequenzstabilisierungs-System mit

- (a) einer Referenzfrequenzzelle,
- (b) einem Reflektor,
- (c) einer Laserstrahlquelle zum Abgeben eines ersten Laserstrahls (14.1) und eines zweiten Laserstrahls (14.2) und
- (d) einem Spiegelhalter (22), der
  - (i) einen Träger (26),
  - (ii) eine erste Spiegelhalterung (28.1), die am Träger (26) befestigt ist,
  - (iii) ein erstes Spiegelement (24.1), das - zumindest eine erste Spiegelement-Kante (30.1) hat und
  - an der ersten Spiegelhalterung (28.1) befestigt ist,
  - (iv) eine zweite Spiegelhalterung (28.2), die am Träger (26) befestigt ist,
  - (v) ein zweites Spiegelement (24.2), das - zumindest eine zweite Spiegelement-Kante (30.2) hat und
  - an der zweiten Spiegelhalterung (28.2) befestigt ist,
  - wobei die zweite Spiegelement-Kante (30.2) entlang der ersten Spiegelement-Kante (30.1) verläuft und einen Abstand (d) von höchstens 5 Millimeter von der ersten Spiegelement-Kante (30.1) hat,
  - (vi) eine erste Justagevorrichtung zum Justieren des ersten Spiegelements (24.1) relativ zum Träger (26) und
  - (vii) eine zweite Justagevorrichtung zum Justieren des zweiten Spiegelements (24.2) relativ zum Träger (26) hat,
  - (e) wobei der Spiegelhalter (22), so angeordnet ist, dass
    - (i) der erste Laserstrahl (14.1) von der Laserstrahlquelle ausgehend mittels des ersten Spiegelements (24.1) und des Reflektors in sich selbst reflektiert wird und
    - (ii) der zweite Laserstrahl (14.2) von der Laserstrahlquelle ausgehend mittels des zweiten Spiegelements (24.2) in die Referenzfrequenzzelle reflektiert wird.

7. Frequenzstabilisierungs-System nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzfrequenzzelle eine Ionenfalle ist.

8. Atomuhr (10) mit einem Frequenzstabilisierungs-System nach Anspruch 6 oder 7.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

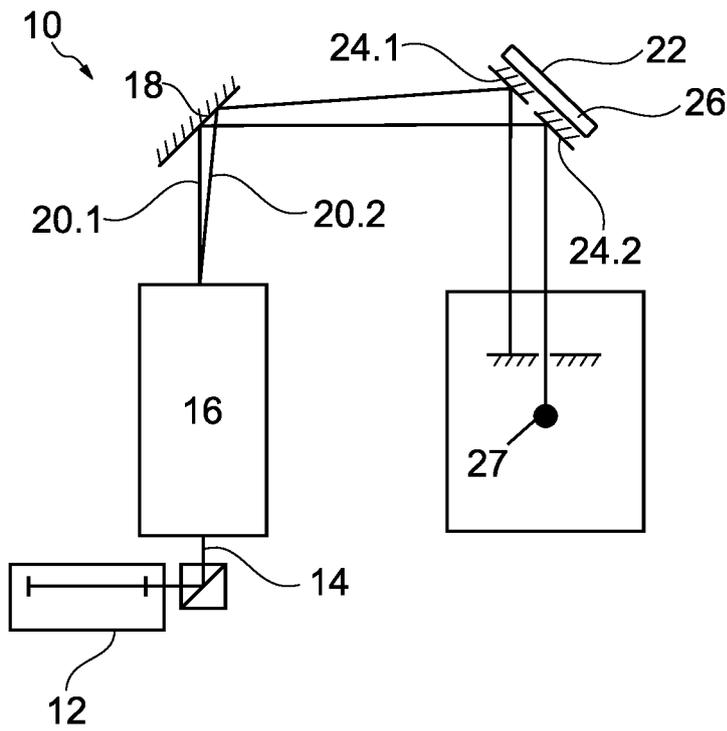


Fig. 1a

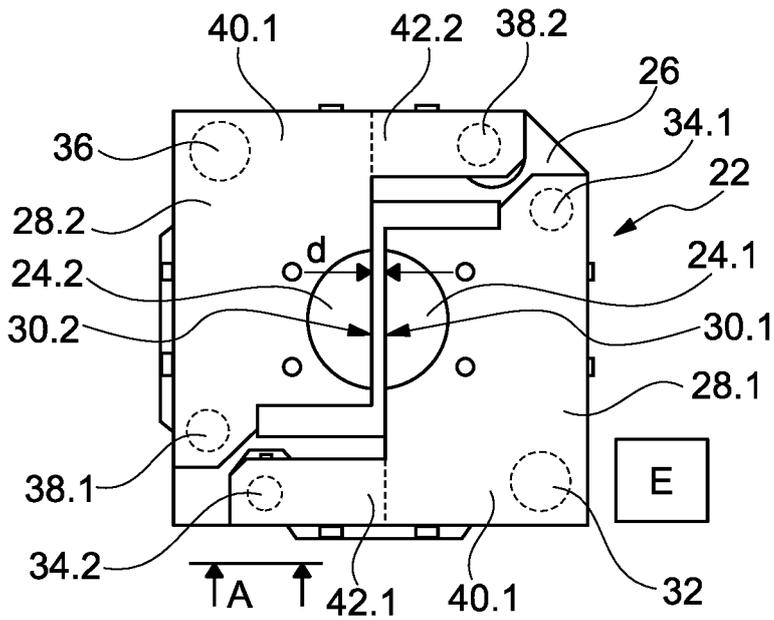


Fig. 1b

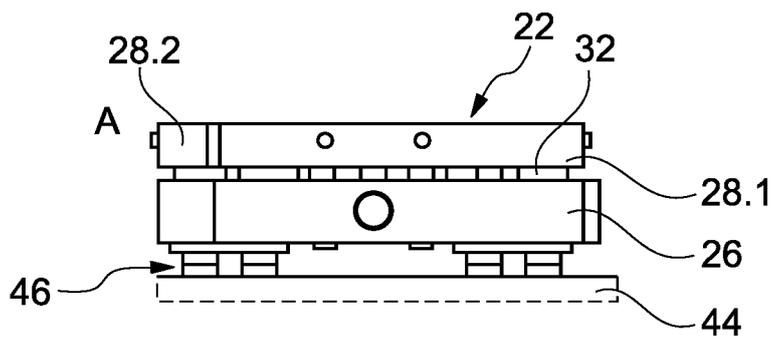


Fig. 1c

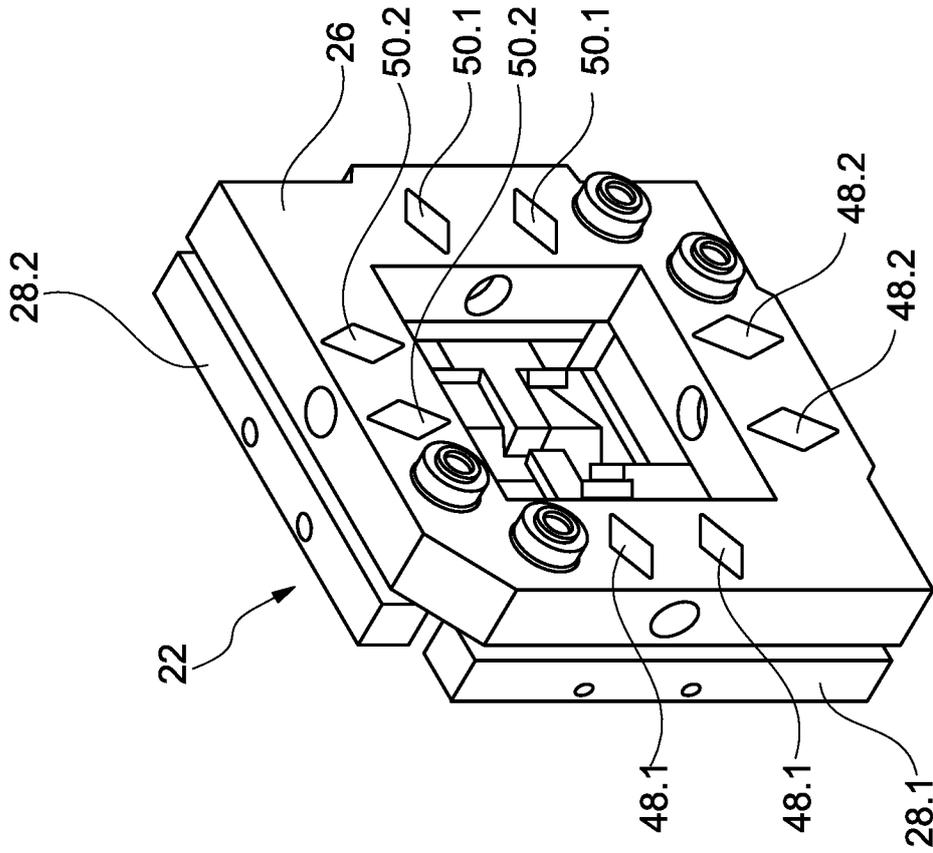


Fig. 2b

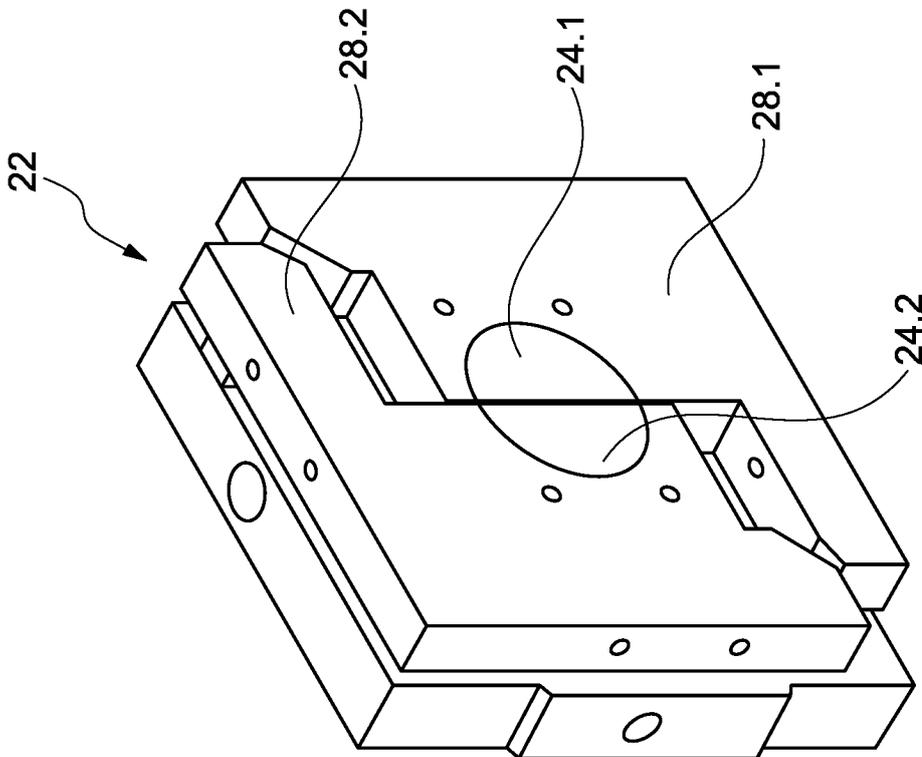


Fig. 2a