



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 679891 A5

⑤① Int. Cl.⁵: G 01 N 21/45
G 01 B 9/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 123/90

㉔ Anmeldungsdatum: 16.01.1990

③① Priorität(en): 20.01.1989 DE 3901592

㉔ Patent erteilt: 30.04.1992

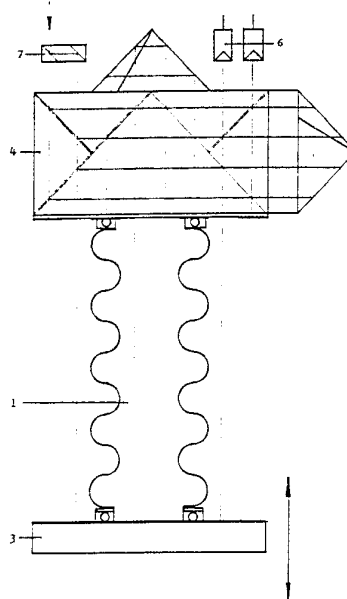
④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 30.04.1992

⑦③ Inhaber:
Althis AG, Horw Zustelladresse:, Seftigen

⑦② Erfinder:
Kerner, Martin, Kirchdorf BE

⑤④ Interferenz-Refraktometer.

⑤⑦ Die Meter-Definition von 1983 definiert die Basiseinheit der Länge als Laufzeit einer Frequenz im Vakuum. Zur Verwirklichung wird die Länge interferometrisch mit einer bekannten und stabilen Frequenz gemessen. Um den Einfluss des Brechungsindex der Luft auf die Wellenlänge zu berücksichtigen, muss dieser in einem Interferenz-Refraktometer gemessen werden. Das Refraktometer besteht aus einer Luft- und einer Vakuumkammer als Referenz, in welcher die Bedingungen der Meter-Definition verwirklicht werden können. Die Länge oder die Längenänderung der Vakuumkammer kann in ihrer Gebrauchslage mit der Vakuumwellenlänge der definierten Frequenz weg-messend oder entfernungsmessend ermittelt werden. Dadurch werden systematische Fehler, die beim Bau und der Inbetriebnahme von herkömmlichen Refraktometern entstehen, ausgeschlossen und die Genauigkeit erhöht. Die Figur 2 zeigt den typischen Aufbau für beide Varianten: (4) ist ein polarisationsoptisches Differentialinterferometer, an das die Vakuumkammer (1) angeschlossen ist, mit der abschliessenden Spiegelplatte (3). Für die Wegmessung besteht die Vakuumkammer aus einem Balg und die Platte (3) wird bewegt, für die Entfernungsmessung ist sie starr.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Interferenz-Refraktometer zur integralen Messung des Brechungsindex der Luft mit evakuierter Messkammer als Referenz.

In der interferometrischen Längenmesstechnik ist der Interferenzstreifenabstand einer kohärenten Strahlung Massstab der Messung. Dieser Interferenzstreifenabstand ist im Vakuum konstant und entspricht dem Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit zur Frequenz der Strahlung. Die Meter-Definition von 1983 legt die Längeneinheit als Laufzeit einer elektromagnetischen Strahlung im Vakuum fest. Zur Realisierung der Meter-Definition werden einige genau bekannte und hinreichend stabile Strahlungsquellen bezeichnet, mit deren Vakuumwellenlängen die Längeneinheit Meter interferometrisch dargestellt werden kann. Ein Refraktometer mit einer Vakuummesskammer als Referenz ist eines der wenigen Instrumente, in welchem die Meter-Definition verwirklicht werden kann, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden.

Die Genauigkeit von interferometrischen Längenmessungen wird von sekundären Einflüssen begrenzt, insbesondere der Temperatur und der Messung des Brechungsindex der Luft. Ermittelt man diesen durch parametrische Messungen, so erreicht man eine relative Genauigkeit von ca. $5 \cdot 10^{-7}$, misst man mit einem Refraktometer integral, so ist $5 \cdot 10^{-8}$ realisierbar. Allen refraktometrischen Messmethoden und Instrumenten ist gemeinsam, dass sie sich auf die Länge der refraktometrischen Messstrecke beziehen und dass diese im Instrument, in seiner Gebrauchslage, nicht nachgemessen werden kann. Die Kammerlänge wird über eine Sekundärmessung in freier Atmosphäre, die meist nicht direkt auf die Meter-Definition von 1983 rückführbar ist, bestimmt. Durch das meist nachträgliche Evakuieren der Messkammer wird deren Länge infolge des dadurch auftretenden atmosphärischen Druckes verändert. Diese Längenänderung ist abhängig vom Elastizitätsmodul des verwendeten Materials.

Die die Vakuumkammer abschliessenden Glasplatten erfahren durch den atmosphärischen Druck eine Änderung des Brechungsindex und der Form, der als Fehler in die Messung eingeht, sofern diese Platten Teil der Messstrecke sind.

Es ist deshalb wichtig, dass mit dem Refraktometer, durch welches genauigkeitsbegrenzende Einflüsse auf die Längenmessung behoben werden sollen, nicht neue, anderer Art eingeführt werden.

Es sind Refraktometer bekannt, die ein oder mehrere Paare von Vakuum- und Luftkammern aufweisen. Die dazugehörigen Messsysteme sind wegmessende Interferometer.

Diese in der Metrologia 22 (1986), pp. 279–287 von Schellekens et al. veröffentlichten Refraktometer sind jedoch nicht so ausgebildet, dass die Längen der Vakuum- und die der Luftkammer einzeln in ihrer Gebrauchslage gemessen werden können.

Als wegmessendes Interferometer soll ein Instrument verstanden werden, welches den Messweg

dynamisch abfährt und dabei die Interferenzen einer kohärenten Wellenlänge zählt.

Als entfernungsmessendes Interferometer soll ein Instrument verstanden werden, welches die Distanz zwischen zwei festen Punkten statisch, durch Phasenmessung in zeitlicher Reihenfolge von mindestens zwei kohärenten Wellenlängen bestimmt.

Es sind Refraktometer bekannt, die eine Vakuumkammer aufweisen, deren Länge variabel ist, dabei wird diese Längenänderung in der Gebrauchslage gemessen. Diese bekannten Refraktometer sind jedoch nicht so ausgebildet, dass die Längenänderung der Vakuumkammer mit der Vakuumwellenlänge λ_0 gemessen werden. In der chinesischen Patentschrift 86 107 252 wird eine keilförmige Vakuumkammer beschrieben, die in einem Interferometer quer verschoben wird, so dass sich ihre Länge im interferometrischen Strahlengang ändert. Die Querverschiebung wird elektromechanisch gemessen.

Im EP 0 277 496 wird die aus einem Faltenbalg bestehende Vakuumkammer axial in ihrer Länge verändert, wobei diese Längenänderung in Luft und nicht im Vakuum gemessen wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Refraktometer zur integralen Messung des Brechungsindex der Luft mit evakuierter Messkammer als Referenz zu beschreiben.

Das erfindungsgemäss Interferenz-Refraktometer ist dadurch gekennzeichnet, dass die Länge und/oder die Längenänderung der Vakuumkammer mit einer auf die Meter-Definition von 1983 direkt rückführbaren Frequenz im evakuierten Zustand und in ihrer Gebrauchslage interferometrisch gemessen werden.

Wenn mit einem Interferometer die Kammerlängen der Vakuum- und Luftkammer in Gebrauchslage gemessen wird oder deren relative Längenänderung, so kann damit der Brechungsindex der Luft n bestimmt werden. Die Länge der Vakuumkammer ist bei dieser Messung immer die Bezugsgrösse. Wird diese als Referenz direkt mit der Vakuumwellenlänge einer definierten Frequenz, etwa einer zur Realisierung der Meter-Definition von 1983 vorgeschlagenen oder darauf rückführbaren, bestimmt, so wird das Refraktometer zu einem Frequenz-Wellenlängenkonverter und damit zu einem Basisinstrument der Längenmesstechnik.

Entsprechend den beiden unterschiedlichen interferometrischen Messmethoden lassen sich auch zwei Refraktometertypen beschreiben:

- das dynamisch-wegmessende und
- das statisch-entfernungsmessende Interferenz-Refraktometer.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die beige-fügten Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1 das Prinzip eines dynamischen Refraktometers zwischen zwei wegmessenden Interferometern,

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau eines dynamischen Refraktometers in Verbindung mit zwei polarisationsoptischen Interferometern,

Fig. 3 den Aufbau eines statischen Refraktometers in Verbindung mit einem entfernungsmessenden heterodynen Interferometer.

Im folgenden wird anhand der beiliegenden Zeichnung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigt Fig. 1 die schematische Darstellung eines dynamischen Refraktometers für die Messung der Längenänderung der Vakuumkammer mittels zweier wegmessender Interferometer mit mehrfach gefaltetem Strahlengang.

Es zeigt die Fig. 1 die Vakuumkammer (1), die von einem elastischen Balg und zwei Glasplatten (2 und 3) begrenzt wird. Die Platte (2) ist gehäusefest und trägt das Planspiegelinterferometer (4), das aus einem Teilerprisma, zwei $\lambda/4$ Platten, einem Referenzplanspiegel mit Kompensationsplatte, einem Tripelprisma zur Faltung des Strahlenganges und einem Fotodetektor besteht und zu einem Block mit der Trägerplatte (2) verkittet ist. Der Messspiegel befindet sich auf der Platte (3), die axial beweglich ist. Dieser Spiegel ist auch Messspiegel für das Interferometer (5), welches gleich aufgebaut ist wie (4), nur dass es frei und gehäusefest aufgestellt ist, ohne mit der Platte (3) verkittet zu sein.

Mit dem Interferometer (4) wird die Wegänderung ΔL , das ist der Verschiebeweg des Messspiegels auf der Platte (3):

$$\Delta L = \lambda_0 (N_0 + \varphi_0)$$

mit der Vakuumwellenlänge λ_0 gemessen, worin N_0 (N_i) ganze Zahlen von $1/2$ Wellenlängen sind und φ_0 (φ_i) deren Bruchteile. Die Wellenlänge λ in Luft ist dann:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

worin n der Brechungsindex ist. Mit dem Interferometer (5) wird die gleiche Wegänderung in Luft gemessen:

$$\Delta L = \frac{\lambda_0}{n} (N_1 + \varphi_1)$$

damit wird:

$$n = \frac{N_1 + \varphi_1}{N_0 + \varphi_0}$$

Eine Voraussetzung für die Messung von Längenänderungen zur Bestimmung des Brechungsindex sind zwei unabhängige Messsysteme.

Eine Voraussetzung für die Stabilität des Messinstrumentes sind gleich lange Glaswege der interferometrischen Strahlengänge im Mess- und Referenzarm sowie der beiden Interferometer untereinander.

Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, das Refraktometer als Differentialinterferometer aufzubauen.

Im folgenden wird anhand der beiliegenden Zeichnung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigt die Fig. 2 die schematische Darstellung eines dynamischen Refraktometers für die Messung der Längenänderung der Vakuumkammer.

Der kohärente Strahl wird durch den Prismenteiler (7) in zwei intensitätsgleiche Strahlen aufgeteilt und parallel versetzt. Die beiden Strahlengänge bilden im Refraktometer zwei unabhängige Interferometer, deren Interferenzen von den beiden Fotodioden (6) detektiert werden.

Die Vakuumzelle (1) wird durch den Balg, die Spiegelplatte (3) und den Differentialteiler (4) gebildet, wobei durch die translatorische Verschiebung der Platte (3) die Länge der Kammer geändert werden kann. Beide Interferometer haben ihre Referenzspiegel an der Seite des Teilers (4), die die Vakuumkammer begrenzt. Der Messstrahlengang des einen Interferometers ist in, der des anderen ausserhalb der Vakuumkammer geführt. Die Interferometer sind wegmessend und messen die Verschiebung der Spiegelplatte (3). Ein Interferometer misst die Verschiebung in Vakuum, das zweite in Luft. Das Verhältnis der beiden Messwerte ergibt den Brechungsindex der Luft.

Im folgenden wird anhand der beiliegenden Zeichnung ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigt die Fig. 3 die schematische Darstellung eines statischen Refraktometers mit mindestens einem entfernungsmessenden Interferometer. Die Voraussetzung für ein entfernungsmessendes Interferometer sind mindestens zwei kohärente Wellen unterschiedlicher Frequenz, deren Phasendifferenzen in zeitlicher Reihenfolge gemessen werden.

Interferometer und Refraktometer sind in der Abbildung getrennt. Die Vakuumkammer (1) des Refraktometers wird von einem planparallelen Rohr, das zweckmässigerweise aus Glaskeramik hergestellt ist, und zwei Planparallelplatten begrenzt, von denen die eine (3) voll und die andere (2) partiell verspiegelt ist. Als Interferometer ist ein wegkompensierter Differentialteiler (4) dargestellt, dem eine Einrichtung (8) vorgeschaltet ist zum Ändern der Frequenzen. Dies kann ein Monochromator, ein Wechsler für Interferenzfilter oder eine drehbare $\lambda/2$ Platte sein.

Mit dieser Einrichtung sollen folgende Messaufgaben erfüllt werden können:

a) Ermittlung des Nullpunktes der Phasenmessung für das Differentialinterferometer.

b) Messung der absoluten Länge der Vakuumkammer in Einheiten der Vakuumwellenlänge einer definierten Frequenz.

c) Messung der absoluten Länge der die Vakuumkammer umgebenden Luftstrecke in Einheiten der Wellenlänge in Luft für die gleiche Frequenz.

d) Ständige fortlaufende Messung der Differenz Luftstrecke gegenüber Vakuumstrecke.

Mit den Messungen a, b, c werden die Ausgangspositionen der Messung und die Instrumentenkonstanten festgelegt, wobei diese Messungen jederzeit wiederholbar sind, um Langzeitveränderungen feststellen zu können.

Die Messung a setzt voraus, dass das Refraktometer mit seiner Spiegelplatte (3) senkrecht zum Strahlengang des Differentialinterferometers ausgerichtet ist. Das Refraktometer wird sodann so verschoben, dass der interferometrische Strahlengang von den vier partiellen Spiegelflächen (a) der Platte (2) reflektiert wird. Die dabei gemessene Phasenlage wird Null gesetzt.

Nunmehr kann die Messung b durchgeführt werden, wobei das Refraktometer 50 verschoben oder verdreht wird, dass das mittlere Strahlenpaar des Messarmes vom Spiegel (3) und das des Referenzarmes von den Spiegeln (b) reflektiert wird. In dieser Lage kann die absolute Länge der Vakuumkammer vermessen werden. Damit ist die Instrumentenkonstante des Refraktometers festgelegt.

Zur Überprüfung des symmetrischen Aufbaues wird das Refraktometer so verschoben oder verdreht, dass das äussere Strahlenpaar des Messarmes vom Spiegel (3) und das des Referenzarmes von den Spiegeln (c) reflektiert wird. In dieser Lage kann die absolute Länge der Luftkammer in Einheiten der Wellenlänge in Luft vermessen werden, zur Kontrolle der Symmetrie beider Kammern, $L_0 = L_L$.

Für die Messung d werden alle Strahlen vom Spiegel (3) reflektiert, der Referenzarm durchsetzt die Vakuumkammer, der Messarm die Luftstrecke.

Es gilt:

$$L_0 = \lambda_0 (N_0 + \mathcal{P}_0) \quad 35$$

$$L_L = \frac{\lambda_1}{n} (N_1 + \mathcal{P}_1) \quad 40$$

$$n = \frac{(N_1 + \mathcal{P}_1)}{(N_0 + \mathcal{P}_0)} \quad 45$$

Durch die direkte interferometrische Messung der Länge oder der Längenänderung der Vakuumkammer des Refraktometers in seiner Gebrauchslage können systematische Fehler ausgeschlossen werden, die entstehen, wenn die Kammerlänge vor der Montage vermessen und danach evakuiert wird. Diese vorgängige Längenmessung der Vakuumkammer in freier Atmosphäre setzt die Ermittlung des Brechungsindex der Luft (n) voraus, wie er erst im nachhinein gemessen werden soll, so dass die Referenzlänge für die Messung von n mit einem Fehler von n behaftet ist. 50

Mit der erfindungsgemässen Methode können die beschriebenen Fehler eliminiert und die Messunsicherheit wesentlich verbessert werden. 55

Patentansprüche

1. Interferenz-Refraktometer zur integralen Messung des Brechungsindex der Luft mit evakuierter Messkammer als Referenz, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge und/oder die Längenänderung der Vakuumkammer mit einer auf die Meter-Definition von 1983 direkt rückführbaren Frequenz im evakuierten Zustand und in ihrer Gebrauchslage interferometrisch gemessen werden. 60

2. Interferenz-Refraktometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die interferometrische Messung der Längenänderung der Vakuumkammer der Messstrahlengang nur im Vakuum verläuft. 65

3. Interferenz-Refraktometer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die für die interferometrische Messung der Länge und/oder der Längenänderung der Vakuumkammer notwendigen optischen Reflektoren auch die Länge der Vakuumstrecke begrenzen. 70

4. Interferenz-Refraktometer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die interferometrische Messung der Länge der Vakuumkammer und für die interferometrische Längenmessung die gleiche Frequenz der gleichen Strahlungsquelle verwendet wird. 75

5. Interferenz-Refraktometer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Interferenz-Refraktometer auf der Messstrecke aufgestellt und durch eine geeignete Glasfaser mit der Strahlungsquelle des Längenmessinterferometers verbunden ist. 80

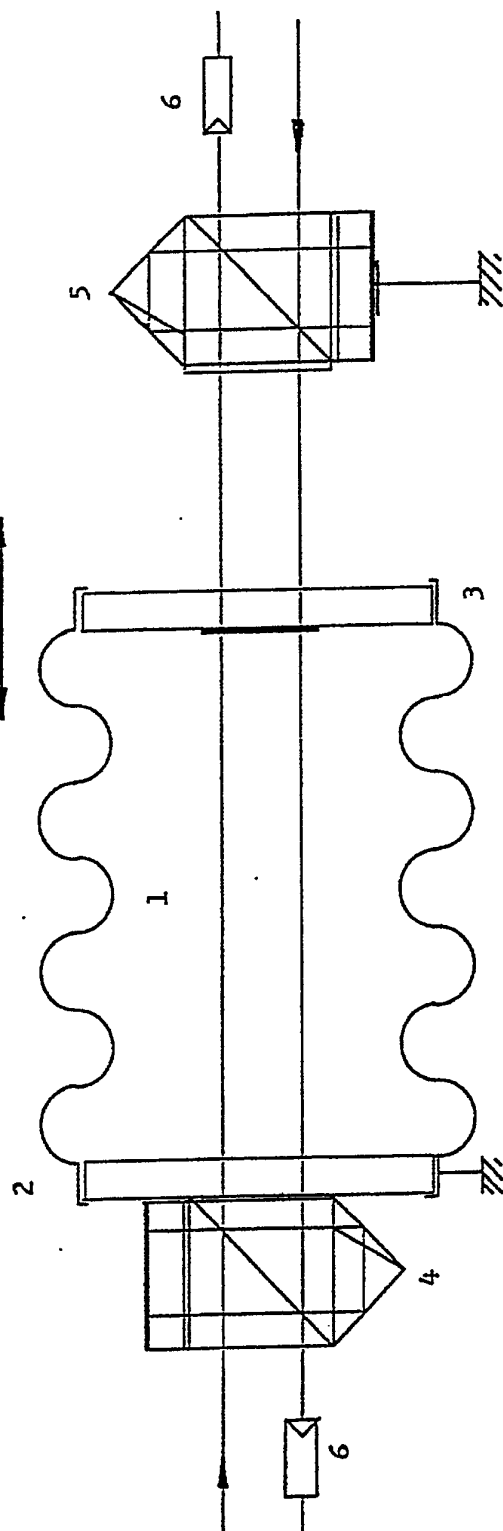


Fig. 1.

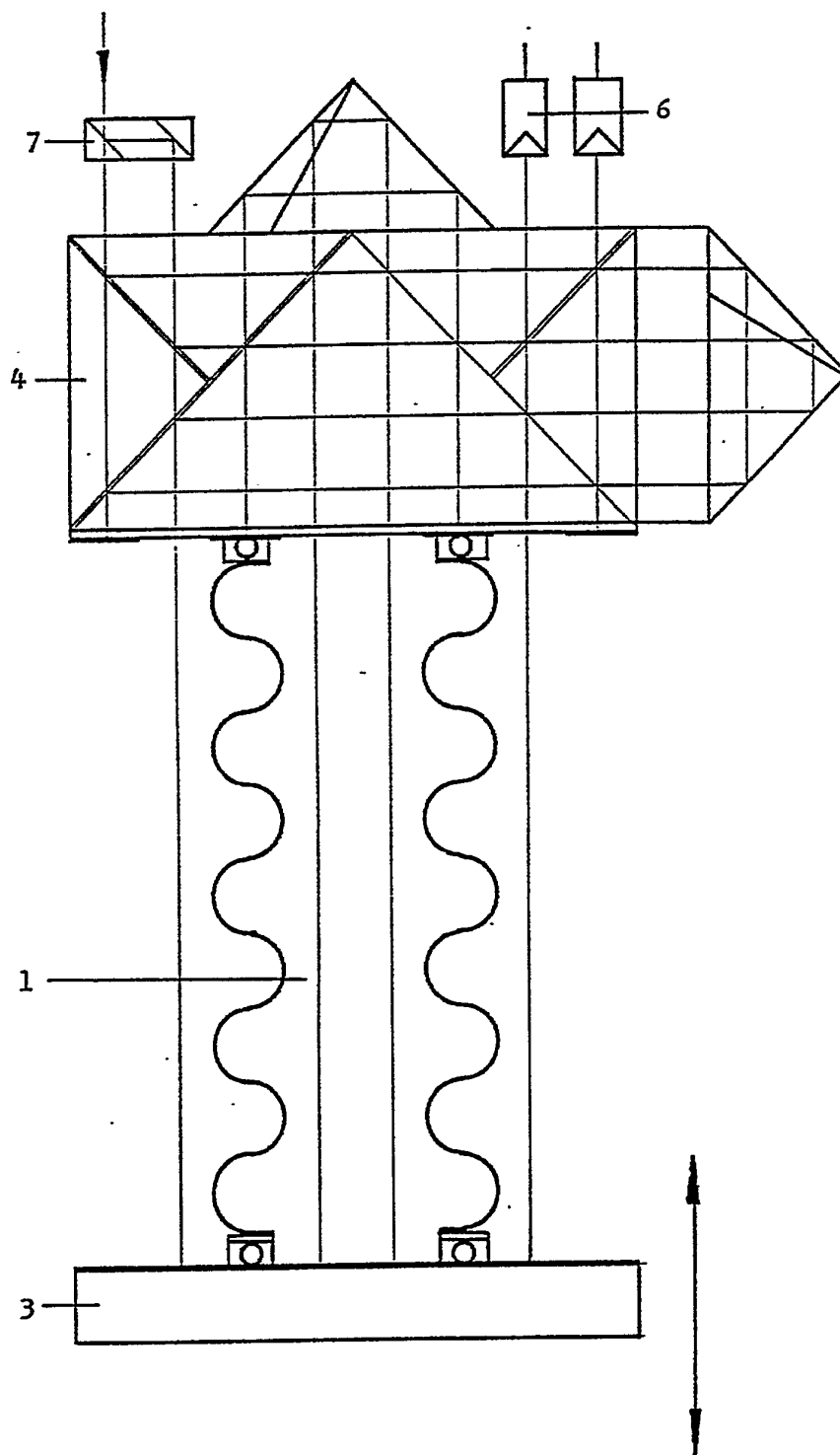


Fig. 2

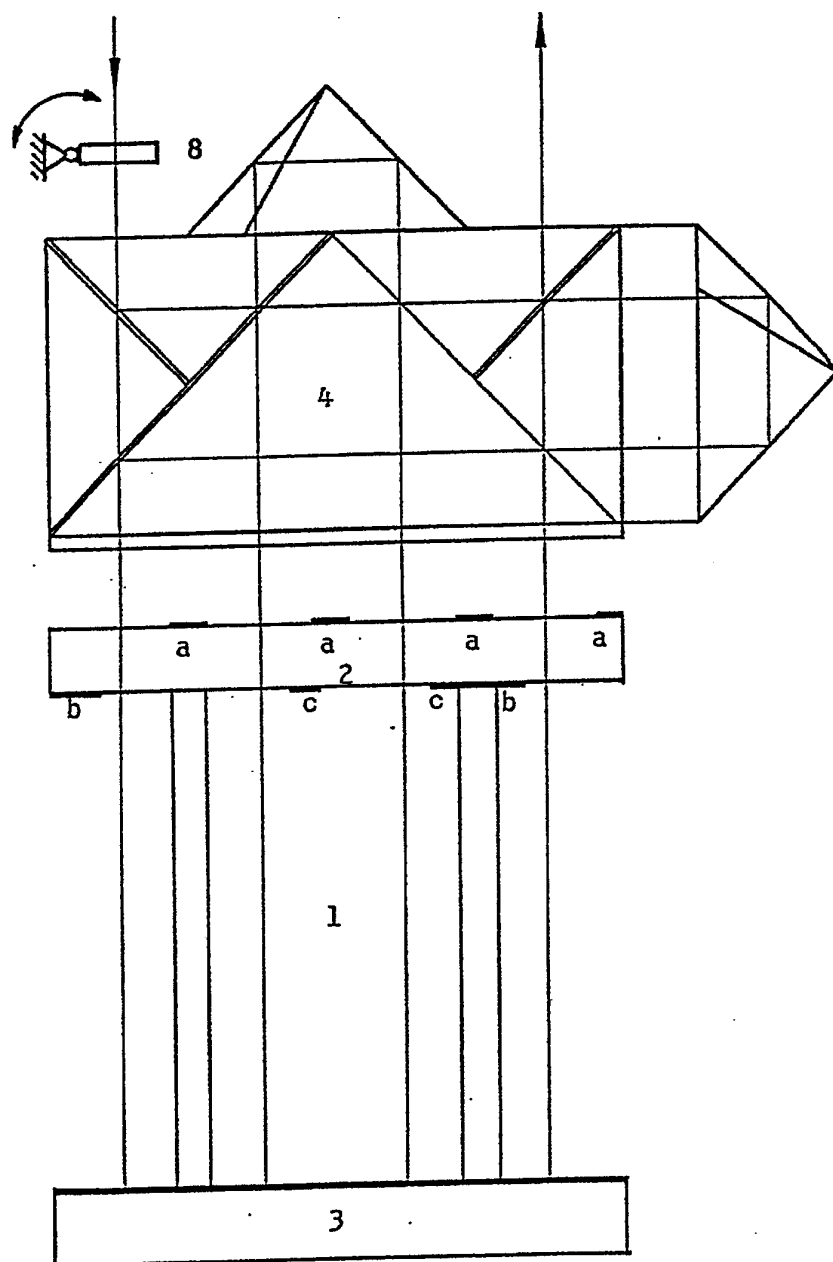


Fig. 3