



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 689 270 A5

51 Int. Cl.⁶: G 01 R 019/00
G 02 F 001/09

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 03350/94

22 Anmeldungsdatum: 09.11.1994

30 Priorität: 13.12.1993 DE A4342409.0

24 Patent erteilt: 15.01.1999

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.01.1999

73 Inhaber:

ABB Research Ltd., 8050 Zürich 11, Zustelladresse:
ABB Management AG, 5401 Baden (CH)

72 Erfinder:

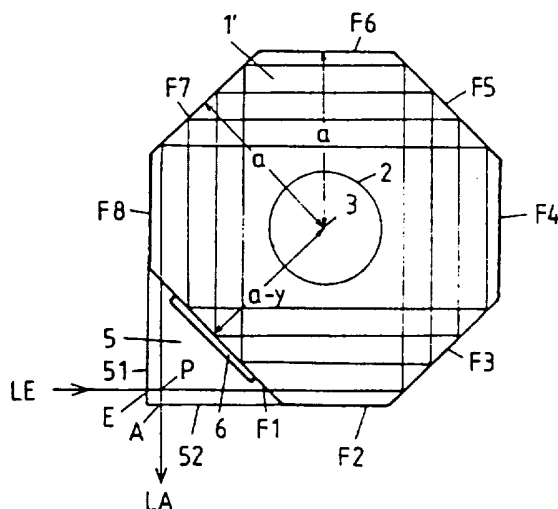
Meier, Markus, Aarau (CH)

74 Vertreter:

ASEA Brown Boveri AG,
Abt. TEI-Immaterialgüterrecht, 5401 Baden (CH)

54 Massivoptischer Stromsensor.

57 Um die Messempfindlichkeit bei einem einfach herzustellenden mehrflächigen, massivoptischen Stromsensor (1') zu erhöhen, ist wenigstens eine der lichtreflektierenden Seitenflächen (F1) gegenüber den übrigen lichtreflektierenden Seitenflächen (F3, F5, F7) radial nach innen versetzt und weist einen kleineren Kleinstabstand ($a-y$) zu einem Zentrum (3) des massivoptischen Stromsensors (1') auf als die anderen Seitenflächen (F2-F8). Durch diese Versetzung durchläuft ein Einfallslichtstrahl (LE) bei einmaligem Umlauf um eine Aussparung (2) für einen Stromleiter, dessen Stromstärke mittels des Faraday-Effektes gemessen werden soll, keinen geschlossenen Polygonzug. Es kommt zu spiralförmig verschachtelten Versetzungen der Lichtumlaufbahnen, die eine Steigerung der Lichtempfindlichkeit bewirken. Statt nach innen könnte die wenigstens eine der lichtreflektierenden Seitenflächen (F1) oder eine andere der übrigen lichtreflektierenden Seitenflächen (F3, F5, F7) nach aussen versetzt sein.



Beschreibung

Technisches Gebiet

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem massivoptischen Stromsensor nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Stand der Technik

Mit dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 nimmt die Erfindung auf einen Stand der Technik Bezug, wie er durch R. Stierlin, Faseroptische Sensoren, Bulletin SEV/VSE 82 (1991) 1, S. 21–29, bekannt ist. Dort wird als massivoptischer Stromsensor ein 7eckiger Quarzglasblock verwendet, der in seinem Inneren eine kreiszylindrische Aussparung für einen Stromleiter aufweist, dessen Strom detektiert werden soll. Monochromatisches Licht wird senkrecht zu einer 1. Seitenfläche randseitig über einen Polarisator in den Quarzglasblock eingeleitet und nach 3maliger Reflexion an 3 reflektierenden Seitenflächen mit je einer 90°-Umlenkung senkrecht zu einer 2. Seitenfläche, die mit der 1. Seitenfläche einen 90°-Winkel bildet, randseitig über einen weiteren Polarisator einer Photodiode zur Lichtintensitätsdetektion zugeführt. Gemäss dem Faraday-Effekt wird die Polarisationsrichtung des linearpolarisierten Lichtes beim einmaligen Durchlauf durch den Quarzblock proportional zu dem vom Strom erzeugten Magnetfeld und proportional zur Länge des durchlaufenen Weges im Material des Quarzblockes gedreht. Aus der Grösse des Drehwinkels kann die momentane Stromstärke berechnet werden. Die Empfindlichkeit dieses Stromsensors ist relativ klein.

Durch Y. N. Ning et al., Miniature Faraday current sensor based on multiple critical angle reflections in a bulkoptic ring, OPTICS LETTERS, Vol. 16, No. 24 (1991) S. 1996–1998, ist es bekannt, Licht in mehreren Umläufen innerhalb eines Kreiszylinders um einen Stromleiter im Zentrum zu leiten und dann auszuwerten. Ein derartiger fokussierender Stromsensor arbeitet nahe an dem Winkel der Totalreflexion; er ist schwer zu justieren. Aufgebrachte dielektrische Schichten stellen wegen der möglichen Verschmutzung ein Problem dar.

Durch Toshihiko T. Yoshino et al., Accurate Faraday effect current sensor, ADVANCES IN OPTICAL FIBER SENSORS, 1991, S. 208–217, ist es bekannt, zur Beschichtung von Spiegelflächen Schichtenpaare aus $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ und MgF_2/ZnS zu verwenden, um den Einfluss der Phasenverschiebung bei der Reflexion zu vermindern.

Darstellung der Erfindung

Die Erfindung, wie sie im Patentanspruch 1 definiert ist, löst die Aufgabe, einen massivoptischen Stromsensor der eingangs genannten Art derart weiterzuentwickeln, dass bei einfacher Herstellungsmöglichkeit eine grössere Messempfindlichkeit resultiert.

Ein Vorteil der Erfindung besteht in der verhältnismässig einfachen Form und den daraus resultierenden Herstellungsvorteilen. Die Fremdfeldemp-

findlichkeit benachbarter Leiter kann verringert werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch einen massivoptischen Stromsensor, dessen eine Reflexionsfläche einen vergrösserten Abstand vom Zentrum aufweist,

Fig. 2 einen Querschnitt durch einen massivoptischen Stromsensor, dessen eine Reflexionsfläche einen verkleinerten Abstand vom Zentrum aufweist,

Fig. 3 eine Prinzipdarstellung von Spiegelflächen eines massivoptischen Stromsensors mit einer geraden Anzahl von Spiegelflächen und

Fig. 4 eine Prinzipdarstellung von Spiegelflächen eines massivoptischen Stromsensors mit einer ungeraden Anzahl von Spiegelflächen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt einen im Querschnitt 8eckigen prismatischen Körper (1) aus Quarzglas mit 7 Seitenflächen (F2–F8), die von einem Mittelpunkt bzw. Zentrum (3) einer zentralen kreiszylindrischen Aussparung (2) für einen nicht dargestellten stromführenden Leiter, einen vorgebbaren gleichen kleinsten Flächenabstand (a) aufweisen. Eine 8. Seitenfläche (F1) hat einen um einen vorgebbaren Differenzabstand (x) grösseren Achsabstand als die Seitenflächen (F2–F8). Zumindest 4 Seitenflächen (F1, F3, F5) und (F7) sind lichtreflektierend ausgebildet, vorzugsweise poliert und mit dielektrischen Schichten beschichtet, um eine unerwünschte Phasenverschiebung bei der Reflexion zwischen senkrechter und paralleler Polarisation zu vermeiden.

Einfallendes polarisiertes Licht (LE) tritt an einer Lichteintrittsstelle (E) senkrecht und randseitig durch die Seitenfläche (F8). Nach n-fachen Reflexionen an den Seitenflächen (F3, F5) und (F7) sowie (n–1)-fachen Reflexionen an der Seitenfläche (F1) tritt das Licht als Ausgangslicht (LA) senkrecht aus einer randseitigen Lichteintrittsstelle (A) der Seitenfläche (F2) aus.

Die Lichteintrittsstelle (E) hat von einer senkrecht zu den Seitenflächen (F8, F4) orientierten und durch das Zentrum (3) gehenden Schnittebene (B) einen vorgebbaren Abstand (d), der grösser als ein Radius (r) der kreiszylindrischen Aussparung (2) oder einer Erstreckung einer anders geformten, z.B. im Querschnitt rechteckigen Aussparung (4) in Richtung der Achse des einfallenden Lichtes (LE) ist. Gleiches gilt für den nicht bezeichneten Abstand der Achse des Ausgangslichtes (LA) bezüglich des Zentrums (3).

Durch das axiale Versetzen der Seitenfläche (F1) gegenüber den Seitenflächen (F2–F8) um den Differenzabstand (x) wird erreicht, dass das einfallende Licht (LE) nicht in einem in sich geschlossenen Polygonzug, sondern in einer geschachtelten Spiralbahn durch den prismatischen Körper (1) geführt wird. Man erzielt damit durch den mehrmaligen Um-

lauf des Lichtes um die Aussparung (2) eine erhöhte Empfindlichkeit bei der Messung eines im Betriebsfall durch den Stromleiter im Innern der Aussparung (2) fliessenden Stromes mittels des Faraday-Effektes.

Bei dieser Anordnung tritt jedoch an dem durch den Faraday-Effekt bewirkten Drehwinkel φ_F des polarisierten Lichtes gemäss

$$\varphi_F = \int \mathbf{V} \cdot \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s}$$

ein grosser Lichtbahnanteil auf, der nicht geschlossen ist. Die Lichteintrittsstelle (E) und die Lichtaustrittsstelle (A) sind relativ weit voneinander entfernt. Dadurch entsteht eine unerwünschte Fremdfeldempfindlichkeit auf benachbarte Stromleiter und eine Empfindlichkeit hinsichtlich der Position des Stromleiters in der Aussparung (2). Dabei bedeuten V die Verdet-Konstante, H den Vektor des durch den Strom im Stromleiter erzeugten Magnetfeldes und s einen Vektor des Lichtweges um die Aussparung (2) durch den prismatischen Körper (1).

Dieser Nachteil der Fremdfeldempfindlichkeit lässt sich bei der Ausführung der Erfindung gemäss Fig. 2 weitgehend vermeiden. Im Unterschied zu Fig. 1 ist dort bei einem ebenfalls 8flächigen, prismatischen Körper (1') die Seitenfläche (F1) um einen vorgebbaren Differenzabstand (y) im Vergleich zu dem kleinsten Flächenabstand (a) der übrigen Seitenflächen (F2-F8) verkürzt.

Das einfallende Licht (LE) tritt an einer Lichteintrittsstelle (E) senkrecht durch eine Lichteintrittsfläche (51) in ein 3seitiges Prisma (5) ein und senkrecht durch eine Lichtaustrittsfläche (52) dieses Prismas (5) als Ausgangslicht (LA) aus. Die 3. Seitenfläche des 3seitigen Prismas (5) liegt an der axialverkürzten Seitenfläche (F1) des prismatischen Körpers (1') an, durch welche randseitig von einer Reflexionsschicht (6), die aus mehreren Schichten bestehen kann, das einfallende Licht (LE) in den prismatischen Körper (1') eintritt. An einem entgegengesetzten Rand bezüglich der Reflexionsschicht (6), in Fig. 2 links davon, tritt das mehrfach reflektierte Licht aus dem prismatischen Körper (1') in das 3seitige Prisma (5) aus.

An den 4 Reflexionsflächen (F1, F3, F5, F7) treten bei Totalreflexion Glas/Luft oder bei metallischer Verspiegelung Phasenverschiebungen zwischen senkrechter und paralleler Polarisation auf, welche den Messeffekt stark stören. Dieser Nachteil kann durch Aufbringen einer geeigneten dielektrischen Schicht verhindert werden. Eine Reflexionsschicht (6) kann auf der Seitenfläche (F1) oder auf der angrenzenden Prismafläche aufgebracht sein. Für eine dielektrische Reflexionsschicht (6) ist eine Aussparung in der Auflagefläche des Prismas (5) vorgesehen. Gleiche Reflexionsschichten sind auf den Reflexionsflächen (F3, F5, F7) aufgebracht (nicht dargestellt). Die Randbereiche für den Lichtein- und -austritt dürfen keine Reflexionsschicht (6) aufweisen.

Die Versetzung mindestens einer lichtreflektierenden Seitenfläche (F1) nach innen oder aussen soll so gross gewählt werden, dass der Kreuzungspunkt

(P) von dem eintretenden Lichtstrahl (LE) und dem austretenden Lichtstrahl (LA) möglichst nahe bei der Lichteintrittsfläche (51) als auch bei der Lichtaustrittsfläche (52) liegt.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 stellt der prismatische Körper (1) den massivoptischen Stromsensor dar, bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2 der prismatische Körper (1') in Verbindung mit dem 3seitigen Prisma (5).

Es versteht sich, dass anstelle einer Aussparung (2, 4) im prismatischen Körper (1) mehrere Aussparungen vorgesehen sein können. Anstelle von Quarz kann ein anderer transparenter Werkstoff gewählt werden.

Fig. 3 zeigt schematisch und verallgemeinert einen massivoptischen Stromsensor mit einer geraden Anzahl von reflektierenden Seitenflächen bzw. Spiegelflächen (SF1-SF6), bei dem, abgesehen von der Aussparung (2), die übrigen Begrenzungsflächen weggelassen sind. (SF1') bezeichnet eine hypothetische Seitenfläche, in deren Position das einfallende Licht (LE) nach einmaligem Umlauf um die Aussparung (2) ein geschlossenes Polygon durchlaufen würde. Das Polygon muss nicht notwendig konvex sein, vgl. die Spiegelfläche (SF5), welche innerhalb der Verbindungsgeraden der Spiegelflächen (SF4) und (SF6) liegt. Die Spiegelfläche (SF1) ist gegenüber der hypothetischen Seitenfläche (SF1') in Richtung von deren Normalen nach innen versetzt, d.h. näher an der Aussparung (2). Dadurch geht der Lichtstrahl nicht mehr in sich selbst über, und man erreicht den gewünschten mehrfachen Umlauf mit einer spiralförmig verschachtelten Versetzung des Lichtstrahls. Das einfallende Licht (LE) und das Ausgangslicht (LA) kreuzen sich in einem Kreuzungspunkt (P) ausserhalb der Spiegelfläche (SF1).

Fig. 4 zeigt, ähnlich zu Fig. 3, schematisch und verallgemeinert einen massivoptischen Stromsensor mit einer ungeraden Anzahl von reflektierenden Seitenflächen bzw. Spiegelflächen (SF1-SF3). Auch hier ist die Spiegelfläche (SF1) gegenüber der hypothetischen Seitenfläche (SF1') nach innen versetzt, wodurch statt eines einfachen Polygons, bei dem der Lichtstrahl nach einmaligem Umlauf in sich selbst übergeht, ein 2facher Lichtumlauf resultiert. In dem Kreuzungspunkt (P) kreuzen sich der einfallende und austretende Lichtstrahl (LE, LA) auf der Spiegelfläche (SF1).

Anstelle einer Verschiebung einer Spiegelfläche (SF1-SF6) nach innen kann auch eine Verschiebung senkrecht zu der hypothetischen Seitenfläche (SF1') nach aussen erfolgen. Es muss nicht notwendigerweise die Licht-Einkopplungsfläche sein, die verschoben wird.

Bei einer ungeraden Anzahl spiegelnder Seitenflächen geht der Lichtstrahl nach 2 Umläufen wieder in sich selbst zurück. Bei einer geraden Anzahl von spiegelnden Seitenflächen geht der Lichtstrahl nie mehr in sich selbst zurück; es findet eine spiralförmig verschachtelte Versetzung des Lichtstrahles statt. Die Versetzung lässt sich sehr hoch steigern, wobei durch die endliche Grösse des Polygons und durch die Grösse des Flächenversatzes Grenzen gesetzt sind.

Wird bei einer geraden Anzahl von Spiegelflächen eine Spiegelfläche (SF1, SF3, SF5) mit ungerader Flächennummer mit nach innen versetzt, dann liegt der Kreuzungspunkt (P) ausserhalb des massivoptischen Stromsensors (1, 1'), vgl. auch Fig. 2. Bei einer Verschiebung nach aussen liegt der Kreuzungspunkt (P) innerhalb des massivoptischen Stromsensors (1, 1'), vgl. Fig. 1. Wird jedoch eine Spiegelfläche (SF2, SF4, SF6) mit gerader Flächennummer nach innen bzw. aussen versetzt, dann liegt der Kreuzungspunkt (P) innerhalb bzw. ausserhalb des massivoptischen Sensors (1, 1'). Massivoptische Stromsensoren (1') mit aussenliegendem Kreuzungspunkt (P) weisen einen kleineren Umlauffehler (Fehler des nicht geschlossenen optischen Weges) auf als solche mit innenliegendem Kreuzungspunkt (P), so dass sie sich für einen Stromsensor besser eignen.

Statt der Licht-Einkoppelfläche können auch mehrere Spiegelflächen (SF1–SF6) in Richtung ihrer Flächennormalen oder in entgegengesetzter Richtung verschoben sein – gegenüber einer hypothetischen Seitenflächenanordnung mit geschlossenem Polygon bei einmaligem Lichtumlauf. Die Anzahl reflektierender Flächen wird vorzugsweise gerade gewählt, denn damit ist eine grosse Anzahl von Umläufen möglich. Die Reflexionsflächen müssen nicht plan sein; sie können z.B. fokussierend ausgebildet sein.

Bezeichnungsliste

- 1, 1' prismatische Körper, massivoptische Stromsensoren
- 2 kreiszylindrische Aussparungen in 1, 1'
- 3 Mittelpunkt bzw. Zentrum von 1, 1'
- 4 rechteckförmige Aussparung in 1
- 5 3seitiges Prisma
- 6 Reflexionsschicht
- 51 Lichteintrittsfläche von 5
- 52 Lichtaustrittsfläche von 5
- a kleinster Flächenabstand von F2–F8 zu 3
- A Lichtaustrittsstelle
- B Schnittebene durch 3, senkrecht zu F8 und F4
- d kürzester Abstand zwischen B und E
- E Lichteintrittsstelle
- F1–F8 Seitenflächen von 1 und 1'
- LE einfallendes Licht, Einfallslichtstrahl
- LA Ausgangslicht, Ausgangslichtstrahl
- P Kreuzungspunkt von LA und LE
- r Radius von 2
- SF1–SF6 Spiegelflächen, lichtreflektierende Seitenflächen
- SF1' hypothetische Seitenfläche
- x Differenzabstand zu a bei 1
- y Differenzabstand zu a bei 1'

Patentansprüche

1. Massivoptischer Stromsensor
 - a) mit einem mehrflächigen Körper (1, 1'),
 - b) der umfangseitig mehrere lichtreflektierende Seitenflächen (F1, F3, F5, F7; SF1–SF6) und
 - c) in seinem Inneren mindestens eine Aus-

sparung (2, 4) für einen Stromleiter aufweist, dadurch gekennzeichnet,

d) dass der mehrflächige Körper (1, 1') mindestens eine lichtreflektierende Seitenfläche (F1, SF1) aufweist, die in Richtung oder in Gegenrichtung zur Flächennormalen einer hypothetischen Seitenfläche (SF1') nach innen oder aussen versetzt ist, wobei die hypothetische Seitenfläche (SF1') so positioniert ist, dass ein an dieser hypothetischen Seitenfläche (SF1') in den mehrflächigen Stromsensor (1, 1') eintretender Lichtstrahl (LE) nach einmaligem Umlauf um die mindestens eine Aussparung (2, 4) ein geschlossenes Polygon bildet.

2. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl lichtreflektierender Seitenflächen (F1, F3, F5, F7; SF1–SF6) gerade ist.

3. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der mehrflächige Körper (1, 1') ein prismatischer Körper ist.

4. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

- a) dass der prismatische Körper (1, 1') axialsymmetrisch ist und
- b) dass mindestens 4 Seitenflächen (F1, F3, F5, F7) lichtreflektierend ausgebildet sind.

5. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,

- a) dass eine nach aussen versetzte Seitenfläche (F1) einen grösseren Kleinstabstand ($a + x$) zu einem Zentrum (3) des massivoptischen Stromsensors (1, 1') hat als die anderen Seitenflächen (F2–F8) und
- b) dass eine Lichteintrittsstelle (E) und eine Lichtaustrittsstelle (A) an benachbarten Seitenflächen (F8, F2) zu der nach aussen versetzten Seitenfläche (F1) vorgesehen sind.

6. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,

- a) dass eine nach innen versetzte Seitenfläche (F1) einen kleineren Kleinstabstand ($a - y$) zu einem Zentrum (3) des massivoptischen Stromsensors (1, 1') hat als die anderen Seitenflächen (F2–F8) und
- b) dass eine Lichteintrittsstelle (E) und eine Lichtaustrittsstelle (A) an dieser nach innen versetzten Seitenfläche (F1) vorgesehen sind.

7. Massivoptischer Stromsensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die nach innen versetzte Seitenfläche (F1) mit einem 3seitigen Prisma (5) abgedeckt ist.

8. Massivoptischer Stromsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussparung (2) zentral zu den nicht nach innen oder aussen versetzten Seitenflächen (F2–F8) vorgesehen ist.

9. Massivoptischer Stromsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die lichtreflektierenden Seitenflächen (F1, F3, F5, F7; SF1–SF6) poliert und mit einer dielektrischen Reflexionsschicht (6) versehen sind.

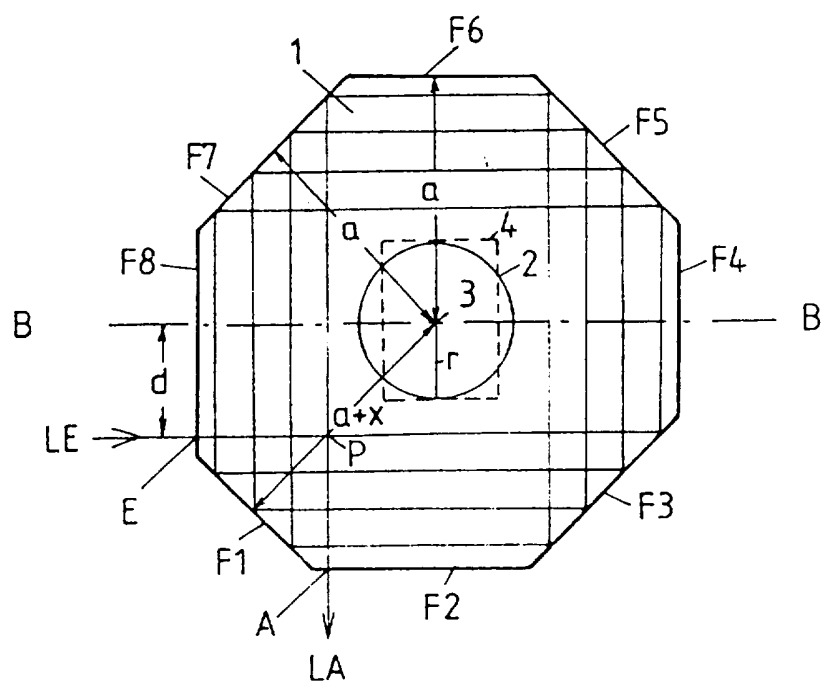


Fig. 1

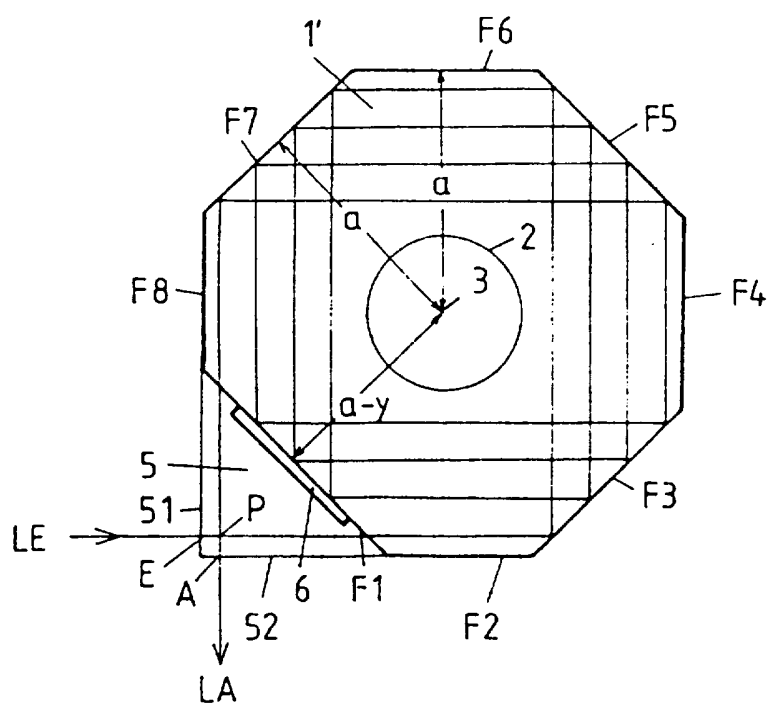


Fig. 2

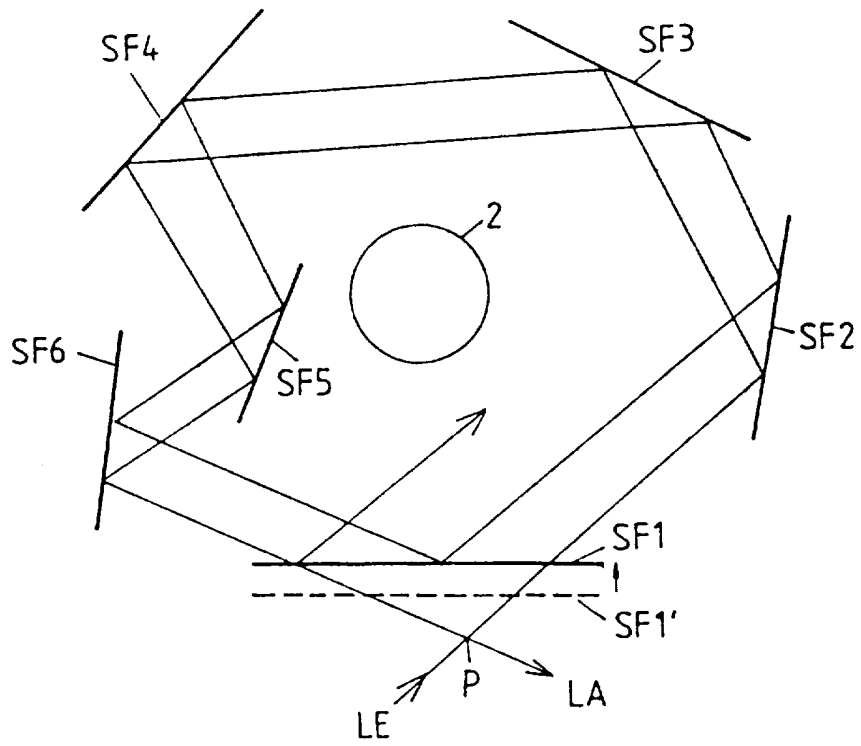


Fig. 3

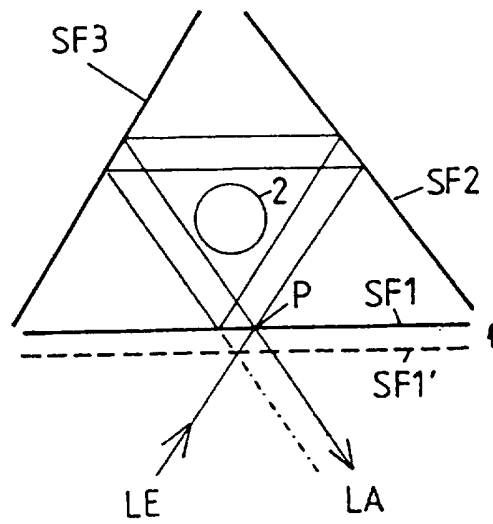


Fig. 4