



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 290 722 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 02 B 5/08

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 02 B / 336 247 6

(22) 22.12.89

(44) 06.06.91

(71) Akademie der Wissenschaften, Otto-Nuschke-Straße 22/23, O - 1080 Berlin, DE

(72) Pfeiffer, Wilfried, Dipl.-Ing., DE

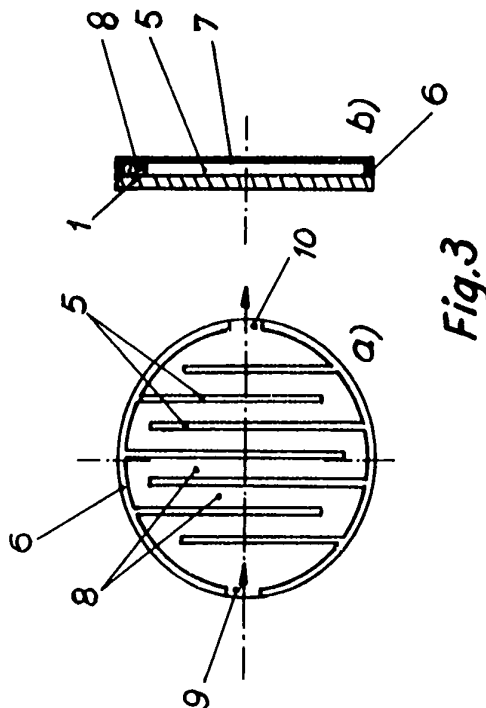
(73) Akademie der Wissenschaften, Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie, BfSN, Rudower Chaussee 6, O - 1199 Berlin, DE

(74) siehe (73)

(54) Strahlungsfestes reflektierendes optisches Element

(55) Lasertechnik; Scannerspiegel;
Mehrkomponentensystem; metallischer Spiegelkörper;
Kupfer; Aluminium; nichtmetallischer Spiegelträger;
Stabilisierungskomponente; Email; Keramik; integriertes
Kühlsystem

(57) Die Erfindung betrifft ein strahlungsfestes reflektierendes optisches Element, das vorzugsweise in der Lasertechnik, insbesondere als Scannerspiegel, sowie in optischen Systemen von Geräten für die Raumfahrttechnik anwendbar ist. Ein derartiges optisches Element ist als Mehrkomponentensystem ausgebildet, gekennzeichnet durch den Verbund eines metallischen Spiegelkörpers mit einem Spiegelträger aus einem anorganisch-nichtmetallischen Werkstoff als Stabilisierungskomponente. Bevorzugte Materialien für den Spiegelträger sind Email oder Keramik. Der Spiegelkörper kann z. B. aus Kupfer oder Aluminium sein. Bei einem Element mit integriertem Kühlsystem weist der Spiegelträger auf der dem Spiegelträger (1) abgewandten Seite eine erhabene, beispielsweise mäander- oder stegförmige Struktur (5) auf. Diese Struktur ist von einem peripheren Ring (6) umgrenzt und von einer vorzugsweise metallischen Scheibe (7) abgedeckt, derart, daß Kühlkanäle (8) gebildet sind. Dieses Kühlsystem hat einen Kühlmiteleintritt (9) und -austritt (10). Fig. 3



Patentansprüche:

1. Strahlungsfestes reflektierendes optisches Element, ausgebildet als Mehrkomponentensystem, **gekennzeichnet durch den Verbund eines metallischen Spiegelkörpers (1) mit einem Spiegelträger (2) aus einem anorganisch-nichtmetallischen Werkstoff als Stabilisierungskomponente.**
2. Optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelträger (2) aus Email besteht.**
3. Optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelträger (2) aus keramischem Werkstoff besteht.**
4. Optisches Element nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß als Werkstoff für den Spiegelträger (2) MgO-Keramik mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ verwendet wird.**
5. Optisches Element nach Anspruch 1 und einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß in dem Werkstoff des Spiegelträgers (2) ein gut wärmeleitfähiger Füllstoff, z. B. Metallpulver, eingebettet ist.**
6. Optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelkörper (1) aus Kupfer besteht.**
7. Optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelkörper (1) aus Aluminium besteht.**
8. Optisches Element nach Anspruch 1, 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelkörper (1) mit einem hochreflektierenden Material, beispielsweise Gold, beschichtet ist.**
9. Optisches Element nach Anspruch 1, 2 und 7, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelträger (2) aus einem Email nachstehender Zusammensetzung besteht:**

SiO ₂	20... 30 %
B ₂ O ₃	1... 5 %
R ₂ O	30... 40 %
BaO	10... 15 %
ZnO	0... 4 %
ZrO ₂	0... 4 %
TiO ₂	25... 30 %

mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $15... 17 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und der Spiegelkörper (1) aus Aluminium mit nachstehender Zusammensetzung besteht:

Al	96,5... 99,5 %
Si	0,2... 1 %
Mn	0,1... 0,5 %
Cu	0,1... 0,5 %
Mg	0,5... 2 %

mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $20... 24 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$,

10. Optisches Element nach Anspruch 1, 2 und 6, **dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelträger (2) aus einem Email nachstehender Zusammensetzung besteht:**

SiO ₂	34... 55 %
Na ₂ B ₄ O ₇	0... 12,5 %
Na ₂ CO ₃	3... 8 %
K ₂ CO ₃	1,5... 11 %
Pb ₃ O ₄	25... 40 %
CaF ₂	0... 2,5 %
Na ₃ AlF ₆	1... 4 %
Kalksalpeter	0... 2 %

Mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $10... 15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und der Spiegelkörper (1) aus Kupfer mit nachstehender Zusammensetzung besteht:

Cu	≥ 99,97%
Bi	< 0,001%
Sb	< 0,002%
As	< 0,002%
Fe	< 0,004%
Ni	< 0,002%
Pb	< 0,003%
Sn	< 0,002%
S	< 0,003%
O ₂	< 0,001%
Zn	< 0,003%
P	< 0,002%

mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $16,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

11. Optisches Element nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spiegelträger (2) gleichzeitig als Kühlsystem ausgebildet ist.
12. Optisches Element nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spiegelträger (2) auf der dem Spiegelkörper (1) abgewandten Seite eine erhabene, beispielsweise gitterförmige, Struktur (4) aufweist.
13. Optisches Element nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spiegelträger (2) auf der dem Spiegelkörper (1) abgewandten Seite eine erhabene, beispielsweise mäander- oder stegförmige Struktur (5) aufweist, umgrenzt von einem peripheren Ring (6) und abgedeckt von einer vorzugsweise metallischen Scheibe (7), derart, daß Kühlkanäle (8) gebildet sind und daß dieses Kühlsystem einen Kühlmiteleintritt (9) und -austritt (10) hat.
14. Optisches Element nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Rückseite des Spiegelträgers (2) Befestigungselemente (3) angebracht sind.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein strahlungsfestes reflektierendes optisches Element, das vorzugsweise in der Lasertechnik, insbesondere als Scannerspiegel, sowie in optischen Systemen von Geräten für die Raumfahrttechnik anwendbar ist.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bekannt sind verschiedene als Ein- oder Mehrkomponentensystem ausgebildete reflektierende optische Elemente, die in der Lasertechnik bzw. im optischen Gerätebau eingesetzt werden.

Als Laseroptik werden vorzugsweise Silizium- und Metallspiegel verwendet. Die Wahl des Substratmaterials ist abhängig von seiner Wärmeleitfähigkeit, der Leistung und der Leistungsdichte des Laserstrahls und den Umweltbedingungen, bei denen die Spiegel eingesetzt werden sollen.

Silizium-Spiegel können für cw-Laserleistungen bis über 1 kW/cm^2 eingesetzt werden. Sie sind allerdings sehr stoßempfindlich und haben unbeschichtet einen geringen Reflexionsgrad. Beschichtete Si-Spiegel weisen zwar ein hohes Reflexionsvermögen auf, sind aber nicht sehr strahlungsfest.

Kupfer ist auf Grund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit an sich gut geeignet als Spiegelmaterial für Multi-kW-Laser. Ohne Beschichtung widerstehen Cu-Spiegel sehr hohen Energiedichten in gepulsten Lasern. Bekannt sind auch Kupfer-Nickel-Spiegel mit Goldbeschichtung. Diese Spiegel bestehen aus einer polierten Nickelschicht auf einem Kupfersubstrat. Zur Erhöhung des Reflexionsvermögens ist eine Goldschicht aufgedampft.

Derartige Spiegel eignen sich für den Einsatz in gepulsten CO₂-Lasern bis etwa 50 MW/cm^2 oder für cw-Leistungen von bis zu einigen hundert Watt/cm².

(siehe „Infrarot-Katalog“ der Fa. L. O. T. GmbH., Darmstadt, BRD)

Als Scannerspiegel für höhere Frequenzen bis 200 Hz und Bestrahlungsleistungen $> 10 \text{ kW/cm}^2$ sind reine Cu-Spiegel und Cu-Ni-Au-Spiegel wegen ihrer großen Masse nicht anwendbar. Verringert man die Masse, so ist die erforderliche große Biegesteifigkeit nicht mehr gegeben. Aluminiumspiegel haben zwar eine geringe Masse, ein gutes Wärmeleitvermögen und einen hohen Reflexionsgrad, sind aber wegen der Weichheit des Materials mechanisch nicht stabil.

Auch Molybdän-Spiegel werden in der Lasertechnik eingesetzt. Sie sind unter schwierigsten Umweltbedingungen einsetzbar, besitzen jedoch ein relativ geringes Reflexionsvermögen und eine schlechtere Wärmeleitung als Cu-Spiegel (Literatur a. a. O.).

Bekannt ist ein Spiegel, der zur Sammlung von Solarenergie, zur Laserreflexion sowie zur optischen Kommunikation auf der Erde und im Weltraum verwendbar sein soll und aus einer Grundplatte aus kohlefaserverstärktem kohlenstoffhaltigem oder glasausgefülltem kohlefaserverstärktem kohlenstoffhaltigem Werkstoff und einer auf dieser Grundplatte aufgetragenen Spiegelglasschicht besteht.

Auf der freien Oberfläche der Spiegelglasschicht kann eine Metallschicht ausgebildet sein (DE-OS 3819011, GO 2 B, 5/08). Die Verbindung der Spiegelglasschicht mit der Grundplatte erfolgt im Warmpreßverfahren unter Vakuum oder mittels eines organischen oder anorganischen Klebstoffs.

Wie aus der Erfindungsbeschreibung ersichtlich, ist die Herstellung der Grundplatte äußerst aufwendig. Überdies können sich wegen der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des kohlefaserverstärkten kohlenstoffhaltigen Werkstoffs und des Spiegelmaterials Grundplatte und Spiegelglasschicht voneinander lösen, wenn sie wiederholt Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, was in der praktischen Anwendung durchaus der Fall sein kann.

Bekannt ist auch ein optischer Hohlspiegel in Schichtbauweise für optische Geräte, beispielsweise Spiegelteleskope oder Spektrographen (DE-OS 2628418, GO 2 B, 5/10).

Den Spiegelträger bildet eine mechanisch stabile Konstruktion, z. B. aus Prozellan. Der eigentliche Spiegel(körper) besteht aus Zerodur o. ä. Material. Die Verbindung von Spiegelträger und Spiegel geschieht durch einen Kitt oder durch eine mehrere Millimeter starke elastische Kleberschicht, durch die Unterschiede in der Wärmeausdehnung ausgeglichen werden sollen.

Eine derartige Lösung ist für Anwendungen in der Lasertechnik nicht geeignet.

Bekannt ist ferner ein heizbarer Spiegel mit einer Reflexionsschicht aufweisenden Träger, auf dessen Rückseite ein Heizleiter aufgebracht ist. Zum Schutz des Heizleiters gegen Korrosion ist dieser von einer etwa 10 bis 20 µm dicken Emailleschicht abgedeckt (DE-PS 3309024, GO 2 B, 5/08).

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein reflektierendes optisches Element verfügbar zu haben, dessen Eigenschaften seinen Einsatz in der Hochleistungslasertechnik, insbesondere als Scannerspiegel, sowie in optischen Geräten für die Raumfahrttechnik erlaubt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein strahlungsfestes reflektierendes optisches Element zu schaffen, ausgebildet als Mehrkomponentensystem mit einer Stabilisierungskomponente, das bei geringer Masse eine große Stabilität bei großen Beschleunigungen aufweist sowie eine gute Wärmeableitung und Kühlung ermöglicht. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch den Verbund eines metallischen Spiegelkörpers mit einem Spiegelträger aus einem anorganisch-nichtmetallischen Werkstoff als Stabilisierungskomponente.

Bevorzugte Materialien für den Spiegelträger sind Email und keramischer Werkstoff, insbesondere MgO-Keramik mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Es ist möglich, einen wärmeleitfähigen Füllkörper, z. B. Metallpulver, in den Werkstoff des Spiegelträgers einzubetten. Dies gestattet auch die weitere Anpassung der Ausdehnungskoeffizienten der Komponenten. Bevorzugte Metalle für den Spiegelkörper sind Kupfer und Aluminium. Dabei kann die Spiegelfläche in bekannter Weise mit einem hochreflektierenden Material, beispielsweise Gold, beschichtet sein.

Die Spiegelfläche des Spiegelkörpers kann je nach Anwendungserfordernis eben oder gekrümmt, glatt oder strukturiert (optisches Gitter) sein.

Für den Aufbau eines erfindungsgemäßen optischen Elementes werden einige ausgewählte Materialpaarungen für Spiegelträger und Spiegelkörper vorgeschlagen.

Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, daß die Komponenten jeweils in ihrem Wärmeausdehnungskoeffizienten angenähert sind, um bei thermischer Belastung des optischen Elementes den sog. „Bimetalleffekt“ und damit Rißbildungen zu vermeiden. Wird für den Spiegelkörper Email verwendet, so muß dessen Wärmeausdehnung prinzipiell etwas kleiner sein als die des Metalls des Spiegelkörpers.

Bei einem optischen Element nach der Erfindung mit einem Spiegelträger aus Email und einem Spiegelkörper aus Aluminium haben die Komponenten nachstehende Zusammensetzung:

Email	
SiO ₂	20...30%
B ₂ O ₃	1...5%
R ₂ O	30...40%
BaO	10...15%
ZnO	0...4%
ZrO ₂	0...4%
TiO ₂	25...30%

Ausdehnungskoeffizient $15...17 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

Aluminium

Al	96,5...99,5%
Si	0,2...1%
Mn	0,1...0,5%
Cu	0,1...0,5%
Mg	0,5...2%

Ausdehnungskoeffizient $20...24 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Bei einem anderen erfindungsgemäßen Element, gleichfalls mit einem Spiegelträger aus Email, aber einem Spiegelkörper aus Kupfer, haben die Komponenten nachstehende Zusammensetzung:

Email

SiO ₂	34...55%
Na ₂ B ₄ O ₇	0...12,5%
Na ₂ CO ₃	3...8%
K ₂ CO ₃	1,5...11%
Pb ₃ O ₄	25...40%
CaF ₂	0...2,5%
Na ₃ AlF ₆	1...4%
Kalksalpeter	0...2%

Ausdehnungskoeffizient $10...15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

Kupfer

Cu	≥ 99,97%
Bi	< 0,001%
Sb	< 0,002%
As	< 0,002%
Fe	< 0,004%
Ni	< 0,002%
Pb	< 0,003%
Sn	< 0,002%
S	< 0,003%
O ₂	< 0,001%
Zn	< 0,003%
P	< 0,002%

Ausdehnungskoeffizient $16,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Weitere geeignete Komponenten für Materialpaarungen sind aus der Fachliteratur abzuleiten. Erwähnt seien noch zwei Metalle für den Spiegelkörper:

Aluminium-Legierung:

Cu	2,25%
Mg	1,0%
Si	0,6%
Cr	0,25%
Al	Rest

Ausdehnungskoeffizient $\sim 21 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

und

Reinaluminium:

Fe	< 0,4%
Si	< 0,3%
Cu	< 0,05%
Zn	< 0,07%
Ti	< 0,05%
Al	Rest.

Der Spiegelträger eines erfindungsgemäßen optischen Elementes kann gleichzeitig als Kühlsystem ausgebildet sei...

Bei einer einfachen Ausführungsform für Luftkühlung weist der Spiegelträger auf der dem Spiegelkörper abgewandten Seite eine erhabene, beispielsweise gitterförmige, Struktur auf.

Eine Ausführungsform des Spiegelträgers mit integriertem Kühlsystem für Durchflußkühlung ist zweckmäßigerweise wie nachstehend beschrieben ausgebildet. Der Spiegelträger weist auf der dem Spiegelkörper abgewandten Seite eine erhabene, beispielsweise mäander- oder stegförmige, Struktur auf. Diese Struktur ist von einem peripheren Ring umgrenzt und von einer vorzugsweise metallischen Scheibe abgedeckt, derart, daß Kühlkanäle gebildet sind. Dieses Kühlsystem hat einen Kühlmittleintritt und -austritt.

Zur Fixierung des optischen Elementes in einem Gerät sind auf der Rückseite des Spiegelkörpers Befestigungselemente angebracht. Nachstehend seien einige Hinweise zur Herstellung strahlungsfester reflektierender Elemente nach der Erfindung gegeben.

Bei einem Element mit einer Stabilisierungskomponente aus Email wird auf eine für den Spiegelkörper vorgesehene Metallscheibe, z. B. aus Kupfer, in an sich bekannter Weise nach entsprechender Vorbereitung der zu emaillierenden Fläche Email aufgetragen und durch Erhitzen beide Komponenten miteinander verbunden. Nach der Emaillierung wird der Spiegelkörper auf eine Dicke von 1 ... 2 mm abgedreht und anschließend die Oberfläche auf einer Ultrapräzisionsmaschine zur Spiegeloberfläche bearbeitet, auf die gegebenenfalls eine hochreflektierende Schicht, beispielsweise aus Gold, aufgedampft wird. Auf die Rückseite des Email-Spiegelträgers können metallische Befestigungselemente aufemailliert werden. Der Spiegelträger aus Email kann vollflächig, aber auch in Form einer erhabenen Struktur, z. B. gitter-, mäander- oder stegförmig ausgeführt sein. Diese stabilisierende Struktur vergrößert gleichzeitig die Oberfläche und erhöht den Kühleffekt. Eine derartige Struktur des Spiegelträgers wird dadurch erreicht, daß auf die Rückfläche des metallischen Spiegelkörpers Emailpulver aufgebracht (mittels Laserstrahlung die gewünschte Konfiguration der Stabilisierungskomponente erzeugt wird).

Wird eine solche z. B. stegförmige erhabene Struktur von einem peripheren Ring umgrenzt (der auf gleiche Weise anemailliert sein kann), mit einer Scheibe abgedeckt und mit Ein- und Austrittsöffnung versehen, erhält man ein mit dem Spiegelträger integriertes, Kühlkanäle aufweisendes Kühlsystem für Durchflußkühlung.

Bei einem optischen Element mit einer Stabilisierungskomponente aus keramischem Werkstoff, vorzugsweise MgO-Keramik, wird auf dem nach an sich bekannten Verfahren vorgefertigten keramischen Spiegelträger, der nach erfindungsgemäßer Lehre eine ebene, aber auch eine für die Ausbildung eines integrierten Kühlsystems strukturierte Rückseite aufweisen kann, der metallische Spiegelkörper in bekannter Weise galvanisch aufgebracht. Die Endbearbeitung der Spiegelfläche geschieht nach gleicher Herstellungstechnologie, wie für ein Element mit Email-Spiegelträger.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnungen zeigen

- Fig. 1: Draufsicht (a) und Seitenansicht (b) eines optischen Elementes nach der Erfindung mit vollflächigem Spiegelträger,
Fig. 2: Draufsicht (a) und Seitenansicht (b) eines optischen Elementes mit erhaben strukturiertem Spiegelträger,
Fig. 3: Draufsicht ohne Deckel (a) und Seitenansicht (b) eines optischen Elementes mit integriertem Kühlsystem für Durchflußkühlung.

Die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform einfacher Art eines erfindungsgemäßen strahlungsfesten reflektierenden optischen Elementes besteht aus einem Spiegelkörper 1 aus Kupfer, der durch einen aufgeschmolzenen Email-Spiegelträger 2 mechanisch verstärkt ist, wodurch die Biegesteifigkeit des optischen Elementes wesentlich erhöht wird. Zur Manipulierung kann der fertig bearbeitete Spiegel in eine Fassung eingesteckt werden oder auf seiner Rückseite mit einem aufemaillierten Befestigungselement für die Aufnahme in einem Gerät versehen sein. Bei höherer Strahlungsleistung muß der Spiegel gekühlt werden. Es kann Luftkühlung vorgesehen sein.

Zu diesem Zweck ist, wie aus Fig. 2 ersichtlich, der Spiegelträger 2 als gitterförmige Stützkonstruktion A aus Email auf der Rückseite eines Spiegelkörpers 1 aus Kupfer aufgebracht. Auf diese Weise bleibt ein Teil der Rückseite des Spiegelkörpers 1 frei zur Wärmeabstrahlung. Die Emailstruktur als tragende Stabilisierungskomponente hat eine große Oberfläche, was die Wärmeabgabe wesentlich begünstigt. Auf die äußeren Kanten der Gitterstruktur kann ebenfalls ein Befestigungselement aufemailliert sein.

Bei dem optischen Element nach Fig. 3 ist der den kupfernen Spiegelkörper 1 stabilisierende Spiegelträger 2 als Kühlsystem für Durchflußkühlung gestaltet. Die auf die Rückseite des Spiegelkörpers 1 aufgetragene erhabene stegförmige Struktur 5 aus Email ist von einem peripheren Ring 6 umgrenzt und mit einem Deckel 7 abgedeckt, so daß Kühlkanäle 8 gebildet sind. Dieses Kühlsystem weist einen Kühlmiteleintritt 9 und -austritt 10 auf und kann so von einem gasförmigen oder flüssigen Kühlmedium durchströmt werden.

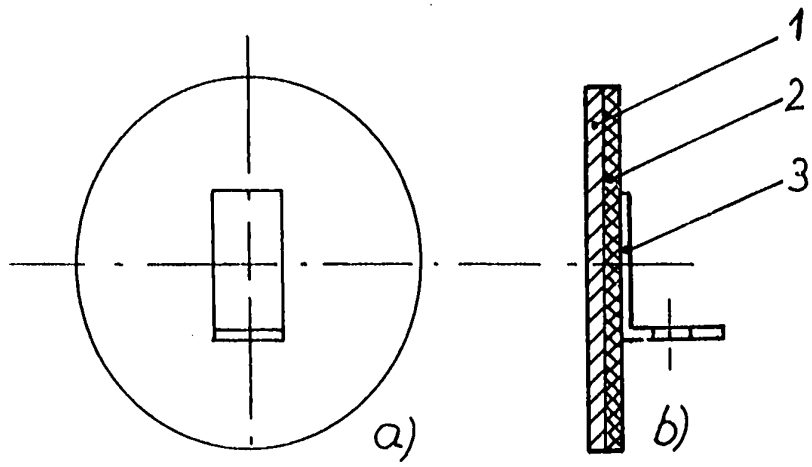


Fig. 1

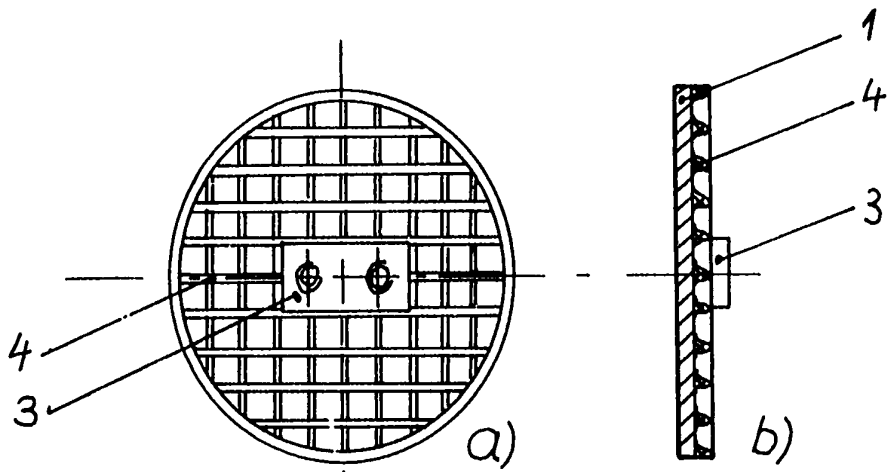


Fig. 2

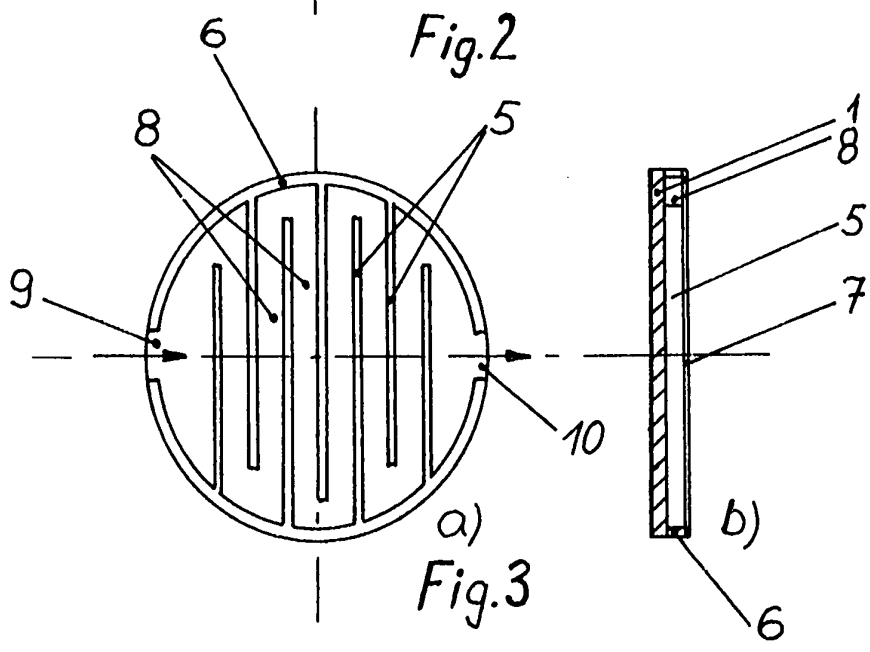


Fig. 3