(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PATENTSCHRIFT

(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 283 685 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 5/10
G 02 B 1/00
G 02 B 23/02

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD G 02 B / 321 969 5	(22)	18.11.88	(44)	17.10.90
(31)	P3739841.5-51	(32)	20.11.88	(33)	DE

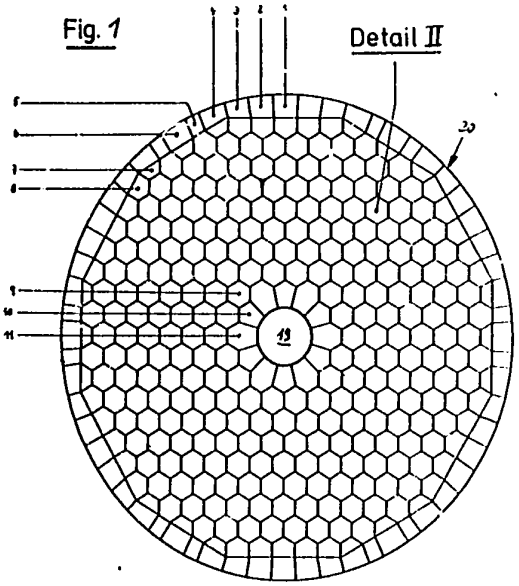
(71) siehe (73)
(72) Hügenell, Hermann, DE
(73) Hermann Hügenell, 6715 Lambsheim, DE
(74) Internationales Patentbüro Berlin, Wallstraße 23/24, Berlin, 1020, DD

(54) Primärspiegel für ein Spiegelteleskop

(55) Primärspiegel; Spiegelteleskop; Spiegelkörper; Lagerungselemente; Justierelemente; Vollkreisfläche; Tragstruktur; Massenreduzierung; Hohlräume; asphärische Oberflächenform; Schleifbearbeitung; Polierbearbeitung

(57) Es soll ein Primärspiegel für ein Spiegelteleskop geschaffen werden, der aus einer Vielzahl einzelner vieleckiger Spiegelkörper 1 bis 11 und aus diesen zugeordneten unterhalb der Spiegelkörper angeordneten Lagerungs- und Justierelementen 12 besteht, wobei die Spiegelfläche durch radial an die Außen- und Innenränder der vieleckigen Spiegelkörper 1 bis 11 anschließende Anschlußspiegelkörper 1 bis 6 eine Vollkreisfläche bildet. Ein vorbekannter Primärspiegel dieser Art hat ein großes Gesamtgewicht und erfordert eine aufwendige Herstellung der einzelnen Spiegelkörper, wobei der Primärspiegel ferner nicht die notwendige Infrarot-Tauglichkeit aufweist. Zur Vermeidung dieser Nachteile sieht die Erfindung vor, daß jeder Spiegelkörper 1 bis 11 eine Tragstruktur aufweist, die zur Reduzierung der Masse des Spiegelkörpers 1 bis 11 Hohlräume aufweist, daß die Rohlinge der Spiegelkörper 1 bis 11 eine Oberflächenform aufweisen, die der asphärischen Form der fertigen Spiegelfläche annähernd entspricht, und daß die Spiegelkörper 1 bis 11 zur Oberflächen- und Formendverarbeitung der Spiegelfläche einzeln geschliffen und poliert sind. Fig. 1

Fig. 1



ISSN 0433-6461

Patentansprüche:

1. Primärspiegel für ein Spiegelteleskop, aus einer Vielzahl einzelner, vieleckiger Spiegelkörper und aus diesen zugeordneten, unterhalb der Spiegelkörper angeordneten Lagerungs- und Justierelementen, wobei die Spiegelfläche durch radial an die Außen- und Innenränder der vieleckigen Spiegelkörper anschließende Anschlußspiegelkörper eine Vollkreisfläche bildet, **dadurch gekennzeichnet,** daß jeder Spiegelkörper (1 bis 11) eine Tragstruktur aufweist, die zur Reduzierung der Masse des Spiegelkörpers (1 bis 11) Hohlräume aufweist, daß die Rohlinge der Spiegelkörper (1 bis 11) eine Oberflächenform aufweisen, die der asphärischen Form der fertigen Spiegelfläche annähernd entspricht, und daß die Spiegelkörper (1 bis 11) zur Oberflächen- und Formendverarbeitung der Spiegelfläche einzeln geschliffen und poliert sind.
2. Primärspiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß in der Oberflächenform gleichgestaltete Spiegelkörper (1 bis 11) verbundgeschliffen und poliert sind.
3. Primärspiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Spiegelkörper (1 bis 11) aus Quarz oder Glaskeramik gebildet sind.
4. Primärspiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Tragstruktur eine mit Hohlräumen versehene Wabenstruktur aufweist.
5. Primärspiegel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß zur Vermessung der relativen Lage der einzelnen Spiegelkörper (1 bis 11) Meßsensoren in den Hohlräumen der Wabenstruktur der einzelnen Spiegelkörper (1 bis 11) eingebaut sind, und daß die Meßsensoren mittels rechnerunterstützter Systeme zur exakten Justierung und Regelung der einzelnen Spiegelkörper (1 bis 11) erforderlichen Betätigungselemente (Aktuatoren) und Justierelemente (12) ansteuern und damit kontinuierlich überwacht einregeln.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Primärspiegel für ein Spiegelteleskop, aus einer Vielzahl einzelner, vieleckiger Spiegelkörper und aus diesen zugeordneten, unterhalb der Spiegelkörper angeordneten Lagerungs- und Justierelementen, wobei die Spiegelfläche durch radial an die Außen- und Innenränder der vieleckigen Spiegelkörper anschließende Anschlußspiegelkörper eine Vollkreisfläche bildet.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Ein Spiegelteleskop dieser Art ist als Mauna-Kea-Spiegelteleskop mit 10m Spiegeldurchmesser bekannt, das noch in der Planung befindlich ist (Sterne und Weltraum, 1984/8–9, Seite 412, Appl. Optics, Vol. 21 [1982], Nr. 14, 2631–2641). Bei diesem Spiegelteleskop ist der Primärspiegel aus 36 hexagonalen Spiegelkörpern gebildet, die bienenwabenförmig die Spiegelfläche bilden, wobei in der Mitte ein Spiegelkörper zur Beobachtung im Cassegrain-Fokus ausgespart ist. Die Herstellung der einzelnen hexagonalen Spiegelkörper selbst ist äußerst problematisch. Es handelt sich bei diesen um achsferne Ausschnitte eines Paraboloids, die sechseckig zugeschnitten werden müssen (Appl. Optics, Vol. 19 [1980], Nr. 14, 2332–2340). Bei der Herstellung wird von einem kreisförmigen Rohling ausgegangen, der durch am Rand ansetzende, genau definierte Scher- und Biegekräfte verformt wird. In den verformten Rohling wird eine Kugelform eingeschliffen. Danach werden die aufgebrachten Kräfte wieder entfernt. Sofern die Kräfte richtig gewählt waren, nimmt jeder Spiegelkörper bei der Entlastung die gewünschte Form des Paraboloid-Ausschnittes des Primärspiegels an. Es hat sich jedoch gezeigt, daß beim Schneiden in die hexagonale Form Verwerfungen auftreten.
Darüber hinaus muß die Lage der einzelnen, sehr dünnwandigen hexagonalen Spiegelkörper je nach der Stellung des Primärspiegels im Spiegelteleskop, je nach Windlast und je nach Temperaturschwankungen nachgeregelt werden. Dazu sind die Unterstützungspunkte jedes Spiegelkörpers mit drei Lagereglern verbunden, die den Spiegelkörper nachfokussieren und in zwei Neigungsrichtungen verstellen können. An den Kanten der Spiegelkörper befinden sich Sensoren, welche die Verschiebung benachbarter Spiegelkörper gegeneinander messen. Zusammen mit drei Neigungssensoren, welche die Gesamtkrümmung des Spiegelkörpers messen, liefern diese die Informationen, die in einem Rechnersystem verarbeitet werden, das die insgesamt 108 Lageregler steuert. Bei insgesamt 168 verschiedenen Sensoren ist die Redundanz so groß, daß der Ausfall einzelner Sensoren verkraftet werden kann. Allerdings bleiben bei dieser Anordnung die Vorderseiten der Spiegelkörper von störenden Kontrollsystemen frei. Die einzelnen Spiegelkörper müssen nur gelegentlich mit Hilfe eines Sternbilds nachjustiert werden, so daß auch Infrarotbeobachtungen am Tage möglich sind. Die Sensoren und die Lageregler müssen auf mindestens 50nm genau arbeiten.
Bei theoretischen Untersuchungen des Primärspiegels des im DE-Patent 3538208 beschriebenen Spiegelteleskops, dessen Spiegelkörper kreisscheibenförmig ausgebildet sind, so daß zwischen den einzelnen Spiegelkörpern Freiflächen für die Lagerung der Spiegelkörper und für das Halterungsgestänge bzw. für dessen Abschattungsflächen gebildet sind, hat es sich gezeigt, daß die Freiflächen die Infrarottauglichkeit des Primärspiegels in Frage stellen. Die im Bereich der Freiflächen befindlichen metallischen Bauteile des Tragegerüstes des Primärspiegels senden eigene Wärmestrahlungen zum im Fokus des Primärspiegels befindlichen Empfangsgerät (Detektor) und stören bzw. verrauschen das zu empfangende Infrarotsignal aus dem All.

Die Infrarottauglichkeit des Primärspiegels ist notwendig, um dunkle Körper im All, die als Masse vorhanden, aber für das menschliche Auge nicht sichtbar sind mit dem Primärspiegel erkennbar zu machen. Theoretisch kann das Phänomen der eigenen Infrarot-Wärmestrahlung der Freiflächen des Primärspiegels durch technische Gegenmaßnahmen ausgeschaltet werden. Diese sind jedoch äußerst aufwendig.
Die aufgrund der theoretischen Untersuchungen am Spiegelteleskop gemäß DE-Patent 3538208 vorgenommenen Untersuchungen, welche die Infrarottauglichkeit dieses Primärspiegels in Frage stellten, führten zur theoretischen Untersuchung des Primärspiegels des Mauna-Kea-Spiegelteleskopes mit 10m Spiegeldurchmesser. Auch hier wurden trotz der an sich geschlossenen Spiegelfläche störende Infrarotstrahlungen festgestellt Diese konnten auf die im Bereich der Berührungslinien der aneinanderstoßenden hexagonalen Spiegelkörper angebrachten Sensoren zurückgeführt werden, welche die Verschiebung benachbarter Spiegelkörper gegeneinander messen. Hiervon weist der Primärspiegel des Mauna-Kea-Spiegelteleskopes bei insgesamt 36 hexagonalen Spiegelkörpern insgesamt 168 Verschiebungssensoren auf. Auch diese strahlen eine ganz erhebliche Eigenwärme aus, welche sich wiederum als störende Infrarotstrahlung bemerkbar macht. Somit weist der Primärspiegel gemäß dem Stand der Technik nicht nur das Problem auf, daß die einzelnen unter Belastung ausgeschliffenen Spiegelkörper nur in Form einer asphärischen off-axis-section geschliffen werden, sondern auch das Problem der mangelnden Infrarottauglichkeit auf Grund der unbedingt notwendigen Verschiebungssensoren. Schließlich hat sich auch die Tatsache, daß die Außenkontur des aus hexagonalen Spiegelkörpern zusammengefügten Primärspiegels ungleichmäßig ist, dahingehend ausgewirkt, daß sowohl in der Punktbild- als auch in der Modulationsübertragungsfunktion negative Auswirkungen resultierten.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist, die Nachteile der bekannten Lösung zu vermeiden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Primärspiegel für ein Spiegelteleskop zu schaffen, der ein geringes Gesamtgewicht hat und die notwendige Infrarottauglichkeit aufweist und bei dem eine einfache kostengünstige Herstellung der einzelnen Spiegelkörper möglich ist.
Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß jeder Spiegelkörper eine Tragstruktur aufweist, die zur Reduzierung der Masse des Spiegelkörpers Hohlräume aufweist, daß die Rohlinge der Spiegelkörper eine Oberflächenform aufweisen, die der asphärischen Form der fertigen Spiegelfläche annähernd entspricht, und daß die Spiegelkörper zur Oberflächen- und Formendverarbeitung der Spiegelfläche einzeln geschliffen und poliert sind. Der erfindungsgemäße Primärspiegel großen Durchmessers von kreisförmiger Außenkontur besteht aus nahezu lückenlos aneinander gefügten, vielgestaltig ausgeformten und eine Kreisfläche bildenden Spiegelkörpern, deren Oberflächen einzeln oder im Verbund poliert werden können, so daß diese die Form einer asphärischen „off-axis-section" annehmen. Der Primärspiegel hat vorzugsweise parabolische Form, jedoch kann auch eine davon abweichende Form, wie z.B. bei einem Spiegelteleskop nach Ritchey-Chrétien vorgesehen sein. Wegen des großen Gesamtdurchmessers bzw. der großen Gesamtöffnung des Primärspiegels stellen dessen einzelne, an einen zentralen Spiegelkörper anschließende Spiegelkörper außeraxiale Ausschnitte des Primärspiegels dar, die einzeln oder im Verbund geschliffen und poliert werden. Jeder der derart bearbeiteten einzelnen Spiegelkörper weist eine Tragstruktur, z.B. eine Wabenstruktur auf. Als Material kann Quarz oder Glaskeramik verwendet werden. Die in dieser Bauweise ausgebildeten Spiegelkörper werden bereits derart vorgeformt, daß sie mit dem Schleifverfahren einzeln oder im Verbund nur noch endvergütet werden müssen. Dies bedeutet, daß die Rohlinge der einzelnen Spiegelkörper bereits als Rohstruktur ihre endgültige Form vor dem Schleifvorgang erhalten und dann mittels des Schleifverfahrens noch oberflächen- und formendverarbeitet werden müssen. Dies kann beim Schleifvorgang einzeln oder im Verbund erfolgen. Die Verwendung einer an sich geschlossenen Vollkreisfläche als Spiegelfläche des Primärspiegels, der selbst aus einer Vielzahl vieleckiger Spiegelkörper gebildet ist, ermöglicht, daß hervorragende Ergebnisse sowohl in der Punktebild- als auch in der Modulationsübertragungsfunktion erzielt werden. Darüber hinaus wird durch die Anordnung aller Lagerungs- und Justierelemente unterhalb der Spiegelkörper erreicht, daß im Bereich der wirksamen, geschlossenen Spiegelfläche keine störenden Infrarotstrahler vorhanden und damit keine störende Infrarotstrahlung erzeugt wird, so daß der erfindungsgemäße Primärspiegel auch die notwendige Infrarottauglichkeit aufweist.
Die einzelnen, aus vorgeformten Leichtgewichtsstrukturen gebildeten Spiegelkörper des Primärspiegels, die im wesentlichen hexagonale Form, aber auch eine mehreckige Form mit einem bogenförmigen Rand aufweisen, werden derart geschliffen und poliert, daß sich die Freiheitsgrade der Schleif- und Polierwerkzeuge der „off-axis-section"-Form eines zu erstellenden Primärspiegels anwenden lassen. Dies kann rechnergesteuert mittels Polarkoordinaten erfolgen, wobei die Werkzeugführung unmittelbar erfolgt. Somit kann eine Primärspiegel großen Durchmessers zu einem astronomischen Großspiegel ausgebildet werden, wobei die unmittelbar achsfern ausgeschliffenen und endpolierten Spiegelkörper nahezu lückenlos aneinandergesetzt sind. Auf den Unterseiten der Spiegelkörper befinden sich die Lagerungs- und Justierelemente, zu welchen selbstverständlich auch die Neigungssensoren gehören. Somit kann jeder Spiegelkörper separat zur Ausrichtung auf einen gemeinsamen Brennpunkt gesteuert werden. Dies erfolgt rechnerkontrolliert, wobei hochfein bemessene, erforderliche Toleranzen eingehalten werden könne. Die optisch nicht wirksamen Trennlinien zwischen den einzelnen Spiegelkörpern bleiben somit von jeglicher störender Wärmestrahlung frei und sind ohne jeden Einfluß auf die Bildqualität. Somit ist der erfindungsgemäße Primärspiegel absolut infrarottauglich und höchst meßempfindlich. Der Durchmesser ist theoretisch unbegrenzt erweiterbar.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung ist nachfolgend anhand eines in den Zeichnungen näher dargestellten Ausführungsbeispieles eines Primärspiegels für ein Spiegelteleskop näher erläutert. Es zeigen:

Fig.1 die Draufsicht auf den Primärspiegel mit zentraler Öffnung,
Fig.2 einen einzelnen hexagonalen Spiegelkörper des Primärspiegels in gegenüber Fig.1 vergrößerter perspektivischer Darstellung,
Fig.3 die Lagerungselemente eines Spiegelkörpers und
Fig.4 einen Querschnitt durch den Spiegelkörper im Bereich eines Lagerungselementes.

Der in Fig.1 in Draufsicht dargestellte Primärspiegel 20 für ein Spiegelteleskop besteht aus einer Vielzahl einzelner, vieleckiger Spiegelkörper 1 bis 11 und aus diesen zugeordneten Lagerungs- und Justierelementen 12. Der Außenrand des Primärspiegels 20 wird durch vieleckige Spiegelkörper 1 bis 6 unterschiedlicher Formen gebildet, deren Außenkanten den Kreisradius des Primärspiegels 20 aufweisen. Nach innen hin schließen sich zunächst weitere, unregelmäßig ausgeformte vieleckige Spiegelkörper 7, 8 an. Die wesentliche Fläche des Primärspiegels 1 wird durch eine Vielzahl hexagonaler Spiegelkörper 9 gebildet. Zu dem durch eine kreisrunde Öffnung 19 gebildeten Zentrum des Primärspiegels 20 hin sind wiederum eine Anzahl unterschiedlich ausgeformter, vieleckiger Spiegelkörper 10, 11 angeordnet, deren nach innen gerichteter Rand den Kreisradius der zentralen Öffnung 19 aufweist. Auf diese Weise wird die Spiegelfläche des Primärspiegels 20 durch die Vielzahl einzelner, hexagonaler Spiegelkörper 9 und durch radial an die Außenränder der hexagonalen Spiegelkörper 9 anschließenden Anschluß-Spiegelkörper 1 bis 8 zu einer Vollkreisfläche ausgebildet, wobei im Zentrum des Primärspiegels 20 um dessen zentrale Öffnung 19 herum weitere Anschluß-Spiegelkörper 10, 11 sich an die Innenränder der hexagonalen Spiegelkörper 9 anschließen.
Jeder Spiegelkörper 1 bis 11 und insbesondere jeder hexagonale Spiegelkörper 9 besteht aus einem massereduzierten vorgeformten Werkstoff aus einer Wabenstruktur (DE-PS 3018785). Werkstoffe sind insbesondere Quarz und Glaskeramik, welche eine Leichtbauweise des Primärspiegels ermöglichen. Die einzelnen Spiegelkörper 1 bis 11 bestehen wegen der großen Gesamtöffnungsweite des Primärspiegels 20 aus gewichtsreduzierten Materialien und bilden achsferne Ausschnitte eines Primärspiegels, die bereits so vorgeformt werden, daß diese über ein abschließendes Schleifverfahren nur noch endvergütet werden müssen. Das bedeutet, daß der Rohling eines jeden Spiegelkörpers 1 bis 11 bereits als Rohstruktur seine endgültige Form vor dem Schleifvorgang erhält und dann mittels eines Schleifverfahrens nur noch in Oberfläche und Form endverarbeitet wird. Dies kann in einem Schleifvorgang einzeln oder im Verbund geschehen. Auf der Unterseite weist jeder Spiegelkörper 1 bis 11 Paßbohrungen 21 auf, in welche die einzelnen Lagerungs- und Justierelemente 12 eingreifen.
Die Fig.3 zeigt die perspektivische Anordnung einer einzelnen hexagonalen Spiegellagerplattform 13 mit insgesamt sechs Lagerungs- und Justierelementen 12 auf einer Lagerplatte 16. Wie es Fig.4 zeigt, durchdringen die einzelnen Lagerungs- und Justierelemente 12 die Paßbohrungen 21 der Unterseiten der einzelnen Spiegelkörper 9, ohne jedoch dabei über deren Spiegelfläche hinauszuragen. Die doppelwandig ausgeführte Trägerplatte 16 ist mit Druckmittelzuführungen 14, 15 versehen, welche an Lage- und Justierzylinder 18 angeschlossen sind, in welchen Lagerungs- und Justierkolben 17 geführt sind, die einstückig mit den Lagerungs- und Justierelementen 12 verbunden sind. Auf diese Weise können die einzelnen Spiegelkörper 1 bis 11 im gesamten Primärspiegel 20 einjustiert werden.
Die Lagerungs- und Justierelemente eines jeden Spiegelkörpers 1 bis 11 sind gemäß seiner geometrischen Form derart ausgerichtet und angeordnet, daß der so abgestützte Spiegelkörper 1 bis 11 in jeder Lage des Primärspiegels mittels hydraulisch steuerbarer Auflagestützen in der für diesen notwendigen Weise exakt auf den Brennpunkt des Primärspiegels gehalten und mittels rechnerüberwachter Feinjustage-Elemente ständig nachgeregelt wird. Das bedeutet, daß für unterschiedliche Formen des vieleckigen Außenrandes der Spiegelkörper die Anordnung der Lagerungs- und Justier-Elemente unter Berücksichtigung der Festigkeit und des Gewichtes des jeweiligen Spiegelkörpers unterschiedlich gewählt ist.
In nicht dargestellter Weise kann auch im Zentrum des Primärspiegels ein im Durchmesser größerer, rotationssymmetrisch geschliffener, massenreduzierter Großspiegel angeordnet sein, an welchen sich lückenlos achsferne Flächenelemente anschließen, welche zu einer vollen Kreisfläche führen. Die achsferneren Flächenelemente sind dann dergestalt separat steuer- und justierbar angeordnet, daß diese den kreisrunden und in dieser Form optisch wirksamen Primärspiegel bilden.
In nicht näher dargestellter Weise befinden sich ferner die Verschiebungssensoren direkt in den einzelnen Hohlräumen der aus einer Wabenstruktur bestehenden Spiegelkörper, insbesondere aus Quarzglas, wodurch keine Nachteile für die Infrarottauglichkeit des Primärspiegels auftreten. Ein solcher Spiegelkörper aus Quarzglas in Leichtgewichtsbauweise ist aus einer Informationsschrift der Wissenschaftlichen Astronomischen Tagung in München vom 14. bis 18. September 1987 bekannt. Dabei wird die Deckplatte eines Spiegelkörpers durch sogenanntes Slumpen in die gewünschte geometrische Form vorgebogen und anschließend über ein Gerüst aus Quarzglas mit einer Grundplatte verbunden, z.B. durch Schweißen. Abschließend erfolgt das Schleifen und Polieren der Oberflächen des Spiegelkörpers in die endgültige Form. Dies kann durch Einzelschliff oder durch Verbundschleifen mehrerer, in der Oberflächenform gleich auszubildender Spiegelkörper erfolgen, die dann gemeinsam bearbeitet werden.

Fig. 1

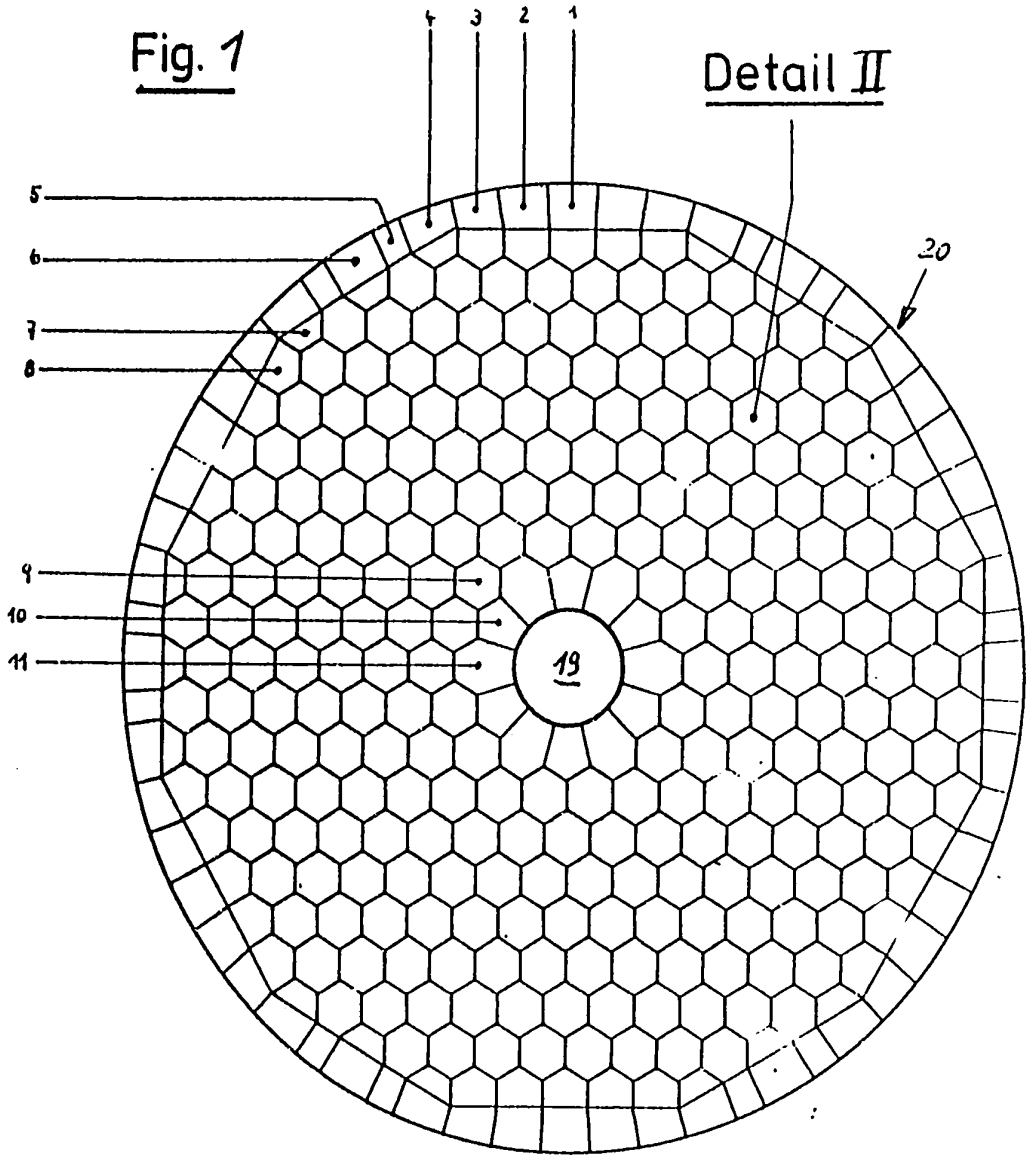


Fig.2

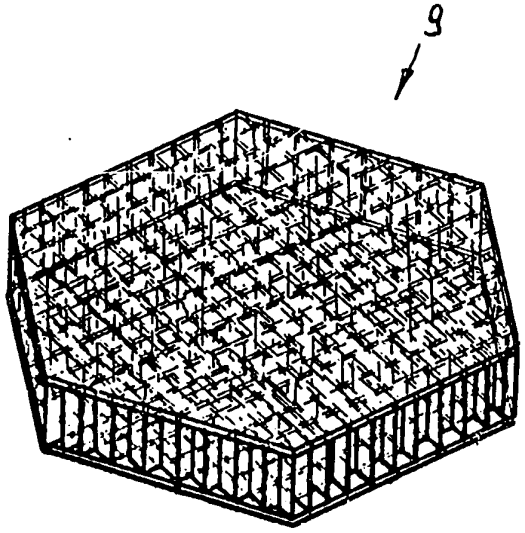


Fig. 3

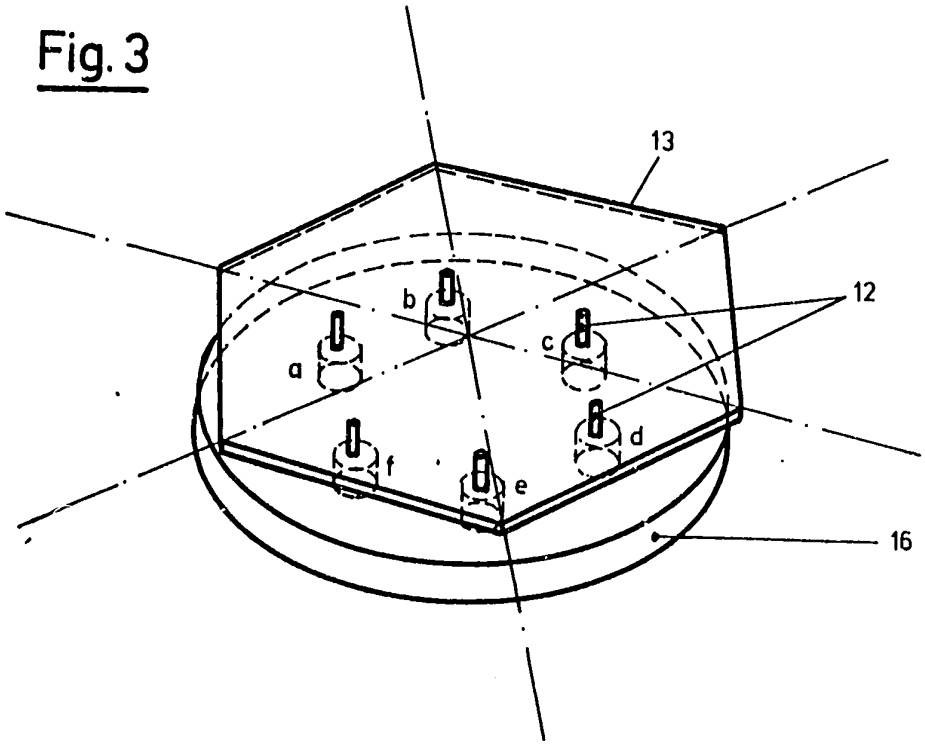


Fig. 4

