



(10) **DE 10 2008 039 042 B4** 2011.04.14

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 039 042.9**
 (22) Anmeldetag: **21.08.2008**
 (43) Offenlegungstag: **04.03.2010**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **14.04.2011**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 5/08 (2006.01)**

Innerhalb von drei 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:
SCHOTT AG, 55122 Mainz, DE

(74) Vertreter:
Blumbach Zinngrebe, 65187 Wiesbaden

(72) Erfinder:
Schäfer, Martin, 55246 Mainz-Kostheim, DE;
Seibert, Volker, 65239 Hochheim, DE; Döhring,
Thorsten, 55129 Mainz, DE; Westerhoff, Thomas,
55128 Mainz, DE; Nowak, Hans-Joachim, 55543
Bad Kreuznach, DE

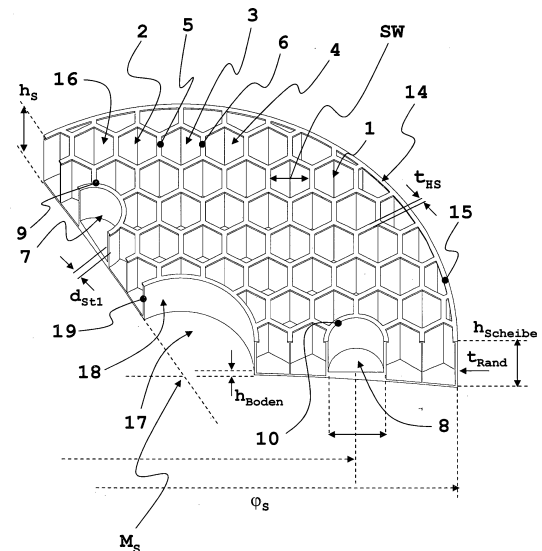
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 2005/00 13 985 A1
US 55 05 805 A
US 50 76 700 A

BARNES, W.P: Hexagonal vs Triangular Core
Lightweight Mirror Structures. In: Appl. Opt., Vol.
11, No. 12, 1972, S. 2748-2751

(54) Bezeichnung: **Substrat für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht sowie Spiegel mit gewichtsreduziertem Spiegelträger**

(57) Hauptanspruch: Substrat (1, 1') für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht, bei welchem in einer Oberfläche des Substrats (1) Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') und Taschen (7, 8, 7', 8') zur Aufnahme von Halterungen eingebracht sind, durch welche Stege (5, 6, 9, 10, 5', 6', 9', 10') zwischen den Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') und den Taschen (7, 8, 7', 8') definiert sind, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein erster Teil der Stege (5, 6, 5', 6'), welche die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') definieren, eine andere Breite als ein zweiter Teil der Stege (9, 10, 9', 10'), welche die Taschen (7, 8, 7', 8') definieren, aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Substrate für Spiegelträger mit reduziertem Gewicht sowie Spiegel mit gewichtsreduzierten Spiegelträgern.

[0002] Substrate für Spiegelträger mit reduziertem Gewicht sowie Spiegel mit gewichtsreduzierten Spiegelträgern werden häufig in extraterrestrischen Anwendungen, wie beispielsweise in der Raumfahrt eingesetzt, um von erdfernen Beobachtungspunkten aus frei von atmosphärischen Speckle-Verzerrungen und -Verzeichnungen zu sein sowie um die stetig zunehmende Lichtverschmutzung, welche als Hintergrundlichtquelle bei der terrestrischen Astronomie kontrastreduzierenden Einfluß auf die Beobachtungsergebnisse hat, zu umgehen.

[0003] Auch bei der terrestrischen Astronomie ist es vorteilhaft, Systeme mit geringer Masse zur Verfügung zu haben, da beispielsweise bei Verstellung der Spiegel oder bei Verfolgung sich bewegender Objekte, wie bei der Beobachtung stellarer Körper auf deren Bahnen, Stell- und Nachstellkräfte mit dem reduzierten Gewicht der bewegten Masse abnehmen.

[0004] Neben dem reduzierten Gewicht kommt jedoch der Steifigkeit des Spiegelträgers bzw. dessen Durchbiegung wegen des an diesem angebrachten Spiegels maßgebliche Bedeutung zu.

[0005] Mag zunächst die reine Gewichtsreduktion durch Masseabtrag als einfache und naheliegende Maßnahme erscheinen, wird jedoch sofort klar, dass mit Blick auf die Festigkeit und Steifigkeit sehr hohe Anforderungen an die nach dem Masseabtrag verbleibende Struktur gestellt werden.

[0006] Erreicht man Bereiche unter der Hälfte des ursprünglichen Gewichts, ja sogar Bereiche unterhalb von zwei Dritteln des Ausgangsgewichts stellen sich anspruchsvolle Herausforderungen bei der Bearbeitung des Substrats des Spiegelträgers. Diese Situation wird insbesondere dann noch verschärft, wenn dabei Materialien wie Gläser oder Glaskeramiken mit hoher Präzision zu fertigen sind.

[0007] Verschiedene Versuche wurden unternommen, Spiegelträger mit reduzierter Masse und noch brauchbarer Steifigkeit zu erhalten.

[0008] So beschreibt die US 2005/0 013 985 A1 einen thermisch stabilen Verbundkörper mit einer graduellen Zusammensetzung. Diese wird gebildet durch einen porösen Kern, der aus einem feuerfesten Material gemacht ist. Dieser Kern befindet sich zwischen zwei Zwischenschichten, die eine Carbonfaser-Verstärkung aufweisen und verdichtet sind durch eine Matrix, die zusammengestellt ist aus einer Kohlenstoff-Phase und aus einer keramischen Phase und

aus einem feuerfesten „Festkörperfüller“. Zwei monolithische keramische „Schalen“ bedecken die Zwischenschichten, um der gesamten Struktur eine ausreichende Steifigkeit zu verleihen. Die Struktur kann Kavitäten beinhalten, wobei die Wände der Kavitäten (als „Stiffener“) zur Versteifung dienen.

[0009] Die US 5 076 700 A zeigt einen Spiegel mit leichtem Gewicht. Der Kern und eine rückseitige Platte des Spiegels sind aus einem einzigen Stück Glas hergestellt. Der Kern erlangt das leichte Gewicht durch das Einbringen einer Vielzahl an „Taschen“ in dem Kern. Das Einbringen erfolgt von der Frontseite des Kerns bis zu einer rückseitigen Platte mittels eines spanabhebenden Verfahrens. Eine Vielzahl an Wänden verbleibt zwischen den Taschen. Diese verleihen dem Kern die erforderliche Festigkeit. Sie unterstützen das Tragen einer Frontplatte, auf der eine reflektierende Oberfläche gebildet ist. Weiterhin sind sogenannte Befestigungslöcher vorgesehen. Diese werden mittels Bohrens von der Rückseite durch die rückseitige Platte eingebracht.

[0010] In der US 5 505 805 A ist ein Verfahren zur Herstellung eines Reflektors beschrieben. Unter anderem ist ein Substrat mit Honigwaben-artigen beschrieben. In dem in **Fig. 8a** dargestellten Substrat sind auch Befestigungsaussparungen vorgesehen. Ein weiteres Substrat mit unterschiedlich großen Aussparungen ist in der **Fig. 6b** beschrieben. Als materialabtragende Verfahren zum Einbringen der Aussparungen sind unter anderem Schleifen, Fräsen oder Drehen genannt.

[0011] In dem Fachartikel „Hexagonal vs. Triangular Core Lightweight Mirror Structures“ von W. P. BARNES in Appl. Opt., Vol. 11, No. 12, 1972, S. 2748–2751 sind Spiegel leichten Gewichts mit einer hexagonalen Kernstruktur (siehe **Fig. 1**) und einer dreieckigen Kernstruktur (siehe **Fig. 2**) beschrieben.

[0012] Es wurde die Struktur eines Spiegelträgers mit reduziertem Gewicht erzeugt, bei der Kugeln mit Platten gefügt wurden, um hierdurch eine geschlossene steife Struktur zu erhalten. Nachteilig ist dieser Lösung jedoch, dass derartige Kugeln in der Regel ein anderes thermisches Ausdehnungsverhalten als die Grundstruktur des Spiegelträgers aufweisen und folglich bei Temperaturwechseln, welche bei vielen Anwendungsfällen unumgebar sind, zusätzliche Deformationen auftreten können. Weiterhin ist eine hohe Formgenauigkeit durch den dort verwendeten Heißformgebungsprozess nicht definiert zu erreichen.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Substrat, insbesondere für einen Spiegelträger, bereitzustellen, bei welchem trotz reduzierten Gewichts noch hohe Steifigkeit, dies bedeutet eine geringe Durchbiegung nach dessen korrekter Aufnah-

me in einer diesem zugeordneten Halterung, verbleibt.

[0014] Diese Aufgabe wird auf überraschend einfache Weise mit einem Substrat, insbesondere für einen Spiegelträger, mit reduziertem Gewicht, gelöst, bei welchem in einer Oberfläche, vorzugsweise in der Rückseite des Substrats, Ausnehmungen eingebracht sind, durch welche insbesondere Stege zwischen den Ausnehmungen definiert sind, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein erster Teil der Stege eine andere Breite als ein zweiter Teil der Stege aufweist.

[0015] Die Definition eines Substrats mit reduziertem Gewicht umfasst für die Zwecke dieser Beschreibung der Erfindung eine durch Materialabtrag, der insbesondere in den Ausnehmungen des Substrats vorgenommenen wurde, gegenüber einer Ausführungsform mit Vollmaterial leichtere Bauform des Substrats.

[0016] Das Material ohne Materialabtrag, somit das Vollmaterial umfasst im Wesentlichen dabei zylindrische, elliptische, rechteckige, hexagonale und/oder achteckige, vorzugsweise scheiben- oder säulenförmige Bauformen des Substrats.

[0017] Amtlicherseits wird durch das Bundesausführamt der Bundesrepublik Deutschland die prozentuale Gewichtsreduktion bezogen auf eine Scheibe definiert, bei welcher beispielsweise auch der Einfluss einer konvexen Oberfläche Eingang in die prozentuale Gewichtsreduktion findet, welches ebenfalls im Einklang mit der vorstehenden Definition der Gewichtsreduktion steht.

[0018] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist zumindest ein Teil der Stege eine sich ändernde Breite entlang von deren Längserstreckung auf und kann mit dieser variablen Breite sehr effektiv auf lokale Festigkeitsanforderungen, wie in der Nähe der Aufnahmen für eine dem Substrat zugeordnete Halterung oder auch in der Nähe von Randbereichen des Substrats, eingegangen werden.

[0019] Sehr vorteilhaft ist es, wenn die Ausnehmungen sechseck- oder dreieckförmige Taschen definieren, da hierdurch sehr hohe Festigkeiten bzw. Steifigkeiten bereitgestellt werden können.

[0020] Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist ein Hauptteil der Ausnehmungen im Wesentlichen durch wabenförmige Taschen definiert. Der Hauptteil der Ausnehmungen umfasst dabei jedoch nicht alle an den Rand des Substrats und nicht alle an die Tragstrukturen angrenzenden Ausnehmungen, da diese durch vorgegebene geometrische Strukturen an diesen Orten in deren Regularität beeinträchtigt sind.

[0021] Mit den vorstehend beschriebenen Maßnahmen sowie insbesondere auch den an späterer Stelle beschriebenen Bearbeitungsschritten wurde es in überraschender Weise ermöglicht, dass die Gewichtsreduktion des Substrats mehr als 85%, vorzugsweise mehr als 88% gegenüber dem Vollmaterial betrug und dennoch nur eine sehr geringe Durchbiegung des Substrats auftrat.

[0022] Von großem Vorteil war es dabei für Gläser und Glaskeramiken, wenn ein Flusssäure enthaltendes Ätzmittel zur Ausbildung der Taschen, zumindest in einem der letzten Bearbeitungsschritte verwendet wurde, welches vorzugsweise mehr als 10 Vol% der Flusssäure enthielt. Hierdurch wurden besonders bruchfeste Oberflächen der Stege und somit des Substrats bereitgestellt.

[0023] Generell war es jedoch bei Gläsern und Glaskeramiken von Vorteil, wenn die Ausnehmungen zumindest zu einem Teil durch einen chemischen Abtragsvorgang, insbesondere durch Ätzen mit Flusssäure-haltigen Ätzmitteln, hergestellt wurden, da hierbei auch die Abtragsrate sehr genau einstellbar war.

[0024] Ferner konnten die Ausnehmungen zumindest zu einem Teil vorteilhaft auch durch Schleifen mit gebundenem Korn und Ätzen oder Lappen mit loser Korn und Ätzen hergestellt werden.

[0025] Bei einer bevorzugten Ausführungsform beträgt bei einer Höhe der Stege von etwa 90 mm und bei einem Durchmesser des Substrats von etwa 700 mm die Breite der Stege weniger oder gleich 2,5 mm, bevorzugt sogar von weniger als 2 mm.

[0026] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beträgt die Breite der Stege bei einer Höhe der Stege von 140 bis 150 mm und bei einem Durchmesser des Substrats von etwa 1200 mm weniger oder gleich 2,5 mm, bevorzugt sogar von weniger als 2 mm.

[0027] Eine überraschend geringe Durchbiegung der Einzeltasche war zu beobachten, wenn bei hexagonalen bzw. wabenförmigen Ausnehmungen zumindest eine Tasche, vorzugsweise jedoch mehrere Taschen eine Schlüsselweite von 70 bis 120 mm, bevorzugt von 80 bis 110 mm und am bevorzugtesten von etwa 95 mm definiert oder definieren.

[0028] Bei dreieckförmigen Ausnehmungen war ein ähnlich überraschend gutes Verhalten zu beobachten, wenn zumindest eine einzelne Tasche, vorzugsweise jedoch mehrere Taschen eine Seitenlänge von 70 bis 210 mm, bevorzugt von 120 bis 180 mm und am bevorzugtesten von etwa 140 mm definiert oder definieren.

[0029] Diese verminderte Durchbiegung der jeweiligen Einzeltasche optimiert das Polierverhalten, zumindest im Bereich dieser Einzeltasche, da hier unter mechanischer Belastung oder Gravitation eine geringere Abweichung von der Spiegelsollform eintritt. Typische Spiegelplattendicken von 6 bis 8 mm ergeben dann immer noch überraschend geringe Durchbiegungen von nur bis zu etwa 12 nm. Bei dreieckigen Taschen ergeben sich ähnliche überraschend gute Verhältnisse, bei welcher bei einer Spiegelplattendicke von 6 bis 8 mm, die Durchbiegung der Einzeltasche ebenfalls unter ca. 12 nm bleibt.

[0030] Eine weitere gravierende Verbesserung der mechanischen Eigenschaften ergibt sich, wenn die Stege Hinterformungen aufweisen, insbesondere Hinterschliffe, welche zumindest teilweise einen T-förmigen Querschnitt definieren.

[0031] Vorteilhaft ist es auch, wenn die Materialstärke hinter der für die spiegelnde Oberfläche des Spiegels vorgesehenen Oberfläche in den Bereichen zwischen den Stegen im wesentlichen konstant ist, da hierbei bei minimalem Gewicht die noch nötige Festigkeit auch in der flächigen Erstreckung des Substrats bereitgestellt werden kann. Im Wesentlichen konstant bedeutet hierbei eine Abweichung in der Materialstärke von weniger als $\pm 20\%$ an Material.

[0032] An und im Bereich der mechanischen Halterung des Substrats ist die Materialstärke jedoch vorzugsweise größer, um die auftretenden Kräfte im Wesentlichen verbiegungsfrei aufnehmen zu können.

[0033] Zwischen den Stegen kann jedoch der Boden in alternativer Ausgestaltung auch eine paraboloidale Form aufweisen.

[0034] Wenn die Rückseite des Substrats im Wesentlichen eben ausgebildet ist, hat eine derartige Ausgestaltung Vorteile, da diese als Auflage während der späteren Politur dienen kann und die Auflage keine zusätzlichen Biegemomente einträgt, welche die spätere Form des Spiegels nachteilig beeinflussen könnten.

[0035] Wenn der äußerer Rand des Substrats im Wesentlichen geschlossen ausgebildet ist, trägt dieses ebenfalls zu dessen Festigkeit maßgeblich bei. Vorteilhaft ist es, wenn dessen äußerer Rand dabei durch einen umlaufenden Steg gebildet ist.

[0036] Vorzugsweise beträgt die Breite des umlaufenden, den Rand definierenden Stegs etwa 3 bis 8 mm und dessen Höhe bei einer ersten Ausführungsform mit etwa 700 mm Durchmesser etwa 70 bis 120 mm und beträgt dessen Höhe bei einer zweiten Ausführungsform mit etwa 1200 mm Durchmesser etwa 120 bis 180 mm.

[0037] Bevorzugt lag das Verhältnis der Dicke zum Durchmesser des Substrats im Bereich von 1:3 bis 1:10, bevorzugt im Bereich 1:5 bis 1:8 liegt und am bevorzugtesten bei etwa $1:6 \pm 15\%$.

[0038] Mit den vorstehend bezeichneten Bearbeitungsschritten und den erläuterten Merkmalen des Substrats wurde erreicht, dass das Substrat und somit auch der spätere an diesem angebrachte Spiegel unter dessen Eigengewicht eine maximale Durchbiegung von nur etwa 0,5 bis 3 μm aufweist.

[0039] Dabei war das Substrat mit dessen größter, bzw. Hauptoberfläche in etwa waagrecht, somit parallel zum Boden an drei Punkten gelagert, die ein Drittel $\pm 15\%$ vom Rand und somit etwa auf $2/3$ des Radius bzw. hälftigen Durchmessers des Substrats angebracht waren.

[0040] Besondere Vorteile für die mechanischen Eigenschaften ergeben sich, wenn das Substrat, insbesondere auch für extraterrestrische Anwendungen, aus einem einzigen, monolithischen Materialblock hergestellt ist.

[0041] Gravierende Vorteile ergeben sich ferner, wenn das Substrat ein Material mit geringer thermischer Ausdehnung umfasst oder sogar aus diesem besteht. Vorzugsweise liegt bei diesem Material der thermische Ausdehnungskoeffizient bei Raumtemperatur und insbesondere in einem Temperaturbereich von 0 bis 50° Celsius bei weniger als $4 \text{ mal } 10^{-6}$ pro Kelvin, wie dies beispielsweise bei Borosilikatgläsern der Fall ist.

[0042] Bei einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform war der thermische Ausdehnungskoeffizient bei Raumtemperatur und insbesondere in einem Temperaturbereich von 0 bis 50° Celsius kleiner als $1 \text{ mal } 10^{-6}$ pro Kelvin, wie dies beispielsweise bei Quarzgläsern der Fall ist.

[0043] Am bevorzugtesten war der thermische Ausdehnungskoeffizient bei Raumtemperatur und insbesondere in einem Temperaturbereich von 0 bis 50° Celsius kleiner als $0,1 \text{ mal } 10^{-6}$ pro Kelvin und wurden Glaskeramiken als Substratmaterial verwendet. Bevorzugte Glaskeramiken umfassen allgemein Li-Al-Si-Glaskeramiken, wobei als besonders bevorzugte Glaskeramik mit besonders geringer thermischer Ausdehnung bei Raumtemperatur die von der Schott AG, Mainz, unter der Bezeichnung Zerodur vertriebene Li-Al-Si-Glaskeramik verwendet wurde.

[0044] Für die nachfolgende Beschreibung der Eigenschaften des Spiegelträgers mit daran angebrachtem Spiegel kann die Definition "spiegelnde Oberfläche" oder "Spiegel" die Aufbringung eines spiegelnden Materials wie eines Metall oder mehrere Metalle oder Legierungen oder kann auch alterna-

tiv oder zusätzlich die Aufbringung eines Interferenzsystems umfassen, welches nur in einem oder für einen Teil des elektromagnetischen Spektrums reflektierend wirkt.

[0045] Bei einer ersten Ausführungsform des Spiegels ist zumindest an einem Teil einer Oberfläche des Substrats eine metallisch spiegelnde Schicht angebracht.

[0046] Bei einer zweiten Ausführungsform des Spiegels ist alternativ oder zusätzlich zur ersten Ausführungsform zumindest an einem Teil einer Oberfläche des Substrats eine dielektrische, spiegelnde Schicht oder ein spiegelndes dielektrisches Mehrschichtsystem angebracht.

[0047] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche nicht eben, sondern insbesondere sphärisch oder asphärisch geformt und kann dabei zumindest in einem weiteren oder dem gleichen Teil von dessen spiegelnder Oberfläche nicht eben, insbesondere konvex oder konkav geformt sein.

[0048] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann zumindest ein Teil von dessen Oberfläche nicht eben sondern insbesondere auch frei geformt sein.

[0049] In zusätzlicher oder auch alternativer Ausgestaltung kann insbesondere auch dessen spiegelnde Oberfläche eine diffraktive Oberflächenstruktur umfassen.

[0050] Diese diffraktive Struktur kann eine Gitterstruktur und dabei auch eine holographische Struktur, insbesondere eine definiert Phasenfront-schiebende Struktur, umfassen.

[0051] Diese diffraktive Struktur kann beispielsweise durch lithographische Ätzvorgänge nach dem Schleifen und/oder dem Polieren hergestellt sein.

[0052] Es liegt ferner im Rahmen der Erfindung, wenn zumindest ein Teil von der Oberfläche des Substrats, insbesondere ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche, eine Fresnelstruktur umfasst.

[0053] Das Substrat kann an dessen die spiegelnde Schicht aufnehmenden Oberfläche vollflächig geschlossen sein, wodurch erhebliche mechanische Festigkeit bereitgestellt wird.

[0054] Alternativ kann das Substrat an dessen die spiegelnde Schicht aufnehmenden Oberfläche aber auch eine, vorzugsweise zentrale, Öffnung aufweisen.

[0055] Zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit kann diese vorzugsweise zentrale Öffnung einen in-

neren Rand aufweisen, der dann im Wesentlichen geschlossen ausgebildet ist. Vorteilhaft ist dabei der innere Rand durch einen umlaufenden Steg gebildet, dessen Breite bevorzugt etwa 3 bis 8 mm beträgt und dessen Höhe etwa 10 bis 50, vorzugsweise 20 bis 40 und am bevorzugtesten etwa 30 mm beträgt.

[0056] Durch die hohe mechanische Festigkeit, sowie deren Eignung für rauen Einsatz sind Ausführungsformen mit Substraten aus Glaskeramik auch für extraterrestrische Anwendungen, wie beispielsweise im Bereich der Raumfahrt und/oder extraterrestrischen Astronomie sehr gut geeignet. Insbesondere Änderungen von Beschleunigungskräften, wie diese etwa beim Start eines Raumfahrzeugs auftreten und ruckartige Belastungen ausüben, welche insbesondere auch zur Anregung von Schwingungen, wie beispielsweise Biegeschwingungen und dabei auch Eigenresonanzschwingungen führen, können von derartigen Bauformen sehr gut verkraftet werden.

[0057] Die erfindungsgemäßen Spiegel eignen sich aber auch hervorragend für terrestrische Anwendungen, insbesondere im Bereich der terrestrischen Astronomie, da deren geringes Gewicht Erleichterungen bei der Konstruktion von deren mechanischen Halterungen sowie reduzierte Kräfte bei deren Verstellung mit sich bringt.

[0058] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigezeichneten Zeichnungen detaillierter beschrieben.

[0059] Es zeigen:

[0060] [Fig. 1](#) eine teilweise aufgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Substrats für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht mit hexagonalen, Taschen definierenden Ausnehmungen, von dessen Unterseite her in schräger Aufsicht,

[0061] [Fig. 2](#) die bei dem in [Fig. 1](#) gezeigten Substrat eintretenden Durchbiegungen unter dessen Eigengewicht, wenn dieses an drei Halterungen aufgenommen ist, welche etwa bei zwei Dritteln des Radius oder hälftigen Durchmessers des Substrats mit dem Substrat in Kontakt treten, zum einen von dessen Oberseite und Unterseite her in schräger Aufsicht jeweils auf eine teilweise aufgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht sowie in einer Aufsichtsansicht der Oberseite,

[0062] [Fig. 3](#) eine einzelne hexagonale Tasche des in [Fig. 1](#) gezeigten Substrats in einer teilweise aufgeschnitten dargestellten Querschnittsansicht schräg von der Seite her,

[0063] **Fig. 4** die Durchbiegung der Spiegelplatte im Bereich der in **Fig. 3** gezeigten Einzeltasche in einer teilweise aufgeschnitten dargestellten Querschnittsansicht schräg von der Seite her,

[0064] **Fig. 5** eine teilweise aufgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Substrats für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht mit dreieckförmigen, Taschen definierenden Ausnehmungen, von dessen Unterseite her in schräger Aufsicht,

[0065] **Fig. 6** die bei dem in **Fig. 5** gezeigten Substrat eintretenden Durchbiegungen unter dessen Eigengewicht, wenn dieses an drei Halterungen aufgenommen ist, die etwa bei zwei Dritteln des Radius bzw. hälftigen Durchmessers des Substrats mit dem Substrat in Kontakt treten, zum einen von dessen Oberseite und Unterseite her in schräger Aufsicht jeweils auf eine teilweise aufgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht sowie in einer Aufsichtsansicht der Oberseite,

[0066] **Fig. 7** die Durchbiegung der Spiegelplatte im Bereich einer dreieckförmigen Einzeltasche des Substrats der zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform in einer teilweise aufgeschnitten dargestellten Querschnittsansicht schräg von der Seite her,

[0067] **Fig. 8** Bearbeitungsschritte an einem Substrat für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht, bei welchem in der Rückseite des Substrats Ausnehmungen erzeugt werden, welche zwischen den Taschen Stege definieren, die Hinterformungen in Form von Hinterschliffen aufweisen, welche zumindest teilweise einen T-förmigen Querschnitt definieren.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0068] Bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung wird Bezug auf die Zeichnungen genommen, welche um der Klarheit willen jedoch nicht maßstabsgerecht dargestellt sind.

[0069] Zunächst wird auf **Fig. 1** Bezug genommen, welche eine teilweise aufgeschnittene Querschnittsansicht einer ersten Ausführungsform eines im Ganzen mit dem Bezugszeichen **1** versehenen Substrats für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht zeigt.

[0070] Bei dieser Ausführungsform ist das Substrat **1** aus einer einzigen Scheibe aus Vollmaterial hergestellt, welches einstückig somit monolithisch in Form einer im Wesentlichen runden Scheibe vorlag.

[0071] Bei den bevorzugten Ausführungsformen dieser Erfindung wird das Substrat **1** zu keinem Zeitpunkt in verschiedene Stücke vereinzelt sondern soll

auch während der einzelnen Bearbeitungsschritte stets einstückig verbleiben.

[0072] Das in **Fig. 1** von der Unterseite her dargestellte Substrat **1** weist an dessen Rückseite eine Vielzahl von Ausnehmungen **2, 3, 4** auf, welche hexagonale beziehungsweise wabenförmige Taschen definieren.

[0073] Zwischen diesen Taschen **2, 3, 4** sind Stege **5, 6** ausgebildet, durch welche die Taschen **2, 3** und **4** jeweils voneinander getrennt sind.

[0074] Neben den hexagonalen Taschen **2, 3, 4** sind in der Rückseite des Substrats **1** ferner auch Taschen **7, 8** mit im Wesentlichen kreisförmigem Querschnitt eingebracht, die zur Aufnahme von zugeordneten Halterungen vorgesehen sind, an welchen der durch das Substrat **1** definierte Spiegelträger für den späteren Gebrauch anzubringen ist.

[0075] Die Ausnehmungen **7, 8** werden von Stegen **9, 10** mit im Wesentlichen zylindermantelförmiger Gestalt umgeben, welche eine Breite d_{st1} von etwa 3 bis 6 mm aufweisen. Auch die von den zylindermantelförmigen Stegen, im Wesentlichen sternförmig abgehenden Stege weisen eine Breite von etwa 3 bis 6 mm auf. Diese Breite von etwa 3 bis 6 mm weisen die sternförmig abgehenden Stege zumindest von den zylindermantelförmigen Stegen bis zum Ende der ersten taschenförmigen Ausnehmung auf.

[0076] Im Gegensatz zu dieser Breitenabmessung weisen die zwischen den wabenförmigen Taschen **2, 3** und **4** definierten Stege **5** und **6** eine Breite t_{HS} von weniger oder gleich 2,5 mm bevorzugt weniger oder gleich 2 mm auf. Diese Abmessungen werden vorteilhaft bei Substraten mit einer Höhe der Stege h_S von etwa 90 mm und einem gesamten Durchmesser des Substrats von etwa 700 mm eingesetzt.

[0077] Somit werden bei dem erfindungsgemäßen Substrat **1** für einen Spiegelträger Stege mit verschiedener Breite verwendet, nämlich bei einem ersten Teil der Stege, welche die wabenförmigen Taschen **2, 3, 4** definieren einer anderen Breite als bei den die zylindrischen Ausnehmungen **7, 8** definierenden Stegen **9, 10**.

[0078] Hierdurch können Festigkeitsanforderungen bei einem gegenüber dem Vollmaterial erheblich verringertem Gewicht erfüllt werden, die bei Verwendung von Stegen mit einer über das Substrat **1** konstanten Breite nicht erreichbar wären.

[0079] Insgesamt ist es möglich, gegenüber einer Scheibe aus Vollmaterial mit etwa 700 mm Durchmesser im Wesentlichen der Höhe $h_{Scheibe}$ von 90 bis 120 mm und einer verbleibenden Spiegelträgerplattendicke h_{Boden} von etwa 4 bis 6 mm, bevorzugt 5 mm,

eine Gewichtsreduktion von mehr als 85 Prozent zu erreichen.

[0080] Es wurden im Einzelfall bei größeren Durchmessern, beispielsweise 1200 mm, Gewichtsreduktionen von mehr als 88 Prozent von bis zu 88,5 Prozent gegenüber dem Vollmaterial erreicht. Zur Definition der Gewichtsreduktion wird auf den einleitenden Teil der Beschreibung verwiesen.

[0081] Es liegt ferner im Rahmen der Erfindung, Stege auch mit einer sich entlang von deren Längserstreckung ändernden Breite zu versehen.

[0082] Bevorzugt können diejenigen Stege, welche sich von den zylindermantelförmigen Stegen **9**, **10** sternförmig weg erstrecken, eine sich entlang von deren Längserstreckung ändernde Breite aufweisen, um auf diese Weise den jeweiligen lokalen Anforderungen an die Stabilität besser gerecht zu werden.

[0083] Beispielsweise können die zylindermantelförmigen Stege **9**, **10** zu denjenigen Kontaktpunkten hin, an welchen sich die Stege der angrenzenden hexagonalen Taschen mit diesen treffen, breiter ausgebildet sein und können auch die Stege dieser hexagonalen Taschen im Bereich dieser Kontaktpunkte breiter sein, um hierdurch beispielsweise Haltekräfte besser in das Substrat **1** einleiten zu können.

[0084] Bei einer weiteren Ausführungsform, welche von der Form her im Wesentlichen der in **Fig. 1** dargestellten entspricht, betrug der Durchmesser φ_s des Substrates etwa 1200 mm und die Höhe der Stege **5**, **6** sowie **9**, **10** und weiterer Stege h_s etwa 140 bis 150 mm. Auch bei dieser Ausführungsform betrug die Breite der jeweiligen Stege der wabenförmigen Taschen weniger oder gleich 2,5 mm, bevorzugt weniger oder gleich 2 mm und betrug die Breite der zylindermantelförmigen Stege **9**, **10** und der von diesen sternförmig ausgehenden Stege etwa 3 bis 5 mm.

[0085] Die jeweiligen Taschen, welche beim Hauptteil der Ausnehmungen wabenförmig gestaltet waren, wiesen eine Schlüsselweite SW von 70 bis 120 mm, bevorzugt von 80 bis 110 mm und am meisten bevorzugt von etwa 95 mm auf.

[0086] Zum besseren Verständnis der Definition der Schlüsselweite wird auf **Fig. 3** verwiesen, welche die einzelne hexagonale Tasche, des in **Fig. 1** dargestellten Substrates **1** mit dem Bezugszeichen **3** in einer teilweise aufgeschnittenen Querschnittsansicht schräg von der Seite her zeigt.

[0087] Da jeder wabenförmigen Tasche **2**, **3** und **4** ein eigener Anteil an den Stegen **5** und **6** zugeordnet ist, wird folglich jeder einzelnen taschenförmigen Ausnehmung jeweils nur die Hälfte der Breite der Stege **5**, **6** zugeordnet, so dass die Waben **2**, **3** und **4**

nebeneinander angeordnet, jeweils erst dann die gesamte Breite der Stege **5** und **6** definieren.

[0088] Folglich ist bei der Definition der Größe der Schlüsselweite SW jeweils nur die Hälfte der Breite der Stege **5**, **6** für die einzelne wabenförmige Tasche **3** zugrunde zu legen.

[0089] Der Darstellung in **Fig. 3** sind ebenfalls die am offenen rückseitigen Ende der Tasche **3** angeordneten Hinterschliffe **11**, **12** gut zu entnehmen, welche mit einem, wenn die wabenförmigen Taschen **2**, **3** und **4** nebeneinander angeordnet sind, im Wesentlichen T-förmigen Querschnitt erheblich zur Stabilität des aus dem Substrates **1** angefertigten Spiegelträgers beitragen.

[0090] **Fig. 3** ist auch sehr gut zu entnehmen, dass die Materialstärke hinter der für die spiegelnden Oberfläche des Spiegels vorgesehene Oberfläche **13**, somit die Spiegeltägerplattendicke oder auch Spiegelplattendicke (h_{Bod}) zumindest in den Bereichen zwischen den Stegen **5** und **6** im Wesentlichen konstant ist.

[0091] In alternativer Ausgestaltung kann dieser Bereich der Spiegelträgerplatte **13** zwischen den Stegen jedoch auch einen paraboloiden Dickenverlauf oder eine Verdickung zu den jeweiligen Stegen hin aufweisen, um Kräfte noch besser in die jeweiligen Stege einzuleiten.

[0092] Der äußere Rand **14** ist im Wesentlichen zylindermantelförmig geschlossen ausgebildet und durch einen umlaufenden Steg **15** gebildet.

[0093] Die Breite des den Rand **14** definierenden umlaufenden Stegs **15** beträgt bei einer ersten Ausführungsform mit einem Durchmesser φ_s von etwa 700 mm ca. 3 bis 8 mm, wobei die Höhe dieses Randes h_s dann bei etwa 70 bis 120 mm liegt.

[0094] Die Höhe dieses Randes h_s ergibt zusammen mit der Spiegelplattendicke h_{Bod} die Dicke des scheibenförmigen, einstückigen Spiegelträgers h_{Scheibe} soweit dieser eine plane oder konkave bzw. teilkonkave Spiegelträgerplatte **13** aufweist.

[0095] Bei der größeren Version dieser Ausführungsform mit etwa 1200 mm Durchmesser φ_s beträgt die Höhe des umlaufenden Randes **15** etwa 120 bis 180 mm und die Breite des den Rand **14** definierenden Stegs ebenfalls etwa 3 bis 8 mm.

[0096] Das Verhältnis der Dicke des scheibenförmigen Spiegelträgers **1** h_{Scheibe} zum Durchmesser des Substrates **1** φ_s liegt im Bereich von 1 zu 3 bis 1 zu 10, bevorzugt im Bereich von 1 zu 5 bis 1 zu 8.

[0097] Am bevorzugtesten liegt das Verhältnis der Dicke h_{Scheibe} zum Durchmesser des Substrates φ_S etwa im Bereich von 1 zu 6, mit einer Abweichung von bis zu $\pm 15\%$ und liefert überraschend hohe Werte der Steifigkeit beziehungsweise äußerst geringe Durchbiegungen des Substrates **1** unter dessen Eigengewicht.

[0098] Wurde der in **Fig. 1** dargestellte Spiegelträger an den zugeordneten, jedoch in den Figuren nicht dargestellten Halterungen aufgenommen, welche in die Ausnehmungen **7**, **8** mit kreisförmigen Querschnitt eingriffen, so ergab sich eine Durchbiegung des Substrates unter dessen Eigengewicht von maximal in etwa nur 1 bis 3 μm .

[0099] Die Ausnehmungen **7**, **8** sind in etwa zu einem Drittel des Substratradius zum Rand **14** beabstandet und zu zwei Drittel des Radius vom Mittelpunkt M_S des Substrates beabstandet angeordnet.

[0100] Beiden vorstehend sowie noch an späterer Stelle erwähnten nicht zylindrischen scheiben- oder säulenförmigen Substraten wird als Radius dann der Abstand vom Flächenschwerpunkt des Substrats zu einem mittleren Randabstand angesehen. Der mittlere Randabstand ergibt sich dann als Mittelwert aller Randabstände bei Mittelung über einen Vollkreis, der sich senkrecht zur zentralen Symmetrieachse erstreckt.

[0101] In **Fig. 2** ist die Durchbiegung des Substrats **1** unter dessen Eigengewicht in Form von Flächen mit im Wesentlichen gleicher Formänderung grafisch dargestellt.

[0102] **Fig. 2** zeigt die bei dem in **Fig. 1** gezeigten Substrat **1** eintretenden Durchbiegungen unter dessen Eigengewicht zum einen oben links von dessen Oberseite her und oben rechts von dessen Unterseite her in schräger Aufsicht.

[0103] Unten links ist in **Fig. 2** eine Aufsicht auf die Spiegelträgerplatte **13** dargestellt, welcher sehr gut zu entnehmen ist, wie sich die Flächen gleicher Durchbiegung über dieser Spiegeloberfläche im Wesentlichen symmetrisch verteilen.

[0104] In **Fig. 4**, welche die Durchbiegung der Spiegelplatte im Bereich der in **Fig. 3** gezeigten Einzeltasche **3** in einer teilweise aufgeschnittenen Querschnittsansicht schräg von der Seite her zeigt, ist für die einzelne Tasche **3** die Symmetrie der Durchbiegung ebenfalls gut zu erkennen.

[0105] Der Maximalwert dieser Durchbiegung, welcher im Wesentlichen in der Mitte der wabenförmigen Tasche **3** liegt, beträgt unter dem Eigengewicht der Spiegelplatte **13** den überraschend geringen maximalen Wert von etwa nur 12 nm.

[0106] Hierdurch lässt sich auch für die spätere Bearbeitung, etwa für das Schleifen und Polieren der Spiegelplatte **13**, eine extrem hohe Präzision, dies bedeutet sehr geringe Abweichungen von der Sollform des späteren Spiegels, erreichen.

[0107] Diese Bearbeitungspräzision wird weiter dadurch erhöht, dass die Rückseite **16** des Substrates **1** im Wesentlichen eben beziehungsweise plan ausgebildet ist, so dass das Substrat **1**, wenn dieses zur Bearbeitung auf einer im Wesentlichen planen Unterlage angeordnet ist, nur geringste Deformationen erfährt.

[0108] In weiterer Ausgestaltung kann das Substrat **1** bei allen in dieser Beschreibung dargestellten Ausführungsformen auch eine Öffnung **17** aufweisen, die vorzugsweise in etwa mittig in diesem angeordnet ist und welche in diesem Fall vorzugsweise durch einen inneren Rand **18** definiert wird.

[0109] In bevorzugter weiterer Ausgestaltung wird dieser innere Rand **18** durch einen geschlossenen umlaufenden und im Wesentlichen zylindermantelförmigen Steg **19** gebildet, dessen Breite etwa 3 bis 8 mm beträgt und dessen Höhe je nach optischer Ausgestaltung des späteren Spiegels etwa 10 bis 50 mm, vorzugsweise 20 bis 40 mm und am bevorzugtesten etwa 30 mm beträgt.

[0110] Ausführungsformen ohne eine derartige Öffnung **17**, bei welcher die Vorderseite **13** des Substrats **1** beziehungsweise die Spiegelträgerplatte **13** vollflächig geschlossen ist, liegen ebenfalls im Rahmen der Erfindung. Bei derartigen Ausführungsformen entfällt bevorzugt der Steg **19** und sind in dem mittigen Bereich des Substrats **1**, an welchem sich ansonsten die Öffnung **17** befunden hätte, ebenfalls wabenförmige Taschen angeordnet.

[0111] Nachfolgend wird auf **Fig. 5** Bezug genommen, welche eine teilweise aufgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Substrats **1'** für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht, jedoch mit dreieckförmigen, Taschen definierenden Ausnehmungen **2'**, **3'** und **4'** von dessen Unterseite her in schräger Aufsicht zeigt.

[0112] Diese zweite erfindungsgemäße Ausführungsform ist bei der nachfolgenden Beschreibung mit den gleichen Bezugszeichen wie die in den **Fig. 1** bis **Fig. 4** dargestellte erste erfindungsgemäße Ausführungsform versehen, wobei die Bezugszeichen der zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform jeweils zusätzlich mit einem hochgestellten Strich gekennzeichnet sind. Sämtliche bisher zu den ersten erfindungsgemäßen Ausführungsformen gemachten Aussagen treffen auch für die zweiten Ausführungsformen und deren jeweilige Bestandteile zu, soweit

als nicht nachfolgend explizit Anderes angegeben wird.

[0113] Auch bei diesen erfindungsgemäßen zweiten Ausführungsformen werden bevorzugt zwei Durchmesser φ_s des scheibenförmigen Substrats **1'** von 700 mm beziehungsweise 1200 mm verwendet.

[0114] Statt hexagonaler wabenförmiger Ausnehmungen **2**, **3** und **4** mit einer Schlüsselweite SW werden bei den zweiten Ausführungsformen die dreieckförmigen Taschen **2'**, **3'** und **4'** in deren Größe durch eine Kantenlänge KL definiert, bei welcher ebenfalls wie in **Fig. 7** dargestellt, nur die Hälfte der Breite der jeweiligen durch die taschenförmige Ausnehmung definierten Stege **5'** und **6'** zugrunde gelegt wird.

[0115] Bei diesen zweiten Ausführungsformen mit dreieckförmigen Taschen beträgt eine Seitenlänge KL etwa 70 bis 210 mm, bevorzugt 120 bis 180 mm und am bevorzugtesten etwa 140 mm.

[0116] In **Fig. 7** sind an der Rückseite **16'** des Substrats **1'** auch die Hinterschliffe **11'** und **12'** gut zu erkennen, welche im Substrat **1** bei aneinandergrenzenden dreieckförmigen Taschen, beispielsweise bei den Taschen **3'** und **4'**, einen im Wesentlichen T-bindeförmigen Querschnitt definieren.

[0117] Für diese erfindungsgemäßen Ausführungsformen mit dreieckförmigen Taschen ergaben sich ebenfalls überraschend geringe Werte der Durchbiegung unter Eigengewicht.

[0118] Für die Ermittlung der Durchbiegung wurde dieses, wie bereits für die erste Ausführungsform mit wabenförmigen Taschen beschrieben, gehalten.

[0119] In **Fig. 6** sind die bei dem in **Fig. 5** gezeigten Substrat **1'** eintretenden Durchbiegungen, wenn dieses an drei Halterungen aufgenommen ist, die etwa bei zwei Dritteln des Radius mit dem Substrat **1'** in Kontakt treten, zum einen oben links von dessen Oberseite und zum anderen oben rechts von dessen Unterseite her in schräger Aufsicht auf eine teilweise ausgeschnitten dargestellte Querschnittsansicht gezeigt.

[0120] In **Fig. 6** unten links angeordnet ist eine Aufsicht auf die Oberseite **13'** des Substrates **1'** gezeigt.

[0121] Auch bei diesen zweiten Ausführungsformen betrug die maximale Durchbiegung nur 0,5 bis 3 μm und zeigte sich auch dieser Spiegelträger **1'** als mechanisch extrem stabil.

[0122] Auch für die in **Fig. 7** dargestellte einzelne Tasche **3'** ergab sich eine Durchbiegung des Spiegelträgerplatte **13'** unter deren Eigengewicht von maxi-

mal nur etwa 12 nm mit allen hierdurch erreichbaren und bereits vorstehend beschriebenen Vorteilen.

[0123] Auch bei diesen zweiten Ausführungsformen wurden die vorstehend beschriebenen vorteilhaften Verhältnisse von Dicke zum Durchmesser des Substrates **1'** verwirklicht.

[0124] Zur Erläuterung der Herstellung der taschenförmigen Ausnehmungen **2**, **2'**, **3**, **3'**, **4** und **4'** wird auf **Fig. 8** verwiesen, welche Bearbeitungsschritte bei der Herstellung eines Substrat **1**, **1'** mit reduziertem Gewicht erläutern hilft.

[0125] In den einstückigen, somit monolithischen Rundkörper des Substrates **1**, **1'**, welcher neben säulen- oder scheibenförmigen Abmessungen auch eine elliptische, rechteckige hexagonale oder achteckige, jeweils vorzugsweise scheiben- oder säulenförmige Grundformen aufweisen kann, werden von dessen Rückseite **16**, **16'** her die Ausnehmungen **2**, **2'**, **3**, **3'** und **4**, **4'** zunächst mit einem vorzugsweise rotierenden Werkzeug **20**, welches in **Fig. 8** in mehreren Stellungen gezeigt ist, eingebracht.

[0126] Das Rotationswerkzeug **20** umfasst einen Kopf **21**, welcher sowohl an dessen zylindermantelförmigen Außenseite als auch an dessen vorder- und rückseitigen Stirnflächen **22** und **23** abrasive Strukturen trägt, die für das Abtragen von Material geeignet sind.

[0127] Diese abrasiven Strukturen umfassen zum einen Schleifkörper mit gebundenem Korn.

[0128] Die weitere feinere Oberflächenbearbeitung kann auch das Lappen mit lose aufgetragene abrasiven Körner umfassen.

[0129] Nach dem auf diese Weise jeweils die Taschen **2**, **2'**, **3**, **3'** sowie **4**, **4'** und die zwischen diesen angeordneten Stege **5**, **5'** sowie **6**, **6'** im Wesentlichen von deren Grundform her erstellt wurden, können diese Taschen für weiteren Abtrag der Oberfläche mit einem Ätzmittel beaufschlagt werden.

[0130] Dieses Ätzmittel umfasst insbesondere bei Gläsern oder glaskeramischen Substraten **1**, **1'** bevorzugt auch Flusssäure.

[0131] Besonders bevorzugt umfasst das Ätzmittel mehr als 10 Vol% an Flusssäure.

[0132] Mit einem solchen Ätzmittel wird nachfolgend zu der vorhergehenden, im Wesentlichen mechanisch abtragenden Bearbeitung zur Festigkeitserhöhung dann die jeweilige Oberfläche der Tasche zumindest nochmals um den maximalen Durchmesser der beim Schleifen oder Lappen verwendeten abrasiven Körper abgetragen.

[0133] Zur Reduzierung der Stegbreite kann dieser weitere Oberflächenabtrag auch 0,5 bis 4 mm betragen.

[0134] Als Materialien für das Substrat **1, 1'** sind vorzugsweise alle Gläser sowie besonders bevorzugt auch Glaskeramiken verwendbar.

[0135] Als Gläser können beispielsweise Borosilikatgläser mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten in einem Temperaturbereich von 0 bis 50 Grad Celsius von weniger als 4×10^{-6} pro Kelvin verwendet werden.

[0136] Besonders bevorzugt sind auch Quarzgläser (fused Silica) verwendbar mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten in einem Bereich von 0 bis 50 Grad Celsius von weniger als 1×10^{-6} pro Kelvin, typischer Weise $0,5 \times 10^{-6}$ pro Kelvin.

[0137] Derartige Gläser können auch dotierte Quarzgläser, beispielsweise TiO_2 dotierte Quarzgläser mit niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizient umfassen, welche auch als Ultra-Low-Expansion oder ULE-Gläser bezeichnet werden und beispielhaft in der US 5,970,751 A beschrieben sind.

[0138] Am bevorzugten werden jedoch Glaskeramiken eingesetzt, welche in der Regel in einem Temperaturbereich von 0 bis 50 Grad Celsius einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von weniger als $0,1 \times 10^{-6}$ pro Kelvin aufweisen.

[0139] Besonders bevorzugte Glaskeramiken umfassen Li-Al-Si-Glaskeramiken, wie beispielsweise Zerodur der Schott AG, Mainz, wie diese beispielsweise in der DE 1 902 432 A, der US 4,851,372 A oder auch der DE 10 2004 008 824 A1 beschrieben sind.

[0140] Eine weitere bevorzugte Familie von Glaskeramiken umfasst die von der Kabushiki Kaisha Ohara, Japan, unter der Bezeichnung Clear Ceram vertriebenen, welche beispielsweise in der US 5,591,682 B1 beschrieben sind.

[0141] An dem auf diese Weise hergestellten Spiegelträger **1, 1'** kann zumindest an einem Teil, bevorzugt jedoch vollflächig an der Oberfläche **13, 13'** eine spiegelnde Schicht angebracht werden, insbesondere nachdem die Oberfläche **13, 13'** nochmals entsprechende Bearbeitungsgänge, wie Politur, erfahren hat.

[0142] Diese spiegelnde Schicht kann eine durch einen Aufdampf- oder beliebigen anderen geeigneten Auftragsprozess aufgebrachte metallische Schicht umfassen, welche nachträglich zu deren Schutz noch mit einer, vorzugsweise metalloxidischen, dielektrischen Schicht belegt werden kann.

[0143] Alternativ oder zusätzlich zur metallisch spiegelnden Schicht kann eine dielektrische spiegelnde Schicht oder auch ein spiegelndes dielektrisches Mehrschichtsystem angebracht werden.

[0144] Je nach optischem Verwendungs- und Einsatzzweck kann ein Teil dieser spiegelnden Oberfläche eben ausgebildet oder kann die Oberfläche nichteben, insbesondere sphärisch oder asphärisch geformt sein.

[0145] Dabei können sich sowohl konvexe, konkave sowie teilkonvexe und/oder teilkonkave Oberflächengeometrien ergeben. Die Form der Oberfläche **13, 13'** kann jedoch bevorzugt bereits aus dem monolithischen Grundkörper des Substrats **1, 1'** herausgearbeitet werden, nachdem die rückseitigen Ausnehmungen in diesen eingebracht wurden.

[0146] Neben sphärischen und asphärischen Formen liegt es auch im Rahmen der Erfindung, frei geformte Oberflächen, wie sich diese beispielsweise aus optischen Rechnungen ergeben können, zu verwenden.

[0147] Zur weiteren Beeinflussung der optischen Ausbreitung der auf den Spiegel treffenden Phasenfronten der jeweiligen elektromagnetischen Wellen kann die spiegelnde Oberfläche **13, 13'**, zusätzlich eine diffraktive Oberflächenstruktur umfassen, wie diese beispielsweise verwendbar ist, um Aberrationen zu korrigieren.

[0148] Hierzu kann die diffraktive Struktur eine Gitterstruktur und/oder eine holographische Struktur, insbesondere eine definiert Phasenfront-schiebende Struktur umfassen.

[0149] Um geringere Durchwölbungen des Substrats **1, 1'**, bei konkaven oder konvexen Spiegelformen zu erreichen, können auch Abschnitte der Oberfläche **13, 13'**, Fresnelstrukturen umfassen, wie diese dem Fachmann gut bekannt und folglich in den Figuren nicht dargestellt sind.

[0150] Es liegt ferner im Rahmen der Erfindung, diffraktive und Fresnelstrukturen in Kombination und am gleichen Substrat **1, 1'**, zu verwenden.

Patentansprüche

1. Substrat (**1, 1'**) für einen Spiegelträger mit reduziertem Gewicht, bei welchem in einer Oberfläche des Substrats (**1**) Ausnehmungen (**2, 3, 4, 2', 3', 4'**) und Taschen (**7, 8, 7', 8'**) zur Aufnahme von Halterungen eingebracht sind, durch welche Stege (**5, 6, 9, 10, 5', 6', 9', 10'**) zwischen den Ausnehmungen (**2, 3, 4, 2', 3', 4'**) und den Taschen (**7, 8, 7', 8'**) definiert sind, welches **dadurch gekennzeichnet** ist, dass zumindest ein erster Teil der Stege (**5, 6, 5', 6'**), welche

die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') definieren, eine andere Breite als ein zweiter Teil der Stege (9, 10, 9', 10'), welche die Taschen (7, 8, 7', 8') definieren, aufweist.

2. Substrat (1, 1') nach Anspruch 1, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') und die Taschen (7, 8, 7', 8') in einer Rückseite (16, 16') des Substrats (1, 1') eingebracht sind.

3. Substrat (1, 1') nach Anspruch 1 oder 2, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass der erste Teil der Stege (5, 6, 5', 6'), welche die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') definieren, eine kleinere Breite als der zweite Teil der Stege (9, 10, 9', 10'), welche die Taschen (7, 8, 7', 8') definieren, aufweist.

4. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil der Stege (9, 10, 9', 10') eine sich ändernde Breite entlang von deren Längserstreckung aufweisen.

5. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') sechseck- oder dreieckförmige Taschen definieren.

6. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass ein Hauptteil der Ausnehmungen (2, 3, 4) durch wabenförmige Taschen definiert ist.

7. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen Gewichtsreduktion mehr als 85% gegenüber dem Vollmaterial beträgt.

8. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass bei einer Höhe der Stege (5, 6, 5', 6') von 90 mm und bei einem Durchmesser des Substrats (1, 1') von 700 mm die Breite der Stege (5, 6, 5', 6') weniger oder gleich 2,5 mm beträgt.

9. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Breite der Stege (5, 6, 5', 6') bei einer Höhe der Stege (5, 6, 5', 6') von 140 bis 150 mm und bei einem Durchmesser des Substrats (1, 1') von 1200 mm weniger oder gleich 2,5 mm beträgt.

10. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass bei hexagonalen, somit wabenförmigen Ausnehmungen (2, 3, 4) zumindest eine Tasche oder mehrere Taschen eine Schlüsselweite (SW) von 70 bis 120 mm definiert oder definieren.

11. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass bei dreieckförmigen Ausnehmungen (2', 3', 4') zumindest eine Tasche oder mehrere Taschen eine Seitenlänge (KL) von 70 bis 210 mm definiert oder definieren.

12. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Stege (5, 6, 5', 6') Hinterformungen (11, 12, 11', 12') aufweisen, welche zumindest teilweise einen T-förmigen Querschnitt definieren.

13. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Stege (5, 6, 5', 6') Hinterschliffe (11, 12, 11', 12') aufweisen, welche zumindest teilweise einen T-förmigen Querschnitt definieren.

14. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Materialstärke hinter der für die spiegelnde Oberfläche des Spiegels vorgesehenen Oberfläche (13, 13') in den Bereichen zwischen den Stegen (5, 6, 9, 10, 5', 6', 9', 10') konstant ist.

15. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen Rückseite (16, 16') eben ausgebildet ist.

16. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen äußerer Rand (14, 14') geschlossen ausgebildet ist.

17. Substrat (1, 1') nach Anspruch 16, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen äußerer Rand (14, 14') durch einen umlaufenden Steg (15, 15') gebildet ist.

18. Substrat (1, 1') nach Anspruch 16 oder 17, bei welchem die Breite des umlaufenden, den Rand (14, 14') definierenden Stegs (15, 15') 3 bis 8 mm und dessen Höhe bei einer ersten Ausführungsform mit 700 mm Durchmesser 70 bis 120 mm beträgt oder dessen Höhe bei einer zweiten Ausführungsform mit 1200 mm Durchmesser 120 bis 180 mm beträgt.

19. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') zumindest zu einem Teil durch einen chemischen Abtragsvorgang hergestellt sind.

20. Substrat (1, 1') nach vorstehendem Anspruch, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') zumindest zu einem Teil durch Ätzen mit Flußsäure-haltigen Ätzmitteln hergestellt sind.

21. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ausnehmungen (2, 3, 4, 2', 3', 4') zumindest zu einem Teil durch Schleifen mit gebundenem Korn und Ätzen oder Lappen mit loser Korn und Ätzen hergestellt sind.

22. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass das Verhältnis der Dicke zum Durchmesser des Substrats (1, 1') im Bereich von 1:3 bis 1:10 beträgt.

23. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass der Spiegel unter dessen Eigengewicht eine maximale Durchbiegung von 0,5 bis 3 μm aufweist.

24. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dieses für extraterrestrische Anwendungen aus einem einzigen, monolithischen Materialblock hergestellt ist.

25. Substrat (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass dieses ein Material mit geringer thermischer Ausdehnung umfasst, bei welchem der thermische Ausdehnungskoeffizient in einem Temperaturbereich von 0 bis 50° Celsius kleiner als 4 mal 10^{-6} pro Kelvin ist.

26. Substrat (1, 1') nach Anspruch 24, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass das Material mit geringer thermischer Ausdehnung glaskeramisches Material umfasst.

27. Substrat (1, 1') nach Anspruch 26, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass das glaskeramische Material eine Li-Al-Si-Glaskeramik umfasst.

28. Spiegel mit einem Substrat (1, 1') für einen Spiegelträger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

29. Spiegel nach Anspruch 28, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest an einem Teil einer Oberfläche (13, 13') des Substrats (1, 1') eine metallisch spiegelnde Schicht angebracht ist.

30. Spiegel nach Anspruch 28 oder 29, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest an einem Teil einer Oberfläche (13, 13') des Substrats (1, 1') eine dielektrische, spiegelnde Schicht oder ein spiegelndes dielektrisches Mehrschichtsystem angebracht ist.

31. Spiegel nach Anspruch 27, 29 oder 30, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil

von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') eben ausgebildet ist.

32. Spiegel nach Anspruch 28, 29 oder 30, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') nicht eben geformt ist.

33. Spiegel nach Anspruch 28, 29, 30 oder 32, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') sphärisch, asphärisch, konvex oder konkav geformt ist.

34. Spiegel nach Anspruch 28, 29, 30 oder 32, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') frei geformt ist.

35. Spiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche von 28 bis 34, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen Oberfläche (13, 13') eine diffraktive Oberflächenstruktur umfasst.

36. Spiegel nach vorstehendem Anspruch 35, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') eine diffraktive Oberflächenstruktur umfasst.

37. Spiegel nach Anspruch 35 oder 36, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass die diffraktive Struktur eine Gitterstruktur und/oder eine holographische Struktur und/oder eine definiert Phasenfront-schiebende Struktur umfasst.

38. Spiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche von 28 bis 37, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen Oberfläche (13, 13') eine Fresnelstruktur umfasst.

39. Spiegel nach vorstehendem Anspruch 38, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Teil von dessen spiegelnder Oberfläche (13, 13') eine Fresnelstruktur umfasst.

40. Spiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche von 28 bis 39, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass das Substrat (1, 1') an dessen die spiegelnde Schicht aufnehmenden Oberfläche (13, 13') vollständig geschlossen ist.

41. Spiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche von 28 bis 40, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass das Substrat (1, 1') an dessen die spiegelnde Schicht aufnehmenden Oberfläche (13, 13') eine Öffnung (17, 17') aufweist.

42. Spiegel nach vorstehendem Anspruch 41, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass die Öffnung (17, 17') eine zentrale Öffnung (17, 17') ist.

43. Spiegel nach Anspruch 41 oder 42, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen Öffnung (**17**, **17'**) einen inneren Rand (**18**, **18'**) aufweist, der geschlossen ausgebildet ist.

44. Spiegel nach Anspruch 41, 42 oder 43, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass dessen innerer Rand (**18**, **18'**) durch einen umlaufenden Steg (**19**, **19'**) gebildet ist.

45. Spiegel nach Anspruch 44, bei welchem die Breite des umlaufenden, den Rand (**18**, **18'**) definierenden Stegs (**19**, **19'**) 3 bis 8 mm beträgt und dessen Höhe **10** bis 50 mm beträgt.

46. Verwendung eines Substrats (**1**, **1'**) mit den Merkmalen von einem der Ansprüche von 1 bis 27 oder eines Spiegels mit den Merkmalen von einem der Ansprüche von 28 bis 45 für terrestrische Beobachtungen und/oder im Bereich der terrestrischen Astronomie.

47. Verwendung eines Substrats (**1**, **1'**) mit den Merkmalen von einem der Ansprüche von 1 bis 27 oder eines Spiegels mit den Merkmalen von einem der Ansprüche von 28 bis 45 für extraterrestrische Beobachtungen und/oder im Bereich der Raumfahrt und/oder im Bereich der extraterrestrischen Astronomie.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

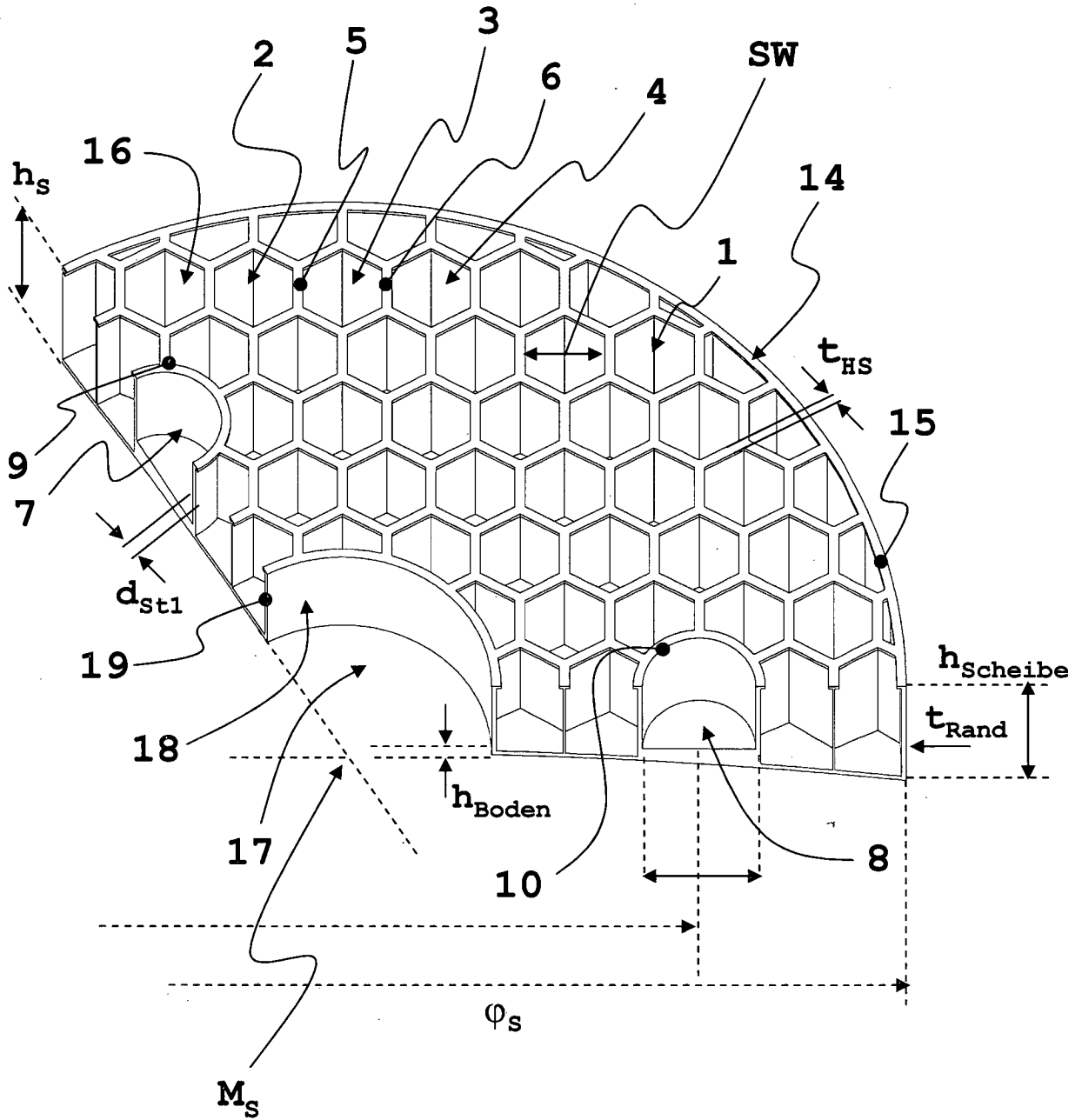


Fig. 1

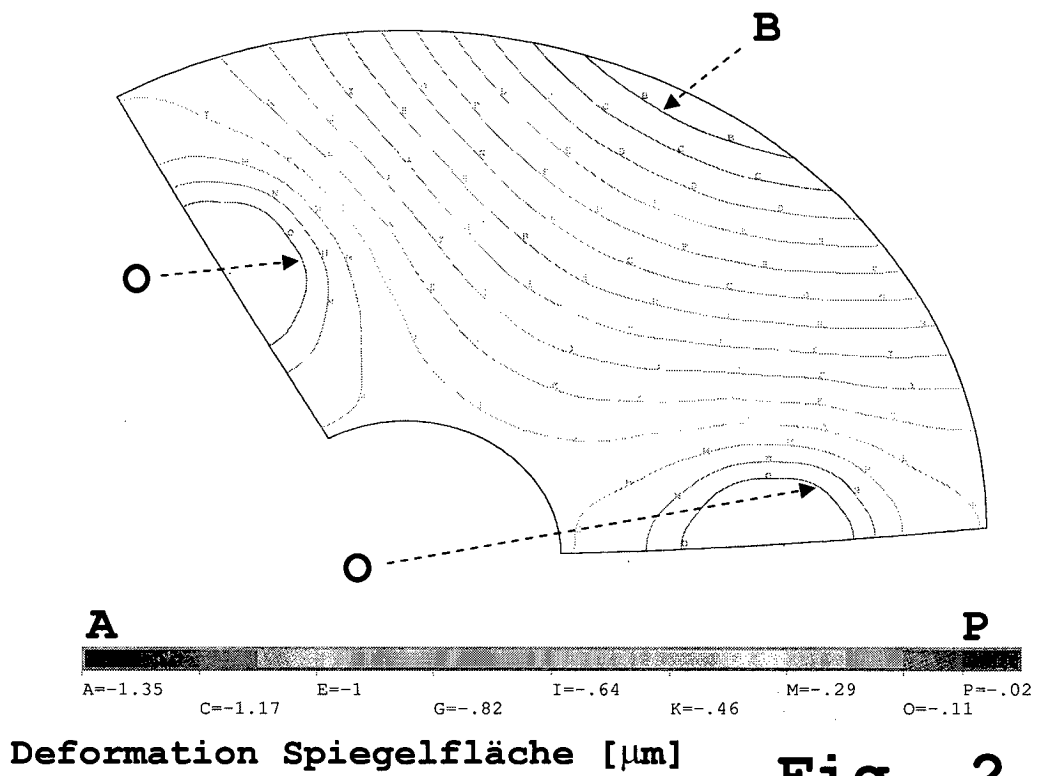
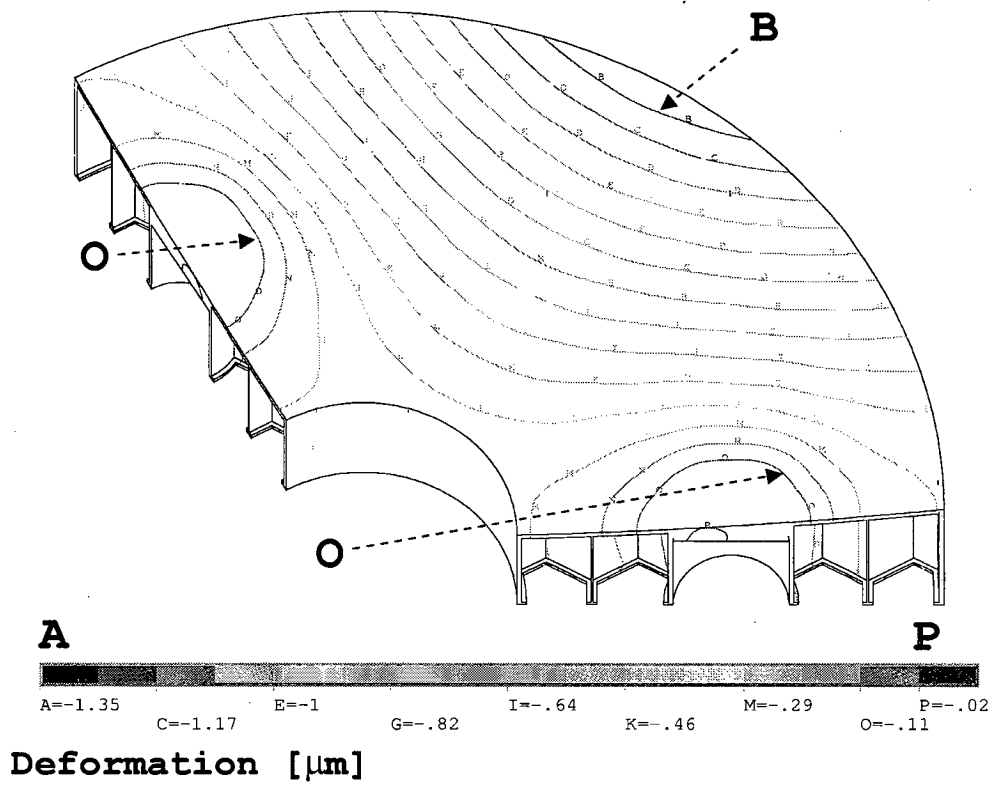


Fig. 2

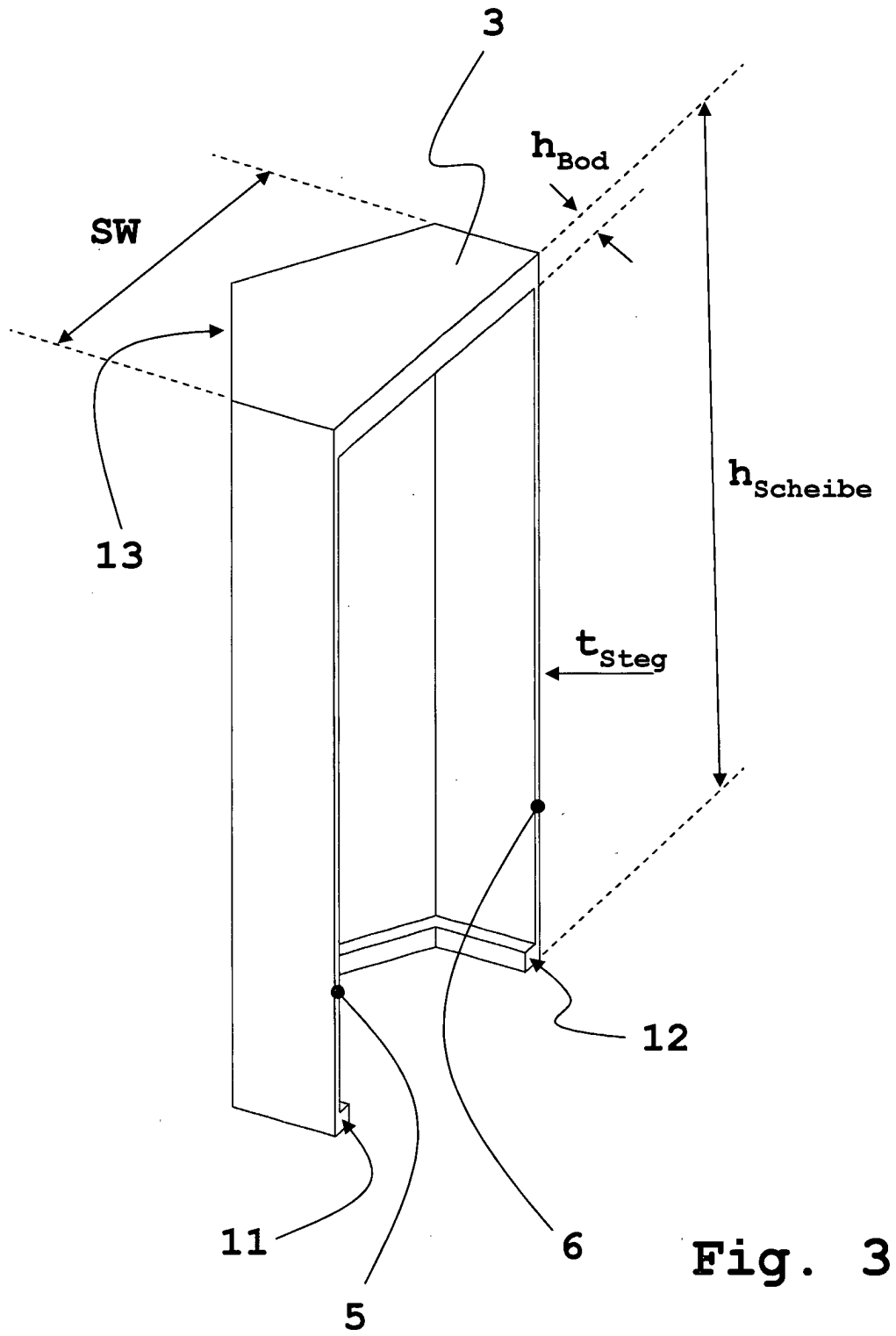
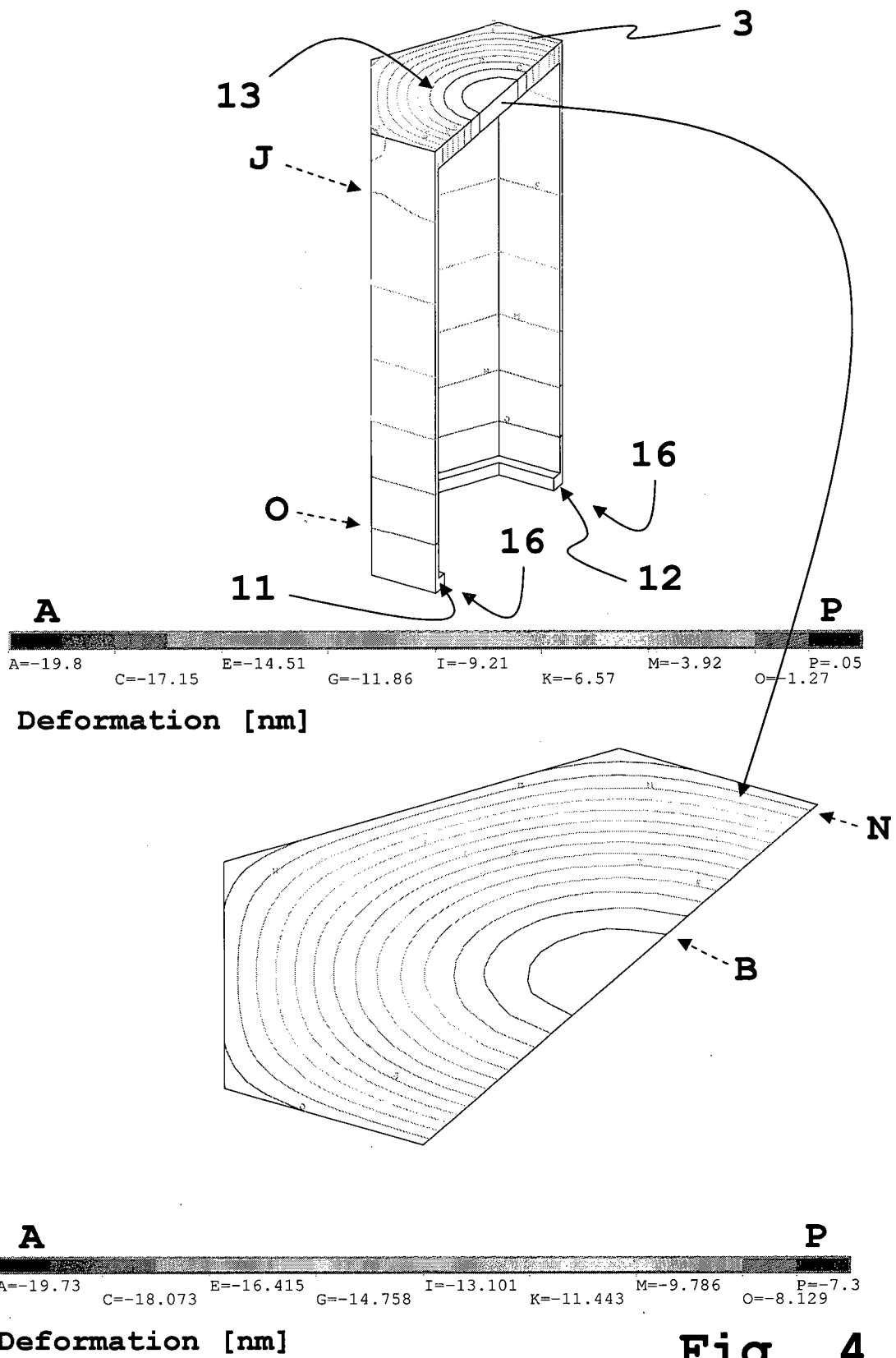


Fig. 3



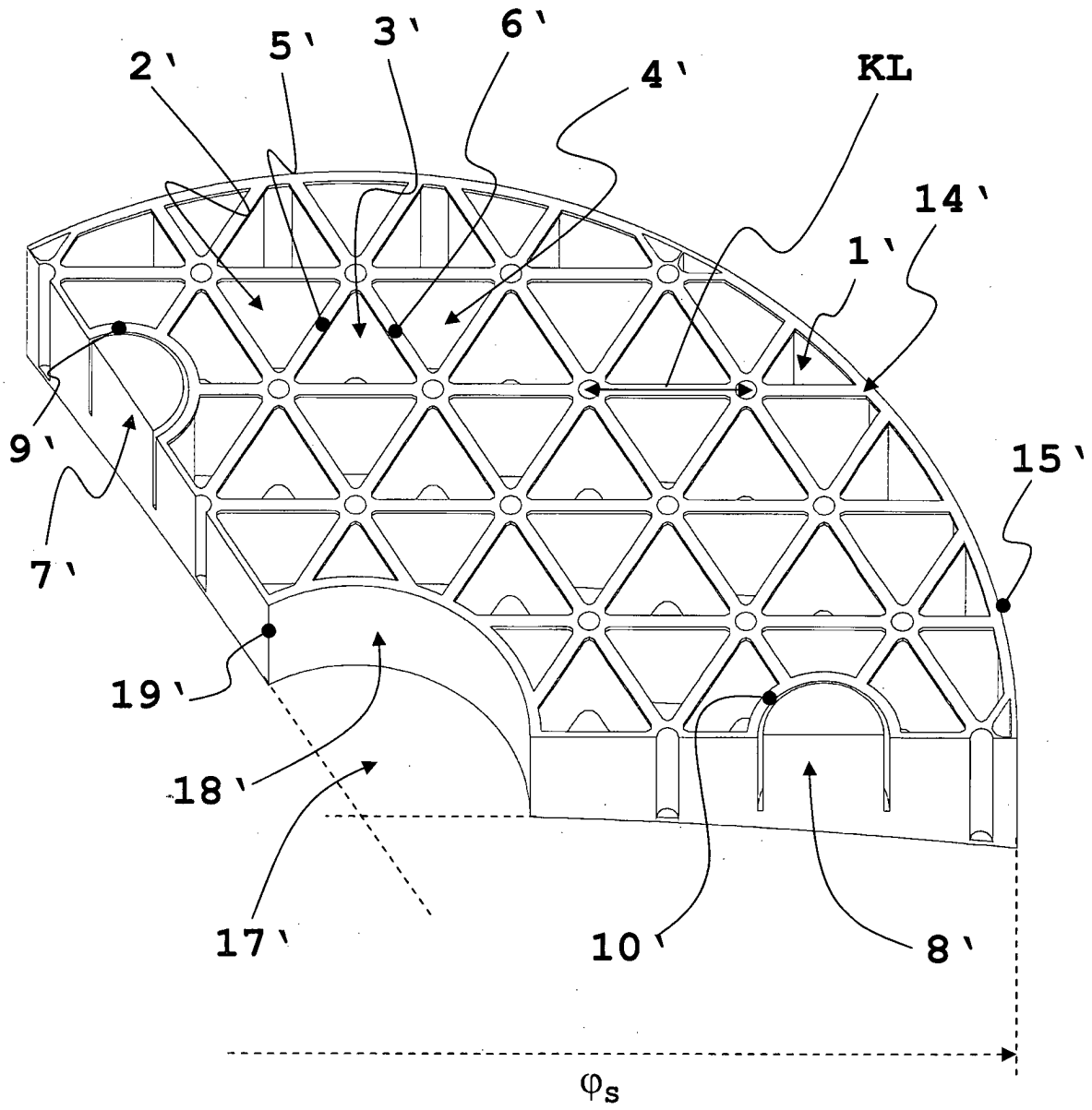


Fig. 5

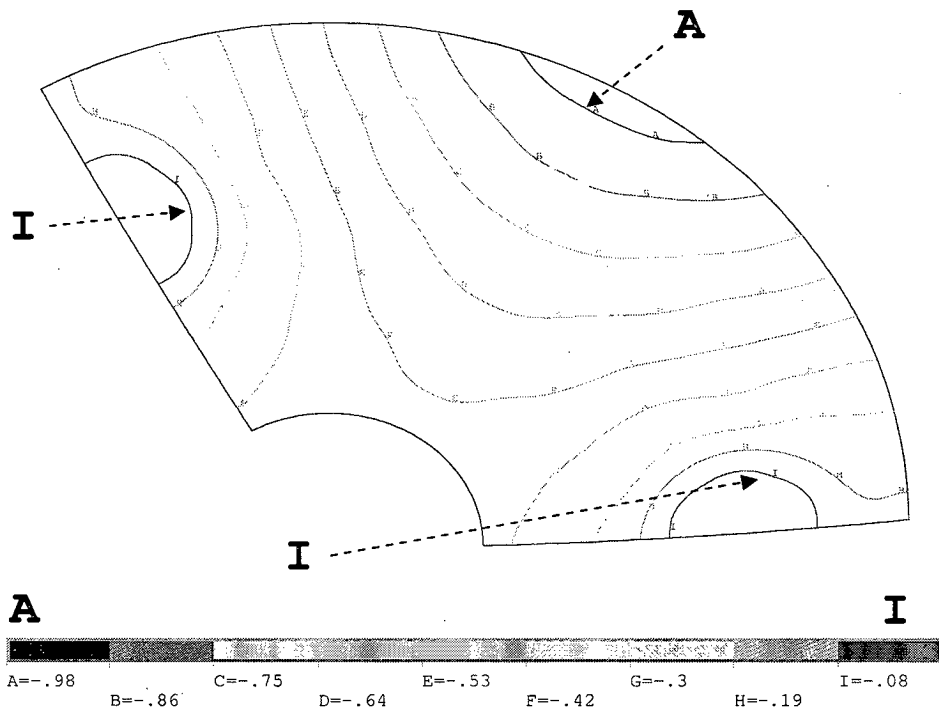
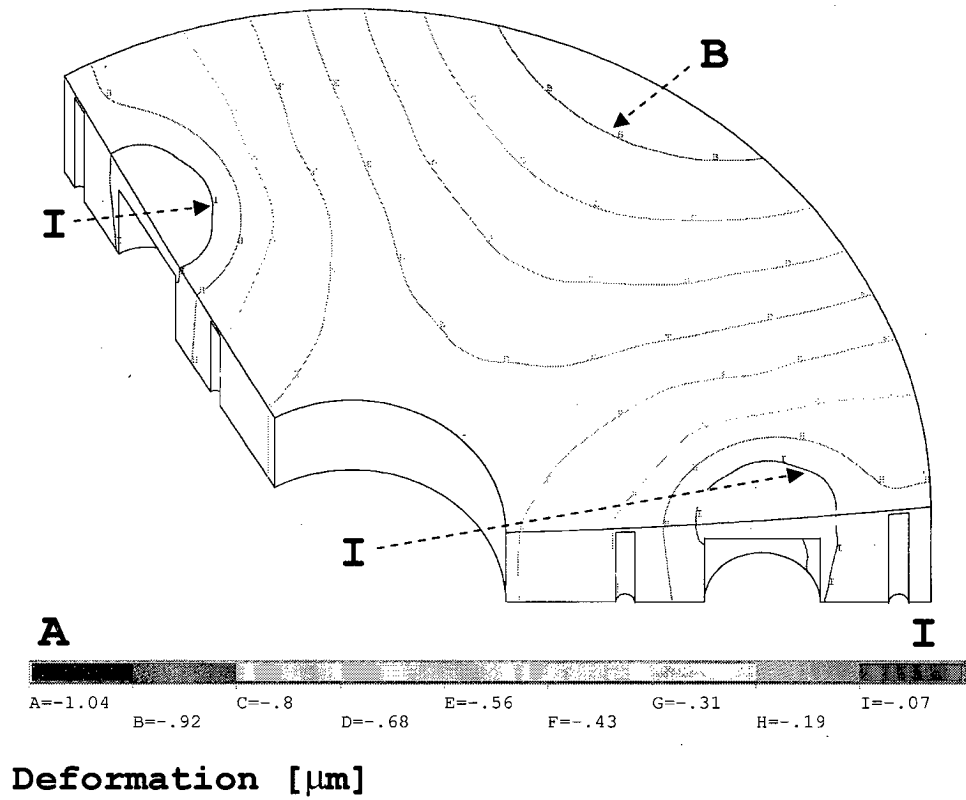


Fig. 6

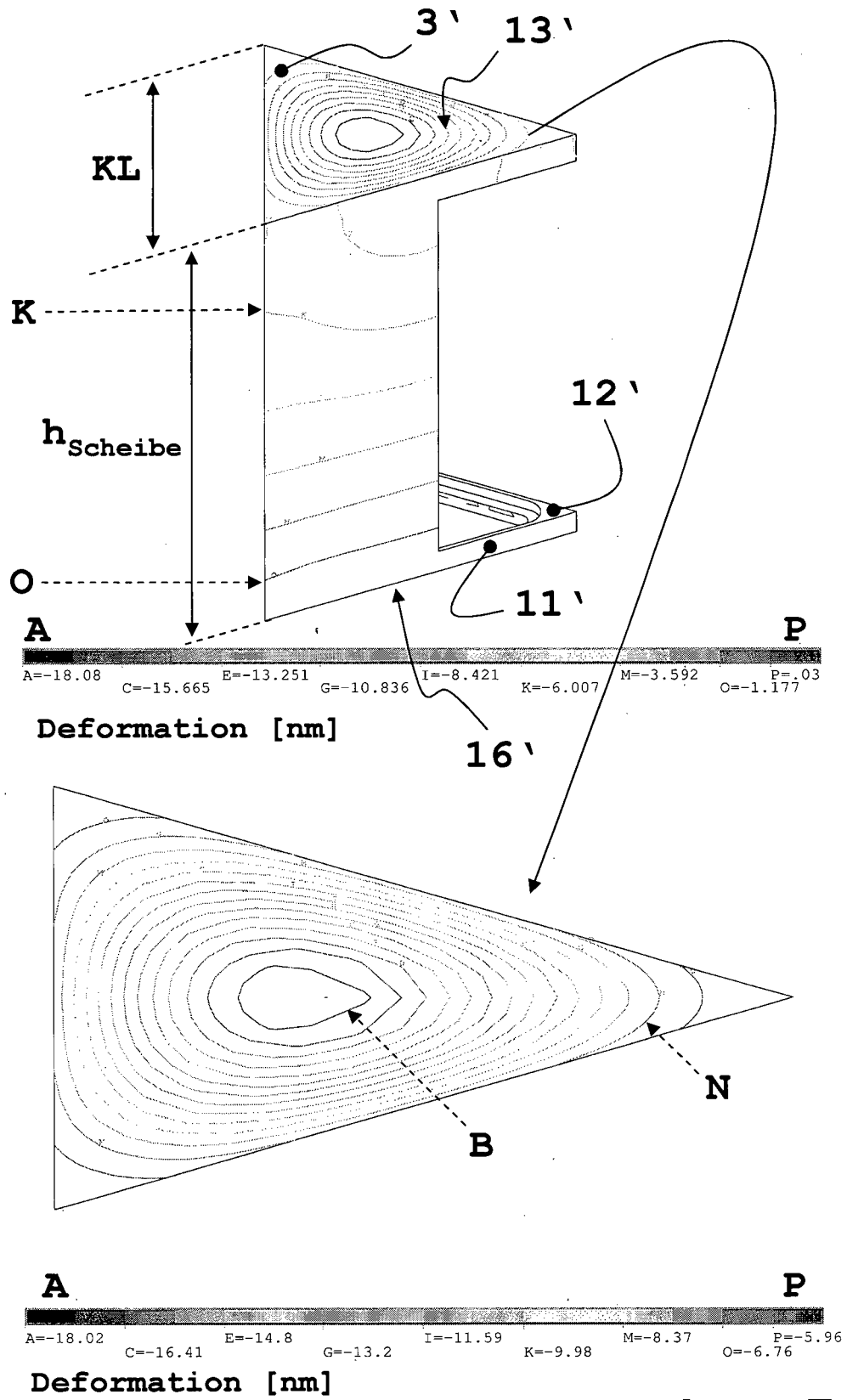


Fig. 7

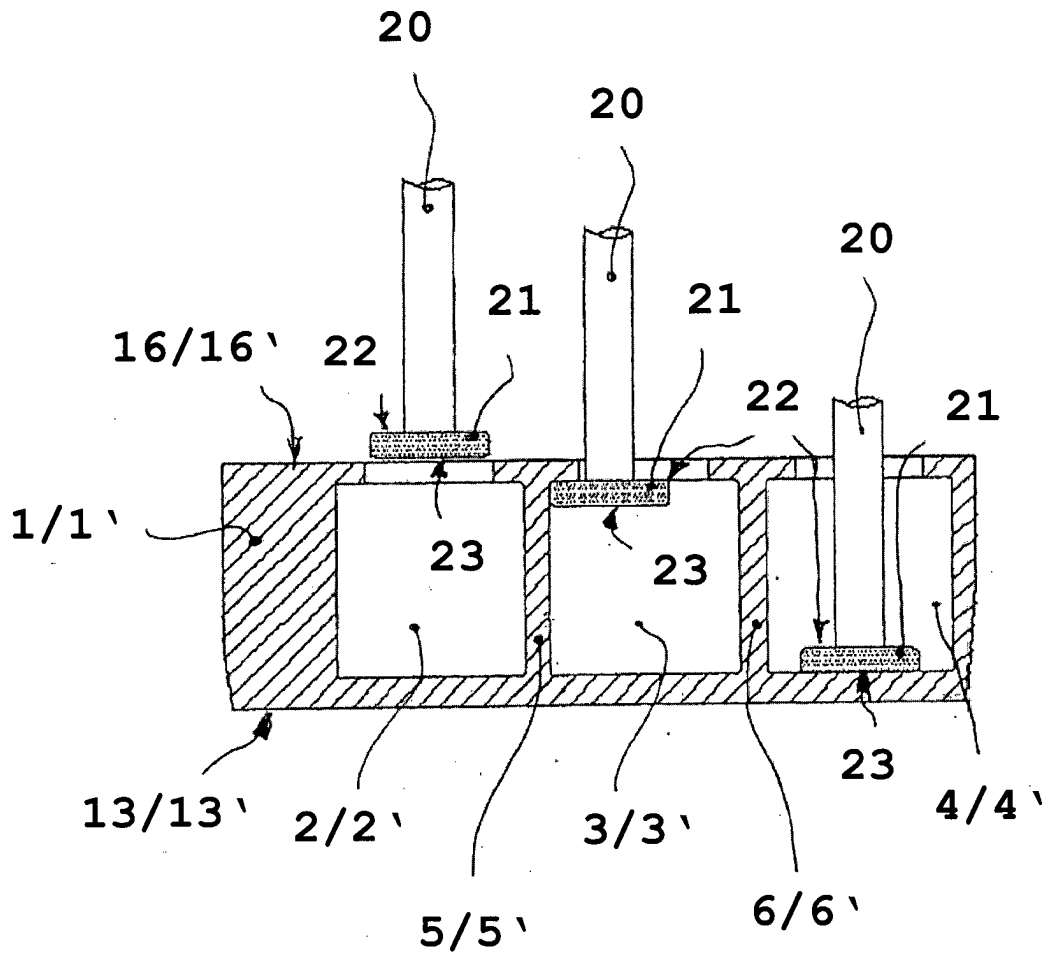


Fig. 8