

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-49257  
(P2010-49257A)

(43) 公開日 平成22年3月4日(2010.3.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 5/08 (2006.01)</b>	GO2B 5/08 A	2H042
<b>GO2B 7/00 (2006.01)</b>	GO2B 7/00 J	

審査請求 有 請求項の数 22 O L 外国語出願 (全 53 頁)

(21) 出願番号	特願2009-191982 (P2009-191982)	(71) 出願人	504299782 ショット アクチエンゲゼルシャフト Schott AG ドイツ連邦共和国 マインツ ハッテンベルクシュトラーセ 10 Hattenbergstr. 10, D-55122 Mainz, Germany
(22) 出願日	平成21年8月21日 (2009. 8. 21)	(74) 代理人	100064447 弁理士 岡部 正夫
(31) 優先権主張番号	10 2008 039 042.9	(74) 代理人	100094112 弁理士 岡部 譲
(32) 優先日	平成20年8月21日 (2008. 8. 21)	(74) 代理人	100101498 弁理士 越智 隆夫
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100107401 弁理士 高橋 誠一郎

最終頁に続く

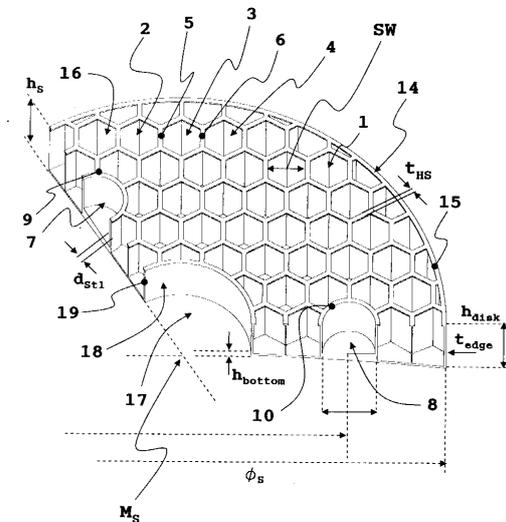
(54) 【発明の名称】 軽量化した鏡体支持体用の基板及び軽量化した鏡体支持体が設けられた鏡体

(57) 【要約】

【課題】本発明の目的は、軽量化されているにもかかわらず依然として高い剛性を保つ鏡体支持体用の基板を提供することである。

【解決手段】基板、特に鏡体支持体用の基板において、該基板の一方の面、好ましくは裏面に凹部が導入され、その結果、特に凹部間につながる部材が画定され、それによって、軽量化されているにもかかわらず依然として高い剛性を保つという状況が達成される。このことは、基板が、該基板用に設けられた保持装置内に正しく取り込まれた後でわずかにしかたるまいないことを意味し、つながり部材の少なくとも1つの第1の部分とは異なる幅を有する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

軽量化した鏡体支持体用の基板であって、第 1 の凹部及び第 2 の凹部が該基板の表面に導入され、その結果として該第 1 の凹部と該第 1 の凹部との間、及び該第 1 の凹部と該第 2 の凹部との間につなが部材が画定され、該第 2 の凹部は保持装置用の取り込み部を画定し、

前記第 1 の凹部を画定する前記つながり部材の少なくとも第 1 の部分は、前記第 2 の凹部を画定する前記つながり部材の第 2 の部分とは異なる幅を有することを特徴とする基板。

## 【請求項 2】

前記第 1 の凹部及び前記第 2 の凹部は、前記基板の裏面に導入されることをさらに特徴とする請求項 1 に記載の基板。 10

## 【請求項 3】

前記第 1 の凹部を画定する前記つながり部材の前記第 1 の部分は、前記第 2 の凹部を画定する前記つながり部材の前記第 2 の部分よりも小さい幅を有することをさらに特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の基板。

## 【請求項 4】

前記つながり部材の少なくとも一部は前記つながり部材の長さ範囲に沿って変化する幅を有することをさらに特徴とする請求項 1、2、又は 3 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 5】

前記取り込み部を画定する前記つながり部材の前記第 2 の部分と隣接する前記つながり部材の前記第 1 の部分は、前記取り込み部から幅が減少し始めることをさらに特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の基板。 20

## 【請求項 6】

前記第 1 の凹部は、六角形又は三角形のくぼみ部を画定することをさらに特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 7】

前記第 1 の凹部の多くは、本質的に八二カム形状のくぼみ部によって画定されていることをさらに特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 8】

前記基板の軽量化は、中実材料と比べて 85% 超、好ましくは 88% 超になることをさらに特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の基板。 30

## 【請求項 9】

高さがおよそ 90 mm の前記つながり部材且つ直径がおよそ 700 mm の前記基板において、前記つながり部材の幅は、2.5 mm 以下、好ましくは 2 mm 以下になることをさらに特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 10】

高さがおよそ 140 mm ~ 150 mm の前記つながり部材且つ直径がおよそ 1200 mm の前記基板において、前記つながり部材の幅は、2.5 mm 以下、好ましくは 2 mm 以下であることをさらに特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 11】

六角形、したがって八二カム形状である前記第 1 の凹部の場合に、少なくとも 1 つのくぼみ部、好ましくはいくつものくぼみ部は、70 mm ~ 120 mm、好ましくは 80 mm ~ 110 mm、最も好ましくはおよそ 95 mm のスパン幅を画定することをさらに特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の基板。 40

## 【請求項 12】

三角形である前記第 1 の凹部の場合に、少なくとも 1 つのくぼみ部、好ましくはいくつものくぼみ部は、70 mm ~ 210 mm、好ましくは 120 mm ~ 180 mm、最も好ましくはおよそ 140 mm の辺の長さを画定することをさらに特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の基板。

## 【請求項 13】

前記つなぎ部材は、少なくとも部分的にT字形の断面を画定する、隆起した裏面構造部、特に基底部となる隆起した裏面部材を有することをさらに特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の基板。

【請求項14】

前記鏡体の反射面用に設けられた表面の裏側の材料の厚さは、前記つなぎ部材間の領域において本質的に一定であることをさらに特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の基板。

【請求項15】

前記基板の外縁は、円形のつなぎ部材によって形成されていることをさらに特徴とする請求項1～14のいずれか1項に記載の基板。

10

【請求項16】

前記外縁を画定する前記円形のつなぎ部材は、直径がおよそ700mmである第1の実施形態の場合、幅がおよそ3mm～8mm、高さがおよそ70mm～120mmであり、直径がおよそ1200mmである第2の実施形態の場合、高さがおよそ120mm～180mmになることを特徴とする請求項15に記載の基板。

【請求項17】

前記基板の厚さと直径との比は、1:3～1:10の範囲、好ましくは1:5～1:8の範囲であり、最も好ましくはおよそ1:6±15%になることをさらに特徴とする請求項1～16のいずれか1項に記載の基板。

【請求項18】

前記基板は、特に、地球外用途の場合には、単一の一体構造である材料ブロックから製造されることをさらに特徴とする請求項1～17のいずれか1項に記載の基板。

20

【請求項19】

前記基板は、室温、好ましくは摂氏0度～50度の温度範囲において熱膨張が小さい材料を含み、熱膨張係数は、1ケルビン当たり $4 \times 10^{-6}$ 未満であり（ホウケイ酸ガラス）、好ましくは1ケルビン当たり $1 \times 10^{-6}$ 未満であり（石英ガラス）、最も好ましくは1ケルビン当たり $0.1 \times 10^{-6}$ 未満である（ガラスセラミック）ことをさらに特徴とする請求項1～18のいずれか1項に記載の基板。

【請求項20】

熱膨張が小さい前記材料は、ガラスセラミック材料、特にLi-Al-Siガラスセラミック材料を含むことをさらに特徴とする請求項19に記載の基板。

30

【請求項21】

請求項1～20のいずれか1項に記載の鏡体支持体用の基板を有する鏡体。

【請求項22】

地上観測用、及び/若しくは地球天文学の分野、及び/若しくは地球外観測用、及び/若しくは宇宙旅行及び/若しくは地球外天文学の分野における、請求項1～20のいずれか1項に記載の特徴を有する基板又は請求項21に記載の特徴を有する鏡体の使用。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軽量化した鏡体支持体用の基板及び軽量化した鏡体支持体が設けられた鏡体に関する。

40

【背景技術】

【0002】

軽量化した鏡体支持体用の基板及び軽量化した鏡体支持体が設けられた鏡体は、例えば、地球天文学において、地球から離れた観測地点からの大気スペックルのひずみ及びゆがみをなくすと共に、観測結果に背景光源としてコントラスト減少効果をもたらす、絶えず増加する地球の光害を回避するために、宇宙旅行等の地球外用途において用いられることが多い。

【0003】

50

地球天文学ではまた、恒星体の軌道を観測するような場合において、鏡体を調節するとき又は移動している物体を追尾するときに、移動質量の重量が軽ければ調整及び再設定するのに必要な力が減少するため、質量が小さい利用可能なシステムを作製することが有利である。

【0004】

しかし、軽量化することに加えて、鏡体支持体の剛性又は鏡体支持体に収容されている鏡体に起因する鏡体支持体のたるみも非常に重要になる。

【0005】

初めは、質量を低減することによって純粋に軽量化することが簡単且つ明白な方策であると思われるかもしれないが、質量を低減した後に残る構造体に強度及び剛性に関連する非常に高い要件が課されることがすぐに明らかとなる。

【0006】

元の重量の半分未満の領域（実際には初期重量の2/3未満の領域）を得る場合、鏡体支持体用の基板を処理することに厳しい課題が提起される。この状況は、ガラス又はガラスセラミック等の材料を高精度に仕上げる必要がある場合に特に困難なものとなる。

【0007】

軽量化されているが依然として使用することができる剛性を有する鏡体支持体を得るために様々な試験が行われている。

【0008】

球面を板部材と組み付け、このようにして閉じた剛性構造体を得る、軽量化した鏡体支持体の構造が製造されている。しかし、この解決策の不都合点は、そのような球面が、通常、鏡体支持体の基本構造体とは異なる熱膨張挙動を有するため、多くの用途において不可避である温度変動によってさらなる歪みが生じる可能性があるということである。さらに、この場合に用いられる加熱成形加工では、高精密に成形することは明らかに不可能である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の目的は、特に鏡体支持体用の基板を提供することであり、この基板は、軽量化されているにもかかわらず依然として高い剛性を保ち、これは、基板用に提供されている保持装置内に取り込まれた後にわずかにしかたまるまないことを意味する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この目的は、軽量化した、特に鏡体支持体用の基板を用いて驚くほど簡単な方法で達成することができ、基板の面、好ましくは裏面には複数の凹部が導入されており、その結果として特にそれらの凹部間にはつなぎ部材が画定され、基板は、つなぎ部材の少なくとも第1の部分が、つなぎ部材の第2の部分とは異なる幅を有することを特徴とする。

【0011】

この目的はまた、軽量化した鏡体支持体用の基板であって、第1の凹部及び第2の凹部が該基板の面に導入され、その結果として第1の凹部間、及び/又は第1の凹部と第2の凹部との間につなぎ部材が画定され、特に第2の凹部は保持装置用の取り込み部すなわち担持部を画定する、基板によって達成される。基板は、第1の凹部を画定するつなぎ部材の少なくとも第1の部分が、第2の凹部を画定するつなぎ部材の第2の部分とは異なる幅を有することを特徴とする。

【0012】

鏡体は、鏡体支持体用の基板によって提供されるのが好ましく、この場合、基板の上面に反射面が少なくとも部分的に設けられているか、又は上面に反射面が少なくとも部分的に形成されている。

【0013】

本発明のこの説明のために、軽量化した基板の定義としては、特に基板にある凹部によ

10

20

30

40

50

って実現されている材料の除去によって、中実材料を用いる実施の形態よりも軽量である構造形態の基板を含む。

【0014】

この材料除去しない材料、したがって中実材料は、基板の円盤状構造形態又は円柱状構造形態を含むのが本質的に好ましく、これらの形態は円筒形、楕円形、矩形、六角形及び/若しくは八角形であってもよい。

【0015】

正式には、円盤に言及する減量パーセントは、ドイツ航空宇宙センター (the National Space Agency of the Federal Republic of Germany) によって定義されており、例えば、凸面の影響も減量パーセントの要因となり、これも上記減量の定義と一致している。

10

【0016】

本発明の一実施の形態では、凹部、特に第1の凹部及び/又は第2の凹部は、基板の裏面に導入される。本発明のさらなる実施の形態では、第1の凹部を画定するつなぎ部材の第1の部分は、第2の凹部、したがって取り込み部を画定するつなぎ部材の第2の部分よりも小さい幅を有する。

【0017】

さらなる一実施の形態では、(取り込み部を画定する)つなぎ部材の第2の部分と隣接するつなぎ部材の第1の部分は、つなぎ部材の第2の部分と隣接しないつなぎ部材の第1の部分の幅よりも大きい幅を有する。

【0018】

別の好ましい実施の形態では、つなぎ部材の少なくとも1つの部分は、それらの長さ範囲に沿って変化する幅を有し、これらの変化する幅によって、例えば、基板に設けられている保持装置用の取り込み部の近く又は基板の縁領域の近く等、局所的な強度要件を有する位置に非常に効果的に導入することができる。

20

【0019】

特に、(取り込み部を画定する)つなぎ部材の第2の部分と隣接するつなぎ部材の第1の部分は、取り込み部から幅が減少し始める。好ましくは、つなぎ部材の第1の部分の幅は、この領域において連続的に減少する。

【0020】

基板は、保持装置用の取り込み部すなわち担持部が位置付けられる領域において補強される。詳細には、担持部の近くに位置付けられるか又は取り込み部に割り当てられるつなぎ部材が補強される。この領域において、つなぎ担持部はより広い幅を有する。第1に、第2の凹部、したがって保持装置用の担持部を画定するつなぎ部材は、第1の凹部を画定するつなぎ装置よりも広い幅を有する。第2に、中心としての取り込み部から外側へ延在するつなぎ部材は、外側方向に幅が減少する。特に、それらのつなぎ部材は半径方向に延在している。

30

【0021】

凹部、特に第1の凹部が六角形又は三角形のくぼみ部を画定すれば非常に高い強度及び剛性を提供することができるため、非常に有利である。本発明の第1の実施の形態では、凹部、特に第1の凹部の主な部分は、本質的に八ニカム形状のくぼみ部によって画定される。しかしこの場合、凹部、特に第1の凹部の主な部分は、基板の縁にある全ての凹部を含んでいるわけではなく、また、支持構造体の境界を定めている全ての凹部を含んでいるわけでもない。これは、これらの凹部がこれらの場所において、予め与えられた幾何学的形状の構造によってそれらの規則性に悪影響を与えられているためである。

40

【0022】

上述の方策、及び特に後述する処理ステップを用いると、驚くべきことに、中実材料と比較した場合に85%超、好ましくは88%超まで基板を軽量化することが可能となり、それにもかかわらず、基板のたるみは非常にわずかしかなかった。

【0023】

少なくとも最後の処理ステップのうちの1つにおいてフッ化水素酸、好ましくは10体

50

積%超のフッ化水素酸を含有するエッチング剤をくぼみ部の形成に使用する場合、ガラス及びガラスセラミックが非常に有利であった。このように、特に耐破損性である、つなぎ部材の表面、したがって基板の表面が提供される。

【0024】

しかし、概して、少なくとも部分的に化学的除去プロセス、特にフッ化水素酸を含有するエッチング剤を用いるエッチングによって凹部、特に第1の凹部及び/又は第2の凹部を作り出す場合、ガラス及びガラスセラミックが有利であった。このように除去率を非常に精密に調整することができた。

【0025】

さらに、少なくとも部分的に、固定砥粒を用いた研削、並びに遊離砥粒及びエッチング剤を用いたエッチング又はラップ仕上げによって、凹部、特に第1の凹部及び/又は第2の凹部を有利に作り出すことができた。

10

【0026】

好ましい実施の形態では、つなぎ部材の高さがおよそ90mm、基板の直径がおよそ700mmである場合、つなぎ部材の幅は2.5mm以下、実際には好ましくは2mmよりも小さい。

【0027】

別の好ましい実施の形態では、つなぎ部材の高さが140mm~150mm、基板の直径がおよそ1200mmである場合、つなぎ部材の幅は2.5mm以下、実際には好ましくは2mmよりも小さい。

20

【0028】

六角形すなわち八ニカム形状である凹部、特に第1の凹部の場合に、少なくとも1つのくぼみ部、好ましくはいくつかのくぼみ部が70mm~120mm、好ましくは80mm~110mm、最も好ましくはおよそ95mmの対辺距離を画定する場合、個々のくぼみ部の驚くほどわずかなたるみしか観測されなかった。

【0029】

三角形である凹部、特に第1の凹部の場合に、少なくとも1つの個々のくぼみ部、好ましくはいくつかのくぼみ部が、70mm~210mm、好ましくは120mm~180mm、最も好ましくはおよそ140mmの辺の長さを画定する場合、同様に驚くほど良好な挙動を観測することができた。

30

【0030】

それぞれの個々の(六角形の)くぼみ部のたるみがこのように低減することによって、少なくともこの個々のくぼみ部の領域において研磨挙動が最適化される。これは、この場合、機械的応力又は重力下での鏡体の理論的形状からのずれがより小さくなるためである。したがって、6mm~8mmの典型的な鏡体板の厚さは、最大およそ12nmに過ぎない驚くほど小さいたるみしか生じない。三角形のくぼみ部の場合、同様の驚くほど良好な状態が生じ、同様に個々のくぼみ部のたるみは、鏡体板の厚さが6mm~8mmである場合、およそ12nmよりも小さいままである。

【0031】

つなぎ部材が、少なくとも部分的にT字形の断面を画定する、隆起した裏面構造部、特に基底部となる隆起した裏面部材を有する場合に、機械的特性をさらに大幅に改善することができる。

40

【0032】

鏡体の反射面用に提供される表面の裏側の材料厚さが、つなぎ部材間の領域において実質的に一定である場合も有利である。これは、このようにして、最小限の重量でありながらも基板の平坦な範囲に依然として必要な強度も提供することができるためである。この場合、材料の±20%未満である材料厚さのずれは実質的に一定であることを意味する。

【0033】

しかし、基板用の機械的保持装置の領域においては、生じる力を、本質的にたるみを生じることなしに吸収することができるように、材料の厚さはより大きいことが好ましい。

50

## 【0034】

しかし、代替的な構成では、底面は、つなぎ部材間に放物面形状を有してもよい。

## 【0035】

本発明の一実施の形態では、基板は、その裏面が実質的に平坦に形成されていることを特徴とする。基板の裏面が実質的に平坦に形成される場合、後の研磨の間に支持体としての役割を果たすことができ、この支持体はさらなる曲げモーメント（鏡体の後の形状に悪影響を及ぼす可能性がある）を導入しないため、そのような構成は有利である。

## 【0036】

本発明の一実施の形態では、基板は、その外縁が実質的に閉じて形成されていることをさらに特徴とする。基板の外縁が本質的に閉じて形成されている場合、この外周はその強度にもかなり貢献する。この場合、円形のつなぎ部材によってその外縁が形成されていれば有利である。

10

## 【0037】

縁を画定する円形のつなぎ部材は、直径がおよそ700mmである第1の実施の形態では、幅がおよそ3mm～8mm、高さがおよそ70mm～120mmになるのが好ましく、直径がおよそ1200mmである第2の実施の形態では、高さがおよそ120mm～180mmである。

## 【0038】

基板の厚さと直径との比は、1:3～1:10の範囲、好ましくは1:5～1:8の範囲にあり、最も好ましくはおよそ1:6±15%であるのが好ましい。

20

## 【0039】

上記処理ステップ及び基板の説明した特徴部を用いると、基板、したがって後に基板に導入される鏡体も、その自重下での最大のたるみがおよそ0.5μm～3μmに過ぎないことが達成された。したがって、基板は、鏡体はその自重下でおよそ0.5μm～3μmの最大のたるみを有することをさらに特徴とする。

## 【0040】

この場合、基板は、その最大面すなわち主な面をほぼ水平にして、したがって3つの点において底面に対して平行に取り付けられ、この3つの点は、縁から1/3±15%、したがって基板の直径の半分すなわち半径のおよそ2/3のところに導入された。

## 【0041】

地球外用途の場合であっても、基板が単一の一体構造である材料ブロックから製造される場合に機械的特性の特定の利点が生じる。

30

## 【0042】

基板が熱膨張が小さい材料を含むか、又は実際にはこの材料から成る場合、顕著な利点がさらにもたらされる。例えばホウケイ酸ガラスの場合のように、室温、特に摂氏0度～50度の範囲の温度におけるこの材料の熱膨張係数が、1ケルビン当たり $4 \times 10^{-6}$ 未満であることが好ましい。

## 【0043】

別の特に好ましい実施の形態では、例えば石英ガラスの場合のように、室温、特に摂氏0度～50度の範囲の温度における熱膨張係数が、1ケルビン当たり $1 \times 10^{-6}$ 未満であることが好ましい。

40

## 【0044】

最も好ましくは、ガラスセラミックが基板材料として用いられる場合のように、室温、特に摂氏0度～50度の範囲の温度における熱膨張係数が、1ケルビン当たり $0.1 \times 10^{-6}$ 未満である。好ましいガラスセラミックは一般に、Li-Al-siガラスセラミックを含み、室温において特に熱膨張が小さい特に好ましいガラスセラミックとして、シヨット アクチエンゲゼルシャフト（マインツ）からZERODUR（登録商標）の名称で市販されているLi-Al-siガラスセラミックが使用される。

## 【0045】

本発明の範囲は、本発明による鏡体支持体用の基板が設けられた鏡体にも及ぶ。鏡体が

50

収容されている鏡体支持体の特性の以下の説明に関して、「反射面」又は「鏡体」の定義は、例えば1つ又は複数の金属、又は合金等の反射材料の採用を含むことができ、又は代替的に若しくは付加的に、電磁スペクトルの一部のみ又は一部に関して反射するように作用する干渉系の採用も含み得る。

【0046】

鏡体の第1の実施の形態では、金属反射層が基板の面の少なくとも一部に採用されている。

【0047】

鏡体の第2の実施の形態では、第1の実施の形態とは代替的に又はこれに加えて、誘電反射層系又は誘電多層系が、基板の面の少なくとも一部に採用されている。

10

【0048】

一実施の形態では、基板の反射面の少なくとも一部が平坦に形成される。

【0049】

好ましい実施の形態では、基板の反射面の少なくとも一部は平坦ではなく、球形又は非球形に形成され、且つ/又は特にそのような場合、少なくともその反射面の好ましくは別の部分又は同じ部分が特に凸状若しくは凹状であるように平坦ではなく形成され得る。

【0050】

本発明の別の構成では、基板の面、好ましくは反射面の少なくとも一部が平坦ではなく、特に自由な形状で形成され得る。

【0051】

付加的な構成又は同様に代替的な構成では、特に基板の反射面は、回折面構造を含み得る。したがって、鏡体は、その表面、特にその反射面の少なくとも一部が回折面構造を含むことをさらに特徴とする。

20

【0052】

この回折構造は、格子構造、及び/又は好ましくはこの場合ホログラフィック構造、特に画定位相面膨張構造 (defined phase-front-expanding structure) も含み得る。

【0053】

この回折構造は、例えば研削及び/又は研磨した後でリソグラフィエッチングプロセスによって作り出すことができる。

【0054】

さらに、一実施の形態において、基板又は鏡体の表面の少なくとも一部、特にその反射面の一部がフレネル構造を有する場合、本発明の範囲内に含まれる。

30

【0055】

基板は、反射層を成すその表面で完全に閉じられることができる。かなりの機械的強度が提供される。

【0056】

代替的には、基板はまた、反射層を成すその表面に開口、好ましくは中心開口を有していてもよい。

【0057】

機械的強度を高めるために、好ましくはこの中心開口は内縁を有することができ、これによって実質的に閉じて形成される。有利な一実施の形態では、内縁は円形のつなぎ部材によって形成される。好ましくは、円形のつなぎ部材の幅はおよそ3mm~8mm、高さはおよそ10mm~50mm、好ましくは20mm~40mm、最も好ましくはおよそ30mmである。

40

【0058】

ガラスセラミックから成る基板の実施の形態は、機械的強度が高いこと、及び過酷な環境における用途の場合に安定性があることによって、例えば宇宙旅行及び/又は地球外天文学の分野等における地球外用途にも非常に適している。特に、そのような構造形態は、例えば宇宙船のエンジンをかけて急激に揺さぶられるような荷重を受ける(これはまた特に、例えば曲げ振動等の振動、したがって自己共振振動も誘発することにつながる)際に

50

生じる加速力の変化により非常に良好に挙動することができる。

【0059】

しかし、本発明による鏡体は、地球上の用途、特に地球天文学の分野において卓越して好適であり、この理由は、鏡体の軽量化が、それらの機械的保持装置の構造の重量の低減も伴い、また、それらの調整における力の低減も伴うためである。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】くぼみ部を画定する六角形の凹部を有する軽量化した鏡体支持体用の基板の本発明による第1の実施形態の、その底面から斜めに見下ろした部分切り取り断面図である。

【図2】図1に示す基板が3つの保持装置によって持ち上げられている場合、基板固有の自重により生じるたるみを示す図であり、この場合、3つの保持装置は、基板の直径の1/2すなわち半径のおよそ2/3のところと接触しており、一方の図はその上面から斜めに見下ろした部分切り取り断面図であり、他方は上面（すなわち鏡面）の上面図である。

【図3】図1に示す基板の個々の六角形くぼみ部を、側部から斜めに見た、部分切り取り断面図である。

【図4】側部から斜めに見た部分切り取り断面図で示す図3に示す個々のくぼみ部の領域における鏡体板のたるみを示す図である。

【図5】くぼみ部を画定する三角形の凹部が設けられた軽量化した鏡体支持体用の基板の本発明による第2の実施形態の、その底面から斜めに見下ろした部分切り取り断面図である。

【図6】図5に示す基板が3つの保持装置によって持ち上げられている場合、基板固有の自重により生じるたるみを示す図であり、この場合、3つの保持装置は、基板の直径の1/2すなわち半径のおよそ2/3のところと接触しており、一方の図はその上面から斜めに見下ろした部分切り取り断面図であり、他方は上面（すなわち鏡面）の上面図である。

【図7】本発明による第2の実施形態の基板の個々の三角形くぼみ部の領域における鏡体板のたるみを示す、側部から斜めに見た部分切り取り断面図である。

【図8】軽量化した鏡体支持体用の基板の処理ステップを示す図であり、基板の裏面には凹部が形成されており、該凹部はくぼみ部間のつなぎ部材を画定し、少なくとも部分的にT字形の断面を画定する、基底部となる隆起した裏面部材の形態の隆起した裏面構造部を有する。

【発明を実施するための形態】

【0061】

本発明は、好ましい実施形態に基づいて添付の図面を参照して以下で詳細に説明する。

【0062】

以下の詳細な説明では、分かりやすくするために一定の縮尺では描かれていない図面を参照する。

【0063】

まず、図1を参照すると、軽量化した鏡体支持体用の基板の第1の実施形態の部分切り取り断面図が示されており、全体的に参照符号1が付されている。

【0064】

この実施形態では、基板1は、一部品としての中実材料の一枚の円盤から製造されており、したがって、実質的に丸い円盤の形状をした一体構造（モノリシック構造）である。

【0065】

本発明の好ましい実施形態では、基板1は、どの時点においても異なる部分に分離されることはなく、別個の処理ステップ中であっても常に一 부품のままである。

【0066】

図1では底面から示されている基板1は、六角形すなわち八二カム形状のくぼみ部を画定する複数の第1の凹部2、3、4をその裏面に有する。

10

20

30

40

50

## 【0067】

くぼみ部2、3、4とも記載されるこれらの第1の凹部2、3、4間にはつなぎ部材5、6が形成されており、これらのつなぎ部材がくぼみ部2、3、4を互いから分離している。

## 【0068】

六角形のくぼみ部に加えて、さらに、この実施形態では実質的に円形の断面を有する第2の凹部7、8が基板1の裏面に導入されており、第2の凹部7、8は、くぼみ部7、8とも記載することができ、提供される保持装置を取り込むように設けられている。基板1によって画定される鏡体支持体は、後述の使用のためにこの保持装置に導入される。

## 【0069】

第2の凹部7、8は、特に円筒形の鞘のような形状である構造を本質的に有する部材9、10、すなわちつなぎ部材9、10によって囲まれており、これらの部材はおよそ3mm~6mmの幅 $d_{st1}$ を有する。また、円筒形の鞘形状を有するこれらの部材から本質的に星形に突出するつなぎ部材はおよそ3mm~6mmの幅を有する。少なくとも円筒形の鞘形状の部材から第1のくぼみ形状凹部の端部まで星形に突出するつなぎ部材は、およそ3mm~6mmの幅を有する。

## 【0070】

この幅の寸法と対比して、ハニカム形状のくぼみ部2、3及び4間に画定されるつなぎ部材5及び6は、2.5mm以下、好ましくは2mm以下の幅 $t_{hs}$ を有する。これらの寸法は、(横)部材の高さ $h_s$ がおよそ90mmであり、基板の全直径がおよそ700mmである基板に利用されるのが有利である。

## 【0071】

したがって、本発明による鏡体支持体用の基板1において、異なる幅を有するつなぎ部材を使用する。すなわち、ハニカム形状のくぼみ部2、3、4を画定するつなぎ部材の第1の部分は、円筒形の凹部7、8を画定する部材9、10の幅とは異なる幅を有する。

## 【0072】

このように、中実材料と比較して重量をかなり低減する場合でも強度要件を満たすことができるが、これらの要件は、基板1にわたって幅が一定であるつなぎ部材を使用することによっては満たすことができない。

## 【0073】

直径がおよそ700mmであり、高さ $h_{disk}$ が本質的に90mm~120mmであり、残りの鏡体支持体の厚さ $h_{bottom}$ がおよそ4mm~6mm、好ましくは5mmである場合、中実材料の円盤と比較して、全体的に重量を85%超低減することが可能である。

## 【0074】

個々の場合に、例えば1200mmであるより大きい直径の場合、中実材料と比較して、88パーセント超、最大88.5パーセントまで重量を低減することができた。減量の定義に関しては、本明細書の導入部を参照されたい。

## 【0075】

さらに、本発明の範囲内で、つなぎ部材の長さ範囲に沿って変化する幅を有するつなぎ部材も提供することができる。

## 【0076】

好ましくは、円筒形の鞘のような形状の部材9、10から星形に突出するこれらのつなぎ部材は、それらの長さ範囲に沿って変化する幅を有するため、このようにしてそれぞれの局所的な安定性の要件により良く適合する。

## 【0077】

例えば、円筒形の鞘のような形状の部材9、10は、隣接する六角形のくぼみ部のつなぎ部材と合流する接点にかけて広くなるように設計することができ、これらの六角形のくぼみ部のつなぎ部材もこれらの接点の領域において広くすることができ、それによって、例えばこのように基板1に保持力をより良く導入することができる。

10

20

30

40

50

## 【0078】

形状が図1に示す形状と本質的に対応する別の実施形態では、基板の直径  $s$  はおよそ 1200 mm になり、つなぎ部材 4、6 及び部材 9、10 並びに他の(横)部材の高さ  $h_s$  はおよそ 140 mm ~ 150 mm になる。また、この実施形態では、八ニカム形状のくぼみ部のそれぞれのつなぎ部材の幅は、2.5 mm 以下、好ましくは 2 mm 以下であり、円筒形の鞘のような形状の部材 9、10 及びこれらから星形に突出するつなぎ部材の幅はおよそ 3 mm ~ 5 mm になった。

## 【0079】

第1の凹部の多くのもので八ニカム形状にされたそれぞれのくぼみ部は、70 mm ~ 120 mm、好ましくは 80 mm ~ 110 mm、最も好ましくはおよそ 95 mm の対辺距離すなわちスパン幅  $SW$  を有する。

10

## 【0080】

スパン幅の定義をより良く理解するために、図3を参照すると、図1に示される基板1の個々の六角形のくぼみ部(参照符号3)を側部から斜めに見た、部分切り取り断面図が示されている。

## 【0081】

つなぎ部材 5、6 のそれ自体の相補部分が各八ニカム形状のくぼみ部 2、3 及び 4 に割り当てられているので、結果として、つなぎ部材 5、6 の幅の半分のみが各個々のくぼみ形状凹部、すなわち互いに隣接して配置される八ニカム 2、3 及び 4 に割り当てられており、したがって、それぞれが対になってつなぎ部材 5 及び 6 の全幅を画定する。

20

## 【0082】

したがって、スパン幅  $SW$  の寸法の定義において、いずれの場合にも、つなぎ部材 5、6 の幅の半分のみが、基本的に、個々の八ニカム形状のくぼみ部 3 に使用される。

## 【0083】

くぼみ部 3 の開いている裏面端部に配置される隆起した裏面部材 11、12 も図3において見ることができ、これらの隆起した裏面部材は、八ニカム形状のくぼみ部 2、3 及び 4 が互いに隣接して(対で)配置されると本質的にT字形の断面を有し、したがって、基板1から完成した鏡体支持体の安定性にかなり寄与する。

## 【0084】

図3からは、鏡体の反射面として設けられている表面 13 の裏側の材料厚さ、したがって鏡体支持板の厚さすなわち鏡体板の厚さ ( $h_{bottom}$ ) が、少なくともつなぎ部材 5 及び 6 間の領域において実質的に一定であることも非常に良く分かる。

30

## 【0085】

しかし、代替的な構成では、つなぎ部材間の鏡体支持板 13 のこの領域は、放物面となる厚さを辿る、すなわち各つなぎ部材に向かって厚くなってもよく、それによって、各つなぎ部材にさらにより良く力を導入することができる。

## 【0086】

外縁 14 は、円筒形の鞘の形状で本質的に閉じて設計され、円形のつなぎ部材 15 によって形成される。

## 【0087】

縁 14 を画定する円形のつなぎ部材 15 の幅は、直径  $s$  がおよそ 700 mm である第1の実施形態ではおよそ 3 mm ~ 8 mm になり、この場合、この縁の高さ  $h_s$  はおよそ 70 mm ~ 120 mm である。

40

## 【0088】

鏡体板の厚さ ( $h_{bottom}$ ) と合わせたこの縁の高さ  $h_s$  は、円盤形状の一部品の鏡体支持体が、平坦又は凹状又は部分的に凹状である鏡体支持板 13 を有する限り、この支持体の厚さ  $h_{disk}$  である。

## 【0089】

直径  $s$  がおよそ 1200 mm であるこの実施形態のより大きいバージョンでは、円形の縁 15 の高さはおよそ 120 mm ~ 180 mm になり、縁 14 を画定するこの部材の幅

50

はまた、およそ 3 mm ~ 8 mm になる。

【 0 0 9 0 】

円盤形状鏡体支持体 1 の厚さ  $h_{d i s k}$  と基板 1 の直径  $s$  との比は、 $1 : 3 \sim 1 : 10$  の範囲、好ましくは  $1 : 5 \sim 1 : 8$  の範囲にある。最も好ましくは、基板の厚さ  $h_{d i s k}$  と直径  $s$  との比は、 $\pm 15\%$  までのずれを伴っておよそ  $1 : 6$  の範囲にあり、基板 1 がその自重下で驚くほど高い剛性値を有する、すなわちたるみが極めて小さい。

【 0 0 9 1 】

しかし、図 1 に示す鏡体支持体が、円形の断面を有する凹部 7、8 と係合する、鏡体支持体用に提供される保持装置（図示せず）で担持される場合、基板には、その自重により最大およそ  $1 \mu m \sim 3 \mu m$  のみのたるみが生じる。

10

【 0 0 9 2 】

第 2 の凹部 7、8 は、縁 14 から基板半径のおよそ  $1/3$  の距離に、また基板の中心点  $M_s$  から半径の  $2/3$  の距離に配置される。

【 0 0 9 3 】

上述し、また後述する非円筒形の円盤形状又は柱状基板の場合、基板表面の質量中心から平均縁距離までの距離は、半径と見なされる。この場合、平均縁距離は、対称である中心軸線に対して垂直に延びる完全な円にわたって平均化することによって全ての縁距離の平均値となる。

【 0 0 9 4 】

基板 1 のその自重によるたるみを、本質的に形状が同様に变化する表面の形態で図 2 に概略的に示す。

20

【 0 0 9 5 】

図 2 の一方は、図 1 に示す基板 1 においてその自重により生じるたるみを示す、その上面を上方から斜めに見下ろした図である。この図は、自重による鏡体本体のたるみを示す。

【 0 0 9 6 】

図 2 の下方には、鏡体支持板 13 の上面図が示されており、この図から、表面の等しいたるみがこの鏡面にわたってどのように本質的に対称的に分散するかを理解することができる。この図は鏡面のたるみを示す。

【 0 0 9 7 】

30

図 2 に示すたるみすなわち歪みは、いわゆる「等値線プロット」によって示される。各線は、1 つの一定のたるみ値を示す。例えば、図 2 の上方の目盛りは約  $-1.35 \mu m$ （大文字「A」によって示される）から約  $-0.02 \mu m$ （大文字「P」によって示される）の範囲である。より良く理解するために、等値線「B」及び「O」を上方の図に示す。後述の図 4、図 6 及び図 7 にも同じ表現方法を選択する。

【 0 0 9 8 】

たるみの対称性は、図 4 の個々のくぼみ部 3 に関しても良好に認識することができ、図 4 は、図 3 において側部から斜めに見た部分切り取り断面図で示す個々のくぼみ部 3 の領域における鏡体板のたるみを示す。

【 0 0 9 9 】

40

鏡体板 13 の固有の重量による本質的に八二カム形状のくぼみ部 3 の中心のたるみの最大値は、およそ  $12 nm$  に過ぎないという驚くほど小さい最大値になる。

【 0 1 0 0 】

このように、鏡体板 13 の後の処理、例えば研削及び研磨も極めて高精度に行うことができ、これは、後の鏡体の理論的形状からのずれが非常にわずかであることを意味する。

【 0 1 0 1 】

この処理の精密性は、基板 1 の裏面 16 が実質的に平坦であるように設計されていることによりさらに高まり、それによって、基板 1 が処理の際に実質的に平坦な下敷上に配置されたときに、基板 1 は、最小限の歪みしか受けない。

【 0 1 0 2 】

50

別の構成では、基板 1 は、本明細書において示される全ての実施形態において開口 17 を有してもよく、この開口 17 は（基板の）ほぼ中心に配置されるのが好ましく、この場合、内縁 18 によって画定されるのが好ましい。

【0103】

さらに好ましい構成では、この内縁 18 は、実質的に円筒形状の鞘の形に形成された円形の閉じた部材 19 によって形成され、後の鏡体の光学的構成に応じて、その幅はおよそ 3 mm ~ 8 mm になり、その高さはおよそ 10 mm ~ 50 mm、好ましくは 20 mm ~ 40 mm、最も好ましくはおよそ 30 mm になる。

【0104】

そのような開口 17 がない実施形態、すなわち、基板 1 の表面 13 すなわち鏡体支持板 13 の表面全体にわたって閉じている実施形態も、本発明の範囲内にある。そのような実施形態では、部材 19 を省くのが好ましく、開口 17 が本来あるであろう基板 1 の中心領域にも八二カム形状のくぼみ部を配置する。

10

【0105】

以下では図 5 を参照する。図 5 は、軽量化し、くぼみ部を画定する三角形の凹部 2'、3' 及び 4' が設けられた鏡体支持体用の基板 1' の本発明による第 2 の実施形態を、底面側から斜めに見下ろした部分切り取り断面図を示す。

【0106】

本発明によるこの第 2 の実施形態では、図 1 ~ 図 4 に示す本発明による第 1 の実施形態と同じ参照番号が付されており、以下の説明では、本発明による第 2 の実施形態の参照番号に、さらに 1 つの引用符を追加して述べる。本発明による第 1 の実施形態に関して前もって与えられている全ての情報は、以下で別途明記しない限り第 2 の実施形態及びそれぞれの構成要素にも適用可能である。

20

【0107】

また、本発明による第 2 の実施形態では、円盤形状基板 1' の 700 mm 又は 1200 mm という 2 つの直径  $\phi$  を使用するのが好ましい。

【0108】

第 2 の実施形態では、スパン幅 SW を有する六角形八二カム形状の第 1 の凹部 2、3 及び 4 の代わりに、三角形のくぼみ部 2'、3' 及び 4' を、縁の長さ KL によりそれらの寸法を画定し、この場合、図 7 にも示すように、くぼみ形状凹部によって画定されるそれぞれのつなぎ部材 5' 及び 6' の幅の半分のみを基準として使用する。

30

【0109】

三角形のくぼみ部を有するこの第 2 の実施形態では、辺の長さ KL はおよそ 70 mm ~ 210 mm、好ましくは 120 mm ~ 180 mm、最も好ましくはおよそ 140 mm になる。

【0110】

基板 1' の裏面 16' にある隆起した裏面部材 11' 及び 12' を図 7 ではよく認識することができ、これは、例えばくぼみ部 3' 及び 4' の場合のように互いに隣接する三角形のくぼみ部に関して本質的に T 字形の接続断面を基板 1' に画定する。

【0111】

また、本発明によるこれらの実施形態の三角形くぼみ部の場合にも、それらの自重下で驚くほど小さいたるみ値しか生じなかった。

40

【0112】

たるみを判断するために、この実施形態も、八二カム形状のくぼみ部を有する第 1 の実施形態に関して既に説明したような方法で判断した。

【0113】

図 6 は、図 5 に示す基板 1' が 3 つの保持装置によって持ち上げられている場合、基板 1' において生じるたるみを示し、この場合、3 つの保持装置は、半径のおよそ 2/3 のところで基板 1' と接触しているおり、一方の図はその上面から斜めに見下ろした部分切り取り断面図を示す。この図は、鏡体本体のその自重によるたるみを示す。

50

## 【0114】

基板1'の上面13'を上から見た図も図6の下側に示す。この図は、鏡面のたるみを示す。

## 【0115】

また、この第2の実施形態では、最大たるみはわずか $0.5\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ にしかならず、この鏡体支持体1'は極めて機械的に安定であることも示された。

## 【0116】

また、図7に示す個々のくぼみ部3'の場合、鏡体支持板13'のその自重によるたるみは最大でもおよそ $12\text{nm}$ しか生じず、それによって、既に前述した利点を全て達成することができる。

## 【0117】

この第2の実施形態では、前述した基板1'の厚さと直径との有利な比も実現することができる。

## 【0118】

くぼみ形状凹部2、2'、3、3'、4及び4'の製造を説明するために図8を参照するが、この図8は、軽量化した基板1、1'の製造における処理ステップを説明するのに役立つ。

## 【0119】

凹部、特に第1の凹部2、2'、3、3'及び4、4'をまず、一 부품の、したがって一体構造の円形本体の基板1、1'に、好ましくは図8のいくつかの位置に示されている回転工具20を使用することによってその裏面16、16'から導入する。基板1、1'は、好ましくは円盤形状又は柱状の基本形状であるが、柱状又は円盤形状の寸法に加えて、楕円形、矩形、六角形又は八角形の本体であってもよい。

## 【0120】

回転工具20は、円筒形の鞘のような形状であるその外側並びにその前面22及び裏面23の両方に材料を除去するのに好適である砥粒構造物を担持したヘッド21を含む。

## 【0121】

一方で、これらの砥粒構造物は、固定砥粒が設けられた砥石車からなる。

## 【0122】

さらに、より細かく表面処理するために、遊離砥粒でラップ仕上げすることも含み得る。

## 【0123】

くぼみ部2、2'、3、3'及び4、4'並びにこれらの間に配置されるつなぎ部材5、5'及び6、6'をそれぞれこのように本質的にそれらの基本形状から準備した後、これらのくぼみ部の表面から材料をさらに除去するためにエッチング剤でさらに処理することができる。

## 【0124】

このエッチング剤は、特に、基板1、1'がガラス又はガラスセラミックである場合にフッ化水素酸を含むのも好ましい。

## 【0125】

特に好ましくは、エッチング剤は、10体積%超のフッ化水素酸を含む。

## 【0126】

本質的にそのようなエッチング剤を用いて材料を除去する機械的処理であるこの手順に続いて、強度を高めるために、研削又はラップ仕上げにおいて用いられる研磨材によって、くぼみ部の各表面から、その最大直径にわたって少なくとも再度材料を除去することができる。

## 【0127】

つなぎ部材の幅を減らすために、表面の材料のこのさらなる除去は $0.5\text{mm} \sim 4\text{mm}$ にもなり得る。好ましくは、全てのガラス及びガラスセラミック(特に好ましい)を基板1、1'の材料として使用することができる。

10

20

30

40

50

## 【0128】

例えば、摂氏0度～50度の範囲の温度における熱膨張係数が1ケルビン当たり $4 \times 10^{-6}$ 未満であるホウケイ酸ガラスをガラスとして使用することができる。

## 【0129】

使用するのに特に好ましいのは、摂氏0度～50度の範囲における熱膨張係数が $1 \times 10^{-6}$ 未満、通常は1ケルビン当たり $0.5 \times 10^{-6}$ である石英ガラス（溶融石英）である。

## 【0130】

これらのタイプのガラスは、超低膨張ガラスすなわちULEガラスとも称され、例えば米国特許第5,970,751号明細書に記載されている、例えばTiO<sub>2</sub>をドーブした熱膨張係数が低い石英ガラス等のドーブ石英ガラスも含み得る。

10

## 【0131】

しかし、摂氏0度～50度の温度範囲における熱膨張係数が通常は1ケルビン当たり $0.1 \times 10^{-6}$ 未満であるガラスセラミックを使用するのが最も好ましい。

## 【0132】

特に好ましいガラスセラミックは、例えば、独国特許出願公開第1902432号明細書、米国特許第4,851,372号明細書又は独国特許出願公開第102004008824号明細書に記載されているような、例えばショット アクチエンゲゼルシャフト（マインツ）のZERODUR（登録商標）等のLi-Al-Siガラスセラミックを含む。

20

## 【0133】

別の好ましいガラスセラミックのファミリーは、例えば米国特許第5,591,682号明細書に記載されている、クリアセラム（登録商標）の名称で株式会社オハラ（日本）から市販されているものを含む。

## 【0134】

反射層を、鏡体支持体1、1'の表面13、13'の少なくとも一部に、好ましくはこの表面全体にわたって導入することができ、特に表面13、13'に研磨等の適切な処理ステップを繰り返し施した後でこのように製造することができる。

## 【0135】

この反射層は、蒸着又は任意の他の好適な塗布プロセスによって導入される金属層を含んでいてもよく、続いてこの層に、好ましくは金属酸化物誘電体層であるさらに別の層を被覆して保護することができる。

30

## 【0136】

金属反射層とは代替的に、又はこれに加えて、誘電反射層又はさらには誘電反射多層系を導入することができる。

## 【0137】

それぞれの場合に目的とする光学的使用及び用途に応じて、この反射面の一部を平坦に形成するか、又は平坦ではなく、特に球形若しくは非球形に形成することができる。

## 【0138】

このように、凸状、凹状並びに部分的に凸状及び/又は部分的に凹状である表面の幾何学的形状を作り出すことができる。しかし、表面13、13'の形状は、基板1、1'の裏面に凹部を導入した後で、一体構造である基板1、1'の本体から加工されるのが好ましい。

40

## 【0139】

球形及び非球形の形状に加えて、例えば光学的な計算から作り出すことができる自由に形成した表面も本発明の範囲内で使用することができる。

## 【0140】

鏡体に衝突するそれぞれの電磁波の位相面の光膨張にさらに影響を与えるために、反射面13、13'は、例えば収差を補正するために使用することができる回折表面構造をさらに含み得る。

50

【0141】

このために、この回折構造は、格子構造及び/又はホログラフィック構造、特に画定位相面膨張構造を含み得る。

【0142】

凹面鏡又は凸面鏡の形状である場合に、基板1、1'の膨らみを小さくするために、表面13、13'の複数の部分はフレネル構造も含み得る。これは当業者に既知であるため図示しない。

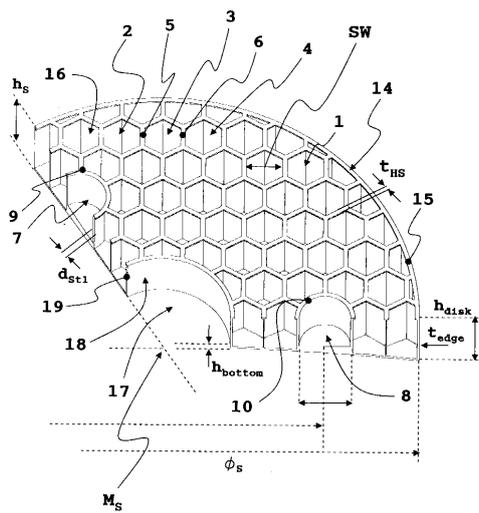
【0143】

回折構造及びフレネル構造を同じ基板1、1'上で組み合わせて使用してもよく、本発明の範囲内にある。

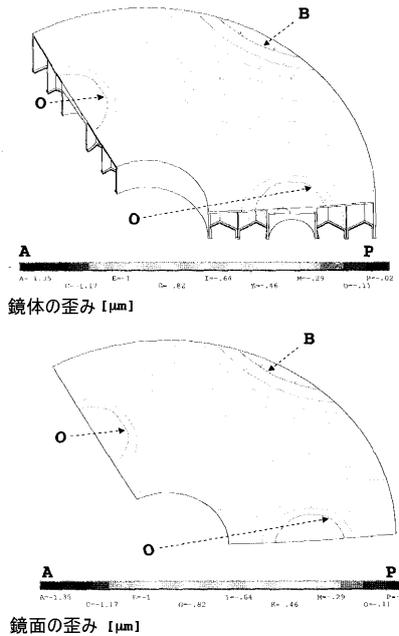
【0144】

本発明は、別々に説明した上記実施形態に限定されず、それぞれ説明した他の実施形態の特徴を有する実施形態も含み、そのため、上記実施形態の例は特徴を限定するためのものではなく、例示に過ぎない。

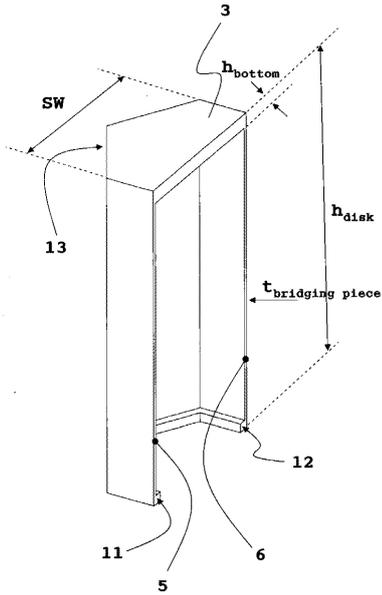
【図1】



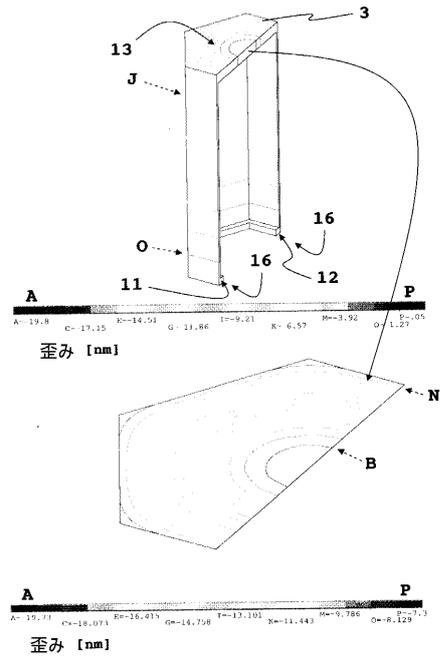
【図2】



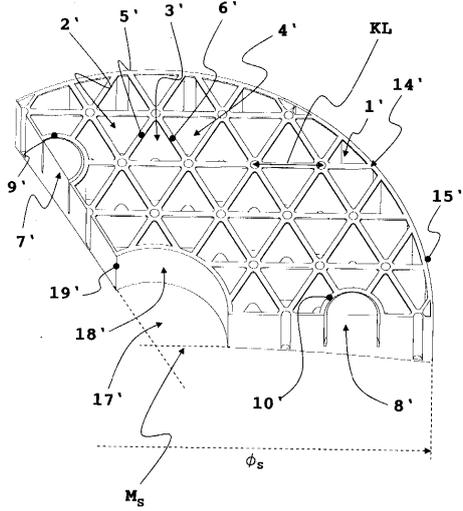
【図3】



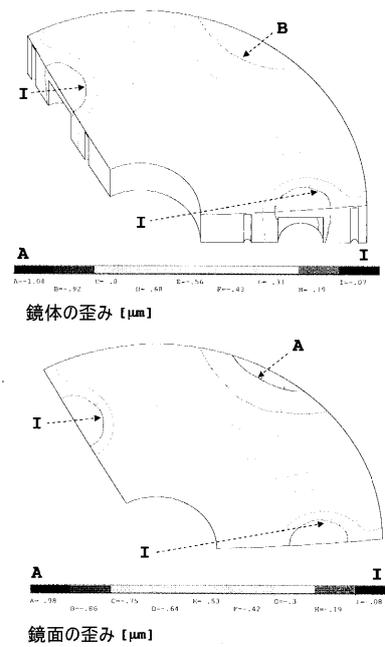
【図4】



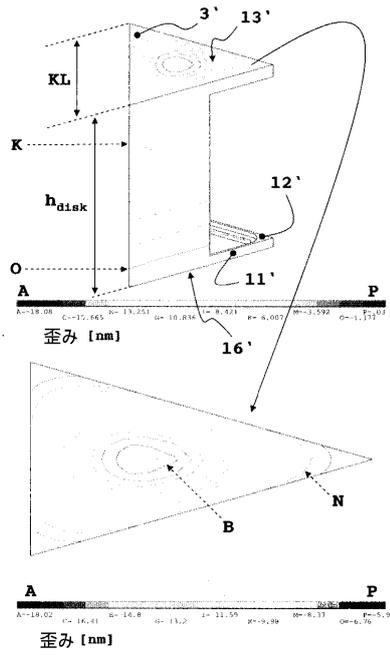
【図5】



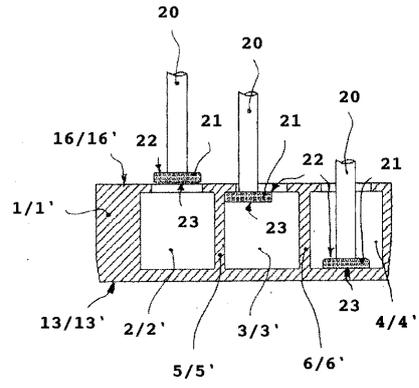
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100106183  
弁理士 吉澤 弘司
- (74)代理人 100120064  
弁理士 松井 孝夫
- (72)発明者 マーチン シェーファー  
ドイツ, 5 5 2 4 6 マインツ - コストハイム, ラウンハイマー シュトラッセ 2 2
- (72)発明者 トーステン ドーリング  
ドイツ, 5 5 1 2 9 マインツ, アルテ マインツァー シュトラッセ 1 1 5
- (72)発明者 フォルカー ザイベルト  
ドイツ, 6 5 2 3 9 ホッホハイム, リーゼロッテ - ヘルマン - ヴェグ 6
- (72)発明者 トマス ヴェスターホフ  
ドイツ, 5 5 1 2 8 マインツ, エッシェンヴェグ 2 7
- (72)発明者 ハンス - ヨアキム ノヴァク  
ドイツ, 5 5 5 4 3 バート - クロイツナハ, コレーレンガルテン 9 3
- Fターム(参考) 2H042 DA12 DA19 DA20 DE09

【外国語明細書】

[Title of The Invention]

**Substrate for a mirror support with reduced weight as well as  
mirror with reduced-weight mirror support**

[Technical Field]

The invention relates to substrates for mirror supports with reduced weight as well as mirrors with reduced-weight mirror supports.

[Background Art]

Substrates for mirror supports with reduced weight as well as mirrors with reduced-weight mirror supports are frequently utilized in extraterrestrial applications, such as in space travel, for example, in order to be free from atmospheric speckle distortions and deformations from observation points remote from earth as well as also to bypass the continually increasing terrestrial light pollution, which has a contrast-reducing effect on observation results as a background source of light in terrestrial astronomy.

Also in terrestrial astronomy, it is advantageous to make available systems with small mass, since, when the mirror is adjusted or when moving objects are tracked, such as in the observation of stellar bodies on their trajectories, the force required for regulating and resetting decreases with the reduced weight of the moved mass.

In addition to the reduced weight, however, the rigidity of the mirror support or its sagging due to the mirror that is accommodated on it becomes very important.

If at first a pure weight reduction by eliminating mass may appear to be a simple and obvious measure, it becomes immediately clear, however, that very high requirements relative to strength and rigidity are placed on the structure

that remains after the elimination of mass.

If one obtains regions of less than half of the original weight, in fact regions of less than two-thirds of the initial weight, then demanding challenges are presented in processing the substrate of the mirror support. This situation becomes particularly more difficult if materials such as glass or glass ceramics are to be finished with high precision.

Various tests have been undertaken to obtain mirror supports with reduced mass and rigidity but which can still be used.

The structure of a mirror support with reduced weight has been produced in which spheres have been assembled with plates in order to obtain in this way a closed rigid structure. The disadvantage of this solution, however, is that such spheres usually have a different thermal expansion behavior than the basic structure of the mirror support, and consequently, with fluctuations in temperature, which are unavoidable in many cases of application, additional deformations may occur. In addition, a high shaping precision cannot be definitively obtained by the hot forming process used in this case.

[Summary of The Invention]

The object of the invention is to provide a substrate, in particular for a mirror support, in which there still remains a high rigidity, despite a reduced weight; this means only a slight sagging after it has been taken up in a holding device provided for it.

This object is accomplished in a surprisingly simple way with a substrate, particularly for a mirror support, with reduced weight, in which recesses are introduced in a surface, preferably in the back side of the substrate, as a result of which, in particular, bridging pieces are defined between the

recesses, which is characterized by the fact that at least a first portion of the bridging pieces has a width that is different than a second portion of the bridging pieces.

This object is also accomplished with a substrate for a mirror support, with reduced weight, in which first recesses and second recesses are introduced in a surface of the substrate, as a result of which bridging pieces are defined between the first recesses and/or between the first recesses and the second recesses, wherein in particular the second recesses define uptakes or bearings for holding devices. The substrate is characterized by the fact that at least a first portion of the bridging pieces which define the first recesses have a width that differs from a second portion of the bridging pieces which define the second recesses.

The mirror is preferably provided by the substrate for a mirror support wherein the upper side of the substrate is at least partially provided with a reflecting surface or a reflecting surface is at least partially formed on the upper side.

The definition of a substrate with reduced weight comprises, for the purpose of this description of the invention, a structural form of the substrate that is lighter in weight than an embodiment with solid material, due to the removal of material, which has been undertaken especially by means of the recesses in the substrate.

The material without this material removal, thus the solid material, essentially preferably comprises disk or column-shaped structural forms of the substrate that are cylindrical, elliptical, rectangular, hexagonal and/or octagonal.

Officially, the percent weight reduction referred to a

disk is defined by the National Space Agency of the Federal Republic of Germany, in which, for example, the influence of a convex surface also enters into the percent weight reduction, which also is in agreement with the above-given definition of weight reduction.

In one embodiment of the invention the recesses, in particular the first recesses and/or the second recesses, are introduced in a back side of the substrate. In a further embodiment of the invention the first portion of the bridging pieces which define the first recesses have a width that is smaller than the second portion of the bridging pieces which define the second recesses and therefore the uptakes.

In one further embodiment the first portion of the bridging pieces which are adjacent to the second portion of the bridging pieces (defining the uptakes) have a width which is larger than the width of the first portion of the bridging pieces which are not adjacent to the second portion of the bridging pieces.

In another preferred embodiment, at least one portion of the bridging pieces has a variable width along their lengthwise extent and can be introduced very effectively with these variable widths into positions with local strength requirements, such as in the vicinity of the uptakes for a holding device provided for the substrate or even in the vicinity of edge regions of the substrate.

In particular the first portion of the bridging pieces which are adjacent to the second portion of the bridging pieces (defining the uptakes) have a decreasing width starting from the uptakes. Preferably, the width of the first portion of the bridging pieces is decreasing continuously in this area. The substrate is reinforced in the areas where the uptakes or

the bearings for the holding devices will be positioned. In detail, those bridging pieces are reinforced which are positioned in the vicinity of the bearings or which are assigned to the uptakes. In this region the bridging bearings own a larger width. First, those bridging pieces which define the second recesses and therefore the bearings for the holding devices have a larger width than those bridging devices which define the first recesses. Second, those bridging pieces which extend from the uptakes as the center to the outside have a decreasing width in direction to the outside. In particular, those bridging pieces extend radially.

It is very advantageous if the recesses, in particular the first recesses, define hexagonal or triangular pockets, since very high strengths and rigidities can be provided thereby. In a first embodiment of the invention, a main portion of the recesses, in particular of the first recesses, is defined essentially by honeycomb-shaped pockets. The main portion of the recesses, in particular the first recesses, in this case, however, does not comprise all recesses at the edge of the substrate and it does not comprise all recesses bounding the support structures, since these recesses are adversely affected in their regularity by pre-given geometric structures at these sites.

With the above-described measures as well as also, in particular, the processing steps described later, it was surprisingly made possible that the weight reduction of the substrate amounted to more than 85%, preferably more than 88%, when compared to the solid material and nevertheless, only a very small sagging of the substrate occurred.

It was of great advantage for glasses and glass ceramics, if an etching agent containing hydrofluoric acid, which

preferably contained more than 10 vol% of hydrofluoric acid, was used for the formation of the pockets, at least in one of the last processing steps. In this way, surfaces of the bridging pieces and thus of the substrate are provided that were particularly resistant to breaking.

In general, however, it was of advantage for glasses and glass ceramics, if the recesses, in particular the first and/or the second recesses, were produced, at least in part, by a chemical removal process, in particular by etching with etching agents containing hydrofluoric acid. The rate of removal could be very precisely adjusted in this way.

Further, the recesses, in particular the first and/or the second recesses, could also be produced advantageously, at least in part, by grinding with bonded abrasive and etching or lapping with loose abrasive and etching.

In a preferred embodiment, with a bridging piece height of approximately 90 mm and with a substrate diameter of approximately 700 mm, the width of the bridging pieces is less than or equal to 2.5 mm, preferably in fact, less than 2 mm.

In another preferred embodiment, with a bridging piece height of 140 to 150 mm and with a substrate diameter of approximately 1200 mm, the width of the bridging pieces amounts to less than or equal to 2.5 mm, preferably in fact, less than 2 mm.

A surprisingly small sagging of the individual pocket could be observed, if, in the case of hexagonal or honeycomb-shaped recesses, , in particular the first recesses, at least one pocket, but preferably several pockets, defines or define a width across of 70 to 120 mm, preferably of 80 to 110 mm, and most preferably, of approximately 95 mm.

In the case of triangular recesses, in particular the

first recesses, a similarly surprisingly good behavior could be observed, if at least one individual pocket, but preferably several pockets, defines or define a side length of 70 to 210 mm, preferably of 120 to 180 mm, and most preferably, of approximately 140 mm.

This reduced sagging of the respective individual [hexagonal] pocket optimizes the polishing behavior, at least in the region of this individual pocket, since a smaller deviation from the theoretical shape of the mirror under mechanical stress or gravitation occurs here. Typical mirror plate thicknesses of 6 to 8 mm will then produce surprisingly small sagging of only up to approximately 12 nm. In the case of triangular pockets, similar surprisingly good conditions result, in which the sagging of the individual pocket also remains less than approximately 12 nm with a mirror plate thickness of 6 to 8 mm.

A further substantial improvement of the mechanical properties results, if the bridging pieces have raised back formations, in particular ground raised back pieces, which define, at least in part, a T-shaped cross section.

It is also advantageous, if the material thickness behind the surface provided for the reflecting surface of the mirror is substantially constant in the regions between the bridging pieces, since, in this way, with minimum weight, the still necessary strength can also be provided in the flat span of the substrate. In this case, a deviation in the material thickness of less than +/- 20 % of material means substantially constant.

At and in the region of the mechanical holding device for the substrate, however, the material thickness is preferably greater, in order to be able to take up the forces that occur essentially without sagging.

However, between the bridging pieces, the bottom can also have a paraboloid shape in an alternative configuration.

In one embodiment of the invention the substrate is characterized by the fact that its back side is formed substantially planar. If the back side of the substrate is formed substantially planar, such a configuration has advantages, since it can serve as a support during the later polishing and the support does not introduce additional bending moments, which could adversely influence the later shape of the mirror.

In one embodiment of the invention the substrate is further characterized by the fact that its outer edge is formed substantially closed. If the outer edge of the substrate is essentially formed closed, this circumstance also contributes considerably to its strength. It is advantageous if its outer edge is formed in this case by a circular bridging piece.

The width of the circular bridging piece defining the edge preferably amounts to approximately 3 to 8 mm and its height is approximately 70 to 120 mm in a first embodiment with an approximately 700 mm diameter, while its height is approximately 120 to 180 mm in a second embodiment with an approximately 1200 mm diameter.

The ratio of the thickness to the diameter of the substrate preferably was in the range of 1:3 to 1:10, preferably lies in the range of 1:5 to 1:8 and most preferably at approximately 1:6 +/- 15%.

With the above-denoted processing steps and the explained features of the substrate, it was achieved that the substrate and thus also the mirror that is later introduced on it has a maximum sagging under its own weight of only approximately 0.5 to 3  $\mu\text{m}$ . Accordingly, the substrate is further characterized

in that the mirror under its own weight has a maximum sagging of approximately 0.5 to 3  $\mu\text{m}$ .

In this case, the substrate was mounted with its largest or main surface approximately horizontal, thus parallel to the bottom at three points, which were introduced at one-third  $\pm$  15% from the edge and thus at approximately 2/3 of the radius or half the diameter of the substrate.

Particular advantages result for the mechanical properties, if the substrate is produced from a single, monolithic block of material, even for extraterrestrial applications.

Considerable advantages further result, if the substrate comprises a material with small thermal expansion or in fact consists of this material. The thermal expansion coefficient for this material at room temperature and particularly in a temperature range from 0 to 50° Celsius preferably lies at less than 4 times  $10^{-6}$  per Kelvin, as is the case, for example, for borosilicate glasses.

In another, particularly preferred embodiment, the thermal expansion coefficient at room temperature and particularly in a temperature range from 0 to 50° Celsius was less than 1 times  $10^{-6}$  per Kelvin, as is the case, for example, for quartz glasses.

Most preferably, the thermal expansion coefficient at room temperature and particularly in a temperature range from 0 to 50° Celsius was less than 0.1 times  $10^{-6}$  per Kelvin, and glass ceramics were used as the substrate material. Preferred glass ceramics in general comprise Li-Al-Si glass ceramics, wherein as particularly preferred glass ceramics with especially small thermal expansion at room temperature, the Li-Al-Si glass ceramics marketed by Schott AG, Mainz under the

name Zerodur were used.

The scope of present invention extends also to a mirror with a substrate for a mirror support according to the invention. For the following description of the properties of the mirror support with mirror accommodated thereon, the definition "reflecting surface" or "mirror" can comprise the introduction of a reflecting material, such as a metal or several metals or alloys or may also alternatively or additionally comprise the introduction of an interference system, which acts in a reflecting manner only in one part or for one part of the electromagnetic spectrum.

In a first embodiment of the mirror, a metal reflecting layer is introduced on at least one part of a surface of the substrate.

In a second embodiment of the mirror, alternatively or in addition to the first embodiment, a dielectric reflecting layer or a reflecting, dielectric multi-layer system is introduced on at least one part of a surface of the substrate.

In one embodiment at least one portion of its reflecting surface is formed planar.

In a preferred embodiment, at least one part of its reflecting surface is nonplanar, and is formed spherical or aspherical, in particular, and/or in such case, can be shaped nonplanar, in particular convex or concave, at least in preferably another part or the same part of its reflecting surface.

In another configuration of the invention, at least one part of its surface, preferably reflecting surface, can be shaped nonplanar and, particularly in a free form.

In an additional or also alternative configuration, in

particular, its reflecting surface may also comprise a diffractive surface structure. Therefore, the mirror is further characterized in that at least one portion of its surface, in particular its reflecting surface, comprises a diffractive surface structure.

This diffractive structure can comprise a lattice structure and/or, preferably in this case also, a holographic structure, in particular a defined phase-front-expanding structure.

This diffractive structure can be produced, for example, by lithographic etching processes after grinding and/or polishing.

Further, it lies within the scope of the invention, if in one embodiment at least one part of the surface of the substrate or the mirror, in particular, a part of its reflecting surface, comprises a Fresnel structure.

The substrate can be closed completely at its surface taking up the reflecting layer. Considerably mechanical strength will be provided.

Alternatively, the substrate can also have an opening, preferably a central opening, at its surface taking up the reflecting layer

In order to increase the mechanical strength, this preferably central opening may have an inner edge, which is then formed substantially closed. In one advantageous embodiment the inner edge is formed by a circular bridging piece. Preferably, the width of which is approximately 3 to 8 mm and the height of which is approximately 10 to 50 mm, preferably 20 to 40 mm, and most preferably approximately 30 mm.

Due to the high mechanical strength, as well as its

suitability for harsh application, embodiments with substrates made of glass ceramics are also very well suitable for extraterrestrial applications, such as, for example, in the field of space travel and/or extraterrestrial astronomy. In particular, such structural forms can behave very well with changes in acceleration forces, such as occur, e.g., in starting up a space vehicle and exercise jolting loads, which also particularly lead to inducing vibrations, such as, for example, bending vibrations, and thus also self-resonance oscillations.

The mirrors according to the invention are also excellently suitable, however, for terrestrial applications, in particular, in the field of terrestrial astronomy, since their low weight is accompanied by reductions in weight also in the construction of their mechanical holding devices, as well as reduced forces in their adjustment.

[Brief Description of the Drawings]

Figure 1 shows a cross-sectional view, shown partially cut away, of a first embodiment according to the invention, of a substrate for a mirror support with reduced weight with hexagonal recesses defining pockets, from its bottom side in an oblique view looking down on it,

Figure 2 shows the sagging occurring in the substrate shown in Figure 1 under its own intrinsic weight, if it is taken up by three holding devices, which come in contact with the substrate approximately at two-thirds of the radius or one-half of the diameter of the substrate, on the one hand, from its upper side in an oblique view looking down on it, shown in a cross-sectional view which is partially cut away, as well as in a top view of the upper side [of the mirror surface],

Figure 3 shows an individual hexagonal pocket of the

substrate shown in Figure 1 in a cross-sectional view shown partially cut away, obliquely from the side,

Figure 4 shows the sagging of the mirror plate in the region of the individual pocket shown in Figure 3 in a cross-sectional view shown partially cut away, obliquely from the side,

Figure 5 shows a cross-sectional view shown partially cut away of a second embodiment according to the invention of a substrate for a mirror support with reduced weight with triangular recesses defining pockets, from its bottom side in an oblique view looking down on it,

Figure 6 shows the sagging occurring in the substrate shown in Figure 5 under its own intrinsic weight, if it is taken up by three holding devices, which come in contact with the substrate approximately at two-thirds of the radius or one-half of the diameter of the substrate, on the one hand, from its upper side in an oblique view looking down on it, shown in a cross-sectional view which is partially cut away, as well as in a top view of the upper side [of the mirror surface].

Figure 7 shows the sagging of the mirror plate in the region of an individual triangular pocket of the substrate of the second embodiment according to the invention in a cross-sectional view shown partially cut away, obliquely from the side,

Figure 8 shows processing steps on a substrate for a mirror support with reduced weight, in which recesses are produced in the back side of the substrate, which define bridging pieces between the pockets, which have raised back formations in the form of ground raised back pieces, which define, at least in part, a T-shaped cross section.

[Configuration to Work The Invention]

### Detailed description of preferred embodiments

The invention is described in detail below on the basis of preferred embodiments and with reference to the appended drawings.

In the following detailed description, reference is made to the drawings, which are shown not to scale, but are presented for clarity.

First, reference is made to Figure 1, which shows a partially cut-away cross-sectional view of a first embodiment of a substrate for a mirror support with reduced weight, which is provided overall with the reference number 1.

In this embodiment, substrate 1 is produced from a single disk of solid material, which was present in one piece, thus monolithic, in the form of a substantially round disk.

In the preferred embodiments of this invention, substrate 1 will at no point in time be separated into different pieces, but will remain always in one piece even during the individual processing steps.

Substrate 1, which is shown in Figure 1 from the bottom side has a plurality of first recesses 2, 3, 4 on its back side, which define hexagonal or honeycomb-shaped pockets.

Bridging pieces 5, 6 are formed between these first recesses 2, 3, 4, which are also described as pockets 2, 3, 4, and these bridging pieces separate pockets 2, 3, 4 from one another.

In addition to the hexagonal pockets 5, 6, additional second recesses 7, 8 which can be also described as pockets 7, 8 with in this embodiment substantially circular cross section are also introduced in the back side of substrate 1, and are

provided to take up the provided holding devices, at which the mirror support defined by substrate 1 is to be introduced for later use.

Second recesses 7, 8 are surrounded by pieces 9, 10 or bridging pieces 9, 10, in particular with essentially a configuration that is shaped like a cylindrical sheath, and these pieces have a width  $d_{st1}$  of approximately 3 to 6 mm. Also, the essentially star-shaped bridging pieces, projecting out from the pieces with the cylindrical sheath form, have a width of approximately 3 to 6 mm. The star-shaped projecting bridging pieces, at least from the pieces with the cylindrical sheath shape up to the end of the first pocket-shaped recess, have this width of approximately 3 to 6 mm.

In contrast to this width measurement, the bridging pieces 5 and 6 defined between the honeycomb-shaped pockets 2, 3 and 4 have a width of  $t_{HS}$  of less than or equal to 2.5 mm, preferably less than or equal to 2 mm. These dimensions are advantageously utilized for substrates with a height  $h_s$  of approximately 90 mm for the (cross)pieces and a total diameter of the substrate of approximately 700 mm.

Therefore, bridging pieces with different widths are used in substrate 1 according to the invention for a mirror support, namely the first portion of the bridging pieces, which define the honeycomb-shaped pockets 2, 3, 4, have a width that is different than that of the pieces 9, 10 defining the cylindrical recesses 7, 8.

In this way, the strength requirements can be fulfilled for a considerably reduced weight when compared with the solid material, but these requirements could not be fulfilled with the use of bridging pieces with a constant width over substrate 1.

Overall it is possible to obtain a weight reduction of more than 85 percent, when compared with a disk of solid material with an approximately 700 mm diameter essentially of height  $h_{\text{disk}}$  of 90 to 120 mm and a remaining mirror support plate thickness  $h_{\text{bottom}}$  of approximately 4 to 6 mm, preferably 5 mm.

In the individual case, with larger diameters, for example 1200 mm, weight reductions of more than 88 per cent, of up to 88.5 per cent, were achieved in comparison to the solid material. For the definition of weight reduction, refer to the introductory part of this Description.

Further, within the scope of the invention, bridging pieces with a width that varies along their lengthwise extent can also be provided.

Preferably, those bridging pieces that project out in star form from the pieces 9, 10 shaped like cylinder sheaths, have a width that varies along their lengthwise extent, in order to better conform to the respective local requirements for stability in this way.

For example, the pieces 9, 10 shaped like cylinder sheaths can be designed wider up to those contact points at which the bridging pieces of the adjoining hexagonal pockets meet up with them, and the bridging pieces of these hexagonal pockets can also be wider in the region of these contact points, in order to be able to better introduce holding forces in substrate 1, for example, in this way.

In another embodiment, which in its shape essentially corresponds to the one shown in Figure 1, the diameter  $\varphi_s$  of the substrate amounted to approximately 1200 mm and the height of bridging pieces 4, 6 as well as pieces 9, 10 and other (cross)pieces  $h_s$  amounted to approximately 140 to 150 mm. Also, in this embodiment, the width of the respective bridging pieces

of the honeycomb-shaped pockets was less than or equal to 2.5 mm, preferably less than or equal to 2 mm, and the width of the pieces 9, 10 shaped like cylinder sheaths and of the star-shaped bridging pieces projecting out from these amounted to approximately 3 to 5 mm.

The respective pockets, which were shaped as honeycombs for most of the first recesses, have a width across or span width SW of 70 to 120 mm, preferably of 80 to 110 mm, and most preferably of approximately 95 mm.

For a better understanding of the definition of the span width, refer to Figure 3, which shows, obliquely from the side, an individual hexagonal pocket of the substrate 1 shown in Figure 1 with the reference number 3 in a partially cut-away cross-sectional view.

Since its own complement of bridging pieces 5, 6 is assigned to each honeycomb-shaped pocket 2, 3 and 4, consequently, only half of the width of bridging pieces 5, 6 is assigned to each individual pocket-shaped recess, the honeycombs 2, 3 and 4 disposed next to one another, in each pair, then first define the total width of bridging pieces 5 and 6.

Consequently, in the definition of the size of the span width SW, in each case, only half of the width of bridging pieces 5, 6 is used for the basis for the individual honeycomb-shaped pocket 3.

The raised back pieces 11, 12 which are arranged on the open back ends of pocket 3 also can be well seen in the representation of Figure 3, and these raised back pieces have an essentially T-shaped cross section, if the honeycomb-shaped pockets 2, 3 and 4 are disposed [in pairs] next to one another, and thus contribute considerably to the stability of the mirror support finished from substrate 1.

It can also be very well seen from Figure 3 that the material thickness behind the surface 13 provided for the reflecting surface of the mirror, thus the mirror support plate thickness or the mirror plate thickness ( $h_{\text{bottom}}$ ) is substantially constant, at least in the regions between the bridging pieces 5 and 6.

In an alternative configuration, this region of the mirror support plate 13 between the bridging pieces, however, also can have a paraboloid thickness course or a thickening toward the respective bridging pieces, in order to still better introduce forces into the respective bridging pieces.

The outer edge 14 is essentially designed closed in the form of a cylindrical sheath and is formed by a circular bridging piece 15.

The width of the circular bridging piece 15 defining the edge 14 amounts to approximately 3 to 8 mm in the first embodiment with a diameter  $\varphi_s$  of approximately 700 mm, whereby the height of this edge  $h_s$  then lies at approximately 70 to 120 mm.

The height of this edge  $h_s$ , together with the mirror plate thickness ( $h_{\text{bottom}}$ ), gives the thickness of the disk-shaped, one-piece mirror support  $h_{\text{disk}}$  as long as this support has a planar or concave or partially concave mirror support plate 13.

In the larger version of this embodiment with an approximately 1200 mm diameter  $\varphi_s$ , the height of the circular edge 15 amounts to approximately 120 to 180 mm and the width of the piece defining edge 14 also amounts to approximately 3 to 8 mm.

The ratio of the thickness  $h_{\text{disk}}$  of disk-shaped mirror support 1 to the diameter  $\varphi_s$  of substrate 1 lies in the range

of 1-3 to 1-10, preferably in the range of 1-5 to 1-8.

Most preferred, the ratio of the thickness  $h_{\text{disk}}$  to the diameter  $\varphi_s$  of the substrate lies approximately in the range of 1 to 6, with a deviation of up to +/- 15% and supplies surprisingly high values of rigidity or extremely small sagging of substrate 1 under its own weight.

If the mirror support shown in Figure 1 was taken up in the holding devices provided for it, which are not shown in the figures, however, and which engage in recesses 7, 8 with circular cross section, then a maximum sagging of approximately only 1 to 3  $\mu\text{m}$  resulted for the substrate under its own weight.

The second recesses 7, 8 are disposed at a distance to edge 14 of approximately one-third of the substrate radius and at a distance from central point  $M_s$  of the substrate of two-thirds of the radius.

In the case of the non-cylindrical disk-shaped or column-shaped substrates that are mentioned above and later on, the distance from the surface center of mass of the substrate to an average edge distance is then viewed as the radius. The average edge distance then results as the mean value of all edge distances by averaging over a complete circle which extends perpendicularly to the central axis of symmetry.

The sagging of substrate 1 under its own weight is shown graphically in Figure 2 in the form of surfaces with essentially the same change in shape.

Figure 2 shows the sagging that occurs in substrate 1 shown in Figure 1 under its own weight, on the one hand, from its upper side, on the top, in an oblique view looking down on it. This figure illustrates the sagging of the mirror body under its own weight.

On the bottom in Figure 2 is shown a top view onto the mirror support plate 13, from which one can well discern how the surfaces of equal sagging are distributed essentially symmetrically over this mirror surface. This figure illustrates the sagging of the mirror surface.

The sagging or deformation shown in figure 2 is illustrated by a so-called "iso-line-plot". Each line represents one constant sagging value. For example, the scale of top figure 2 ranges from about  $-1,35 \mu\text{m}$  (represented by capital letter "A") to about  $-0,02 \mu\text{m}$  (represented by capital letter "P"). For a better understanding the iso-lines "B" and "O" are indicated in the top graph. The same way of presentation is chosen for subsequently described figures 4, 6 and 7.

The symmetry of the sagging can also be well recognized for the individual pocket 3 in Figure 4, which shows the sagging of the mirror plate in the region of the individual pocket 3 shown in Figure 3 in a partially cut-away cross-sectional view, obliquely from the side.

The maximum value of this sagging, which essentially lies in the center of the honeycomb-shaped pocket 3, under the intrinsic weight of mirror plate 13, amounts to the surprisingly small maximum value of approximately only 12 nm.

In this way, an extremely high precision can also be achieved for the later processing, e.g., for grinding and polishing mirror plate 13, and this means very slight deviations from the theoretical shape of the later mirror.

This processing precision is further increased due to the fact that the back side 16 of substrate 1 is designed substantially planar, so that substrate 1, if it is disposed on a substantially planar underlay for processing, experiences only the smallest deformations.

In another configuration, substrate 1 may also have an opening 17, for all embodiments presented in this description, which is preferably disposed approximately in the center [of the substrate] and which is preferably defined by an inner edge 18 in this case.

In a preferred further configuration, this inner edge 18 is formed by a circular, closed piece 19 substantially shaped as a cylindrical sheath, whose width amounts to approximately 3 to 8 mm and whose height amounts to approximately 10 to 50 mm, preferably 20 to 40 mm and most preferably approximately 30 mm, depending on the optical configuration of the later mirror.

Embodiments without such an opening 17, in which the front side 13 of substrate 1 or mirror support plate 13 is closed over the entire surface, also lie within the scope of the invention. In such embodiments, piece 19 is preferably omitted and honeycomb-shaped pockets are also disposed in the central region of substrate 1, where opening 17 otherwise would be found.

Reference is made below to Figure 5, which shows a cross-sectional view partially cut-away of a second embodiment according to the invention of a substrate 1' for a mirror support with reduced weight, but with triangular recesses 2', 3' and 4' defining pockets, shown from its bottom side, in an oblique view looking down on it.

This second embodiment according to the invention is provided with the same reference numbers as the first embodiment according to the invention which is shown in Figures 1 to 4, in the following description, whereby the reference numbers of the second embodiment according to the invention are additionally characterized by a single quote mark. All

information given previously relative to the first embodiment according to the invention is also applicable to the second embodiment and its respective components, as long as it is not explicitly specified otherwise below.

Also, in this second embodiment according to the invention, two diameters  $\varphi_s$  of the disk-shaped substrate 1' of 700 mm or 1200 mm are preferably used.

Instead of hexagonal honeycomb-shaped first recesses 2, 3 and 4 with a span width SW, in the second embodiment, the triangular pockets 2', 3' and 4' are defined in their size by an edge length KL, in which, as also shown in Figure 7, only half of the width of the respective bridging pieces 5' and 6' defined by the pocket-shaped recess is used as the basis.

In this second embodiment with triangular pockets, a side length KL amounts to approximately 70 to 210 mm, preferably 120 to 180 mm, and most preferably approximately 140 mm.

Raised back pieces 11' und 12' can be well recognized in Figure 7 on the back side 16' of substrate 1', which define an essentially T-shaped connection cross section in substrate 1' for triangular pockets that are adjacent to one another, for example in the case of pockets 3' and 4'.

Surprisingly small values of sagging under their own weight also result with triangular pockets for these embodiments according to the invention.

In order to determine the sagging, this embodiment was held in the way that has already been described for the first embodiment with honeycomb-shaped pockets.

Figure 6 shows the sagging occurring in the substrate 1' shown in Figure 5, if it is taken up on three holding devices, which come into contact with substrate 1' approximately at two-thirds

of the radius, on the one hand, shown from its upper side on the top, in an oblique view looking down on it, onto a cross-sectional view that is shown partially cut-away. This figure illustrates the sagging of the mirror body under its own weight.

A top view onto the top side 13' of substrate 1' is also shown in Figure 6 on the bottom. This figure illustrates the sagging of the mirror surface.

Also, in this second embodiment, the maximum sagging amounted to only 0.5 to 3  $\mu\text{m}$  and this mirror support 1' was also shown to be extremely mechanically stable.

Also, for the individual pocket 3' shown in Figure 7, a sagging of mirror support plate 13' under its own weight of a maximum of only approximately 12 nm resulted, having all of the advantages that can be achieved thereby and which have already been described above.

In this second embodiment, the advantageous ratios of thickness to diameter of substrate 1', which have been described above, are also realized.

For an explanation of the production of the pocket-shaped recesses 2, 2', 3, 3', 4 and 4', refer to Figure 8, which will help explain the processing steps in the production of a substrate 1, 1' with reduced weight.

Recesses, in particular first recesses 2, 2', 3, 3' and 4, 4', are first introduced into the one-piece, thus monolithic round body of substrate 1, 1', which is preferably a disk-shaped or column-shaped basic form that can also have an elliptical, rectangular, hexagonal or octagonal, body, in addition to column-shaped or disk-shaped dimensions, from its back side 16, 16', preferably employing a rotating tool 20, which is shown in Figure 8 in several positions.

Rotating tool 20 comprises a head 21 which bears abrasive structures that are suitable for removing material on both its outer side shaped as a cylindrical sheath as well as on its front and back surfaces 22 and 23.

These abrasive structures, on the one hand, comprise grinding wheels with bonded abrasive.

The further, finer surface processing can also comprise lapping with loosely applied abrasive.

After each of pockets 2, 2', 3, 3' as well as 4, 4' and the bridging pieces 5, 5' as well as 6, 6' disposed between them have been prepared in this way essentially from their basic form, these pockets can be treated with an etching agent for further removal of the surface.

This etching agent in particular also preferably comprises hydrofluoric acid in the case of glasses or glass-ceramic substrates 1, 1'.

In a particularly preferred manner, the etching agent comprises more than 10 vol% of hydrofluoric acid.

Subsequent to this procedure, which is essentially mechanical processing for removing material with such an etching agent, in order to increase strength, the abrasive used in the grinding or lapping can then remove material from the respective surface of the pocket, at least once more up to its maximum diameter.

In order to reduce the width of the bridging piece, this further removal of the surface can also amount to 0.5 to 4 mm. Preferably, all glasses as well as also glass ceramics, which are particularly preferred, can be used as materials for substrate 1, 1'.

For example, borosilicate glasses with a thermal

expansion coefficient of less than  $4 \times 10^{-6}$  per Kelvin in a temperature range from 0 to 50 degrees Celsius can be used as glasses.

Particularly preferred for use are quartz glasses (fused silica) with a thermal expansion coefficient of less than  $1 \times 10^{-6}$  per Kelvin, typically  $0.5 \times 10^{-6}$  per Kelvin, in a range from 0 to 50 degrees Celsius.

These types of glasses can also comprise doped quartz glasses, for example, quartz glasses doped with  $\text{TiO}_2$  with a low thermal expansion coefficient, which are also called ultra low expansion or ULE glasses and are described by way of example in US 5,970,751.

Most preferably used, however, are glass ceramics that usually have a thermal expansion coefficient of less than  $0.1 \times 10^{-6}$  per Kelvin in a temperature range of 0 to 50 degrees Celsius.

Particularly preferred glass ceramics comprise Li-Al-Si glass ceramics, such as, for example, Zerodur of Schott AG, Mainz, as these are described, for example, in DE 1 902 432, US 4,851,372 or also DE 10 2004 008 824 A1.

Another preferred family of glass ceramics comprises those from Kabushiki Kaisha Ohara, Japan, marketed under the name Clear Ceram, which are described, for example, in US 5,591,682 B1.

A reflecting layer can be introduced on surface 13, 13', at least on one part, but preferably over the entire surface, on mirror support 1, 1' which is produced in this way, in particular, after the surface 13, 13' has undergone repeated appropriate processing steps, such as polishing.

This reflecting layer can comprise a metal layer

introduced by vapor deposition or any other suitable application process, and this layer can be coated subsequently with yet another layer that is preferably a metal oxide dielectric layer, for its protection.

Alternatively or additionally to the metal reflecting layer, a dielectric reflecting layer or even a reflecting, dielectric multi-layer system can be introduced.

Depending on the optical use and application objective each time, a portion of this reflecting surface can be formed planar or the surface can be formed non-planar, in particular, spherical or aspherical.

In this way, both convex, concave as well as partially convex and/or partially concave surface geometries can be produced. The form of surface 13, 13', however, can preferably be processed from the monolithic basic body of substrate 1, 1' after the recesses on the back side have been introduced in it.

In addition to spherical and aspherical forms, freely formed surfaces, as can be produced, for example, from optical calculations, can also be used within the scope of the invention.

In order to further influence the optical expansion of the phase front of the respective electromagnetic waves striking the mirror, the reflecting surface 13, 13' can additionally comprise a diffractive surface structure, as can be used, for example, for correcting aberrations.

For this purpose, the diffractive structure can comprise a lattice structure and/or a holographic structure, in particular a defined phase-front-expanding structure.

In order to achieve smaller bulging of substrate 1, 1' in the case of concave or convex mirror shapes, sections of surface

13, 13' can also comprise Fresnel structures, as are well known to the person skilled in the art and consequently are not shown in the figures.

Diffraction and Fresnel structures can also be used in combination and on the same substrate 1, 1' within the scope of the invention.

The invention is not limited to the above-described embodiments which have been described individually, but also comprises embodiments with features from other described embodiments in each case, so that the above-described embodiment examples do not have a limiting character, but rather a purely explanatory one.

1. A substrate for a mirror support, with reduced weight, in which first recesses and second recesses are introduced in a surface of the substrate, as a result of which bridging pieces are defined between the first recesses and between the first recesses and the second recesses, wherein the second recesses define uptakes for holding devices,

which is characterized by the fact

that at least a first portion of the bridging pieces which define the first recesses have a width that differs from a second portion of the bridging pieces which define the second recesses.

2. The substrate according to claim 1, which is further characterized in that the first recesses and the second recesses are introduced in a back side of the substrate.

3. The substrate according to claim 1 or 2, which is further characterized in that the first portion of the bridging pieces which define the first recesses have a width that is smaller than the second portion of the bridging pieces which define the second recesses.

4. The substrate according to claim 1, 2 or 3 which is further characterized in that at least one portion of the bridging pieces has a variable width along their lengthwise extent.

5. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized in that the first portion of the bridging pieces which are adjacent to the second portion of the bridging pieces defining the uptakes have a decreasing width starting from the uptakes.

6. The substrate according to one of the preceding claims, which

is further characterized in that the first recesses define hexagonal or triangular pockets.

7. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized in that a majority of the first recesses are essentially defined by honeycomb-shaped pockets.

8. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that its weight reduction amounts to more than 85%, preferably more than 88%, when compared with the solid material.

9. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that the width of the bridging pieces amounts to less than or equal to 2.5 mm, preferably less than or equal to 2 mm, at a bridging piece height of approximately 90 mm and with a substrate diameter of approximately 700 mm.

10. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that the width of the bridging pieces is less than or equal to 2.5 mm, preferably less than or equal to 2 mm, at a bridging piece height of 140 to 150 mm and with a substrate diameter of approximately 1200 mm.

11. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized in that, in the case of hexagonal, thus honeycomb-shaped first recesses, at least one pocket, but preferably several pockets, defines or define a span width of 70 to 120 mm, preferably of 80 to 110 mm, and most preferably, of approximately 95 mm.

12. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that in the case of triangular first recesses, at least one pocket, but preferably several pockets, defines or define a side length of 70 to 210

mm, preferably of 120 to 180 mm, and most preferably, of approximately 140 mm.

13. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that the bridging pieces have raised back formations, particularly ground raised back pieces, which define, at least in part, a T-shaped cross section.

14. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that the material thickness behind the surface provided for the reflecting surface of the mirror is essentially constant in the regions between the bridging pieces.

15. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized in that its outer edge is formed by a circular bridging piece.

16. The substrate according to claim 15, in which the width of the circular bridging piece defining the edge is approximately 3 to 8 mm and its height is approximately 70 to 120 mm in the case of a first embodiment with an approximately 700 mm diameter, while in a second embodiment with an approximately 1200 mm diameter, its height amounts to approximately 120 to 180 mm.

17. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that the ratio of the thickness to the diameter of the substrate lies in the range of 1:3 to 1:10, preferably in the range of 1:5 to 1:8 and most preferably amounts to approximately 1:6 +/- 15%.

18. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that it is especially produced from a single, monolithic block of material for extraterrestrial applications.

19. The substrate according to one of the preceding claims, which is further characterized by the fact that it comprises a material with small thermal expansion, in which, at room temperature and preferably in a temperature range of 0 to 50° Celsius, the thermal expansion coefficient is smaller than 4 times  $10^{-6}$  per Kelvin (borosilicate glasses), is preferably smaller than 1 times  $10^{-6}$  per Kelvin (quartz glasses), and most preferably is smaller than 0.1 times  $10^{-6}$  per Kelvin (glass ceramics).

20. The substrate according to claim 19, which is further characterized in that the material with smaller thermal expansion comprises a glass-ceramic material, in particular a Li-Al-Si glass-ceramic material.

21. A mirror with a substrate for a mirror support according to one of claims 1 to 20.

22. Use of a substrate with the features of one of the claims from 1 to 20 or of a mirror with the features of claim 21 for terrestrial observations and/or in the field of terrestrial astronomy and/or for extraterrestrial observations and/or in the field of space travel and/or extraterrestrial astronomy.

[Abstract]

An object of the invention is to provide a substrate for a mirror support, in which there still remains a high rigidity, despite a reduced weight.

In a substrate, particularly in a substrate for a mirror support, in which recesses are introduced in one surface, preferably in the back side of the substrate, as a result of which, in particular, bridging pieces are defined between the recesses, in order to achieve the situation that despite a reduced weight, a high rigidity still remains, which means only a slight sagging after its correct uptake in a holding device provided for it, it is provided that at least one first portion of the bridging pieces has a width that is different than a second portion of the bridging pieces.

[Representative Drawing]

Fig. 1

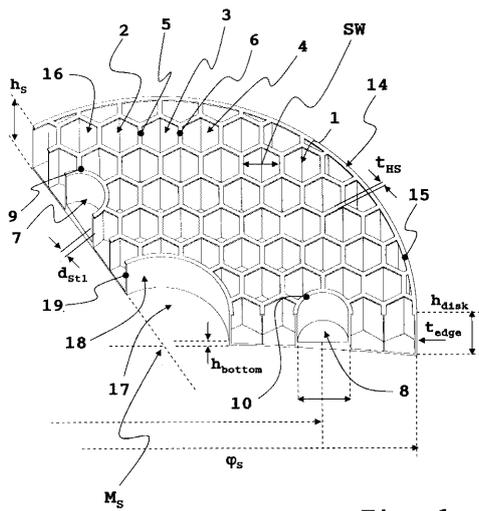


Fig. 1

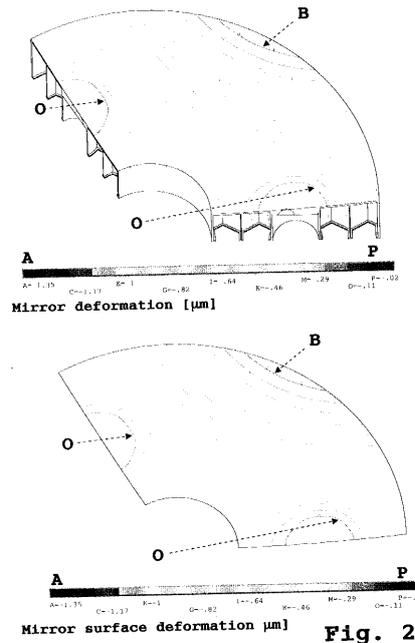
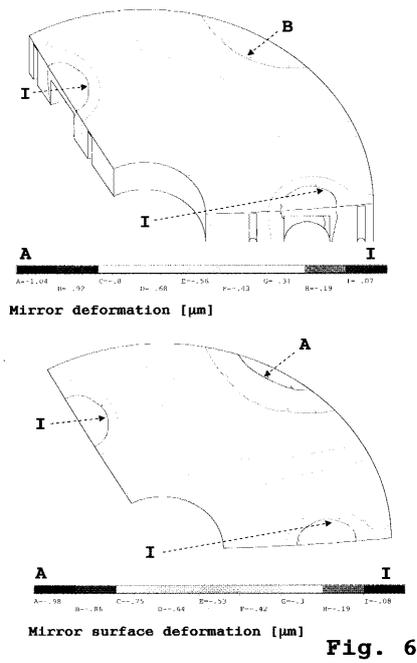
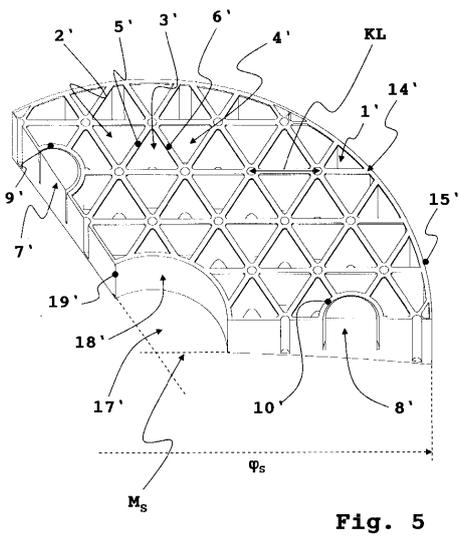
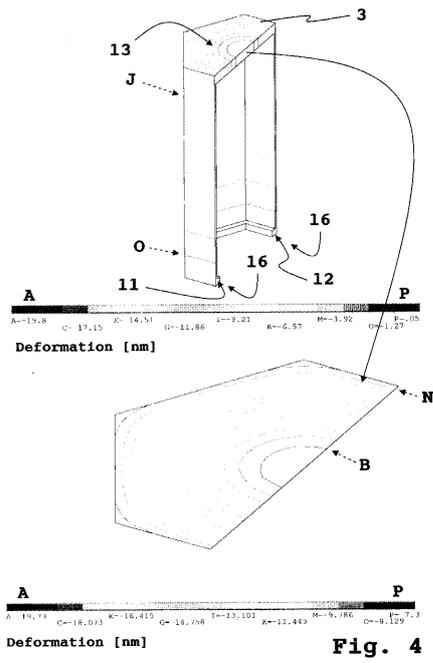
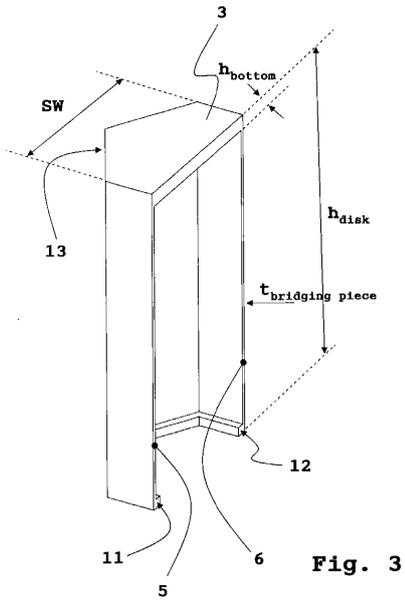


Fig. 2



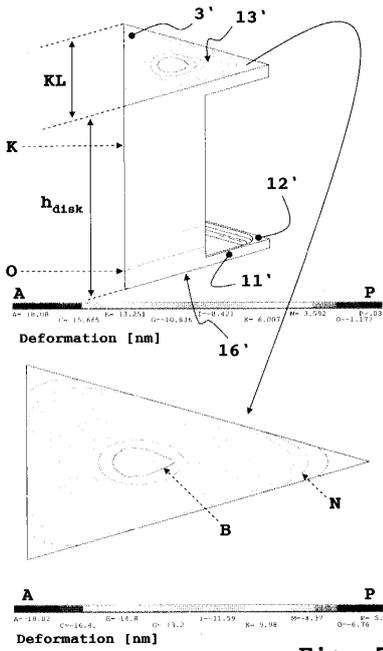


Fig. 7

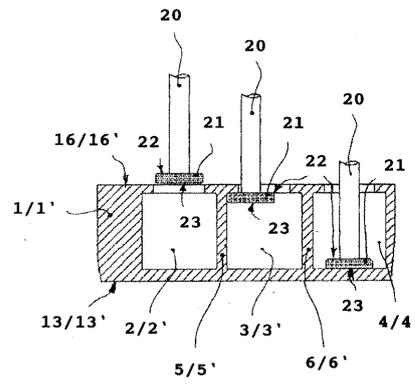


Fig. 8