

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3259029号
(P3259029)

(45)発行日 平成14年2月18日(2002.2.18)

(24)登録日 平成13年12月14日(2001.12.14)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 2 B 5/10

G 0 2 B 5/10

C

B 2 3 P 13/00

B 2 3 P 13/00

請求項の数7(全 5 頁)

(21)出願番号 特願平10-281058
(22)出願日 平成10年10月2日(1998.10.2)
(65)公開番号 特開2000-111719(P2000-111719A)
(43)公開日 平成12年4月21日(2000.4.21)
審査請求日 平成10年10月2日(1998.10.2)
審判番号 不服2000-6281(P2000-6281/J1)
審判請求日 平成12年4月27日(2000.4.27)

(73)特許権者 391012394
東北大学長
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号
(72)発明者 鈴木 章二
宮城県仙台市泉区加茂1丁目15番地の6
(74)代理人 100058479
弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

合議体
審判長 高橋 美実
審判官 伊藤 昌哉
審判官 綿貫 章

(56)参考文献 特開 昭51-26552 (J P, A)
特開 昭51-26553 (J P, A)
特開 昭51-26554 (J P, A)
特開 昭59-63599 (J P, A)

(54)【発明の名称】 不等厚断面形状部材を曲げ非球面を形成する方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 幅が一定で長手方向に厚さが所望の値で変化するが一方の端部の部材固定部分は一定厚とした不等厚断面形状部材を形成するステップと、前記部材固定部分を支持部材に挟み込んで固定するステップと、前記不等厚断面形状部材の表面が所定の曲面形状になるようにもう一方の端部を加圧して前記不等厚断面形状部材を湾曲させるステップとを具備することを特徴とする曲面形成方法。

【請求項2】 前記不等厚断面形状部材を形成するステップは、材料基板の第1の面を平面に加工するステップと、前記材料基板の長手方向に所定の厚さの変化をつけるように、前記材料基板の第2の面を加工するステップとを具備することを特徴とする請求項1記載の曲面形成方法。

【請求項3】 前記第1の面は反射鏡として使用し得るよう加工されることを特徴とする請求項2記載の曲面形成方法。

【請求項4】 幅が一定で中心部から長手方向に2つの端部に向かって厚さが所望の値で変化するが中心部の部材固定部分は一定厚とした不等厚断面形状部材を形成するステップと、前記部材固定部分を支持部材に挟み込んで固定するステップと、前記不等厚断面形状部材の両端部を加圧し前記不等厚断面形状部材を湾曲させるステップを具備することを特徴とする曲面形成方法。

【請求項5】 加圧される部分の厚さが一定もしくはほぼ一定である不等厚断面形状部材を使用することを特徴とする請求項1または請求項4記載の曲面形成方法。

【請求項6】 前記不等厚断面形状部材を湾曲させるステップにおいて、機械的機構もしくは電気駆動素子によ

って前記不等厚断面形状部材の曲面形状を変化させることを特徴とする請求項1記載の曲面形成方法。

【請求項7】 光学素子の曲面形成方法であって、幅が一定で長手方向に厚さが所望の値で変化するが一方の端部の部材固定部分は一定厚とした不等厚断面形状部材を形成するステップと、前記部材固定部分を支持部材に挟み込んで固定するステップと、前記不等厚断面形状部材の表面が非球面形状になるようにもう一方の端部を加圧して前記不等厚断面形状部材を湾曲させるステップとを具備することを特徴とする光学素子の曲面形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は曲面の形成方法に関するもので、詳しくは不等厚断面形状部材を用いた曲面の形成方法に関するものである。

【0002】本発明の関連する分野は、放射光科学が主な分野であるが、長大鏡を用いる光学、応用光学にも関連する。また、鏡の成形の面では弾性体工学あるいは研磨技術も含まれる。

【0003】近年、電子加速器の一種である電子蓄積リングから放射される放射光が、高性能で純粋な光として広く利用されている。放射光はそれ自身発散の小さい細く絞られた光であるが、実際、研究・開発に用いられる放射光ビームラインでは、さらに強い光を得るために、集光鏡を用いる。特に、偏向電磁石からの光は水平方向に扇状に広がって出てくるので、1メートル以上の長い集光鏡で収束させ、分光器の入射スリットに導く。また、偏向電磁石に接続された分光器ばかりではなく、挿入型光源に接続された分光器からの出射光は、分解能をあげるため発散の大きい光となる。この発散の大きい光を試料上に小さく絞るためにも長い集光鏡が必要となる。

【0004】

【従来の技術】放射光ビームラインに必要な斜入射の表面反射鏡は、従来、切削研磨により成形されてきた。そのため、表面形状は球面、円筒面、トロイダル面等、断面が「円」になる鏡がほとんどである。長さは研磨機械の制約により通常は500mm以下が望ましく、せいぜい700mm程度が限度である。

【0005】ところが、最近、さらに長い鏡が必要となり、長さ1000mm以上の鏡が加工され始めている。ところが、そのような長大鏡の加工は、加工時間がかかり、非常に高価になるという問題点を有している。

【0006】斜入射反射鏡の収束性から検討すると、従来から用いられてきた「円」を基本とした形状では、結像に歪みが生じやすい。そして、長大鏡になる程、結像の歪みがより顕著になるという問題点を有している。より収差の小さい結像を得るためには、楕円鏡、放物面鏡等の非球面鏡を用いなければならない。しかし、1000mmを超える非球面長大鏡の切削研磨は非常に困難

で、歩留まりが悪く、非球面鏡の有効性は理論的には理解できていても、現実には非球面鏡を集光鏡として採用することはできなかった。

【0007】切削研磨における問題点を解決する方法としては、鏡面の曲げ変形を利用して円筒面や球面、さらに楕円面を形成する方法が考えられている。以下、曲げ変形を利用した従来の形成方法について説明する。

【0008】図5は、均等な厚さで一定の幅の板または梁51をその中心52で支え、両端53を加圧することより球面を形成する方法である。この方法は、基本的には円筒面を形成する方法であり、放射光ビームラインで要求される楕円面や放物面のような非球面を作ることは出来ない。

【0009】図6は、均等な厚さで一定の幅の板または梁51を両端面より内側の部分54、55で支えて、その外側部分の2箇所56、57を加圧する。この場合、板または梁51の表面は、外側部分2箇所56、57への力が同じであれば円筒面となる。この方法も、基本的には円筒面を形成する方法であり、楕円面や放物面のような非球面を作ることは出来ない。

【0010】図7は、均等な厚さで一定の幅の板または梁51を、所定の曲面となるように、多数の加圧点58で板または梁51を押して成形する方法である。この方法は、加圧点58の配置を適切に選べば、非球面鏡を形成することが出来る。しかし、この方法を放射光用の反射鏡の成形用として使用する場合は、これらの加圧機構を超高真空槽の中で150度近くまで加熱しなければならない。そのため、加圧時の材料の伸びをうまく逃がさないと、反射鏡を破損することがあるという問題点がある。

【0011】図8は、所定の曲面に加工した2つの型枠59、60の間に、均等な厚さで一定の幅の板61を挟み込み、上記型枠を上下から押しつけて成形するという方法である。この方法は型枠59、60の形を適切に選べば、非球面鏡を形成することが出来る。しかし、この方法は、反射鏡自体を直接加工する場合と同様、2つの型枠59、60の加工が困難であるという問題点を有する。

【0012】図9は、厚さが一定で、平面の形状が2等辺三角形である板62の底辺の2つの端部63を固定し、もう一方の端部64を押しつける方法である。この場合、板62の表面は基本的には円筒面になるので、楕円面や放物面のような非球面を作ることは出来ない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、切削研磨法では長大鏡の作成が困難であり、従来の加圧法は基本的には円筒面を形成する方法であり、楕円面や放物面のような非球面を形成することは困難であるという問題点があった。

【0014】したがって、本発明は、上記従来の問題点

に鑑みてなされたもので、特に、収差の小さい斜入射反射鏡を作るため、簡単な機構で材料を曲げ、楕円面や放物面を形成する方法を提供することをその目的とする。

【0015】このような曲げによる曲面の形成法を用いると、設計値の加圧力もしくは曲げ量を少し変えることによって、収束性をそれ程落とすことなく収束点の距離を変化できる。これは、切削研磨や型枠への挟み込みによる形成では不可能なことである。特に、放射光に利用する場合のように斜入射の配置では、光学素子の形状の微妙な誤差により収束点が設計値と異なる場合があるので、曲げ成形鏡による補正が出来れば非常に有効である。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、幅が一定で長手方向の厚さが変化する不等厚断面形状部材を形成するステップと、不等厚断面形状部材の表面が所定の曲面形状になるように不等厚断面形状部材を湾曲させるステップとを具備する曲面形成方法である。

【0017】さらに、不等厚断面形状部材を形成するステップは、材料基板の第1の面を平面に加工するステップと、材料基板の長手方向に所定の厚さの変化をつけるように、材料基板の第2の面を加工するステップとを具備する曲面形成方法であり、第1の面は反射鏡として使用し得るように加工される曲面形成方法であり、湾曲させるステップは不等厚断面形状部材の一端を固定するステップと他端を加圧するステップを具備する曲面形成方法である。

【0018】また、本発明は、幅が一定で中心部から長手方向の2つの端部に向かって厚さの異なる不等厚断面形状部材を形成するステップと、中心部を固定するステップと、基板の両端部を加圧し不等厚断面形状部材を湾曲させるステップを具備する曲面形成方法である。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} = -\frac{P(L-x)}{EI} \quad \dots 2$$

【0025】となる。

【0026】片持ち梁1が矩形断面の場合、断面二次モーメントは、梁の幅をb、厚さをhとすると、

【数2】

$$I = \frac{1}{12} b h^3 \quad \dots 3$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{12P(L-x)}{Eb(h(x))^3} \quad \dots 4$$

【0028】よって、位置xでのたわみ(変位)yは、

$$y = -\frac{12P}{Eb} \iint \frac{L-x}{(h(x))^3} \quad \dots 5$$

【0029】となる。

【0019】さらに、固定するステップは固定される部分の近傍の厚さが一定である不等厚断面形状部材を支持部材により挟み込んで固定する曲面形成方法であり、不等厚断面形状部材を湾曲させるステップにおいて、加圧される部分の厚さが一定もしくはほぼ一定である不等厚断面形状部材を使用する曲面形成方法である。

【0020】さらに、機械的機構、もしくは電気駆動素子によって、不等厚断面形状部材の曲面形状を変化させる曲面形成方法である。

【0021】また、本発明は、光学素子の曲面形成方法であって、幅が一定で長手方向の厚さが変化する不等厚断面形状部材を形成するステップと、不等厚断面形状部材の表面が非球面形状になるように不等厚断面形状部材を湾曲させるステップとを具備する曲面形成方法である。

【0022】また、本発明は、幅が一定で長手方向の厚さが変化する不等厚断面形状部材と、不等厚断面形状部材の第1の端部を固定する支持部材と、不等厚断面形状部材の表面が非球面形状になるように不等厚断面形状部材を湾曲させる手段とを具備する光学素子である。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を以下に図面を参照して説明する。先ず、反射鏡部材である図1に示す片持ち梁1のたわみについて考える。長さLの梁1の一方の端部2を固定し、もう一方の端部3に荷重Pをかける。梁1の固定点4からxの位置での曲げモーメントMは、

$$M = -P(L-x) \quad \dots (1)$$

で与えられる。

【0024】一方、位置xでのたわみyと、片持ち梁1の縦弾性係数E、断面二次モーメントIの関係は

【数1】

【0027】ここで、片持ち梁1の厚さhは一定の厚さではなく、位置xにより変化するものとして、hをxの関数h(x)とおくと、

【数3】

【数4】

【0030】曲げた曲線y = f(x)を所定の形、例え

ば楕円、放物線となるように、 $y = f(x)$ を定め、式(5)の y に代入し、式(5)を解くことにより、 $h(x)$ を計算する。 $h(x)$ は、例えば代数的に、または通常用いられているような計算機による数値計算を用いるなど、任意の方法により求めることできるが、本発明は特に $h(x)$ の計算方法について規定するものではない。

【0031】所望の反射鏡形状に対する $h(x)$ が求められた後、 $h(x)$ に従って反射鏡を形成する材料基板を加工する。具体的には、図2の場合において、材料基板のうち反射面となる片面5を平面に加工し、その裏面6を切削して反射鏡部材である不等厚断面形状部材7の厚さ h が x により変化し所望の値になるように加工する。このようにして不等厚断面の反射鏡部材が形成される。

【0032】反射鏡として使用する場合は、平面5の方を精度よく研磨し鏡面とし、傾斜をつけた裏面6の方から加圧点8を所定の力により加圧して所望の曲面9を得ることができる。

【0033】求められた $h(x)$ に対応して厚さを連続的に変えた反射鏡部材を曲げ、所定の表面形状の鏡を形成する方法の実施例を以下に示す。固定点4からの厚さはいずれも式(5)より計算された値とする。

【0034】図3に示すように幅が一定で長さ方向に最終の曲面形状に対応して厚さの異なる反射板部材10の一端部11を支持部材の支点(固定点)12に固定し、もう一方の端部(加圧点)13を押して、曲面を形成する。加圧は例えば機械的機構もしくは電気駆動素子によって行うことができる、不等厚断面形状部材である反射板部材10の曲面形状を変化させるこのとき、支点12付近は一定の厚さとし、保持しやすくすることができる。この場合、反射板部材10の中心14を鏡の中心とすると、この曲げにより鏡の中心位置と、法線方向が変化する。

【0035】図4は、幅一定で、左右の長さ方向に最終の曲面形状 $f(x)$ に対応して厚さ $h(x)$ の異なる不等厚断面形状部材である反射板部材10の中心部15を支点12により固定し、加圧点である左右の2点16、17を加圧して曲面を形成する。このとき、中心部15のごく短い範囲は一定の厚さとし、保持しやすくすることができる。なお、厚さ $h(x)$ の変化、加圧力、加圧点の変位は左右同じである必要はなく、この場合、中心部15に対し形状が非対称の曲面が形成される。この場合、鏡中心位置および法線方向ともに曲げによって変化しない。

【0036】なお、上記図3および図4に示したいずれの方法においても、支点12の部分の平坦部の長さは、全体の曲面形成の誤差の範囲に収まる短い長さとする。また、加圧点13、16は基板先端18より5mm~10mm内側とし、加圧点13、16、17の数mm内側

から基板先端18までは平坦面とするのが望ましい。

【0037】以上本発明のいくつかの実施例について図示した説明したが、本発明の技術的範囲を逸脱せず、種々の変形が可能であることは明らかである。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、この発明に係る反射鏡によれば、次のような効果を奏する。不等厚断面の基板を曲げ、1000mmを超える非球面鏡を形成する本発明による方法は、切削研磨による方法より簡単である。また、基板表面の鏡面になる面の研磨は基本的には平面鏡を研磨する場合と同じなので、表面精度は切削研磨の場合より格段とよくなる。表面精度は斜入射反射鏡では散乱光の混入に影響するが、表面精度の良い本方法の鏡は散乱光をより少なくできる。

【0039】反射光ビームラインでは、システム全体を超高真空にするため、150度から200度の加熱(ベーク)を24時間以上も行う。本発明による方式では、金属でつく押しつけられているのは固定点のごく近傍だけであり、加圧点においては長さ方向には伸びは全く自由である。ゆえに、ベークによる金属部分と基板の膨張の差による基板の破損を避けることが可能となる。

【0040】従来技術による非球面形成法、例えば図7に示す多点加圧法、図8に示す型枠挟み込み法に比べ、加圧点が1あるいは2点と少ないので、曲げ機構を超高真空システム内に納めたとしても、真空装置の外部から、例えば回転導入端子で機械的に、あるいはピエゾ素子で電氣的に容易に変位量を変えることができる。誤差の範囲であれば、この調整によって焦点距離を変え、最適の収束像を得ることが出来る。さらに、加熱処理による機械的なずれも簡単に修正できる。

【0041】かかる特徴を有する本発明の非球面鏡は、非球面集光鏡、長大斜入射集光鏡、放射光ビームライン用前置集光鏡、放射光ビームライン用後置集光鏡、可変焦点光学素子、および非球面光学素子等に好適に使用することができる、

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示す図である。

【図2】本発明の不等厚断面基板を示す図である。

【図3】本発明の一実施例を示す図である。

【図4】本発明の他の実施例を示す図である。

【図5】一点支持の従来例を示す図である。

【図6】二点支持の従来例を示す図である。

【図7】多点加圧法に係る従来例を示す図である。

【図8】型枠挟み込み法に係る従来例を示す図である。

【図9】2等辺三角形の反射鏡基板を用いた従来例を示す図である。

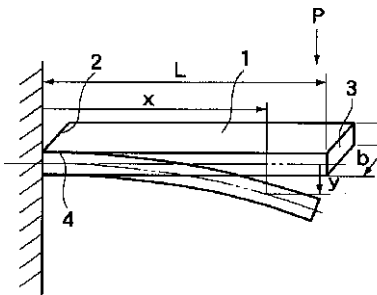
【符号の説明】

- 1 ... 片持ち梁
- 2、3 ... 梁の端部
- 4 ... 固定点

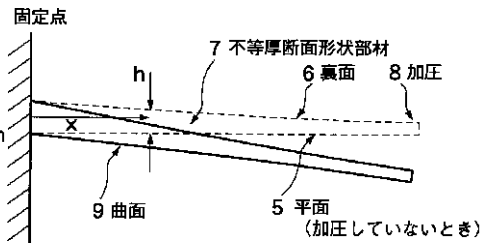
- 5 ... 片面
- 6 ... 裏面
- 7 ... 不等厚断面形状部材
- 8 ... 加圧点
- 9 ... 曲面
- 10 ... 反射板部材
- 11 ... 端部
- 12 ... 支点 (固定点)
- 13 ... 端部 (加圧点)
- 14 ... 基板の中心
- 15 ... 中心部
- 16、17 ... 加圧点

- 18 ... 基板先端
- 51 ... 均等な厚さで一定の幅の板または梁
- 52 ... 板または梁の中心
- 53 ... 板または梁の両端
- 54、55 ... 内側部分
- 56、67 ... 外側部分
- 58 ... 加圧点
- 59、60 ... 型枠
- 61 ... 均等な厚さで一定の幅の板
- 62 ... 2等辺三角形の板
- 63、64 ... 端部

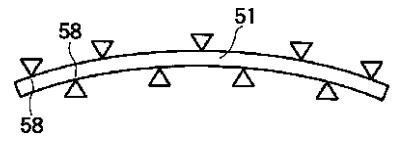
【図1】



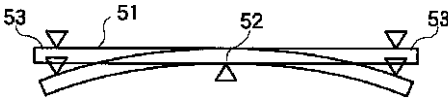
【図2】



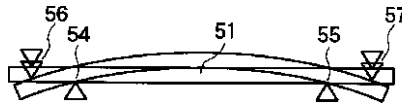
【図7】



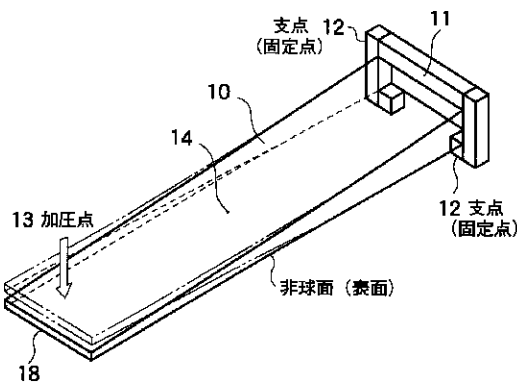
【図5】



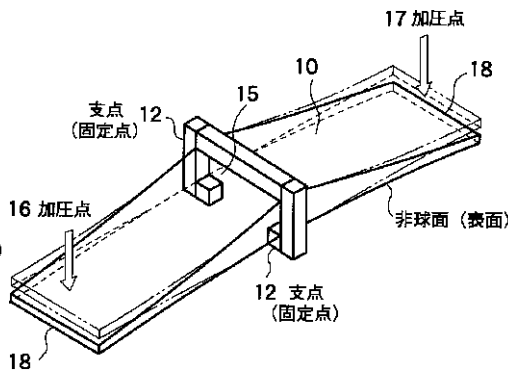
【図6】



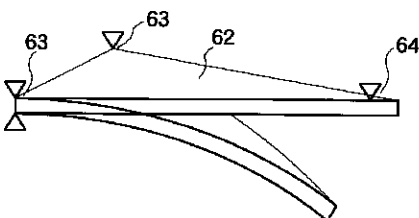
【図3】



【図4】



【図9】



【図8】

