

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6079110号  
(P6079110)

(45) 発行日 平成29年2月15日(2017.2.15)

(24) 登録日 平成29年1月27日(2017.1.27)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 3 F 7/20 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 O 3

G O 3 F 1/24 (2012.01)

G O 3 F 1/24

請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2012-222243 (P2012-222243)  
 (22) 出願日 平成24年10月4日(2012.10.4)  
 (65) 公開番号 特開2014-75484 (P2014-75484A)  
 (43) 公開日 平成26年4月24日(2014.4.24)  
 審査請求日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(73) 特許権者 000003193  
 凸版印刷株式会社  
 東京都台東区台東1丁目5番1号  
 (74) 代理人 110001276  
 特許業務法人 小笠原特許事務所  
 (72) 発明者 松尾 正  
 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印  
 刷株式会社内

審査官 植木 隆和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型フォトマスク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

前記基板の表面に形成された多層反射膜と、

前記多層反射膜の上に形成された吸収膜とを備え、

前記吸収膜に形成された回路パターン領域の外側の少なくとも一部に、前記吸収膜、および前記多層反射膜を除去することにより、前記多層反射膜に比べてEUV光の反射率が低い遮光枠が形成され、

前記遮光枠の側壁となる多層反射膜の壁面は、テーパー形状のテーパー部を有し、

前記遮光枠の延伸方向に直交する前記テーパー部の幅は、5 μm以上であることを特徴とする反射型マスク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体集積回路等の作製において極端紫外線(Extreme Ultra Violet; 以下「EUV」と略記する。)等を用いた転写に使用される反射型フォトマスクに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの微細化は年々進んでおり、それに伴いフォトリソグラフィ技術に使用される光の短波長化も進行している。すなわち、従来光源として使用されてきたKrFエ

10

20

キシマレーザ（波長 248 nm）から ArF エキシマレーザ（波長 193 nm）に移行するとともに、近年は、ArF エキシマレーザを使用する液浸露光法や 2 重露光法の研究が活発に行われている。一方で、エキシマレーザよりも波長が一桁以上短い（10 nm ~ 15 nm）EUV 光を用いた反射型光学系による EUV リソグラフィの研究開発が進められている。

#### 【0003】

光源の短波長化とともに、半導体ウェハーにパターンを転写する際に使用されるフォトマスクにも微細化、高精度化の要求がますます強くなってきている。フォトマスクは、従来から ArF 露光までは光透過型が用いられている。しかし、EUV 光に対しては、材料の屈折率差が小さく屈折型光学系が使えず、反射型光学系となるため、EUV 露光用フォトマスクも反射型が用いられる。

10

#### 【0004】

これまで開発されてきた一般的な EUV マスクは、Si ウェハーやガラス基板上に、2 層膜を 40 ~ 50 対（ペア）程度積層した多層膜部分を高反射領域とし、その上に低反射領域として金属性の吸収膜パターンを形成した構造であった。高反射領域は、屈折率差が大きく、吸収がなるべく小さな 2 種類の膜（例えば Mo と Si）を交互に積層して、多層膜としたものである。この結果、各層対からの僅かな反射成分が干渉して強め合い、直入射に近い EUV 光（入射角が小さい EUV 光）に対して比較的高い反射率を得ることが可能になる。また通常、多層膜の保護膜という意味で、多層膜の最上層（吸収膜に近い層）に、EUV 光に対する透明性が高い Si などからなる膜を、キャッピング膜として使用する。また、吸収膜とキャッピング膜の間には、吸収膜の加工の際のキャッピング膜へのダメージを軽減する意味で緩衝（バッファ）膜が使用されることがある。なお、キャッピング膜及び緩衝膜については、本発明への本質的な影響はないので、後述する本発明の説明から省略している。

20

#### 【0005】

反射型マスクを用いて半導体基板上に転写回路パターンを形成する際、一枚の半導体基板上には、複数の回路パターンのチップが形成される。隣接するチップ間において、チップの外周部が重なる領域が存在する場合がある。これは、ウェハー 1 枚あたりに取れるチップを出来るだけ増加したいという生産性向上のために、チップを高密度に配置するためである。この場合、この領域については、複数回（最大で 4 回）に亘り露光（多重露光）されることになる。この転写パターンのチップの外周部は、反射型マスク上でも外周部であり、通常、吸収膜の部分である。しかしながら、上述したように吸収膜上での EUV 光の反射率は、0.5 ~ 2% 程度あるために、多重露光によりチップ外周部が感光してしまう問題があった。このため、反射型マスク上のチップ外周部は、EUV 光の遮光性の高い領域（以下、「遮光枠」と呼ぶ。）にする必要性が出てきた。

30

#### 【0006】

このような問題を解決するために、反射型マスクの吸収膜から多層膜までを掘り込んだ溝を形成することで多層膜の反射率を低下させることにより、露光光源の波長に対する遮光性の高い遮光枠を設けた反射型マスクが提案されている（例えば、特許文献 1 参照。）

40

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0007】

【特許文献 1】特開 2009 - 212220 号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

しかしながら、吸収膜と多層膜を単に掘り込んだだけの遮光枠では、次のような問題が生じる。これについて図を用いて説明する。図 5 は、一般的な、遮光枠 5 付きの EUV 用の反射型マスク（基板は 6 インチ角、厚さは 0.25 インチ）の一例の平面の模式図であ

50

る。遮光枠 5 の幅は、 $2.5\text{ mm}$  である。図 5 において反射型マスクの中心座標を  $(X, Y) = (0, 0)$  とした場合に、遮光枠 5 のうち、中心座標より左側を縦方向に延びる遮光枠エッジ（遮光枠 5 とその内外の吸収膜及び多層膜との境界）の  $X$  座標は、遮光枠 5 の外側エッジ（左側エッジ）が  $X = -61.5\text{ mm}$ 、内側エッジ（右側エッジ）が  $X = -59.0\text{ mm}$  となっている。このような EUV マスクにおいては、通常、遮光枠エッジ付近に位置合わせ用マークなどの吸収膜パターンが形成される。

#### 【0009】

図 6 の断面の模式図を用いて説明すると、図 6 (a) は、成膜前の基板 2 のみの状態で、基板 2 はほぼ平坦である。平坦な基板 2 に多層膜 3、及び吸収膜などが成膜されると、それらの内部応力により基板 2 は曲がり、平面度を持つようになる。基板 2 を曲げようとする曲げモーメントは、膜厚に比例する。多層膜 3 は、他の膜に比べ膜厚が厚い（全層で通常  $300\text{ nm}$  程度）。そのため、成膜後の平面度には、特に多層膜 3 の影響が支配的となる。さらに、多層膜 3 に作用するのは通常圧縮応力であるため、反射型マスクは、図 6 (b) に示すように、上に凸の平面度を持つようになる。尚、図 6 (b) では、説明の簡略化のため、吸収膜パターンのうち、位置合わせ用マーク 4 のみを記載し、それ以外の吸収膜パターンは省略している。

#### 【0010】

図 6 (b) の状態から遮光枠 5 を形成すると、遮光枠 5 の部分のみ多層膜 3 が除去されるため、膜の曲げモーメントの作用する領域が変化して平面度が小さくなる（より平坦に近づく）とともに、応力分布（バランス）が変化する。図 6 (c) のように平面度が小さくなると、吸収膜パターン 4 は、図 6 (b) の位置から、図 6 (c) の位置へそれぞれ  $d_1$ 、 $d_2$  の量だけマスク中心側へ変位する。尚、平面度の変化以外にも、遮光枠の形成によるパターンの変位の要因はある。しかし、この要因については後述する。このように、遮光枠 5 の形成に伴って吸収膜パターン 4 が変位すると、最終的な吸収膜パターン 4 が設計上の位置からずれることになり、複数回に亘る露光で作製される転写回路パターンの位置合わせに支障が生じる、という問題が発生する。本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、遮光枠の形成に伴う吸収膜パターンの変位を考慮した吸収膜パターンの位置設計を容易化することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

上述の課題を解決するために、本発明は、基板と、基板の表面に形成された多層反射膜と、多層反射膜の上に形成された吸収膜とを備え、吸収膜に形成された回路パターン領域の外側の少なくとも一部に、吸収膜、および多層反射膜を除去することにより、多層反射膜に比べて EUV 光の反射率が低い遮光枠が形成され、遮光枠の側壁となる多層反射膜の壁面は、テーパー形状のテーパー部を有し、遮光枠の延伸方向に直交するテーパー部の幅は、 $5\text{ }\mu\text{ m}$  以上であることを特徴とする反射型マスクである。

#### 【発明の効果】

#### 【0013】

本発明は、多重露光防止のための遮光枠の側壁となる多層膜の壁面がテーパー形状のテーパー部を有し、好ましくは、遮光枠の延伸方向に直交するテーパー部の幅は、 $5\text{ }\mu\text{ m}$  以上となっているので、遮光枠の形成に伴う応力分布の急激な変化に起因する吸収膜パターンの変位への影響が緩和される。また、吸収膜パターンが位置合わせ用吸収膜パターンである場合には、遮光枠の形成によるその吸収膜パターンの変位が、設計段階で補正可能な直線的な変位成分のみとなり、転写回路パターンの位置合わせに支障が生じる、という問題を解決することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図 1】本発明の実施の形態における反射型マスクの基本構造（左半分）を示す断面の模式図

【図 2】実施例の反射型マスクにおける、遮光枠外側エッジ近傍の変位の総和を示す特性

10

20

30

40

50

図

【図 3】実施例の反射型マスクにおける、遮光枠内側エッジ近傍の変位の総和を示す特性図

【図 4】従来の反射型マスクの基本構造（左半分）を示す断面の模式図

【図 5】一般的な遮光枠付きの E U V 用の反射型マスクの平面の模式図

【図 6】成膜に伴う平面度の変化と、遮光枠の形成に伴う平面度変化及びパターン変位を説明するための断面の模式図

【図 7】遮光枠の形成前後の膜応力の作用方向とパターン変位を説明するための断面の模式図

【図 8】遮光枠の形成前後の曲げモーメントの作用方向を説明するための断面の模式図

【図 9】遮光枠エッジ近傍の急激な応力変化の要因を除く、その他の要因による変位の総和を計算した特性図

【図 10】遮光枠エッジ近傍の急激な応力変化をモデル化した式を説明するための特性図

【図 11】従来の反射型マスクにおける、遮光枠エッジ近傍の変位の総和を示す特性図

【発明を実施するための形態】

【0015】

図 1 に示すように、本発明の実施の形態における反射型マスクは、多重露光防止のための遮光枠 5 の側壁となる多層膜 3 の壁面が、テーパ形状のテーパ部 10 を有している。このテーパ部 10 は、遮光枠 5 の延伸方向に直交する幅が、好ましくは、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上となっている。図 1 を用いて説明すると、テーパ形状を有する側壁の長さ  $w_1$ 、 $w_2$  は、遮光枠エッジ（遮光枠の最内端）から  $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上となっている。図 1（a）は、遮光枠 5 の底面から外側へ広がる順テーパの場合を示し、図 1（b）は、遮光枠 5 の底面から外側へ窄まる逆テーパの場合を示している。図 1（a）の場合と図 1（b）の場合の作用及び効果は同じである。

【0016】

以下、本発明の有効性を説明する前準備として、まず遮光枠 5 の形成後に吸収膜パターン 4 の変位が発生する要因について図を用いて説明する。吸収膜パターン 4 の変位が発生する第 1 の要因は、全体的な平面度変化による変位である。この第 1 の要因については、図 6 を用いて説明済みであるため説明を省略する。

【0017】

続いて、第 2 の要因について説明する。第 2 の要因は、水平（X、Y）方向に作用する二軸応力の変化である。X 方向について示せば、遮光枠 5 の形成前の多層膜 3 における各部への膜応力の作用方向は、図 7（a）に示すようになり、遮光枠 5 の形成後の多層膜 3 における各部への膜応力の作用方向は、図 7（b）に示すようになる。図 7 では、説明の都合上、F に添字を付けて区別しているが、大きさは  $F_0 = F_1 = F_2 = F_3$  であり、作用する領域のみが異なっている。ここで特徴的なことは、遮光枠 5 の形成後は、遮光枠部分の多層膜 3 が消失するため、遮光枠 5 の外側領域の中心（ $X = -68.125\text{ mm}$ ）より右側では、マスク中心方向に向かう応力  $F_2$  が生じる、ということである。その結果、遮光枠 5 の外側領域の中心（ $X = -68.125\text{ mm}$ ）より右側では、 $d_3$  という右側へ変位する成分が発生する。他方、遮光枠 5 の内側領域については、遮光枠 5 の形成前後でマスク中心（ $X = 0$ ）から遮光枠 5 の内側エッジ（ $X = -59.0\text{ mm}$ ）に至るまで、二軸応力の大きさ及び方向に変化はないので、二軸応力の変化による変位は生じない。

【0018】

続いて、第 3 の要因について説明する。第 3 の要因は、遮光枠 5 の形成後に、遮光枠エッジ部（エッジ近傍領域）に、図 8（b）に示す曲げモーメント  $M_1$ 、 $M_2$  が発生することである。図 8（a）の  $M_0$  は、遮光枠 5 の形成前の曲げモーメントである。図 8 では、説明の都合上、M に添字を付けて区別しているが、大きさは  $M_0 = M_1 = M_2 = M_3$  であり、作用する領域のみ異なっている。すなわち、 $M_1$ 、 $M_2$  が作用することにより、遮光枠 5 のエッジ近傍の平面度が変化し、吸収膜パターン 4 の変位の要因となる。ここで特徴的なことは、 $M_1$  による変位は、図 6 の場合と同様にマスク中心（図 8（b）において右

10

20

30

40

50

側)へ向かう変位成分であるが、M2は逆に左側へ向かう変位成分である、ということである。

#### 【0019】

以上、遮光枠5の外側領域については、第1の要因、第2の要因、及び第3の要因、遮光枠5の内側領域については第1の要因と第3の要因により、遮光枠5の形成前後で吸収膜パターン4の変位が発生する。遮光枠5の外側、及び遮光枠5の内側のそれぞれについて、材料力学の弾性理論に基づき変位量(位置変位)を計算し、総和を求めた結果を図9(a)及び図9(b)に示す。遮光枠5の外側については、その中心( $X = -68.125 \text{ nm}$ )から遮光枠エッジ( $X = -61.0 \text{ nm}$ )まで範囲、遮光枠5の内側については遮光枠エッジ( $X = -59.0 \text{ nm}$ )からマスク中心( $X = 0$ )までの範囲について変位量を示している。このように、遮光枠5の外側と遮光枠5の内側では、共に基準( $X = 0$ )からの距離Xに対して直線的に変位量が変化する。

10

#### 【0020】

図9(a)及び図9(b)の変位は、遮光枠エッジのごく近傍(遮光枠エッジから20  $\mu\text{m}$ 程度までの範囲)を除けば、ほぼ実験による測定結果に一致し、妥当な計算結果となる。しかしながら、遮光枠エッジのごく近傍(エッジ近傍領域)については、第4の要因(変位要因)として、遮光枠エッジのごく近傍における、遮光枠5の形成によって多層膜3が消失することによる急激な応力変化の影響を考慮する必要がある。

#### 【0021】

遮光枠エッジのごく近傍における応力変化を表わすモデル式として、次式を用いることができる。

20

$$\text{式1: } \sigma = -\sigma_0 / (b - a)^N \cdot (X - a)^N + \sigma_0$$

式1において、 $\sigma$ は応力、bは遮光枠エッジの座標、aは第4の要因による応力変化が始まる座標、 $\sigma_0$ はもともとの膜応力(遮光枠形成前の膜応力)、Nは応力の変化の程度をモデル化するために導入したパラメータを表す。

式1を用いれば、a点で応力変化(減衰)が始まり、遮光枠エッジで応力=0となり、Nが大きいほど、遮光枠エッジごく近傍で急激に応力が変化するモデルとなる。図10は、式1を図示した図表である。図10の縦軸は  $\sigma/\sigma_0$  である。遮光枠5の外側エッジ( $X = -61.5 \text{ mm}$ )の100  $\mu\text{m}$ 手前から応力が変化するときに、 $N = 1, 2, 5, 10$ として計算した結果が示されている。

30

#### 【0022】

式1において、Nの数と、aの座標を変化させて、遮光枠エッジごく近傍のパターン変位を調べた。その結果、かなり大きなN(従って急激な応力変化)とした場合に、遮光枠エッジへ近づくにつれてパターン変位が小さくなる現象が生じ、測定結果に近くなることが分かった。実際のマスクでは、遮光枠5の側壁はほぼ垂直に形成され、「突然に」多層膜が消失するため、これは妥当な結果であると言える。図11(a)は、遮光枠5の外側について、応力変化の条件として $N = 70$ とし、応力変化の範囲を $X = -61.7 \sim -61.5 \text{ mm}$ (遮光枠の外側エッジ)とした場合の第4の要因による変位を、第1の要因、第2の要因、及び第3の要因による変位に加えて、変位の総和を求めた結果である。図11(b)は、遮光枠の内側について、応力変化の条件として $N = 50$ とし、応力変化の範囲を $X = -59.0$ (遮光枠内側エッジ)  $\sim -58.87 \text{ mm}$ とした場合の第4の要因による変位を、第1の要因、第2の要因、及び第3の要因による変位に加えて、変位の総和を求めた結果である。図11(a)及び図11(b)は、測定結果に近い結果となり、図11(a)の場合、遮光枠の外側エッジから13  $\mu\text{m}$ 付近、図11(b)の場合、遮光枠の内側エッジから8  $\mu\text{m}$ 付近から変位の曲線的な変化が始まることが分かる。

40

#### 【0023】

このように、第1から第4の要因を考慮することで、実際に起こるパターン変位を模擬することができる。実際にEUVマスクを作製する場合には、正しい位置にパターンを形成する必要があるので、遮光枠5の形成により発生するパターン変位をあらかじめ盛り込み、その分だけ補正したマスクパターンの位置設計を行う必要がある。この際、第1から

50

第3までの要因による変位は、直線的な変位であるため補正しやすい。しかし、第4の要因に対しては、曲線的な変位であるとともに、構造に関連した応力の微妙な変化に影響されやすい、局所的な変位である。そのため、パターンの位置補正を行う上での障害となる。本発明のEUVマスクにおいては、第4の要因である、応力の急激な変化によるパターン変位を考慮する必要がない量にすることができる。

【0024】

<実施例>

以下、本発明に基づいてEUVマスクを設計した例を示す。図4は、従来の遮光枠付きEUVマスクの基板と多層膜のみを示した断面の模式図である。このEUVマスクの場合は、これまで詳細に説明したように、遮光枠の外側エッジから15 $\mu\text{m}$ 程度以内の範囲7、内側エッジから10 $\mu\text{m}$ 程度以内の範囲7では、急激な応力変化によって曲線的なパターン変位が生じ(図11(a)、(b)参照)、これらの領域を位置合わせマーク等の吸収膜パターン作製に用いることができない。

【0025】

本発明の主旨は、膜応力がパターン変位に及ぼす影響は、膜応力と膜厚の積として影響するので、急激な応力変化を緩和するために、膜厚を遮光枠エッジ近傍で徐々に薄く変化させ、テーパ構造をもたせることである(図1(a)、(b)参照)。そこで、図1(a)において、膜厚が位置座標Xに対して直線的に変化するとし、テーパ部10の幅w1、w2を変化させて、パターン変位を計算した。遮光枠5の外側エッジごく近傍の結果を図2、遮光枠5の内側エッジごく近傍の結果を図3に示す。図2、図3は、図11と同様に、第1から第4の要因によるパターン変位の総和を表わしている。また、図2の応力変化の条件は図11(a)と同じであり、図3の応力変化の条件は図11(b)と同じである。

【0026】

図2は、遮光枠5の外側エッジごく近傍の結果である。図2(a)に示すテーパ部の幅w1 = 5 $\mu\text{m}$ の場合は、まだ1nm程度の曲線的な位置変位が残っているのに対し、図2(b)に示すw1 = 10 $\mu\text{m}$ の場合は、位置変位はほぼ直線的なレベルに留まっている。尚、図1(a)は、順テーパ、図1(b)は逆テーパの場合を示している。どちらの場合も、膜厚の変化量としては同じであるので、同じ結果が得られる。

【0027】

図3は、遮光枠5の内側エッジごく近傍の結果である。図3(a)に示すテーパ部の幅w2 = 1 $\mu\text{m}$ の場合は、まだ1nm程度の曲線的な位置変位が残っているのに対し、図3(b)に示すw2 = 5 $\mu\text{m}$ の場合は、位置変位はほぼ直線的なレベルに留まっている。尚、図2と同様に、図1(a)に示す順テーパの場合と図1(b)に示す逆テーパの場合では、膜厚の変化量としては同じであるため、同じ結果が得られる。

【0028】

このように、実施例では、多重露光防止のための遮光枠5の側壁となる多層膜3の壁面がテーパ形状のテーパ部10を有し、好ましくは、テーパ部10の幅は5 $\mu\text{m}$ 以上となっている。そのため、遮光枠5の形成に伴う応力分布の急激な変化によるパターン変位への影響が緩和される。その結果、遮光枠5の形成による位置合わせ用吸収膜パターン等のパターン変位が直線的な変化に留まるので、遮光枠5の形成により発生するパターン変位を盛り込んだ補正を含むパターン位置設計の難度を軽減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0029】

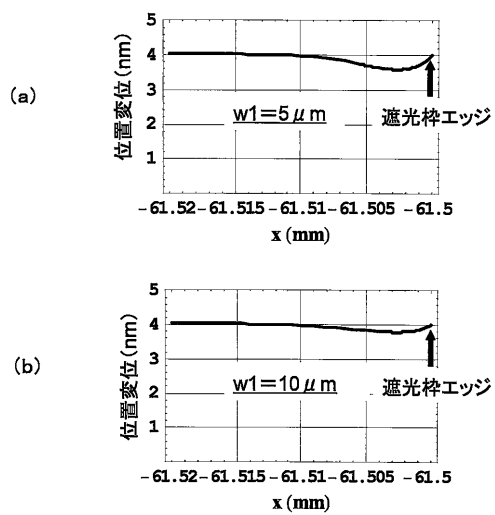
本発明は、半導体集積回路等の製造に際して使用されるEUV露光用等の反射型フォトマスクのうち、吸収膜から多層反射膜までを掘り込んだ遮光枠を有する反射型フォトマスクなどに有用であり、複数回に亘る転写露光における回路パターンの位置合わせ精度を高精度に維持したまま、多重露光を防止することができる反射型フォトマスクに使用することができる。

【符号の説明】

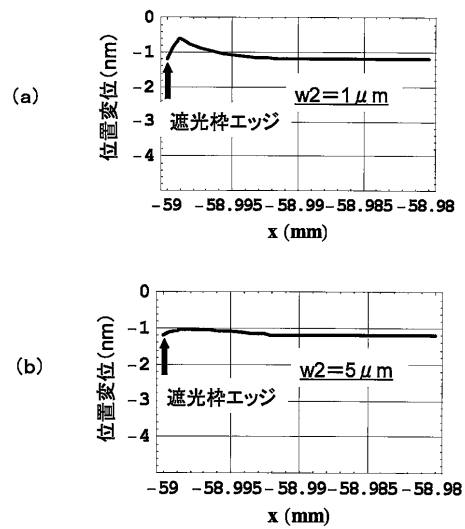
## 【 0 0 3 0 】

- 1 実施の形態の反射型マスクの基本構造（左半分）
- 2 反射型マスク基板
- 3 多層反射膜
- 4 吸収膜パターン
- 5 遮光枠
- 6 従来の反射型マスクの基本構造（左半分）
- 7 位置座標に対して曲線的な位置変位が発生する領域
- 1 0 テーパー部

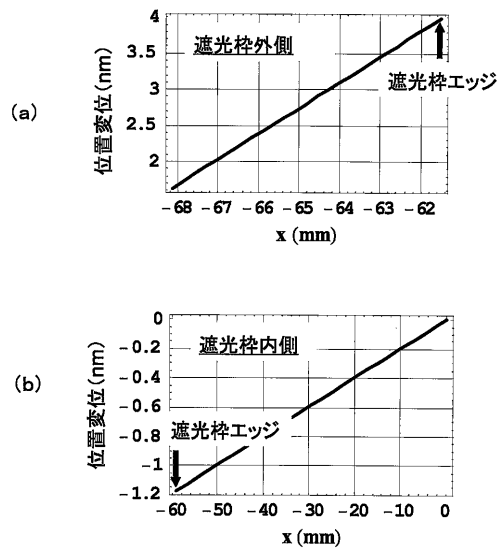
【 図 2 】



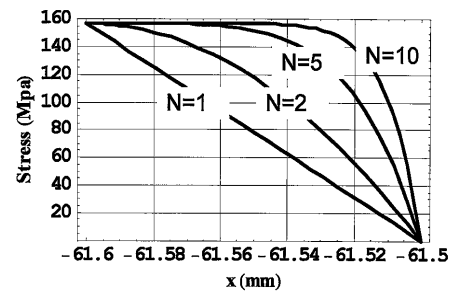
【 図 3 】



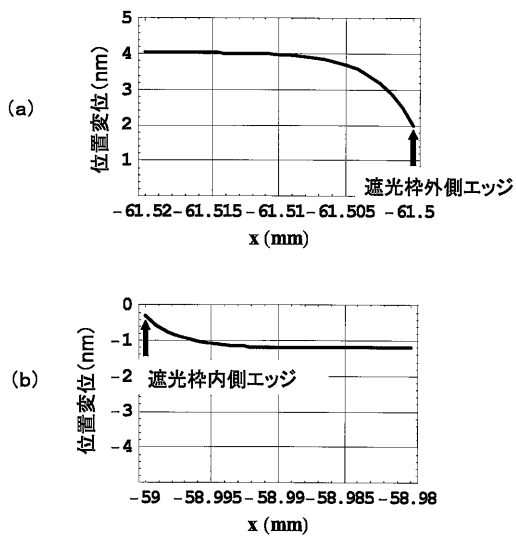
【図 9】



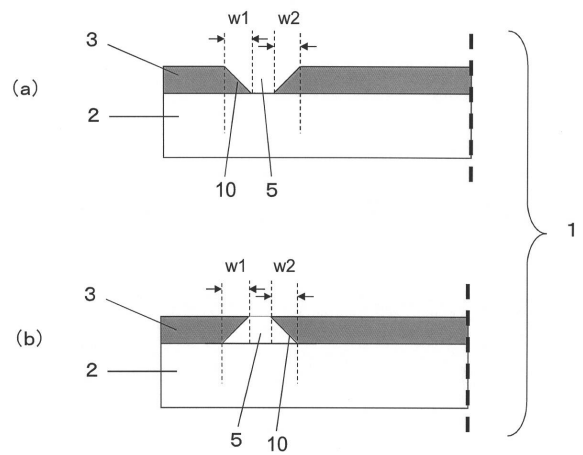
【図 10】



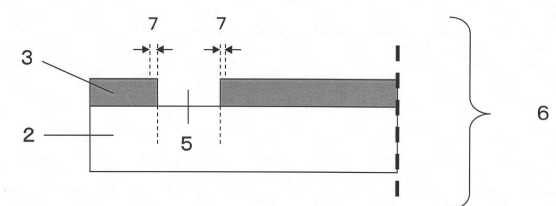
【図 11】



【図 1】

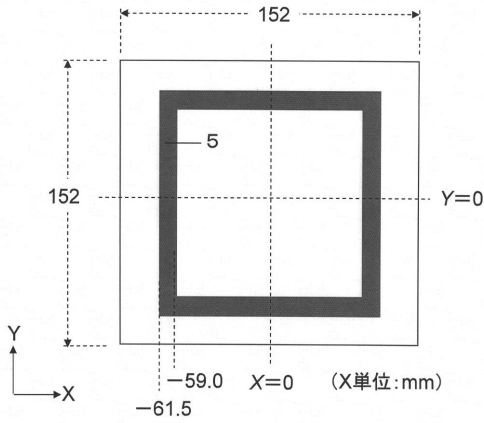


【図 4】

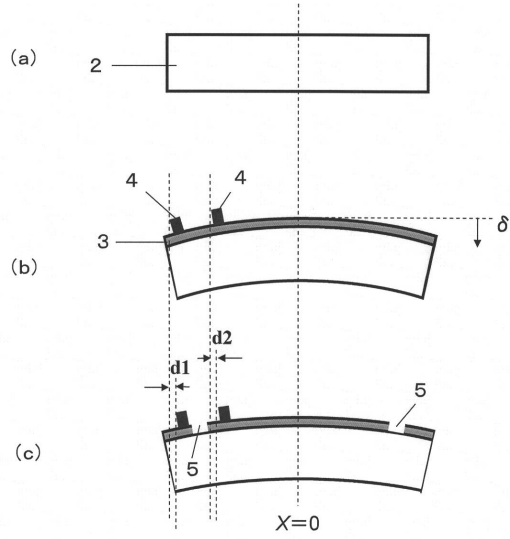




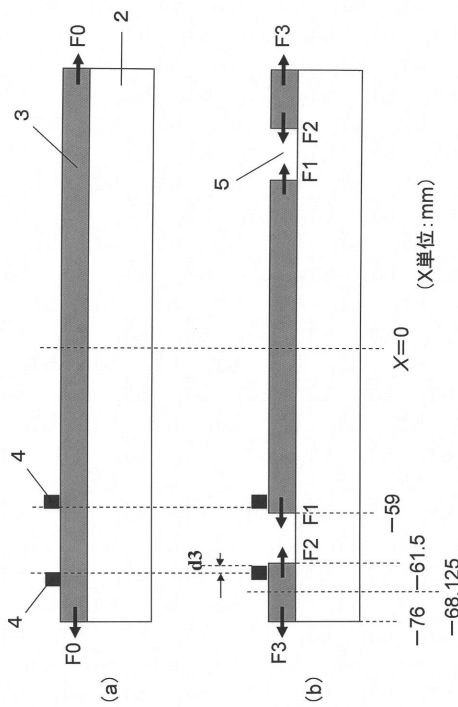
【図 5】



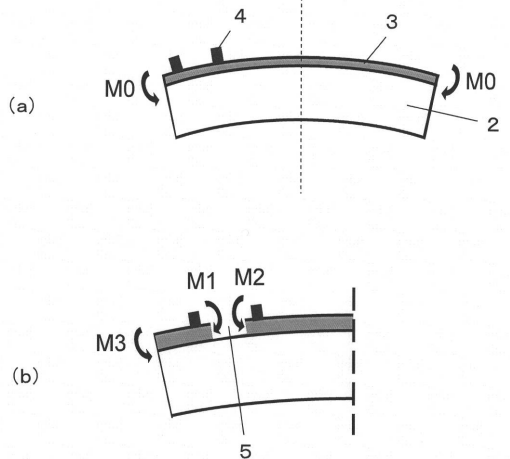
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-108942(JP,A)  
特表2008-500736(JP,A)  
特開平04-348020(JP,A)  
特開2011-166039(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20

G03F 1/00~1/86