

(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2010-56379

(P2010-56379A)

(43) 公開日 平成22年3月11日(2010.3.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/306 (2006.01)	H O 1 L 21/306 B	2 H O 4 5
B 8 1 C 1/00 (2006.01)	B 8 1 C 1/00	2 H 1 4 1
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00	3 C O 8 1
G O 2 B 26/08 (2006.01)	G O 2 B 26/08 E	5 F O 4 3
G O 2 B 26/10 (2006.01)	G O 2 B 26/10 1 O 4 Z	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 18 頁)		

(21) 出願番号 特願2008-221247 (P2008-221247)
 (22) 出願日 平成20年8月29日 (2008. 8. 29)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100086483
 弁理士 加藤 一男
 (72) 発明者 加藤 貴久
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 島田 康弘
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 Fターム(参考) 2H045 AB10 AB16 AB73

最終頁に続く

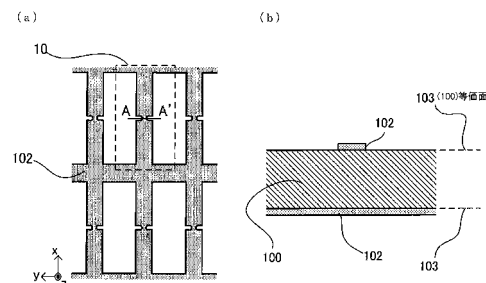
(54) 【発明の名称】 シリコンの加工方法、及びエッチングマスク付きシリコン基板

(57) 【要約】

【課題】結晶軸方位とエッチングマスクとの間にアライメント誤差があっても、加工寸法誤差の少ない構造体を形成可能なシリコンの加工方法、エッチングマスク付きシリコン基板等を提供する。

【解決手段】シリコンの加工方法で、主面が(100)等価面103或いは(110)等価面である単結晶シリコン基板100上に、マスクパターンを形成し、結晶異方性エッチングを施して、(111)等価面で構成され幅W1と長さL1を有する構造体を形成する。マスクパターンに、構造体の幅W1を決定する決定個所を持たせる。マスクパターンの幅W1の決定個所の幅は、幅W2を有する。マスクパターンの長さ方向にわたって、決定個所以外のマスクパターンの幅は、幅W2より大きい幅を有する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主面が (1 0 0) 等価面、或いは (1 1 0) 等価面である単結晶シリコン基板の該主面に、マスクパターンを形成し、
結晶異方性エッチングを施して、(1 1 1) 等価面で構成され幅 W 1 と長さ L 1 を有する構造体を形成するシリコンの加工方法であって、
前記マスクパターンに、前記構造体の幅 W 1 を決定する決定個所を持たせ、
前記マスクパターンの前記幅 W 1 の決定個所の幅は、幅 W 2 を有し、
前記マスクパターンの長さ方向にわたって、前記決定個所以外の前記マスクパターンの幅は、前記幅 W 2 より大きい幅を有していることを特徴とするシリコンの加工方法。

10

【請求項 2】

前記長さ L 1 の中央部付近に、前記幅 W 2 を有する決定個所を存在させることを特徴とする請求項 1 に記載のシリコンの加工方法。

【請求項 3】

前記マスクパターンは凹部を有し、
前記凹部により、前記幅 W 2 を有する決定個所を形成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のシリコンの加工方法。

【請求項 4】

前記マスクパターンの幅を、前記長さ L 1 方向にわたって、前記幅 W 2 を有する決定箇所からの距離に比例して大きくすることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載のシリコンの加工方法。

20

【請求項 5】

前記幅 W 2 は、前記幅 W 1 方向と成す角を角 θ とすると、
$$W 1 = W 2 \cdot \cos \theta$$

の関係性を有することを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載のシリコンの加工方法。

【請求項 6】

前記マスクパターンの前記幅 W 2 を有する決定箇所からの距離を x とし、前記マスクパターンの長さ方向にわたる前記マスクパターンの幅の分布を $W(x)$ とし、前記幅 W 1 方向と成す角の最大許容量を θ_{max} とすると、
$$W(x) = W 2 + 2 \cdot |x| \cdot \tan \theta_{max}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 5 に記載のシリコンの加工方法。

30

【請求項 7】

(1 0 0) 等価面、或いは (1 1 0) 等価面を主面とする単結晶シリコン基板上に、作成される構造体の、(1 1 1) 等価面で構成され幅 W 1 と長さ L 1 を有する目標形状に対応するマスクパターンを有し、
前記マスクパターンは、前記構造体の幅 W 1 を決定する決定個所を有し、
前記マスクパターンの前記幅 W 1 の決定個所の幅は、幅 W 2 を有し、
前記マスクパターンの長さ方向にわたって、前記決定個所以外の前記マスクパターンの幅は、前記幅 W 2 より大きい幅を有していることを特徴とするエッチングマスク付きシリコン基板。

40

【請求項 8】

支持基板と、ねじりバネと、前記支持基板に対し前記ねじりバネによってねじり軸まわりにねじり振動可能に支持された可動部と、を有し、前記ねじり軸まわりに少なくとも 1 つの共振周波数を備えたマイクロ揺動体を製造する方法であって、
請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載のシリコンの加工方法により、前記構造体を前記ねじりバネとなる様に形成することを特徴とするマイクロ揺動体の製造方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のマイクロ揺動体の製造方法により作成されたマイクロ揺動体と、前記可動部に設けられた光偏向素子と、を有する光偏向器を備え、

50

前記光偏向器は、光源からの光ビームを反射・偏向し、該光ビームの少なくとも一部を光照射対象物に入射させることを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微小機械部材などを半導体プロセスによってシリコンウエハから製造する方法、特に、シリコンの構造体をウエハから製造するシリコンの加工方法、エッチングマスク付きシリコン基板などに関する。この構造体は、例えば、弾性部材として用い、振動を行うマイクロ揺動体を構成し、この揺動体は、光偏向器、それを用いた画像形成装置などの光学機器、加速度センサや角速度センサ等のセンサなどに利用され得る。

10

【背景技術】

【0002】

従来、半導体プロセスによってウエハから製造される微小機械部材はマイクロメータオーダの加工が可能であり、これらを用いて様々な微小機能素子の実現されている（特許文献1参照）。この様なシリコンを微細に加工する方法の一つに、ウエハにエッチングマスクを形成した後、アルカリ水溶液により異方性エッチングを行う方法がある。異方性エッチングとは、シリコンの（111）等価面のエッチングレートが他の結晶面に比べて遅いことを利用して、主に（111）等価面で構成される構造を作成する加工方法である。アルカリ水溶液に浸漬するという簡単な加工方法であり、一括で多くのウエハを処理できるので、安価なマイクロオーダの加工が可能となる。より詳細には、異方性エッチングとは、特定の結晶方位に対してエッチングが進まない性質を持つエッチング液を用いるエッチングであり、特定の結晶面を基準とした微細構造、即ち該結晶面で画された構造体を非常に高い加工精度で作成することができる。異方性エッチング液には、KOH（水酸化カリウム）、TMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム水溶液）、EDP（エチレンジアミンピロカテコール＋水）、NaOH（水酸化ナトリウム）、ヒドラジン等がある。

20

【0003】

シリコンの微小機能素子では、応力を受ける構造体が多く用いられる。そして、この異方性エッチングによれば、加工面が平滑な部材を得ることができる。特に、応力を受ける構造体を形成する場合、平滑な表面は、応力集中を回避できるため、良好な耐久性を有する構造体が製造可能となる。

30

【0004】

この様な技術によって形成されるマイクロ揺動体により反射面をねじり振動して光走査を行う光偏向器（特許文献1参照）は、ポリゴンミラー等の回転多面鏡を使用した光走査光学系に比べて、次の様な特徴がある。すなわち、光偏向器を小型化することが可能であること、消費電力が少ないこと、等の特徴がある。特に、マイクロ揺動体のねじり振動の共振周波数付近で駆動することにより、更に低消費電力とできる。

【特許文献1】特開平6-232112号公報

【特許文献2】特開昭57-8520号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

しかしながら、ウエハから構造体を異方性エッチングによって製造する方法の課題の一つとして、形成されたエッチングマスクとウエハの結晶軸方向との間にアライメント誤差により加工寸法に誤差が生じるということがある。例えば、この様な構造体をバネとして用い、マイクロ揺動体を構成する場合、加工寸法誤差によりバネ定数誤差が生じることとなる。これは、マイクロ揺動体の共振周波数の製造誤差となってしまうことになりかねない。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題に鑑み、本発明のシリコンの加工方法は、次の様な特徴を有する。すなわち、主

50

面が(100)等価面或いは(110)等価面である単結晶シリコン基板の該主面に、マスクパターンを形成し、結晶異方性エッチングを施して、(111)等価面で構成され幅W1と長さL1を有する構造体を形成するシリコンの加工方法である。そして、前記マスクパターンに、前記構造体の幅W1を決定する決定個所を持たせる。このマスクパターンの幅W1の決定個所の幅は、幅W2を有する。更に、前記マスクパターンの長さ方向にわたって、前記決定個所以外のマスクパターンの幅は、前記幅W2より大きい幅を有している。

【0007】

また、上記課題に鑑み、本発明のエッチングマスク付きシリコン基板は、次の様な特徴を有する。すなわち、(100)等価面或いは(110)等価面を主面とする単結晶シリコン基板上に、(111)等価面で構成され幅W1と長さL1を有する構造体の目標形状に対応するマスクパターンを有する。そして、前記マスクパターンは、前記構造体の幅W1を決定する決定個所を有し、前記マスクパターンの前記幅W1の決定個所の幅は、幅W2を有する。更に、前記マスクパターンの長さ方向にわたって、前記決定個所以外のマスクパターンの幅は、前記幅W2より大きい幅を有している。

10

【0008】

また、上記課題に鑑み、本発明のマイクロ揺動体の製造方法は、次の様な特徴を有する。すなわち、支持基板と、ねじりバネと、前記支持基板に対し前記ねじりバネによってねじり軸まわりにねじり振動可能に支持された可動部を有し、前記ねじり軸まわりに少なくとも1つの共振周波数を備えたマイクロ揺動体を製造する方法である。そして、前記シリコンの加工方法により、前記構造体を前記ねじりバネとなる様に形成する。

20

【0009】

また、上記課題に鑑み、本発明の画像形成装置などの光学機器は、前記マイクロ揺動体の製造方法により作成されたマイクロ揺動体と、前記可動部に設けられた光偏向素子を有する光偏向器を備える。前記光偏向器は、光源からの光ビームを反射・偏向し、該光ビームの少なくとも一部を感光体などの光照射対象物に入射させる。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、構造体の幅W1を決定するマスクパターンの決定個所の幅より、該決定個所以外のマスクパターンの幅を大きくしている。よって、結晶軸方位とエッチングマスクとの間にアライメント誤差があっても、加工寸法誤差の少ない構造体を形成可能なシリコンの加工を実現できる。従って、例えば、本発明のシリコンの加工方法で形成される構造体をマイクロ揺動体のバネとして用いれば、製造によるバネ定数誤差を低減することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施の形態について説明する。本発明のシリコンの加工方法やエッチングマスク付きシリコン基板などにおいて重要なことは、次のことである。すなわち、結晶異方性エッチングの性質を利用するために、エッチングマスクパターンに、構造体の幅W1を決定する決定個所を持たせ、前記決定個所以外の幅がこの決定個所の幅を下まわらない様にすることである。この考え方に基づき、本発明によるシリコンの加工方法やエッチングマスク付きシリコン基板などの基本的な実施形態は以下の様な構成を有する。

40

【0012】

シリコンの加工方法の基本的な一実施形態では、主面が(100)等価面或いは(110)等価面である単結晶シリコン基板上に、マスクパターンを形成する。そして、結晶異方性エッチングを施して、(111)等価面等で構成され幅W1と長さL1を有する構造体を形成する。マスクパターンは、前記構造体の幅W1を決定するための幅W2の決定個所を持ち、マスクパターンの長さ方向にわたって、決定個所以外のマスクパターンの幅は、幅W2より大きい幅を有している。

【0013】

50

前記実施形態において、次の様な形態にすることが可能である。まず、前記長さ L_1 の中央部付近に、前記幅 W_2 を有する決定個所を存在させることができる。また、マスクパターンは凹部を有し、凹部により、前記幅 W_2 を有する決定個所を形成することができる。これらの形態については、後述の実施形態 1 で詳述される。

【0014】

また、前記マスクパターンの幅を、前記長さ L_1 方向にわたって、前記幅 W_2 を有する決定箇所からの距離に比例して大きくすることができる。この形態は、図 8 (b) の例や実施形態 2 で採用されている。また、前記幅 W_2 は、前記幅 W_1 方向と成す角 (すなわち、アライメント誤差) を角 θ とすると、 $W_1 = W_2 \cdot \cos \theta$ の関係を有する様にできる。また、マスクパターンの決定箇所からの距離を x とし、マスクパターンの長さ方向にわたるマスクパターンの幅の分布を $W(x)$ とし、前記幅 W_1 方向と成す角の最大許容量を θ^* とすると、 $W(x) = W_2 + 2 \cdot |x| \cdot \tan \theta^*$ の関係を満たす様にできる。これらの形態についても、後述の実施形態 1 で詳述される。

10

20

【0015】

更に、エッチングマスク付きシリコン基板の基本的な一実施形態では、(100) 等価面或いは (110) 等価面を主面とする単結晶シリコン基板上に、(111) 等価面等で構成され幅 W_1 と長さ L_1 を有する構造体の目標形状に対応するマスクパターンを有する。そして、前記マスクパターンは、前記構造体の幅 W_1 を決定する幅 W_2 の決定箇所を有し、マスクパターンの長さ方向にわたって、前記決定個所以外のマスクパターンの幅は、前記幅 W_2 より大きい幅を有している。ここでも、前述した様なより具体的な形態を採ることができる。

【0016】

前記シリコンの加工方法により、後述の実施形態 1、2 で詳述する様に、前記構造体をねじりバネとなる様に形成することができる。そして、このねじりバネと共に、支持基板と支持基板に対し前記ねじりバネによってねじり軸まわりにねじり振動可能に支持された可動部とを備えて、ねじり軸まわりに少なくとも 1 つの共振周波数を備えたマイクロ揺動体を構成することができる。

【0017】

また、前記マイクロ揺動体の製造方法により作成されたマイクロ揺動体と前記可動部に設けられた反射ミラーなどの光偏向素子とを有する光偏向器を備えて、後述の実施形態 3 で詳述する様な画像形成装置などの光学機器を構成することもできる。光偏向器は、光源からの光ビームを反射・偏向し、該光ビームの少なくとも一部を感光体などの光照射対象物に入射させる。

30

【0018】

上記実施形態においては、構造体の幅 W_1 を決定するマスクパターンの決定箇所の幅を、前記決定個所以外の幅が下まわらないので、結晶軸方位とエッチングマスクとの間にアライメント誤差があっても、加工寸法誤差の少ない構造体を形成できる。

【0019】

次に、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

40

[実施形態 1]

本発明の実施形態 1 として、シリコンの加工方法とそれにより加工された構造体の構成例について説明する。

【0020】

まず、図 1 から図 5 を用いて本実施形態のシリコンの加工方法について説明する。図 5 は、本実施形態のシリコンの加工方法に用いるシリコンウエハ 100 の上面図である。シリコンウエハ 100 はシリコンの単結晶で、図 5 の紙面法線方向が $\langle 100 \rangle$ 結晶軸方向であり、 $\langle 110 \rangle$ 結晶軸方向を示すオリエンテーションフラット 105 を有している。シリコンウエハ 100 の表面には、エッチングマスクパターン 101 が形成されており、1 枚のウエハで複数の構造体を形成することができる。エッチングマスクパターン 101 が $\langle 110 \rangle$ 結晶軸方向に対するアライメント誤差を有していても、本実施形態のシリコン

50

の加工方法により、作成する構造体の加工寸法誤差を低減することができる。

【0021】

図1から図3は、図5のエッチングマスクパターン101または構造体の一部を拡大した図である。これらを用いて、エッチングマスクと加工された構造体の関係について説明する。

【0022】

図1(a)は、エッチングマスクパターン101の一部を拡大した上面図、図1(b)は、図1(a)のA-A'線での断面図を示している。シリコンウエハ100の両面に窒化シリコン膜を形成した後、フォトリソグラフにより窒化シリコンのエッチングマスクパターン101を形成する。図1(a)に示す様に、本実施形態のエッチングマスクパターン101は、破線で示した構造体の形成単位10が複数配列された図示の様な窒化シリコン膜102のパターンを有している。そして、構造体の形成単位10で代表される窒化シリコン膜102の長手方向をx方向として、図1(a)に示す方向にエッチングマスクパターン101の座標を設定する。このとき、エッチングマスクパターン101は、x方向が図5のオリエンテーションフラット105で示される<110>結晶軸方向へアライメントされ形成される。図1(b)の通り、図1(a)のパターンが形成されている面は、シリコンウエハ100の(100)等価面103である。一方、裏面は、一様に窒化シリコン膜102が形成されている。

10

【0023】

図2は、図1の工程の後、アルカリ水溶液で異方性エッチングを施し、シリコンウエハ100の両面の窒化シリコン膜を除去した状態を示している。アルカリ水溶液は、水酸化カリウム水溶液などを用いることができる。図2(a)は、図1(a)と同じ個所の上面図、図2(b)は、図2(a)のA-A'線での断面図である。図2(a)の様に、構造体の形成単位10の個所に、両端を固定された形態の単結晶シリコン構造体1が形成されている。アルカリ水溶液による異方性エッチングにより、構造体1は、図2(b)の様に、(111)等価面104と(100)等価面103で囲まれた台形の断面を有している。

20

【0024】

次に、図3を用いて、図1(a)と図2(a)で説明したエッチングマスクパターン101と構造体1との寸法の対応関係を説明する。図1(a)、図2(a)の構造体の形成単位10の拡大図を、夫々、図3(a)、図3(b)として示している。図3(a)に示す通り、エッチングマスクパターン101は、構造体の長さL1に対応する長さL2を有している。また、前述のエッチングマスクパターン101の座標は、この長さL2方向に座標のx方向が設定されている。そして、座標y方向に、幅W(x)を有している。幅W(x)は、本発明では、座標x方向にわたって分布する。すなわち、一定ではなく(例えば、後述する図8(b)の様に連続的に変化し)、長さL2の範囲で、最小となる幅W2を有している。本実施形態では、特に、図3(a)の様に、L2の中央の箇所に凹部11が形成されており、最小の幅W2を形成している。一方、凹部11が形成されない部分の幅W(x)は、一様にWmaxとなっている。

30

【0025】

図3(a)のエッチングマスクパターン101により、図3(b)に示す様に構造体1が形成される。形成された構造体1は、図示の様に、長さL1を有している。また、それと直角な方向に幅W1を有している。ここで、W1は、図2(b)で示した通り、(111)等価面104で決定されており、長さL1にわたってほぼ一定の値となっている。

40

【0026】

図3(b)は、図3(a)の座標x方向が、シリコンウエハ100のオリエンテーションフラット105で示される<110>結晶軸方向と理想的にアライメントされた状態を示している。ここで、幅W1と幅W2は以下の関係を有している。

$$W2 = W1 + 2 \times (111) \text{ 等価面 } 104 \text{ のエッチング量} \quad (\text{式1})$$

【0027】

式1の右辺第2項については、異方性エッチングを行うためのエッチングマスクとして一

50

般的に考慮される量であり、作成される構造体とエッチングマスクの関係として自明である。従って、以下の説明ではこの項については省略し、例えば、式 1 の場合には、次の式 2 の様に表記する。

$$W_2 = W_1 \quad (\text{式 2})$$

【0028】

その他のいずれの寸法についても、特に明記しない限り、(111)等価面104で決定される寸法を形成するエッチングマスクには、(111)等価面104のエッチング量が考慮され、記述している関係ではこの項を省略しているものとする。

【0029】

<110>結晶軸方向と理想的にアライメントされた状態のときには、エッチングマスクパターン101の幅 W_2 が、形成される構造体1の W_1 を決定する個所となる。これは、異方性エッチングにより、幅 W_2 となるまで、(111)等価面以外の面でシリコンがエッチングされ、幅 W_2 で(111)等価面が現れて図3(b)に示す様になるからである。

10

【0030】

この様に、エッチングマスクパターン101の幅 $W(x)$ が、その長さ L_2 方向に分布を有していても、形成される構造体1の幅 W_1 は、その長さ L_1 方向に一定の値を有している。こうして、幅 W_1 は、 $W(x)$ の最小となる幅 W_2 で決定される。

【0031】

次に、図4、図6、図7を用いて、<110>結晶軸方向とエッチングマスクパターン101の座標 x 方向との間でアライメント誤差がある場合における、この誤差による幅 W_1 の加工誤差について説明する。この様なアライメント誤差の主な要因には、オリエンテーションフラット105と<110>結晶軸方向との間の誤差や、オリエンテーションフラット105とエッチングマスクパターン104との間の誤差がある。尚、これらは、典型的には $\pm 0.1^\circ$ 程度の角度誤差として現れるが、図では、分かり易くするために角度誤差を強調して描いている。

20

【0032】

図4(a)は、図1(a)の座標 x 方向が<110>結晶軸方向との間でアライメント誤差を生じていた場合の、図2(a)に示した個所に相当する部分の上面図である。図4(a)中の構造体1で示す様に、図2(a)と比較して、構造体1がアライメント誤差により傾いて形成されている。図4(b)は、図4(a)の構造体の形成単位10を更に拡大して示している。図4(b)に示す様に、(111)等価面104に囲まれた構造体1は、幅 W_1' 、長さ L_1' を有している。ここで、長さ L_1' の方向は、(111)等価面104で決定されている構造体1に沿った、つまり<110>結晶軸方向に沿った方向であり、幅 W_1' の方向は、長さ L_1' と直角な方向となっている。これから分かる様に、アライメント誤差が生じている場合も、(111)等価面104で構造体1の幅は決定され、長さ L_1' 方向にわたって、ほぼ一定値 W_1' を有している。

30

【0033】

次に、図6、図7を用いて、本発明のシリコンの加工方法により加工寸法誤差が低減される原理について説明する。図6(a)、(b)は、いずれも構造体の形成単位10のエッチングマスクパターン101の上面図を示している。図6(a)は、図1(a)の本実施形態のエッチングマスクパターンを示す。一方、図6(b)は、従来技術によるエッチングマスクパターンを示している。従来技術によるエッチングマスクパターンは、長さ L_2 と幅 W_4 を有する図示の様な形状を有している。本実施形態のエッチングマスクパターン101の座標と同様に、長さ L_2 方向を x 方向とした座標をとると、幅 W_4 は長さ L_2 方向に一定となっている。そして、アライメント誤差がない理想的な状態で、図3(b)の様な構造体1が形成される様に、次の様に設計されている。

40

$$L_2 = L_1 \quad (\text{式 3})$$

$$W_4 = W_1 \quad (\text{式 4})$$

【0034】

50

ここで、図 6 は、アライメント誤差が生じている場合の説明として、異方性エッチング後の構造体 1 の輪郭線である加工面 106 を示している。加工面 106 は、エッチングマスクによりエッチング後に残る (111) 等価面とウエハの表面が交わることで形成される線である。また、図 6 には、アライメント誤差の量として、 $\langle 110 \rangle$ 結晶軸方向と座標 x 方向の成す角 θ が示されている ($\theta = 0$ が理想的な状態)。

【0035】

図 6 (b) に示す従来技術によるシリコンの加工方法では、アライメント誤差が生じていると、2つのコーナー 12 の $\langle 110 \rangle$ 結晶軸方向の間隔によって、形成される構造体 1 の幅 $W1'$ が決定されてしまう。これは、最初に 2つのコーナー 12 の所で (111) 等価面が現れ、後は、幅 $W4$ で長さ $L2$ の窒化シリコン膜 102 の両側のエッチングが、夫々、これらの (111) 等価面に繋がった (111) 等価面が現れるところで進まなくなるからである。従って、アライメント誤差がない理想的な場合の構造体 1 の幅 $W4$ に比べ、幅 $W1'$ は小さくなる。この幅の減少量は、形成したい構造体 1 の長さ $L1$ が大きいほど大きくなり、 $W1'$ と $W4$ とは、想定しているアライメント誤差の範囲では、以下の関係で近似できる。

$$W1' = W4 - L2 \cdot \tan \theta \quad (\text{式 5})$$

【0036】

幅の加工誤差 ΔW を $(W1' - W4) / W4$ とすると、従来技術では、次の式で表される。

$$\Delta W = (L2 / W4) \cdot \tan \theta \quad (\text{式 6})$$

従来技術では、式 6 に示す様に、 $L2 / W4$ の値が大きい形状の場合、アライメント誤差による加工誤差 ΔW が大きくなってしまう。そこで、一般に、 $L2 / W4$ が大きな値になる構造体、例えば、梁、パネ、配列された隔壁等を異方性エッチングによって形成する場合に、上記加工誤差 ΔW が幅の加工誤差の主要因となる。

【0037】

一方、図 6 (a) に示した本実施形態のエッチングマスクパターンは、前述した様に、座標 x 方向に沿って幅 $W(x)$ の分布があり (すなわち幅 $W(x)$ は一定ではなく)、図示の様に長さ $L2$ の中央部で幅 $W2$ を有している。幅 $W2$ は、形成したい構造体 1 の幅 $W4$ と等しい値に設定されている。また、本実施形態では、前述の通り、凹部 11 以外の個所の幅は W_{max} となっている。 W_{max} は、想定しているアライメント誤差 Δ によって決定される。本実施形態の場合、加工誤差を低減させたいアライメント誤差範囲が $\pm \Delta$ ならば、次の式の関係をもって設定されている。

$$W_{max} = W2 + 2 \cdot (L2 / 2) \cdot \tan \theta \quad (\text{式 7})$$

【0038】

本実施形態のエッチングマスクパターンでは、アライメント誤差があっても、2つのコーナー 12 が、形成される構造体の幅 $W1$ を決定せず、幅 $W2$ が幅 $W1$ を決定する。これは、最初に幅 $W2$ の決定箇所の両側の所で (111) 等価面が現れ、後は、長さ $L2$ の窒化シリコン膜 102 の他の箇所の両側のエッチングが、夫々、これらの (111) 等価面に繋がった (111) 等価面が現れるところで進まなくなるからである。よって、このとき形成される構造体の幅 $W1'$ 、構造体の加工誤差 ΔW は、以下の式で表されるものとなる。

$$W1' = W2 \cdot \cos \theta \quad (\text{式 8})$$

$$\Delta W = \cos \theta - 1 \quad (\text{式 9})$$

【0039】

従って、本実施形態のエッチングマスクパターンでは、アライメント誤差 θ に対する加工誤差 ΔW を非常に小さい値とすることができる。式 9 から分かる様に、加工誤差 ΔW は構造体の長さ $L2$ にはよらないため、従来技術によれば加工誤差が大きくなる構造体形状でも、高い精度で作成可能となる。

【0040】

更に、図 6 (a) で示す様に、本実施形態を含む本発明のエッチングマスクパターンは、パターンのエッジ付近に裂けた傷 108 やピンホール 107 などであっても、幅の加工誤差には影響を与えない。図 6 (b) に示す様な従来技術のマスクパターンでは、この様な

10

20

30

40

50

エッジ付近のマスクの欠陥が、直接、幅の加工誤差となってしまうやすい。

【0041】

図7のグラフは、従来技術と本実施形態のエッチングマスクパターンを用いた場合のアライメント誤差と加工誤差との関係を示している。前述の様に、典型的に生じる恐れのあるアライメント誤差 $\pm 0.1^\circ$ の範囲で、本実施形態の加工誤差は $-6 \mu\text{m}$ 程度であるのに対して、従来技術では、 $L2/W4 = 60$ の場合には、 -10% 程度となる。この様に、本実施形態では、 $L2/W4$ がどのような値の構造体についても、アライメント誤差による構造体の幅の加工誤差を低減することが可能となる。

【0042】

以上の様に本実施形態のエッチングマスクによるシリコンの加工方法によれば、実際の結晶軸方向とエッチングマスクとの間にアライメント誤差があっても、異方性エッチングによる構造体の加工誤差を低減することができる。異方性エッチングによるシリコンの加工では平滑な平面が得られるため、弾性体として用いられる幅が小さく長さが大きい構造体でも、加工精度が高く破損しにくい形態で作成できる。

【0043】

また、エッチングマスクの輪郭に僅かな欠陥（破れ、穴等）があっても、その部分によって生じる構造体の幅の加工誤差も低減することができる。特に、本実施形態のエッチングマスクの様に、凹部を用いて幅 $W2$ の箇所を形成し、その他の幅の大きな部分の領域を大きくすることによって、これらの欠陥により構造体の幅の加工誤差が生じる確率を更に低減できる。

【0044】

そして、本実施形態のエッチングマスクの様に、凹部を用いて幅 $W2$ の箇所を形成すれば、エッチングマスクパターンの主要な形状を長方形の組み合わせで形成可能となる。そのため、エッチングマスクパターンをフォトリソグラフで作成する場合、フォトマスクの構造を簡略化できるため、安価にエッチングマスクパターンを形成可能となる。

【0045】

勿論、本発明によるエッチングマスクは、本実施形態の様に幅 $W2$ の箇所が長さ $L2$ の中央部に位置しない場合でも、加工誤差を低減することが可能である。

【0046】

図8(a)は、図6(a)の幅 $W2$ の箇所が長さ $L2$ の中央部に位置しない場合のエッチングマスクの変形例を示している。この場合、加工誤差を低減させたいアライメント誤差範囲が $\pm \theta$ ならば、幅 $W2$ 以外の幅 $W5$ 、 $W6$ の値は、次の関係を有している。

$$W5 = W2 + 2 \cdot (L6) \cdot \tan \theta \quad (\text{式10})$$

$$W6 = W2 + 2 \cdot (L7) \cdot \tan \theta \quad (\text{式11})$$

図8(a)の変形例でも、図7のグラフに示す様に加工誤差の低減を行うことが可能である。

【0047】

ただし、本実施形態のエッチングマスクの様に、幅 $W2$ の箇所が長さ $L2$ の中央部に位置するエッチングマスクにすることによって、エッチングマスクの幅 $W(x)$ の最大幅を最も小さな値とすることができる。従って、エッチングマスクの最大幅と異方性エッチングにより形成される最終形状の幅との差を小さくできる。そのため、(111)等価面がエッチング途中で露出するまでのエッチング量を少なくし、平滑なエッチング面を形成することが可能となる。また、エッチングマスクの最大幅と最終形状の幅の差が大きくなるとエッチング中の液の更新、発生する気泡の集積などが原因でエッチング速度誤差が生じる恐れがあるが、それを低減することが可能となる。更に、シリコンがエッチングされた個所のエッチングマスクは除去前まで破損しやすい形態となるが、このような個所の面積を小さくできるため、信頼性の高い加工方法とすることができる。

【0048】

更に、図8(b)の様な構成とすることによって、エッチングマスクの最大幅と異方性エッチングにより形成される最終形状の幅との差を更に小さくすることが可能である。図8

10

20

30

40

50

(b)は、構造体の形成単位10のエッチングマスクの別の変形例を示している。図6(a)と同じ機能を有するものには、同じ符号を付している。図8(b)の構成では、幅W2の箇所は、図6(a)と同様に、長さL2の中央部に位置している。一方、図6(a)と異なり、長さL2にわたって、幅Wmaxの箇所へ幅W(x)は単調に増加している。エッチングマスクをこのような形態とすることによって、エッチングマスクの最大幅と異方性エッチングにより形成される構造体の最終形状の幅との差を小さくすることが可能となる。

【0049】

また更に、図8(b)の様な構成において、エッチングマスクの幅W2の箇所を長さL2の一端にもってきて、幅Wmaxの箇所に向かって幅W(x)を単調に増加させる形態も可能である。ただし、こうした形態では、エッチングマスクの最大幅と異方性エッチングにより形成される構造体の最終形状の幅との差は比較的大きくなる。

【0050】

[実施形態2]

本発明の実施形態2を説明する。図11に、本実施形態のシリコンの加工方法で製造されたマイクロ揺動体の構成例を示す。図11(a)はその上面図、図11(b)は図11(a)のA-A'線での断面図である。一方、図12は、本実施形態のマイクロ揺動体によって構成された光偏向器を示す図であり、図12(a)はその上面図、図12(b)は図12(a)のB-B'線での断面図である。尚、これらの図において、前述の実施形態1と同じ機能を有する箇所には、同じ符号を付した。

【0051】

図11、図12のマイクロ揺動体ないし光偏向器において、2は支持部、3は固定部、4は反射面、6は可動部、7は駆動手段を成す永久磁石、8はねじり軸を夫々示している。図11で示したマイクロ揺動体は、図12の様に、可動部6に反射面4を形成し、反射面4が形成される面の裏の面に永久磁石7を設置することで、光を走査する光偏向器として構成される。特に、機械的に接地された固定部3に支持部2を介して固定されることにより、ねじり軸8をねじり中心とした構造体1によるねじり振動子となっている。そして、図12(b)に示す様に、図示しないコイルなどの磁場発生手段(これも駆動手段を成す)から交流磁束15を印加して永久磁石7に作用させることによりトルクが発生し、共振周波数付近でマイクロ揺動体をねじり軸8まわりで揺動させることができる。

【0052】

本実施形態における光偏向器は、ねじり軸8について共振周波数fを以下の式の関係で有している。

$$f = 1 / (2 \cdot \quad) \cdot (2 \cdot K / I) \quad (\text{式12})$$

ここで、Kは構造体1のねじり軸8まわりのねじりバネ定数、Iは可動部6のねじり軸8まわりの慣性モーメントを表している。

【0053】

図11(b)に示す様に、本実施形態におけるマイクロ揺動体の構造体1は、前述の実施形態1と同様にアルカリ水溶液によるシリコンの異方性エッチングで形成されている。従って、構造体1を構成する各面は図示の様に(100)等価面または(111)等価面である。本実施形態における構造体1は、図示の様に、薄肉の四角断面が2つ組み合わさってX字状の多角形を形成している。

【0054】

この断面を有する構造体1のねじりバネ定数Kは、図11(a)、(b)に示す寸法、W1a(=W1b)、L1、ウエハ厚さT、(100)等価面103と(111)等価面104との成す角(=54.7°)を用いると、以下の式で近似できる。

$$K = G \cdot \{ (\sin \quad)^2 \cdot T \cdot (W1a)^3 \} / (3 \cdot L1) \quad (\text{式13})$$

【0055】

本実施形態では、W1a=W1b=85μm、L1=2800μm、T=300μmであり、図12の形態で、f=2.7kHz程度である。

【 0 0 5 6 】

式 1 3 に示す様に、ねじりバネ定数 K は、構造体 1 の幅 $W 1 a$ の 3 乗に比例するため、 $W 1 a$ の寸法誤差は、長さ L 、ウエハ厚さ T に比べ、ねじりバネ定数誤差への影響が大きい。加えて、長さ $L 2 /$ 幅 $W 1 a = 3 3$ であり、このような形状の構造体 1 の幅は、従来技術のシリコンの加工方法では、アライメント誤差による加工誤差が大きくなってしまふ。これに対して、本発明のシリコンの加工方法によれば、構造体 1 の幅 $W 1 a$ の加工誤差を低減できる。更に、構造体 1 を本実施形態の様にバネとして用いる場合に、バネ定数誤差を効果的に低減することが可能となる。

【 0 0 5 7 】

ここで、図 9、図 1 0 を用いて本実施形態のシリコンの加工方法のエッチングマスクパターンについて説明する。尚、前述の実施形態 1 と同じ機能を有する個所には、同じ符号を付した。図 9 は、図 5 に示す様なシリコンウエハ 1 0 0 に形成されたエッチングマスクパターン 1 0 1 の拡大上面図を示している。前述の実施形態 1 と同様に、図 9 の座標 x 方向が図 5 のオリエンテーションフラット 1 0 5 が示す $\langle 1 1 0 \rangle$ 結晶軸方向にアライメントされて形成されている。

【 0 0 5 8 】

図 9 の破線個所は、マイクロ揺動体の形成単位 1 6 を示している。図示の様に、本実施形態のシリコンの加工方法では、隣接して複数のマイクロ揺動体を形成可能である。窒化シリコン膜 1 0 2 の構造体形成予定個所と可動子形成予定個所は、隣り合う素子同士で近接して配置されている。

【 0 0 5 9 】

図 1 0 (a) に、マイクロ揺動体の形成単位 1 6 の拡大上面図を示す。また、図 1 0 (a) の $A - A'$ 線での断面図を図 1 0 (b)、構造体の形成単位 1 0 の拡大上面図を図 1 0 (c) に示す。前述の実施形態 1 と異なり、図 1 1 に示した X 字状の断面の構造体 1 を形成するために本実施形態の構造体の形成単位 1 0 は特徴的なパターンを有している。図 1 0 に示す様に、ほぼ図 8 (b) のパターンを 2 個並べた形状となっている。そして、図 1 0 (b) に示す様に、図 1 0 (a) のパターンが裏面にも形成されている。従って、アルカリ水溶液による異方性エッチングもウエハの表裏両面から行われる。

【 0 0 6 0 】

一方、前述の実施形態 1 と同様に、長さ $L 2$ 方向に座標 x 方向を取った場合、エッチングマスクパターンの幅 $W a (x)$ 、 $W b (x)$ は x 方向に分布を有している。長さ $L 2$ の中央部で幅 $W 2 a$ 、 $W 2 b$ を有し、そこから遠ざかるに従って、単調増加し、最大値 $W m a x$ となる。特に、 $W 2 a$ 、 $W 2 b$ と図 1 1 (a) に示す $W 1 a$ 、 $W 1 b$ は、以下の関係を有している。

$$W 2 a = W 2 b = W 1 a = W 1 b \quad (\text{式 } 1 4)$$

【 0 0 6 1 】

また、 $W m a x$ は、前述の式 7 と同様の原理で、想定アライメント誤差範囲 $\pm \quad *$ に対して次の関係をもって設定されている。

$$W m a x = W 2 a + 2 \cdot (L 2 / 2) \cdot \tan \quad * \quad (\text{式 } 1 5)$$

【 0 0 6 2 】

以上の様なエッチングマスクパターンによって、図 1 1 の様なマイクロ揺動体が形成される。

【 0 0 6 3 】

次に、アライメント誤差 が生じた場合について説明する。この場合、マイクロ揺動体は、図 1 1 (c) の上面図で示す様な形状となる。アライメント誤差 による加工誤差が生じる原理は、前述の実施形態 1 と同様である。本実施形態におけるマイクロ揺動体は、構造体 1 の断面が図 1 1 (b) の様な X 字状であるため、構造体 1 の幅、長さについて、図 1 1 (c) に示す様な、長さ $L 1 a$ 、 $L 2 b$ 、幅 $W 1 a'$ 、 $W 1 b'$ となって現れる。このとき、構造体 1 の長さとしては、 $L 1 a$ と $L 2 b$ の平均値を代表長さとする。構造体 1 の幅については、幅 $W 1 a'$ 、 $W 1 b'$ は等しく、幅 $W 2 a (= W 2 b)$ と以下の

関係を有している。

$$W1a' = W2a \cdot \cos \quad (\text{式 } 16)$$

$$= \cos - 1 \quad (\text{式 } 17)$$

ここで、幅の加工誤差 を $(W1a' - W2a) / W2a$ とした。

【0064】

この様に、本実施形態の様なX字状断面を有する構造体1においても、前述の実施形態1と同様の関係で、アライメント誤差 に対する幅の加工誤差 を低減することが可能となる。尚、本実施形態では、ウエハ厚さと並列的に2個並べたエッチングマスクパターンの幅や間隔との関係を適切に設定することで、X字状断面を有する構造体1を実現している。

10

【0065】

以上に述べた様に、本実施形態の様なねじり軸を中心にねじり振動を行うマイクロ揺動体について、式13に示す様な幅 $W1a$ の3乗の項の誤差が低減されるため、パネ定数の誤差を効果的に低減することが可能となる。よって、更に、式12の様な共振周波数 f の誤差も低減することができる。そして、図12に示す様な光偏向器を構成する場合、共振周波数 f の誤差が低減されるため、所望の周波数且つ省電力で駆動可能な光偏向器を安定的に製造可能となる。

【0066】

ところで、前述の実施形態1、2では、主面が(100)等価面である単結晶シリコン基板について説明したが、主面が(110)等価面である単結晶シリコン基板でも、同様な加工が可能である。すなわち、主面が(110)等価面である単結晶シリコン基板の該主面に、マスクパターンを形成し、結晶異方性エッチングを施す。これにより、図2に対応する図13の(b)に示す様に、(110)等価面110とこれに垂直な(111)等価面104で構成される幅と長さを有する構造体1を形成することができる。この場合も、図3に対応する図14のようにマスクパターンにおいて、構造体の幅 $W1$ の決定個所の幅は、幅 $W2$ を有し、マスクパターンの長さ方向にわたって、決定個所以外のマスクパターンの幅は、幅 $W2$ より大きい幅を有する。ただし、(111)等価面が(110)等価面に垂直になるので、実施形態1に対応する形態の構造体1の断面は矩形状になり、実施形態2に対応する形態の構造体1の断面は2個の薄肉の四角断面が平行に並んだ形状となる。

20

30

【0067】

[実施形態3]

本発明の実施形態3を説明する。図12(c)は、実施形態2における図12に示した光偏向器を用いた光学機器に係る実施形態3を示す概略斜視図である。

【0068】

ここでは、光学機器として画像形成装置を示している。図12(c)において、3003は実施形態2における光偏向器であり、入射光を1次元に走査する。3001は光源であるレーザー光源である。3002はレンズ或いはレンズ群、3004は書き込みレンズ或いはレンズ群、3005は光照射対象物であるドラム状の感光体である。

【0069】

レーザー光源3001から射出されたレーザー光は、光の偏向走査のタイミングと関係した所定の強度変調を受けている。この強度変調光は、レンズ或いはレンズ群3002を通して、光走査系(光偏向器)3003により1次元的に走査される。この走査されたレーザー光は、書き込みレンズ或いはレンズ群3004により、感光体3005上に画像を形成する。

40

【0070】

走査方向と直角な方向に回転軸の回りに回転される感光体3005は、図示しない帯電器により一様に帯電されており、この上に光を走査することによりその走査部分に静電潜像が形成される。次に、図示しない現像器により静電潜像の画像部分にトナー像が形成され、これを、例えば、図示しない用紙に転写・定着することで用紙上に画像が形成される。

【0071】

50

本実施形態では、共振周波数の誤差が少ない実施形態 2 における光偏向器 3003 により、安定な画像を低消費電力で形成することが可能となる。

【0072】

勿論、前述の光偏向器は、他の光学機器にも使用でき、これらの装置において、光源からの光ビームを反射・偏向し、該光ビームの少なくとも一部を光照射対象物に入射させる。こうした光学機器としては、レーザビームプリンタなどの画像形成装置の他に、画像表示装置、バーコードリーダー等の光ビームを走査する機器などがある。また、本発明のシリコンの加工方法は、光学機器以外にも、例えば、マイクロマシン技術を用いて作製する加速度センサや角速度センサ等のマイクロ構造体の作製にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0073】

【図 1】(a) は本発明の第 1 の実施形態におけるエッチングマスクパターンを示す上面図、(b) は図 1 (a) の A - A' 線での断面図である。

【図 2】(a) は本発明の第 1 の実施形態における構造体を示す上面図、(b) は図 2 (a) の A - A' 線での断面図である。

【図 3】(a) は本発明の第 1 の実施形態における構造体の形成単位のエッチングマスクパターンを示す上面図、(b) は本発明の第 1 の実施形態の構造体を示す上面図である。

【図 4】(a) は本発明の第 1 の実施形態においてアライメント誤差が生じたときの構造体を示す上面図、(b) はアライメント誤差が生じたときの構造体を示す拡大上面図である。

20

【図 5】本発明におけるシリコンウエハの概略を示す上面図である。

【図 6】(a) は本発明の第 1 の実施形態におけるエッチングマスクパターンの詳細を示す上面図、(b) は従来技術におけるエッチングマスクパターンを示す上面図である。

【図 7】本発明と従来技術におけるアライメント誤差による加工誤差を比較して示すグラフである。

【図 8】(a) は本発明の第 1 の実施形態の変形例におけるエッチングマスクパターンを示す上面図、(b) は本発明の第 1 の実施形態の他の変形例におけるエッチングマスクパターンを示す上面図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態におけるエッチングマスクパターンを示す上面図である。

30

【図 10】(a) は本発明の第 2 の実施形態におけるマイクロ揺動体の形成単位のエッチングマスクパターンを示す上面図、(b) は図 10 (a) の A - A' 線での断面図、(c) は本発明の第 2 の実施形態における構造体の形成単位のエッチングマスクパターンを示す上面図である。

【図 11】(a) は本発明の第 2 の実施形態においてシリコンの加工により製造されたマイクロ揺動体を示す上面図、(b) は図 11 (a) の A - A' 線での断面図、(c) は本発明の第 2 の実施形態においてアライメント誤差が生じた場合のマイクロ揺動体を示す上面図である。

【図 12】(a) は本発明の第 2 の実施形態においてシリコンの加工により製造された光偏向器を示す上面図、(b) は本発明の第 2 の実施形態のシリコンの加工により製造された光偏向器の可動部を示す断面図、(c) は、本発明の第 3 の実施形態に係る、本発明のシリコン加工により製造された光偏向器を用いた光学機器を示す概略斜視図である。

40

【図 13】(a) は本発明の第 1 の実施形態の変形例における構造体を示す上面図、(b) は図 13 (a) の A - A' 線での断面図である。

【図 14】(a) は本発明の第 1 の実施形態の変形例における構造体の形成単位のエッチングマスクパターンを示す上面図、(b) は本発明の第 1 の実施形態の変形例における構造体を示す上面図である。

【符号の説明】

【0074】

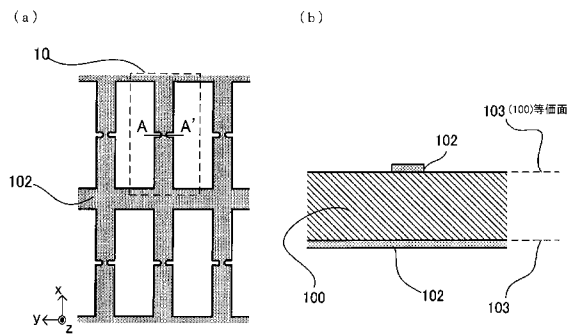
1 構造体

50

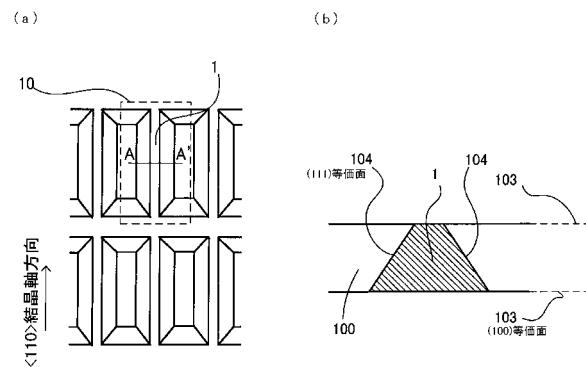
- 4 反射面（光偏向素子）
- 6 可動部
- 7 永久磁石（駆動手段）
- 8 ねじり軸
- 10 構造体の形成単位
- 11 凹部（構造体の幅の決定箇所）
- 16 マイクロ揺動体の形成単位
- 100 シリコンウエハ
- 101 エッチングマスクパターン
- 102 窒化シリコン膜
- 103 (100)等価面
- 104 (111)等価面
- 105 オリエンテーションフラット
- 110 (110)等価面
- 3001 レーザ光源（光源）
- 3003 光偏向器（光走査系）
- 3005 感光体（光照射対象物）

10

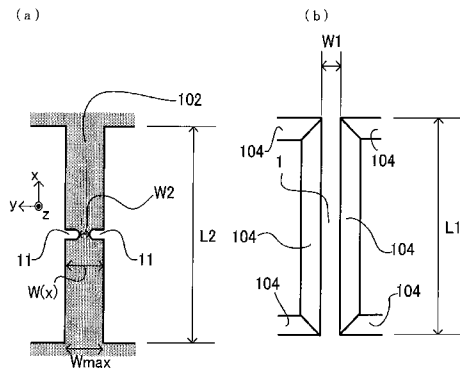
【図 1】



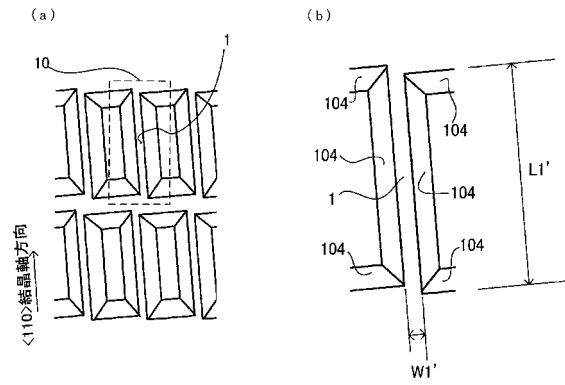
【図 2】



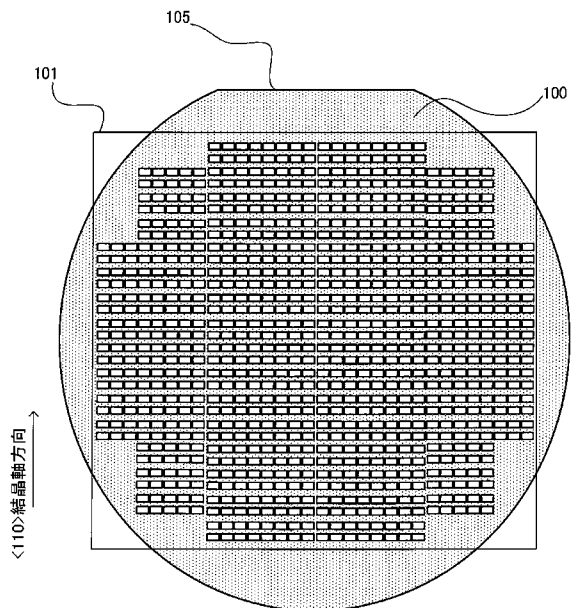
【図 3】



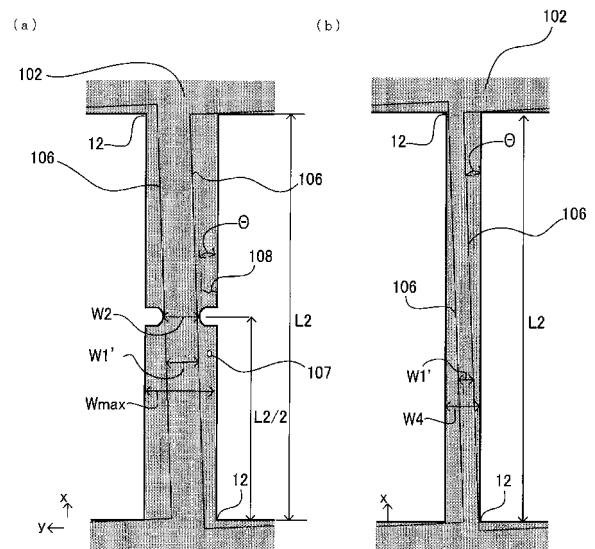
【図 4】



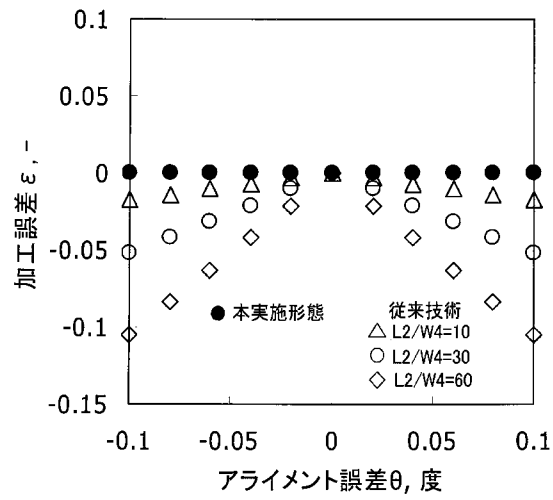
【図 5】



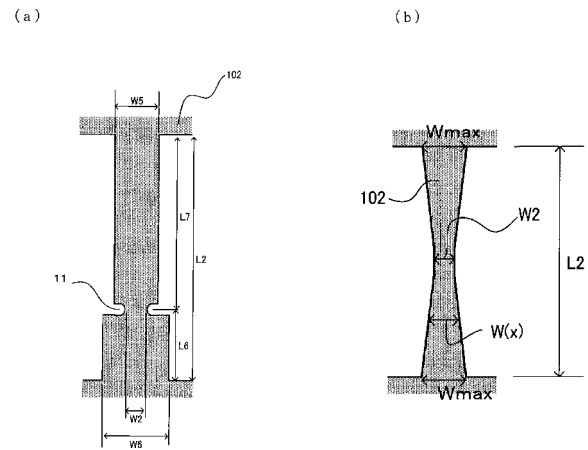
【図 6】



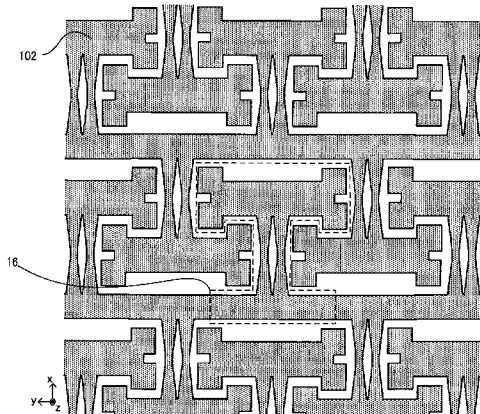
【図 7】



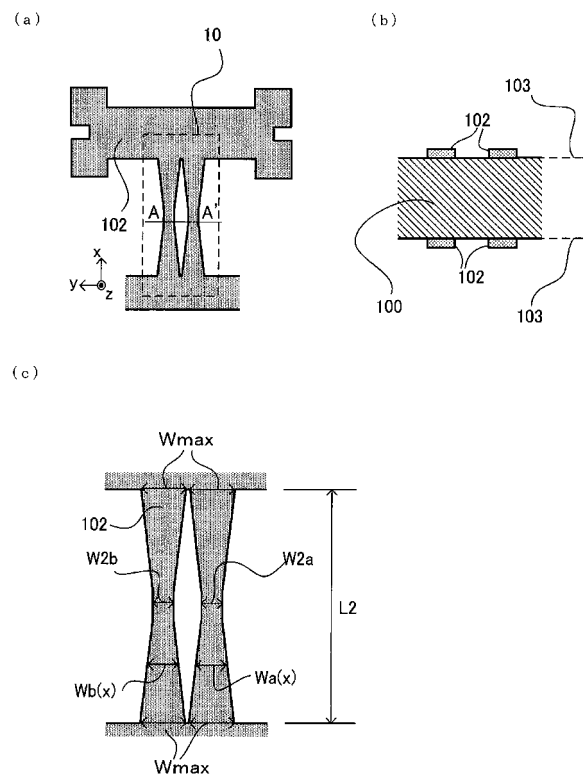
【図 8】



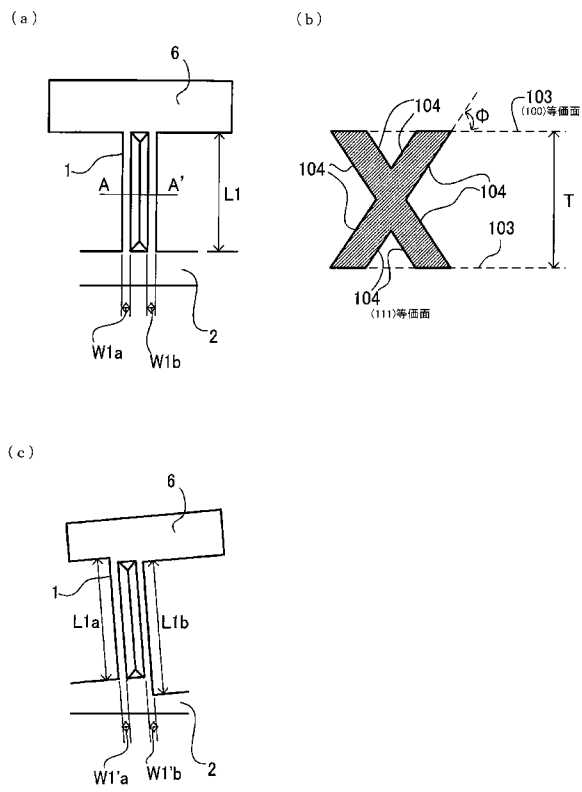
【図 9】



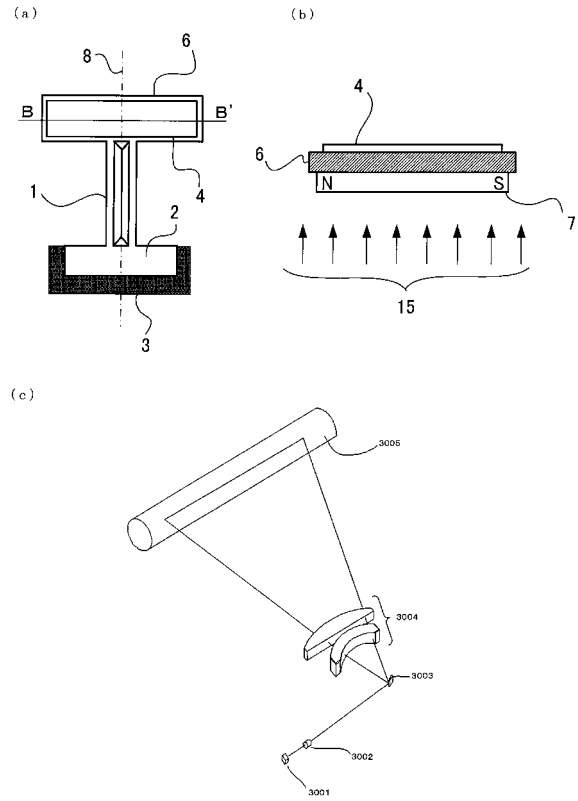
【図 10】



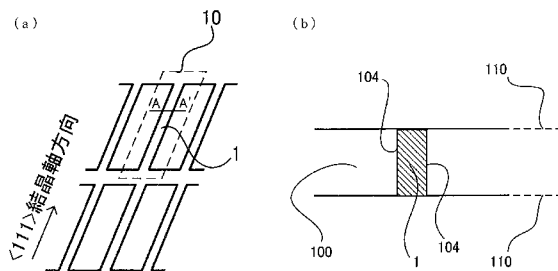
【図 1 1】



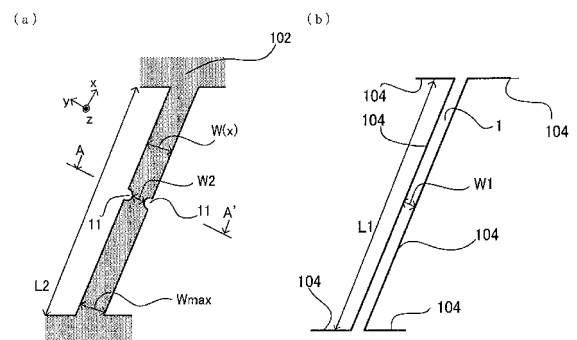
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H141 MA12 MB24 MC05 MD12 MD15 MD20 MD23 MD24 MD40 ME01
ME25 MF02 MF22 MF24 MG07 MZ06 MZ16 MZ19 MZ25
3C081 AA01 AA18 BA28 BA43 BA46 BA47 BA54 CA15 CA23 DA03
EA08 EA12
5F043 AA02 BB02 DD30 FF05 GG10