

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-525132

(P2006-525132A)

(43) 公表日 平成18年11月9日(2006.11.9)

(51) Int. Cl.

F I

テーマコード (参考)

B 8 1 B 3/00 (2006.01)

B 8 1 B 3/00

B 8 1 C 1/00 (2006.01)

B 8 1 C 1/00

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-513083 (P2006-513083)  
 (86) (22) 出願日 平成16年4月16日 (2004. 4. 16)  
 (85) 翻訳文提出日 平成17年12月21日 (2005. 12. 21)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2004/011867  
 (87) 国際公開番号 W02004/097895  
 (87) 国際公開日 平成16年11月11日 (2004. 11. 11)  
 (31) 優先権主張番号 10/426, 148  
 (32) 優先日 平成15年4月29日 (2003. 4. 29)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

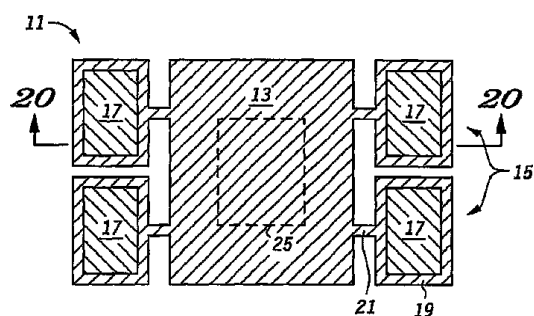
(71) 出願人 504199127  
 フリースケール セミコンダクター イン  
 コーポレイテッド  
 アメリカ合衆国テキサス州78729, オ  
 ースティン, ウェスト・パーマー・レーン  
 7700  
 (74) 代理人 100116322  
 弁理士 桑垣 衛  
 (72) 発明者 マクニール、アンドリュウ シー、  
 アメリカ合衆国 85257 アリゾナ州  
 スコットズデール エヌ. シックスティシ  
 ックス ストリート 2031

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MEMS 構造体に質量を付加する方法

## (57) 【要約】

MEMSデバイス用のプルームス(11)を本明細書に開示する。このプルームスは、半導体材料からなる基部(13)と、軸部(21)を介して基部に取り付けられ1つ以上の付属部(15)とを備える。付属部(15)は、半導体材料(19)上に配置され得る金属(17)又は他の材料を含む。金属を用いることにより、半導体材料のみから作製された同様の寸法のプルームスと比較して、プルームスの寸法を増大させることなく、プルームス(11)の全質量を増大させる。同時に、軸部(21)を介して付属部(15)を接合することによって、温度誤差に寄与し得る基部へ付属部のCTE差が伝達され応力が発生することを防止する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

MEMS デバイス用のブルーフマスにおいて、  
第 1 の材料からなる基部 ( 1 3 ) と、  
第 1 の材料より高密度の第 2 の材料からなり、且つ軸部 ( 2 1 ) を介して基部に取り付けられる 1 つ以上の付属部 ( 1 5 ) とを備えるブルーフマス。

## 【請求項 2】

付属部は軸部を介して基部に対し横方向に取り付けられる請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 3】

付属部は軸部を介して基部の主面に対し鉛直方向に取り付けられる請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 4】

第 1 の材料はポリシリコンからなる請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 5】

軸部及び付属部は金属からなる請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 6】

第 2 の材料は金及びアルミニウムから選択される金属である請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 7】

付属部は半導体材料と、同半導体材料の上に第 2 の材料として配置された金属の層とからなる請求項 1 に記載のブルーフマス。

## 【請求項 8】

ブルーフマスの製造方法において、  
基板 ( 1 0 1 ) を設ける工程と、  
第 1 の材料からなる基部 ( 1 0 7 ) と、軸部 ( 1 0 9 ) を介して基板に取り付けられる付属部 ( 1 1 1 ) とを備えるブルーフマスを基板上に区画形成するブルーフマス区画形成工程と、  
第 2 の材料 ( 1 1 7 ) を付属部上に堆積する第 2 材料堆積工程と、  
第 1 の材料及び第 2 の材料は異なることとからなる方法。

## 【請求項 9】

第 2 の材料は第 1 の材料より高密度である請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 10】

第 1 の材料は半導体であり、第 2 の材料は金属である請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 11】

第 2 の材料はアルミニウム及び金から選択される請求項 10 に記載の方法。

## 【請求項 12】

付属部は第 1 の材料を含む請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 13】

付属部は第 3 の材料を含み、且つ第 1 の材料、第 2 の材料、及び第 3 の材料は異なる請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 14】

ブルーフマス区画形成工程は、  
第 1 の材料の層を基板上に堆積する第 1 材料堆積工程と、  
第 1 の材料の層をパターン形成することによって基部、付属部、及び軸部を区画形成する第 1 材料パターン形成工程とを含む請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 15】

犠牲層 ( 1 0 3 ) を基板上に堆積する犠牲層堆積工程と、  
第 1 の材料の層は犠牲層の上方に堆積されることとを含む請求項 14 に記載の方法。

## 【請求項 16】

10

20

30

40

50

犠牲層は基板の一部を露出させる開口部（１０５）を含むことと、  
開口部はブルーフマス用のアンカーを区画形成することを含む請求項１５に記載の方法。

【請求項１７】

ＭＥＭＳデバイス用のブルーフマスの製造方法において、  
基板（１０１）を設ける工程と、  
第１の材料からなる基部（１０７）を基板上に区画形成する基部区画形成工程と、  
軸部を介して基部に取り付けられる付属部（１１７）を形成する付属部形成工程と、  
第２の材料は第１の材料より高密度であることとからなる方法。

【請求項１８】

付属部形成工程は、  
犠牲層（１０３）を基部の上方に堆積する犠牲層堆積工程と、  
犠牲層の上方に第２の材料の層を堆積する第２材料堆積工程と、  
第２の材料の層を残存させたまま少なくとも部分的に犠牲層を除去する犠牲層除去工程  
と含む請求項１７に記載の方法。

【請求項１９】

基部の上方に犠牲層が堆積された後、犠牲層にトレンチが形成されることと、  
トレンチは犠牲層をトレンチ内部の第１の部分及びトレンチ外部の第２の部分に分割す  
ることと、  
第３の材料を用いてトレンチを埋め戻すトレンチ埋戻工程と、  
化学エッチングによって犠牲層が部分的に除去されることと、  
第３の材料は犠牲層を部分的に除去するために用いられる化学エッチングに対する耐性  
を有することを含む請求項１８に記載の方法。

【請求項２０】

軸部は第２の材料からなる請求項１７に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明はＭＥＭＳデバイスに関する。より詳細には、本発明はＭＥＭＳデバイス用のブ  
ルーフマスに関する。

【背景技術】

【０００２】

マイクロマシニング及び他のマイクロファブリケーションの技術及び製造工程における  
発展によって、広範な種々のマイクロ電気機械センサ（ＭＥＭＳ）及び他のそうしたデバ  
イスの製造が可能となった。それらのデバイスには、可動回転子、歯車、スイッチ、加速  
度計、微小センサ、アクチュエータ系、及び他のそうした構造が含まれる。

【０００３】

ＭＥＭＳ技術の期待される用途の１つは、慣性センサの分野における用途である。慣性  
センサは、弾性懸架体に装着されているブルーフマス（proof mass）の変位を  
感知することにより動作する。方程式１に示すように、ブルーフマスの変位  $X$  は、ブル  
ーフマスの質量（ $m$ ）、加速度（ $a$ ）、及び弾性懸架体のばね定数（ $k$ ）に関連する。

【０００４】

$$X = ma / k \quad (\text{方程式 1})$$

デバイスがブルーフマスの変位を感知する精度により、慣性センサの感度は限定される  
。典型的には、加速度が小さくなると、結果として生じるブルーフマスの変位も小さくな  
るため、慣性センサが変位を正確に感知し、それによって加速度を正確に記録することは  
次第に困難になる。

【０００５】

ばね定数（ $k$ ）を減少させることによりブルーフマスの変位は大きくなるため、慣性セ  
ンサの感度が増大する場合がある。しかしながら、ばね定数を減少させると、鉛直方向の

10

20

30

40

50

スティクション (sticktion) は増大する傾向にある。スティクションとは、MEMSデバイスの可動部品が隣接表面に付着する現象を指し、典型的には、その部品と隣接表面との間の付着力がマイクロ構造体の機械的復元力より大きい時に発生する。この表面付着力は、毛管力、静電引力、又は直接的な化学結合により生じ得る。慣性センサのようなMEMSデバイスにおいては、鉛直方向のスティクションによりデバイスに機能不良が発生する場合がある。したがって、ばね定数の減少のみにより慣性センサの感度を改良することは、結果としてデバイスの信頼性が低下することにより制限される。

【0006】

上記の方程式1により示唆されるように、慣性センサの感度はブルーファースの質量を増大させることでも増大する。しかしながら、ブルーファースの増大により達成可能な慣性センサの感度の改良には、実用的な限界が存在する。詳細には、従来のMEMSデバイスにおいては、ブルーファースはシリコン又は他の半導体材料から構成されている。したがって、センサの寸法を実質的に増大させずにブルーファースの重量を実質的に増大させることは困難であり、それらのデバイスをさらに縮小させるという当該技術分野における現在の需要に鑑み非常に好ましくない結果である。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

したがって、当該技術分野においては、デバイスの信頼性に不利な影響を与えることなく慣性センサ又は他のMEMSデバイスの感度を増大させる方法の必要が存在する。当該技術分野においては、そのように作製されたデバイスの必要も存在する。これらの必要及び他の必要は、本明細書に開示し以下で説明する方法及びデバイスにより満たされる。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

一態様では、MEMSデバイス用のブルーファースは、第1の材料からなる基部と、第2の材料からなり、且つ軸部を介して基部に取り付けられる1つ以上の付属部とを備える。一部の実施形態では、軸部は第1の材料及び第2の材料を含み得る。第1の材料は、好適にはポリシリコンなど一般的に用いられるMEMS材料であり、第2の材料は、好適には金又はアルミニウムなど金属である。付属部は軸部を介して基部に対し横方向に取り付けられてもよく、基部の主面に取り付けられてもよい。好適には、付属部は半導体材料と、半導体材料の配置された金属の層とからなる。

30

【0009】

別の態様では、MEMSデバイス用のブルーファースは、複数のアンカーにより基板に取り付けられるセントラル・マスと、各々金属からなり、且つ軸部によってセントラル・マスに取り付けられる複数の付属部とを備える。

【0010】

別の態様では、ブルーファースの製造方法が与えられる。この方法により、基板が設けられるとともに、ブルーファースが基板上に区画形成される。このブルーファースは、基部と、軸部を介して基部に取り付けられる付属部とを備える。基部は、好適には半導体である第1の材料からなる。続いて第2の材料が付属部上に堆積される。第2の材料は好適には第1の材料より高密度であり、好適にはアルミニウム又は金など金属である。

40

【0011】

さらに別の態様では、MEMSデバイス用のブルーファースの製造方法が与えられる。この方法により、基板が設けられるとともに、第1の材料からなる基部が基板上に区画形成される。基部は1つ以上のアンカーにより基板上に支持されてもよい。続いて、第2の材料からなり、且つ軸部を介して基部に取り付けられる付属部が形成される。第2の材料は好適には第1の材料より高密度である。付属部を形成する工程は、犠牲層を基部の上方に堆積する工程と、第2の材料の層を犠牲層の上方に堆積する工程と、犠牲層の一部を除去する工程とを含む。犠牲層は軸部を区画形成する開口部を含んでもよい。一部の実施形態では、基部の上方に犠牲層が堆積された後、犠牲層にトレンチが形成される。このトレン

50

チは犠牲層をトレンチ内部の第 1 の部分及びトレンチ外部の第 2 の部分に分割する。続いて、トレンチは第 3 の材料を用いて埋め戻されてもよい。そのような実施形態では、化学エッチングにより犠牲層が部分的に除去されてもよく、犠牲層を部分的に除去するために用いられる化学エッチングに対する耐性を有する材料として、第 3 の材料が選択されてもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

これらの態様及び他の態様を以下でより詳細に説明する。

MEMS 用のブルーフマスの一部を金属又は他の高密度材料から構成することにより、上述の需要が満たされ得ることを見出した。通常、そうした材料とブルーフマス構成用に典型的に用いられるポリシリコンなどの材料との間には、熱膨張係数 (CTE) の不整合が存在するため、従来そうした手法は実施可能でなかった。例えば、ポリシリコンの熱膨張係数は約 3.9 であり、アルミニウムの熱膨張係数は約 16 である。この CTE 不整合により、通常動作温度範囲である -40 ~ 125 を通じて、温度による変形がブルーフマス領域に生じる (特に、金属/ポリシリコン境界面積が比較的大きい場合) ため、デバイスに温度誤差を生じる傾向にある。このことは、ブルーフマスにおける微小変位 (例えば、ナノメータ程度) を検知するように設計されている静電容量センサにおいて、特に問題となる。しかしながら、慣性を記録するための変位が生じるブルーフマスの部分から、そうした CTE 不整合を分離するように設計されたブルーフマスを用いることにより、この問題の克服が可能であることを見出した。デバイスの信頼性、寸法、又は精度に不利な影響を与えることなく、デバイスの感度を増大させることが可能なそうした設計について、以下でより詳細に説明する。

【0013】

図 1 には、本明細書の教示により作製されるブルーフマスの第 1 の実施形態の平面図を示す。この実施形態の線 20 - 20 に沿った断面図を図 20 に示す。この特定の実施形態におけるブルーフマス 11 は、基部 13 と、その基部に接合する 4 つの付属部 15 とを備えるが、1 を含むほぼ任意の所望数の付属部を備える同様の実施形態が作製され得ることは理解される。各付属部は、半導体材料 19 の上に配置されたアルミニウム又は金などの金属の層 17 からなる。各付属部は軸部 21 を介して基部に接合する。典型的には、ブルーフマスの基部 13 は基板 23 (図 20 を参照) 上に形成され、且つ 1 つ以上のアンカー 25 を介してその基板上に接合する。平易な図示のため、図 1 には、基部 13 が単一の中央アンカー 25 により基板に接合するように示す。しかしながら、好適には、ブルーフマスの基部は図 12 に示す種類の弾性懸架体の系に装着されており、周辺部の回りに配列された、基部の変位の感知を可能とする複数の固定梁を備えている。

【0014】

これらの付属部の上には金属層が堆積されているため、これらの付属部の単位領域あたりの質量は、ポリシリコンなど従来のブルーフマス材料から完全に形成された場合より大きい。この結果、この金属層は、ブルーフマスの寸法を実質的に増大させずにブルーフマスの全重量を実質的に増大するように作用する。結果として、従来のブルーフマス材料のみから作製された従来のブルーフマスを用いるデバイスに比較して、同じ加速度に応じて、より大きな変位がブルーフマスに生じる。したがって、本明細書に開示の種類のブルーフマスを装備したデバイスは、より小さな加速度を感知することが可能である (上記の方程式 1 を参照)。さらに、付属部は 1 つ以上の細い軸部 (例えば、幅約 1  $\mu\text{m}$  (micron) ~ 約 10  $\mu\text{m}$ ) を介して基部に接合するため、付属部から基部へ伝達される応力の量は極小である。この結果、付属部における金属とその金属の下に位置する半導体材料との間の CTE 不整合は、基部に有意な変形を生じない。デバイスは基部の変形のみを加速度として検知するように設計されているため、温度誤差が最小化される。

【0015】

図 1 に示す種類のブルーフマスによって提示される利点の 1 つは、任意の追加の工程を必要とすることなく、このブルーフマスの形成を MEMS 製造工程に容易に統合できるこ

10

20

30

40

50

とである。詳細には、ブルーフマスの基部を区画形成するために用いられる工程に一環して、付属部における任意の半導体部分が形成され得る。さらに、付属部が金属層を含む場合、それらの層は、デバイスの回路又は他の金属部品を区画形成する同じ加工工程に一環して形成され得る。

#### 【0016】

図1に示すようなブルーフマス・スキームのさらなる利点は、回転中心を有するブルーフマスに対して適用可能なことである。そうしたブルーフマスは、例えば、ブルーフマスに対して加えられる回転力を感知する角加速度計及び速度センサなどのMEMSデバイスにおいて用いられる場合がある。それらのデバイスにおいては、本明細書に開示のブルーフマス・スキームにより、ブルーフマス回転中心から離れた位置にあるブルーフマスに対して選択的に質量を付加することによって、それらのブルーフマスの慣性を増大させ、且つ感度を有意に増強することが可能となる。本明細書の教示により作製される角加速度計の一例は、以下で図18に関連して説明する。

10

#### 【0017】

図2には、本明細書の教示により作製されるブルーフマスの第2の実施形態の断面図を示す。この実施形態の平面図を図19に示す。この実施形態においても、ブルーフマス31は、基部33と、軸部37を介してその基部に装着されている1つ以上の付属部35とを備える。付属部は、半導体材料の上に配置された1つ以上の金属からなってもよく、1つ以上の金属のみから構成されてもよい。ブルーフマスの基部33はアンカー36を介して基板34に接合する。しかしながら、図1に示したブルーフマスとは対照的に、図2に示すブルーフマスにおいては、軸部37が基部の主面のうちの1つの上に鉛直方向に形成されている。この軸部は金属から又はポリシリコンなどの半導体材料からなってもよい。付属部の任意のCTE不整合が軸部を通じて伝達されるため生じる応力の量が極小であるように、軸部37は十分に細い(例えば、約 $1\mu\text{m}$ ~約 $10\mu\text{m}$ )。同様に、軸部が細いことによって、軸部の材料と基部の材料との間のCTE不整合から生じる任意の変形は最小化される。

20

#### 【0018】

上述の実施形態では、金属などの高密度材料の層をブルーフマスに対して付加することにより、ブルーフマスの質量が増大される。しかしながら、一部の実施形態では、MEMS構造体に一般に用いられる半導体材料より高密度の材料を用いるか否かを問わず、ブルーフマスに対して層又は他の構造を付加し、ブルーフマスを鉛直方向に積み上げることで、やはりブルーフマスの全質量が増大される。このことは、より低密度の材料を用いることにより鉛直方向へのブルーフマス全体の寸法を増大する影響を与えても、水平方向へのブルーフマス面積が有意に増大されない限り、一部の用途においては許容可能な場合がある。

30

#### 【0019】

以下の実施例では、基部に伝達されるCTE差による応力の量を減少する際の、本明細書に開示のブルーフマス設計の効果を示す。比較例1では、付属部が軸部を介して基部から分離されていない場合(すなわち、付属部がその全幅に渡って基部に取り付けられる場合)に基部に伝達され得るCTE差による応力の量を示す。実施例1では、付属部が軸部を介して基部から分離されている時に基部に伝達され得るCTE差による応力の量の減少を示す。両方の例において、付属部は半導体材料の層の上に堆積されているアルミニウムからなると仮定した。

40

#### 【0020】

##### 比較例1

この例では、付属部がその全長に渡って基部に取り付けられており、且つ付属部が異なる材料(すなわち、アルミニウム及びポリシリコン)からなるブルーフマスにおける、ブルーフマスの付属部と基部との間のCTE差による応力の伝達を示す。図4に示す種類のブルーフマスにおけるCTEによる応力の差により生じる最大たわみを計算するために、モデル化実験を行った。ブルーフマス41は、ポリシリコン基部43と、取り付けられて

50

いる方形の付属部 4 5 とからなる。この付属部はポリシリコンの層 4 9 からなり、ポリシリコンの層の上には厚さ  $3 \mu\text{m}$  のアルミニウムの層 4 7 が堆積されている。付属部の側面の長さは  $100 \mu\text{m}$  である。

#### 【0021】

付属部はその全長に渡って基部に取り付けられており、付属部の主面は基部の主面と平行である。25 ~ 125 の温度サイクルを通じて計算された応力を図 3 に示す。基部 4 3 において生じる最大たわみ（基部の主面に対する垂直軸に沿って計算した）は、約  $200 \text{ nm}$  ( $0.2 \mu\text{m}$ ) ~ 約  $300 \text{ nm}$  ( $0.3 \mu\text{m}$ ) の範囲内であった。付属部 4 5 において生じる最大たわみ（付属部の主面に対する垂直軸に沿って計算した）は約  $300 \text{ nm}$  ( $0.3 \mu\text{m}$ ) であった。なお、基部におけるたわみは直接的にセンサ誤差を生じる（すなわち、何も発生していない時にデバイスが加速度を読み取る）ため、ここでは基部におけるたわみが最も重要である。これに対して、付属部におけるたわみ又はねじれは、基部におけるたわみを生じるという点でのみ、センサの読取に影響を与える。

10

#### 【0022】

##### 実施例 1

この例では、付属部が細い軸部を介して基部から分離されており、且つ付属部が異なる材料（すなわち、アルミニウム及びポリシリコン）からなるブルーフマスにおける、ブルーフマスの付属部と基部との間の CTE 差による応力の伝達を示す。

#### 【0023】

図 6 に示す種類のブルーフマスを仮定したことを除き、比較例 1 におけるモデル化実験を繰り返した。ブルーフマス 5 1 は、ポリシリコン基部 5 3 と、取り付けられている方形の付属部 5 5 とからなる。この付属部はポリシリコンの層 5 9 からなり、ポリシリコンの層の上には厚さ  $3 \mu\text{m}$  のアルミニウムの層 5 7 が堆積されている。付属部の側面の長さは  $100 \mu\text{m}$  である。付属部は、幅  $3 \mu\text{m}$  及び長さ  $2 \mu\text{m}$  の軸部 6 1 を介して基部から分離されており、付属部の主面は基部の主面と平行である。

20

#### 【0024】

25 ~ 125 の温度サイクルを通じて計算された応力を図 5 に示す。基部 5 3 における最大たわみ（基部の主面に対する垂直軸に沿って計算した）は、約  $0.01 \text{ nm}$  であった（図 5 では、数値丸めのため  $0.0$  と示される）。付属部 5 5 において生じる最大たわみ（付属部の主面に対する垂直軸に沿って計算した）は、約  $300 \text{ nm}$  ( $0.3 \mu\text{m}$ ) であった。したがって、図 4 のブルーフマスと比較して、図 6 のブルーフマスの基部において熱的に誘起されるたわみは、約  $20,000$  分の  $1$  ~ 約  $30,000$  分の  $1$  である。理論に拘束されるものではないが、この結果は、図 6 における軸部 6 1 が、基部に伝達される CTE 差による応力の量を減少する効果によるものであると考えられる。

30

#### 【0025】

本明細書に開示のブルーフマスは、幾つかの異なる手段により製造可能である。図 7 ~ 11 には、本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスを作製するための 1 つの可能な方法を示す。この特定の方法には、図 2 に示したのと同様のブルーフマスを製造するために、ブルーフマスの選択部分に対して金属を付加することが含まれる。

#### 【0026】

図 7 に示すように、シリコン基板 101 が設けられ、その基板上に厚さ約  $2 \mu\text{m}$  のホスホシリケートガラス (PSG) からなる第 1 の犠牲層 103 が堆積され、ブルーフマス用のアンカーのための開口部 105 を形成するようにパターン形成される。続いて図 8 に示すように、厚さ約  $3 \mu\text{m}$  のポリシリコンの層 107 が第 1 の犠牲層 103 の上方に堆積され、ブルーフマスの基部を形成するようにパターン形成される。基部は、シリコン基板 101 に付着するアンカー 109 と、第 1 の犠牲層 103 の上方にて延びる横方向部分 111 とからなる。

40

#### 【0027】

図 9 に示すように、続いて厚さ約  $2 \mu\text{m}$  の PSG からなる第 2 の犠牲層 113 がポリシリコンの層 107 の上方に堆積され、パターン形成される。第 2 の犠牲層は、下に位置す

50

るポリシリコン層 107 のうちの一部を露出する開口部 115 を含む。

#### 【0028】

図 10 に示すように、続いて厚さ約  $3\ \mu\text{m}$  のアルミニウムの層 117 が、下に位置するポリシリコンの層 107 に付着するように開口部 115 の上方に堆積され、パターン形成される。示した特定の実施形態においては、アルミニウムの層 117 は、ポリシリコンの層 107 のうちの下に位置する横方向部分 111 (基部) と接触する第 1 の部分 118 (軸部) と、第 2 の犠牲層の上方にて延びる第 2 の部分 119 (付属部) とからなる。続いて図 11 に示すように、結果として得られる基板は犠牲層エッチングに供される。第 1 及び第 2 の犠牲層の全部又は十分な部分が除去されることによってブルーフマス 120 が解放されるように、エッチング剤及びエッチング条件が選択される。

10

#### 【0029】

図 7 ~ 11 に示した方法では、ブルーフマスの基部の表面に 1 つ以上の付属部が接合するようにブルーフマスを形成するために、一連の堆積工程及びパターン形成工程を利用する。続いて、構造体の 1 つ以上の犠牲層をエッチングすることにより、ブルーフマスが解放される。基部と、その基部に対して横方向に接合する 1 つ以上の付属部とを備える図 1 に示す種類のブルーフマスを製造するために、同様の手法が用いられ得る。

#### 【0030】

したがって、図 1 及び図 20 に示すようなブルーフマスを製造するために、図 8 において基部 107 のアンカー 109 及び横方向部分 111 の形成に用いられる堆積工程及びパターン形成工程が、図 1 及び図 20 におけるデバイスの付属部のアンカー 25、基部 113、軸部 21、及び底部 19 の形成にも用いられるように、図 7, 8 に示した工程はわずかに修正され得る。好適には、付属部の基部、軸部、及び底部の全ては、単一の層からのパターン形成が可能であるように、同じ材料からなる。図 1 における付属部 15 上の金属の層 17 を形成するために選択的金属堆積工程が用いられてよく (これに代えて、金属が非選択的に堆積され、続いてパターン形成及びエッチングされてもよい)、犠牲層エッチングによって構造体が解放されてよい。

20

#### 【0031】

図 12 には、本明細書に開示の種類のブルーフマスが組み込まれた MEMS デバイスの 1 つの可能な非限定的な例 (この図では慣性センサ) を示す。デバイス 201 は、基部 205 と、軸部 209 を介してその基部に取り付けられる 2 つの付属部 207 とを備える、ブルーフマス領域 203 を有する。基部は複数のアンカー 211 により基板 (図示せず) に接合するとともに、複数の可動フィンガ (moving finger) 213 を装備されている。可動フィンガの各々は第 1 の固定フィンガ 215 と第 2 の固定フィンガ 217 との間に配置されており、通常、固定フィンガは 1 つ以上のアンカー (図示せず) によって基板に接合する。各付属部 207 は第 1 の層 219 及び第 2 の層 221 からなる。第 1 の層 219 は好適には基部と同じ材料からなり、第 2 の層 221 は金属からなる。

30

#### 【0032】

図 13 には、本明細書の教示により作製されるねじり z 軸線加速度計を示す。加速度計 301 は、ねじり梁 307 及びアンカー 309 を介して基板 305 に装着されているブルーフマス 303 を含む。この特定の実施形態におけるブルーフマス 303 は、基部 311 と、その基部に接合する 2 つの付属部 313 とを備えるが、他の数の付属部を備える同様の実施形態が作製され得ることは理解される。各付属部は、半導体材料 317 の上に配置されたアルミニウム又は金などの金属の層 315 からなる。半導体材料 317 は好適には基部と同じ材料から形成される。各付属部は軸部 319 を介して基部に取り付けられる。

40

#### 【0033】

図 14, 15 には、本明細書の教示により作製されるねじり z 軸線加速度計の別の例を示す。加速度計 331 は、ねじり梁 337 及びアンカー 339 を介して基板 335 に取り付けられるブルーフマス 333 を含む。この特定の実施形態におけるブルーフマス 333 は、基部 341 と、その基部の上に形成された一連の構造体 343 とを備える。各構造体は、軸部 345 及び方形の付属部 347 を含む (図 15 を参照)。これらの構造体は好適

50



には1つ以上の金属から製造される。

【0034】

図16には、本明細書の教示により作製されるねじりz軸線加速度計の別の例を示す。加速度計351は、ねじり梁355及びアンカー357を介して基板(図示せず)に装着されているブルーフマス353を含む。この特定の実施形態におけるブルーフマス353は、基部359と、その基部に接合する2つの付属部361とを備えるが、他の数の付属部を備える同様の実施形態が作製され得ることは理解される。各付属部は、半導体材料367の上に配置されたアルミニウム又は金などの金属の層363からなる。半導体材料367は好適には基部と同じ材料から形成される。各付属部は軸部365を介して基部に取り付けられる。

10

【0035】

図17には、本明細書の教示により作製されるねじりy軸線加速度計の一例を示す。加速度計371は、ねじり梁375及びアンカー377を介して基板(図示せず)に装着されているブルーフマス373を含む。この特定の実施形態におけるブルーフマス373は、4つの取り付けられる付属部381を有する基部379を備えるが、他の数の付属部を備える同様の実施形態が作製され得ることは理解される。各付属部は、半導体材料385の上に配置されたアルミニウム又は金などの金属の層383からなる。半導体材料385は好適には基部と同じ材料から形成される。各付属部は軸部387を介して基部に取り付けられる。

【0036】

図18には、本明細書の教示により作製されるねじりz軸角加速度計を示す。加速度計401は、梁ばね405及び中央アンカー407を介して基板(図示せず)に装着されているブルーフマス403を含む。この特定の実施形態におけるブルーフマス403は、環状基部409と、その環状基部の表面に接合する複数のキノコ形状の付属部411とを備える。キノコ形状の付属部411は、図15に示した付属部と同様の断面像を有する。

20

【0037】

図18に示したデバイスにおいては、幾つかの変形形態が可能である。例えば、デバイスに用いられる梁ばね405は真直梁であっても、曲がり梁であってもよく、ブルーフマスの中央アンカー407と環状基部409との間に曲線の輪郭を有してもよい。また、例えば、米国特許第6,401,536号明細書(オブライエン(O'Brien))に示される幾つかのデバイスのように、示したz軸の回転中心の周りに対称的に配置された複数のアンカーによって中央アンカー407が置き換えられてもよい。

30

【0038】

本明細書の教示によりブルーフマスの質量を増大させるために、種々の材料が用いられ得る。適切な材料には、例えば、アルミニウム、金、銅、鉛、金属オキサイド、金属ナイトライド、金属シリケート、金属サルファイド、金属ハライド、金属ソルダ(例えば、AuSn及びPbSnソルダなど)等の金属及びそれらのうちの2つ以上からなる混合物又は合金が含まれる。非金属、例えばPSG及びポリシリコンなども、用いられてよい。先述のように、ブルーフマスの付属部において金又はアルミニウムを用いることは特に好適である。金が好適であるのは高密度且つ不活性なためであり、アルミニウムが好適であるのは、既に多くの現在の工程の流れにおいて用いられているためである。

40

【0039】

本明細書に開示の一部の実施形態においては、単に、単一の追加の金属の層又は他の高密度材料の層を付属部に付加することによって、ブルーフマスの質量を増大させる。しかしながら、この手法においては、ブルーフマスの質量を増大させるために付属部に対してほぼ任意の所望数の追加の層が付加されてよいこと、及びそれらの追加の層は同一の組成又は異なる組成を有してよいことが、当業者には認められるであろう。

【0040】

本明細書の教示によるブルーフマスの製造に用いるために、種々の軸部の形状及び構成が用いられ得る。したがって、例えば、軸部の断面の形状は円形、楕円形、多角形(例え

50

ば、方形、六角形など）、又は不規則であってよく、軸部の長さに沿って軸部の断面形状が変化してもよく、同じままであってもよい。

#### 【0041】

好適には、軸部は付属部の質量を支持することが可能なように十分に太いが、C T E による応力の量を軸部を通じて付属部から基部へ実質的に伝達し得るほど太くない。軸部の寸法は異なってもよく、部分的には、例えば、基部、付属部、及び軸部の材料の選択、付属部の材料間のC T E 差、付属部の質量、またはこれらのうちの1つ以上によって決定されてよい。しかしながら、典型的には、軸部の長さ（ここで長さとは、基部から付属部へ延びる軸部の寸法に関して用いる）に対する直交軸に沿って測定した軸部の最大幅は、約  $0.01\mu\text{m}$  ~ 約  $20\mu\text{m}$ 、好適には約  $1.0\mu\text{m}$  ~ 約  $10\mu\text{m}$ 、より好適には約  $2\mu\text{m}$  ~ 約  $8\mu\text{m}$ 、最も好適には約  $3\mu\text{m}$  ~ 約  $5\mu\text{m}$  の範囲である。一部の実施形態では、複数の軸部によって付属部が基部に固定されてもよい。

10

#### 【0042】

さらに、多くの用途においては、本明細書の教示により作製されるブルーフマスの付属部に対し、金属及び他の高密度材料は層として付加されることが簡便であろうが、付属部に対しそれらの材料が他の形態で付加されてもよいことが、当業者には認められるであろう。例えば、付属部に一連のトレンチすなわち凹部をパターン形成し、金属を用いて埋め戻す (backfill) ことが可能である。

#### 【0043】

慣性センサ又は他のMEMSデバイス用の増大された質量を有するブルーフマスを本明細書に開示した。また、そのようなブルーフマスを作製する方法も開示した。それらのブルーフマスを用いて、センサの寸法、信頼性、又は精度に不利な影響を与えることなく、従来の、より軽いブルーフマスによるセンサより高い感度を有する慣性センサを作製可能である。

20

#### 【0044】

本発明の上述の説明は限定を意図するものではない。したがって、本発明の範囲から逸脱することなく、上述の実施形態に対して種々の追加、置換、及び修正がなされ得る。したがって、添付の特許請求の範囲を参照することによってのみ、本発明の範囲が構成されるものである。

#### 【図面の簡単な説明】

30

#### 【0045】

【図1】本明細書の教示により作製されるブルーフマスの第1の実施形態を示す図。

【図2】本明細書の教示により作製されるブルーフマスの第2の実施形態の断面図。

【図3】付属部がポリシリコンの上部に金属を含み、且つ付属部の全長に渡って中央マスに連結されているようにモデル化されたブルーフマスにおけるたわみを示す図。

【図4】図3におけるモデル化されたブルーフマスを示す図。

【図5】付属部がポリシリコンの上部に金属を含み、且つ軸部によってセントラル・マスに取り付けられるようにモデル化されたブルーフマスにおけるたわみを示す図。

【図6】図5におけるモデル化されたブルーフマスを示す図。

【図7】本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスの作製方法を示す図。

40

【図8】本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスの作製方法を示す図。

【図9】本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスの作製方法を示す図。

【図10】本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスの作製方法を示す図。

【図11】本明細書の教示による質量の増大されたブルーフマスの作製方法を示す図。

【図12】本明細書の教示により作製されるブルーフマスを含むMEMSデバイスを示す図。

【図13】本明細書の教示により作製されるねじりz軸線加速度計を示す図。

【図14】本明細書の教示により作製されるねじりz軸線加速度計を示す図。

【図15】図14の線15 - 15に沿った断面図。

【図16】本明細書の教示により作製されるねじりz軸線加速度計を示す図。

50

【図 17】本明細書の教示により作製されるねじり z 軸線加速度計を示す図。

【図 18】本明細書の教示により作製されるねじり z 軸角加速度計を示す図。

【図 19】図 2 の実施形態の平面図。

【図 20】図 1 の線 20 - 20 に沿った断面図。

【図 1】

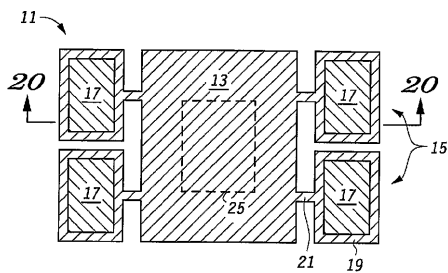


FIG. 1

【図 2】

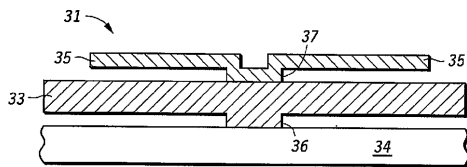
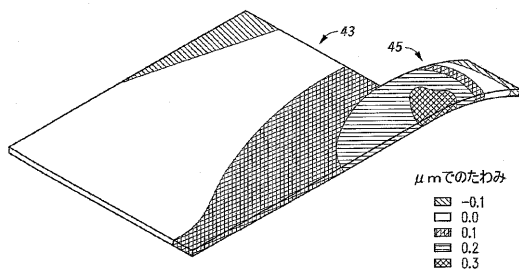


FIG. 2

【図 3】



【図 4】

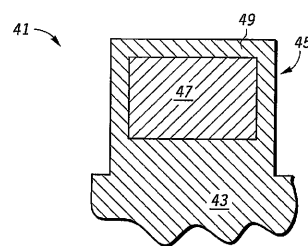
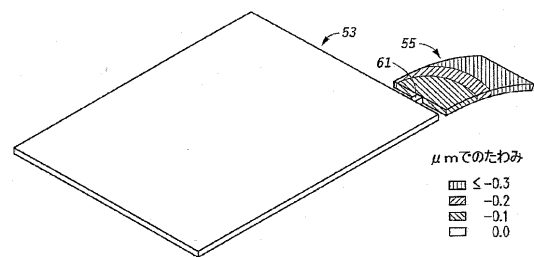


FIG. 4

【図 5】



【 図 6 】

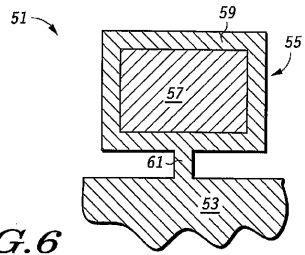


FIG. 6

【 図 7 】

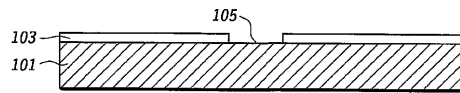


FIG. 7

【 図 8 】

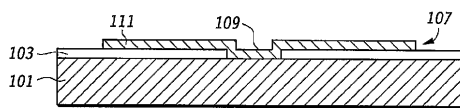


FIG. 8

【 図 9 】

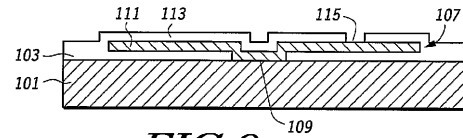


FIG. 9

【 図 10 】

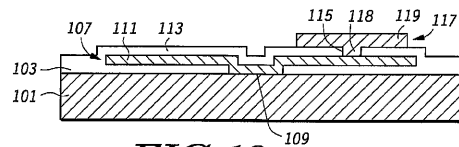


FIG. 10

【 図 11 】

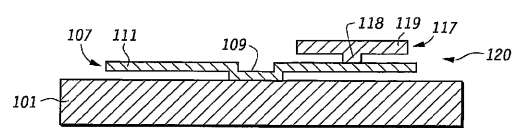


FIG. 11

【 図 12 】

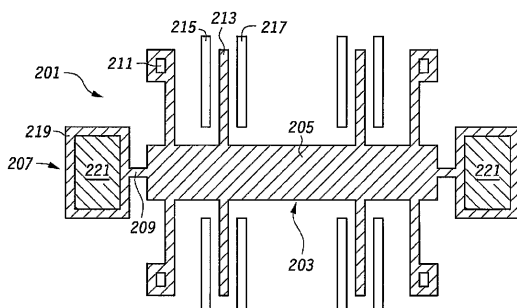


FIG. 12

【 図 14 】

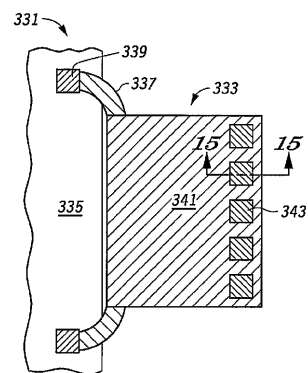


FIG. 14

【 図 13 】

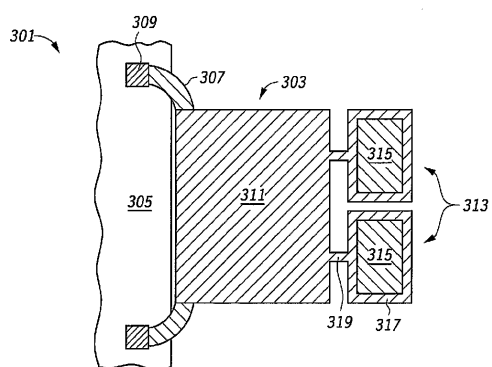
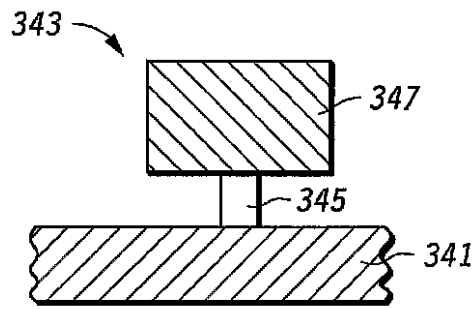
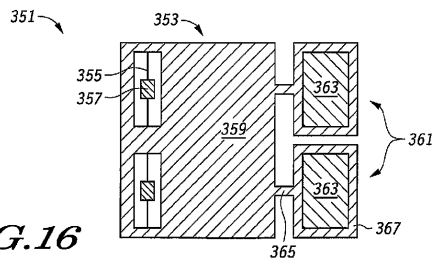


FIG. 13

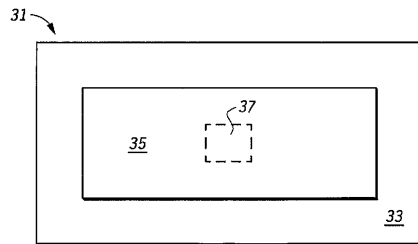
【図 15】

**FIG.15**

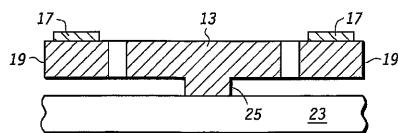
【図 16】

**FIG.16**

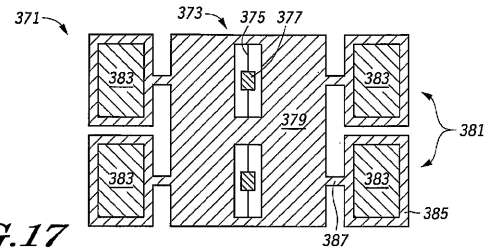
【図 19】

**FIG.19**

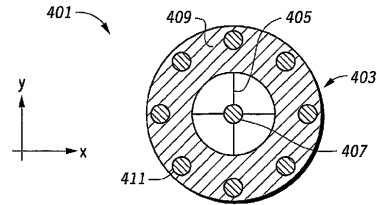
【図 20】

**FIG.20**

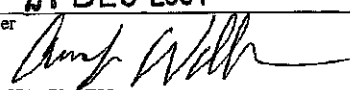
【図 17】

**FIG.17**

【図 18】

**FIG.18**

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US04/11867																					
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(7) : B32B 9/00; C23F 1/00.; G01P 3/00 US CL : 428/446, 450, 73/514.01, 216/2, 99 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																							
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 428/446, 450, 73/514.01, 216/2, 99 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) West Data Base																							
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category *</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 4,901,570 A (CHANG et al) 20 February 1990 (20.02.1990), column 11, lines 19-35, column 9, lines 24-66 and Figure 7).</td> <td>1-17 and 20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,726,480 A (PISTER) 10 March 1998.</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,777,227 (CHO et al) 07 July 1998 (07.07.1998).</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,969,250 A (GRIEFF) 19 October 1999 (19.10.1999)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6,401,536 B1 (O'BRIEN) 11 June 2002 (11.06.2002).</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A, P</td> <td>US 6,619,123 B2 (GIANCHANDANI et al) 16 September 2003 (16.09.2003).</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 4,901,570 A (CHANG et al) 20 February 1990 (20.02.1990), column 11, lines 19-35, column 9, lines 24-66 and Figure 7).	1-17 and 20	A	US 5,726,480 A (PISTER) 10 March 1998.	1-20	A	US 5,777,227 (CHO et al) 07 July 1998 (07.07.1998).	1-20	A	US 5,969,250 A (GRIEFF) 19 October 1999 (19.10.1999)	1-20	A	US 6,401,536 B1 (O'BRIEN) 11 June 2002 (11.06.2002).	1-20	A, P	US 6,619,123 B2 (GIANCHANDANI et al) 16 September 2003 (16.09.2003).	1-20
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
X	US 4,901,570 A (CHANG et al) 20 February 1990 (20.02.1990), column 11, lines 19-35, column 9, lines 24-66 and Figure 7).	1-17 and 20																					
A	US 5,726,480 A (PISTER) 10 March 1998.	1-20																					
A	US 5,777,227 (CHO et al) 07 July 1998 (07.07.1998).	1-20																					
A	US 5,969,250 A (GRIEFF) 19 October 1999 (19.10.1999)	1-20																					
A	US 6,401,536 B1 (O'BRIEN) 11 June 2002 (11.06.2002).	1-20																					
A, P	US 6,619,123 B2 (GIANCHANDANI et al) 16 September 2003 (16.09.2003).	1-20																					
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Special categories of cited documents:</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"A"</td> <td>document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention.</td> </tr> <tr> <td>"E"</td> <td>earlier application or patent published on or after the international filing date</td> <td>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"L"</td> <td>document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"O"</td> <td>document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&amp;" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"P"</td> <td>document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Special categories of cited documents:			"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention.	"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed				
Special categories of cited documents:																							
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention.																					
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone																					
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art																					
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family																					
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed																						
Date of the actual completion of the international search 09 December 2004 (09.12.2004)		Date of mailing of the international search report 27 DEC 2004																					
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Stephen J Stein  Telephone No. 571-272-7000																					

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 リ、ゲイリー

アメリカ合衆国 8 5 2 3 4 アリゾナ州 ギルバート イー・カランパー ストリート 1 7 1  
6

(72)発明者 オブライエン、ゲイリー ジェイ・

アメリカ合衆国 8 5 2 3 3 アリゾナ州 ギルバート ダブリュ・サン レモ ストリート 4  
6 3