(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3896158号
(P3896158)
(45)発行日　平成19年3月22日(2007.3.22)　(24)登録日　平成18年12月22日(2006.12.22)

(51)Int.Cl.		F I		
C23F 4/00	(2006.01)	C23F	4/00	A
H01L 21/3065	(2006.01)	H01L	21/302	105A
H01L 29/84	(2006.01)	H01L	29/84	B

請求項の数 36　(全 32 頁)

(21)出願番号　特願平6-518011
(86)(22)出願日　平成5年12月3日(1993.12.3)
(65)公表番号　特表平8-506857
(43)公表日　平成8年7月23日(1996.7.23)
(86)国際出願番号　PCT/US1993/011584
(87)国際公開番号　WO1994/018697
(87)国際公開日　平成6年8月18日(1994.8.18)
審査請求日　平成12年5月12日(2000.5.12)
(31)優先権主張番号　013,319
(32)優先日　平成5年2月4日(1993.2.4)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者
コーネル・リサーチ・ファウンデーション・インコーポレイテッド
アメリカ合衆国１４８５０、ニューヨーク、イサカ、ソーンウッド・ドライブ２０番、スウィート１０５
(74)代理人
弁理士　青山　葆
(72)発明者　ショー、ケビン・エイ
アメリカ合衆国１４８５０、ニューヨーク、イサカ、フォール・クリーク・ドライブ２０７番

最終頁に続く

(54)【発明の名称】マイクロ構造及びその製造のためのシングルマスク、単結晶プロセス

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
高アスペクト比の、ミクロン以下の、離型された単結晶の、結晶の向きには無関係な、マイクロ電気機械構造を製造するための、シングルマスクの、低温反応性イオンエッチングプロセスであって、
単結晶基板の頂面の上にマスク絶縁層を形成するステップと、
上記基板内に形成されるとともにこれによって囲まれた任意の形状の構造を定義する絶縁性マスクをつくるために、上記マスク層をパターン化し、上記形状が、上記基板中の結晶の向きに無関係であり、かつ少なくとも離型されるべきビーム部を含んでいるステップと、
定義された任意の形状の構造を囲んでいる上記基板中に、対応する深い溝部をつくるために、上記マスクによって定義されたパターンを介して上記基板をエッチングし、上記構造が、上記酸化物マスクによって被覆された頂面を有し、かつ実質的に鉛直な側壁を有するステップと、
上記構造の側壁の上と、上記溝部の床の上と、上記絶縁性マスクの上とに絶縁層を形成するステップと、
上記単結晶基板を露出させる一方上記マスク及び上記側壁絶縁層を実質的に手付かずで残すために、上記溝部の床から絶縁層を除去するステップと、
少なくとも上記ビーム部を、反応性イオンエッチングにより、上記溝部中の上記露出された単結晶基板から離型するステップであって、上記反応性イオンエッチングが、上記ビー

ム部を完全にアンダーカットするとともに、上記周囲の基板を部分的にアンダーカットするようになっているステップと、
少なくとも、上記の頂面のマスクの上と、上記の定義された構造及び周囲の基板の上記側壁絶縁層の上と、上記溝部の床の上とに金属を堆積させることにより、上記の定義された構造と周囲の基板とを金属層で被覆するステップであって、上記の定義された構造の上の金属が、上記溝部と上記周囲の基板の上記アンダーカットとによって、周囲の基板の上の金属から電気的に絶縁されるステップとを含んでいるプロセス。
【請求項２】
さらに、上記離型ステップに先立って溝部を深くするために、上記溝部の床で、上記の露出された単結晶基板を反応性イオンエッチングするステップを含んでいる、請求項１にかかるプロセス。
【請求項３】
上記ビーム部を離型するステップが、高圧で低出力の反応性イオンエッチングで上記基板を等方性エッチングするステップを含む、請求項２にかかるプロセス。
【請求項４】
上記基板を等方性エッチングするステップが、上記側壁と上記溝部の床との間での金属の連続的な堆積を防止するために、上記の周囲の基板をアンダーカットするステップを含む、請求項１にかかるプロセス。
【請求項５】
さらに、上記構造の離型されたビーム部の横方向のばね定数を低減するステップを含んでいる、請求項１にかかるプロセス。
【請求項６】
横方向のばね定数を低減するステップが、ビームの側壁の選択された部分から、上記金属層と上記側壁絶縁層とを除去するステップを含む、請求項５にかかるプロセス。
【請求項７】
選択された、離型されたビーム部の質量を増加させるステップを含んでいる、請求項１にかかるプロセス。
【請求項８】
選択された、離型されたビーム部の質量を増加させるステップが、増加した寸法をもつために、上記ビーム部のセグメントの形状を定義するステップを含む、請求項７にかかるプロセス。
【請求項９】
選択された、離型されたビーム部の質量を増加させるステップが、寸法が増加した上記部分の上に金属のブランケットを堆積するステップを含む、請求項８にかかるプロセス。
【請求項１０】
さらに、上記の定義された構造の上の上記金属層を電気回路要素に電気的に接続するステップを含んでいる、請求項１にかかるプロセス。
【請求項１１】
任意の形状の構造を定義するステップが、さらに、電気コンタクトパッドと、上記コンタクトパッドと上記の離型されたビーム部との間のインタコネクトとを定義するステップを含む、請求項１にかかるプロセス。
【請求項１２】
基板の上にマスク層を形成するステップが、少なくともパッシベーション層によって被覆されたコンタクトパッドを含んでいる集積回路部品を含んでいる基板ウエハを与えるステップを含んでいて、
マスク層を形成するステップが、絶縁性マスク層をつくるために、上記集積回路部品と隣り合う領域内の上記ウエハの上で、上記パッシベーション層を処理するステップを含む、請求項１にかかるプロセス。
【請求項１３】
さらに、上記の定義された構造及び周囲の基板を金属層で被覆する前に、上記マスク層を

介して、上記集積回路のコンタクトパッドにヴィアウィンドを開口させるステップを含んでいて、これによって上記金属層が上記コンタクトパッドに接触する、請求項１２にかかる方法。

【請求項１４】

さらに、上記の離型されたビーム部と上記コンタクトパッドとの間に金属のインタコネクトを定義するために、上記金属層をパターン化してエッチングするステップを含んでいる、請求項１３にかかる方法。

【請求項１５】

上記マスクをパターン化するステップが、軸状のアームによって上記の周囲の基板の上に取り付けられたグリッドを含んでいるビーム部を定義するステップを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項１６】

被覆ステップが、そのねじり運動を生じさせるための上記ビームグリッドに対して容量結合を与えるために、上記の離型されたビーム部のグリッドに隣り合う溝部の床の一部に金属皮膜をつくるステップを含む、請求項１５にかかる方法。

【請求項１７】

さらに、上記の離型されたビーム部のグリッドの上に、材料のブランケットを堆積するステップを含んでいる、請求項１６にかかる方法。

【請求項１８】

さらに、上記の離型されたビーム部のグリッドの上に、タングステンのブランケット堆積するステップを含んでいる、請求項１６にかかる方法。

【請求項１９】

上記マスクをパターン化するステップが、離型されるべき上記ビーム部と隣り合う電極手段を定義するステップを含んでいて、被覆ステップが、上記の離型されたビーム部及び隣り合う電極手段の上に、それらの間の容量結合を生じさせるためにコンデンサプレートをつくるステップを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２０】

上記マスクをパターン化するステップが、上記の離型されたビーム部と、上記電極手段と、対応するコンタクトパッド手段との間で、上記基板及びコネクタ手段の中にコンタクトパッド手段を定義するステップを含む、請求項１９にかかる方法。

【請求項２１】

上記マスクをパターン化するステップが、ビーム部を誘導コイルとして定義するステップを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２２】

マスク絶縁層を形成するステップが、ＰＥＣＶＤ酸化物層を堆積するステップを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２３】

マスク絶縁層を形成するステップが、窒化物層を堆積するステップを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２４】

上記基板が単結晶シリコンであって、上記ビーム部を離型するステップが、SF_6による反応性イオンエッチングを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２５】

上記基板が砒化ガリウムであって、上記ビーム部を離型するステップが、BCl_3による反応性イオンエッチングを含む、請求項１にかかる方法。

【請求項２６】

上記金属層中に上記の電気的な絶縁性をもつブレークをつくるステップが、単結晶基板から電気的に絶縁されている金属層を備えた周囲の基板から電気的に絶縁された完全な構造を形成する、請求項１にかかるプロセス。

【請求項２７】

上記ビームを離型するステップが、上記基板中に拡大された空隙をつくって電流のリークを低減するために、上記溝部の深さを増加させるステップを含む、請求項２６にかかるプロセス。

【請求項２８】

単結晶基板の上にマスク絶縁層を形成するステップが、単結晶シリコン基板の上に二酸化ケイ素の層を形成するステップを含む、請求項１にかかるプロセス。

【請求項２９】

高アスペクト比の、ミクロン以下の、離型されたマイクロ電気機械構造を製造するための、シングルマスクの、低温プロセスであって、

エッチング可能な基板の実質的に水平な頂面の上にマスク絶縁層を形成するステップと、

上記基板内に形成されるとともにこれによって囲まれた任意の形状の構造を定義する単一の絶縁性マスクをつくるために、上記マスク層をパターン化し、上記形状が、上記基板中の結晶の向きに無関係であり、かつ上記基板に対する移動のために少なくとも１つの離型されるべきビーム部を含んでいるステップと、

定義された任意の形状の構造を囲んでいる上記基板中に、実質的に鉛直な側壁と実質的に水平な床とを有している対応する深い溝部をつくるために、上記絶縁マスクによって定義されたパターンを介して上記基板をエッチングし、上記の定義された構造が、上記絶縁マスクによって被覆された頂面を有するステップと、

上記側壁の上と、上記溝部の床の上と、上記絶縁性マスクの上とに第２の絶縁層を形成するステップと、

上記床で基板を露出させる一方上記絶縁マスク及び上記側壁絶縁層を実質的に手付かずで残すために、上記溝部の床と絶縁マスクとから第２の絶縁層を除去するステップと、

上記溝部の床で、上記の露出された基板をエッチングすることにより、少なくとも上記の定義された構造の上記ビーム部を離型し、該エッチングは上記ビーム部を完全にアンダーカットして、上記基板に対する運動のためにそれを自由にし、上記の周囲の基板を部分的にアンダーカットするステップと、

この後、少なくとも上記絶縁マスクの上と、上記側壁絶縁層の上と、上記溝部の床の上とに金属を堆積することにより、上記の定義された構造と周囲の基板とを金属層で被覆し、上記の定義された構造の上の金属を、上記溝部と上記周囲の基板のアンダーカットとによって、周囲の基板の上の金属から電気的に絶縁するステップとを含んでいるプロセス。

【請求項３０】

エッチング可能な基板の上にマスク絶縁層を形成するステップが、シリコン基板の上に酸化物マスクを形成するステップを含む、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３１】

さらに、上記ビーム部の離型に先立って、上記ビーム部の下の基板を排除するために、上記溝部の床をエッチングするステップを含んでいる、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３２】

エッチング可能な基板の上にマスク絶縁層を形成するステップが、単結晶シリコン基板の上に酸化物層を堆積するステップを含む、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３３】

さらに、その質量を増加させるために、上記の定義された構造の少なくとも一部の上に、別の層を堆積するステップを含んでいる、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３４】

さらに、上記の定義された構造の上の上記金属層を、上記の周囲の基板の上の上記金属層に、選択的かつ電気的に接続するステップを含んでいる、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３５】

上記マスク層をパターン化するステップが、少なくとも、ビーム部と、電気コンタクトパッド部と、それらの間のインタコネクトとを有する任意の形状の構造を定義するステップを含む、請求項２９にかかるプロセス。

【請求項３６】

さらに、上記コンタクトパッド部の上の上記金属層を、上記の周囲の基板の上の上記金属層に、選択的かつ電気的に接続するステップを含んでいる、請求項３５にかかるプロセス。

【発明の詳細な説明】

発明の背景

この発明は、ＤＡＲＰＡによって付与された許可番号ＤＡＢＴ６３－９２－Ｃ－００１９号、並びに国立科学基金によって付与された許可番号ＥＣＳ８８０５８６６号及びＥＣＳ８８１５７７５号の下で、政府の援助でもってなされたものである。政府は、本発明ついて所定の権利を有している。

この発明は、一般的には、マイクロ構造及びそれらを製造するためのシングルマスクプロセスに関するものであり、より詳しくは、マイクロ電気機械構造及びマイクロ光機械構造、並びに、基板の上にパッド、ランナ、電極及びこれに類するもののような、離型された可動要素及びコネクタを含んでいる完全な構造を製造するためのシングルマスクプロセスに関するものである。

マイクロ機構における近年の改良は、全体又は表面のいずれかのマイクロ加工を含んでいるプロセスを利用しているマイクロアクチュエータの製造に首尾よく到達した。最も普及している表面マイクロ加工プロセスは、その中に機械構造が形成されている構造層としてポリシリコンを用いてきた。典型的なポリシリコンプロセスにおいては、ポリシリコン層の堆積に先立って、シリコン基板の上に犠牲層が堆積される。機械構造は、ポリシリコン中に定義され、そしてこの後犠牲層は、該構造を自由にするために、シリコン基板まで下向きに、部分的に又は完全にエッチングされる。

表面マイクロ加工への初期の研究は、技術の実行可能性を確立した。動いているロータ、ギヤ、加速度計及びその他の構造は、該構造と基板との間の相対的な動きを許容するために、このようなプロセスの使用を通じてつくられてきた。このプロセスは、酸化物及びポリシリコンの交互の層を形成するとともに、デバイスの設計に注目に値する自由度を与える化学蒸着（ＣＶＤ）に頼っている。しかしながら、ＣＶＤシリコンは、通常、１～２μｍよりも厚くない層に制限される。なぜなら、より厚い層中の残留応力は該構造を圧倒して曲がりを生じさせるからである。このように、非常に複雑な構造を形成するために、種々様々の層が組み合わせられることができるものの、各層はその厚さが制限される。さらに、さしはさまれた酸化物層を除去するために必要とされる湿式化学作用では、除去のためのエッチングにしばしば数十時間を要し、そして一度は離型された該構造は、静電気のため、しばしば基板に再付着し又は突き刺さり、そしてこれは克服するための手の込んだプロセス段階を必要とする。ポリシリコンでつくられた構造は、本質的には、粒径に起因する低破壊強度だけではなく、単結晶シリコンに劣る電子特性もが伴われる結晶構造を有している。さらに、この技術はよく確立されてはいるものの、ミクロン以下の高アスペクト比の機械構造の形成に対しては容易には縮尺されない。

全体のマイクロ加工においては、シリコン基板は、構造を残すためにエッチングされるとともに彫刻される。これは、典型的には、シリコンウエハから単結晶シリコン構造を切り取るために、ＥＤＰ、ＫＯＨ及びヒドロジン（hydrozine）のような湿式化学エッチング剤を用いて行われる。しかしながら、このようなプロセスは、シリコン基板中での結晶の向きに依存する。なぜなら、化学エッチングは、シリコンの結晶面の中では、他の面の中よりも１０倍速いからである。形状は写真製版技術の使用と、エッチングの停止剤として機能するホウ素の大量植え付けとによってある程度は制御されることができるものの、該プロセスを制御ることは困難であり、したがって湿式化学エッチング技術でもって製造されることができる該構造の型、形状及び寸法は厳しく制限される。とくに、湿式エッチング技術は、小さい（ミクロンサイズの）構造の定義に対しては適用することができない。なぜなら、それらはその大きさでは制御可能ではないからである。

例えば、Ｓ．Ｃ．アーニー（Arney）らによる、真空科学技術ジャーナルＢ６（１）の１９８８年１月／２月号の３４１～３４４頁の「シリコン基板アイランドの水平酸化によるマイクロン下の絶縁体上にシリコンが配置された構造の形成」と題された記事の中に、単

結晶シリコンの０．５μｍの幅のアイランドを完全に絶縁するための熱水平酸化を利用する乾式の全体マイクロ加工が記載されている。この研究は、マイクロン下の単結晶シリコンの可動機械構造の製造のための反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）プロセスの改良に到達し、この中でアーニーらの刊行物中に記載されている酸化・絶縁ステップが、SF_6の等方性開放エッチングに置き換えられた。１．０μｍの範囲のより広い構造の開放と、２～４μｍの範囲内のより深い構造とを許容するこのプロセスは、本出願の譲受人に譲渡された、１９９２年１月１６日出願の米国特許出願第０７／８２１，９４４号に記載されている。そこに記載されているように、この乾式エッチングプロセスは、構造要素及び金属接触を定義するために複式のマスクを利用し、そして単結晶シリコン中での小さく複雑な構造の定義を許容し、そして実施が容易であった。しかしながら、とくに第２のマスクを整列させる上での問題のため、第２の写真製版ステップでより深い構造に対して適用することは困難であった。さらに、そのプロセスは、単結晶シリコン基板上でのシリコン酸化物層の形成に頼っていたが、ＧａＡｓ又はＳｉＧｅのような他の材料はシリコンがするふうには酸化物層を生成しないので、プロセスはこのような他の基板材料に移行されることができなかった。

同時継続出願にかかる米国特許出願第０７／８２９，３４８号には、シリコン以外の単結晶材料中のマイクロ機械構造を離型するためのプロセスが記載されている。このプロセスは、基板上に縦方向の構造をつくるために化学的に助勢されたイオンビームエッチング（ＣＡＩＢＥ）及び／又は反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）を用い、そして該構造を横方向にアンダーカットしかつ離型するために反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）を用いる。しかしながら、該プロセスは複式のマスクを利用し、そしてかくしてより深い構造の形成と、第２のマスクの整列とにおいて、前記のシリコンプロセスに対する同様の問題に遭遇した。

機械構造のための単結晶材料の使用は有利であるかもしれない。なぜなら、これらの材料は、欠点がより少なく、粒界をもたず、そしてそれゆえそれらの構造的及び機械的な特性を保持しつつマイクロン下の寸法への縮尺するからである。さらに、機械式のセンサ及びアクチュエータをつくるための単結晶材料、とくに単結晶のシリコン及び砒化ガリウムの使用は、電子システム及び光システムの結う融合を促進し及び最適化することができる。例えば、非常に小さい質量をもっている単結晶シリコン構造は、プラスマイナス２００ｎｍの振幅でもって、２０億サイクルに対して５メガヘルツで支障なく共鳴することができる。したがって、高いアスペクト比を有するマイクロン下の機械構造の製造は大いに望ましいであろう。

発明の概要

それゆえ、マイクロ電気機械構造（ＭＥＭＳ）の製造のための、改良された自己整合型のドライエッチングプロセスを提供することが、本発明の１つの目的である。

単純化されたシングルマスクのドライエッチングプロセスを通じて、マイクロメータ規模の寸法をもつ構造を製造するためのプロセスを提供することが、本発明のもう１つの目的である。

本発明のもう１つの目的は、マイクロメータ規模の寸法を有する高アスペクト比の離型された構造を製造するための、低温のシングルマスクのドライエッチングプロセスを提供することである。

本発明のさらにもう１つの目的は、電子回路を組み込んでいるウエハのような、先在する集積回路ウエハ中のマイクロ構造の製造のための、改良された低温のプロセスを提供すること、及びこのような構造を先在する回路に接続するためのプロセスを提供することである。

本発明のもう１つの目的は、その中で回路要素が異なるプロセスによって構成されている単結晶の基板上にマイクロ構造をつくるための、シングルマスクの低温のドライエッチングプロセスを提供することである。

本発明のさらに別の目的は、実質的に平行な壁部と、基板中の粒子の方向には依存しない高アスペクト比とを備えた深い溝部を有する可動型のマイクロ構造をつくるための、シン

グルマスク式の低温プロセスを提供することである。
本発明のさらに別の目的は、基板内に移動することができ、又は基板面から外に移動することができる機械式アクチュエータのマイクロ構造を製造するたんの、シングルマスク式の低温プロセスを提供することである。
本発明のさらにもう１つの目的は、シングルマスク式のドライエッチングプロセスによって製造され、センサ、レゾネータ及びアクチュエータ、インダクタ、コンデンサ及びこれに類するものとして用いられることができる、単結晶のシリコン中の可動マイクロ構造の提供である。
本発明のさらに別の目的は、任意に膜を含むことができ、基板の面内で移動することができるとともに該面の外に回転することができるセンサ／アクチュエータ、レゾネータ、光反射器及びこれに類するものとして用いられ、かつシングルマスク式のドライエッチングプロセスと金属の選択的な堆積とによって製造される、単結晶シリコン基板上の可動マイクロ構造の提供である。
要するに、本発明にかかるプロセスは、シングルマスク式の、低温の（約３００℃よりも低い）、自己整合型の、超小型電気機械（ＭＥＭ）構造を製造するためのプロセスであり、該プロセスは、デジタル式のＭＥＭデバイスの製造だけではなく、このような構造を完成された集積回路ウエハの上に組みつけることを許容するものである。該プロセスは、加速度計のような種々のセンサデバイスだけではなく、基板上の分離型のデジタルデバイス、又はあらかじめ製造されている集積回路上の部品としての種々のアクチュエータデバイス、レゾネータ、可動光反射器及びこれに類するものを製造するためにも用いられることができる。該プロセスはＳＣＲＥＡＭ－Ｉプロセス（Single Crystal Reactive Etch and Metal、単結晶反応性エッチング及び金属）と称されてもよい。
このＳＣＲＥＡＭ－Ｉプロセスは、任意の形状の構造を定義するためと離型するための両方のために、かつ離型された構造の上にだけではなく、動かない相互接続、パッド及びこれに類するものの上にも、定義された金属表面を備え付けるために、反応性イオンエッチングを用いる乾式の全体のマイクロ加工プロセスである。前記の同時継続出願第０７／８２１，９４４号において定義された以前のプロセスもまた、マイクロ構造の製造を許容したが、構造要素と金属接続部とを定義するために、２つのマスクを必要とする。本発明は、この以前のプロセスから開発されたものであるが、構造の深さをおよそ１０～２０μｍまで延ばすことと、０．５μｍ～５μｍの幅でのビーム要素の形成を許容することと、先のプロセスの第２のマスク／写真製版のステップを削除することと、ビームのような可動要素及び相互接続部のような不動要素と、シングルマスクでもって定義されるべき接続パッド及びビームとを含むすべての構造要素に、該構造に適用された金属接続部が自己整合するようにすることとによってそれを改良している。
該プロセスは、普通、シリコン、砒化ガリウム、シリコンゲルマニウム、燐化インジウム、アルミニウム－砒化ガリウム－砒化ガリウムのような複合体及び複合構造、並びにその他の量子井戸、又は周囲の基板材料から電気的に絶縁されるとともに、選択的な電気的接続のために金属化された可動の離型された構造要素がシングルマスクを用いて製造されることができる多層の超結晶格子半導体構造のような単結晶基板の上での絶縁性マスクの形成に頼っている。そのように製造された該構造は、離散的であること、すなわちそのウエハ自身の中につくられることが可能である。このような場合においては、前記の基板材料のいずれもが用いられることができ、又はシリコン集積回路のウエハの中に一体化されることができるが、この場合該基板材料は、本発明にかかる低温でのプロセスを許容するシリコンであろう。
固定及び可変のインダクタ、トランス、コンデンサ、スイッチ及びこれらに類するものに用いるための、三角形及び四角形だけではなく、円、楕円及び放物線のような曲がった構造を含む、複雑な形状は本発明に基づいて製造されることができる。離型された構造は、基板面内におけるＸ軸及びＹ軸に沿った、基板面に垂直なＺ軸に沿った移動のために、かつ基板面の外へのねじれ移動のためにつくられる。
本質的には、本発明は、単一の絶縁性マスクでもって該マスクを該構造のまわりに完全に

深い絶縁性の溝部を定義するために用いることにより、離型された構造の製造及びこれに続くかかる構造の金属化と、該構造を選択的に離型するとともに周囲のメサの基部に空隙をつくるためにこれらの構造をアンダーカットすることと、この後露出された表面を金属化することとを許容する。アンダーカット及び空隙の形成は、堆積された金属の連続性を破り、これによって離型された構造及び定義されたメサ上の金属を、溝部の底部の上の金属から電気的に絶縁し、そして絶縁層は金属を下に横たわっている基板から絶縁する。溝部によって定義された要素は金属層によって相互に接続され、かくして離型された構造は、選択された位置に設けられたインタコネクトと、さらに溝部によって定義されたインタコネクト及びパッドとでもって、金属層を介して、周囲のメサ中のパッドに電気的に接続されることができる。シングルマスクプロセスが離散した基板又はウエハの上で実行されたときには、該プロセスは高温又は低温のいずれかのプロセスによって実行されることができる。しかしながら、該構造がウエハ上の実在の回路と一体化されるべきものであるときには、実在の回路に対する損傷を防止するために、低温のプロセスとするのが好ましい。本発明にかかるプロセスは、絶縁されかつ離型された構造を定義するために深く狭い溝部を形成する上においては、隣り合う壁部間の高いキャパシタンスのために、その側壁上で金属化されることができる高アスペクト比をもつ構造をつくる。さらに、該プロセスは、離型された構造と溝部の床上の金属との間の寄生キャパシタンスを低減するために、離型された構造の下での深いエッチングを許容する。該エッチングプロセスはまた、離型された構造を取り囲んでいるメサの側壁中に延ばされた空隙をつくり、もって該側壁の上の金属と溝部の床の上との間のリーク電流を低減する。離型された構造上の金属化は、離型された構造の水平方向及び鉛直方向の移動を容量的に制御及び／又は検出するために、メサ側壁上の金属化及び溝部の床上の金属化と助け合う。

もし希望すれば、結果として生じた構造を修正するために、上記のシングルマスクプロセスの終了後に付加的なステップを実行することもまた可能である。例えば、付加的なマスキングのステップは、離型されたビームのばね定数の低減を許容することができる。さらに、加速度計での使用のためにその重量を増やすべく、膜が離型された構造に付け加えられることができ、そしてこれらの膜は可動鏡としての使用のために研磨されることができる。付加的なステップは、ヴィアにより、金属層を外部の回路に接続するために用いられてもよく、そして重複構造を形成するために、複数の層がつくられることができる。

広範囲のデバイスが、本発明にかかるプロセスを利用して製造されることができる。上記のとおり、該プロセスは基板中の結晶構造には依存せず、このため本質的にはどのような形状でもつくられそして離型されることができる。かくして、基板の側壁に片もち固定され、かつ溝部の底壁の上方で外向きに伸びる単一又は複式のフィンガと、種々のグリッド及び配列とがっくられることができ、そして種々の電気部品が形成される。これらの種々の構造は、ここでは「ビーム」又は「離型されたビーム」と称されてもよく、かかるビーム又は離型されたビームが所望の形状とされることができ、かつ単一又は複式の構造とされることができるということが理解される。

例えば、単一のビームによって、かつプレートの１つの側部又は他方の間に選択的に電位をかけることによって周囲のメサ壁に軸方向に支持されたグリッド又はプレートの形においては、ビーム及び周囲の基板の選択された壁部及び表面の金属化は、離型された構造中での水平方向の運動の容量的な制御及び検出を許容し、他方溝部の底壁の金属化は、比較的幅の広い離型された構造とすることにより鉛直方向の運動の制御及び検出許容し、そして溝部の底部上の金属はその支持アーム軸まわりにプレートのねじり回転を許容する。プレートのこのようなねじり回転は、例えば光学分野などといった、多数の応用分野を有している。

本発明にかかる離型された構造は、例えば、加速度計又はセンサとしてはたらき、そして水平方向及び鉛直方向に移動することができる単一のビームの形をとることができ、又は平行に並んだ配列の、若しくは種々の他の配列の複数のビームの形をとることができる。複数のビーム構造は、例えば「ピンセット」の形となるよう水平方向に互いに近づき及び離反するように移動するなどして共働することができ、又は変化する応答を提供し、そし

て例えば加速度計での広範囲の運動又は感度を提供するために、厚さのような変化する特性をもつことができる。種々のグリッドに似た配列は、前記のように、質量を付加するために、又はねじり運動を提供するために設けられることができ、本発明にかかるプロセスは極めて広い範囲の配列を許容する。

本発明にかかるプロセスにしたがって製造された構造の使用例は、単結晶シリコンから製造されたねじりレゾネータ中にある。マイクロ加工されたレゾネータは、センサでの応用に広範囲に採用されてきており、このような応用において最も重要なレゾネータの特性は、機械的な消散である。しばしば、センサへの応用は、空気のような気体又は液体の媒体中でのレゾネータの操作を必要とし、そしてそれらの小さい質量に起因して、かかるレゾネータは周囲の媒体によって決定される消散をもつことが期待される。本発明にかかる単結晶シリコンでつくられたねじりレゾネータは、より低い機械的な消散を有し、そしてこのためこの応用で役立つ。さらに、本発明にしたがって構成されたねじりレゾネータは、単結晶シリコンのウエハ面から外部への運動を経験し、そしてこの方向に大きく運動することができる。このような面から外部への運動は、潜在的に有用なアクチュエータ及び回転鏡への応用を与える。

本発明にかかる基本的なプロセスは、次のように概説されることができる。

まず、酸化物又は窒化物の絶縁層は、ウエハ又は基板の上に堆積され、この層は残りのステップの間はマスクとしてはたらく。その高い堆積速度及び低い堆積温度ゆえ、標準的なＰＥＣＶＤプロセスが用いられる。この後、レジストがかけられ、露出され、マスク層の上に現像される。標準的な写真製版レジスト技術は、所望のビーム、パッド、インタコネクト及びこれらと同類の構造を定義するために用いられる。この後、レジスト中につくられたパターンが、例えば、CHF_3マグネトロンイオンエッチング（ＭＩＥ）又はＲＩＥを用いて、レジストから絶縁マスクに移される。

O_2プラズマエッチングはレジスト層をはがすために用いられることができ、そしてパターン化された絶縁マスクが、この後所望の構造のまわりに溝部を形成するために、該パターンを下に横たわっているウエハ中に移すのに用いられる。深い鉛直方向の反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）又は化学的に助勢されたイオンビームエッチング（ＣＡＩＢＥ）がこの目的のために必要とされる。構造の高さの選択に応じて、溝部は、実質的に鉛直で滑らかな壁を備えていてその深さが４～２０μｍであればよい。

溝部の完成の後、ＰＥＣＶＤの酸化物又は窒化物の保護コンフォーマル層が、シリコンのビーム／構造を被覆するために、およそ０．３μｍの厚さにまでつけられる。コンフォーマル絶縁層は、周囲の基板（又はメサ）の頂面と、定義された構造と、溝部の側壁及び底壁を被覆し、そこで１０ｍＴでの異方性CF_4／O_2ＲＩＥにより、絶縁物を溝部の底壁から除去することが必要となる。このエッチングはマスクを必要としないが、ビーム及びメサの頂面と、溝部の底部とから０．３μｍの絶縁物を除去し、側壁の皮膜を乱さないで残す。結果的には、ビームは、絶縁層の頂面層及び側壁層、並びにフィルムを含まない溝部の底部とともに残される。

深いＲＩＥ又はＣＡＩＢＥは、この後側壁の絶縁物の下端部の下で、溝部の床をエッチングするために用いられる。このエッチングは、好ましく、ビームの各側部の上の絶縁物の下と、周囲のメサの壁部の上の絶縁物の下とで、３～５μｍの基板を露出させ、そしてそれは離型ステップの間に除去されることになっているメサ壁上及びビーム下のこの露出された基板である。離型は、ビーム又は他の構造の下から外へ基板をエッチングする等方性ＲＩＥによって実施され、かくしてそれらを離型させ、そして空隙を形成するためにメサ壁上の基板をエッチングする。該エッチングは、絶縁物に対して高い選択性を有しており、保護絶縁皮膜にさほどの影響を与えることなく、数マイクロンの基板がエッチングされることを許容する。離型の後、ビームは、例えば、それらの端部での周囲のメサとの接続により、深いシリコンの溝部の底壁の上方で片もちで支持される。

離型され片もち固定された各構造は、単結晶シリコンのような半導体材料の芯と、頂面及び側壁の上でそれを囲んでいる絶縁物のコンフォーマル皮膜とを有している。構造のビームは、例えば、その端部で片もち固定されるとともに、その中央部で自由な遊動状態とさ

れてもよい。その運動測定することにより、又はそれを運動するよう駆動することにより、該構造を活動させるために金属層が必要とされる。したがって、最終ステップとして、アルミニウム層が、ビームの頂面及びビームの側壁の上と、溝部の床の上と、周囲のメサの頂面及び側壁の上とにスパッタで堆積される。ここにおいて該構造は完成され、そしてそれを活動させるために適当な回路に接続されることを単純に必要とする。該回路は、別の基板上にあってもよく、あるいはビームの製作に先立ってビームの位置と隣り合ったウエハ中に形成されてもよい。動いている構造間でのショートを防止するために、応用形態に応じて、１００～２００ｎｍの厚さの薄いパッシベーション酸化物層を付加することもまた望ましい。

本発明を用いてシングルマスクのＭＥＭデバイスを設計し及び製造する上においては、該プロセスの単純化された特性のため、単一の金属層のみが用いられる。さらに、ビームを囲うことに加えて、溝部が、インタコネクト、コンタクトパッド及び容量プレートからなるあらゆる電気的に完全な組を囲わなければならない。この溝部は２つの目的を果たす。それは、ビーム、パッド及び導線のような個々の構造要素を絶縁するとともに定義し、そして該プロセスの自己整合性ゆえ、該溝部は金属を自動的にパターン化する。離型されたＭＥＭビームは、普通、離型ステップを促進するともに、融通性及び軽量性をもたせるために幅が狭くなり、他方同一のプロセスによって形成されたインタコネクトは、普通、離型を防止するとともに、離型されたビームに対して安定した支持を行うために幅が広くなる。離型が予定されているビームは典型的にはおよそ１μｍの幅であり、そして好ましくは３μｍと５μｍの間の最大値よりも小さいであろう。インタコネクトは典型的には動くことは予定されておらず、かくして５μｍよりも幅が広くなることが可能である。

いくつかの実施態様における低温の必要性、単純な設計基準及び本発明にかかる短い工程時間のゆえ、ここに記載されたプロセスは、従来の非常に大規模な集積回路に対して、かかる回路に損傷を与えることなく、あるいはそれらの構築と干渉することなく、付加されることができる。このプロセスの利点の１つは、シングルマスクでもって、すべての電気部品を定義することができる能力である。従来のプロセスにおいては、すべての金属の堆積の後で、金属をエッチバックするともにインタコネクトを定義するために、写真製版ステップが必要となっていた。本発明においては、金属ランナが自己整合的でありかつ自己定義的であるので、エッチバックは必要でない。

【図面の簡単な説明】

本発明の前記の及びさらなる目的、特徴及び利点は、当業者にとっては、添付の図面に関連してとりあげられた好ましい実施の形態のより詳細な以下の記述から明らかとなるであろう。

ここにおいて、図１Ａ～１Ｊは、それぞれ、本発明にかかるプロセスの、ステップ１～１０を図示している。

図１Ｋは、該プロセスのステップ９の修正形態を図示している。

図１Ｌは、ステップ１～１０のプロセスのさらなる修正形態を図示している。

図２は、図１Ａ～１Ｊのプロセスによってつくられたビームと関連するコンタクトパッドとインタコネクトとの上面平面図である

図３は、図２の３－３線に沿ってとられた、図２のデバイスの断面図である。

図４は、図２の４－４線に沿ってとられた、図２のデバイスの断面図である。

図５Ａ～５Ｃは、本発明の第２の実施の形態のためのオプション的な予備のステップを図示しており、ここで図１Ａ～１ＪのプロセスにしたがってつくられたＭＥＭ構造が集積回路ウエハ中に組み込まれている。

図５Ｄ～５Ｉは、本発明の第２の実施の形態のための付加的なステップを図示している。

図６は、本発明の第３の実施の形態の概略図である。

図７は、本発明の第４の実施の形態の概略図である。

図８Ａ～８Ｌは、本発明の第５の実施の形態ステップを図示している。

図９は、ねじり運動を起こさせるための構造の概略斜視図である。

図１０Ａ～１０Ｃは、図９の構造で使用するための電極をつくるためのステップを図示し

ている。
図１１Ａ～１１Ｃは、図９の構造で使用するための電極の修正形態をつくるためのステップを図示している。
図１２は、ねじり構造の修正形態を図示している、図９の部分的な断面図である。
そして、図１３は、本発明にかかるプロセスにしたがってつくられた構造を図示している。

発明の詳細な記述

本発明にかかる基本的なプロセスについての多数の変形例が以下で記述されるが、基本的なプロセスはシングルマスクを備えた機能的なＭＥＭ構造をつくることができる。基本的なプロセス及びその変形例は、すべて基板のための単結晶構造の特性に頼っており、そしてさらには標準的な製造器具の使用と、光又はＥビームの写真製版の使用と、自己整合構築とに依存している。本発明は、隣り合った壁部間に高キャパシタンスを得るために、基板上に対応する壁部に近接して配置された壁部を有する高アスペクト比の構造の定義を許容する。基本的なプロセスは、それぞれ、マイクロ電気機械構造をつくるための、シングルマスク式の、低温の、自己整合型プロセスを概説している図１Ａ～１Ｊのステップ１～１０中に図示されている。これらの図は、一般的に水平方向の経路（図中にあらわれているように）内で、左又は右に動くのが自由な、離型され、片もち固定されたビームの製造を図示しており、かつビームの運動を測定するために、又は択一的にビームの運動を生じさせるために、平行なキャパシタプレートを形成している、隣り合った鉛直方向の不動プレートを図示している。

図示されたプロセスは、シングルマスクと、ウエハ又はダイの上のディスクリート要素としてつくられた構造とでもって実施されている。前記のように、ディスクリート要素は、電子回路なしの外部回路にワイヤで結合されるであろう結合／接触パッドを有している、ウエハの上の要素として定義される。以下で説明される本発明のもう１つの実施の形態は、ここで用いられているように、集積回路のチップの上につくられた構造にかかり、そしてインタコネクト又はバイアスを介してチップ上の回路に直接接続される集積要素の製造に関するものである。
次の表Ｉは、以下でさらに十分に説明されるように、本発明のプロセスを概説している。

表Ｉ

ステップ番号	説明 （単結晶シリコン）	説明 （砒化ガリウム）
１．マスク絶縁体	PECVD（1-2μM） 酸化物又は窒化物	PECVD　酸化物 又は窒化物
２．写真製版	ベーパ供給	ベーパ供給
	レジストの付着、 焼付け	レジストの付着、 焼付け
	露出	露出
	現像	現像
	スカム除去	スカム除去
３．パターン移行	CHF_3 MIE	CHF_3 MIE
４．レジスト除去	O_2 プラズマ	O_2 プラズマ （オプション）
５．溝部エッチング＃１	Cl_2 RIE	Cl_2 CAIBE
６．側壁絶縁体	PECVD（0.3μm） 酸化物又は窒化物	PECVD 酸化物又は窒化物
７．清浄な床絶縁体	CF_4 RIE	CF_4 RIE 酸化物又は窒化物
８．溝部エッチング＃２	Cl_2 RIE	Cl_2 CAIBE
９．離型	SF_6 RIE	BCl_3 RIE
10．金属のスパック	（アルミシウム又は 等価な金属）	
11．ワイヤボンド		

該表のステップ１～１０は、図１のステップ１～１０に対応する。２つのプロセスが表中に概説され、一方は単結晶シリコン基板のためのものであり、そして他方は砒化ガリウム基板のためのものである。次の説明は、まず単結晶シリコンを製造するためのプロセスにかかる。

ここで、図１Ａを参照すれば、該プロセスのステップ１において、単結晶シリコンウエハ１０の頂面８のような、むきだしのシリコンの清浄で開かれた領域が設けられ、この上に酸化物（SIO_2）の層１２が堆積され、この層は該ステップの残りの期間マスクとしてはたらく。この酸化物は、加熱炉内で成長させられてもよいが、これはディスクリート要素のために限り適切であろう。なぜなら、熱酸化物の形成は１０００℃又はこれより高い温度を必要とするからであり、これはウエハの上のあらゆる電気要素に損傷を与えるであろう。酸化物層１２は、ＰＥＣＶＤによって、又はＰＥＣＶＤと熱的成長のある組み合わせによって堆積されることができるが、標準的なＰＥＣＶＤプロセスは、その高い堆積速度ゆえに、そして３００～５００℃の範囲の低い堆積温度をもつといった事実ゆえに、好ましく、これは電気部品を搭載しているウエハ上に一体化された要素をつくるのに適切である。最小の酸化物の厚さは、該酸化物をエッチングするであろう後のＲＩＥステップ（

説明される）がどれくらい速いかによって決定されるが、一般的には、酸化物のマスク層は、必要とされる最小の厚さよりも大幅に厚くすることができる。ビーム又は他の構造の高さが１０μｍとなる典型的なプロセスにおいては、酸化物にとって厚さがおよそ０．７μｍであるのが望ましい。製造されるべき構造の高さは、より正確には、このプロセスによってつくられた、酸化物で被覆され離型されたビームの内部に配置されるであろうシリコン「骨格」の高さである。このシリコン骨格は、前記したとおり、該プロセスによってつくられたビームの主要な構成部分であり、典型的には、最小の高さをおよそ３μｍとしておよそ１０μｍ又はこれを超える高さをもつことができる。

図１Ｂに図示されたステップ２は、写真製版ステップであり、ここでレジスト材料１４は、パターン１８をつくるための標準的な光学写真製版のレジスト技術を用いて、酸化物マスクの頂面１６の上にかけられ、露出され、そして現像される。通常はおよそ０．５μｍより小さい分解は必要とはされないので、光学技術が好ましい。しかしながら、もしより良好な分解が必要なときは、３重レベルのレジスト及びアルミニウムの打ち上げマスクを伴った電子ビーム写真製版が用いられることができる。

図１Ｃとステップ３とに示されているように、レジスト中に現像されたパターン１０を用いて、下敷きになっている酸化物層１２が、該パターンを酸化物マスクに移すためにエッチングされる。そこに示されているように、酸化物層１２は、例えば、マグネトロン・イオンのエッチング（ＭＩＥ）装置内でCHF_3を用いてエッチングされる。このようなエッチングは、プラズマを集中させるとともにエッチング速度を高める大きな磁石を利用することを除けば、実質的にはＲＩＥと同様である。ＭＩＥの高いエッチング速度は、レジストが燃えるのを防止するのを助ける。さらに、非常に低い圧力（およそ、１～３ミリトール）下でのＭＩＥエッチングは、縦方向の側壁をつくり、そしてスループットを増加させる。レジスト材料１４中に形成されたパターン１８は、かくして、マスクパターン２０で示されているように、マスク酸化物１２に移される。

レジスト材料は、シリコン基板１０の上に直接パターン１８をマスクするためには用いられない。なぜなら、ビーム構造を形成するためにシリコン中に溝部を掘るのに用いられるCl_2エッチング（説明される）は、レジスト材料を酸化物よりも一層急速にエッチングするからである。かくして、酸化物マスクの使用は、シリコンのエッチングが、同じ厚さのレジストでもって行われることができるのよりも一層深く掘り、そしてより長く持ちこたえることを許容する。

ステップ４と図１Ｄとに示されているように、ステップ３のパターンの移行に続いて、レジスト材料が取り除かれる。該レジストは、例えば、イオン化された酸素ラジカルがレジストを攻撃するようになっている「バレルアッシャ」を利用するO_2プラズマエッチングによって、あるいはレジストを溶かす化学溶媒を用いるウェット・ケミカル・レジストス・除去手法を利用することによって、既知の手法で除去される。O_2プラズマエッチングは、迅速であるので好ましく、レジストを完全に除去して清浄な表面を残し、そして高いスループットを備えている。

ステップ５（図１Ｅ）中に示された深いシリコンエッチングは、本発明にかかるプロセスに対して臨界的である。これは深いシリコンエッチングであり、その中ではパターン２０が、深い溝部２２を形成するために、深く縦方向の異方性BCl_3／Cl_2ＲＩＥによってシリコン１０中に移される。該エッチングは、次の表IIに示されているように、標準的なＲＩＥ室中で３つのステップで実行される。

表Ⅱ

パラメータ	ステップ1	ステップ2	ステップ3
電圧：	２００ボルト	３００ボルト	４７５ボルト
圧力：	２０ミリトール	２０ミリトール	４０ミリトール
時間：	１ ｍｉｎ.	１ ｍｉｎ.	（ユーザによって決まる）
化学:			
Cl_2	0 sccm	2 sccm	５０ sccm
BCl_3	１４ sccm	１４ sccm	5 sccm
H_2	7 sccm	7 sccm	0 sccm
エッチング速度: Ｓｉ １９００Å/ｍｉｎ. ＝ １１.４μｍ/ｈｒ			
エッチング速度: SiO_2 ９６Å/ｍｉｎ. ＝ ０.５７６μｍ/ｈｒ			
選択性: ２０：１：Ｓｉｌｉｃｏｎ：Ｏｘｉｄｅ			

シリコン及び酸化シリコンに対する２０～１の範囲の、主要なCl_2エッチングにおける非常に高い選択性ゆえ、自然の酸化物の存在は、不要なマスキングを生じさせることができる。このため、はじめの２つのエッチングステップは、まず１０～２０ｎｍの酸化物を攻撃して除去するために用いられ、他方第３のステップは、シリコンの溝部を切り開くために用いられる。BCl_3ガスは酸化物をエッチングし、他方Cl_2はシリコンをエッチングする。該エッチングにおけるより良い選択性は、BCl_3を取り除くとともに純粋なCl_2を用いることによって得られることができ、かくして１μｍの各酸化物に対して、４０μｍのシリコンがエッチングされるであろう。しかしながら、溝部の中に落ちるかもしれない酸化物のあらゆる小片は、この選択性ゆえ、望ましくないマスクとして作用するであろう。これは、普通、溝部の中に落ちて微細マスクとして作用する酸化物のスパッタされた小片でもって、エッチング中に起こる。BCl_3は溝部の中に落ちた酸化物をエッチングし、かくしてエッチングの質を改良する。

Cl_2／BCl_3エッチングは、非常に役に立つ付加的な効果、すなわち側壁の元の位置での薄膜の堆積といった効果を奏する。このエッチングは、該エッチング中に溝部の側壁及び底部の上に二酸化ケイ素の薄い層２４を堆積し、そしてこの薄い層は、後に続くステップで用いられることができる付加的な側壁マスクとして作用する。

図１Ｅに示されているように、該プロセスのこの時点では、マスク酸化物１２のパターン２０に続いて、深い溝部２２が、基板１０内に刻まれている。基板の断面は、図１Ｅに示されているように、メサ２７を形成する周囲の基板からアイランドを分離する溝部によって囲まれた１つ又はこれより多いシリコンアイランド２６（それらの１つだけ図示されている）を示している。該アイランドは、写真製版ステップにより形成される際に、その幅はどのようにも選択されることができ、例えば、約１ミクロン、高さは数ミクロンとされることができ、長さは数１００ミクロンとされることができ、そして所望の形状又はパターンとされることができる。アイランド２６及び周囲の基板２７は、両方ともメサということができ、そして各々はメサ頂部の上に酸化物マスク１２を有するとともに、Cl_2エッチングによって生じた側壁の上に薄い酸化物層２４を有している。アイランド２６の芯部は、メサ２７を形成している基板１０と同様の単結晶シリコンである。

アイランド構造を離型するために、むきだしのシリコンである溝部底面を伴った頂面及び側壁の上に保護膜が設けられ、かくして、片もち固定された又は自由に立っているビームを形成するようアイランドの下から外部へシリコンをエッチングするために、そしてアン

ダーカットされた空隙を形成するよう周囲のメサの下から外部へシリコンをエッチングするために、等方性ＲＩＥが用いられることができる。
さらに詳しくは、シリコンアイランド及び周囲のメサのための保護膜が、図１Ｆに示されているステップ６にしたがって設けられる。ここで、ウエハ全体は、標準的なプラズマが強められた化学蒸着（ＰＥＣＶＤ）プロセスを用いて、保護酸化物層２８で被覆される。これは、チャンバに流入するガスがそれらを攻撃するというよりもむしろ膜を形成するために反応することを除けば、ＲＩＥによく似ている。SiH_4とNO_2とは反応して二酸化ケイ素とNH_3とを生成し、ここで二酸化ケイ素の個々の分子はウエハの表面と結合し、そして酸化物の薄膜を形成している。該反応は、非常にコンフォーマルであり、すなわち角度又は方向にかかわりなく、等しい厚さの層でもってすべての表面を被覆する。図１Ｆに示されている酸化物層２８は、図１Ｅに示されている薄い層２４を組み込んでいる。このプロセスによれば、層２８はマスク層１２の上方で伸び、かくしてアイランド及びメサの頂部の上の二酸化ケイ素の厚さは、溝部２２の床３０でのそれよりも厚くなる。
図１Ｇに示されているように、該プロセスのステップ７においては、溝部の床３０の上の酸化物層２８は、異方性CF_4／O_2ＲＩＥによって除去される。このエッチングは、横方向にはほとんど影響を及ぼさずに、真っすぐ下向きに刻み、低圧のＲＩＥでもって容易に行われる。これは、あらゆる水平な表面から、この場合はアイランド及びメサの頂面と溝部の底部とから１つの層を効果的に除去し、そして側壁に影響を及ぼさないので、図１Ｇに示されているように、アイランド２６及び周囲のメサ２７の頂部と側部とを被覆する酸化物層は残るが、床３０は開かれた状態となる。
膜が存在しない溝部の床３０については、図１Ｈ中のステップ８に示されているように、第２の異方性Cl_2／BCl_3ＲＩＥシリコンエッチングが実施される。この時点では、マスク及び側壁の酸化物１２及び２８は、メサ２６及び２７の上に配置され、そして溝部の床だけが膜の存在しないシリコンである。この第２のシリコンエッチングは、溝部の底部３０の深さをおよそ３～５μｍ増やし、すなわち溝部の底部は、側壁の酸化物層２８の下端部３２の下で３～５μｍエッチングされ、これによって側壁のシリコン３４が３～５μｍ露出する。このエッチングは、アイランド２６の基部でシリコンを露出させることにより、次に続く等方性離型エッチング（ステップ９）を促進する。このエッチングは３つの利点を有している。すなわち、それは構造の離型を促進し、それは離型されたときにビームと床との間の間隔を制御するために溝部の床を低くし、そしてそれは側壁の酸化物皮膜２８の背後の構造の上向きの過剰なエッチングを防止する。
ステップ９と図１Ｉとは、例えば、一端で接続されて溝部の床の上方で片もち支持された状態で伸びるかもしれないビーム３６のような離型されたビームをつくるために、下敷きとなっている基板からアイランドを分離するとともに離型する等方性離型エッチングステップを示している。このエッチングステップは、SF_6等方性高圧底電圧ＲＩＥプロセスであり、これは点線で示された領域３８内でメサの下からシリコンをエッチングするために、溝部の床３０と側壁下部３４とでシリコンを侵食する。アイランド３６は、エッチング領域では狭くなり、そこでそれは完全に離型される。SF_6エッチングはまた、ビーム３６の位置と隣り合った、基板メサ２７の側壁中の空隙４０をもエッチングし、メサ側壁の上部は、酸化物層１２及び２８によって保護され、上記のとおり，新たな溝部の床３０’をつくりだす。
ステップ８にかかる第２のシリコンエッチングは好ましいけれども、ステップ９にかかるSF_6離型エッチングは溝部の床３０を介して下向きにエッチングすることができ、そしてついにはメサの下をエッチングするので、それは必須ではないということが注目される。しかしながら、SF_6エッチング剤が「制限された輸送特性」であるので、すなわち該エッチング剤は狭い溝部内でエッチングされるべき表面に十分に速くは到達することができないので、これはさらに余計な量のエッチング時間を必要とする。これに対して、もしステップ８が含まれていれば、SF_6エッチングはより有効となるであろう。なぜなら、この場合は、大きい開いたシリコンの側壁が存在し、これは、横方向のエッチングが、必要とされるSF_6の離型時間を最小にするように直ちに始まることを許容するからである

。
ステップ８を含むことにより、離型されたビーム３６と溝部の底部３０（図１Ｉ）との間の縦方向の距離は、制御可能となる。もし、ステップ８が排除されれば、ビームから床までの距離は、SF_6離型時間にのみ依存するであろうが、離型の前にシリコンエッチングを加えることによって、この距離は必要に応じて増やされることができる。
SF_6エッチング剤がメサ２４の下でエッチングを開始すると、それは保護層２８内でビームの下で上向きに広がり始めるということが見いだされている。なぜなら、エッチング剤はすべての方向に等しくエッチングするからである。通常、プラズマエッチングは、エッチング剤を基板まで下向きに移動させる加速的に上昇する電圧でもってエッチングされるべき表面に向けられ、それゆえＲＩＥは通常先天的に方向性を有するエッチングである。しかしながら、等方性エッチングは、圧力を高めることによって得られ、かくして方向性はより目立たなくなり、かつ横方向のエッチングはより明白となる。そして、本発明は、離型に方向性よりも等方性をもたせるとともにアイランドを迅速にアンダーカットするために、好ましく十分に高い圧力を利用する。
もし、ステップ８にかかる深め策が用いられなければ、ビーム３６の下側表面から床３０までの最初の距離は、３～５μｍであろう。しかしながら、もしステップ８にかかるエッチングが用いられれば、エッチングの終了までには、ビーム３６から床３０’までのこの距離は５～９μｍの間まで増加する。エッチングプロセス中におけるビームと溝部の床との間の距離の増加はまた、保護酸化物層２８の下での上向きのエッチング速度をも制限し、かくして離型されたビーム３６に対する高いアスペクト比を保証する。
ステップ１０と、図１Ｊとに示されているように、アルミニウムのスパッタによる堆積は、ビームの頂面及び側壁だけではなく、メサ２７の表面及び側壁の金属化をも行うために用いられることができる。ビームと床３０との間の空間部と、皮膜中に絶縁性の断絶部をつくる空隙とを備えた、このような金属層は、図１Ｊ中の４４に示されている。メサの頂面及び及び側壁の上での金属化は、かくして溝部の床３９の上のそれから絶縁され、これによって、この後適当な回路に相互接続されることができるビーム３６のような、完全な、電気的に絶縁された、金属化された構造がつくられる。金属層４４はまた、酸化物層１２及び２８によって、下敷きとなっているシリコンから電気的に絶縁されているということが注目される。
図１Ｋは図１Ｉに対して択一的なものを示しており、ここではステップ９にかかる離型されたエッチングは、メサ２７中に拡大された空隙４０’をつくっている溝部２２の深さを増やすために、そして床３０と離型されたビーム３６との間距離を増やすために、延長された期間続けられる。空隙４０’は側壁の酸化物層２８の後ろで、上向きに伸び、かくして金属層４４がつくられたときには（ステップ１０）、メサ２７中の金属４４とシリコン基板との間のリークを低減するために、点線４６で示されている延長されたリーク通路がつくられる。もし、希望すれば、該エッチングは、その中にビーム３６のようなＭＥＭ構造が吊るされているウエハを介して孔をつくるために、基板の底部を介して続けられることができる。
再び図１Ｋに示されているように、エッチング時間の延長はまた、ビーム３６の底部をエッチングするためにも役立ち、ビームの側壁の酸化物と金属層との間に空隙４８をつくる。ビーム３６の減らされた側部は、その質量を減少させるとともに、その融通性を増加させ、かかる特性はいくつかの応用では非常に好ましい。
図１Ｌは、図１Ａ～図１Ｊに記載されたプロセスと二者択一的な別のものを示しており、ここにおいては、図１Ｊにかかる金属化ステップの前に、ＣＶＤによる酸化物又は窒化物のコンフォーマルな絶縁層４９が図１Ｉの構造の上に堆積される。このコンフォーマルな層は、離型されたビーム３６の頂部と底部と側部とを被覆し、メサ２７の上の側壁酸化物２８を被覆し、そしてエッチングされた溝部の床３０’を被覆し、かくして下敷きとなっている基板と図１Ｊにしたがって堆積された金属化層との間に、絶縁層が備わる。別の二者択一的なものでは、金属層４４とシリコン基板との間に絶縁体を設けるために、図１Ｉの露出されたシリコン表面（床３０’及びビーム３６の底部）の上に酸化物を熱的に成長

させるようになっている。しかしながら、熱酸化は高温のプロセスであるので、これはあまり好ましくはない。さらに、図１Ｌにかかる堆積プロセスは、メサの上により厚い絶縁層を設け、そして側壁の上の金属層と床３０’の上の金属との間に、電気的な通路を増加させる。表Ｉのステップ１～１０中に設定されたプロセスの上記の説明は、単結晶シリコンに対するプロセスの応用に向けられている。しかしながら、該プロセスはまた、表Ｉ中の右側の欄に対応して設定されているように、砒化ガリウムのような他の材料をに対して応用されることができる。該表中に示されているように異なる材料が用いられているものの、これらのステップはまた、図１Ａ～図１Ｊに示されている。かくして、例えば、ステップ１においては、絶縁マスクがＰＥＣＶＤによる酸化物又は窒化物であり、砒化ガリウムはシリコンのような手法では酸化されることができないので、酸化物が堆積される。もし、希望すれば、絶縁物はまた窒化物であってもよい。

ステップ２にかかる写真製版プロセスは、ステップ３にかかるパターン移行と同様である。砒化ガリウム基板を用いるときは、ステップ４にかかるレジスト除去プロセスはオプション（任意選択的）であって、必要とされなくてもよい。

ステップ５にかかる溝部のエッチングは、単結晶シリコンとともに用いられるＲＩＥプロセスというよりは、むしろCl_2を用いるＣＡＩＢＥプロセスである。側壁の絶縁物はＰＥＣＶＤによる酸化物又は窒化物によってつくられ、そしてステップ７は、単結晶シリコンとともに用いられた手法におけるCF_4ＲＩＥを利用する。

溝部をエッチングするステップ８は、再びCl_2ＣＡＩＢＥプロセスであり、他方離型ステップ９はBCl_3ＲＩＥを用いる。これらの変化について、本発明にかかるプロセスは、シングルマスクプロセスでステップ１０にしたがって金属化されることができる、砒化ガリウムの離型されたビーム構造をつくるために用いられることができる。

もし、離型された構造が、ディスクリートウエハの中にあれば、該デバイスは適当な外部回路にワイヤボンド（表Ｉ中のステップ１１）により接続されることができる。このようなワイヤボンドのための適切な構造は、図２中に示されているが、これは図１にかかるプロセスにしたがって構成された単純なミクロ電気機械デバイスの上面図である。そこに示されているように、単結晶シリコンのウエハ５０が、溝部５４内に配置された単一の離型されたビーム５２をつくるためにパターン化され、ビーム５２は図１Ｊのビーム３６と同様となる。溝部５４によって、離型されたビーム５２の各側部の上に、図１Ｊ中のメサ２７に対応し、図３中に断面が示されている電極５６及び５８のような固定された構造が形成されている。該断面は、図２の３－３線に沿って切られたものである。

また、コンタクトパッド６０、６２及び６４のような付加的な固定された構造と、それらの対応するインタコネクトとが、溝部５４によって定義されている。図４に示されているように、パッド６２は、インタコネクト６６により離型されたビーム５２に接続されており、該図は図２の４－４線に沿って切られた断面図である。インタコネクトは、図３にかかる離型されたビーム５２よりも幅が広くなるようにして示され、そして基板５０から離型されず、このためそれは不動のものであって、片もちされた離型ビーム５２の固定端をマウントするための領域６８（図２）に支持壁をつくっている。コンタクトパッド６０及び６４は、それぞれインタコネクト７０及び７２により、それぞれ電極５６及び５８に接続され、かくしてこれらのインタコネクトはインタコネクト６６と同様となっている。図示されているように、インタコネクト、コンタクトパッド及び電極支持体は、すべてメサとして形成され、それぞれ、頂面及び側壁の上の絶縁層７４及び７６によって被覆され、そして溝部５４によって囲まれている。デバイスの金属化においては、図１Ｊについて記載されたとおり、金属皮膜７８は、インタコネクト６６のみによってコンタクトパッド６２とビーム５２との間につくられ、インタコネクト７０のみによってコンタクトパッド６０を電極５６に接続し、そしてインタコネクト７２のみによってコンタクトパッド６４を電極５８に接続するであろう。かくして、溝部５４と、酸化物層７４及び７６とは、該金属を基板から及び隣り合う構造から電気的に絶縁する。

電極５６及び５８の上の金属層７８は、コンデンサの平行なプレートをつくるために、リリーフビーム５２の上の金属層７８の側壁部と共働する鉛直な側壁部を含んでいる。２つ

の電極５６及び５８がビーム５２に極めて接近して配置されたときには、距離の関数であるそれらの間のキャパシタンスは、測定されることができる。それゆえ、ビーム５６及び５８に対するビーム５２のどのような移動も正確に測定されることができる。側壁の平行なプレートは、ビーム５２の高さに応じて、１０～２０μｍの範囲の高さとされることができ、そして１～２μｍのプレート間間隔をもつことができる。ビーム及び電極は、数千ミクロンの長さとされることができ、かくして大きなキャパシタンスが備えられることができる。このような構造は、静止している電極に対する、離型されたビームの相対的な移動を測定することによって、加速度計として重要な用途をもつ。

本発明にかかるプロセスは、付加的な写真製版ステップを必要とすることなく、コンデンサ、インタコネクト及びコンタクトパッドのための金属化の自動的な定義を許容するということが注目される。必要とされるすべてのものは、図１Ａ～１Ｋについて前に記載したように、これらの構造の形状が、溝部の位置を定義する初期の酸化物層によって確立され、そしてこれらの溝部はこの後金属を基板から絶縁するために役立つということである。ステップ９（図１Ｉ又は１Ｋ）中に示された空隙４０によってつくられた張り出している酸化物は、スパッタされた金属が基板と接触するのを防止するとともに、金属と基板との間のリーク電流を防止してこの絶縁を保証する。金属のスパッタによる堆積は、半コンフォーマル状態であり、側壁の上に横方向に堆積するであろうが、酸化物の張り出しているエッジの下には堆積しないであろう。したがって、該プロセスは自己整合性でありかつ自己定義性である、可動ミクロ電気機械デバイスを提供するとともに、該デバイスものための電気コネクタを提供する。図２～４に示されたディスクリート構造の製造に加えて、本発明にかかるプロセスは、集積構造の製造を許容し、ここにおいて離型されたビームと他のミクロ電気機械構造とは、チップ搭載型の集積回路（ＩＣ）と相互接続されてもよい。図５Ａ～５Ｉに示されている該プロセスのこの修正形態によれば、集積回路のウエハが、該ウエハの上に所望の回路と回路部品とをつくるための標準的な集積回路技術を用いて、バッチ形式でつくられることができ、そしてこの後ミクロ電気機械デバイスが、標準的なＩＣ技術を変えることなく、本発明にかかるプロセスを利用してウエハの上につくられることができる。この実施の形態によれば、ＩＣのウエハは従来よりシリコンであるので、上記の単結晶シリコンプロセスが利用される。本発明にかかる単結晶シリコンプロセスは、実在している回路又は回路部品に対して熱的な損傷を与えることなく、実在しているＩＣウエハ上に離型された構造をつくることを許容するために、十分な低温状態ではたらく。もちろん、このようなウエハは、砒化ガリウムのような他の基板材料からなるセグメントを組み込むことができ、もし希望すれば、この場合、本発明にかかる二者択一的なプロセスが、実在する回路に対して熱的な損傷を与えることなく再び用いられることができる。

実在するＩＣのウエハの上にミクロ電気機械デバイスをつくるプロセスは、次の表III中に概説されている。

表Ⅲ

ステップ番号	説明
０ａ．写真製版	ＭＥＭデバイス用の薄いパッシベーション領域 ・ベーパ供給;付着、焼付け、露出、現像及びスカム除去
０ｂ．CF_4 等方性 ＲＩＥ	薄いパッシベーション層
０ｃ．O_2 プラズマエッチング	残ったレジストの除去
ステップ１－９	（表１と同じ）
１０．写真製版	ウィンドを介しての埋設コンタクトの開口 ・ベーパ供給；付着、焼付け、露出、現像及びスカム除去
１１．CF_4 等方性 ＲＩＥ	酸化物エッチング
１２．ウェットケミカルレジスト除去及びO_2プラズマ	残ったレジストの除去
１３．金属スパッタ	アルミニウム（ポンプダウン及び堆積）
１４．写真製版	トップレベルの金属のパターン化 ・ベーパ供給；付着、焼付け、長い露出、長い現像及びスカム除去
１５．Cl_2 等方性 ＲＩＥ	側壁アルミニウムのエッチング
１６．ウェットケミカルレジスト除去及びO_2プラズマ	残ったレジストの除去
１７．PECVD 絶縁体	薄いパッシベーション絶縁体の堆積

本発明にしたがってつくられた離型されたビームを集積化するためには、つくられた集積回路のダイ又はウエハが、１つ又はこれより多い埋め込まれた金属のコンタクトパッドを組み込み、厚いパッシベーション酸化物層をもち、そしてミクロ電気機械（ＭＥＭ）デバイスのために利用できる十分なスペースをもつことが必要である。どのような種類の集積回路でも、回路又は回路部品に対する接続が金属パッドを経由してさえいれば、離型された構造との接続のために、ウエハの上に存在することができる。これらのパッドは、パッシベーション酸化物層の下に直接埋め込まれ、かくしてそれらはエッチングを経由することによりアクセスされることができる。パッシベーション層は、好ましくは全ウエハを横切るＰＥＣＶＤ酸化物であり、そして本発明にかかる製造プロセスについてはマスク酸化物として用いられる。このようなパッシベーション酸化物は、従来通り、運転中において水及び他の汚染物に対する密閉シールとして、完成したＩＣウエハの上方に配置され、かくして該プロセスに対して便利な出発点を与える。この層は、通常、０．５～１．０μｍの範囲の厚さであるが、もしこれがあまりにも薄すぎる場合は、酸化物又は窒化物のような付加的なＰＥＣＶＤ絶縁材料が、本発明にかかる製造プロセスの中に加えられることができる。他方、もしそれがあまりにも厚すぎるか又は十分に良好なマスクを与えない場合

は、この後それは除去され、そして他のＰＥＣＶＤによる酸化物又は窒化物の必要なだけの層に置き換えられることができる。ＭＥＭの製造に先立つＩＣウエハの準備は、上記の表III中に概説されたステップａ、ｂ及びｃに記載され、そしてここでこれについて参照が行われる図５Ａ～５Ｃ中に示されている。

集積回路（ＩＣ）のウエハ１００は、該ウエハの上方の保護層として役立つ、従来のＩＣの製造における最終ステップとして形成されるパッシベーション酸化物層１０２を含む。この酸化物層の厚さは、上記で問題となった、最小のマスク必要量と同様であるのが好ましい。該ウエハは、例えば、酸化物のような絶縁層１０５中に配置された金属のコンタクトパッド１０４を含み、該パッドは集積回路（図示せず）の一部であって、そして既知の手法で該回路に接続されている。該ウエハはまた、ＭＥＭデバイスを受け入れるための、一般的に１０６で指示された領域を含む。一般に、ＭＥＭデバイス領域は、パッシベーション層１０２に加えて第２の酸化物層１０８を含むであろう。この第２の層は、フィールド酸化物であり、これは、絶縁層として、活動的なデバイスの間に配置された熱的に成長させられた湿った酸化物である。パッシベーション酸化物１０２は、一般に、０．５～１．０μｍの厚さであり、他方フィールド酸化物１０８は一般に０．６μｍの厚さである。

図５Ａ中のステップ０ａは、ＭＥＭデバイスの製造のためのパッシベーション層１０２を準備する写真製版ステップを示している。レジスト層１１０は、ウエハの頂面の上にはられ、露出されそして現像されて、ＭＥＭデバイスの配置を定義するパターン１１２をつくる。この後、酸化物層１０２及び１０８は、もし必要であれば、図５Ｂ中のステップ０ｂで、図示されているように層１０２の一部のみ残して、CF_4による等方性ＲＩＥによるなどして薄くされることができる。二者択一的に、該酸化物は、もし必要であれば、より多くのＰＥＣＶＤによる酸化物を加えることによって厚くされることができる。残りのレジスト層１１０は、図５Ｃに示されているように、この後O_2によるプラズマエッチングにより除去される。この図示された実施の形態では、写真製版プロセスは、先につくられたＩＣデバイスの上方の酸化物を薄くすることなく、マスク酸化物の厚さをより正確に制御することを許容しつつ、ＭＥＭデバイスのかたわらに設定された領域１０６中のパッシベーション酸化物を薄くする。ステップ５Ａ～５Ｃ中のウエハの予備処理に続いて、ＭＥＭデバイスは、金属化に先立って、ウエハ１００の領域１０６内で処理され、図１Ａ～１Ｉ中に示されたステップ１～９が続き、図５Ｄ（ステップ９としても表示されている）の絶縁皮膜構造が結果として生じる。この後、この実施の形態にかかるプロセスは、埋め込まれたコンタクトに対してヴィアウィンドを開くことと、それをＭＥＭデバイスに接続することとを含む。表III中のステップ１０中に記載されているように、レジスト１２０（図５Ｅ）は、パッシベーション層１０２だけではなく、ステップ１～９中における離型された構造の製造中に加えられる溝部側壁上及び頂面上の付加的な酸化物層からもなる、マスク酸化物層１２２の頂面の上に張られている。レジスト１２０は、コンタクトパッド１０４と直線状に並ぶヴィアマスク開口部１２４をつくるために、露出されるとともに現像される。酸化物層１２２は、ヴィア１２６をつくるために、図５Ｆ中に示された等方性CF_4ＲＩＥによってヴィアマスク開口部１２４を介してエッチングされる。この後、レジストは、図５Ｆ中にもステップ１２として示されている、ウェットケミカル及びO_2プラズマのストリッピングステップにより除去され、これによってヴィア１２６を介してコンタクトパッドが露出する。

ステップ１３（図５Ｇ）はスパッタのよる堆積ステップであって、ここにおいては、図１Ｊに関して示されそして説明された手法で、ウエハ１００の頂面の上と、溝部５４の側壁及び床の上とに、金属層１３０が堆積される。

堆積された金属１３０はコンフォーマルであり、そしてコンタクトパッド１０４を覆い、これによりＭＥＭ構造（例えば、ビーム５２）をコンタクト１０４に相互接続させる。他の同様のコンタクトもまた同様のヴィアによって金属層に接続されてもよいということが理解されるであろう。この後、金属１３０はＩＣ接触点とＭＥＭ構造との間のインタコネクトの特定の形状を定義するために、トリムバックされる。図５Ｇに示されているように、スパッタによる堆積はコンフォーマルであり、そしてすべての溝部の、頂面の上と側壁

の下と床の上とに金属を堆積させるので、所望のインタコネクトに対する金属化を制限するために、金属をパターン化（パターニング）することが必要となる。これは、メサの頂部、側壁及び溝部の底面を横切る写真製版を含み、そしてウエハを平坦化するために、まず高粘度のレジスト１３２をかけることによって達成され、該レジストは溝部を満たすとともに、ＭＥＭデバイスを保護的に被覆する。長い露出は、厚いレジスト材料をパターン化するために用いられ、かくして該パターン化は２０ミクロンのレジスト材料を介して実行されることができる。この後、露出されたレジストを現像するために、長い現像時間が必要とされる。

図５Ｈは、該プロセスのステップ１４における露出及び現像の後に残るレジスト材料１３２を示している。厚いレジストと長い露出時間と長い現像時間とを用いることにより分解は失われるが、それにもかかわらずこのプロセスによって得られる分解は、十分あるいはそれ以上である。金属層１３０は、現像処理によって大幅にエッチングされるが、それにもかかわらずレジスト層１３２の現像に続いて、すべての露出されたアルミニウムを等方的にエッチングするために、等方性Cl_2ＲＩＥが実施されるのが好ましい。かくして、図５Ｉ中にステップ１５で示されているように、レジスト１３２によって被覆されていないアルミニウムはエッチングにより取り去られ、ヴィア１２６内において、所望のインタコネクト１３４の配置に沿って、そして片もち支持されたビーム５２の上に、金属層１３０だけが残り、かくしてビームが集積回路に接続される。レジスト層１３２は、この後、また図５Ｉ中のステップ１６にかかる、ウェットケミカル及びO_2プラズマによるレジストストリッピングにより除去される。

最終ステップとして、該デバイスを絶縁するとともに不動態化するために、薄いコンフォーマルなＰＥＣＶＤ絶縁体がウエハの全表面の上に堆積される。ＭＥＭ構造は動くように設計されているので、それらは数ミクロンのパッシベーションの下には埋め込まれることができず、それでおよそ１００～３００ｎｍの酸化物だけがこの目的のために用いられるということに注目されたい。窒化物もまた、酸化物よりも堅く運動を禁止することになるであろうが、用いられることができる。ステップ１７にかかる酸化物の堆積は、図５Ｉ中に矢印１３６によって示されている。

図５Ｅ～５Ｉ中に示されているように、ＭＥＭデバイスの集積回路に対するインタコネクトは、付加的なマスキングステップを必要とするということが注目されるであろう。しかしながら、前記のとおり、ＭＥＭ構造を形成するための基本的なプロセスは、シングルマスクプロセスであり、そしてそれはこれらの付加的なマスキングステップを必要とする後処理に過ぎない。

本発明の別の実施の形態が図６中に示されており、ここにおいては横方向の伸縮性を増やすために、ビーム５２のような延長され離型された構造がさらに取り扱われる。図１にかかるシングルマスクプロセスにしたがってつくられたビームは、酸化物層１２及び２８の上方の金属層４４を含み、そしてこれらの層は、ビーム５２の単結晶シリコンコア３６の伸縮性を減らす傾向がある。ビームの伸縮性は、選定された位置で、該ビームから側壁の酸化物２８と側壁の金属４４とを除去することにより増やされることができる。ばね定数はビームの幅の３乗とともに変化するので、このような除去は、ばね定数を１～２桁の規模で低減することができる。

この実施の形態によれば、厚いレジスト層（図示せず）がウエハの上に張られ、離型されたビームのまわりの溝部を満たす。レジストは、従来通りの写真製版ステップで露出され、そして図６中に点線で示された領域１４０内のアルミニウム層４４を露出させるために現像される。Cl_2等方性ＲＩＥステップにより、露出されたアルミニウムは領域１４０内のビーム５２の頂部及び側壁の上でエッチングされ、そして残っているレジスト材料はウェットケミカルレジストストリッピングステップにより除去される。この後、アルミニウムの層１４２がビーム５２の頂面の上にだけ蒸着され、そしてこの蒸着されたアルミニウムは、残っている金属層４４といっしょに、ビームの領域１４４内の側壁酸化物２８のCF_4等方性ＲＩＥエッチングのためのエッチングマスクとして用いられ、かくして該ビームは領域１４０の側部の上の膜を含まないシリコンとなる。したがって、この領域にお

いては、ビームは元のシリコンのアイランド３６と同様に狭くなり、他方ビームの頂部は、マスク酸化物１２の薄膜と、蒸着されたアルミニウム１４２とを担っており、かくしてコンタクトパッドからＭＥＭデバイスまで、ビームのばね部１４０の頂面に沿って、電気的な接続が達成される。

本発明にしたがって製造された、離型されたビーム５２の重要な使用例は、加速度計としての使用であり、ここにおいては、図２に示されているように、コンデンサ電極に対するビームの伸縮が、該ビームが取り付けられているウエハに対してかけられた加速度の尺度となる。このような加速度計の感度を高めるために、ビームは、例えば図７に示されているように該ビーム５２の自由端にグリッド状（格子状）の構造１５０を付け加えることにより、その質量を増やすために種々の形状につくられることができる。このグリッド状の構造は、図１のステップ１～９にかかる工程に続いて、最初の写真製版ステップによって決定されたグリッド形状でもってつくられる。かかるグリッドは、所望のどのような幅及び長さとされてもよく、かつ所望のどのようなビーム数とされてもよく、そして加速度計としての機能を改善するためにビーム５２に質量を付け加える。多数の設計においては、該グリッドは２００μｍから９００μｍまでであり、５μｍ又は１０μｍのグリッドポイントの上にビームを備えている。ビームは１～２μｍの幅であればよく、それらの間の開口部は３～４μｍ又は８～９μｍの幅であればよい。グリッドは、周囲の溝部の床３０の上方で片もち支持されかつ周囲のメサ部１５４の端部壁１５２に取り付けられている、離型されたビーム５２の一端に接続されたものとして図示されている。しかしながら、グリッドは、両端で周囲の溝部５４の端部壁に接続されることができる延長されたビーム５２の中央に配置されることができ、該グリッド及びその支持部材の正確な形状及び寸法は、望まれる相対的な移動の度合いに依存し、さらに加速度計の望まれる感度に依存するということが理解されるであろう。複数のこのような可動構造が単一の溝部５４内、又は単一のウエハ上の多数の溝部内に設けられることができ、ここにおいてこれらの各々は、加速度計のデバイスに対して広い範囲の感度を与えるために、互いに少しづつ異なるであろう選択的な特徴をもっているということが理解されるであろう。図７に示されているように、グリッド１５０中のビーム５２は、図１にかかるプロセスで設けられた層４４のような金属層によって被覆され、かくしてグリッドの側壁１５６の上の金属はメサ１５４の側壁１５８の上の金属と共働して、コンデンサの対向するプレートを与え、これによりメサに対するグリッドの移動が検出されることができ、又は逆に電圧をかけることによってグリッドが動かされることができる。

図７の加速度計の質量は、グリッドの表面の上方におよそ５～１０μｍの厚さのタングステン層を付け加えることによってさらに増やされることができる。このようなタングステンの層を付け加えるためのプロセスは、次の表IV中に概説されている。

表Ⅳ

ステップ番号	説明
ステップ１－９	表Ｉと同じ
１０．ＰＥＣＶＤ　酸化物	ＷＳＣＶＤを防ぐための薄い絶縁皮膜の堆積
１１．ＰＥＣＶＤ　シリコン	ＷＳＣＶＤのためのシード層の堆積
１２．写真製版	厚いレジストでのシード層のパターン化 ・ベーパの供給；付着、焼付け、長い露出、長い現像及びスカム除去
１３．ａＳｉのSF_6等方性ＲＩＥ	シード層のエッチング
１４．ウェットケミカルレジスト除去及びO_2プラズマ	残ったレジストの除去
１５．ＷＳＣＶＤ	タングステンの選択時化学蒸着
１６．写真製版	厚いレジストでの不要なタングステンのトリミング ・ベーパの供給；付着、焼付け、長い露出、長い現像及びスカム除去
１７．Ｗのウェットケミカル	不要なタングステンのエッチング
１８．ウェットケミカルレジスト除去及びO_2プラズマ	残ったレジストの除去
１９．金属のスパッタ堆積（例えばＡｌ）	図２と同じ
２０．ワイヤボンド	図２と同じ

表Ⅳ中と図８Ａ中とに示されているように、タングステン層をつくるプロセスは、図１Ｉに示されたステップ９におけるビームの離型の後で開始される。該プロセスのその時点では、シリコンビーム５２はその頂部及び側部が、酸化物層１２及び２８によって被覆され、該ビームは深いシリコンの溝部５４の床３０の上方で片もち支持されている。ビーム及び溝部の床の下側部は、膜を含まないシリコンである。タングステンは、非金属の表面には堆積しないので、該プロセスのこの時点で、タングステンを該構造につけるための試みは、溝部の床の上とビームの下側部の上とでだけタングステンが成長するといった結果となっている。これを防止するために、ＰＥＣＶＤによる酸化物１６０（図８Ｂ）のようなコンフォーマルな絶縁皮膜が全ウエハの上に堆積される。この層１６０は、シード層パターン化ステップに対してエッチング停止部としてはたらき、そしてタングステンが、ビームの下でかつ溝部の床の上にある基板と接触するのを防止する。

絶縁層１６０によって少しシールオフされたウエハについて、アモルファス状のシリコン（図８Ｃ、表Ⅳのステップ１１）の薄いシード層１６２が、この後ウエハの上に堆積されて、全表面を被覆する。下敷きとなっている絶縁層１６０のため、シリコンは基板とは電

気的に絶縁される。厚いフォトレジスト層１６４が、この後ウエハにつけられ、溝部５４を満たすとともに、グリッド１５０だけでなくメサ１５４の頂面をも被覆する。レジスト１６４はこの後、ステップ１２の続きである図８Ｅに示されているように、タングステンが望ましくない領域からフォトレジスト材料を除去するために、露出されそして現像される。かくして、フォトレジスト材料は、メサ１５４からかつグリッドビーム５２の１つから除去され、かくしてその形状がフォトレジスト層を含まないビーム１６６にあらわれる。

図８Ｅには、露出されたビーム１６６からと、露出されたメサ１５４とからのシード層１６２の除去が示されている。等方性のSF_6ＲＩＥは、露出されたシリコン層１６２を除去し、ここで酸化物の下敷き１６０はエッチング停止部としてはたらく。これは、図８Ｆ中に示されているように、これらの領域内でのタングステンの成長を防止するために、ビーム１６６及びメサ１５４の上の絶縁層１６２を露出させた。

図８Ｇと表IVのステップ１３とに示されているように、レジスト１６４は次に、グリッド１５０を露出させるためにウエハから除去され、かくして１６８及び１７０で指示されたビームの上と、溝部５４の床３０の一部の上とに、シリコン層１６２が露出されて残る。この後、ステップ１５で、図８Ｈに示されているように、タングステンの選択的なＣＶＤ（ＷＳＣＶＤ）が堆積され、ここにおいて堆積は、露出された金属層１６２の上にだけ起こり、酸化物１６０の上では防止され、これにより、シリコンが露出されている床３０とグリッド１５０の両方の上に、数ミクロンの厚さのタングステン層１７０をつくる。図８Ｈ中のビーム１６８及び１７０の間に示されているように、厚いタングステン層を堆積させることにより、「ブランケット」がグリッド１５０の頂部の上に形成されて、隣り合うビーム間の間隙を横切って伸びる。

タングステンの堆積プロセスは完璧ではないので、いくらかのタングステンが酸化物層１６０の上に堆積されるであろう。そして、それゆえタングステンの領域を定義するために用いられたのと同様の写真製版プロセスが、グリッド１５０のまわりの領域を再露出させるために用いられ、そして急速なウェットケミカル式のタングステンのエッチングが見せかけのタングステンの酸化物表面を清浄化するために用いられる。かくして、図８Ｉとステップ１６とに示されているように、フォトレジスト層１７０がウエハの上につくられ、メサ１５４及びビーム１６６の領域中の溝部５４を再び満たす。レジスト１７２は、ステップ１７に示されているように、酸化物層１６０を剥ぐために露出されそして現像され、かくして望まれないタングステンのウェットケミカル式のエッチングがこれらの領域内で実施されることができる。レジスト１７２は、この後ストリッピングされ（図８Ｋ）、かくして図示されているように、グリッド１５０の選定された部分を横切るタングステンのブランケット１７０が残る。タングステンのブランケットは、グリッドの頂部の選定された部分を被覆し、そして厚いコンフォーマルなブランケットをつくるために、ビーム間の空間部を満たす。

図８Ｌに示されるように、そして図７に関して前に論じられたように、タングステンが上記のようなＭＥＭデバイスの上に堆積された後、該デバイスの残りの部分が酸化物皮膜１６０によって被覆され、そしてその結果、グリッド１５０及びメサ１５４の対向する側壁の上に金属被膜１８０をつくるために、図１Ｊのステップ１０にしたがって、標準的なＳＣＲＥＡＭ－Ｉプロセスが、アルミニウムのような金属のスパッタ堆積によって続けられることができる。

上で指摘されたように、図１Ａ～１Ｉのプロセスは、種々広範な構造をつくるために用いられることができる。グリッド構造は図７に関して上で論じられたが、ここで参照される図９は、図１Ａ～１Ｉのプロセスを用いてつくられたこのようなグリッド構造のもう１つの例を示している。この場合は、複合グリッド２００は、溝部２０２内につくられ、そして軸方向に配列されたビーム２０８及び２１０によって、対向する溝部の壁部２０４及び２０６の間に固定されている。該グリッドは、ビーム２１２のような複数の縦方向のビームと、ビーム２１４のような複数の横方向のビームとを含む。これらのビームは、間隔があけられた開口部又は孔２１６を定義するために間隔をとって離されている。

グリッド２００は、ねじり運動のためにつくられ、ここにおいてマウントビーム２０８及び２１０は、ミクロンサイズのトーションロッドとしてはたらき、そして全デバイスは、上で論じられたように単結晶シリコンからつくられている。図１Ａ～１Ｉに関して説明されたように、順序づけられた一連の絶縁体の堆積と反応性イオンエッチングとは、シリコン基板２１８から、シリコンビーム２０８、２１０、２１２及び２１４定義して離型するために用いられる。ねじり運動を生じさせるために、図１０Ａ～１０Ｃと、図１１Ａ～１１Ｃとのうちのいずれか一方にしたがって、電極アクチュエータ機構がつくられるが、ここにおいて図の両組は、図９の１０－１０で切られた断面図である。図１０Ａ～１０Ｃ及び図１１Ａ～１１Ｃに示されたプロセスは、トーションレゾネータ２００を動作させる上で用いられる金属電極がどのように定義されるかという点で異なる。いずれの場合も、電極は等方性のドライエッチングによってつくられ、そして離型された構造は、シリコンビームのアンダーカットエッチングによって形成される。図７に関して上で論じられたように、グリッド２００はレゾネータの質量を増加させるようにはたらく。これらの電極を横切って適当な電圧がかけられたときには、矢印２２０によって指示されているように、レゾネータ２００はビーム２０８及び２１０の共通軸まわりに回転する。トーションビーム２０８及び２１０は、例えば、およそ幅が０．８μｍでありそして高さが２μｍであればよい。

図１０Ａ～１０Ｃのプロセスによれば、溝部２０２は、図１Ｆ中に示されているような手法で、マスク酸化物２２２によって被覆された表面とともに、基板２１８中でエッチングされる。溝部２０２の底部は図１Ｇ及び１Ｈ中の手法でエッチングされ、そしてビーム２１２は図１Ｉに関して説明された手法で離型され、かくして溝部の床２２４の上に空隙を伴ってビームが残る。この後、図１０Ｃに示されているように、金属２２６が、先に論じられたように周囲のメサ及びビーム２１２の頂面及び側壁を被覆するために離型された構造を介して蒸着され、そして図１０Ｃ中に２２８及び２３０で示されているように、底面壁２２４の上にも金属が供給される。グリッド構造２００による、そしてより詳しくは図１０Ｃ中のビーム２１２による、蒸着された金属の遮へいは、溝部の床２２４の上の金属中にブレーク２３２をつくり、これにより、グリッド２００と溝部２０２（図９）の側壁２３４との間に横たわっている金属領域２２８は、溝部の床の上に残っている金属から電気的に絶縁される。２３６で示されているように端部壁２０６を超えて、２３８で概略的に示されたコンタクトパッドまで、溝部を延ばすことにより、電極を形成するために、電気的接続が金属２２８までつくられることができる。同様に、グリッド２００の上の金属２２６もまた、図２に示された手法で適当なパッドに電気的に接続されることができ、かくして電圧が、グリッド２００の上の金属と、溝部の床の上の金属層２２８との間にかけられることができる。

同様の電極構造が、適当な回路との接続のためのコンタクトパッド２４２まで伸びる壁部２４０に隣り合った溝部の床の上に形成された電極を備えた側壁２４０（図９）に隣り合った、グリッド２００の反対側の側部に設けられている。グリッド２００と、壁部２３４に隣り合った電極、又は壁部２４０に隣り合った電極のうちのいずれか１つとの間にかけられた電圧は、グリッド２００にねじり力をかけ、それにマウントビーム２０８、２１０まわりのピボット回転を生じさせ、このためグリッドは矢印２２０の方向にねじれて、一方の横向きの端部又は他方が基板２１８の面の外に持ち上げられる。

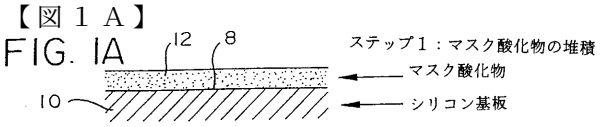
図１１Ａ～１１Ｃは、択一的な電極の配置構造を示しているが、この場合は第２のマスクステップが必要とされる。図１１Ａに示されているように、ウエハはパターン化されて、図１Ｆ中に示された手法で酸化物層２５２によって被覆されているアイランド２５０を形成する。金属層２５４は、この後、ウエハの全頂面につくられ、そして該金属は、アイランド２５０の間の溝部の床からそれを除去するために、かつアイランドと基板の側壁２５６との間で伸びている溝部の床から金属を部分的に除去するために、パターン化される。この後、酸化物層２５２は、図１Ｇに示された手法で、溝部の床から除去され、そしてシリコンは、グリッド２００と、その対応するビーム２１２（図１１Ｃ）とを離型するために、図１Ｉに関して説明された手法でエッチングされる。このプロセスは、グリッド２０

０に向かって伸び、かつ一般に図１０Ｃに関して説明された底部電極２２８と同様に機能する、水平なリップ２５８を備えた壁部２５６の上の側壁電極を残す。
図１０Ｃ及び１１Ｃの構造の両方において、グリッドの上の金属被膜は、グリッド２００の上に必要なねじり力を与えるために、それぞれ対応する電極２２８又は２５８と容量的に結合されている。基板面から外部への回転運動を生じさせるためには、ウエハの表面の上の付加的な外部電極は必要とはされない。もし希望すれば、グリッド２００は、その質量を増やすために、図８Ａ～８Ｌに関して説明された手法で、タングステンで被覆されることができる。さらに、タングステンは平坦な表面になるまで機械的に研磨されることができ、かくして金属層は鏡としてはたらくことができ、これによって軸２０８、２１０まわりでのグリッドの回転が、反射されたビーム光の正確な方向制御を提供することができる。このような構造は図１２中に示されており、ここでタングステン層２６０は、平坦な、研磨された頂面２６２を有するように示されている。
図１０Ｃ及び１１Ｃのデバイスにおける、基板の上の静止電極とグリッドの上の可動電極との間での容量効果は、グリッド間の間隔だけではなく、電極間にかけられる電圧にも依存するということが注目される。本発明にかかるプロセスによれば、この間隔は５μｍの範囲内とすることができ、かくしてこのキャパシタンスは、グリッドと、該グリッドの下の基板のグランド面との間に存在するどのようなキャパシタンスよりも重要であり、これによりコンデンサプレートを横切る電圧がグリッドの運動を制御するのを許容する。
図８Ｌ及び１２に示されているように、グリッド用の皮膜としてはタングステンが好ましいが、圧力検出又はこれに類する応用での使用には、窒化物又は酸化物のような絶縁体が、図７中に示されているようなグリッド構造の上の膜として、又は図９の構造の上の膜としてでも用いられることができる。
前記の図はすべて本質的には矩形のビーム構造についてのものであるが、上記の写真製版プロセスは、所望のあらゆる形状のものをつくるためにも用いられることができるということが理解されるであろう。このような形状の例が図１３中に示されているが、ここでは１対の螺旋状のビーム２７０及び２７２が、基板中に形成された溝部２７４内、又はウエハ２７６内につくられている。ビーム構造の螺旋体は、写真製版プロセスでつくられ、そして結果として得られるビームは、絶縁体によって、かつ図１Ａ～１Ｊに示された仕様の金属層によって被覆されている。螺旋体の一端は、空隙２７４の側壁２７８に接続され、そして該金属は、基板２７６の上に２８０で概略的に示されたコタクトパッドに接続されている。同様に、第２の螺旋体２７２の一端は、例えばコタクトパッド２８２に接続された金属層を備えた壁部２７８に接続されている。
各螺旋体がインダクタ（誘導子）を形成することができるよう、螺旋体の反対側の端部を電極に接続するために、それぞれ、螺旋体２７０及び２７２の自由端２８４及び２８６が、絶縁性ブリッジ２８８及び２９０を用いて、それぞれ、例えば溝部２７４の反対側の側壁２９２に接続されている。この絶縁性ブリッジは、それぞれ、電極２９４及び２９６のこれに続く堆積のための支持体と電気的絶縁体とを提供するために、それぞれのビームの介在する螺旋状部分を横切って伸びており、これは螺旋状ビームへの電気的接続のために、ウエハのエッジでパッドに向かって伸びている。このようにして、本発明にしたがって、もし希望すればマイクロトランスを形成する隣り合ったインダクタ２７０及び２７２を備えた、ミクロ電気機械構造のインダクタがつくられることができる。もし希望すれば、金属電極が、螺旋状ビームの１つ又は両方の下の溝部２７４の床の上に堆積されることができ、かくしてビームの鉛直方向の運動にかかる容量制御を提供するために、ビームの上の電極と床の上の電極との間に電圧がかけられることができる。１つの螺旋体の他方に対する位置のこのような変化は、両者間のインダクタンス関係（誘導関係）を変化させ、これにより可変トランスを提供する。同様に、側壁２７８のような溝部２７４の側壁の上の電極は、螺旋体の横方向の運動を許容するために、螺旋体２７０及び２７２の側壁の上の電極との容量的な接続を許容し、これにより隣り合うコイル間の間隔を変化させ、そしてビームのインダクタンスを変化させる。
概略的には、本発明は、すべての構成要素を定義するために、シングルマスクを利用して

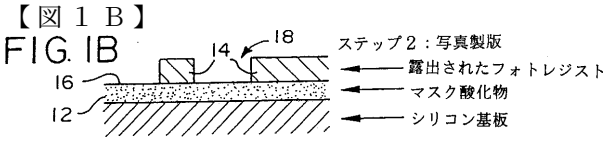
単結晶シリコンのＭＥＭデバイスを製造するためのシリコンプロセスに向けられている。該プロセスは低温であり、自己整合型であり、かつ結晶の向きとは無関係であり、そして工業の標準的な製造プロセス及び機器に頼っている。該プロセスは、ウエハの上に別々のデバイスをつくるために用いられることができ、あるいは低温要求であり、単純な設計規則であり、そしてプロセスタイムが短いので、ＩＣプロセスを大きくは修正することなくＶＬＳＩ集積回路プロセスと組み合わせて用いられることができる。このプロセス中で用いられる低温は、実在しているＩＣ回路に悪く影響を及ぼすことはなく、それでＭＥＭデバイスは完成されたＩＣウエハの上につくられることができる。重要な応用例としてのデバイスは加速度計であり、かかるデバイスは、例えば、集積回路に組み込まれ、又は広い範囲の応用での使用のために別々のウエハの上につくられることが許容され、ここにおいてはこのような応用のためのＭＥＭデバイスのマスクを増やすためにタングステンプロセスが提供される。

本発明は、好ましい実施の形態について説明されてきたが、以下の請求の範囲に明らかにされているようなその真の精神及び適用範囲から逸脱することなく、多数の変形例及び修正形態がつくられてもよいことは、当業者にとって明らかであろう。

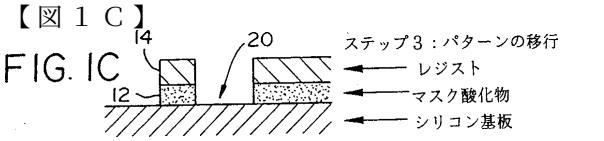
【図１Ａ】



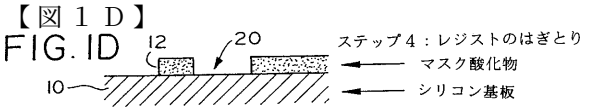
【図１Ｂ】



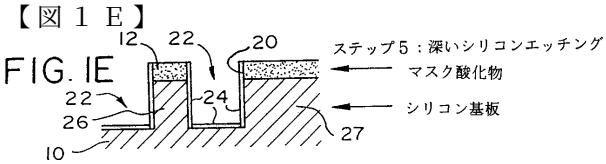
【図１Ｃ】



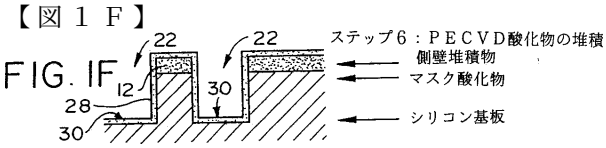
【図１Ｄ】



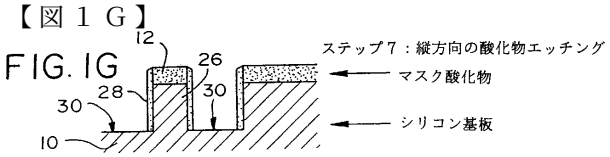
【図１Ｅ】



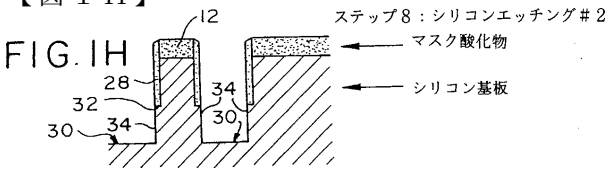
【図１Ｆ】



【図１Ｇ】



【図１Ｈ】



【図１Ｉ】

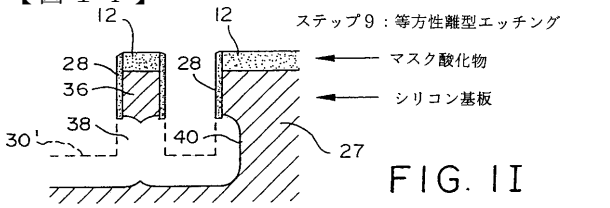


FIG. II

【図１Ｊ】

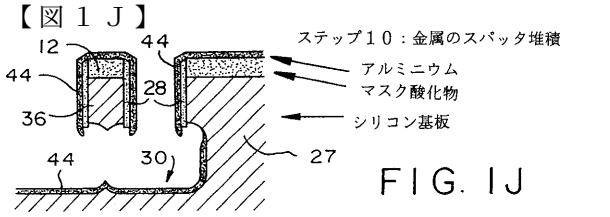


FIG. IJ

【図２】

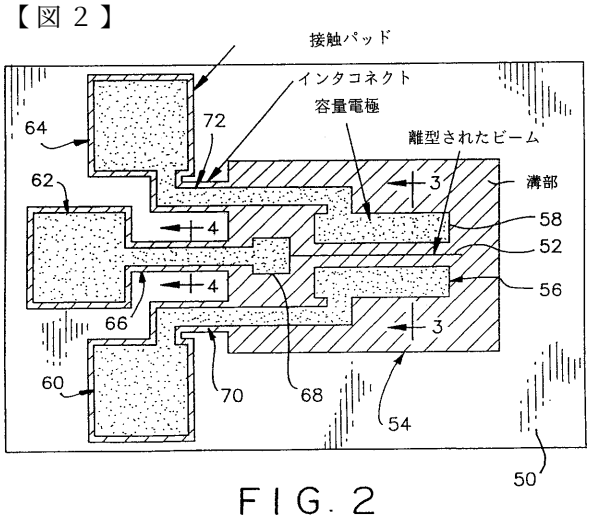


FIG. 2

【図１Ｌ】

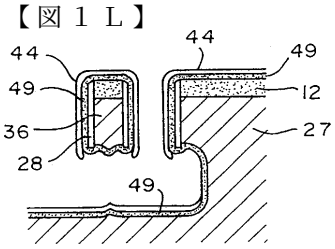
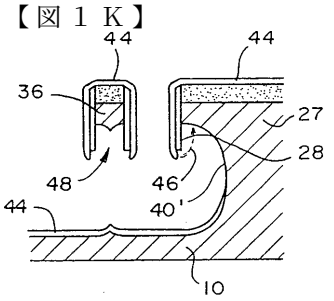


FIG. 1L
（オプション）

【図１Ｋ】



ステップ９
（修正形態）
及び
ステップ１０

FIG. 1K
（オプション）

【図３】

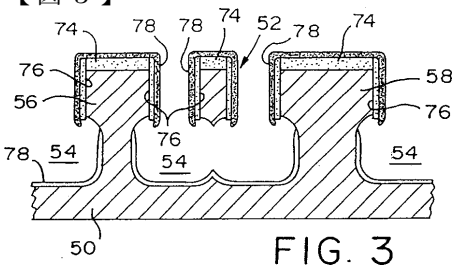


FIG. 3

【図４】

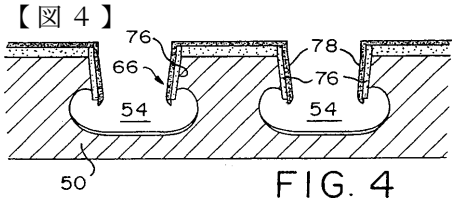
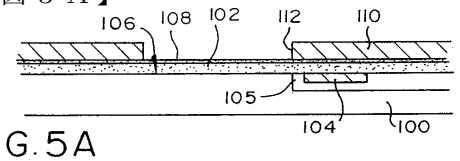


FIG. 4

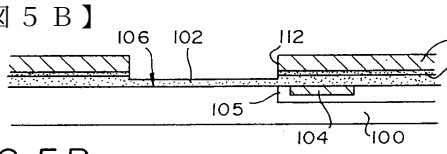
【図５Ａ】



ステップ０ａ

FIG.5A

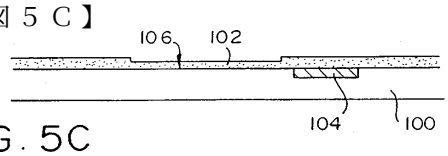
【図５Ｂ】



ステップ０ｂ

FIG.5B

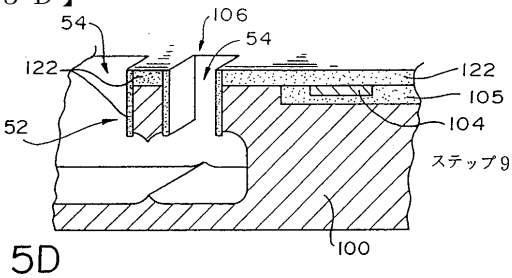
【図５Ｃ】



ステップ０ｃ

FIG. 5C

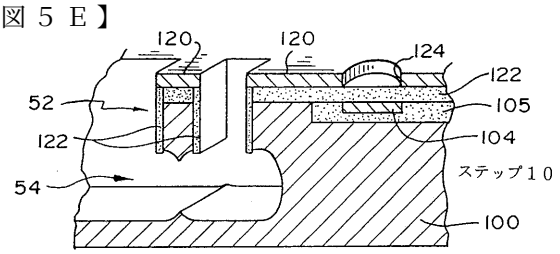
【図５Ｄ】



ステップ９

FIG. 5D

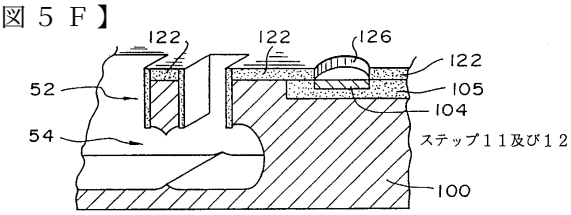
【図５Ｅ】



ステップ１０

FIG. 5E

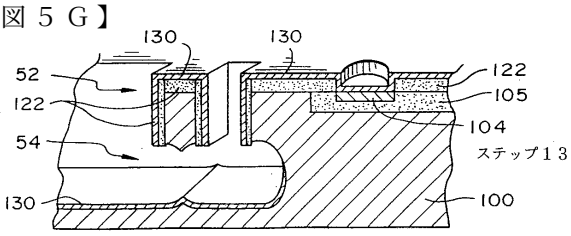
【図５Ｆ】



ステップ１１及び１２

FIG. 5F

【図５Ｇ】



ステップ１３

FIG. 5G

【図５Ｈ】

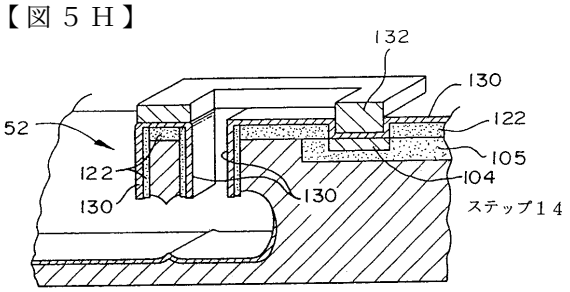


FIG. 5H

【図６】

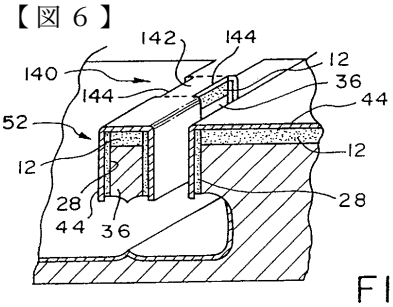


FIG. 6

【図５Ｉ】

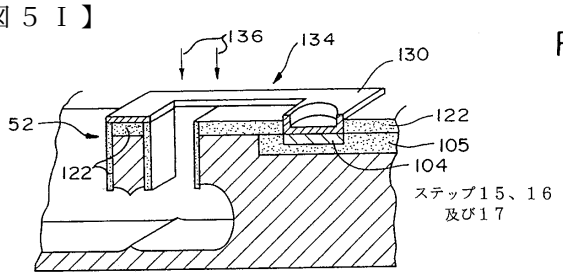
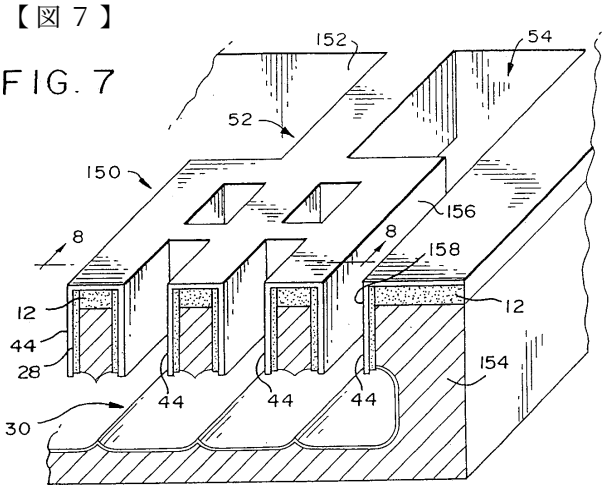


FIG.5I

【図７】

FIG. 7



【図８Ａ】

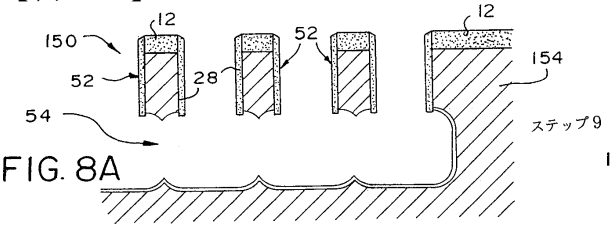


FIG. 8A

【図８Ｂ】

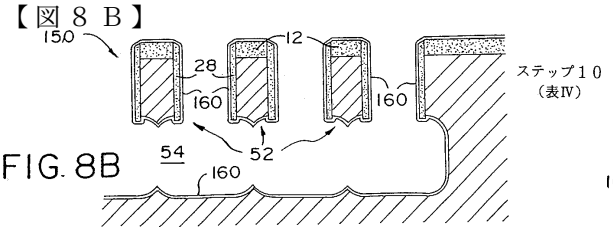


FIG. 8B

【図８Ｃ】

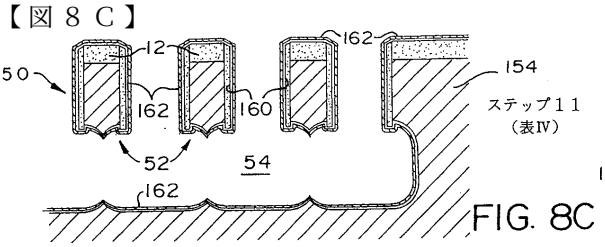


FIG. 8C

【図８Ｄ】

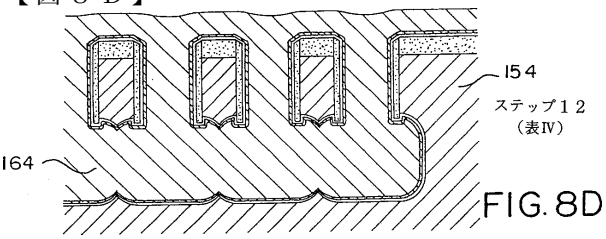


FIG. 8D

【図８Ｅ】

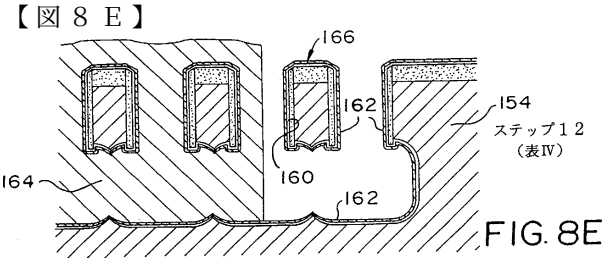


FIG. 8E

【図８Ｆ】

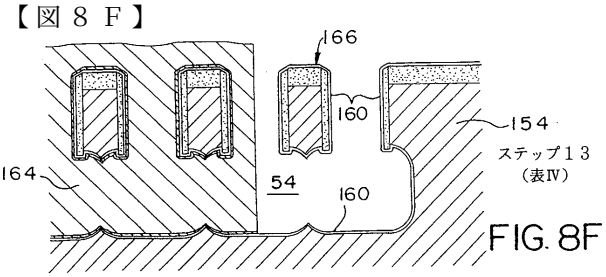


FIG. 8F

【図８Ｇ】

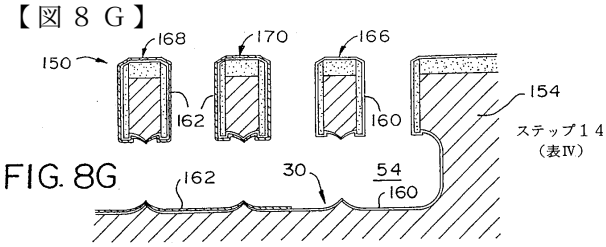


FIG. 8G

【図８Ｈ】

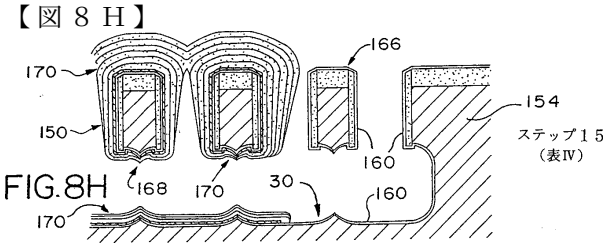


FIG. 8H

【図８Ｉ】

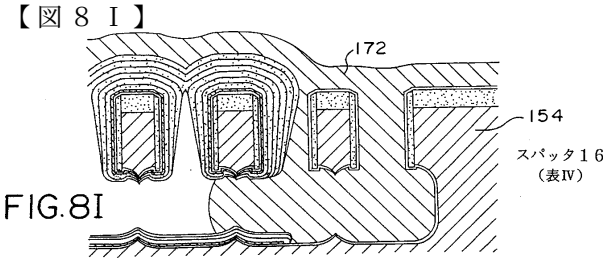


FIG. 8I

【図８Ｊ】

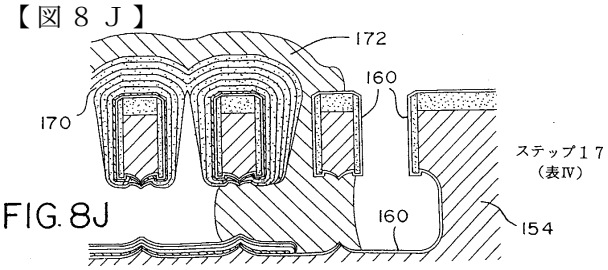


FIG. 8J

【図８Ｋ】

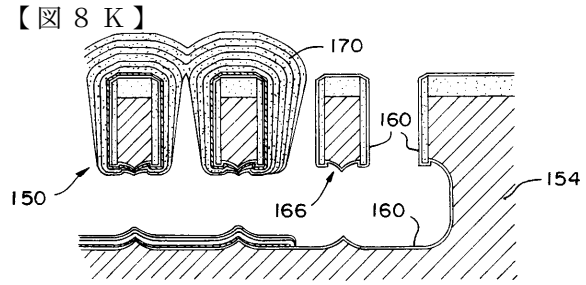


FIG. 8K

【図８Ｌ】

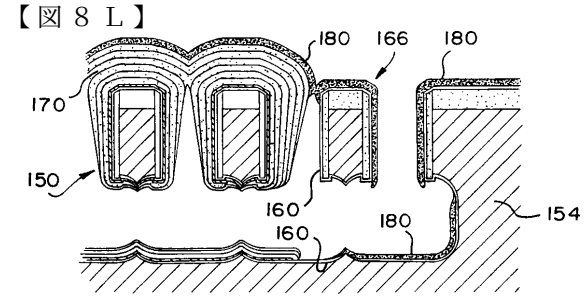


FIG. 8L

【図９】

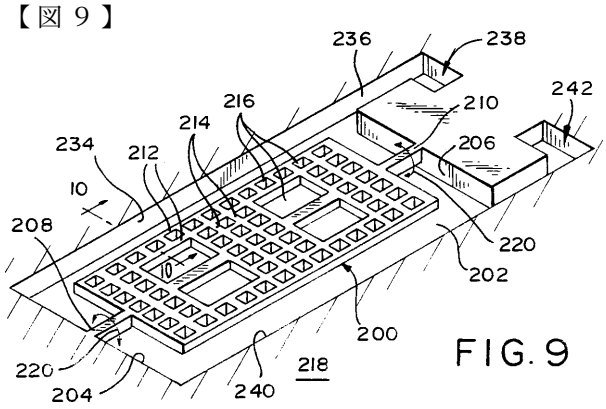


FIG. 9

【図１０Ａ】

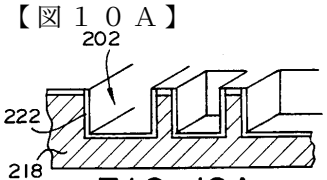


FIG. 10A

【図１０Ｂ】

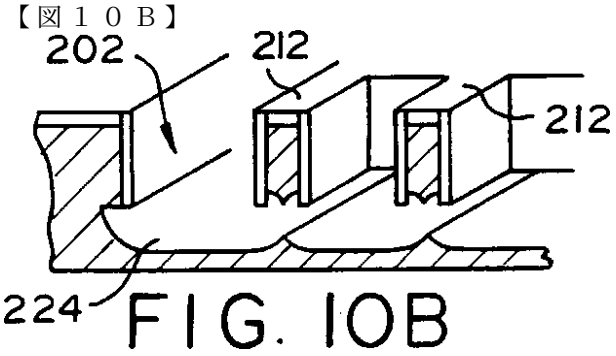


FIG. 10B

【図１０Ｃ】

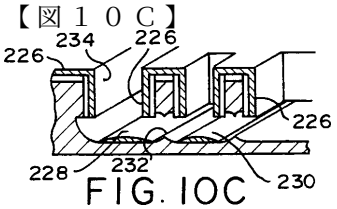


FIG. 10C

【図１１Ａ】

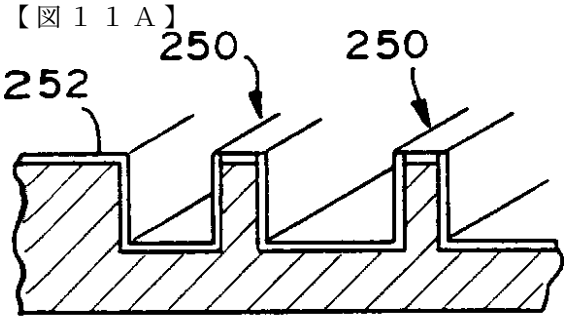


FIG. 11A

【図１１Ｂ】

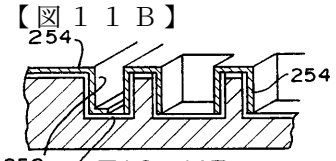


FIG. 11B

【図１１Ｃ】

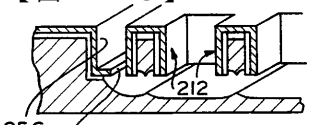


FIG. 11C

【図１２】

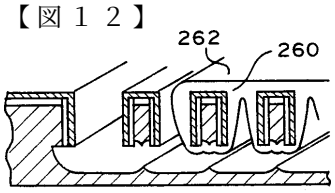
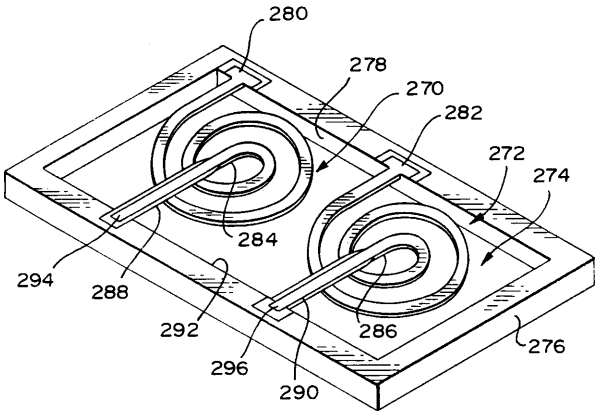


FIG. 12

【図１３】

FIG. 13



フロントページの続き

(72)発明者　サング、ゼット・リサ
アメリカ合衆国１４５８０、ニューヨーク、イサカ、ハズブロック・アパートメンツ５９シー番
(72)発明者　マクドナルド、ノエル・シー
アメリカ合衆国１４８５０、ニューヨーク、イサカ、ハイランド・ロード５１５番

審査官　今井　淳一

(56)参考文献　米国特許第０４６８２５０３（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０４６８５１９８（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０５１９８３９０（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０４７７６９２４（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０５０７２２８８（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０４７８３２３７（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０４４７２２３９（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０４５２２６８２（ＵＳ，Ａ）
特開平０３－０９４１６９（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－１８６６７６（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－０４９２６７（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１６３６２０（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２３２１７１（ＪＰ，Ａ）
特開昭５８－１３４４４５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－１０４１１９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
C23F　4/00
H01L 21/3065
H01L 29/84