

(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2009-111642

(P2009-111642A)

(43) 公開日 平成21年5月21日(2009.5.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04R 31/00 (2006.01)	H04R 31/00 C	3C081
H04R 19/04 (2006.01)	H04R 19/04	5D021
B81C 1/00 (2006.01)	B81C 1/00	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-280866 (P2007-280866)	(71) 出願人	000004075
(22) 出願日	平成19年10月29日 (2007.10.29)		ヤマハ株式会社
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号
		(74) 代理人	100117396
			弁理士 吉田 大
		(74) 代理人	100117466
			弁理士 岩上 渉
		(72) 発明者	鈴木 民人
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
			ハ株式会社内
		(72) 発明者	植屋 夕輝
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
			ハ株式会社内
		Fターム(参考)	3C081 AA03 BA04 BA45 BA48 BA74
			CA14 CA15 CA16 DA03 EA21
			5D021 CC15 CC19 CC20

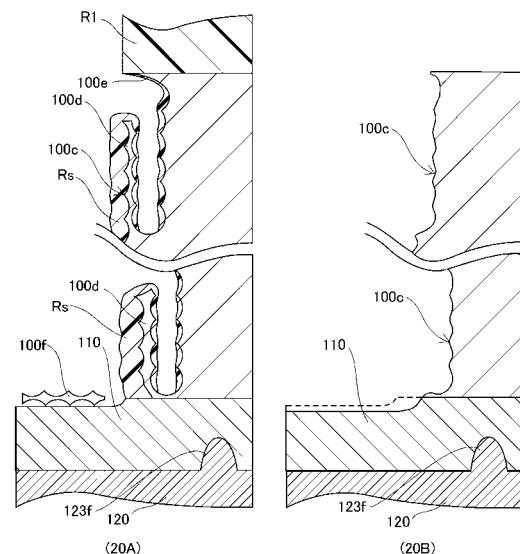
(54) 【発明の名称】 微細凹部形成方法およびコンデンサマイクロホンの製造方法

(57) 【要約】

【課題】ケイ素基板に残渣のない凹部を形成し、コンデンサマイクロホンの信頼性を高める。

【解決手段】エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返してケイ素基板に凹部を形成し、前記側壁保護膜を除去して前記凹部の側壁を露出させ、露出した前記側壁の表層をエッチングにより除去する、ことを含む微細凹部形成方法。

【選択図】図20



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返してケイ素基板に凹部を形成し、前記側壁保護膜を除去して前記凹部の側壁を露出させ、露出した前記側壁の表層をエッチングにより除去する、ことを含む微細凹部形成方法。

【請求項 2】

露出した前記側壁の表層をアルカリ性溶液を用いたエッチングにより除去する、ことを含む請求項 1 に記載の微細凹部形成方法。

【請求項 3】

前記側壁保護膜を除去した後に露出した前記側壁の表層を除去する前に、露出した前記側壁の表層に形成された自然酸化膜を除去し、

前記自然酸化膜が除去された前記側壁の表層をテトラメチルアンモニウムハイドロオキサイド水溶液を用いたエッチングにより除去する、

請求項 1 または 2 に記載の微細凹部形成方法。

【請求項 4】

エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返すことにより、ダイヤフラムのバックキャビティとなる通孔を、エッチングストップとなる酸化ケイ素膜が形成されたケイ素基板に形成し、

前記側壁保護膜を除去して前記通孔の側壁を露出させ、

露出した前記側壁の表層に形成された自然酸化膜を除去し、

前記自然酸化膜が除去された前記側壁の表層をテトラメチルアンモニウムハイドロオキサイド水溶液を用いたエッチングにより除去する、

ことを含むコンデンサマイクロホンの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は微細凹部形成方法およびコンデンサマイクロホンの製造方法に関し、特に単結晶ケイ素基板に微細な凹部を形成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

SF₆等のガスによるエッチングとC₄F₈等のデポジションによる側壁保護とを繰り返すことによりケイ素基板に深い凹部を形成する技術が知られている。この技術は一般にボッシュプロセスといわれ、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) のプロセス技術として広く用いられている。

【0003】

【非特許文献 1】電気学会 M S S - 0 1 - 3 4

【特許文献 1】特開平 9 - 5 0 8 7 7 7

【特許文献 2】米国特許第 4 7 7 6 0 1 9 号

【特許文献 3】特表 2 0 0 4 - 5 0 6 3 9 4

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、ボッシュプロセスでは等法的なエッチングを繰り返すことにより凹部の側壁に微小な凹凸が形成される。プロセス条件によってはこの凹凸に不規則な髭状の部分が生じたり、凹凸の突端部が脆い形態で形成され、これらの部分が残渣として脱落するという問題がある。ケイ素基板から脱落した残渣がMEMSの可動部に混入すると、MEMSの機能が損なわれる。特にコンデンサマイクロホンでは平行平板コンデンサを形成するダイヤフラムとプレートの間の間隙が狭く広いため、残渣の残存は信頼性を著しく低下させる。

【0005】

10

20

30

40

50

本発明はこの問題を解決するために創作されたものであって、ケイ素基板に残渣のない凹部を形成し、コンデンサマイクロホンの信頼性を高めることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

(1) 上記目的を達成するための微細凹部形成方法は、エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返してケイ素基板に凹部を形成し、前記側壁保護膜を除去して前記凹部の側壁を露出させ、露出した前記側壁の表層をエッチングにより除去する、ことを含む。

ケイ素基板に凹部を形成するために用いた側壁保護膜を除去して凹部の側壁を露出させた後に、露出した側壁の表層をエッチングにより除去すると、凹部の側壁に形成された微細な凹凸の髭状の部分や微細な凹凸の脆い突端部を消滅させることができる。したがって本発明によるとケイ素基板に残渣のない凹部を形成することができる。

【0007】

(2) 上記目的を達成するための微細凹部形成方法において、露出した前記側壁の表層をアルカリ性溶液を用いたエッチングにより除去することが望ましい。

【0008】

(3) テトラメチルアンモニウムハイドロオキシド (TMAH) 水溶液は単結晶ケイ素基板を結晶異方的にウェットエッチングするエッチャントとして好適であるが、酸化ケイ素に対するケイ素のエッチング選択比が非常に大きい。しかし、側壁保護膜が除去されたケイ素基板の凹部の側壁の表層には自然酸化膜が形成される。

したがって、前記側壁保護膜を除去した後に露出した前記側壁の表層を除去する前に、露出した前記側壁の表層に形成された自然酸化膜を除去し、前記自然酸化膜が除去された前記側壁の表層をテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド水溶液を用いたエッチングにより除去することが望ましい。

【0009】

(4) 上記目的を達成するためのコンデンサマイクロホンの製造方法は、エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返すことにより、ダイヤフラムのバックキャビティとなる通孔を、エッチングストップとなる酸化ケイ素膜が形成されたケイ素基板に形成し、前記側壁保護膜を除去して前記通孔の側壁を露出させ、露出した前記側壁の表層に形成された自然酸化膜を除去し、前記自然酸化膜が除去された前記側壁の表層をテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド水溶液を用いたエッチングにより除去する、ことを含む。

コンデンサマイクロホンにはダイヤフラムのバックキャビティが必要である。バックキャビティの容積はダイヤフラムの面積に対して十分大きいことが好ましい。そこで、本発明によると、ケイ素基板に通孔を形成し、この通孔がバックキャビティの少なくとも一部として用いられる。本発明では、エッチングと側壁保護膜の形成とを交互に繰り返すことによりケイ素基板に通孔を形成するとき、酸化ケイ素膜がエッチングストップとして用いられる。側壁保護膜が除去されると凹部の側壁に自然酸化膜が形成される。本発明では、凹部の側壁に形成された微細な凹凸の髭状の部分や微細な凹凸の脆い突端部を、TMAH水溶液を用いて溶解し消滅させる。TMAH水溶液のケイ素の酸化ケイ素に対するエッチング選択比は非常に大きい。そこで本発明では、凹部の側壁の表層をTMAH水溶液で除去する前に側壁の表層に形成されている自然酸化膜を除去する。本発明では、このような一連のプロセスを実施することによって、ダイヤフラムのバックキャビティから残渣が脱落し、脱落した残渣によって生ずる不具合を防止できる。すなわち本発明によるとコンデンサマイクロホンの信頼性を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の実施の形態を添付図面を参照しながら説明する。尚、各図において対応する構成要素には同一の符号が付され、重複する説明は省略される。

【0011】

1. 構成

図1は本発明の一実施形態であるコンデンサマイクロホン1のMEMS構造部であるセ

10

20

30

40

50

ンサチップを示し、図 2 はその模式的な断面を示し、図 3 はその膜の積層構造を示している。図 18 および図 19 はその一部の詳細な断面を示している。コンデンサマイクロホン 1 はセンサチップと、電源回路および増幅回路を備えた図示しない回路チップと、これらを収容する図示しないパッケージとから構成される。

【0012】

コンデンサマイクロホン 1 のセンサチップは、基板 100 と、その上に積層された下層絶縁膜 110、下層導電膜 120、上層絶縁膜 130、上層導電膜 160、表層絶縁膜 170 などの堆積膜とからなるチップである。尚、図 1 において上層導電膜 160 より上の層は示されていない。はじめにコンデンサマイクロホン 1 の MEMS 構造部の膜の積層構造について説明する。

10

【0013】

基板 100 は P 型単結晶ケイ素からなる。基板の材質はこれに限らず、薄膜を堆積するための下地基板および薄膜からなる構造体を支持する支持基板としての剛性、厚さ、靱性を備えていればよい。基板 100 には通孔が形成されており、その通孔の開口 100a はバックキャピティ C1 の開口を形成している。

【0014】

基板 100、下層導電膜 120 および上層絶縁膜 130 に接合されている下層絶縁膜 110 は酸化ケイ素 (SiO_x) からなる堆積膜である。下層絶縁膜 110 は円周上に等間隔に配列された複数のダイヤフラム支持部 102 と、ダイヤフラム支持部 102 よりも内側において円周上に等間隔に配列された複数のガード絶縁部 103 と、ガードリング 125c およびガードリード 125d を基板 100 から絶縁している環状の環状部 101 とを構成している。

20

【0015】

下層絶縁膜 110 および上層絶縁膜 130 に接合されている下層導電膜 120 は P などの不純物が全体にドーピングされた多結晶ケイ素からなる堆積膜である。下層導電膜 120 はガード電極 125a とガードコネクタ 125b とガードリング 125c とガードリード 125d とからなるガード部 127 と、ダイヤフラム 123 とを構成している。

【0016】

下層導電膜 120 と上層導電膜 160 と下層絶縁膜 110 とに接合されている上層絶縁膜 130 は酸化ケイ素からなる堆積膜である。上層絶縁膜 130 は円周上に配列された複数のプレート支持部 131 とプレート支持部 131 の外側に位置しエッチストッパリング 161 を支持しプレートリード 162d とガードリード 125d とを絶縁する環状の環状部 132 とを構成している。

30

【0017】

上層絶縁膜 130 に接合されている上層導電膜 160 は P 等の不純物が全体にドーピングされた多結晶ケイ素からなる堆積膜である。上層導電膜 160 はプレート 162 と、プレートリード 162d と、エッチストッパリング 161 とを構成している。

【0018】

上層導電膜 160 および上層絶縁膜 130 に接合されている表層絶縁膜 170 は酸化ケイ素膜からなる絶縁性の堆積膜である。

40

【0019】

コンデンサマイクロホン 1 の MEMS 構造部には 4 つの端子 125e、162e、123e、100b が設けられている。これらの端子 125e、162e、123e、100b は AlSi などの導電性の堆積膜であるパッド導電膜 180、Ni などの導電性の堆積膜であるバンプ膜 210、Au などの耐腐食性に優れた導電性の堆積膜であるバンプ保護膜 220 とからなる。端子 125e、162e、123e、100b はそれぞれ SiN などの絶縁性の堆積膜であるパッド保護膜 190 と酸化ケイ素などの絶縁性の堆積膜である表層保護膜 200 とによって側壁が保護されている。

【0020】

以上、コンデンサマイクロホン 1 の MEMS 構造部の膜の積層構造について説明した。

50

次にコンデンサマイクロホン 1 の MEMS 構造部の機械構造について説明する。

【0021】

ダイヤフラム 123 は全体が導電性を有する単層の薄い堆積膜からなり、中央部 123 a と、中央部 123 a から外側に放射状に伸びる複数の腕部 123 c とを備える。ダイヤフラム 123 はその外縁近傍の複数の箇所に接合されている複数の柱形のダイヤフラム支持部 102 によってプレート 162 との間と基板 100 との間とにそれぞれ空隙を挟んでプレート 162 から絶縁して支持され、基板 100 と平行に張り渡されている。ダイヤフラム支持部 102 は、ダイヤフラム 123 のそれぞれの腕部 123 c の先端部近傍に接合されている。ダイヤフラム 123 は腕部 123 c と腕部 123 c との間が切り欠かれているため、切り欠きのない形態に比べて剛性が低くなっている。さらにそれぞれの腕部 123 c には通孔であるダイヤフラム孔 123 b が複数形成されているため、腕部 123 c 自体の剛性も低くなっている。中央部 123 a の近傍において、ダイヤフラム 123 の腕部 123 c は中央部 123 a に接近するほどダイヤフラム 123 の周方向に長くなっている。これにより腕部 123 c と中央部 123 a との境界における応力集中を緩和できる。また腕部 123 c と中央部 123 a との境界近傍において腕部 123 c の輪郭に屈曲部を形成しないことにより屈曲部において応力集中が起こることを防止できる。

10

【0022】

複数のダイヤフラム支持部 102 はバックキャビティ C1 の開口 100 a の周囲において開口 100 a の周方向に等間隔に配列されている。それぞれのダイヤフラム支持部 102 は絶縁性の堆積膜からなり柱形である。ダイヤフラム 123 は、その中央部 123 a がバックキャビティ C1 の開口 100 a を覆うように、これらのダイヤフラム支持部 102 によって基板 100 の上に支持されている。基板 100 とダイヤフラム 123 との間にはダイヤフラム支持部 102 の厚さに相当する空隙 C2 が形成されている。空隙 C2 はバックキャビティ C1 の気圧を大気圧と平衡させるために必要である。空隙 C2 はダイヤフラム 123 を振動させる音波がバックキャビティの開口 100 a に至るまでの経路における最大の音響抵抗を形成するように、低く、ダイヤフラム 123 の径方向の長さが長く形成されている。

20

【0023】

ダイヤフラム 123 の基板 100 と対抗する面には複数のダイヤフラムバンプ 123 f が形成されている。このダイヤフラムバンプ 123 f はダイヤフラム 123 が基板 100 に付着（スティッキング）することを防止するための突起物であり、ダイヤフラム 123 を構成する下層導電膜 120 のうねりによって形成されている。すなわちダイヤフラムバンプ 123 f の裏側にはディンプル（凹み）が形成されている。

30

【0024】

ダイヤフラム 123 は複数の腕部 123 c のうちの 1 つの先端から伸びるダイヤフラムリード 123 d によってダイヤフラム端子 123 e に接続されている。ダイヤフラムリード 123 d は腕部 123 c より幅が狭くダイヤフラム 123 と同じ下層導電膜 120 によって構成されている。ダイヤフラムリード 123 d は環状のガードリング 125 c が分断されている領域を通してダイヤフラム端子 123 e まで伸びている。ダイヤフラム端子 123 e と基板端子 100 b とは図示しない回路チップにおいて短絡しているため（図 4 参照）、ダイヤフラム 123 と基板 100 とは同電位である。

40

なお、ダイヤフラム 123 と基板 100 の電位が異なる場合にはダイヤフラム 123 と基板 100 とが寄生容量を形成するが、この場合であっても、ダイヤフラム 123 が複数のダイヤフラム支持部 102 によって支持されており、隣り合うダイヤフラム支持部 102 の間には空気層が存在するため、ダイヤフラム 123 が環状の壁構造のスペーサで支持される構造に比べると寄生容量が小さくなる。

【0025】

プレート 162 は全体が導電性を有する単層の薄い堆積膜からなり、中央部 162 b と、中央部 162 b から外側に放射状に伸びる腕部 162 a とを備える。プレート 162 はその外縁近傍の複数の箇所に接合されている複数の柱形のプレート支持部 131 に支持され

50

ている。またプレート 162 はその中心がダイヤフラム 123 の中心と重なるようにダイヤフラム 123 と平行に張り渡されている。プレート 162 の中心（中央部 162 b の中心）から中央部 162 b の外縁までの距離すなわちプレート 162 の中心から外縁までの最短距離は、ダイヤフラム 123 の中心（中央部 123 a の中心）から中央部 123 a の外縁までの距離すなわちダイヤフラム 123 の中心から外縁までの最短距離よりも短い。したがって振幅が小さいダイヤフラム 123 の外縁近傍領域において、プレート 162 はダイヤフラム 123 に対向しない。またプレート 162 の腕部 162 a と腕部 162 a との間には切り欠きが形成されているため、ダイヤフラム 123 の外縁近傍に相当するプレート 162 の切り欠きの領域においてもプレート 162 とダイヤフラム 123 とが対向しない。そしてプレート 162 の切り欠きの領域にダイヤフラム 123 の腕部 123 c が伸びている。このため寄生容量を増大させることなくダイヤフラム 123 の振動の両端の間の距離、すなわちダイヤフラム 123 が張り渡される距離を長くとることができる。

10

20

30

40

50

【0026】

プレート 162 には通孔であるプレート孔 162 c が複数形成されている。プレート孔 162 c はダイヤフラム 123 に音波を伝搬させる通路として機能するとともに、上層絶縁膜 130 を等方的にエッチングするためのエッチャントを通す孔としても機能する。上層絶縁膜 130 がエッチングされた後に残る部分がプレート支持部 131 および環状部 132 となりエッチングによって除去される部分がダイヤフラム 123 とプレート 162 との間の空隙 C3 となる。すなわちプレート孔 162 c は空隙 C3 とプレート支持部 131 とを同時に形成できるようにエッチャントを上層絶縁膜 130 に到達させるための通孔である。したがってプレート孔 162 c は空隙 C3 の高さやプレート支持部 131 の形状やエッチング速度に応じて配置されている。具体的にはプレート孔 162 c はプレート支持部 131 との接合領域とその周辺をのぞく中央部 162 b および腕部 162 a のほぼ全域にわたってほぼ等間隔に配列されている。隣り合うプレート孔 162 c の間隔を狭めるほど上層絶縁膜 130 の環状部 132 の幅を狭くしてチップの面積を狭くできる。一方、隣り合うプレート孔 162 c の間隔を狭めるほどプレート 162 の剛性が低くなる。

【0027】

プレート支持部 131 はダイヤフラム 123 と同じ層に位置するガード電極 125 a に接合されている（ガード電極 125 a はダイヤフラム 123 と同じ下層導電膜 120 からなる。）。プレート支持部 131 はプレート 162 に接合されている絶縁性の堆積膜である上層絶縁膜 130 からなる。複数のプレート支持部 131 はバックキャビティ C1 の開口 100 a の周囲に等間隔に配列されている。それぞれのプレート支持部 131 はダイヤフラム 123 の腕部 123 c と腕部 123 c との間の切り欠きの領域に位置するため、ダイヤフラム 123 の最大径よりも、プレート 162 の最大径を小さくすることができる。これによりプレート 162 の剛性が上がるとともにプレート 162 と基板 100 との寄生容量が小さくなる。

【0028】

プレート 162 はそれぞれがガード絶縁部 103 とガード電極 125 a とプレート支持部 131 とによって構成される柱形の複数の構造体 129 によって基板 100 上に支持されている。構造体 129 によって、プレート 162 とダイヤフラム 123 との間には空隙 C3 が形成され、プレート 162 と基板 100 との間には空隙 C3 と空隙 C2 とが形成されている。ガード絶縁部 103 とプレート支持部 131 とが絶縁性を有するためプレート 162 は基板 100 から絶縁されている。

【0029】

ガード電極 125 a がなく、プレート 162 の電位と基板 100 の電位とが異なる場合、プレート 162 と基板 100 とが対向している領域には寄生容量が生じ、特にこれらの間に絶縁物がある場合には寄生容量が大きくなる（図 4 A 参照）。本実施形態ではプレート 162 を基板 100 上に支持するガード絶縁部 103 とガード電極 125 a とプレート支持部 131 とを 1 つの構造体としてとらえた構造体 129 が柱形であり、互いに離間した複数の構造体でプレート 162 を基板 100 上に支持する構造であるため、ガード電極

125aがないとしても、環状の壁構造の絶縁物でプレート162が基板100上に支持される構造に比べると寄生容量が小さくなる。

【0030】

プレート162のダイヤフラム123と対向する面には複数の突起(プレートバンプ)162fが設けられている。プレートバンプ162fはプレート162を構成する上層導電膜160に接合された窒化ケイ素(SiN)膜と、窒化ケイ素膜に接合された多結晶ケイ素膜とからなる。プレートバンプ162fはダイヤフラム123がプレート162に付着(スティッキング)することを防止する。

【0031】

プレート162の腕部162aの先端からは腕部162aより細いプレートリード162dがプレート端子162eまで伸びている。プレートリード162dはプレート162と同じ上層導電膜160からなる。プレートリード162dの配線経路はガードリード125dの配線経路と重なっている。このためプレートリード162dと基板100との寄生容量が低減される。

以上、コンデンサマイクロホン1のMEMS構造部の機械構造について説明した。

【0032】

2. 作用

図4は回路チップとセンサチップとが接続されることにより構成される回路を示している。ダイヤフラム123には回路チップに備わるチャージポンプCPによって安定したバイアス電圧が印加される。このバイアス電圧が高いほど感度が高くなるがダイヤフラム123とプレート162とのスティクションが起きやすくなるためプレート162の剛性は重要である。

【0033】

図示しないパッケージの通孔から伝わる音波はプレート孔162cとプレート162の腕部間の切り欠き領域とを通過してダイヤフラム123に伝わる。プレート162には両面から同位相の音波が伝わるためプレート162は実質的に振動しない。ダイヤフラム123に伝わった音波はプレート162に対してダイヤフラム123を振動させる。ダイヤフラム123が振動するとプレート162とダイヤフラム123とを対向電極とする平行平板コンデンサの静電容量が変動する。この静電容量の変動は電圧信号として回路チップのアンプAに入力されて増幅される。センサチップの出力はハイインピーダンスであるためアンプAがパッケージ内に必要である。

【0034】

基板100とダイヤフラム123とが短絡されているため、図3Aに示すようにガード部127のガード電極125aが存在しなければ相対的に振動しないプレート162と基板100とによって寄生容量が形成される。図3Bに示すようにアンプAの出力端をガード部127に接続し、アンプAによってボルテージフォロア回路を構成することによりプレート162と基板100とによって寄生容量が形成されないようになる。すなわちプレート162の腕部162aと基板100とが対向する領域において腕部162aと基板100との間にガード電極125aを設けることにより、プレート162の腕部162aと基板100とが対向する領域における寄生容量を低減できる。さらに、プレート162から伸びるプレートリード162dと対向する領域には、ガード電極同士を接続するガードリング125cからガード端子125eに伸びるガードリード125dが配線されているため、プレートリード162dと基板100とによっても寄生容量が形成されない。環状のガードリング125cはダイヤフラム123の周囲においてほぼ最短経路で複数のガード電極125aを接続している。またプレート162の周方向においてガード電極125aをプレート162の腕部162aより長く形成することによりさらに寄生容量が低減される。

【0035】

なお、チャージポンプCP、アンプAなどの回路チップに備わる要素をセンサチップ内に設け、1チップ構造のコンデンサマイクロホン1を構成することも可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

３．製造方法

次に図５から図１７に基づいてコンデンサマイクロホン１の製造方法を説明する。

【 0 0 3 7 】

図５に示す工程では、まず基板１００の表面全体に酸化ケイ素からなる下層絶縁膜１１０を形成する。下層絶縁膜１１０は、基板１００に通孔を形成する工程におけるエッチングストップパとして機能し、ダイヤフラム１２３を振動させる音波がバックキャビティの開口１００aに至るまでの経路における最大の音響抵抗を形成する空隙Ｃ２（図２参照）の高さに相当し、ダイヤフラムパンプ１２３fを形成するための犠牲層としても機能する。したがって下層絶縁膜１１０の厚さはこれらの機能を勘案して設定され、例えば１～１．５μmとする。次に、ダイヤフラムパンプ１２３fを形成するためのディンプル１１０aをフォトリソマスクを用いたエッチングにより下層絶縁膜１１０に形成する。次に、下層絶縁膜１１０の表面上にＣＶＤ法などを用いて多結晶ケイ素からなる下層導電膜１２０を形成する。すると、ディンプル１１０aの上にダイヤフラムパンプ１２３fが形成される。最後に、フォトリソマスクを用いて下層導電膜１２０をエッチングすることにより、下層導電膜１２０からなるダイヤフラム１２３およびガード部１２７を形成する。

10

【 0 0 3 8 】

続いて図６に示す工程では、下層絶縁膜１１０と下層導電膜１２０の表面全体に酸化ケイ素からなる上層絶縁膜１３０を形成する。次に、プレートパンプ１６２fを形成するためのディンプル１３０aを、フォトリソマスクを用いたエッチングにより上層絶縁膜１３０に形成する。

20

【 0 0 3 9 】

続く図７に示す工程では、上層絶縁膜１３０の表面上に多結晶ケイ素膜１３５と窒化ケイ素膜１３６とからなるプレートパンプ１６２fを形成する。多結晶ケイ素膜１３５を周知の方法でパターニングした後に窒化ケイ素膜１３６が形成されるため、ディンプル１３０aから突出している多結晶ケイ素膜１３５の露出面全体が窒化ケイ素膜１３６で覆われる。窒化ケイ素膜１３６はスティッキング時にダイヤフラム１２３とプレート１６２とが短絡することを防止する絶縁膜である。

【 0 0 4 0 】

続いて図８に示す工程では、上層絶縁膜１３０の露出面と窒化ケイ素膜１３６の表面にＣＶＤ法などを用いて多結晶ケイ素からなる上層導電膜１６０を形成する。次にフォトリソマスクを用いて上層導電膜１６０をエッチングすることによりプレート１６２とプレートリード１６２dとエッチストップパリング１６１とを形成する。なおこの工程ではプレート孔１６２cは形成されない。

30

【 0 0 4 1 】

続いて図９に示す工程では、上層絶縁膜１３０にコンタクトホールＣＨ１、ＣＨ３、ＣＨ４が形成され、続いて酸化ケイ素からなる表層絶縁膜１７０が表面全体に形成される。さらにフォトリソマスクを用いたエッチングにより、表層絶縁膜１７０にコンタクトホールＣＨ２を形成すると同時に表層絶縁膜１７０のコンタクトホールＣＨ１、ＣＨ３、ＣＨ４の底部に形成されている部分を除去する。次にコンタクトホールＣＨ１、ＣＨ２、ＣＨ３、ＣＨ４のそれぞれを埋めるＡｌＳｉからなるパッド導電膜１８０が形成され、コンタクトホールＣＨ１、ＣＨ２、ＣＨ３、ＣＨ４を覆う部分を残して周知の方法でパターニングされる。さらに窒化ケイ素からなるパッド保護膜１９０が表層絶縁膜１７０およびパッド導電膜１８０の上にＣＶＤ法により形成されパッド導電膜１８０の周囲にのみを残るようにパッド導電膜１９０が周知の方法によりパターニングされる。

40

【 0 0 4 2 】

続いて図１０に示す工程では、フォトリソマスクを用いた異方性エッチングにより、プレート孔１６２cに対応する通孔１７０aが表層絶縁膜１７０に形成され、上層導電膜１６０にはプレート孔１６２cが形成される。この工程は連続的に実施され、通孔１７０aが形成された表層絶縁膜１７０は上層導電膜１６０のレジソマスクとして機能する

50

。

【 0 0 4 3 】

続いて図 1 1 に示す工程では、酸化ケイ素からなる表層保護膜 2 0 0 が表層絶縁膜 1 7 0 とパッド保護膜 1 9 0 の表面に形成される。このとき表層絶縁膜 1 7 0 の通孔 1 7 0 a とプレート孔 1 6 2 c とは表層保護膜 2 0 0 によって埋められる。

【 0 0 4 4 】

続いて図 1 2 に示す工程では、コンタクトホール C H 1、C H 2、C H 3、C H 4 にそれぞれ形成されているパッド導電膜 1 8 0 の表面に N i からなるパンプ膜 2 1 0 を形成し、パンプ膜 2 1 0 の表面に A u からなるパンプ保護膜 2 2 0 を形成する。さらにこの段階で基板 1 0 0 の裏面を研削し、基板 1 0 0 の厚さを完成寸法である $525\text{ }\mu\text{m}$ にする。

10

【 0 0 4 5 】

続いて図 1 3 に示す工程では、フォトレジストマスクを用いたエッチングにより、表層保護膜 2 0 0 と表層絶縁膜 1 7 0 とにエッチストップパリング 1 6 1 が露出する通孔 H 5 を形成する。

【 0 0 4 6 】

以上の工程で基板 1 0 0 の表面側の成膜プロセスはすべて終了している。基板 1 0 0 の表面側の成膜プロセスがすべて終了した状態において、図 1 4 に示す工程ではバックキャビティ C 1 に対応する通孔を基板 1 0 0 に形成するための通孔 H 6 を有するフォトレジストマスク R 1 を基板 1 0 0 の裏面に形成する。

【 0 0 4 7 】

20

続いて図 1 5 に示す工程では、バックキャビティ C 1 を形成する貫通長 $525\text{ }\mu\text{m}$ の通孔を基板深掘りエッチング (D e e p - R I E) により基板 1 0 0 に形成する。すなわち、この工程では、単結晶ケイ素からなる基板 1 0 0 をエッチングするための SF_6 ガスなどのフッ素含有ガスと、エッチングによって形成される凹部の側壁を保護するための側壁保護膜 R s (図 2 0 A 参照) を形成するための C_xF_y ガスとを交互に供給することでエッチングとデポジションを小刻みに繰り返し、基板 1 0 0 の表面 (フォトレジストマスク R 1 との界面である面方位 1 0 0 の面) に対してほぼ垂直な側壁 1 0 0 c が形成される。より具体的には例えば、流量 $200\sim500\text{ sccm}$ 、圧力 $2\sim10\text{ Pa}$ 、ステージ温度 10 、基板 1 0 0 の表面温度 $70\sim80$ の条件で SF_6 ガスと C_xF_y ガスとを 10 秒以下、好ましくは $2\sim3$ 秒の間隔で切り替えながらチャンバ内に供給し、例えば直径 $600\text{ }\mu\text{m}$ の通孔を形成する。この工程では、酸化ケイ素からなる下層絶縁膜 1 1 0 がエッチングストップとなる。

30

図 1 5 に示す工程では、図 2 0 A に示すように、通孔の側壁 1 0 0 c におよそ規則的な微小な凹凸が形成される。また通孔の側壁 1 0 0 c には、髭状の部分 1 0 0 d や凹凸の脆い突端部 1 0 0 e が不規則に発生したり、このような部分が基板 1 0 0 から脱落した残渣 1 0 0 f が発生する。特にフォトレジストマスク R 1 との界面近傍と下層絶縁膜 1 1 0 との界面近傍とにおいては、このような残渣 1 0 0 f を発生させる側壁の荒れが生じやすい。尚、上記例示の条件で基板深掘りエッチングを実施した場合、エッチングストップである下層絶縁膜 1 1 0 も、図 2 0 A に示すように $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度エッチングされる。

40

図 2 0 A に示すように通孔の側壁 1 0 0 c が荒れた状態で側壁 1 0 0 c を完成させると、図 2 1 に示すように基板 1 0 0 の通孔の側壁 1 0 0 c から髭状の部分 1 0 0 d や凹凸の脆い突端部 1 0 0 e が脱落することによって新たな残渣を生じさせる。

【 0 0 4 8 】

そこで、続いて図 1 6 に示す工程において、フォトレジストマスク R 1 および側壁保護膜 R s を除去し、基板深掘りエッチングにより基板 1 0 0 に荒く形成された通孔の側壁 1 0 0 c を平滑化する。

【 0 0 4 9 】

すなわち、はじめに図 2 0 A に示すフォトレジストマスク R 1 および側壁保護膜 R s を酸素プラズマ、有機剥離液などによって除去するアッシングを行う。次に、基板 1 0 0 上にすでに形成されている下層絶縁膜 1 1 0 以外の堆積膜を保護するため、基板 1 0 0 の表

50

側の全面（表層保護膜 200 が形成されている面の全体。）にレジスト膜 R b（図 16 参照）を形成する。次に、側壁保護膜 R s が除去されたことによって露出した基板 100 の凹部の側壁 100 c の表層に形成された自然酸化膜を希フッ酸（BHF）、フッ酸等をエッチャントとして用いて除去する。このとき、自然酸化膜を完全に除去できるとともに、下層絶縁膜 110 がエッチングストッパとして機能する範囲でエッチングの終点を制御する。すなわち下層導電膜 120 が露出しないようにエッチングの終点を制御する。具体的には例えば、下層絶縁膜 110 が $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ である場合、23 の 1100 BHF に 60 秒間浸漬し、 $5 \sim 20 \text{nm}$ 程度基板 100 の表層を除去することによって自然酸化膜を除去する。"希フッ酸またはフッ酸によるエッチング深さ < 下層絶縁膜の膜厚 - （基板深掘りエッチングによる下層絶縁膜のエッチング深さ + ダイアフラムバンプの高さ）"の範囲でエッチングの終点を制御すると、下層導電膜 120 からなるダイアフラムバンプ 123 f が基板 100 の通孔に極めて近い位置にあったとしても、下層導電膜 120 が露出することはない。次に純水を用いてエッチャントを洗浄する。

10

20

30

40

50

【0050】

次に基板 100 の露出面全体の表層をアルカリ溶液を用いた結晶異方性ウェットエッチングにより除去する。TMAH 水溶液の濃度や温度は適宜最適化すればよいが、例えば濃度 2.38% の TMAH 水溶液である NMD-3 に基板 100 を 15 分間から 30 分間浸漬し、基板 100 の露出面全体の表層を除去する。NMD-3 の温度は例えば 23 とする。基板 100 の表層を除去する深さは髭状の部分 100 の太さに応じて設定すればよいが、例えば $2 \mu\text{m}$ の深さまで基板 100 を除去する。すると、基板 100 から脱落した残渣 100 f は消滅し、髭状の部分 100 d や凹凸の脆い突端部 100 e が消滅する。その結果、図 20 B に示すように、通孔の側壁 100 c から脆い部分がなくなり、基板 100 の残渣も消滅する。このような一連の平滑化工程の実施によって、製造時に生じた基板 100 の残渣や製造後に生ずる残渣による不具合が防止され、コンデンサマイクロホン 1 の信頼性が向上する。

【0051】

続いて図 17 に示す工程では、フォトレジストマスク R 2 と BHF を用いた等方性エッチングにより、プレート 162 およびプレートリード 162 d の上にある表層保護膜 200 および表層絶縁膜 170 を除去し、さらに上層絶縁膜 130 の一部を除去して環状部 132、プレート支持部 131 および空隙 C 3 を形成し、下層絶縁膜 110 の一部を除去してガード絶縁部 103、ダイアフラム支持部 102、環状部 101 および空隙 C 2 を形成する。このときエッチャントである BHF はフォトレジストマスク R 2 の通孔 H 6 と基板 100 の開口 100 a のそれぞれから進入する。上層絶縁膜 130 の輪郭はプレート 162 およびプレートリード 162 d によって規定される。すなわちプレート 162 およびプレートリード 162 d に対するセルフアラインによって環状部 132 およびプレート支持部 131 が形成される。図 18 に示すように環状部 132 およびプレート支持部 131 の端面には等方性エッチングによりアンダーカットが形成される。また下層絶縁膜 110 の輪郭は基板 100 の開口 100 a とダイアフラム 123 とダイアフラムリード 123 d とガード電極 125 a とガードコネクタ 125 b とガードリング 125 c とによって規定される。すなわちダイアフラム 123 に対するセルフアラインによりガード絶縁部 103 およびダイアフラム支持部 102 が形成される。ガード絶縁部 103 とプレート支持部 131 の端面には等方性エッチングによりアンダーカットが形成される（図 18、図 19 参照）。なおこの工程においてガード絶縁部 103 とプレート支持部 131 とが形成されるため、プレート 162 を基板 100 の上に支持する構造体 129 のガード電極 125 a を除く部分がこの工程で形成されている。

【0052】

最後にフォトレジストマスク R 2 を除去し、基板 100 をダイシングすると図 1 に示すコンデンサマイクロホン 1 のセンサチップが完成する。センサチップと回路チップとを図示しないパッケージ基板に接着し、ワイヤボンディングによって各端子間を接続し、図示しないパッケージカバーをパッケージ基板にかぶせると、コンデンサマイクロホン 1 が完

成する。センサチップがパッケージ基板に接着されることにより、基板 100 の裏面側においてバックキャビティ C1 が気密に閉塞される。

【0053】

4. 他の実施形態

尚、本発明の技術的範囲は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。例えば、上記実施形態で示した材質や寸法はあくまで例示であるし、当業者であれば自明である工程の追加や削除や工程順序の入れ替えについては説明が省略されている。また、上述した製造工程において、膜の組成、成膜方法、膜の輪郭形成方法、工程順序などは、コンデンサマイクロホンを構成しうる物性を持つ膜材料の組み合わせや、膜厚や、要求される輪郭形状精度などに応じて適宜選択されるものであって、特に限定されない。

10

【0054】

具体的には、図16に示す工程において、TMAH水溶液に代えてKOH水溶液、塩化コリン[(CH₃)₃NC₂H₄Cl]水溶液などの他のアルカリ性溶液を用いた結晶異方性ウェットエッチングによって通孔の側壁100cの表層を除去してもよい。またアルカリ性溶液を用いた結晶異方性ウェットエッチングに代えて等方性のドライエッチングまたはウェットエッチングによって通孔の側壁100cの表層を除去してもよい。

【0055】

また磁気センサ、加速度センサ、姿勢センサ、圧力センサなどのコンデンサマイクロホン以外のMEMSの製造に本発明を適用することもできるし、MEMS以外の半導体デバイスの製造に本発明を適用することもできる。

20

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明の実施形態にかかる平面図。

【図2】本発明の実施形態にかかる模式的な断面図。

【図3】本発明の実施形態にかかる分解斜視図。

【図4】本発明の実施形態にかかる回路図。

【図5】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図6】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図7】本発明の実施形態にかかる断面図。

30

【図8】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図9】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図10】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図11】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図12】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図13】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図14】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図15】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図16】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図17】本発明の実施形態にかかる断面図。

40

【図18】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図19】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図20】本発明の実施形態にかかる断面図。

【図21】本発明の実施形態にかかる断面図。

【符号の説明】

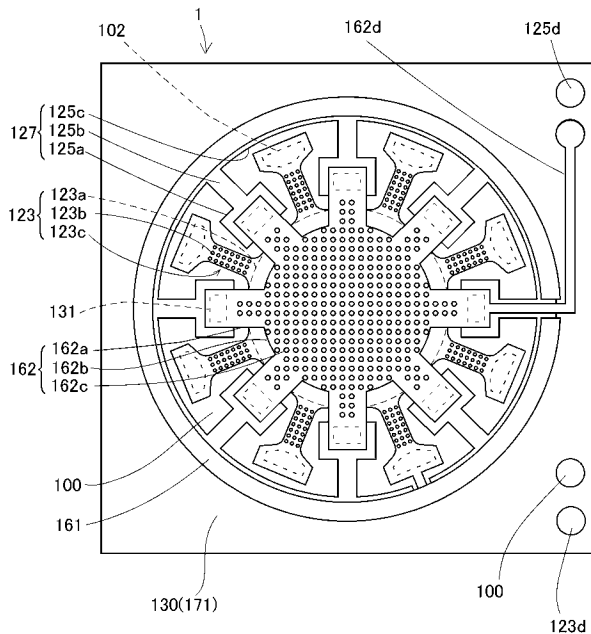
【0057】

1：コンデンサマイクロホン、100：基板（ケイ素基板）、100a：開口、100b：基板端子、100c：側壁、101：環状部、102：ダイヤフラム支持部、103：ガード絶縁部、110：下層絶縁膜、110a：ディンプル、120：下層導電膜、123：ダイヤフラム、123a：中央部、123b：ダイヤフラム孔、123c：腕部、1

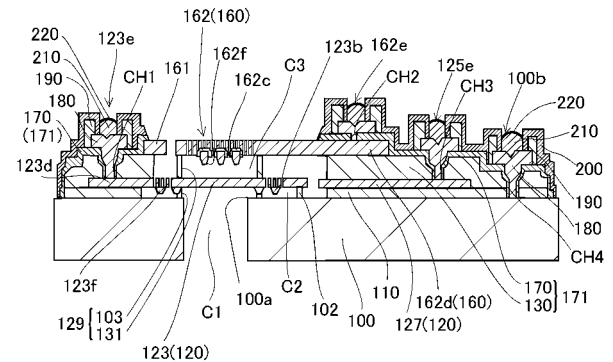
50

23d : ダイアフラムリード、123e : ダイアフラム端子、123f : ダイアフラムパンプ、125a : ガード電極、125b : ガードコネクタ、125c : ガードリング、125d : ガードリード、125e : ガード端子、127 : ガード部、129 : 構造体、130 : 上層絶縁膜、130a : ディンプル、131 : プレート支持部、132 : 環状部、160 : 上層導電膜、161 : エッチストップリング、162 : プレート、162a : 腕部、162b : 中央部、162c : プレート孔、162d : プレートリード、162e : プレート端子、162f : プレートパンプ、170 : 表層絶縁膜、180 : パッド導電膜、190 : パッド保護膜、200 : 表層保護膜、210 : パンプ膜、220 : パンプ保護膜、A : アンブ、C1 : バックキャビティ、C2 : 空隙、C3 : 空隙、CP : チャージポンプ

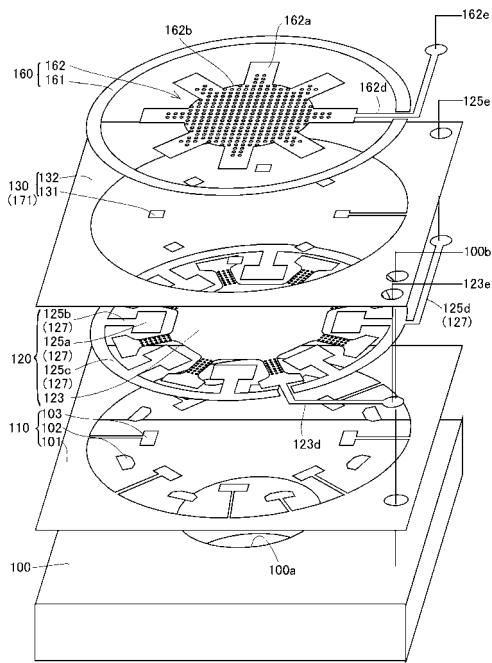
【図1】



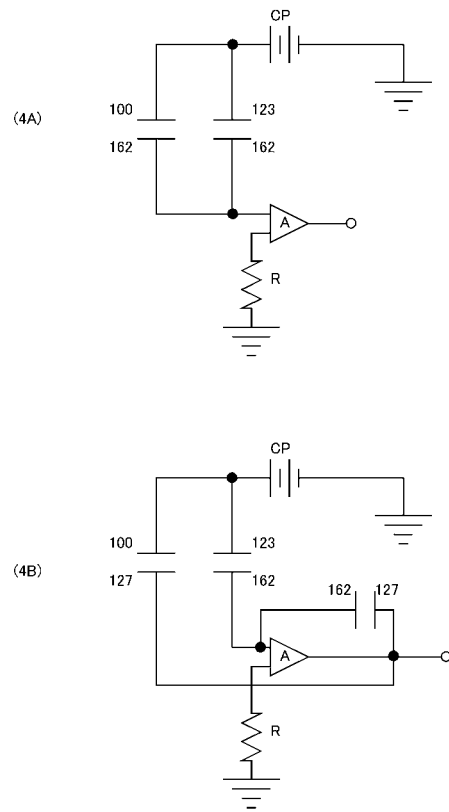
【図2】



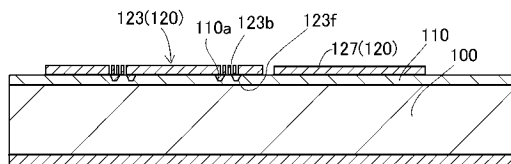
【図 3】



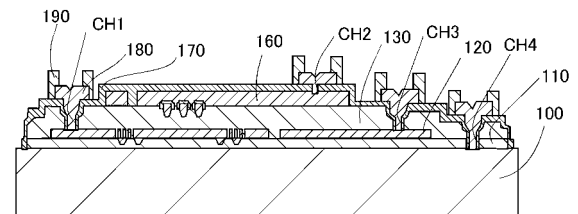
【図 4】



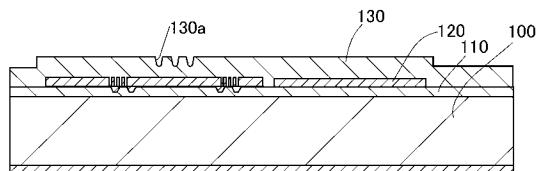
【図 5】



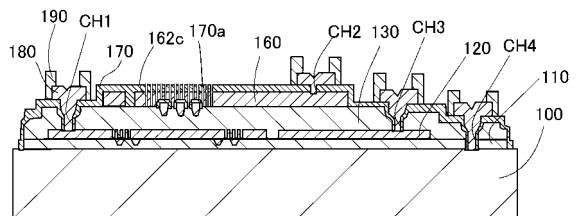
【図 9】



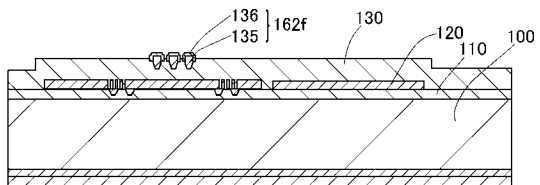
【図 6】



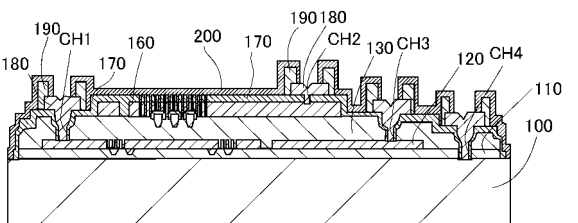
【図 10】



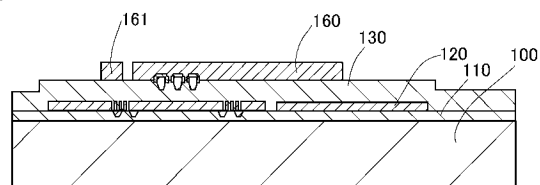
【図 7】



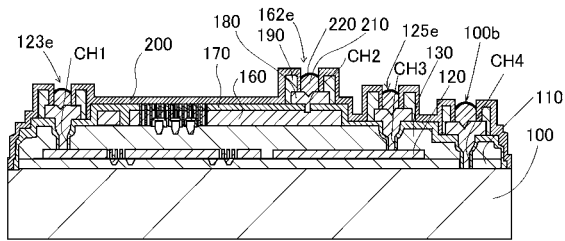
【図 11】



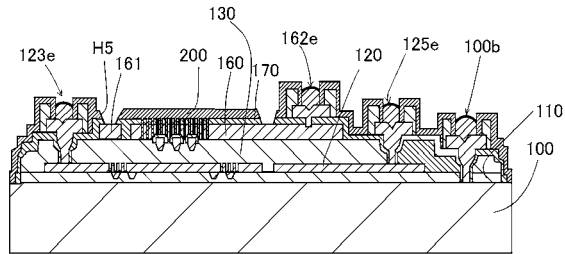
【図 8】



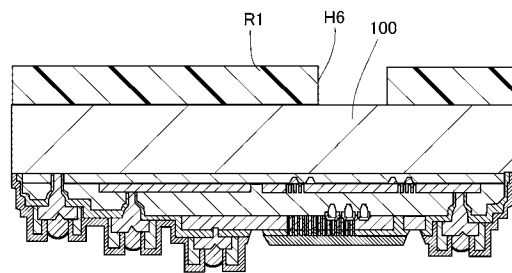
【図 1 2】



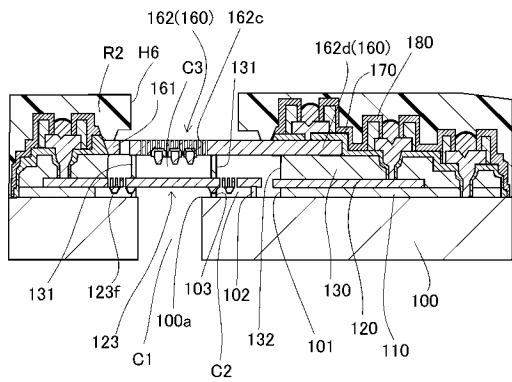
【図 1 3】



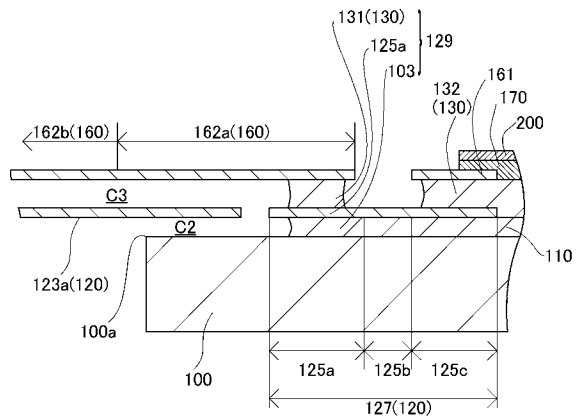
【図 1 4】



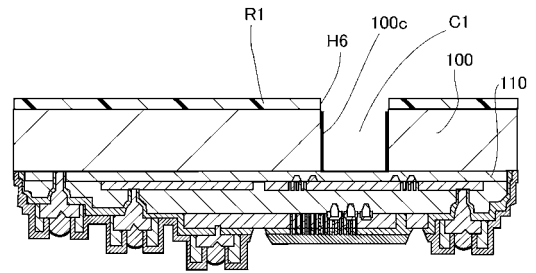
【図 1 7】



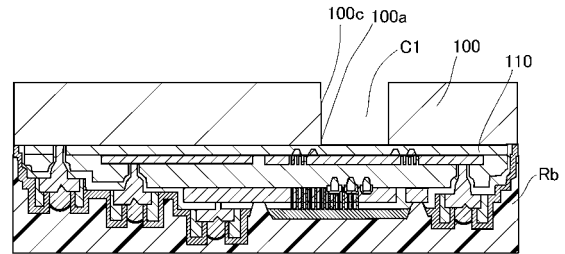
【図 1 8】



【図 1 5】



【図 1 6】



【図 1 9】

