

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7528804号
(P7528804)

(45)発行日 令和6年8月6日(2024.8.6)

(24)登録日 令和6年7月29日(2024.7.29)

(51)国際特許分類		F I	
H 1 0 N	30/30 (2023.01)	H 1 0 N	30/30
H 1 0 N	30/853 (2023.01)	H 1 0 N	30/853
H 1 0 N	30/082 (2023.01)	H 1 0 N	30/082
H 1 0 N	30/88 (2023.01)	H 1 0 N	30/88
H 0 4 R	17/02 (2006.01)	H 0 4 R	17/02
請求項の数 25 (全48頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2021-16148(P2021-16148)	(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(22)出願日	令和3年2月3日(2021.2.3)	(74)代理人	110001128 弁理士法人ゆうあい特許事務所
(65)公開番号	特開2022-119126(P2022-119126 A)	(72)発明者	酒井 峰一 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
(43)公開日	令和4年8月16日(2022.8.16)	(72)発明者	馬渡 和明 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
審査請求日	令和4年12月23日(2022.12.23)	(72)発明者	小山 友二 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
		(72)発明者	田中 昌明 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電素子、圧電装置、および圧電素子の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子であって、支持体（10）と、
前記支持体上に配置され、圧電膜（50）と、前記圧電膜と接続されて前記圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（60）とを含む構成とされ、前記支持体に支持される支持領域（21a）と、前記支持領域と繋がっており、前記支持体から浮遊している振動領域（22）とを有し、前記電荷に基づいた前記圧力検出信号を出力する前記振動部と、を備え、
前記振動領域は、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部（C）に向かって複数のスリット（40～44）が形成されていると共に、前記支持領域に対して両持ち支持された状態となっており、
前記複数のスリットは、少なくとも一部において、前記スリットの延設方向に沿ったスリット長さ（L）が異なっている圧電素子。

【請求項2】

前記複数のスリットは、前記支持領域側から前記中心部に向かってスリット幅（g）が狭くされたテーパ状とされている請求項1に記載の圧電素子。

【請求項3】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子であって、支持体（10）と、

前記支持体上に配置され、圧電膜（５０）と、前記圧電膜と接続されて前記圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（６０）とを含む構成とされ、前記支持体に支持される支持領域（２１ａ）と、前記支持領域と繋がっており、前記支持体から浮遊している振動領域（２２）とを有し、前記電荷に基づいた前記圧力検出信号を出力する前記振動部と、を備え、

前記振動領域は、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部（Ｃ）に向かって複数のスリット（４０～４４）が形成されていると共に、前記支持領域に対して両持ち支持された状態となっており、

前記複数のスリットは、前記中心部にて互いに交差する状態で形成され、

前記振動領域には、前記支持体側と反対側の一面（２２ａ）上に、前記複数のスリットが交差する部分を被覆する固体の連結部材（９１）が配置されており、
前記複数のスリットの交差する部分は、前記連結部材から露出する部分を有している圧電素子。

【請求項４】

前記連結部材は、前記圧電膜を構成する材料以下の剛性とされている請求項３に記載の圧電素子。

【請求項５】

前記振動領域および前記電極膜は、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（２２ａ）に対する法線方向において、前記振動領域の中心部（Ｃ）に対して点対称となる状態で配置されている請求項１ないし４のいずれか１つに記載の圧電素子。

【請求項６】

前記振動領域は、前記支持領域側の領域、および前記中心部を含む領域が第１領域（Ｒ１）とされると共に、前記第１領域と異なる領域が第２領域（Ｒ２）とされ、

前記圧電膜は、六方晶構造となる材料で構成され、

前記電極膜は、６本の電極膜用スリット（６０ｂ）によって分割されており、前記法線方向において、前記第１領域内のそれぞれの前記電極膜用スリットにおける所定箇所を結ぶ仮想形状（ＫＳ）が六角形状とされている請求項５に記載の圧電素子。

【請求項７】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（２０）を有する圧電素子であって、支持体（１０）と、

前記支持体上に配置され、圧電膜（５０）と、前記圧電膜と接続されて前記圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（６０）とを含む構成とされ、前記支持体に支持される支持領域（２１ａ）と、前記支持領域と繋がっており、前記支持体から浮遊している振動領域（２２）とを有し、前記電荷に基づいた前記圧力検出信号を出力する前記振動部と、を備え、

前記振動領域は、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部（Ｃ）に向かって複数のスリット（４０～４４）が形成されていると共に、前記支持領域に対して両持ち支持された状態となっており、

前記振動領域および前記電極膜は、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（２２ａ）に対する法線方向において、前記振動領域の中心部（Ｃ）に対して点対称となる状態で配置されており、

前記振動領域は、前記支持領域側の領域、および前記中心部を含む領域が第１領域（Ｒ１）とされると共に、前記第１領域と異なる領域が第２領域（Ｒ２）とされ、

前記圧電膜は、六方晶構造となる材料で構成され、

前記電極膜は、６本の電極膜用スリット（６０ｂ）によって分割されており、前記法線方向において、前記第１領域内のそれぞれの前記電極膜用スリットにおける所定箇所を結ぶ仮想形状（ＫＳ）が六角形状とされている圧電素子。

【請求項８】

前記支持体は、支持基板（１１）と、前記支持基板上に配置され、前記振動部が配置される絶縁膜（１２）とを有し、前記振動領域を浮遊させる凹部（１０ａ）が前記支持基板

10

20

30

40

50

および前記絶縁膜に形成されており、

前記支持基板は、シリコン基板で構成され、

前記振動領域は、前記法線方向において、外形が正八角形状とされている請求項 5 ないし 7 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 9】

前記圧電膜は、窒化スカンジウムアルミニウムで構成されており、

前記スリットは、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（22a）側から当該一面と反対側の他面（22b）側に向かって幅が狭くなるテーパ部（45）が構成される状態で形成されており、

前記電極膜は、前記一面に対する法線方向において、前記スリットよりも内側に配置されており、

前記振動領域における前記テーパ部を構成する側面（22c）と、前記一面と平行な面（22b）との成す角度（ $\theta 1$ ）が $39 \sim 81^\circ$ とされている請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 10】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子であって、

支持体（10）と、

前記支持体上に配置され、圧電膜（50）と、前記圧電膜と接続されて前記圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（60）とを含む構成とされ、前記支持体に支持される支持領域（21a）と、前記支持領域と繋がっており、前記支持体から浮遊している振動領域（22）とを有し、前記電荷に基づいた前記圧力検出信号を出力する前記振動部と、を備え、

前記振動領域は、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部（C）に向かって複数のスリット（40～44）が形成されていると共に、前記支持領域に対して両持ち支持された状態となっており、

前記圧電膜は、窒化スカンジウムアルミニウムで構成されており、

前記スリットは、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（22a）側から当該一面と反対側の他面（22b）側に向かって幅が狭くなるテーパ部（45）が構成される状態で形成されており、

前記電極膜は、前記一面に対する法線方向において、前記スリットよりも内側に配置されており、

前記振動領域における前記テーパ部を構成する側面（22c）と、前記一面と平行な面（22b）との成す角度（ $\theta 1$ ）が $39 \sim 81^\circ$ とされている圧電素子。

【請求項 11】

前記テーパ部を構成する側面と、前記一面と平行な面との成す角度が 63° 以下とされている請求項 9 または 10 に記載の圧電素子。

【請求項 12】

前記テーパ部を構成する側面と、前記一面と平行な面との成す角度が 45° 以上とされている請求項 9 ないし 11 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 13】

前記振動領域は、共振周波数が 20 kHz 以上とされている請求項 1 ないし 12 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 14】

前記複数のスリットは、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部よりも前記支持領域側で終端する状態で形成されている請求項 1 ないし 13 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 15】

前記振動領域は、前記支持領域側の領域、および前記中心部を含む領域が第 1 領域（R1）とされると共に、前記第 1 領域と異なる領域が第 2 領域（R2）とされ、

前記電極膜は、少なくとも前記第 1 領域に配置されている請求項 1 ないし 14 のいずれ

10

20

30

40

50

か 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 1 6】

前記振動部は、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（22a）に対する法線方向において、外形が多角形状とされており、

前記電極膜および前記振動領域は、前記法線方向において、少なくとも一方が角部を有する多角形状とされ、当該角部が、前記振動部の外形における相対する角部を結ぶ仮想線（K4）上と異なる部分に位置している請求項 1 ないし 1 5 のいずれか 1 つに記載の圧電素子。

【請求項 1 7】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子を備えた圧電装置であって、

請求項 1 ないし 1 6 のいずれか 1 つに記載の圧電素子と、

前記圧電素子を搭載する被実装部材（101）と、前記圧電素子を収容する状態で前記被実装部材に固定される蓋部（102）と、を有し、外部と連通して前記圧力が導入される貫通孔（101b）が形成されたケーシング（100）と、を備え、

前記スリットは、前記振動領域のうちの前記貫通孔と対向する部分と異なる部分に形成されている圧電装置。

【請求項 1 8】

前記ケーシング内の空間における前記貫通孔と前記振動部との間に位置する受圧面空間（S1）と異なる空間をバック空間（S2）とし、前記バック空間の音響コンプライアンスを Cb 、前記振動領域の厚さを h 、前記スリットのスリット幅を g 、空気抵抗を μ とし、前記スリットのスリット長さを L とすると、前記スリットの長さは、下記数式を満たしている請求項 1 7 に記載の圧電装置。

【数 1】

$$L \leq \frac{3 \times \mu \times h \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g^3}$$

【請求項 1 9】

圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子を備えた圧電装置であって、

請求項 1 ないし 1 6 のいずれか 1 つに記載の圧電素子と、

前記圧電素子を搭載する被実装部材（101）と、前記圧電素子を収容する状態で前記被実装部材に固定される蓋部（102）と、を有し、外部と連通して前記圧力が導入される貫通孔（101b）が形成されたケーシング（100）と、を備え、

前記ケーシング内の空間における前記貫通孔と前記振動部との間に位置する受圧面空間（S1）と異なる空間をバック空間（S2）とし、前記バック空間の音響コンプライアンスを Cb 、前記振動領域の厚さを h 、前記スリットのスリット幅を g 、空気抵抗を μ とし、前記スリットのスリット長さを L とすると、前記スリットの長さは、下記数式を満たしている圧電装置。

【数 1】

$$L \leq \frac{3 \times \mu \times h \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g^3}$$

【請求項 20】

前記圧電素子は、前記支持体が接合部材（2）を介して前記被実装部材に搭載されており、前記振動領域における前記支持体側と反対側の一面（22a）に対する法線方向において、外形が角部を有する多角形状とされており、

前記接合部材は、前記法線方向において、前記角部と異なる部分に配置されている請求

10

20

30

40

50

項 1 8 または 1 9 に記載の圧電装置。

【請求項 2 1】

前記接合部材は、前記法線方向において、外形が角部を有する多角形状とされ、当該角部が、前記圧電素子の外形における相対する角部を結ぶ仮想線（K 4）上と異なる部分に位置している請求項 2 0 に記載の圧電装置。

【請求項 2 2】

前記被実装部材は、前記接合部材が配置される部分に突起部（1 0 1 c）が形成されており、

前記接合部材は、前記突起部上に配置されている請求項 2 0 または 2 1 に記載の圧電装置。

【請求項 2 3】

支持体（1 0）と、

前記支持体上に配置され、圧電膜（5 0）と、前記圧電膜と接続されて前記圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（6 0）とを含む構成とされ、前記支持体に支持される支持領域（2 1 a）と、前記支持領域と繋がっており、前記支持体から浮遊している振動領域（2 2）とを有し、前記電荷に基づいた圧力検出信号を出力する振動部（2 0）と、を備え、

前記振動領域は、前記支持領域側から、前記振動領域における中心部（C）に向かって複数のスリット（4 0～4 4）が形成されていると共に、前記支持領域に対して両持ち支持された状態となっている圧電素子の製造方法であって、

前記支持体を用意することと、

前記支持体上に、前記圧電膜および前記電極膜を形成することと、

前記圧電膜および前記電極膜上にエッチングマスク材（2 0 0）を配置すると共に、前記エッチングマスク材に前記圧電膜のうちの前記スリットが形成される部分を露出させる開口部（2 0 1）を形成することと、

前記エッチングマスク材をマスクとしてエッチングを行い、前記圧電膜を貫通して前記支持体に達する前記スリットを形成し、前記スリットから露出する側面（2 2 c）が、前記支持体側と反対側の一面（2 2 a）側から当該一面と反対側の他面（2 2 b）側に向かって幅が狭くなるテーパ部（4 5）となる振動領域構成部分（2 2 0）を形成することと、

前記支持体のうちの前記圧電膜側と反対側から凹部（1 0 a）を形成して前記振動領域構成部分を浮遊させることにより、前記振動領域を有する前記振動部を構成することと、を行い、

前記圧電膜および前記電極膜を形成することでは、前記振動領域構成部分を形成する際に前記側面から前記圧電膜のみが露出するように前記圧電膜および前記電極膜を形成し、

前記スリットを形成することでは、前記テーパ部を構成する側面と、前記一面と平行な面（2 2 b）との成す角度（ $\theta 1$ ）が $39 \sim 81^\circ$ となる前記スリットを形成する圧電素子の製造方法。

【請求項 2 4】

前記スリットを形成することでは、前記成す角度が 63° 以下となる前記スリットを形成する請求項 2 3 に記載の圧電素子の製造方法。

【請求項 2 5】

前記スリットを形成することでは、前記成す角度が 45° 以上となる前記スリットを形成する請求項 2 3 または 2 4 に記載の圧電素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、振動領域を有する圧電素子、圧電装置、および圧電素子の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

10

20

30

40

50

従来より、振動領域を有する圧電素子が提案されている（例えば、特許文献1参照）。具体的には、この圧電素子の振動領域は、圧電膜と、圧電膜と接続された電極膜とを有する構成とされており、片持ち支持されている。そして、このような圧電素子は、音響圧力（以下では、単に音圧ともいう）等によって振動領域が振動することにより、圧電膜が変形して圧電膜に電荷が発生する。このため、電極膜を介して圧電膜に発生した電荷を取り出すことにより、振動領域に印加された音圧が検出される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許5936154号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記のような圧電素子では、検出精度を向上させたいという要望がある。

【0005】

本発明は上記点に鑑み、検出精度の向上を図ることができる圧電素子、圧電装置、および圧電素子の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するための請求項1、3、7、10は、圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子であって、支持体（10）と、支持体上に配置され、圧電膜（50）と、圧電膜と接続されて圧電膜が変形することによって発生する電荷を取り出す電極膜（60）とを含む構成とされ、支持体に支持される支持領域（21a）と、支持領域と繋がっており、支持体から浮遊している振動領域（22）とを有し、電荷に基づいた圧力検出信号を出力する振動部と、を備え、振動領域は、支持領域側から、振動領域における中心部（C）に向かって複数のスリット（40～44）が形成されていると共に、支持領域に対して両持ち支持された状態となっている。

さらに、請求項1は、複数のスリットは、少なくとも一部において、スリットの延設方向に沿ったスリット長さ（L）が異なっている。

請求項3は、複数のスリットは、中心部に互いに交差する状態で形成され、振動領域には、支持体側と反対側の一面（22a）上に、複数のスリットが交差する部分を被覆する固体の連結部材（91）が配置されており、複数のスリットの交差する部分は、連結部材から露出する部分を有している。

請求項7は、振動領域および電極膜は、振動領域における支持体側と反対側の一面（22a）に対する法線方向において、振動領域の中心部（C）に対して点対称となる状態で配置されており、振動領域は、支持領域側の領域、および中心部を含む領域が第1領域（R1）とされと共に、第1領域と異なる領域が第2領域（R2）とされ、圧電膜は、六方晶構造となる材料で構成され、電極膜は、6本の電極膜用スリット（60b）によって分割されており、法線方向において、第1領域内のそれぞれの電極膜用スリットにおける所定箇所を結ぶ仮想形状（KS）が六角形状とされている。

請求項10は、圧電膜は、窒化スカンジウムアルミニウムで構成されており、スリットは、振動領域における支持体側と反対側の一面（22a）側から当該一面と反対側の他面（22b）側に向かって幅が狭くなるテーパ部（45）が構成される状態で形成されており、電極膜は、一面に対する法線方向において、スリットよりも内側に配置されており、振動領域におけるテーパ部を構成する側面（22c）と、一面と平行な面（22b）との成す角度（ $\theta 1$ ）が $39 \sim 81^\circ$ とされている。

【0007】

これによれば、振動領域が片持ち支持されている場合と比較すると、共振周波数を大きくできる。したがって、検出感度を維持できる周波数を広域化でき、検出精度の向上を図ることができる。

10

20

30

40

50

【0008】

また、請求項17は、圧力に応じた圧力検出信号を出力する振動部（20）を有する圧電素子を備えた圧電装置であって、請求項1ないし16のいずれか1つに記載の圧電素子と、圧電素子を搭載する被実装部材（101）と、圧電素子を収容する状態で被実装部材に固定される蓋部（102）と、を有し、外部と連通して圧力が導入される貫通孔（101b）が形成されたケーシング（100）と、を備え、スリットは、振動領域のうちの貫通孔と対向する部分と異なる部分に形成されている。

【0009】

これによれば、共振周波数を大きくできる圧電素子を備えているため、検出感度を維持できる周波数を広域化でき、検出精度の向上を図ることができる。

10

【0010】

請求項23は、上記の圧電素子の製造方法に関するものであり、支持体を用意することと、支持体上に、圧電膜および電極膜を形成することと、圧電膜および電極膜上にエッチングマスク材（200）を配置すると共に、エッチングマスク材に圧電膜のうちのスリットが形成される部分を露出させる開口部（201）を形成することと、エッチングマスク材をマスクとしてエッチングを行い、圧電膜を貫通して支持体に達するスリットを形成し、スリットから露出する側面（22c）が、支持体側と反対側の一面（22a）側から当該一面と反対側の他面（22b）側に向かって幅が狭くなるテーパ部（45）となる振動領域構成部分（220）を形成することと、支持体のうちの圧電膜側と反対側から凹部（10a）を形成して振動領域構成部分を浮遊させることにより、振動領域を有する振動部を構成することと、を行い、圧電膜および電極膜を形成することでは、振動領域構成部分を形成する際に側面から圧電膜のみが露出するように圧電膜および電極膜を形成し、スリットを形成することでは、テーパ部を構成する側面（22c）と、一面と平行な面（22b）との成す角度（ $\theta 1$ ）が $39 \sim 81^\circ$ となるスリットを形成する。

20

【0011】

これによれば、共振周波数を大きくできる圧電素子を製造することができる。また、成す角度を $39 \sim 81^\circ$ とすることにより、スリットを形成する際の加工性が低下することを抑制できる。

【0012】

なお、各構成要素等に付された括弧付きの参照符号は、その構成要素等と後述する実施形態に記載の具体的な構成要素等との対応関係の一例を示すものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1A】第1実施形態における圧電素子の断面図である。

【図1B】第1実施形態における圧電素子の断面図である。

【図1C】第1実施形態における圧電素子の断面図である。

【図2A】第1実施形態における圧電素子の平面図である。

【図2B】第1実施形態における第1領域に形成された電極膜の平面図である。

【図3】第1実施形態における圧電素子の回路模式図である。

【図4A】図1Cに示す圧電素子の製造方法である。

40

【図4B】図4Aに続く圧電素子の製造方法である。

【図4C】図4Bに続く圧電素子の製造方法である。

【図5】第1実施形態における圧電装置の断面図である。

【図6】連結長さと圧電素子の共振周波数との関係を示す図である。

【図7】振動領域に印加される周波数と出力信号との関係を示す図である。

【図8】連結長さと発生応力比との関係を示す図である。

【図9】音圧と出力振動との関係を示す図である。

【図10A】第1実施形態の変形例における圧電素子の平面図である。

【図10B】第1実施形態の変形例における圧電素子の平面図である。

【図11A】第1実施形態の変形例における振動領域の平面図である。

50

- 【図 1 1 B】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 1 C】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 1 D】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 1 E】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 1 F】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 1 G】第 1 実施形態の変形例における振動領域の平面図である。
- 【図 1 2】第 1 実施形態の変形例における第 1 領域に形成された電極膜の平面図である。
- 【図 1 3】図 1 2 に示す電極膜を有する圧電素子の回路模式図である。
- 【図 1 4】第 2 実施形態における圧電素子の平面図である。
- 【図 1 5】第 3 実施形態にて説明する振動領域の模式図である。 10
- 【図 1 6】振動領域における曲げモーメントの大きさを示す模式図である。
- 【図 1 7】振動領域における応力分布を示す図である。
- 【図 1 8】第 3 実施形態における圧電素子の平面図である。
- 【図 1 9】図 1 8 に示す圧電素子の回路模式図である。
- 【図 2 0】第 4 実施形態における圧電素子の断面図である。
- 【図 2 1】図 2 0 に示す圧電素子の平面図である。
- 【図 2 2】第 5 実施形態における圧電素子の断面図である。
- 【図 2 3】図 2 2 に示す圧電素子の平面図である。
- 【図 2 4 A】第 6 実施形態における圧電素子の平面図である。
- 【図 2 4 B】第 6 実施形態における第 1 領域に形成された電極膜の平面図である。 20
- 【図 2 5】第 6 実施形態における圧電素子の断面図である。
- 【図 2 6】第 6 実施形態における圧電素子の回路模式図である。
- 【図 2 7】第 6 実施形態の変形例における圧電素子の平面図である。
- 【図 2 8】第 6 実施形態の変形例における第 1 領域に形成された電極膜の平面図である。
- 【図 2 9】第 6 実施形態の変形例における圧電素子の回路模式図である。
- 【図 3 0】第 7 実施形態における圧電素子の平面図である。
- 【図 3 1】第 7 実施形態における圧電装置の断面図である。
- 【図 3 2】第 8 実施形態における圧電装置の断面模式図である。
- 【図 3 3】振動領域の厚さを一定とした場合の、スリット幅、スリット長さ、および音響抵抗との関係を示す図である。 30
- 【図 3 4】スリット幅を一定とした場合の、振動領域の厚さ、スリット長さ、および音響抵抗との関係を示す図である。
- 【図 3 5】スリット長さと音響抵抗比率との関係を示す図である。
- 【図 3 6】第 9 実施形態における圧電素子のスリットの断面図である。
- 【図 3 7】一面側のスリット幅と音響抵抗との関係を示す図である。
- 【図 3 8 A】第 9 実施形態の変形例における圧電素子のスリットの断面図である。
- 【図 3 8 B】第 9 実施形態の変形例における圧電素子のスリットの断面図である。
- 【図 3 8 C】第 9 実施形態の変形例における圧電素子のスリットの断面図である。
- 【図 3 9】第 1 0 実施形態における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。
- 【図 4 0 A】第 1 0 実施形態の変形例における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。 40
- 【図 4 0 B】第 1 0 実施形態の変形例における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。
- 【図 4 1 A】第 1 0 実施形態の変形例における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。
- 【図 4 1 B】第 1 0 実施形態の変形例における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。
- 【図 4 1 C】第 1 0 実施形態の変形例における圧電素子と接合部材との位置関係を示す平面図である。
- 【図 4 2】第 1 1 実施形態における圧電装置の断面図である。 50

【図４３】第１２実施形態における圧電素子のスリットの断面図である。

【図４４Ａ】図４３に示す圧電素子の製造工程を示す断面図である。

【図４４Ｂ】図４３に続く圧電素子の製造工程を示す断面図である。

【図４４Ｃ】図４３に続く圧電素子の製造工程を示す断面図である。

【図４５】図４４の製造工程におけるスリットが形成される部分の模式図である。

【図４６】周波数、感度、実効幅の関係を示す図である。

【図４７】圧電膜の膜厚に対するエッチングマスク材の膜厚と、成す角度との関係を示す図である。

【図４８】他の実施形態における圧電装置の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本発明の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、同一符号を付して説明を行う。

【００１５】

（第１実施形態）

第１実施形態の圧電素子１について、図１Ａ、図１Ｂ、図１Ｃ、図２Ａ、および図２Ｂを参照しつつ説明する。なお、本実施形態の圧電素子１は、例えば、マイクロフォンとして利用されると好適である。また、図１Ａは、図２Ａ中のⅠＡ－ⅠＡ線に沿った断面図に相当し、図１Ｂは、図２Ａ中のⅠＢ－ⅠＢ線に沿った断面図に相当し、図１Ｃは、図２Ａ中のⅠＣ－ⅠＣ線に沿った断面図に相当している。なお、図２Ａでは、後述する第１電極部８１および第２電極部８２等を省略して示している。また、後述の図２Ａに対応する各図においても、第１電極部８１および第２電極部８２等を適宜省略して示している。

【００１６】

本実施形態の圧電素子１は、支持体１０と、振動部２０とを備え、平面形状が矩形状とされている。支持体１０は、一面１１ａおよび他面１１ｂを有する支持基板１１と、支持基板１１の一面１１ａ上に形成された絶縁膜１２とを有している。なお、支持基板１１は、例えば、シリコン基板等で構成され、絶縁膜１２は、酸化膜等で構成されている。

【００１７】

振動部２０は、圧力としての音圧等に応じた圧力検出信号を出力するセンシング部３０を構成するものであり、支持体１０上に配置されている。そして、支持体１０には、振動部２０における内縁側を浮遊させるための凹部１０ａが形成されている。このため、振動部２０は、支持体１０上に配置された支持領域２１ａと、支持領域２１ａと繋がっていると共に凹部１０ａ上で浮遊する浮遊領域２１ｂとを有する構成となっている。なお、本実施形態の凹部１０ａは、振動部２０側の開口端（以下では、単に凹部１０ａの開口端ともいう）の形状が平面矩形状とされている。したがって、浮遊領域２１ｂの全体は、平面矩形状とされている。

【００１８】

そして、浮遊領域２１ｂには、当該浮遊領域２１ｂを厚さ方向に貫通するスリット４０が形成されている。本実施形態では、浮遊領域２１ｂに第１～第４スリット４１～４４が形成されている。第１～第４スリット４１～４４は、平面矩形状とされた浮遊領域２１ｂの各角部から浮遊領域２１ｂの中心部Ｃに向かって延設されている。但し、第１～第４スリット４１～４４は、中心部Ｃに達しないように形成されている。言い換えると、第１～第４スリット４１～４４は、中心部Ｃよりも支持領域２１ａ側で終端するように形成されている。つまり、第１～第４スリット４１～４４は、浮遊領域２１ｂを分割しないように形成されている。

【００１９】

また、本実施形態では、第１～第４スリット４１～４４は、延設方向に沿ったスリット長さＬがそれぞれ等しくなるように形成されている。さらに、本実施形態の第１～第４スリット４１～４４は、振動領域２２の厚さ方向に沿ってスリット幅ｇが一定とされている。そして、このような浮遊領域２１ｂによって振動領域２２が構成され、振動領域２２は

10

20

30

40

50

、支持領域 2 1 a に両持ち支持された状態となっている。

【0020】

なお、第 1～第 4 スリット 4 1～4 4 のスリット幅 g とは、第 1～第 4 スリット 4 1～4 4 の延設方向と直交する方向であって、振動領域 2 2 の面方向に沿った方向の長さである。言い換えると、第 1～第 4 スリット 4 1～4 4 のスリット幅 g とは、第 1 スリット 4 1～4 4 によって露出する振動領域 2 2 の側面 2 2 c 同士の間隔のことである。

【0021】

以下、振動領域 2 2 における支持体 1 0 と反対側の面を振動領域 2 2 の一面 2 2 a とし、振動領域 2 2 における支持体 1 0 側の面を振動領域 2 2 の他面 2 2 b とする。同様に、振動領域 2 2 における第 1～第 4 スリット 4 1～4 4 から露出する面を振動領域 2 2 の側面 2 2 c とする。また、以下では、振動領域 2 2 の一面 2 2 a に対する法線方向において、振動領域 2 2 の外形を形作る 1 辺と、各スリット 4 1～4 4 に沿って延びる仮想線 K 1、K 2 で囲まれる領域を第 1～第 4 振動領域 2 2 1～2 2 4 とする。なお、以下では、振動領域 2 2 の一面 2 2 a に対する法線方向を単に法線方向ともいう。また、振動領域 2 2 の一面 2 2 a に対する法線方向においてとは、言い換えると、振動領域 2 2 の一面 2 2 a に対する法線方向から見たときということもできる。

【0022】

本実施形態では、第 1 スリット 4 1 および第 3 スリット 4 3 に沿って延びる仮想線を仮想線 K 1 とし、第 2 スリット 4 2 および第 4 スリット 4 4 に沿って延びる仮想線を仮想線 K 2 とする。そして、法線方向において、振動領域 2 2 のうちの、第 1 スリット 4 1 と第 2 スリット 4 2 との間を含み、仮想線 K 1 と仮想線 K 2 とで囲まれる領域を第 1 振動領域 2 2 1 とする。法線方向において、振動領域 2 2 のうちの、第 2 スリット 4 2 と第 2 スリット 4 3 との間を含み、仮想線 K 1 と仮想線 K 2 とで囲まれる領域を第 2 振動領域 2 2 2 とする。法線方向において、振動領域 2 2 のうちの、第 3 スリット 4 3 と第 4 スリット 4 4 との間を含み、仮想線 K 1 と仮想線 K 2 とで囲まれる領域を第 3 振動領域 2 2 3 とする。法線方向において、振動領域 2 2 のうちの、第 4 スリット 4 4 と第 1 スリット 4 1 との間を含み、仮想線 K 1 と仮想線 K 2 とで囲まれる領域を第 4 振動領域 2 2 4 とする。そして、本実施形態の振動領域 2 2 は、第 1～第 4 振動領域 2 2 1～2 2 4 が一体化されて形成されている。

【0023】

振動部 2 0 は、圧電膜 5 0、および圧電膜 5 0 と接続される電極膜 6 0 を有する構成とされている。具体的には、圧電膜 5 0 は、下層圧電膜 5 1 と、下層圧電膜 5 1 上に積層される上層圧電膜 5 2 とを有している。電極膜 6 0 は、下層圧電膜 5 1 の下方に配置された下層電極膜 6 1、下層圧電膜 5 1 と上層圧電膜 5 2 との間に配置された中間電極膜 6 2、および上層圧電膜 5 2 上に配置された上層電極膜 6 3 を有している。つまり、振動部 2 0 は、下層圧電膜 5 1 が下層電極膜 6 1 と中間電極膜 6 2 とで挟み込まれており、上層圧電膜 5 2 が中間電極膜 6 2 と上層電極膜 6 3 とで挟み込まれたバイモルフ構造とされている。

【0024】

なお、下層圧電膜 5 1 および上層圧電膜 5 2 は、窒化スカンジウムアルミニウム (ScAlN) や、窒化アルミニウム (AlN) 等の鉛フリーの圧電セラミックス等を用いて構成されている。下層電極膜 6 1、中間電極膜 6 2、上層電極膜 6 3 は、モリブデン、銅、プラチナ、白金、チタン等を用いて構成されている。

【0025】

さらに、本実施形態の振動部 2 0 は、下層圧電膜 5 1 および下層電極膜 6 1 が配置される下地膜 7 0 を有している。つまり、支持体 1 0 上には、下地膜 7 0 を介して圧電膜 5 0 および電極膜 6 0 が配置されている。下地膜 7 0 は、必ずしも必要なものではないが、下層圧電膜 5 1 等を成膜する際の結晶成長をし易くするために備えられている。なお、本実施形態では、下地膜 7 0 は窒化アルミニウム等で構成される。また、圧電膜 5 0 は、厚さが $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度とされており、下地膜 7 0 は、厚さが数十 nm 程度とされている。つまり、下地膜 7 0 は、圧電膜 5 0 に対して極めて薄くされている。

【0026】

また、本実施形態の各振動領域22は、振動領域22が振動した際に固定端となる支持領域21a側の部分が第1領域R1とされ、中心部C側が第2領域R2とされている。そして、下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、それぞれ第1領域R1および第2領域R2に形成されている。但し、第1領域R1に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63と、第2領域R2に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63とは、分離されており、絶縁された状態となっている。また、第1領域R1に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、支持領域21aまで適宜延設されている。

【0027】

本実施形態では、下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、第1～第4スリット41～44に達しないように形成されている。つまり、下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、振動領域22のうちの第1～第4スリット41～44から露出する側面22cよりも内側で終端するように形成されている。言い換えると、下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、法線方向において、第1～第4スリット41～44よりも内側に配置されている。このため、振動領域22の側面22cは、下層圧電膜51、上層圧電膜52、および下地膜70で構成されている。

【0028】

振動部20の支持領域21aには、第1領域R1に形成された下層電極膜61および上層電極膜63と電氣的に接続される第1電極部81と、第1領域R1に形成された中間電極膜62と電氣的に接続される第2電極部82とが形成されている。なお、上記のように、図2Aでは、第1電極部81および第2電極部82を省略して示している。

【0029】

第1電極部81は、上層電極膜63、上層圧電膜52、下層圧電膜51を貫通した孔部81aに形成され、下層電極膜61および上層電極膜63と電氣的に接続される貫通電極81bを有している。本実施形態では、貫通電極81bは、第1振動領域221に形成された下層電極膜61および上層電極膜63と電氣的に接続されている。また、第1電極部81は、貫通電極81b上に形成されて貫通電極81bと電氣的に接続されるパッド部81cを有している。

【0030】

第2電極部82は、上層圧電膜52を貫通して中間電極膜62を露出させる孔部82aに形成され、中間電極膜62と電氣的に接続される貫通電極82bを有している。本実施形態では、貫通電極82bは、第4振動領域224に形成された中間電極膜62と電氣的に接続されている。また、第2電極部82は、貫通電極82b上に形成されて貫通電極82bと電氣的に接続されるパッド部82cを有している。

【0031】

なお、第1電極部81および第2電極部82は、電極膜60と同様に、モリブデン、銅、白金、チタン、アルミニウム等を用いて構成されている。また、第2領域R2に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、各電極部81、82と電氣的に接続されておらず、フローティング状態となっている。このため、第2領域R2に形成される下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、必ずしも必要ではないが、本実施形態では、下層圧電膜51および上層圧電膜52のうちの第2領域R2に位置する部分を保護するために設けてある。

【0032】

また、第1領域R1に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、第1～第4振動領域221～224で分割されている。つまり、第1領域R1に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、第1～第4振動領域221～224を跨ぐようには形成されていない。そして、各振動領域221～224の第1領域R1に形成された下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、図示しない配線膜等を介して接続されている。

【0033】

なお、本実施形態の下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、図2Bに示されるように、第1領域R1に形成されている部分の外形が振動領域22の外形と略等しくなるように形成されており、本実施形態では平面矩形状とされている。但し、下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63は、上記のように第1～第4振動領域221～224で分割されている。このため、ここでの下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63の第1領域R1に形成されている部分の外形とは、下層電極膜61、中間電極膜62、上層電極膜63における第1領域R1に位置する部分の外形線および当該外形線の延長線で構成される形状のことである。また、図2Bは、断面図ではないが、理解をし易くするため、第1領域R1に形成されている電極膜60にハッチングを施してある。さらに、図2Bでは電極膜60を示しているが、電極膜60となる下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、第1領域R1において、それぞれ図2Bの電極膜60と同様の形状とされている。

10

【0034】

そして、本実施形態の圧電素子1は、第1～第4振動領域221～224における電荷の変化を1つの圧力検出信号として出力するように構成されている。具体的には、各振動領域221～224は、バイモルフ構造とされており、図3に示されるように、各振動領域22に形成される各下層電極膜61、各中間電極膜62、各上層電極膜63がそれぞれ並列に接続されつつ、各振動領域22間が直列に接続されている。そして、圧電素子1は、第1電極部81と第2電極部82との電位差を圧力検出信号として出力する。この場合、例えば、第2電極部82がグランドと接続され、圧電素子1は、グランドと第1電極部81との電位差を圧力検出信号として出力する。

20

【0035】

次に、このような圧電素子1における製造方法について、図4A、図4B、および図4Cを参照して簡単に説明する。なお、図4A～図4Cは、図1Cに相当する部分の断面図である。

【0036】

まず、図4Aに示されるように、支持基板11および絶縁膜12を有する支持体10上に、下地膜70、圧電膜50、電極膜60、第1電極部81、第2電極部82等が形成されたものを用意する。つまり、図1Cに示す圧電素子1における凹部10aおよび第1～第4スリット41～44が形成されていないものを用意する。なお、図Aの工程で構成される圧電膜50および電極膜60等は、振動部20を構成する部分である。このため、図4A中では、振動領域22の一面22aおよび他面22bと同じ符号を付してある。また、第1電極部81および第2電極部82は、図4Aとは別断面に形成されている。

30

【0037】

ここで、下地膜70、圧電膜50、および電極膜60等は、一般的なスパッタやエッチング等を適宜行うことによって構成される。この場合、支持体10上に下地膜70や電極膜60としての下層電極膜61を形成する際、下地膜70および下層電極膜61は、下地膜70および下層電極膜61の線膨張係数が支持体10の線膨張係数より大きいため、引張応力が残存する状態で形成される。このため、そのまま圧電膜50を形成した場合、圧電膜50は、下地膜70および下層電極膜61の引張応力に起因する引張応力が残存した状態で形成され易い。そして、圧電膜50に引張応力が残存していると、圧電素子1の特性変動が発生し易い。したがって、圧電膜50を成膜する際には、例えば、次のようにすることが好ましい。

40

【0038】

例えば、上層圧電膜52を成膜する際には、下層圧電膜51を成膜する際よりも、スパッタ時に印加する電圧を大きくすることにより、上層圧電膜52に圧縮応力が発生するようにすることが好ましい。これにより、下層圧電膜51の引張応力と上層圧電膜52の圧縮応力とが相殺され、圧電膜50の全体として内部に残存する応力を低減できる。この場合、上層圧電膜52を複数回のスパッタによって成膜するようにしてもよい。そして、上

50

層圧電膜 5 2 のうちの、下層圧電膜 5 1 側の部分では引張応力が発生するようにすると共に下層圧電膜 5 1 と反対側となる最上層側の部分に圧縮応力が発生するようにすることにより、圧電膜 5 0 として内部に残存する応力を低減するようにしてもよい。

【0039】

次に、図 4 B に示されるように、図示しないマスクを用いて異方性ドライエッチングを行い、圧電膜 5 0 を貫通して支持体 1 0 に達する第 1 ～第 4 スリット 4 1 ～4 4 を形成する。これにより、後述する凹部 1 0 a を形成することで振動領域 2 2 となる振動領域構成部分 2 2 0 が構成される。なお、第 2、第 3 スリット 4 3、4 4 は、図 4 B とは別断面に形成される。また、振動領域構成部分 2 2 0 は、凹部 1 0 a を形成することで振動領域 2 2 となる部分である。このため、図中では、振動領域構成部分 2 2 0 の一面、他面、および側面に対して振動領域 2 2 の一面 2 2 a、他面 2 2 b、および側面 2 2 c と同じ符号を付してある。

10

【0040】

続いて、図 4 C に示されるように、図示しないマスクを用い、支持基板 1 1 の他面 1 1 b から絶縁膜 1 2 を貫通して下地膜 7 0 に達するようにエッチングを行って凹部 1 0 a を形成する。本実施形態では、支持基板 1 1 を異方性ドライエッチングで除去した後、絶縁膜 1 2 を等方性ウェットエッチングで除去して凹部 1 0 a を形成する。これにより、振動領域構成部分 2 2 0 が支持体 1 0 から浮遊して振動領域 2 2 が構成され、図 1 に示す圧電素子 1 が製造される。

20

【0041】

なお、この工程では、特に図示しないが、上層圧電膜 5 2 や上層電極膜 6 3 を覆う保護レジスト等を配置して凹部 1 0 a を形成するようにしてもよい。これにより、凹部 1 0 a を形成する際に振動領域 2 2 が破壊されることを抑制できる。但し、保護レジストは、凹部 1 0 a が形成された後に除去される。

【0042】

以上が本実施形態における圧電素子 1 の構成である。次に、このような圧電素子 1 を用いた圧電装置 S 1 0 について説明する。

【0043】

本実施形態の圧電装置は、図 5 に示されるように、圧電素子 1 がケーシング 1 0 0 に收容されて構成されている。ケーシング 1 0 0 は、圧電素子 1 および所定の信号処理等を行う回路基板 1 1 0 が搭載されるプリント基板 1 0 1 と、圧電素子 1 および回路基板 1 1 0 を收容するようにプリント基板 1 0 1 に固定される蓋部 1 0 2 とを有している。なお、本実施形態では、プリント基板 1 0 1 が被実装部材に相当する。

30

【0044】

プリント基板 1 0 1 は、特に図示しないが、配線部やスルーホール電極等が適宜形成された構成とされており、必要に応じて図示しないコンデンサ等の電子部品等も搭載されている。そして、圧電素子 1 は、支持基板 1 1 の他面 1 1 b が接着剤等の接合部材 2 を介してプリント基板 1 0 1 の一面 1 0 1 a に搭載されている。回路基板 1 1 0 は、導電性部材で構成される接合部材 1 1 1 を介してプリント基板 1 0 1 の一面 1 0 1 a に搭載されている。そして、圧電素子 1 のパッド部 8 1 c と回路基板 1 1 0 とは、ボンディングワイヤ 1 2 0 を介して電氣的に接続されている。なお、圧電素子 1 のパッド部 8 2 c は、図 5 とは別断面において、ボンディングワイヤ 1 2 0 を介して回路基板 1 1 0 と電氣的に接続されている。蓋部 1 0 2 は、金属、プラスチック、または樹脂等で構成されており、圧電素子 1 および回路基板 1 1 0 を收容するように、図示しない接着剤等の接合部材を介してプリント基板 1 0 1 に固定されている。

40

【0045】

そして、本実施形態では、プリント基板 1 0 1 のうちのセンシング部 3 0 と対向する部分に、外部空間と連通した貫通孔 1 0 1 b が形成されている。具体的には、貫通孔 1 0 1 b は、略円筒状とされており、法線方向において、中心軸が振動領域 2 2 のうちの中心部 C と一致するように形成されている。

50

【0046】

以上が本実施形態における圧電装置S10の構成である。以下、ケーシング100内において、貫通孔101bが形成される部分と振動領域22との間の空間を受圧面空間S1とする。また、振動領域22を挟んで受圧面空間S1と反対側に位置する空間を含み、当該空間とスリット40を介さずに連続した空間をバック空間S2とする。なお、バック空間S2は、ケーシング100内の空間において、受圧面空間S1と異なる空間であるともいうことができ、受圧面空間S1を除いた空間ということもできる。さらに言い換えると、受圧面空間S1は、振動領域22におけるケーシング100に形成された貫通孔101b側の面（すなわち、本実施形態では他面22b）を押圧するのに影響する空間ともいえる。バック空間S2は、振動領域22におけるケーシング100に形成された貫通孔101b側と反対側の面（すなわち、本実施形態では一面22a）を押圧するのに影響する空間ともいえる。

10

【0047】

次に、上記圧電装置S10における作動および効果について説明する。

【0048】

本実施形態の圧電装置S10では、受圧面空間S1に圧力としての音圧が導入されて振動領域22（すなわち、センシング部30）に音圧が印加されると、振動領域22が振動する。そして、下層圧電膜51および上層圧電膜52には、振動領域22の変位に応じた応力に基づく電荷が発生する。したがって、このような圧電装置S10では、第1電極部81および第2電極部82から当該電荷を取り出すことにより、音圧が検出される。

20

【0049】

この際、振動領域22（すなわち、圧電膜50）に発生する応力は、振動領域22が支持されている固定端側が中心部Cより大きくなり易い。このため、本実施形態の圧電素子1では、上記のように、振動領域22が、応力が大きくなり易い第1領域R1と、応力が小さくなり易い第2領域R2とに分けられている。そして、圧電素子1では、第1領域R1に配置されている下層電極膜61、上層電極膜63、中間電極膜62が第1、第2電極部81、82と接続され、第1領域R1に位置する下層圧電膜51および上層圧電膜52に発生する電荷が取り出されるようにしている。これにより、ノイズの影響が大きくなることを抑制できる。

【0050】

30

ここで、圧電素子1における振動領域22の共振周波数f（以下では、単に圧電素子1の共振周波数fともいう）は、梁となる振動領域22のバネ定数kと、振動領域22の質量mに依存し、下記数式1で示される。

【0051】

【数1】

$$f = \frac{1}{2} \times \pi \times \left(\frac{k}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

この場合、上記のような圧電素子1では、圧電膜50が1μm程度の薄膜とされているため、質量mを軽量化することが困難である。このため、本実施形態では、振動領域22を両持ち支持構造とし、バネ定数kを大きくするようにしている。これにより、共振周波数fを大きくできる。

40

【0052】

例えば、図2Aに示されるように、第1スリット41と振動領域22の中心部Cとの間の長さを第1長さXとし、第2スリット42と振動領域22の中心部Cとの間の長さを第2長さYとする。本実施形態では、上記のように第1～第4スリット41～44のスリット長さLが等しくされているため、第1長さXと第2長さYとが等しくなる。そして、第1長さXと第2長さYとの和を連結長さ（すなわち、X+Y）とすると、連結長さと共振周波数fとの関係は、図6のように示される。

50

【0053】

具体的には、振動領域22が両持ち支持されている場合、連結長さを長くするほどバネ定数（すなわち、剛性）が大きくなるため、振動領域22が片持ち支持されている場合と比較すると、共振周波数 f が大きくなることが確認される。このため、図7に示されるように、連結長さを調整することにより、共振周波数 f を可聴域である20000Hz（すなわち、20kHz）より大きくできる。言い換えると、連結長さを調整することにより、周波数が1000Hz（すなわち、1kHz）である場合の出力信号を基準（すなわち、0dB）とすると、出力信号が+3dBとなる周波数より大きい周波数に共振周波数 f を存在させることができるようになる。これにより、検出感度を維持できる周波数を広域化できる。但し、本実施形態の振動領域22は、圧電膜50の厚さが1 μ m程度とされるため、連結長さが300 μ m程度となると、共振周波数 f が22.5kHz程度で飽和する。なお、出力信号が-3dBより小さい周波数に低周波ロールオフ周波数が存在できるようにすることにより、さらに検出感度を維持できる周波数を広域化できる。この低周波ロールオフ周波数については、後述の第8実施形態にて具体的に説明する。

10

【0054】

一方、図8に示されるように、連結長さを長くするほどバネ定数が大きくなって振動領域22が変形し難くなるため、発生応力比が小さくなる。つまり、連結長さを長くするほど感度が低くなる。この場合、図9に示されるように、入力される音圧の周波数が一定であるとする、感度を低くすることにより、AOP（Acoustic Over Pointの略）を大きくできる。したがって、連結長さは、使用される用途に応じて調整されることが好ましい。なお、図8中の発生応力比は、振動領域22が片持ち支持されている場合の振動領域22と支持領域21aとの境界に発生する応力を基準としている。そして、発生応力比は、当該基準の応力に対する、振動領域22が両持ち支持されている場合の振動領域22と支持領域21aとの境界に発生する応力の比を示している。

20

【0055】

以上説明した本実施形態によれば、圧電素子1は、振動領域22が両持ち支持されている。このため、振動領域22が片持ち支持されている場合と比較すると、共振周波数 f を大きくできる。したがって、検出感度を維持できる周波数を広域化でき、検出精度の向上を図ることができる。

【0056】

（1）本実施形態では、圧電素子1の共振周波数 f を20kHz以上とすることもできる。このため、このような圧電素子1では、共振周波数 f を可聴域外にすることができ、可聴域での検出感度を維持できる周波数を広域化できる。

30

【0057】

（第1実施形態の変形例）

上記第1実施形態の変形例について説明する。上記のように、連結長さは、用途および検出感度との関係に応じて適宜調整されることが好ましい。この場合、図10Aに示されるように、第1スリット41および第3スリット43と、第2スリット42および第4スリット44とのスリット長さ L が異なるように形成されていてもよい。そして、第1長さ X および第2長さ Y は、同じ距離とされていなくてもよく、第1長さ X が第2長さ Y より短くされていてもよい。また、特に図示しないが、第1長さ X および第2長さ Y は、第1長さ X が第2長さ Y より長くされていてもよい。

40

【0058】

さらに、第1～第4スリット41～44は、図10Bに示されるように、振動領域22における第1領域R1のみに形成されていてもよい。また、特に図示しないが、第1～第4スリット41～44のスリット長さ L がそれぞれ異なるように形成されていてもよい。

【0059】

このように、本実施形態の圧電素子1は、第1～第4スリット41～44のスリット長さ L が適宜変更可能であり、搭載される製品に応じて変更可能である。したがって、本実施形態の圧電素子1では、搭載される製品の選択性の向上を図ることもできる。

50

【0060】

また、振動領域22における平面形状は、適宜変更可能である。例えば、振動領域22は、図11A～図11Gに示されるように、平面形状が、六角形状、八角形上、十角形状、十二角形状、十四角形状、十六角形状、または円形状とされていてもよい。また、特に図示しないが、振動領域22は、その他の多角形状とされていてもよい。なお、図11A～図11Gでは、振動領域22に形成されるスリット40を省略しているが、振動領域22には、それぞれスリット40が形成される。例えば、図11Aのように振動領域22の平面形状が六角形状である場合、スリット40は、振動領域22の外形の各角部から中心部Cに向かって6本形成される。また、図11Gのように振動領域22の平面形状が円形状である場合、スリット40は、所望する複数が周方向に均等に形成される。

10

【0061】

さらに、図12に示されるように、電極膜60は、第1領域R1において複数の電荷領域60aに分割されていてもよい。例えば、電極膜60は、各振動領域221～224の第1領域R1において、3つの電荷領域60aに分割されていてもよい。なお、電極膜60となる下層電極膜61、中間電極膜62、および上層電極膜63は、第1領域R1において、それぞれ図12のように電荷領域60aに分割される。この場合、図13に示されるように、圧電素子1は、分割された各電荷領域60aによって構成される容量がそれぞれ直列に接続された状態となる。これによれば、各振動領域221～224内の容量を低減することができ、出力の向上を図ることができる。つまり、検出感度の向上を図ることができる。

20

【0062】

(第2実施形態)

第2実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、第1～第4スリット41～44の形状を変更したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0063】

本実施形態の圧電素子1では、図14に示されるように、第1～第4スリット41～44は、法線方向において、中心部Cに向かってスリット幅gが狭くされたテーパ状とされている。

【0064】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数fを大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

30

【0065】

(1) 本実施形態では、第1～第4スリット41～44が振動領域22の中心部Cに向かってスリット幅gが狭くなるテーパ状とされている。このため、振動領域22に音圧が印加されて振動領域22が撓んだ際、撓んだ状態での第1～第4スリット41～44のスリット幅gが均一化し易くなる。言い換えると、振動領域22が撓んだ際、第1～第4スリット41～44は、法線方向において、支持領域21a側の部分と中心部c側の部分とでスリット幅gが均一化し易くなる。したがって、第1～第4スリット41～44内で局所的な音圧の抜け易さに差が発生し難くなり、ノイズを小さくできる。このため、さらに検出精度の向上を図ることができる。

40

【0066】

(第3実施形態)

第3実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、第1領域R1と第2領域R2との区画の仕方を変更したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0067】

本実施形態の圧電素子1は、上記第1実施形態と同様の構成とされており、振動領域22が両持ち支持されている。ここで、図15に示されるように、振動領域22の他面22

50

b側から音圧が印加されたとする。この場合、図16に示されるように、振動領域22には、支持領域21a側に最大曲げモーメント M_{max} が発生し、中心部Cにも大きな曲げモーメントが発生する。なお、圧電膜50には、図17に示されるように、下層圧電膜51と上層圧電膜52とに反対の応力が発生している。また、圧電膜50には、支持領域21側の外縁部分と、中心部C側の内縁部分とにおいて、反対の応力が発生している。つまり、圧電膜50には、第1領域R1に位置する部分と、中心部C側に位置する部分とにおいて、反対の応力が発生している。

【0068】

したがって、本実施形態では、図18に示されるように、振動領域22の中心部C、およびその周辺部を含む中心領域225も第1領域R1とし、この中心領域225の電荷も取り出すようにしている。なお、中心領域225は、第1～第4振動領域221～224における中心部C側の領域にて構成される領域ともいえる。

【0069】

具体的には、本実施形態では、図19に示されるように、中心領域225の電荷が第1～第4振動領域221～224の電荷と合算して出力されるようにしている。詳しくは、本実施形態の圧電素子1には、第1電極部81および第2電極部82に加え、第3電極部83および第4電極部84が形成されている。中心領域225では、下層電極膜61および上層電極膜63が第3電極部83と電氣的に接続され、中間電極膜62が第4電極部84と接続されている。なお、中間電極膜62と接続される第4電極部82は、第2電極部82と同様に、例えば、グランドに接続される。また、圧電膜50には、第1領域R1に位置する部分と、中心領域225に位置する部分とにおいて、反対の応力が発生している。このため、圧電素子1は、第1電極部81と第2電極部82との電位差に基づく出力と、第3電極部83と第4電極部84との電位差に基づく出力との差分を全体の圧力検出信号として出力する。

【0070】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数 f を大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0071】

(1) 本実施形態では、振動領域22における中心領域225の電荷も取り出すようにしている。このため、検出感度の向上を図ることができる。

【0072】

(第4実施形態)

第4実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、振動領域22の構成を変更したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0073】

本実施形態の圧電素子1では、図20および図21に示されるように、第1～第4スリット41～44が振動領域22の中心部Cまで延設されている。すなわち、第1～第4スリット41～44は、中心部Cで交差するように形成されている。このため、第1～第4振動領域221～224は、第1～第4スリット41～44によって区画された状態となっている。なお、図20は、図21中のXX-XX線に沿った断面図に相当している。また、図21は、断面図ではないが、理解をし易くするため、後述する連結部材90にハッチングを施してある。

【0074】

そして、本実施形態では、第1～第4スリット41～44のうちの中心部Cおよびその近傍に連結部材90が埋め込まれている。本実施形態では、この連結部材90によって第1～第4振動領域221～224が一体化され、振動領域22が支持領域21aに両持ち支持された状態となっている。本実施形態の連結部材90は、圧電膜50よりも剛性の低い材料で構成され、例えば、イオン液体にポリイミド成分を混ぜた材料が150℃程度の

10

20

30

40

50

熱処理で硬化されたもので構成される。なお、イオン液体とは、イオンのみ（すなわち、アニオンおよびカチオン）から構成される塩の液体化合物のことである。

【0075】

このような圧電素子1は、例えば、次のように製造される。すなわち、上記図4Bの工程で第1～第4スリット41～44を形成する際、第1～第4スリット41～44が振動領域22の中心部Cで交差するようにする。その後、上層電極膜63等を覆うようにフォトレジスト等を配置し、連結部材90が配置される部分に開口部が形成されるようにフォトレジストをパターニングする。次に、スピコート法等により、第1～第4スリット41～44に連結部材90を埋め込み、加熱処理を行って硬化する。続いて、フォトレジストを除去するリフトオフを行うことにより、第1～第4スリット41～44に連結部材90が配置された状態とする。その後、上記図4Cの工程を行うことにより、図20および図21に示す圧電素子1が製造される。

10

【0076】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数 f を大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0077】

(1) 本実施形態のように、連結部材90によって振動領域22を両持ち支持するようにしてもよい。

【0078】

(2) 本実施形態では、連結部材90は、圧電膜50よりも剛性の低い材料で構成されている。このため、連結部材90が圧電素子1の検出感度に影響することを抑制できる。

20

【0079】

(第5実施形態)

第5実施形態について説明する。本実施形態は、第4実施形態に対し、振動領域22の構成を変更したものである。その他に関しては、第4実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0080】

本実施形態の圧電素子1では、図22および図23に示されるように、第1～第4スリット41～44に連結部材90が配置されておらず、振動領域22の一面22a上に連結部材91が配置されている。なお、図22は、図23中のXXII-XXII線に沿った断面図に相当している。また、図23は、断面図ではないが、理解をし易くするため、後述する連結部材91にハッチングを施してある。

30

【0081】

具体的には、連結部材91は、振動領域22の一面22a上において、第1～第4スリット41～44のうちの中心部Cおよびその近傍の部分を被覆する（すなわち、跨ぐ）ように配置されている。本実施形態では、このようにして第1～第4振動領域221～224が一体化され、振動領域22が支持領域21aに両持ち支持された状態となっている。なお、連結部材91は、圧電膜50よりも剛性の低い材料で構成され、例えば、ポリイミド等によって構成される。より詳しくは、連結部材90は、ポリジメチルシロキサン（すなわち、PDMS）等によって構成される。

40

【0082】

このような圧電素子1は、例えば、次のように製造される。すなわち、第1～第4スリット41～44を振動領域22の中心部Cで交差するように形成した後、スピコート法等によって連結部材91を配置する。なお、本実施形態では、スピコート法を行った際に第1～第4スリット41～44内に連結部材91が入り込まないように、連結部材91の粘性が調整されている。続いて、フォトレジストを用いて連結部材91をパターニングする。その後、上記図4Cの工程を行うことにより、上記図22および図23に示す圧電素子1が製造される。

【0083】

50

以上説明した本実施形態によれば、振動領域 2 2 が両持ち支持されている。このため、圧電素子 1 の共振周波数 f を大きくでき、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0084】

(1) 本実施形態のように、連結部材 9 1 によって振動領域 2 2 を両持ち支持するようにしてもよい。

【0085】

(2) 本実施形態では、連結部材 9 1 が圧電膜 5 0 よりも剛性の低い材料で構成されているため、上記第 4 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0086】

(第 6 実施形態)

本実施形態では、第 1 実施形態に対し、振動領域 2 2 および中間電極膜 6 2 の形状を調整したものである。その他に関しては、第 1 実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0087】

本実施形態の圧電素子 1 について、図 2 4 A および図 2 4 B を参照しつつ説明する。なお、図 2 2 では、スリット 4 0 を省略して示している。但し、スリット 4 0 は、実際には、上記第 1 実施形態と同様に、振動領域 2 2 の平面形状における各角部から中心部 C に向かって延設されている。

【0088】

振動領域 2 2 は、図 2 4 A に示されるように、法線方向において、外形が正八角形状とされている。つまり、支持体 1 0 の凹部 1 0 a は、開口部の形状が正八角形状とされている。以下、振動領域 2 2 が正八角形状とされている理由について説明する。上記のように、本実施形態では、支持基板 1 1 がシリコンで構成されている。このため、凹部 1 0 a の開口部の形状（すなわち、振動領域 2 2 の外形）を正八角形状とすることにより、支持基板 1 1 における凹部 1 0 a の開口端（すなわち、振動領域 2 2 の外側端部）の局所箇所に変形が集中することを抑制できる。このため、振動領域 2 2 における支持領域 2 1 a との境界部の局所箇所に変形が集中することを抑制できる。

【0089】

また、本実施形態の電極膜 6 0 は、図 2 4 B に示されるように、法線方向において、第 1 領域 R 1 に形成される部分の外形が正八角形状とされている。つまり、電極膜 6 0 は、第 1 領域において、外縁部が凹部 1 0 a の開口端と略一致するように形成されている。そして、電極膜 6 0 は、第 1 領域 R 1 に形成される部分がスリット 4 0 とは異なる電極膜用スリット 6 0 b によって分離されている。具体的には、電極膜用スリット 6 0 b は、6 本形成されており、各電極膜用スリット 6 0 b 内の所定箇所を結んで構成される仮想形状（以下では、単に仮想形状ともいう）K S が六角形状となるように形成されている。より詳しくは、電極膜用スリット 6 0 b は、各電極膜用スリット 6 0 b と電極膜 6 0 の外形とが交差する部分を結んで構成される仮想形状が六角形状となるように形成されている。

【0090】

なお、ここでの電極膜 6 0 の第 1 領域 R 1 に位置する部分の外形とは、上記のように、電極膜 6 0 における第 1 領域 R 1 に位置する部分の外形線および当該外形線の延長線で構成される形状のことである。

【0091】

以下、電極膜 6 0 の仮想形状 K S が六角形状とされている理由について説明する。上記のように、電極膜 6 0 および圧電膜 5 0 は、下層電極膜 6 1、下層圧電膜 5 1、中間電極膜 6 2、上層圧電膜 5 2、上層電極膜 6 3 の順に積層されて配置されている。そして、下層電極膜 6 1、中間電極膜 6 2、上層電極膜 6 3 を形成する際には、金属膜を成膜した後、マスクを用いたドライエッチング等で金属膜を所望の形状にパターンニングする。この際、マスクを用いているものの、下地となる下層圧電膜 5 1 や上層圧電膜 5 2 がエッチングされる可能性がある。この場合、圧電膜 5 0 を S c A l N や A l N 等で構成した場合には

10

20

30

40

50

六方晶構造となるため、電極膜 60 の仮想形状 K S を六角形状とすることにより、圧電膜 50 の表面がエッチングされた際に圧電膜 50 の結晶性が崩れることを抑制できる。つまり、電極膜用スリット 60 b が形成される部分を圧電膜 50 の結晶構成に合わせることににより、圧電膜 50 の特性が変動することを抑制できる。

【0092】

そして、本実施形態の圧電素子 1 は、図 25 に示されるように、各電極膜 61 ~ 63 の間の容量が接続される。本実施形態では、上記のように、電極膜 60 がスリット 40 とは別の電極膜用スリット 60 b によって 6 個に分割されている。このため、本実施形態の圧電素子 1 は、6 個に分割された領域 226 を有し、各領域 226 の容量に基づいた圧力検出信号を出力する。

【0093】

なお、本実施形態の電極膜 60 は、上記のように電極膜用スリット 60 b によって分離されており、スリット 40 によって分離されていない。このため、図 26 に示されるように、電極膜 60 は、スリット 40 が形成される部分において、繋がった状態となっている。このような圧電素子 1 は、例えば、図 4 A および図 4 B の工程を行う際、各膜を形成する毎にスリット 40 または電極膜用スリット 60 b を形成することによって製造される。例えば、下地膜 70 を形成した後、下地膜 70 上に金属膜を形成する。そして、金属膜をパターンニングして下層電極膜 61 を形成する際に電極膜用スリット 60 b を形成する。その後、下層電極膜 61 上に下層圧電膜 51 を形成し、中間電極膜 62 を形成する前に、下層圧電膜 51 に、下層圧電膜 51 のみを貫通するスリット 40 を形成すればよい。その後、中間電極膜 62、上層圧電膜 52、および上層電極膜 63 も同様に形成することにより、本実施形態の圧電素子 1 が製造される。

【0094】

また、本実施形態の電極膜 60 は、実際には、中心部 C と反対側の外縁端部が第 1 領域 R1 の外側まで形成されていると共に、内縁端部が第 2 領域 R2 内まで形成されている。このため、金属膜を成膜した後、当該金属膜を所望の形状にパターンニングして中間電極膜 62 や上層電極膜 63 を形成する際、電極膜用スリット 60 b と異なる部分では、圧電膜 50 が除去されたとしても、第 1 領域 R1 外の圧電膜 50 が除去される。したがって、仮想形状 K S を六角形状とすることにより、検出精度が低下することを抑制できる。

【0095】

また、振動領域 22 および電極膜 60 の仮想形状 K S は、中心部 C を基準として点対称となるように配置されている。本実施形態では、法線方向において、電極膜 60 の仮想形状 K S が六角形状とされ、振動領域 22 の外形が正八角形状とされている。そして、振動領域 22 および電極膜 60 は、電極膜 60 の仮想形状 K S における相対する 2 つの頂点と、振動領域 22 の外形における相対する 2 つの頂点とが一致するように配置されている。言い換えると、振動領域 22 における相対する 2 つの頂点を結ぶ仮想線 K3 上に、電極膜 60 の仮想形状 K S における相対する 2 つの頂点が配置されている。

【0096】

さらに、本実施形態の圧電素子 1 (すなわち、振動部 20) は、上記のように平面矩形形状とされている。そして、振動領域 22 および電極膜 60 の仮想形状 K S は、圧電素子 1 の外形における相対する角部を結ぶ仮想線 K4 上と異なる部分に各角部が位置するように形成されている。

【0097】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域 22 が両持ち支持されている。このため、圧電素子 1 の共振周波数 f を大きくでき、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0098】

(1) 本実施形態では、法線方向において、振動領域 22 および電極膜 60 は、中心部 C を基準として点対称となるように配置されている。このため、振動領域 22 に音圧が印加された際、電極膜 60 から均等に電荷を取り出し易くできる。したがって、検出感度が

10

20

30

40

50

低下することを抑制でき、検出精度が低下することを抑制できる。

【0099】

(2) 本実施形態では、振動領域22および電極膜60の仮想形状KSは、圧電素子1の外形における相対する角部を結ぶ仮想線K4上と異なる部分に各角部が位置するように形成されている。このため、検出精度が低下することを抑制できる。すなわち、圧電素子1では、相対する角部を結ぶ仮想線K4上となる部分が熱応力等によって歪み易い。この場合、振動領域22の角部または電極膜60の仮想形状KSの角部が仮想線K4上に位置していると、変形し易い角部に大きな熱応力が印加され易くなり、ノイズが大きくなり易い。したがって、本実施形態のように、振動領域22および電極膜60の角部が仮想線K4上と異なる部分に位置するようにすることにより、検出精度が低下することを抑制できる。

10

【0100】

(3) 本実施形態では、電極膜60の仮想形状KSが六角形状とされている。このため、電極膜60をパターンニングして構成する際に圧電膜50の結晶性が崩れることを抑制できる。したがって、圧電素子1の特性が変動することを抑制できる。

【0101】

(4) 本実施形態では、振動領域22の外形が正八角形状とされている。このため、振動領域22の局所箇所歪が集中することを抑制できる

【0102】

(第6実施形態の変形例)

上記第6実施形態の変形例について説明する。上記第6実施形態において、振動領域22および電極膜60が中心部Cを基準として点対称となるように配置されていれば、上記第6実施形態と同様に、電極膜60から均等に電荷を取り出し易くできる。このため、例えば、図27に示されるように、振動領域22および電極膜60は、振動領域22における相対する一対の辺の中心と中心部Cとを結ぶ仮想線K3上に、電極膜60における仮想形状KSにおける一対の頂点が位置するように配置されていてもよい。なお、このような構成とする場合においても、振動領域22および電極膜60は、各角部が仮想線K4上と異なる部分に位置するように形成されることが好ましい。また、図27では、図24Aと同様に、スリット40の図示を省略している。

20

【0103】

さらに、上記第6実施形態において、第1実施形態の変形例と同様に、電極膜60は、図28に示されるように、第1領域R1において、複数の電荷領域60aに分割されていてもよい。そして、図29に示されるように、分割された各電荷領域60aがそれぞれ直列に接続されるようにしてもよい。なお、電極膜60をこのように構成する場合、圧電膜50に形成されるスリット40によって電極膜60を形成するようにしてもよい。

30

【0104】

(第7実施形態)

第7実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、圧電装置S10の貫通孔101bの形成場所を特定したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0105】

本実施形態の圧電装置S10では、図30および図31に示されるように、第1～第4スリット41～44は、プリント基板101に形成された貫通孔101bと対向する部分と異なる部分に形成されている。言い換えると、貫通孔101bは、プリント基板101のうちの第1～第4スリット41～44と対向する部分と異なる部分に形成されている。なお、図30では、貫通孔101bと対向する部分を破線で示している。

40

【0106】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数fを大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0107】

50

(1) 本実施形態では、第1～第4スリット41～44がプリント基板101に形成された貫通孔101bと対向する部分と異なる部分に形成されている。このため、音圧が第1～第4スリット41～44を通じてバック空間S2にそのまま流れ込むことを抑制できる。これにより、第1～第4スリット41～44のブラウン運動に起因するノイズを低減できる。また、第1～第4スリット41～44にダスト等の異物が堆積することを抑制できる。

【0108】

(第8実施形態)

第8実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、スリット長さL等を規定したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0109】

本実施形態の圧電装置S10は、基本的には第1実施形態と同様であり、図32に示すように構成とされている。なお、図32中の圧電素子1は、図1Cの圧電素子1に相当している。また、図32は、後述する音響抵抗Rg等を模式的に示している。この場合、圧電装置S10における感度は、圧電素子1の音響コンプライアンスをCmとし、バック空間S2の音響コンプライアンスをCbとすると、 $1 / \{ (1 / C_m) + (1 / C_b) \}$ で示される。なお、音響コンプライアンスCbは、下記数式2で示される。

【0110】

【数2】

$$C_b = \frac{V_b}{\rho_0 \times c^2}$$

上記数式2において、Vbはバック空間S2の容積であり、p0は空気密度であり、cは音速である。そして、音響コンプライアンスCbは、バック空間S2の容積Vbに比例する。このため、音響コンプライアンスCbの感度に対する影響は、バック空間S2が小さくなるほど小さくなる。そして、現状では、圧電装置S10の小型化が望まれており、圧電装置S10の小型化を図ることでバック空間S2も小さくなる。したがって、圧電装置S10の感度は、圧電素子1の音響コンプライアンスCmの影響が大きくなる。

【0111】

ここで、上記第1実施形態では、圧電素子1の共振周波数を大きくすることによって感度を維持できる周波数を広域化している。この場合、低周波ロールオフ周波数を小さくすることによっても、感度を維持できる周波数を広域化できる。このため、本実施形態では、低周波ロールオフ周波数を小さくするようにしている。

【0112】

まず、低周波ロールオフ周波数frは、スリット40（すなわち、第1～第4スリット41～44）による音響抵抗（すなわち、空気抵抗）をRgとすると、下記数式3で示される。

【0113】

【数3】

$$f_r = \frac{1}{2\pi \times R_g \times C_b}$$

このため、低周波ロールオフ周波数frを小さくするためには、音響抵抗Rgまたはバック空間S2の音響コンプライアンスCbを大きくすればよい。但し、音響コンプライアンスCbは、上記数式2のように、バック空間S2の容積Vbに比例する。そして、現状では、圧電装置S10の小型化が望まれている。このため、低周波ロールオフ周波数frを小さくするためには、音響抵抗Rgを大きくすることが好ましい。そして、音響抵抗R

g は、下記数式 4 で示される。

【0114】

【数 4】

$$Rg = \frac{3 \times \mu \times h}{\sqrt{2} \times g^3 \times L}$$

上記数式 4 において、 μ は、空気の摩擦抵抗であり、 h は振動領域 22 の厚さであり、 g はスリット 40 のスリット幅 g であり、 L は各振動領域 22 におけるスリット 40 のスリット長さ L である。なお、本実施形態では、第 1 ～ 第 4 スリット 41 ～ 44 のスリット幅 g が互いに等しいと共に、第 1 ～ 第 4 スリット 41 ～ 44 のスリット長さ L が互いに等しいとしている。

【0115】

そして、低周波ロールオフ周波数 f_r を可聴域外となる 20 Hz 以下とするには、下記数式 5 を満たすようにすればよい。

【0116】

【数 5】

$$f_r = \frac{1}{2\pi \times Rg \times Cb} \leq 20 \text{ (Hz)}$$

この場合、数式 5 を変更すると下記数式 6 となる。そして、数式 6 を数式 4 に基づいて変更すると下記数式 7 となる。

【0117】

【数 6】

$$Rg \geq \frac{1}{20 \times 2\pi \times Cb} = \frac{1}{40\pi \times Cb}$$

【0118】

【数 7】

$$L \leq \frac{3 \times \mu \times h \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g^3}$$

このため、低周波ロールオフ周波数 f_r を 20 Hz 以下にするためには、スリット長さ L 、スリット幅 g 、振動領域 22 の厚さ h 、バック空間 S2 の音響コンプライアンス Cb が上記数式 7 を満たすように形成されていればよい。そして、本実施形態では、上記数式 7 を満たすように、スリット長さ L が調整されている。

【0119】

ここで、例えば、振動領域 22 の厚さ h を 1 μm にした場合、図 33 に示されるように、音響抵抗 Rg は、スリット幅 g が長くなるにつれて小さくなると共に、スリット長さ L が長くなるにつれて小さくなることが確認される。また、スリット幅 g を 1 μm とした場合、図 34 に示されるように、音響抵抗 Rg は、振動領域 22 の厚さ h を厚くするにつれて小さくなると共に、スリット長さ L が長くなるにつれて小さくなることが確認される。そして、図 35 に示されるように、例えば、音響抵抗が 100 Hz 程度となるスリット長さ L が 700 μm である場合を基準とすると、スリット長さ L は、150 μm 程度であれば、20 Hz 以下とできることが確認される。

【0120】

なお、図 35 では、スリット長さ L が 700 μm である場合を基準としているため、ス

リット長さ L が $700\text{ }\mu\text{m}$ である場合の音響抵抗比率が 1 となる。また、図 35 は、バック空間 $S2$ の音響コンプライアンス Cb に影響するバック空間 $S2$ の容積を $4 \times 10^{-9}\text{ m}^3$ としている。

【0121】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域 22 が両持ち支持されている。このため、圧電素子 1 の共振周波数 f を大きくでき、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0122】

(1) 本実施形態では、スリット長さ L 、スリット幅 g 、振動領域 22 の厚さ h 、バック空間 $S2$ の音響コンプライアンス Cb は、上記数式 7 を満たすように形成されている。このため、低周波ロールオフ周波数 f_r を 20 Hz 以下にでき、感度を維持できる範囲を広くできる。

【0123】

(第 9 実施形態)

第 9 実施形態について説明する。本実施形態は、第 8 実施形態に対し、スリット 40 の形状を変更したものである。その他に関しては、第 8 実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0124】

上記第 8 実施形態では、スリット幅 g が振動領域 22 の厚さ方向に沿って一定である構成について説明した。しかしながら、スリット 40 は、スリット幅 g が振動領域 22 の厚さ方向に沿って変化するようにしてもよく、例えば、図 36 に示されるように、スリット幅 g が 3 段階で変化する形状とされていてもよい。具体的には、本実施形態では、スリット 40 (すなわち、第 1 ~ 第 4 スリット 41 ~ 44) は、振動領域 22 の他面 22b 側から一面 22a 側に向かって、スリット幅 g が g_1 、 g_2 、 g_3 の順に広くなるように形成されている。

【0125】

この場合、スリット長さ L は、下記数式 8 で示される。なお、下記数式 8 では、振動領域 22 において、スリット幅が g_1 となる部分の厚さを振動領域 22 の厚さ h_1 とし、スリット幅が g_2 となる部分の厚さを振動領域 22 の厚さ h_2 とし、スリット幅が g_3 となる部分の厚さを振動領域 22 の厚さ h_3 としている。

【0126】

【数 8】

$$L \leq \frac{3 \times \mu \times h_1 \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g_1^3} + \frac{3 \times \mu \times h_2 \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g_2^3} + \frac{3 \times \mu \times h_3 \times 40\pi \times Cb}{\sqrt{2} \times g_3^3}$$

また、スリット 40 は、他面 22b 側の幅を g_1 とすると共に一面 22a 側の幅を g_3 とした場合、他面 22b と一面 22a との間の変化する段数を変化させると、音響抵抗 R_g が図 37 に示されるようになる。具体的には、他面 22b 側のスリット幅 g_1 と一面 22a 側のスリット幅 g_3 とが同じである場合、変化する段数が少ない方が音響抵抗 R_g が大きくなり易いことが確認される。そして、低周波ロールオフ周波数 f_r は、上記数式 3 より、音響抵抗 R_g が大きい方が小さくなる。このため、スリット 40 のスリット幅 g を振動領域 22 の厚さ方向に沿って変化させる場合には、バック空間 $S2$ の音響コンプライアンス Cb を考慮して段数を調整することが好ましい。なお、図 37 は、他面 22b 側のスリット幅 g_1 を $0.8\text{ }\mu\text{m}$ とすると共に振動領域 22 の全体の厚さ h を $1\text{ }\mu\text{m}$ とし、一面 22a 側のスリット幅 g_3 を変化させた場合の図である。

【0127】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域 22 が両持ち支持されている。このため、圧電素子 1 の共振周波数 f を大きくでき、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0128】

(1) 本実施形態のように、スリット40は、振動領域22の厚さ方向に沿ってスリット幅 g が一定とされていなくてもよい。

【0129】

(第10実施形態の変形例)

上記第10実施形態の変形例について説明する。上記第10実施形態において、スリット40（すなわち、第1～第4スリット41～44）の形状は、適宜変更可能である。例えば、図38Aに示されるように、第1～第4スリット41～44は、他面22b側のスリット幅 g が一定とされ、一面22a側のスリット幅 g が徐々に広がるテーパ状とされていてもよい。また、図38Bに示されるように、第1～第4スリット41～44は、振動領域22の厚さ方向における中央部でのスリット幅 g が最も狭くなる構成とされていてもよい。そして、図38Cに示されるように、第1～第4スリット41～44は、振動領域22の厚さ方向において、振動領域22のスリット幅 g が狭い部分と広い部分とが交互に形成されるようにしてもよい。

10

【0130】

(第10実施形態)

第10実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、接合部材2の形状を規定したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0131】

本実施形態の圧電装置S10では、図39に示されるように、接合部材2は、法線方向において、外形が角部を有する矩形状とされている。そして、接合部材2は、圧電素子1における支持基板11の他面11bにおいて、圧電素子1の角部となる部分と異なる部分に接合されている。本実施形態では、接合部材2は、法線方向において、圧電素子1における相対するそれぞれの辺部から、接合部材2の各角部が突出するように配置されている。また、接合部材2は、接合部材2の角部が、圧電素子1の外形における相対する角部を結ぶ仮想線K4上と異なる部分に位置するように配置されている。なお、本実施形態の接合部材2は、外形が予め規定された接合シートを用いて構成されている。

20

【0132】

また、本実施形態の電極膜60および振動領域22は、上記第6実施形態と同様に、電極膜60が六角形状とされ、振動領域22が正八角形状とされている。そして、電極膜60および振動領域22は、中心部Cを基準として点対称となるように配置されている。なお、図39では、スリット40を省略して示してある。

30

【0133】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数 f を大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0134】

(1) 本実施形態では、接合部材2は、圧電素子1における外形の角部と異なる部分に配置されている。このため、プリント基板101から圧電素子1のうちの変形が大きくなり易い角部に熱応力が伝搬されることを抑制できる。したがって、伝搬された熱応力によって圧電素子1が変形し難くなり、振動領域22が変形し難くなる。これにより、検出感度が低下することを抑制でき、検出精度の向上を図ることができる。

40

【0135】

(2) 本実施形態では、接合部材2は、外形が角部を有する矩形状とされている。そして、接合部材2は、法線方向において、角部が仮想線K4上と異なる部分に位置するように配置されている。このため、圧電素子1の変形によって接合部材2の角部に応力が集中することを抑制でき、接合部材2が剥離する等の不具合が発生することを抑制できる。

【0136】

(第10実施形態の変形例)

50

上記第10実施形態の変形例について説明する。接合部材2は、図40Aに示されるように、法線方向において正三角形とされていてもよいし、図40に示されるように、法線方向において正八角形状とされていてもよい。また、特に図示しないが、接合部材2は、法線方向において、正六角形状や正十角形状等とされていてもよい。そして、接合部材2は、法線方向において、圧電素子1から突出するように配置されていてもよいし、圧電素子1の内側のみに配置されていてもよい。

【0137】

また、接合部材2は、プリント基板101に形成される貫通孔101bを基準として、図41A～図41Cに示されるように配置されていてもよい。なお、図41A～図41Cは、圧電素子1および接合部材2を支持基板11の他面11b側から見た平面図である。また、図41A～図41Cでは、振動領域22を省略して示し、貫通孔101bと対向する部分を破線で示している。そして、図41A～図41Cでは、支持基板11に形成される凹部10aは、法線方向において、貫通孔101bと一致する形状とされている。

【0138】

例えば、図41Aに示されるように、接合部材2は、法線方向において貫通孔101bを囲む環状とされていてもよい。また、図41Bに示されるように、接合部材2は、法線方向において、一方向に延設された部分と、当該一方向と直交する部分に延設された十字状とされていてもよい。そして、接合部材2は、図41Cに示されるように、法線方向において、ひし形とされていてもよい。なお、図41Bでは、接合部材2の角部が仮想線K4上に位置する構成となる。しかしながら、このような構成としても、接合部材2が圧電素子1の角部と異なる部分にのみ接合されることにより、熱応力が圧電素子1の角部に伝搬され難くなり、上記第10実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0139】

(第11実施形態)

第11実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、プリント基板101に突起部を形成したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0140】

本実施形態の圧電装置S10では、図42に示されるように、プリント基板101に突起部101cが形成されている。具体的には、突起部101cは、接合部材2の外形に合わせた形状とされ、プリント基板101の一部で構成されている。例えば、本実施形態の突起部101cは、プリント基板101のうちの圧電素子1と対向する部分であって、圧電素子1の角部と対向する部分と異なる部分に形成されている。

【0141】

以上説明した本実施形態によれば、振動領域22が両持ち支持されている。このため、圧電素子1の共振周波数 f を大きくでき、上記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0142】

(1) 本実施形態では、プリント基板101に突起部101cが形成されている。このため、液状の接合部材2を塗布して配置する際、突起部101c上に接合部材2を塗布することにより、圧電素子1と接合される接合部材2の外形を容易に調整できる。したがって、接合部材2として液状のものも用いることができ、接合部材2の選択性を向上できる。特に、上記第10実施形態のように接合部材2の形状を調整する場合においては、容易に接合部材2の外形を調整できる。

【0143】

(第11実施形態の変形例)

上記第11実施形態の変形例について説明する。上記第11実施形態において、突起部101cは、プリント基板101と別部材で構成されていてもよい。

【0144】

(第12実施形態)

第12実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対し、スリット40の形状を変更したものである。その他に関しては、第1実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0145】

本実施形態の圧電素子1では、圧電膜50がScAlNで構成されている。そして、図43に示されるように、第1スリット41および第4スリット44は、一面22a側から他面22b側に向かって幅が狭くなるテーパ部45が構成されるように形成されている。言い換えると、第1スリット41および第4スリット44は、側面22cがテーパ部45となるように形成されている。また、本実施形態の第1スリット41および第4スリット44は、一面22a側から他面22b側に向かって連続的に幅が狭くなる形状とされている。つまり、第1スリット41は、振動領域22の側面22cが略平面状となるように形成されている。

10

【0146】

また、第1スリット41および第4スリット44は、振動領域22における他面22bと側面22cとの成す角度（以下では、単に振動領域22の成す角度ともいう） θ_1 が $39 \sim 81^\circ$ となるように形成されている。

【0147】

なお、成す角度 θ_1 は、スリット40のテーパ角度ともいえる。また、第2スリット42および第3スリット43は、図43とは別断面において、第1スリット41および第4スリット44と同様の形状とされている。図43は、図1中のIC-IC線に沿った断面図に相当している。そして、振動領域22は、一面22aと他面22bとが平行とされている。本実施形態では、他面22bが一面22aと平行な面に相当する。

20

【0148】

次に、上記圧電素子1の製造方法について、図44A～図44C、図45、図46を参照しつつ説明する。なお、図44A～図44Cは、図1中のIC-IC線に沿った断面図に相当している。また、図44A～図44Cでは、第1スリット41および第4スリット44に関する断面図を示しているが、第2、第3スリット42、43についても同様である。

【0149】

まず、上記図4Aと同様の工程を行い、第1～第4スリット41～44が形成されていないものを用意する。

30

【0150】

続いて、図44Aに示されるように、上層電極膜63等を覆うようにフォトレジスト等で構成されるエッチングマスク材200を配置し、エッチングマスク材200に、第1～第4スリット41～44が形成される部分が開口する開口部201を形成する。なお、第2、第3スリット42、43は、図44Aとは別断面に形成される。以下では、エッチングマスク材200のうちの上層電極膜63や上層圧電膜52を覆う側の面を他面200bとし、エッチングマスク材200のうちの他面200bと反対側の面を一面200aとし、開口部201の側面を側面200cとする。

【0151】

次に、図44Bに示されるように、加熱処理を行うことにより、エッチングマスク材200の開口部201の形状を調整する。具体的には、エッチングマスク材200は、上層電極膜63や上層圧電膜52を覆うように配置されており、これらに固定される他面200b側の部分と、一面200a側の部分とで熱収縮の仕方が異なる。より詳しくは、加熱処理を行った際、エッチングマスク材200は、他面200b側の部分が熱収縮し難くなり、一面200a側の部分が熱収縮し易くなる。このため、加熱処理を行うことにより、エッチングマスク材200の他面200bと側面200cとの成す角度 θ_2 （以下では、単にエッチングマスク材200の成す角度 θ_2 ともいう）を所望する振動領域22の成す角度 θ_1 に合わせて調整する。この場合、圧電膜50とエッチングマスク材200とは、別材料で構成されるため、通常は後述する異方性ドライエッチングを行った際のエッチングレートが異なる。したがって、エッチングレート等に基づき、振動領域22の成す角度

40

50

$\theta 1$ が所望の値となるようにエッチングマスク材 200 の成す角度 $\theta 2$ を調整する。なお、ここでのエッチングマスク材 200 の成す角度 $\theta 2$ は、上記のように調整されるため、振動領域 22 の成す角度 $\theta 1$ と一致する場合もあるが、振動領域 22 の成す角度 $\theta 1$ と一致しない場合もある。

【0152】

次に、図 44C に示されるように、エッチングマスク材 200 をマスクとして異方性ドライエッチングを行い、圧電膜 50 を貫通して支持体 10 に達する第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 を形成する。本実施形態では、テーパ部 45 となる側面 22c を有する振動領域構成部分 220 が構成されるように第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 を形成する。

【0153】

この際、上記のように、エッチングマスク材 200 の成す角度 $\theta 2$ が振動領域 22 の成す角度 $\theta 1$ に応じて調整されており、振動領域構成部分 220 の成す角度 $\theta 1$ は、 $39 \sim 81^\circ$ とされる。なお、振動領域構成部分 220 は、凹部 10a を形成することで振動領域 22 となる部分である。このため、振動領域構成部分 220 の成す角度 $\theta 1$ と振動領域 22 の成す角度 $\theta 1$ とは同じである。そして、図中では、振動領域構成部分 220 の一面、他面、および側面に対して振動領域 22 の一面 22a、他面 22b、および側面 22c と同じ符号を付してある。また、下層電極膜 61、中間電極膜 62、および上層電極膜 63 は、第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 に達しないように形状が調整されている。このため、この工程では、圧電膜 50 および下地膜 70 が異方性ドライエッチングされる。

【0154】

その後、上記図 4C と同様の工程を行い、支持基板 11 の他面 11b から絶縁膜 12 を貫通して下地膜 70 に達するようにエッチングを行って凹部 10a を形成する。これにより、振動領域構成部分 220 が支持体 10 から浮遊して振動領域 22 が構成され、図 1 に示す圧電素子 1 が製造される。

【0155】

次に、本実施形態の製造工程における振動領域構成部分 220（すなわち、振動領域 22）の成す角度 $\theta 1$ について説明する。

【0156】

まず、本発明者らの検討によれば、ScAlN 等の圧電膜 50 を異方性ドライエッチングする場合、成す角度 $\theta 1$ が 81° 以上になると、以下の現象が確認された。すなわち、成す角度 $\theta 1$ が 81° 以上になると、エッチングされた原子が第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 の側面 22c に再堆積するリデポの影響により、加工性が低下する傾向にあることが確認された。さらに、本発明者らの検討によれば、ScAlN 等の圧電膜 50 を異方性ドライエッチングする場合、成す角度 $\theta 1$ が 63° 以上になると、以下の現象が確認された。すなわち、成す角度 $\theta 1$ が 63° 以上になると、エッチングされた原子が第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 における一面 22a 側の開口部の近傍に再堆積して構成されるフェンスの影響により、加工性が低下する傾向にあることが確認された。このため、第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 を形成する場合、成す角度 $\theta 1$ が 63° 以下とされることが好ましい。これにより、フェンス等によって加工性が低下することを抑制できる。

【0157】

また、圧電膜 50 を構成する ScAlN は、難エッチング材である。そして、本発明者らの検討によれば、圧電膜 50 を貫通する第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 を形成する場合、圧電膜 50 上にエッチングマスク材 200 が残存するようにするためには、エッチングマスク材 200 の膜厚を圧電膜 50 の膜厚の 1 ～5 倍にすることが好ましいことが確認された。言い換えると、圧電膜 50 を貫通する第 1 ～第 4 スリット 41 ～44 を形成する場合、エッチングマスク材 200 で覆われる圧電膜 50 が異方性ドライエッチングで除去されないようにするためには、エッチングマスク材 200 の膜厚を圧電膜 50 の膜厚の 1 ～5 倍にすることが好ましいことが確認された。つまり、図 45 に示されるように、圧電膜 50 の膜厚を A1 とすると、エッチングマスク材 200 の膜厚 A2 は、 $A1 \sim 5A1$ とされることが好ましい。なお、本実施形態の下地膜 70 は、上記のように、圧電膜 50 に対

10

20

30

40

50

して極めて薄く形成されている。このため、下地膜 70 の影響を無視している。また、圧電膜 50 の膜厚 A_1 は、言い換えると、上記の振動領域 22 の厚さ h に相当する。

【0158】

また、第 1～第 4 スリット 41～44 を形成する場合には、加工装置の露光制約の影響も受ける。本発明者らの検討によれば、現状の一般的な加工装置では、図 45 に示されるように、第 1～第 4 スリット 41～44 における一面 22a 側の幅をスリット幅 g とした場合、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 に対するスリット幅 g の解像度は、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 の $1/2 \sim 1/3$ が限界となることが確認された。したがって、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 が $A_1 \sim 5A_1$ で示されるため、スリット幅 g は、 $A_1/3 \sim 5A_1/2$ の範囲が限界となる。

10

【0159】

そして、上記のような圧電素子 1 では、第 1～第 4 スリット 41～44 から音圧が抜け出る。この場合、図 46 に示されるように、第 1～第 4 スリット 41～44 の実効幅が長くなるほど低周波数での感度が低下する。このため、第 1～第 4 スリット 41～44 は、実効幅が狭くなるように形成されることが好ましい。なお、第 1～第 4 スリット 41～44 の実効幅とは、第 1～第 4 スリット 41～44 の平均幅のことである。例えば、本実施形態のように第 1～第 4 スリット 41～44 が一面 22a から他面 22b に向かってスリット幅 g が連続的に狭くなるテーパ状とされている場合には、一面 22a 側の幅と他面 22b 側の幅との平均となる。

【0160】

そして、本実施形態の第 1～第 4 スリット 41～44 は、異方性ドライエッチングで形成されるため、側面 22c が略平面状となる。このため、感度が低下することを抑制できるように第 1～第 4 スリット 41～44 における他面 22b 側の幅を略 0 と仮定し、圧電膜 50 の膜厚を A_1 とし、一面 22a 側のスリット幅を g とすると、 $\tan \theta_1 = A_1 / (g/2)$ となる。なお、 $g/2$ は、スリット実効幅ともいえる。したがって、上記のようにスリット幅 g が $A_1/3 \sim 5A_1/2$ であるため、 $\tan \theta_1 = 6 \sim 0.8$ となり、 $\theta_1 = 39 \sim 81^\circ$ が好適となる。つまり、第 1～第 4 スリット 41～44 を形成する際、振動領域構成部分 220 の成す角度 θ_1 が $39 \sim 81^\circ$ となるようにすることが好ましい。これにより、これにより、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 に起因して第 1～第 4 スリット 41～44 の加工性が低下することを抑制できる。

20

【0161】

なお、圧電膜 50 の膜厚 A_1 に対するエッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 の比（以下では、膜厚比ともいう）と、成す角度との関係をまとめると、図 47 に示されるようになる。そして、上記のように、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 に対するスリット幅 g の解像度は、エッチングマスク材 200 の膜厚 A_2 の $1/2 \sim 1/3$ が限界となる。このため、成す角度 θ_1 の下限となる 39° は、解像度がエッチングマスク材 200 の $1/2$ 倍である場合となり、上限は、解像度がエッチングマスク材の $1/3$ 倍である場合となる。

30

【0162】

ここで、比較例の圧電素子 1 として、圧電膜 50 を AlN 等のエッチングし易い材料を用い、振動領域 22 の側面 22c が他面 22b に対して略垂直とされているものを挙げる。そして、比較例の圧電素子 1 におけるスリット 40 の実効幅を g とする。この場合、本実施形態の圧電素子 1 における実効幅が g 以上となると、第 1～第 4 スリット 41～44 のスリット幅 g が広がり過ぎ、比較例の圧電素子 1 よりも感度が低下する可能性がある。

40

【0163】

したがって、スリット 40 は、実効幅が比較例の圧電素子 1 におけるスリット 40 の実行幅以下となるように形成されることが好ましい。つまり、 $\tan \theta_1$ が 1 以上となるように構成されることが好ましい。このため、 θ_1 は、 45° 以上とされることが好ましい。これにより、感度が低下することも抑制できる。この場合、 θ_1 を 63° 以下とすることにより、フェンス等によってスリット 40 の加工性が低下することも抑制できる。

【0164】

50

以上説明した本実施形態によれば、振動領域 22 が両持ち支持されている。このため、圧電素子 1 の共振周波数 f を大きくでき、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0165】

(1) 本実施形態では、振動領域 22 の成す角度 θ_1 が $39 \sim 81^\circ$ とされている。このため、エッチングマスク材 200 の膜厚 A2 に起因してスリット 40 の加工性が低下することを抑制でき、スリット 40 を好適に形成できる。また、成す角度 θ_1 が 81° 以下であるため、リデポの影響を低減でき、加工性が低下することを抑制できる。

【0166】

(2) 本実施形態では、振動領域 22 の成す角度 θ が 63° 以下とされることにより、フェンスの影響によって加工性が低下することも抑制できる。

【0167】

(3) 本実施形態では、振動領域 22 の成す角度 θ_1 が 45° 以上とされることにより、検出感度が低下することをさらに抑制できる。

【0168】

なお、上記第 9 実施形態のように、振動領域 22 の厚さ方向に沿って段階的にスリット 40 を形成する場合にも本実施形態を適用できる。この場合は、図 36 に示されるように、他面 22b 側のスリット 40 の開口端部と、一面 22a 側のスリット 40 の開口端部とを結ぶ線と、他面 22b との間の角度を成す角度 θ_1 とすればよい。

【0169】

また、第 6 実施形態のように電極膜 60 に電極膜用スリット 60b を形成する場合には、各圧電膜 51、52 を成膜する毎にスリット 40 を形成する。このため、この構成とする場合には、各圧電膜 51、52 における他面 20b 側の部分と側面 20c との間の角度を成す角度 θ_1 とすればよい。

【0170】

(上記第 12 実施形態の変形例)

上記第 12 実施形態の変形例について説明する。上記第 12 実施形態において、第 1 スリット 41 ~ 44 を形成する場合には、ウェットエッチングを行った後にドライエッチングを行うようにしてもよい。これによれば、ウェットエッチングを行った際にエッチングマスク材 200 が除去されないため、圧電膜 50 の膜厚 A1 に基づいて規定されるエッチングマスク材 200 の膜厚 A2 を薄くでき、エッチングマスク材 200 の膜厚 A2 で規定されるスリット幅 g を狭くできる。したがって、実効幅 $g/2$ を狭くでき、感度の向上を図ることができる。

【0171】

(他の実施形態)

本開示は、実施形態に準拠して記述されたが、本開示は当該実施形態や構造に限定されるものではないと理解される。本開示は、様々な変形例や均等範囲内の変形をも包含する。加えて、様々な組み合わせや形態、さらには、それらに一要素のみ、それ以上、あるいはそれ以下、を含む他の組み合わせや形態をも、本開示の範疇や思想範囲に入るものである。

【0172】

例えば、上記各実施形態において、振動部 20 は、少なくとも 1 層の圧電膜 50 と、1 層の電極膜 60 とを有する構成とされていればよい。また、圧電素子 1 は、平面形状が矩形状ではなく、五角形状や六角形状等の多角形状とされていてもよい。

【0173】

また、上記各実施形態において、圧電装置 S10 は、図 48 に示されるように、蓋部 102 に貫通孔 102a が形成された構成とされていてもよい。この場合、図 48 に示されるように、受圧面空間 S1 は、ケーシング 100 のうちの振動領域 22 における一面 22a 側の空間となり、バック空間 S2 は、ケーシング 100 のうちの振動領域 22 における他面 22b 側の空間となる。

【0174】

また、上記各実施形態では、振動領域22を両持ち支持とすることによって検出精度を向上させた圧電素子1について説明した。しかしながら、例えば、上記第2実施形態では、スリット40をテーパ形状とすることによって検出精度の向上を図ることができる。上記第6実施形態では、圧電膜50および電極膜60の形状によって検出精度の向上を図ることができる。上記第7実施形態では、スリット40と貫通孔101bとの位置関係によって検出精度の向上を図ることができる。上記第8実施形態では、低周波ロールオフ周波数を小さくすることにより、圧電素子1の検出精度を向上できる。第10実施形態では、圧電素子1と接合部材2との位置関係によって検出精度の向上を図ることができる。したがって、これらの圧電素子1または圧電装置S10においては、振動領域22が片持ち支持されていてもよい。つまり、例えば、振動領域22の外形が平面矩形状であって、振動領域22に第1～第4スリット41～44が形成されている場合には、第1～第4スリット41～44が振動領域22の中心部Cで交差するように形成されていてもよい。そして、上記第12実施形態における製造方法は、スリット40の形状に関するものであるため、振動領域22が片持ち支持される圧電素子1の製造方法にも適用できる。

10

【0175】

上記各実施形態を適宜組み合わせることもできる。例えば、上記第2実施形態を上記第3～第12実施形態に組み合わせ、スリット40を中心部Cに向かって幅が狭くなるテーパ状としてもよい。上記第3実施形態を上記第4～第12実施形態に組み合わせ、振動領域22の中心領域225からも電荷を取り出すようにしてもよい。上記第4実施形態または上記第5実施形態を上記第6～第12実施形態に組み合わせ、連結部材90または連結部材91によって振動領域22を両持ち支持するようにしてもよい。上記第6実施形態を上記第7～第12実施形態に組み合わせ、振動領域22および電極膜60の形状、配置を規定するようにしてもよい。上記第7実施形態を上記第8～第12実施形態に組み合わせ、貫通孔101bと対向する部分と異なる部分にスリット40を形成するようにしてもよい。上記第8実施形態を上記第9～第12実施形態に組み合わせ、スリット長さLを規定するようにしてもよい。上記第9実施形態を上記第10～第12実施形態に組み合わせ、スリット40のスリット幅gが振動領域22の厚さ方向に沿って変化するようにされていてもよい。上記第10実施形態を上記第11、第12実施形態に組み合わせ、接合部材2の配置箇所を規定するようにしてもよい。上記第11実施形態を上記第12実施形態に組み合わせ、プリント基板101に突起部101cを形成するようにしてもよい。そして、上記各実施形態を組み合わせたもの同士をさらに組み合わせるようにしてもよい。

20

30

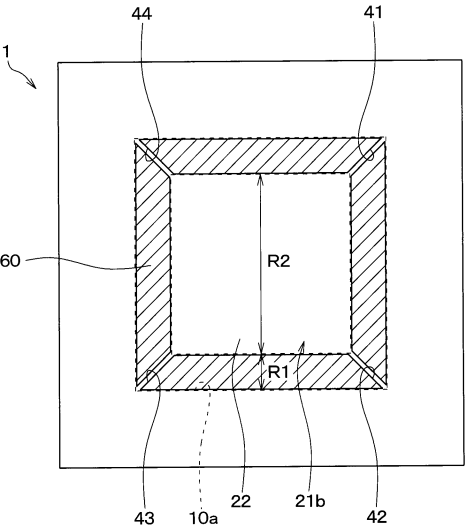
【符号の説明】

【0176】

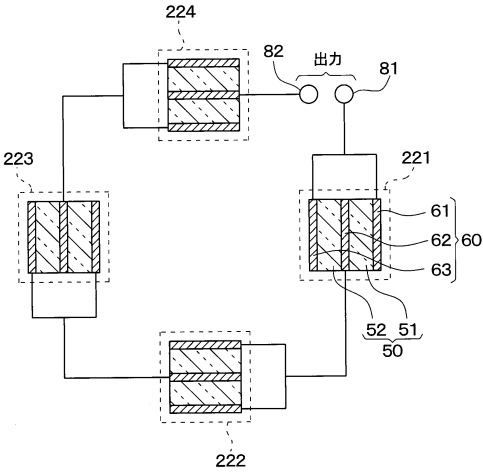
- 10 支持体
- 20 振動部
- 21a 支持領域
- 22 振動領域
- 50 圧電膜
- 60 電極膜
- C 中心部

40

【図 2 B】

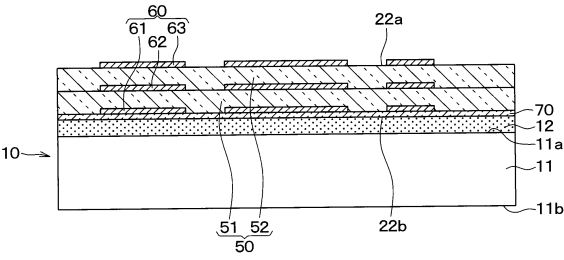


【図 3】

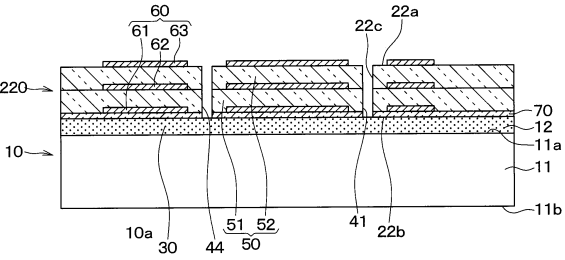


10

【図 4 A】



【図 4 B】



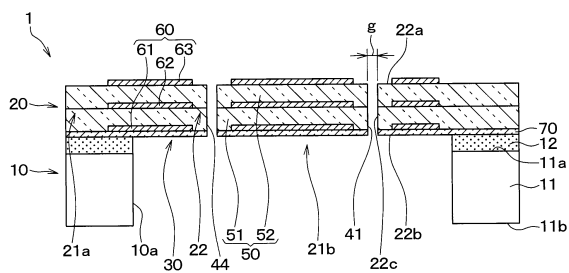
20

30

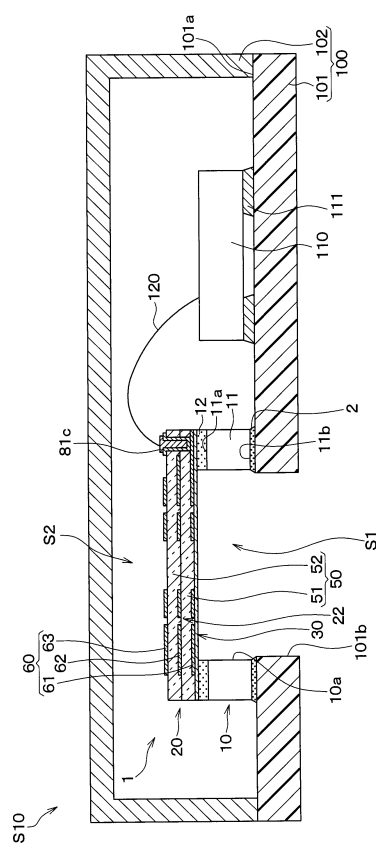
40

50

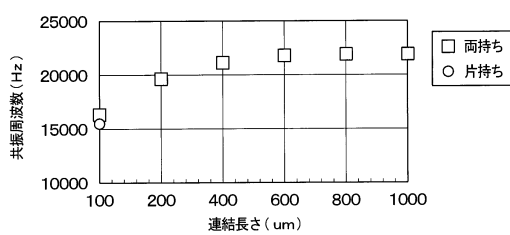
【図 4 C】



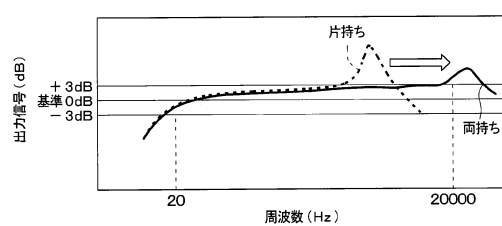
【図 5】



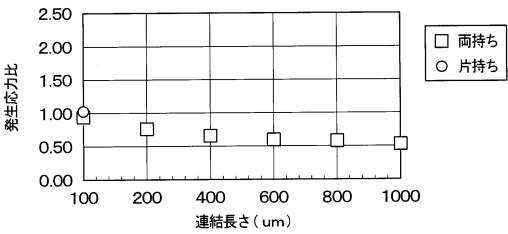
【図 6】



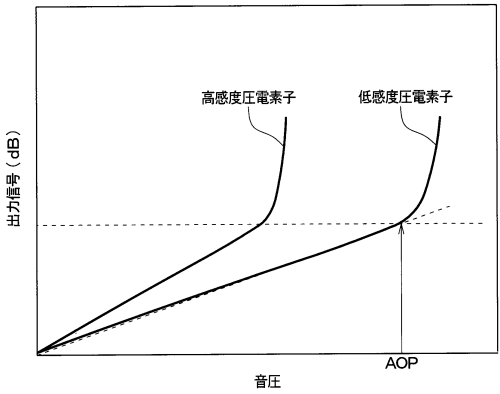
【圖 7】



【図 8】

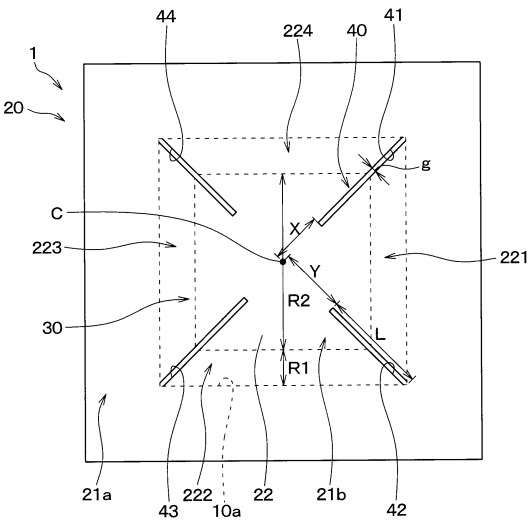


【図 9】

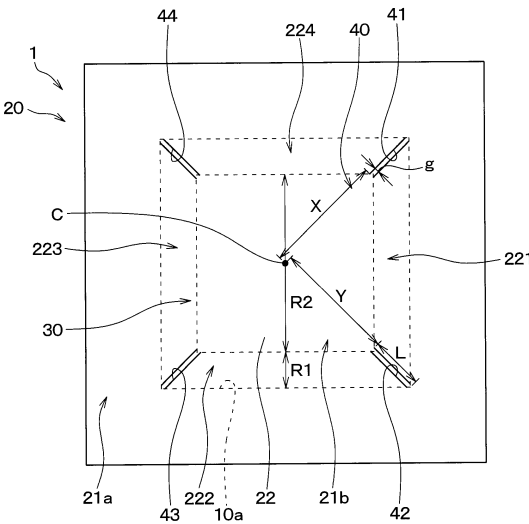


10

【図 10 A】

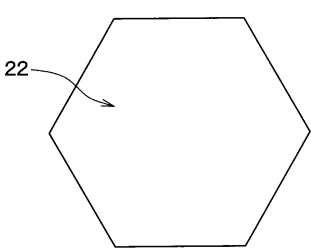


【図 10 B】

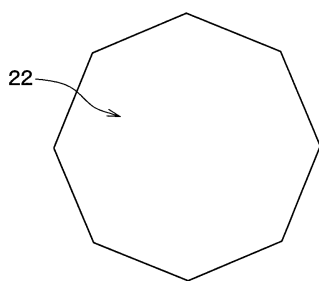


20

【図 11 A】



【図 11 B】

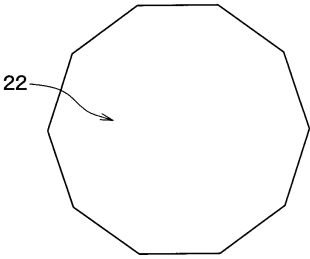


30

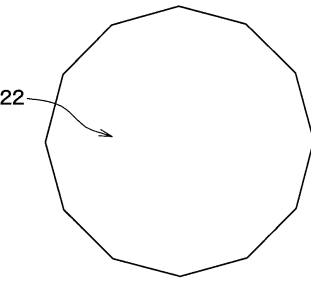
40

50

【図 1 1 C】

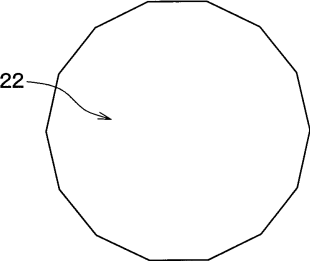


【図 1 1 D】

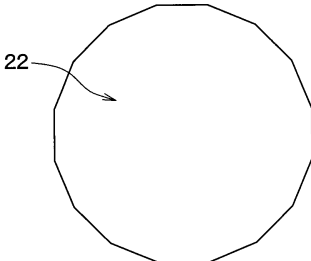


10

【図 1 1 E】

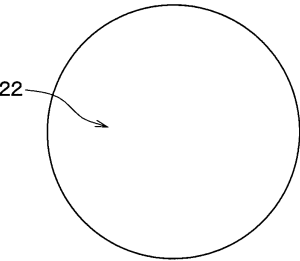


【図 1 1 F】

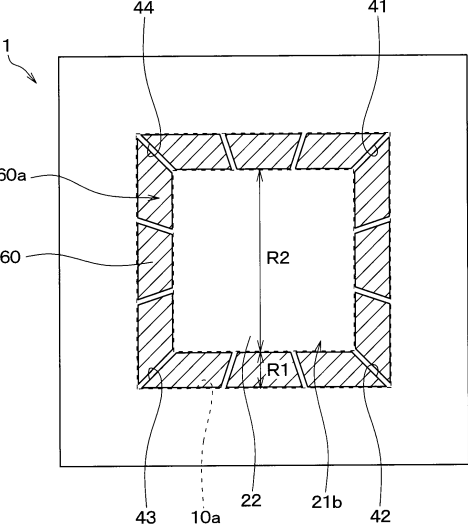


20

【図 1 1 G】



【図 1 2】

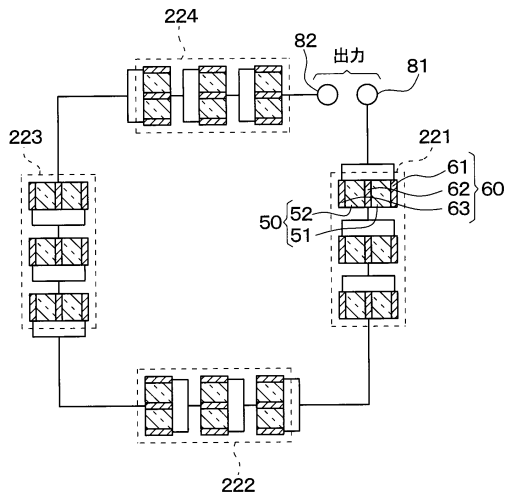


30

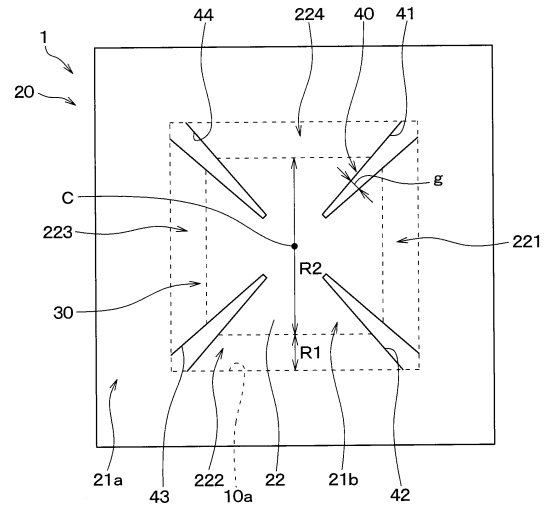
40

50

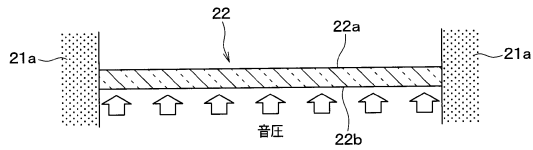
【図 13】



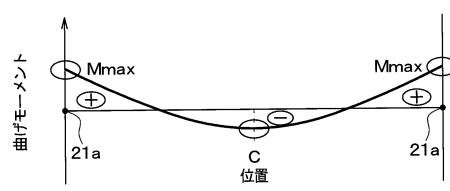
【図 14】



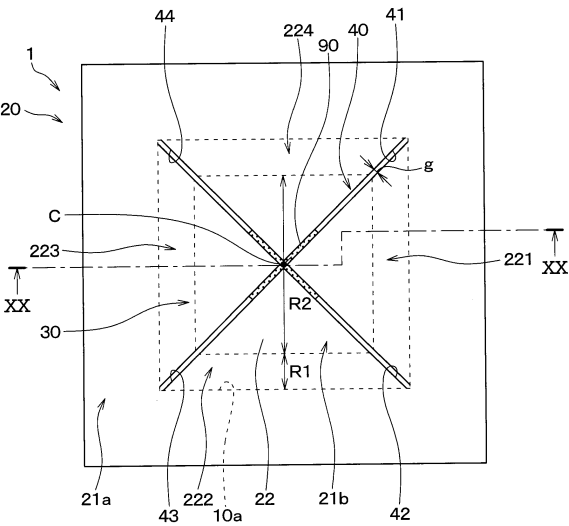
【図 15】



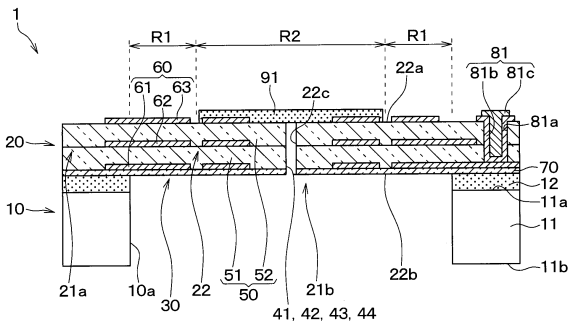
【図 16】



【図 2 1】

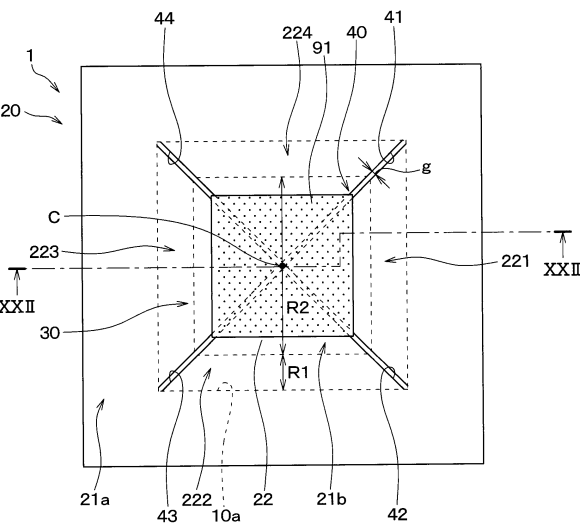


【図 2 2】

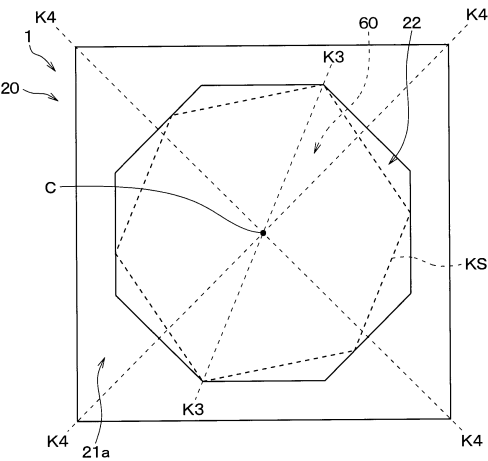


10

【図 2 3】



【図 2 4 A】



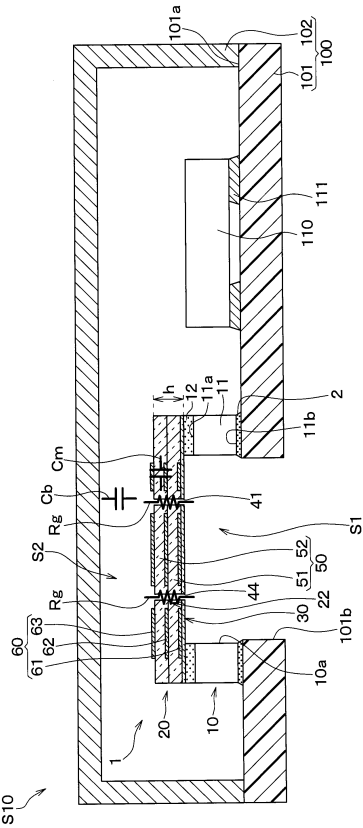
20

30

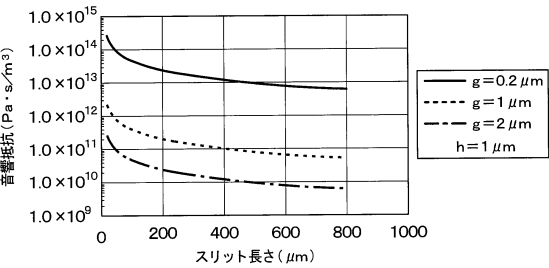
40

50

【図 3 2】



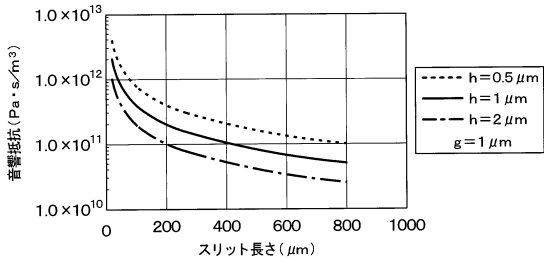
【図 3 3】



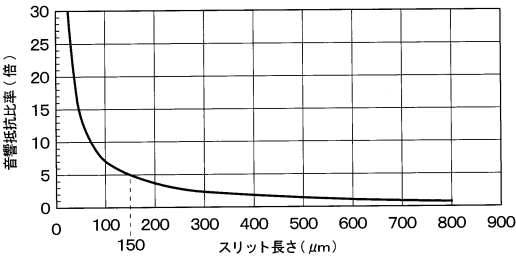
10

20

【図 3 4】



【図 3 5】

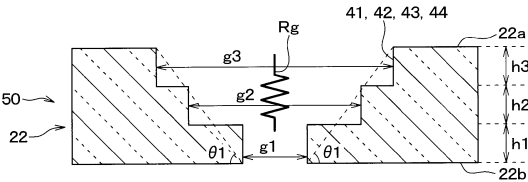


30

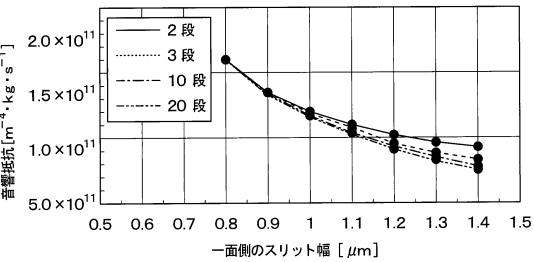
40

50

【図 3 6】

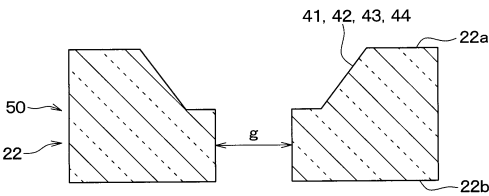


【図 3 7】

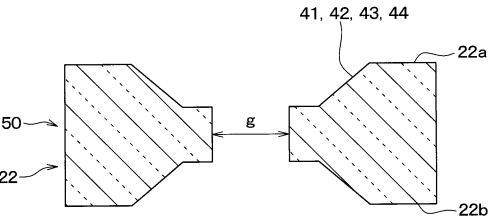


10

【図 3 8 A】

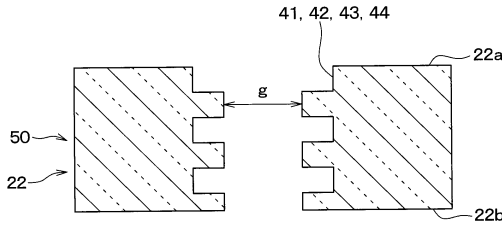


【図 3 8 B】

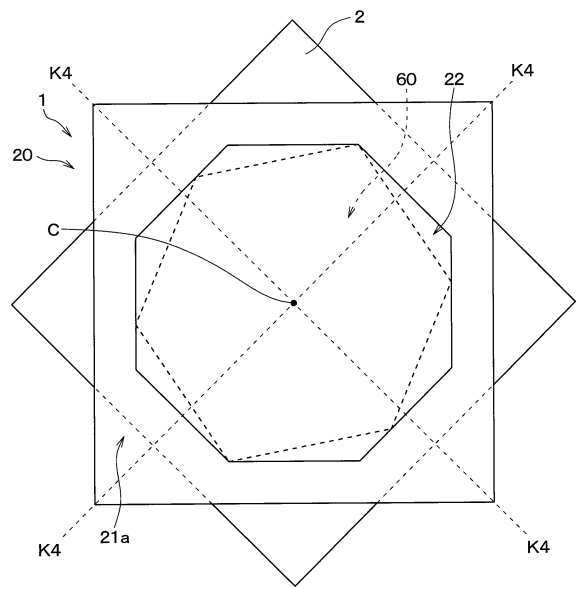


20

【図 3 8 C】



【図 3 9】

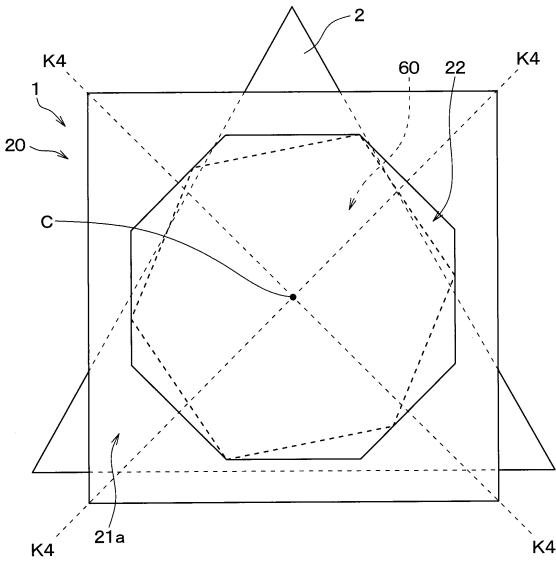


30

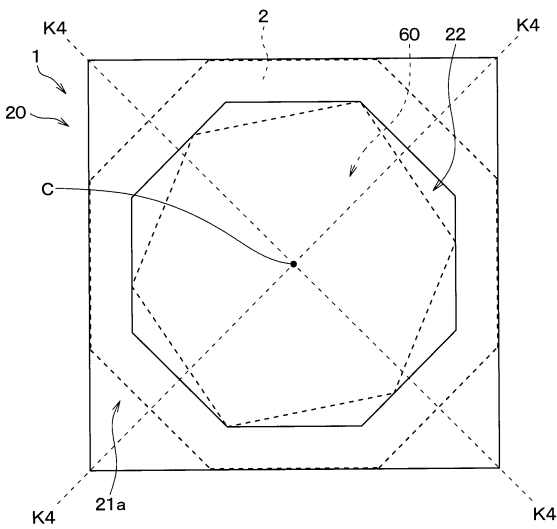
40

50

【図 4 0 A】

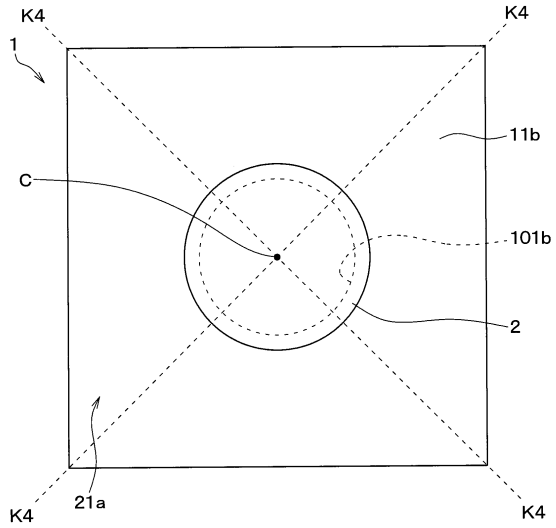


【図 4 0 B】

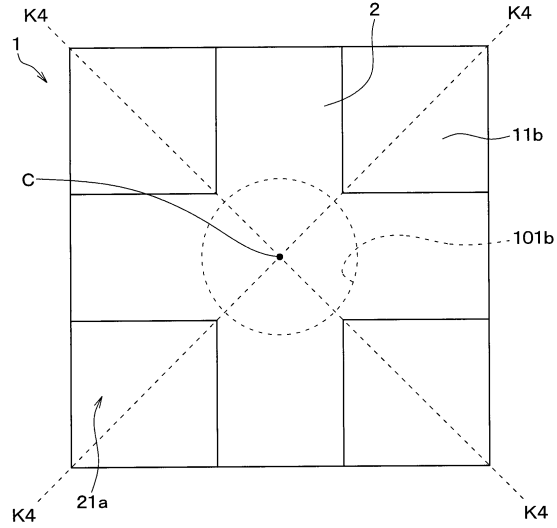


10

【図 4 1 A】



【図 4 1 B】



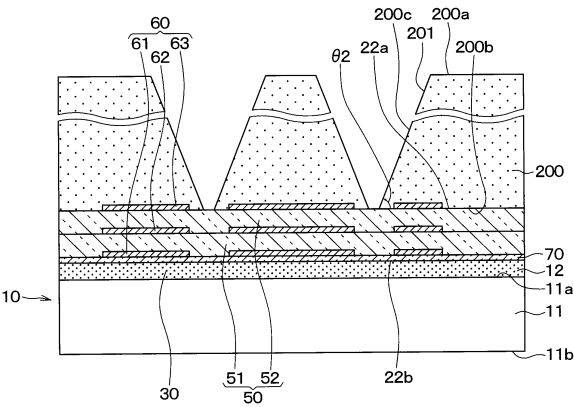
20

30

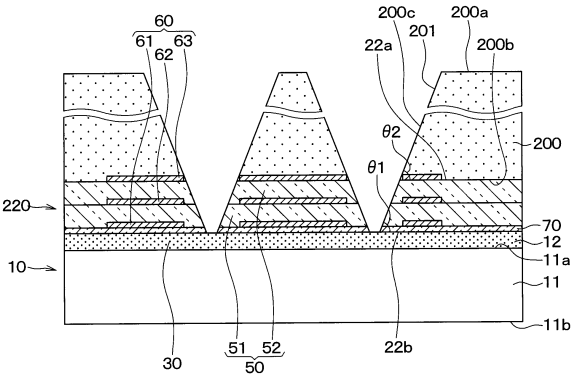
40

50

【図 4 4 B】

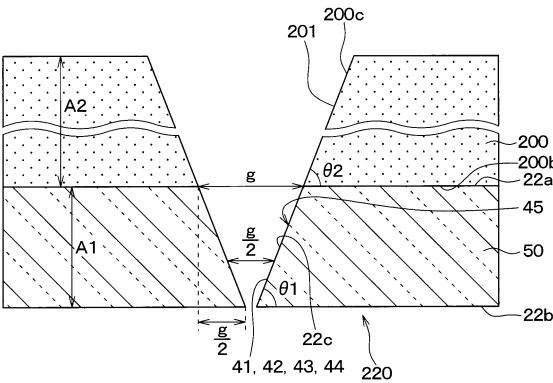


【図 4 4 C】

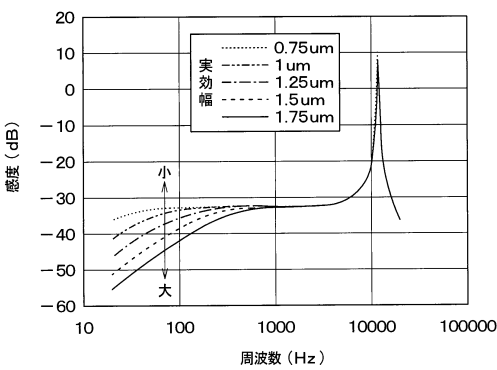


10

【図 4 5】



【図 4 6】



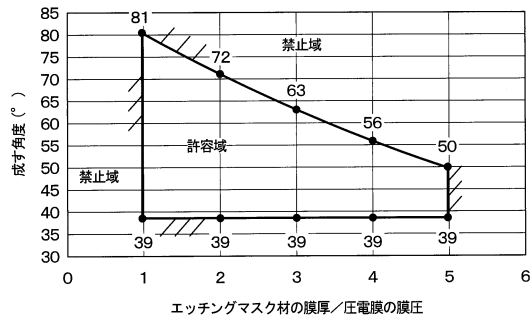
20

30

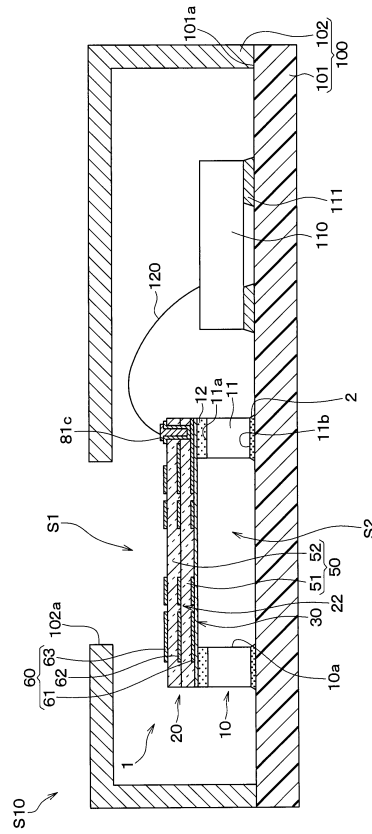
40

50

【図 47】



【図 48】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
H 0 4 R 1/02 (2006.01) H 0 4 R 1/02 1 0 6

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 城森 知也
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 清水 悠平
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
審査官 宮本 博司

(56)参考文献 国際公開第2021/095311 (WO, A1)
国際公開第2020/121609 (WO, A1)
特開2018-041788 (JP, A)
特開2020-178109 (JP, A)
特開2009-100178 (JP, A)
特開2011-004129 (JP, A)
特開2019-114958 (JP, A)
特開2000-162518 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H10N 30/30
H10N 30/853
H10N 30/082
H10N 30/88
H04R 17/02
H04R 1/02