【書類名】明細書

【発明の名称】機能素子、機能素子の製造方法、電子機器、および移動体

【技術分野】

　【０００１】

　本発明は、機能素子、この機能素子の製造方法、この機能素子を備えた電子機器、および移動体に関する。

【背景技術】

　【０００２】

　近年、例えばシリコンＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical System）技術を用いて角速度を検出する機能素子としての角速度センサー（ジャイロセンサー）が開発されており、車両における車体制御、カーナビゲーションシステムの自車位置検出、デジタルカメラ、ビデオカメラおよび携帯電話の振動制御補正（いわゆる手振れ補正）などに用いられている。

　【０００３】

　特許文献１では、駆動が質量体を質量体の主面に対して交差する方向の振動、所謂縦振動であり、平面視で、質量体の主面に沿った方向の軸回りの角速度が加わった時に、コリオリ力によって、質量体が主面に沿ったもう一方の方向に振動し、質量体から延出する可動電極と、支持基板に配置されている固定電極と、の間で生じる静電容量の変化により、面内軸回りの角速度を検出する角速度センサーが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

　【０００４】

　　【特許文献１】米国特許第６０６７８５８号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

　【０００５】

　しかしながら、特許文献１に記載の角速度センサーは、質量体を縦振動で駆動させると、支持基体と質量体との間隙が小さいため、質量体の変位量（振幅）を大きく取ることができない。そのため、検出感度を高くすることができないという課題があった。

【課題を解決するための手段】

　【０００６】

　本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

　【０００７】

　［適用例１］本適用例に係る機能素子は、第１基体と、前記第１基体に接続されている接続部と、前記接続部から延出している支持体と、前記支持体に接続されている質量体と、前記第１基体の前記質量体と対向している面側に設けられている駆動電極と、前記支持体から延出している検出可動電極と、前記第１基体に接続され、前記検出可動電極の少なくとも一部の面と対向している検出固定電極と、を備え、前記質量体は、前記質量体の主面と交差する方向に変位可能であり、前記第１基体と前記質量体との距離をｄ１とし、前記第１基体と前記検出固定電極との距離をｄ２としたとき、ｄ１＞ｄ２であることを特徴とする。

　【０００８】

　本適用例によれば、質量体が主面と交差する方向に変位可能であるので、質量体を主面と交差する方向の振動である縦振動で容易に駆動させることができる。また、第１基体と検出固定電極との距離ｄ２よりも、第１基体と質量体との距離ｄ１の方が長いので、縦振動で駆動する質量体を主面と交差する方向に大きく振動変位させることができる。従って、質量体を変位量（振幅）の大きい縦振動で駆動することができるため、面内軸回りの角速度が加わった場合、大きなコリオリ力が働き、検出可動電極と検出固定電極との間に生じる静電容量の変化量が大きくなるので、面内軸回りの角速度に対して高い検出感度を有する機能素子を得ることができる。

　【０００９】

　［適用例２］上記適用例に記載の機能素子において、前記第１基体は、厚肉部が設けられ、前記接続部は、前記厚肉部に設けられ、平面視にて、前記質量体と前記厚肉部とが離れていることを特徴とする。

　【００１０】

　本適用例によれば、第１基体の厚肉部上に接続部を介して質量体が配置されるので、第１基体と質量体との距離ｄ１に、第１基体から突出している厚肉部の高さを加えた距離まで、質量体をより大きく振動変位させることができる。また、平面視にて、質量体と厚肉部とが離れているために、質量体を厚肉部と接触せずに振動させることができる。

　【００１１】

　［適用例３］上記適用例に記載の機能素子において、前記検出固定電極の少なくとも一部は、前記厚肉部に設けられていることを特徴とする。

　【００１２】

　本適用例によれば、検出固定電極が第１基体の厚肉部上に設けられているため、検出固定電極と、第１基体の厚肉部上に接続部を介して配置されている支持体から延出している検出可動電極と、を対向して配置することができるので、検出可動電極と検出固定電極との間に静電容量を形成することができる。

　【００１３】

　［適用例４］上記適用例に記載の機能素子において、前記検出可動電極の厚さは、前記質量体よりも厚いことを特徴とする。

　【００１４】

　本適用例によれば、検出可動電極の厚さが質量体よりも厚いことで、質量体の主面と第１基体の主面とが対向する距離を長くすることができ、且つ、検出可動電極と検出固定電極との対向している面積を大きくすることができる。即ち、質量体の振動変位を大きく取りながら、検出用の電極である検出可動電極と検出固定電極との間の静電容量を大きくすることが可能となり、高い検出感度を有する機能素子を得ることができる。

　【００１５】

　［適用例５］上記適用例に記載の機能素子において、前記質量体は、前記質量体と前記駆動電極との間に印加した交流電圧により振動し、前記質量体に、前記質量体の主面に沿い、且つ検出可動電極が延出している方向の軸回りの角速度が加わったとき、前記検出可動電極は、前記方向と交差する方向に振動することを特徴とする。

　【００１６】

　本適用例によれば、面内軸回りの角速度により発生するコリオリ力によって、検出可動電極が延出している方向と交差する方向に質量体が振動変位することで、質量体に接続されている支持体から延出している検出可動電極も質量体と同じ方向に振動変位し、検出固定電極との間隔が変化する。そのため、検出可動電極と検出固定電極との間の静電容量が変化するので、電極間の静電容量の変化量を測定することで面内軸回りの角速度を検出することができる。即ち、面内軸回りの角速度を検出する角速度センサーとして使用できる。

　【００１７】

　［適用例６］上記適用例に記載の機能素子において、前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする。

　【００１８】

　本適用例によれば、断面視において、第１弾性部の厚さは、第２弾性部の厚さよりも厚いため、第１弾性部の厚さ方向の曲げ剛性が第２弾性部よりも高くなるので、質量体を主面と交差する方向に振動変位する振動によって、支持体と接続されている検出可動電極が主面と交差する方向に振動変位するのを抑制することができる。

　【００１９】

　［適用例７］本適用例に係る機能素子の製造方法は、第２基体を加工して前記第２基体に第２凹部を形成する工程と、第１基体に駆動電極を配置する工程と、前記第２基体に設けられた前記第２凹部を有する面と、前記第１基体の前記駆動電極を有する面とを接合する接合工程と、前記第２基体を加工して、接続部、支持体、質量体、検出可動電極、および検出固定電極を形成する工程と、を含み、前記接続部、前記支持体、前記質量体、前記検出可動電極、および前記検出固定電極を形成する工程では、前記第２凹部に前記質量体を形成することを特徴とする。

　【００２０】

　本適用例によれば、第２凹部に質量体が形成されているため、質量体の主面と第１基体の主面との距離を長くすることでき、質量体を主面と交差する方向に大きく振動変位させることができる構造となるので、高い検出感度を有する機能素子を製造することができる。

　【００２１】

　［適用例８］上記適用例に記載の機能素子の製造方法において、前記第１基体に第１凹部を形成する工程を含み、前記駆動電極を配置する工程では、前記第１凹部に前記駆動電極を形成し、前記接合工程では、前記第１凹部と前記第２凹部とが向かい合うように接合することを特徴とする。

　【００２２】

　本適用例によれば、第１凹部に駆動電極が形成され、第１凹部と第２凹部とが向かい合うように接合されているため、質量体と駆動電極とを対向して配置することができ、質量体が振動変位できる空隙領域がより広くなり、質量体を主面と交差する方向により大きく振動変位させることができる構造となるので、高い検出感度を有する機能素子を製造することができる。

　【００２３】

　［適用例９］本適用例に係る電子機器は、上記適用例に記載の機能素子を備えていることを特徴とする。

　【００２４】

　本適用例によれば、高い検出感度を有する機能素子を備えることで、高精度な電子機器を実現することができる。

　【００２５】

　［適用例１０］本適用例に係る移動体は、上記適用例に記載の機能素子を備えていることを特徴とする。

　【００２６】

　本適用例によれば、高い検出感度を有する機能素子を備えることで、安全性に優れた移動体を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

　【００２７】

　　【図１】本実施形態に係る角速度センサーの概略構造を示す模式平面図。

　　【図２】図１中のＡ－Ａ線の模式断面図。

　　【図３】図１中のＢ－Ｂ線の模式断面図。

　　【図４】本実施形態に係る角速度センサーの動作を説明する模式断面図。

　　【図５】本実施形態に係る角速度センサーの動作を説明する模式断面図。

　　【図６】本実施形態に係る角速度センサーの動作を説明する模式断面図。

　　【図７】本実施形態に係る角速度センサーの動作を説明する模式断面図。

　　【図８】本実施形態に係る角速度センサーの主要な製造工程を示すフローチャート。

　　【図９】本実施形態に係る角速度センサーの製造工程を説明する模式断面図。

　　【図１０】本実施形態に係る角速度センサーの製造工程を説明する模式断面図。

　　【図１１】本実施形態に係る角速度センサーの製造工程を説明する模式断面図。

　　【図１２】電子機器の一例としてのモバイル型のパーソナルコンピューターの概略構成を示す斜視図。

　　【図１３】電子機器の一例としての携帯電話機の概略構成を示す斜視図。

　　【図１４】電子機器の一例としてのデジタルスチールカメラの概略構成を示す斜視図。

　　【図１５】移動体の一例としての自動車の概略構成を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

　【００２８】

　以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に示す各図においては、各構成要素を図面上で認識され得る程度の大きさとするため、各構成要素の寸法や比率を実際の構成要素とは適宜に異ならせて記載する場合がある。

　【００２９】

　＜機能素子＞

　本実施形態に係る機能素子の一例として、縦振動で駆動し面内軸回りの角速度を検出する角速度センサーについて、図面を参照しながら説明する。

　図１は、本実施形態に係る機能素子としての角速度センサー１００の概略構造を示す模式平面図である。図２は、図１中のＡ－Ａ線の模式断面図である。また、以降の各図では、説明の便宜上、互いに直交する３つの軸として、Ｘ軸、Ｙ軸、およびＺ軸を図示しており、その図示した矢印の先端側を「＋側」、基端側を「－側」としている。また、Ｘ軸に平行な方向を「Ｘ軸方向」と言い、Ｙ軸に平行な方向を「Ｙ軸方向」と言い、Ｚ軸に平行な方向を「Ｚ軸方向」と言う。更に、説明の便宜上、Ｚ軸方向から見たときの平面視において、Ｚ軸方向の面を主面として、＋Ｚ軸側を上面、－Ｚ軸側を下面として説明する。

　【００３０】

　本実施形態に係る角速度センサー１００は、２つの構成体が並設されている構造であり、図１中の中心線Ｃに対して線対称な構造をしている。そのため、＋Ｘ方向側の構造体の説明は省略し、－Ｘ方向側の構造体を用いて角速度センサー１００の構造と動作の説明を行う。

　【００３１】

　角速度センサー１００は、面内軸であるＹ軸回りの角速度を検出する角速度センサー（静電容量型ＭＥＭＳ角速度センサー素子）であり、図１および図２に示すように、第１凹部１４に駆動電極２７を備えている第１基体１０と、質量体６０や支持体２０が形成されている第２基体１１０と、を含み構成されている。

　【００３２】

　第１基体１０は、第１基体１０の外縁部に沿って環状の厚肉部１２が設けられており、第２基体１１０と対向する側に第１凹部１４が構成されている。つまり、第１基体１０の第１凹部１４には底面１６が設けられており、第１凹部１４を構成する底面１６の上面には、後述する第２基体１１０に設けられている質量体６０と対向した位置に駆動電極２７が形成されている。

　【００３３】

　第１基体１０の材質は、例えば、ガラス、シリコンであり、駆動電極２７の材質は、例えば、アルミニウム、金、ＩＴＯ（Indium Tin Oxide）等である。

　駆動電極２７の材質は、ＩＴＯ等の透明電極材料であることが望ましい。駆動電極２７として、透明電極材料を用いることにより、第１基体１０が透明基板（ガラス基板）である場合、駆動電極２７の上面に存在する異物等を、第１基体１０の下面側から、容易に視認することができるためである。

　【００３４】

　第２基体１１０は、接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０を含んで構成されている。また、第２基体１１０は、第１基体１０と対向する側の質量体６０と第２弾性部２４に第２凹部１５が設けられている。

　【００３５】

　接続部２２は、第１基体１０の厚肉部１２の上面に接続されている。なお、接続部２２は、厚肉部１２の上面に固定（接合）されていてもよい。接続部２２は、接続部２２から延出している支持体２０と、支持体２０に接続されている質量体６０および検出可動電極４０と、を支持している。図１に示す例では、接続部２２は、支持体２０の１つにつき４つ設けられているが、支持体２０を支持できれば、その数は特に限定されない。

　【００３６】

　支持体２０は、質量体６０を取り囲む環状の形状であり、接続部２２に接続されている第１弾性部３０と、質量体６０に接続されている第２弾性部２４と、を含み構成されている。

　【００３７】

　第１弾性部３０は、接続部２２から質量体６０が並設されている方向と交差する方向であるＹ軸方向に延出し、支持体２０に接続されており、質量体６０や検出可動電極４０が接続されている支持体２０を質量体６０が並設されている方向であるＸ軸方向に沿って振動変位し易いように構成されている。図１に示す例では、第１弾性部３０は、支持体２０の１つにつき４つ設けられているが、支持体２０をＸ軸方向に振動変位させることができれば、その数は特に限定されない。

　【００３８】

　第２弾性部２４は、支持体２０からＸ軸方向に往復しながらＹ軸方向に延出し、質量体６０に接続されており、支持体２０をＺ軸方向に振動変位させず、質量体６０のみをＺ軸方向に振動変位し易いように構成されている。よって、第２弾性部２４は、支持体２０からＹ軸方向に往復しながらＸ軸方向に延出し、質量体６０に接続している構成でも構わない。図１に示す例では、第２弾性部２４は、質量体６０の１つにつき４つ設けられているが、質量体６０を主面と交差する方向であるＺ軸方向に振動変位させることができれば、その数は特に限定されない。

　【００３９】

　第１弾性部３０の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）は、断面視において、第２弾性部２４の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）よりも厚くなるように構成されている。つまり、図２に示すように、第２弾性部２４を第２基体１１０に設けられている第２凹部１５に形成することで、第１弾性部３０を第２弾性部２４よりも厚くすることができる。そのため、第１弾性部３０の厚さ方向であるＺ軸方向の曲げ剛性が第２弾性部２４よりも高くなるので、質量体６０をＺ軸方向に振動変位する振動によって、支持体２０と接続されている検出可動電極４０がＺ軸方向に振動変位するのを抑制することができる。

　【００４０】

　質量体６０は、第２弾性部２４を介して支持体２０に接続されている。そのため、Ｚ軸方向の曲げ剛性が低い第２弾性部２４によって支持されているので、質量体６０を主面と交差する方向であるＺ軸方向に振動変位させ易いように構成されている。そのため、Ｚ軸方向に振動変位し易い第２弾性部２４に支持されることにより、質量体６０はＺ軸方向に変位可能である。なお、質量体６０の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）は、図２に示すように、第２基体１１０に設けられている第２凹部１５に形成されているので、支持体２０や支持体２０から延出している検出可動電極４０の厚さ（Ｚ軸方向の長さ）よりも薄い。図１に示す例では、質量体６０の平面形状は、矩形状であるが多角形や円形であっても構わない。

　【００４１】

　検出可動電極４０は、支持体２０からＹ軸方向に延出しており、図１に示す例では、支持体２０の第２弾性部２４が接続されている側とは反対側から＋Ｙ軸方向と－Ｙ軸方向にそれぞれ延出している。

　【００４２】

　検出固定電極５０は、第１基体１０の上面である厚肉部１２の上面に接続されている。なお、検出固定電極５０は、厚肉部１２の上面に固定（接合）されていてもよい。検出固定電極５０は、厚肉部１２と接続されている側からＹ軸方向に延出しており、検出可動電極４０と間隙を介して対向している。図１に示す例では、検出可動電極４０の－Ｘ軸方向側に検出固定電極５０ｂが設けられ、検出可動電極４０の＋Ｘ軸方向側に検出固定電極５０ａが設けられている。

　検出固定電極５０は、Ｘ軸方向において、検出可動電極４０と対向している。検出固定電極５０の側面（Ｘ軸方向を向く面）は、例えば、検出可動電極４０の側面（Ｘ軸方向を向く面）と平行である。検出固定電極５０の側面と検出可動電極４０の側面とは、Ｘ軸と直交するＹＺ軸面と平行であってもよい。

　【００４３】

　第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、および検出可動電極４０は、第１基体１０の厚肉部１２の上面に接合されている接続部２２によって、第１基体１０の第１凹部１４上に配置され、第１基体１０と離間している。質量体６０は、第２基体１１０の第２凹部１５に形成されている。ここで、第１基体１０と質量体６０との距離ｄ１は、第１基体１０と検出固定電極５０との距離ｄ２より長い。そのため、質量体６０は、主面と交差する方向であるＺ軸方向に大きく振動変位させることができる。

　【００４４】

　質量体６０と駆動電極２７とが対向して配置されているので、質量体６０および駆動電極２７に電圧が印加されると、質量体６０と駆動電極２７との間に静電力が発生し、質量体６０が駆動電極２７側に接近と離隔を繰り返す振動をさせることができる。これにより、質量体６０をＺ軸方向に縦振動をさせることができる。

　【００４５】

　質量体６０は、質量体６０と駆動電極２７との間に印加した交流電圧によりＺ軸方向に振動し、検出可動電極４０が延出している方向であるＹ軸方向の軸回りの角速度が加わったとき、質量体６０にコリオリの力が働き、質量体６０がＸ軸方向に振動変位する。つまり、質量体６０がＺ軸方向に振動を行っている状態で、Ｙ軸回りの角速度が加わると質量体６０にコリオリの力が働き、質量体６０がＸ軸方向に振動変位するため、質量体６０と支持体２０を介して接続されている検出可動電極４０も質量体６０と同一方向に振動変位する。そのため、検出可動電極４０と検出固定電極５０との間の静電容量を測定することで、角速度を検出することができるので、角速度センサー１００としての機能を得ることができる。

　【００４６】

　第２基体１１０の接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０の材質は、例えば、リン、ボロン等の不純物がドープされることにより導電性が付与されたシリコンである。第２基体１１０の接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０は、１つの基板（例えばシリコン基板）を、フォトリソグラフィー技術およびエッチング技術によって一体的に加工することにより形成される。

　【００４７】

　第２基体１１０の接続部２２および検出固定電極５０と、第１基体１０と、の接合方法は、特に限定されないが、例えば、第１基体１０の材質がガラスであり、第２基体１１０の接続部２２および検出固定電極５０の材質がシリコンである場合は、第１基体１０と、第２基体１１０の接続部２２および検出固定電極５０とは、陽極接合されることができる。

　【００４８】

　［機能素子の動作原理］

　次に、機能素子としての角速度センサー１００の動作原理について、図１と図３～図７を用いて詳細に説明する。

　図３は、図１中のＢ－Ｂ線の模式断面図である。図４～図７は、本実施形態に係る角速度センサー１００の動作を説明する模式断面図である。なお、図３において、角速度センサー１００は中心線Ｄに対して線対称な構造であるので、図４～図７では、図３の－Ｘ軸側の構造体のみを示して動作を説明する。

　【００４９】

　質量体６０および駆動電極２７に電圧を印加すると、質量体６０と駆動電極２７との間に静電力を発生させることができる。これにより、質量体６０が駆動電極２７と接近と離隔とを繰り返し、主面と交差する方向であるＺ軸方向へ振動変位する縦振動をさせることができる。より具体的には、質量体６０と駆動電極２７との間に交流電圧を印加することにより、質量体６０を、所定の周波数で、Ｚ軸方向に振動させることができる。図４に示す例では、質量体６０はα１方向（－Ｚ軸方向）に振動変位している。図５に示す例では、質量体６０はα１方向（－Ｚ軸方向）と反対方向のα２方向（＋Ｚ軸方向）に振動変位している。

　【００５０】

　なお、説明を省略している＋Ｘ軸方向側の質量体６０は、－Ｘ軸方向側の質量体６０と振動変位の方向が逆で、例えば＋Ｘ軸方向側の質量体６０がα１方向（－Ｚ軸方向）に振動変位している時、－Ｘ軸方向側の質量体６０はα２方向（＋Ｚ軸方向）へ振動変位する。つまり、並設している＋Ｘ軸方向側の質量体６０と－Ｘ軸方向側の質量体６０とは、互いに逆相で振動する。

　【００５１】

　質量体６０がＺ軸方向に振動している状態で、角速度センサー１００にＹ軸回りの角速度ωが加わると、質量体６０にコリオリの力が働き、質量体６０は、Ｘ軸方向に振動変位する。図６に示す例では、質量体６０がα１方向（－Ｚ軸方向）に振動変位しているので、コリオリ力により、質量体６０は、β１方向（－Ｘ軸方向）に振動変位する。図７に示す例では、質量体６０がα２方向（＋Ｚ軸方向）に振動変位しているので、コリオリ力により、質量体６０は、β１方向（－Ｘ軸方向）と反対方向のβ２方向（＋Ｘ軸方向）に振動変位する。そのため、質量体６０と一体化している支持体２０から延出している検出可動電極４０も質量体６０と同一方向に振動変位する。

　【００５２】

　角速度センサー１００にＹ軸回りの角速度ωが加わることで、検出可動電極４０がβ１方向（－Ｘ軸方向）に振動変位すると、検出可動電極４０と検出固定電極５０ｂとの間の距離が短くなり、検出可動電極４０と検出固定電極５０ｂとの間の静電容量Ｃ２が大きくなる。また、検出可動電極４０がβ１方向（－Ｘ軸方向）に振動変位すると、検出可動電極４０と検出固定電極５０ａとの間の距離が長くなり、検出可動電極４０と検出固定電極５０ａとの間の静電容量Ｃ１が小さくなる。よって、静電容量Ｃ２と静電容量Ｃ１をＣ／Ｖ変換回路（容量／電圧変換回路、図示せず）で各々電圧に変換し、それを差動増幅器（図示せず）によって増幅すればその出力電圧（交流）からＹ軸回りの角速度ωの大きさを検出することができる。

　【００５３】

　検出可動電極４０がβ２方向（＋Ｘ軸方向）に振動変位した場合も検出可動電極４０と検出固定電極５０ａとの距離、検出可動電極４０と検出固定電極５０ｂとの距離関係は前述と逆になるが、同様に、Ｙ軸回りの角速度ωの大きさを検出することができる。また、差動増幅器の出力電圧を同期検波器（図示せず）で検波することで角速度ωの回転方向も検知することができる。

　【００５４】

　なお、質量体６０がＺ軸方向へ振動変位する距離が大きくなると、振動の周波数が一定の場合は、振動している質量体６０の変位速度を速くすることができるので、角速度が加わった時のコリオリの力が大きくなる。そのため、検出可動電極４０の変位量も大きくなるので、検出可動電極４０と検出固定電極５０との静電容量の変化量も大きくなり、検出感度を高くすることができる。よって、より高い検出感度を有する角速度センサー１００を得ることができる。

　【００５５】

　上記では、静電力によって、質量体６０を駆動させる形態（静電駆動方式）について説明したが、質量体６０を駆動させる方法は、特に限定されず、圧電駆動方式や、磁場のローレンツ力を利用した電磁駆動方式等を適用することができる。

　【００５６】

　また、本実施形態の角速度センサー１００では、質量体６０と駆動電極２７とに交流電圧を印加し、質量体６０をＺ軸方向に振動させることで、面内軸（Ｙ軸）回りの角速度を検出可動電極４０と検出固定電極５０との間の静電容量の変化として検出している。しかし、逆に、検出可動電極４０と検出固定電極５０とに交流電圧を印加し、質量体６０をＸ軸方向に振動させ、面内軸（Ｙ軸）回りの角速度を質量体６０と駆動電極２７との間の静電容量の変化として検出する構成であっても構わない。

　【００５７】

　本実施形態に係る角速度センサー１００は、例えば、以下の特徴を有する。

　【００５８】

　本実施形態に係る角速度センサー１００によれば、質量体６０が主面と交差する方向に変位可能であるので、質量体６０を主面と交差する方向（Ｚ軸方向）の振動である縦振動で容易に駆動させることができる。また、第１基体１０と検出固定電極５０との距離ｄ２よりも、第１基体１０と質量体６０との距離ｄ１の方が長いので、縦振動で駆動する質量体６０を主面と交差する方向であるＺ軸方向に大きく振動変位させることができる。従って、質量体６０を変位量（振幅）の大きい縦振動で駆動することができるため、面内軸であるＹ軸回りの角速度が加わった場合、大きなコリオリ力が働き、検出可動電極４０と検出固定電極５０との間に生じる静電容量の変化量が大きくなるので、Ｙ軸回りの角速度に対して高い検出感度を有する角速度センサー１００を得ることができる。

　【００５９】

　また、第１基体１０の厚肉部１２の上面に接続部２２を介して質量体６０が配置されるので、第１基体１０と質量体６０との距離ｄ１に、第１基体１０から突出している厚肉部１２の高さを加えた距離まで、質量体６０をより大きく振動変位させることができる。また、平面視にて、質量体６０と厚肉部１２とが離れているために、質量体６０を厚肉部１２と接触せずに振動させることができる。

　【００６０】

　また、検出固定電極５０が第１基体１０の厚肉部１２の上面に設けられているため、検出固定電極５０と、第１基体１０の厚肉部１２の上面に接続部２２を介して配置されている支持体２０から延出している検出可動電極４０と、を対向して配置することができるので、検出可動電極４０と検出固定電極５０との間に静電容量を形成することができる。

　【００６１】

　また、検出可動電極４０の厚さが質量体６０よりも厚いことで、質量体６０の主面と第１基体１０の主面とが対向する距離を長くすることができ、且つ、検出可動電極４０と検出固定電極５０との対向している面積を大きくすることができる。即ち、質量体６０の振動変位を大きく取りながら、検出用の電極である検出可動電極４０と検出固定電極５０との間の静電容量を大きくすることが可能となり、高い検出感度を有する角速度センサー１００を得ることができる。

　【００６２】

　また、面内軸であるＹ軸回りの角速度により発生するコリオリ力によって、検出可動電極４０が延出している方向と交差する方向であるＸ軸方向に質量体６０が振動変位することで、質量体６０に接続されている支持体２０から延出している検出可動電極４０も質量体６０と同じ方向に振動変位し、検出固定電極５０との間隔が変化する。そのため、検出可動電極４０と検出固定電極５０との間の静電容量が変化するので、電極間の静電容量の変化量を測定することでＹ軸回りの角速度を検出することができる。

　【００６３】

　また、断面視において、第１弾性部３０の厚さは、第２弾性部２４の厚さよりも厚いため、第１弾性部３０の厚さ方向（Ｚ軸方向）の曲げ剛性が第２弾性部２４よりも高くなるので、質量体６０を主面と交差する方向であるＺ軸方向に振動変位する振動によって、支持体２０と接続されている検出可動電極４０がＺ軸方向に振動変位するのを抑制することができる。

　【００６４】

　＜機能素子の製造方法＞

　次に、本実施形態に係る機能素子としての角速度センサー１００の製造方法の一例について、図１と図８～図１１を参照して説明する。

　図８は、本実施形態に係る角速度センサー１００の主要な製造工程を示すフローチャートである。図９～図１１は、本実施形態に係る角速度センサー１００の製造工程を説明する模式断面図である。

　【００６５】

　［第１凹部形成工程　Ｓ１］

　先ず、第１凹部形成工程（Ｓ１）では、ガラス基板１０ａをエッチングしてガラス基板１０ａに第１凹部１４を形成し、第１基体１０を得る。エッチングは、例えば、ウェットエッチングにより行われる。本工程により、厚肉部１２と底面１６を有する第１基体１０を用意することができる。

　【００６６】

　［駆動電極形成工程　Ｓ２］

　次に、駆動電極形成工程（Ｓ２）では、図９に示すように、第１凹部１４の底面１６に、駆動電極２７を形成する。駆動電極２７は、底面１６にスパッタ法等により導電層を成膜した後、当該導電層をフォトリソグラフィー技術およびエッチング技術を用いてパターニングすることにより形成される。

　【００６７】

　［第２凹部形成工程　Ｓ３］

　次に、第２凹部形成工程（Ｓ３）では、図１０に示すように、シリコン基板１１０ａをエッチングしてシリコン基板１１０ａに第２凹部１５を形成し、第２基体１１０を得る。エッチングは、例えば、ドライエッチングにより行われる。本工程により、第２凹部１５が設けられている第２基体１１０を用意することができる。

　【００６８】

　［接合工程　Ｓ４］

　次に、第１基体１０と第２基体１１０とを接合する接合工程Ｓ４では、図１１に示すように、第１基体１０の第１凹部１４が開口している側と、第２基体１１０の第２凹部１５が開口している側と、を向かい合うように接合する。第１基体１０と第２基体１１０との接合は、陽極接合等によって行われる。なお、接合する領域は、第１基体１０の厚肉部１２と、次工程で形成される第２基体１１０の接続部２２および検出固定電極５０である。接合工程では、第１凹部１４と第２凹部１５との開口が向かい合うように接合されているので、質量体６０をＺ軸方向に大きく振動変位させることができる広い間隙が構成される。

　【００６９】

　［形状パターン形成工程　Ｓ５］

　次に、接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０を形成する形状パターン形成工程（Ｓ５）では、第２基体１１０を、所望の形状にパターニング（エッチング）して、接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０を形成する。パターニングは、フォトリソグラフィー技術およびエッチング技術（ドライエッチング）によって行われ、より具体的なエッチング技術として、ボッシュ（Ｂｏｓｃｈ）法を用いることができる。本工程では、第２基体１１０をパターニング（エッチング）することにより、接続部２２、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０が一体的に形成される。

　【００７０】

　以上の製造方法により、接続部２２が厚肉部１２と接合されているので、第１弾性部３０と第２弾性部２４とを備えている支持体２０、質量体６０、および検出可動電極４０を第１基体１０と離間することができ、質量体６０をＺ軸方向に、また、検出可動電極４０をＸ軸方向に振動変位させることができる。

　【００７１】

　また、検出固定電極５０は厚肉部１２と接合されているので、検出可動電極４０と検出固定電極５０との電気的な絶縁を容易に図ることができ、検出可動電極４０と検出固定電極５０との間に静電容量を容易に形成することができる。

　【００７２】

　上述したように、本実施形態に係る角速度センサー１００の製造方法は、接続部２２、支持体２０、質量体６０、検出可動電極４０、および検出固定電極５０を形成する形状パターン形成工程で、第２基体１１０に設けられている第２凹部１５に質量体６０を形成している。そのため、質量体６０の主面と第１基体１０の主面との距離を長くすることでき、質量体６０を主面と交差する方向に大きく振動変位させることができる構造となるので、高い検出感度を有する角速度センサー１００を製造することができる。

　【００７３】

　また、本実施形態に係る角速度センサー１００の製造方法は、第１基体１０に第１凹部１４を形成する第１凹部形成工程を含み、駆動電極形成工程では、第１凹部１４に駆動電極２７を形成し、接合工程では、第１基体１０の第１凹部１４と第２基体１１０の第２凹部１５とが向かい合うように接合している。そのため、質量体６０と駆動電極２７とを対向して配置することができ、質量体６０が振動変位できる空隙領域がより広くなり、質量体６０を主面と交差する方向（Ｚ軸方向）により大きく振動変位させることができる構造となるので、高い検出感度を有する角速度センサー１００を製造することができる。

　【００７４】

　＜電子機器＞

　次に、本発明の一実施形態に係る機能素子を備えている電子機器について、図１２～図１４を用いて詳細に説明する。なお、本説明では、機能素子としての角速度センサー１００を用いた例を示している。

　【００７５】

　図１２は、本発明の一実施形態に係る角速度センサー１００を備える電子機器の一例としてのモバイル型（又はノート型）のパーソナルコンピューターの概略構成を示す斜視図である。

　図１２において、パーソナルコンピューター１１００は、キーボード１１０２を備えた本体部１１０４と、表示部１０００を備えた表示ユニット１１０６とにより構成され、表示ユニット１１０６は、本体部１１０４に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピューター１１００には、パーソナルコンピューター１１００を回転させたときの角度検出としての機能を備えた角速度センサー１００が内蔵されている。

　【００７６】

　図１３は、本発明の一実施形態に係る角速度センサー１００を備える電子機器の一例としての携帯電話機１２００（ＰＨＳも含む）の概略構成を示す斜視図である。

　図１３において、携帯電話機１２００は、複数の操作ボタン１２０２、受話口１２０４、および送話口１２０６を備え、操作ボタン１２０２と受話口１２０４との間には、表示部１０００が配置されている。このような携帯電話機１２００には、携帯電話機１２００を回転させたときの角度検出としての機能を備えた角速度センサー１００が内蔵されている。

　【００７７】

　図１４は、本発明の一実施形態に係る角速度センサー１００を備える電子機器の一例としてのデジタルスチールカメラ１３００の概略構成を示す斜視図である。なお、図１４には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。ここで、従来のフィルムカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルスチールカメラ１３００は、被写体の光像をＣＣＤ（Charge Coupled Device）等の撮像素子により光電変換して撮像信号（画像信号）を生成する。

　【００７８】

　デジタルスチールカメラ１３００におけるケース（ボディー）１３０２の背面には、表示部１０００が設けられ、ＣＣＤによる撮像信号に基づいて表示を行う構成になっており、表示部１０００は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース１３０２の正面側（図中裏面側）には、光学レンズ（撮像光学系）やＣＣＤ等を含む受光ユニット１３０４が設けられている。

　【００７９】

　撮影者が表示部１０００に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン１３０６を押下すると、その時点におけるＣＣＤの撮像信号が、メモリー１３０８に転送、格納される。また、このデジタルスチールカメラ１３００においては、ケース１３０２の側面に、ビデオ信号出力端子１３１２と、データ通信用の入出力端子１３１４とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子１３１２にはテレビモニター１４３０が、データ通信用の入出力端子１３１４にはパーソナルコンピューター１４４０が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー１３０８に格納された撮像信号が、テレビモニター１４３０や、パーソナルコンピューター１４４０に出力される構成になっている。このようなデジタルスチールカメラ１３００には、デジタルスチールカメラ１３００を回転させたときの角度検出としての機能を備えた角速度センサー１００が内蔵されている。

　【００８０】

　なお、本発明の一実施形態に係る角速度センサー１００は、図１２のパーソナルコンピューター１１００（モバイル型パーソナルコンピューター）、図１３の携帯電話機１２００、図１４のデジタルスチールカメラ１３００の他にも、例えば、スマートフォンなどの移動体端末、通信機器、インクジェット式吐出装置（例えばインクジェットプリンター）、ラップトップ型パーソナルコンピューター、タブレット型パーソナルコンピューター、ルーターやスイッチなどのストレージエリアネットワーク機器、ローカルエリアネットワーク機器、移動体端末基地局用機器、テレビ、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、カーナビゲーション装置、リアルタイムクロック装置、ページャー、電子手帳（通信機能付も含む）、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサー、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、ＰＯＳ端末、医療機器（例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡）、魚群探知機、各種測定機器、計器類（例えば、車両、航空機、船舶の計器類）、フライトシミュレーター、ヘッドマウントディスプレイ、モーショントレース、モーショントラッキング、モーションコントローラー、ＰＤＲ（歩行者位置方位計測）等の電子機器に適用することができる。

　【００８１】

　＜移動体＞

　次に、本発明の一実施形態に係る機能素子を備える移動体について図１５を用いて説明する。なお、本説明では、機能素子としての角速度センサー１００を用いた例を示している。

　図１５は、移動体の一例としての自動車１５００を概略的に示す斜視図である。

　【００８２】

　自動車１５００には本発明の一実施形態に係る角速度センサー１００が搭載されている。

　図１５に示すように、移動体としての自動車１５００には、角速度センサー１００を内蔵することでタイヤ１５０３などを制御する電子制御ユニット１５０２が車体１５０１に搭載されている。また、角速度センサー１００は、他にもキーレスエントリー、イモビライザー、カーナビゲーションシステム、カーエアコン、アンチロックブレーキシステム（ＡＢＳ）、エアバック、タイヤ・プレッシャー・モニタリング・システム（ＴＰＭＳ：Tire Pressure Monitoring System）、エンジンコントロール、ブレーキシステム、ハイブリッド自動車や電気自動車の電池モニター、車体姿勢制御システム、等の電子制御ユニット（ＥＣＵ：Electronic Control Unit）に広く適用できる。

【符号の説明】

　【００８３】

　１０…第１基体、１０ａ…ガラス基板、１２…厚肉部、１４…第１凹部、１５…第２凹部、１６…底面、２０…支持体、２２…接続部、２４…第２弾性部、２７…駆動電極、３０…第１弾性部、４０…検出可動電極、５０，５０ａ，５０ｂ…検出固定電極、６０…質量体、１００…機能素子としての角速度センサー、１１０…第２基体、１１０ａ…シリコン基板、１１００…パーソナルコンピューター、１２００…携帯電話機、１３００…デジタルスチールカメラ、１５００…自動車。

【書類名】特許請求の範囲

【請求項１】

　第１基体と、

　前記第１基体に接続されている接続部と、

　前記接続部から延出している支持体と、

　前記支持体に接続されている質量体と、

　前記第１基体の前記質量体と対向している面側に設けられている駆動電極と、

　前記支持体から延出している検出可動電極と、

　前記第１基体に接続され、前記検出可動電極の少なくとも一部と対向している検出固定電極と、を備え、

　前記質量体は、前記質量体の主面と交差する方向に変位可能であり、前記第１基体と前記質量体との距離をｄ１とし、前記第１基体と前記検出固定電極との距離をｄ２としたとき、ｄ１＞ｄ２であることを特徴とする機能素子。

【請求項２】

　前記第１基体は、厚肉部が設けられ、前記接続部は、前記厚肉部に設けられ、平面視にて、前記質量体と前記厚肉部とが離れていることを特徴とする請求項１に記載の機能素子。

【請求項３】

　前記検出固定電極の少なくとも一部は、前記厚肉部に設けられていることを特徴とする請求項２に記載の機能素子。

【請求項４】

　前記検出可動電極の厚さは、前記質量体よりも厚いことを特徴とする請求項１に記載の機能素子。

【請求項５】

　前記質量体は、前記質量体と前記駆動電極との間に印加した交流電圧により振動し、前記質量体に、前記質量体の主面に沿い、且つ検出可動電極が延出している方向の軸回りの角速度が加わったとき、前記検出可動電極は、前記方向と交差する方向に振動することを特徴とする請求項１に記載の機能素子。

【請求項６】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項１に記載の機能素子。

【請求項７】

　第２基体を加工して前記第２基体に第２凹部を形成する工程と、

　第１基体に駆動電極を配置する工程と、

　前記第２基体に設けられた前記第２凹部を有する面と、前記第１基体の前記駆動電極を有する面とを接合する接合工程と、

　前記第２基体を加工して、接続部、支持体、質量体、検出可動電極、および検出固定電極を形成する工程と、を含み、

　前記接続部、前記支持体、前記質量体、前記検出可動電極、および前記検出固定電極を形成する工程では、前記第２凹部に前記質量体を形成することを特徴とする機能素子の製造方法。

【請求項８】

　前記第１基体に第１凹部を形成する工程を含み、

　前記駆動電極を配置する工程では、前記第１凹部に前記駆動電極を形成し、

　前記接合工程では、前記第１凹部と前記第２凹部とが向かい合うように接合することを特徴とする請求項７に記載の機能素子の製造方法。

【請求項９】

　請求項１に記載の機能素子を備えていることを特徴とする電子機器。

【請求項１０】

　請求項１に記載の機能素子を備えていることを特徴とする移動体。

【請求項１１】

　前記検出可動電極の厚さは、前記質量体よりも厚いことを特徴とする請求項２に記載の機能素子。

【請求項１２】

　前記検出可動電極の厚さは、前記質量体よりも厚いことを特徴とする請求項３に記載の機能素子。

【請求項１３】

　前記質量体は、前記質量体と前記駆動電極との間に印加した交流電圧により振動し、前記質量体に、前記質量体の主面に沿い、且つ検出可動電極が延出している方向の軸回りの角速度が加わったとき、前記検出可動電極は、前記方向と交差する方向に振動することを特徴とする請求項２に記載の機能素子。

【請求項１４】

　前記質量体は、前記質量体と前記駆動電極との間に印加した交流電圧により振動し、前記質量体に、前記質量体の主面に沿い、且つ検出可動電極が延出している方向の軸回りの角速度が加わったとき、前記検出可動電極は、前記方向と交差する方向に振動することを特徴とする請求項３に記載の機能素子。

【請求項１５】

　前記質量体は、前記質量体と前記駆動電極との間に印加した交流電圧により振動し、前記質量体に、前記質量体の主面に沿い、且つ検出可動電極が延出している方向の軸回りの角速度が加わったとき、前記検出可動電極は、前記方向と交差する方向に振動することを特徴とする請求項４に記載の機能素子。

【請求項１６】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項２に記載の機能素子。

【請求項１７】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項３に記載の機能素子。

【請求項１８】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項４に記載の機能素子。

【請求項１９】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項５に記載の機能素子。

【請求項２０】

　前記支持体は、前記接続部に接続されている第１弾性部と、前記質量体に接続されている第２弾性部と、を含み、断面視において、前記第１弾性部の厚さは、前記第２弾性部の厚さよりも厚いことを特徴とする請求項１４に記載の機能素子。

【書類名】要約書

【要約】

【課題】高い検出感度を有する機能素子、その機能素子の製造方法、その機能素子を備えた電子機器、および移動体を提供する。

【解決手段】機能素子（１００）は、第１基体１０と、第１基体１０に接続されている接続部２２と、接続部２２から延出している支持体２０と、支持体２０に接続されている質量体６０と、第１基体１０の質量体６０と対向している面側に設けられている駆動電極２７と、支持体２０から延出している検出可動電極４０と、第１基体１０に接続され、検出可動電極４０の少なくとも一部の面と対向している検出固定電極５０と、を備え、質量体６０は、質量体６０の主面と交差する方向に変位可能であり、第１基体１０と質量体６０との距離をｄ１とし、第１基体１０と検出固定電極５０との距離をｄ２としたとき、ｄ１＞ｄ２とすることを特徴としている。

【選択図】図２