(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2006-518846
(P2006-518846A)
(43)公表日　平成18年8月17日(2006.8.17)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01L 1/16	(2006.01)	G01L 1/16	B	
		G01L 1/16	A	

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 31 頁）

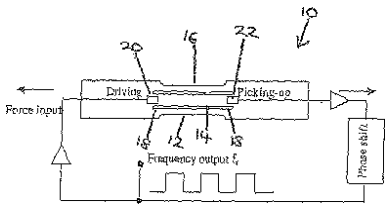
(21)出願番号　特願2006-502242 (P2006-502242)
(86)(22)出願日　平成16年2月5日 (2004.2.5)
(85)翻訳文提出日　平成17年10月5日 (2005.10.5)
(86)国際出願番号　PCT/GB2004/000455
(87)国際公開番号　WO2004/070335
(87)国際公開日　平成16年8月19日 (2004.8.19)
(31)優先権主張番号　0302586.3
(32)優先日　平成15年2月5日 (2003.2.5)
(33)優先権主張国　英国 (GB)
(31)優先権主張番号　0302585.5
(32)優先日　平成15年2月5日 (2003.2.5)
(33)優先権主張国　英国 (GB)

(71)出願人　502104011
ブルーネル　ユニバーシティ
イギリス国　ミドルセックス　ＵＢ８　３ＰＨ　アクスブリッジ
(71)出願人　505296566
ユニバーシティ　オブ　サウサンプトン
イギリス国　サウサンプトン　ＳＯ１７　１ＢＪ　ハイフィールド　ユニバーシティ　ロード
(74)代理人　100082647
弁理士　永井　義久
(72)発明者　ジョーンズ・エドワード・バリー
イギリス国　ミドルセックス　ＵＢ８　３ＰＨ　アクスブリッジ　ブルーネル　ユニバーシティ

最終頁に続く

(54)【発明の名称】共振センサーアセンブリー

(57)【要約】
トリプルビーム共振器１０は、互いに平行に配列され、両端部の分離領域１８において連結された、換言すれば周囲の材料に対して連結された三本のビームまたは櫛歯状部分（１２，１４，１６）を備えている。中央のビーム（１４）は、外側のビーム（１２，１６）の２倍の幅を有する。共振要素は、長さ１５．５mm、厚さ０．２５mmであり、ビーム幅２mm及び１mmである。ビーム間距離は０．５mmである。有限要素解析により、共振器１０の応力分布及び固有振動数を含むモデル挙動の予測が行われた。圧膜ＰＺＴ要素２０，２２は、中央のビーム１４における各端部の分離領域に印刷された。この部分は、共振器１０が好適な振動モードで動作するとき、最大の応力が発生するところである。一端部にあるＰＺＴ要素２０は振動駆動を行い、他端部にあるＰＺＴ要素２２がそれを検出する。ＰＺＴ駆動部及び検出要素２０，２２を最大応力の領域に配置することによって、駆動力及び検出信号の双方を発生させるための、動作中の圧電層および共振器間の機械的結合の程度が最大化する。３１００またはそれ以上の非常に高いQ係数が試験



【特許請求の範囲】
【請求項１】
厚膜圧電駆動部またはピックアップを含む共振センサー。
【請求項２】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが少なくとも１マイクロメーターである、請求項１記載のセンサー。
【請求項３】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが１～２マイクロメーターである、請求項１または２記載のセンサー。
【請求項４】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが５～２０マイクロメーターまたは５～１００マイクロメーターである、請求項１、２または３記載のセンサー。
【請求項５】
厚膜圧電駆動部またはピックアップが基板に印刷されている、請求項１～４のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項６】
厚膜圧電駆動部またはピックアップが基板にスクリーン印刷されている、請求項１～５のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項７】
基板が共振器固有の構成要素である請求項１～６のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項８】
基板が、測定対象の歪、圧力またはトルクを有する物またはその一部である、請求項１～６のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項９】
共振器センサーが、厚膜圧電駆動部またはピックアップを自身に有するビーム共振器である、請求項１～８のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１０】
ビーム共振器がトリプルビーム共振器である、請求項９記載のセンサー。
【請求項１１】
ビームが互いに実質的に平行である、請求項１０記載のセンサー。
【請求項１２】
中央のビームが、他の各ビームの２倍の体積を有する、請求項１０または１１記載のセンサー。
【請求項１３】
中央のビームが、他の各ビームの２倍の幅を有する、請求項１０、１１または１２記載のセンサー。
【請求項１４】
ビームが、対称的に切り欠かれた、一次検出する金属構造に対する連結部を備えている、請求項９～１３のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１５】
共振器における一つ若しくは複数の駆動部と一つ若しくは複数のピックアップとが、ともに厚膜圧電材料から形成されている、請求項１～１４のいずれか１項に記載のセンサー
【請求項１６】
共振器の基板が、金属または金属性物質で形成されている、請求項１～１５のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１７】
ビーム共振器は、４３０ステンレス、インコネルおよびベリリウム銅の少なくとも一つを含む金属材料の薄板をエッチングしてなるものである、請求項１６記載のセンサー。
【請求項１８】
基板がシリコンまたはセラミック材料から形成されている、請求項１～１５のいずれか

１項に記載のセンサー。
【請求項１９】
共振器がガラス層を有する、請求項１８記載のセンサー。
【請求項２０】
ガラス層が共振器のダイアフラムに取り付けられている、請求項１９記載のセンサー。
【請求項２１】
ダイアフラムがステンレ鋼のダイアフラムである、請求項２０記載のセンサー。
【請求項２２】
一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップのうち一つのみが厚膜圧電材料で形成されており、他の一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップは静電性、容量性または光学性とされている、請求項１～２１のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２３】
圧電材料がジルコン酸チタン酸鉛（ＰＺＴ）を含む、請求項１～２２のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２４】
共振器が複数の駆動部およびピックアップを備えている、請求項１～２３のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２５】
共振器が離間支持部を備えている、請求項１～２４のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２６】
共振器は、一つ若しくは複数の駆動部および／または一つ若しくは複数のピックアップと通信するための無線通信手段を備えている、請求項１～２５のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２７】
通信手段は、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波による振幅変調磁気結合によって提供されるものである、請求項２６記載のセンサー。
【請求項２８】
共振器への動力供給のため及び共振器の周波数を検出するために時分割多重化を備えている、請求項２６または２７記載のセンサー。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、共振センサーアセンブリーに関する。
【背景技術】
【０００２】
共振センサーは、重量、圧力、トルクおよび流体の流量特性の測定等、センサー用途において広範に使用されている。これらのセンサーにおける重要な要素が共振器、特に振動構造であり、共振周波数が測定量の関数となるように設計される。
【０００３】
殆どに共通する検出メカニズムは、共振器に対して応力を加えて力センサーとすることである。加えられた応力は、共振器構造の剛性を有効に増加させ、もって共振器の固有周波数を増加させる。共振器は実質的にデジタルの周波数出力を提供し、これが電気的雑音、独立レベルおよび送信信号減衰の影響を受け難くし、良好な長期安定性を提供する。周波数出力はデジタルインターフェースと互換性があり、アナログ－デジタル変換を必要としないため、特有の高い正確性と低コストとが維持される。
【０００４】
共振器センサーは、しばしば比較的に高い機械的品質係数（Ｑ係数）を有しており、これが高い周波数解像度およびそれゆえ高い感度をもたらしている。高いＱ係数は、電子機器の動作を簡素化するような、共振器における低いエネルギー損失およびそれによる共振

維持に必要な動力の低さ、ならびに共振周波数帯域幅の外における良好なノイズ除去を意味するものである。共振センサーは、例えばBarthod C, Teisseyre Y, Gehin C および Gautier Gによる"Resonant force sensor using PLL electronics",Sensors and Actuators A 104 pages 143 to 150 (2003)において述べられているように、広範な型式、サイズおよび材料で製造されている。

【０００５】

力、圧力及びトルクを測定するために現在使用されている共振器は、抵抗ひずみ計を利用したものである。この技術は過去４０年にわたるものであり、ひずみ計の性能は一般に疲労とクリープによる限界がある。

【０００６】

そのような技術を用いた共振器の製造は、比較的に高価であるとともに、大きな労働力を必要とし、それゆえ自動化が困難である。さらに、その技術の性能水準はもはや限界に達している。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

本発明は、改良された共振センサーを提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明の一態様としては、厚膜圧電駆動部またはピックアップを含む共振センサーが提供される。

【０００９】

好適には、厚膜圧電駆動部またはピックアップは少なくとも１マイクロメーター、例えば１～２マイクロメーターの厚さを有する。応用に応じて、５～２０マイクロメーターもしくは５０～１００マイクロメーター、もしくはこれらの範囲内のあらゆる厚さを有することができる。

【００１０】

好ましい形態では、厚膜圧電駆動部またはピックアップは基板上に印刷、特に好ましくはスクリーン印刷される。基板は、共振器固有の構成要素であっても良く、また測定対象の歪、圧力またはトルクを有する物またはその一部であっても良い。

【００１１】

好ましい形態では、共振器センサーは、厚膜圧電駆動部またはピックアップを自身に有するビーム（梁）共振器とされる。ビーム共振器は、いくつかの形態ではダブルビーム（二梁型）共振器とされるが、特に好ましいのはトリプルビーム（三梁型）共振器である。

【００１２】

共振器における一つ若しくは複数の駆動部と一つ若しくは複数のピックアップとが、ともに厚膜圧電材料から形成されていると有利である。特に、圧電材料は印刷されるのが好ましく、スクリーン印刷が有利である。

【００１３】

共振器におけるこれらの特徴の利点は、圧電材料が自動製造工程によって付与できることである。さらには、以下で述べるように、共振器の好ましい形態は、従来の技術による共振器よりもはるかに高い品質係数を有する。

【００１４】

圧電材料のスクリーン印刷は、容易に自動化できるとともに、製造条件を正確にでき、またそれゆえ品質の面で信頼性及び繰り返し性に優れた製品を提供できる工程である。

【００１５】

共振器の基板は、金属または金属性物質で形成されると有利である。別の形態では、基板はシリコンまたはセラミック材料から形成される。

【００１６】

一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップのうち一つのみが厚

膜圧電材料で形成される形態では、他の一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップは静電性、容量性または光学性とすることができる。

【００１７】

圧電材料がジルコン酸チタン酸鉛（ＰＺＴ）を含むと有利である。

【００１８】

この材料としては、以下で述べるように、特に４及び５Ｈとして知られるバージョンが、この共振器に特に適することが判明している。

【００１９】

いくつかの形態では、共振器は複数の駆動部およびピックアップを備えている。

【００２０】

トリプルビーム共振器の形態では、ビームが互いに実質的に平行であり、中央のビームが他の各ビームの２倍の体積を有する、例えば中央のビームが、他の二つのビームの幅の２倍の幅を有する、または他の二つのビームの厚さの２倍の厚さを有する、または他のあらゆるそのような寸法の組み合わせを有するのは好ましい。そのような配置では、以下で述べるように、中央のビームが、二つの側部ビームに対して対向共振するように形成できる。

【００２１】

ビーム共振器は、薄板状の金属材料をエッチングしてなるものであると有利である。

【００２２】

特に有利な材料は、４３０ステンレス、インコネルおよびベリリウム銅であることが判明している。

【００２３】

一つの形態では、ビームは、対称的に切り欠かれた、一次検出する金属構造（primary sensing metallic structure）に対する連結部を備えることができる。

【００２４】

ビーム共振器は、共振器が、共振器の表面ビーム上にその表面から離間して位置しうるように、離間支持部を備えることができる。

【００２５】

好ましい形態では、共振器は、一つ若しくは複数の駆動部および／または一つ若しくは複数のピックアップと通信するための無線通信手段を備える。これは、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波による振幅変調磁気結合によって提供することができる。

【００２６】

一つの形態では、共振器への動力供給のため及び共振器の周波数を検出するために時分割多重化が備えられる。いずれの場合にも、マイクロ波キャリアの振幅変調が用いられると有利である。

【００２７】

共振器がシリコンまたはカーボンビーム構造を有する場合において、共振器はガラス層を有するのは好ましい。ガラス層は、共振器のダイアフラムに、例えばはんだを使用して取り付けられると有利である。ダイアフラムは、ステンレ鋼、例えば１７４ｐＨステンレス鋼のダイアフラムであるのが好ましい。

【００２８】

本発明の他の態様としては、センサーの駆動及び／又は読み出しを行うための無線通信手段を含む共振センサーが提供される。センサーとしてはビームセンサーが好適である。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２９】

以下、ほんの一例ではあるが、本発明の実施形態について添付図面を参照しつつ説明する。

【００３０】

ここで説明する好ましい実施形態は、振動駆動及び振動検出のために厚膜圧電要素を有

する、金属、シリコンまたはセラミック製のトリプルビーム共振器を提案するものである。金属製共振器の場合、基板は、好ましい実施形態では、両面フォトケミカルエッチング技術により製造され、標準的なスクリーン印刷工程により厚膜圧電要素が付着される。実施形態の共振器は、長さ１５．５ｍｍ、全幅７ｍｍに製作及び試験したところ、７．２ｋＨｚでＱ係数が３１００の好ましいモードを有していた。説明されるトリプビーム共振器は、厚膜圧電駆動部及びピックアップを有する音叉構造を有している。

【００３１】

図１を参照すると、厚膜圧電駆動部及びピックアップが印刷されたトリプルビーム共振器の実施形態が示されている。圧電厚膜は、共振器の櫛歯状部分における、要求される共振振動モードが得られる正確な位置に、バッチ式でスクリーン印刷される。圧電材料の付着に標準的なバッチ式スクリーン印刷工程を用いると、駆動部及びピックアップの製造において高い繰り返し性及び再現性が得られる。各電極は、４つの連続厚膜印刷層、すなわち底部の誘電層、底部金属層、圧電層および表面金属電極から構成されている。一方の電極は駆動部として機能し、他方はピックアップとして機能する。

【００３２】

共振器を要求される共振モードに維持するために、増幅及び適切な位相シフトを通じて、ピックアップ信号を駆動部にフィードバックすることができる。共振周波数は、測定される物理量の関数である。これらの特性は、当業者であれば理解できるであろう。

【００３３】

共振器はバッチ式のフォトケミカルエッチングにより薄板から形成され、対称的に切り欠かれた、周囲構造に対する連結部を有すると好ましい。フォトケミカルエッチングの工程は、共振器基板を製造する上で高い繰り返し性及び再現性を可能にする。

【００３４】

ここで図２を参照すると、切欠連結部を有するトリプルビーム共振器の実施形態が示されている。切欠連結部は、共振器に連結された外部構造の振動を絶つのに役立ち、それによって性能が向上する。

【００３５】

図３Ａ及び３Ｂは、一体化された離間支持部を有するトリプルビーム共振器を示している。離間支持部によって、共振器を、容易にかつ正確な固定長さをもって平坦な表面に搭載できるようになる。これによって、共振器の性能において高い繰り返し性及び再現性が得られるようになる。

【００３６】

図３Ａ及び３Ｂに示される共振器の構造は、個別のマスクを用いる連続両面エッチングにより製造することができる。これによって、厚さを検出部分（薄）及び固定領域（厚）とで異ならしめることができる。

【００３７】

図４は、複数の駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示している。これによって、同じ共振器で駆動部及びピックアップの構成の組み合わせを異ならしめることができる。

【００３８】

図１～４に示される実施形態は、図１の実施形態を参照して説明した共通の基本構造を有するものである。

【００３９】

共振器１０は、互いに平行に配列され、両端部の分離領域１８において連結された、換言すれば周囲の材料に対して連結された三本のビーム（櫛歯状部分）１２，１４，１６を含む。中央のビーム１４は、外側のビーム１２，１６の２倍の幅を有する。共振要素は、長さ１５．５ｍｍ、厚さ０．２５ｍｍであり、ビーム幅２ｍｍ及び１ｍｍである。ビーム間距離は０．５ｍｍである。

【００４０】

共振器１０の応力分布及び固有振動数を含むモデル挙動を予測するため、有限要素解析

（ＦＥＡ）が行われた。圧膜ＰＺＴ要素２０，２２は、中央のビーム１４における各端部の分離領域に印刷された。この部分は、共振器１０が好適な振動モードで動作するとき、最大の応力が発生するところである。一端部にあるＰＺＴ要素２０は振動駆動を行い、他端部にあるＰＺＴ要素２２がそれを検出する。ＰＺＴ駆動部及び検出要素２０，２２を最大応力の領域に配置することによって、駆動力及び検出信号の双方を発生させるための、動作中の圧電層および共振器間の機械的結合の程度が最大化する。

【００４１】

トリプルビーム共振器１０は、ウエハー表面から出力される振動に関して三つの異なる基本モードを有することができる。第１のモードでは、３つの櫛歯状部分１２，１６は同期振動する。第２のモードでは、中央の櫛歯状部分１４は振動せず、外側の櫛歯状部分１２，１６は互いに対して１８０°の位相で振動する。第３のモードでは、中央の櫛歯状部分１４は、外側の櫛歯状部分１２，１６に対して逆位相で振動する。このモードは、分離領域において両方の曲げモーメント及び剪断力が相殺され、両端部の支持フレームで合成される振動エネルギーが非常に少ないため、トリプルビーム共振器の動作に最適である。これによって、装置のＱ係数が向上し、それゆえその装置を用いる共振センサーの性能も向上する。同期モードは低い共振周波数を有し、そして第２及び第３のモードがこれに続くようになる。さらにまた、高次の振動モードも存在する。

【００４２】

図６は、この挙動のモデルを示している。音叉部は、共振器１０の一端部に印刷された厚膜圧電要素２０によって共振が励起され、その振動は、共振器の他端部に印刷された第２の厚膜圧電要素２２によって検出された。両者は中央のビーム１４上に位置された。検出された振動の周波数によって、センサーの出力が形成されるとともに、この信号は、所望のモードの共振機構が維持されるように増幅及び位相シフトを経て駆動機構にフィードバックされる。

【００４３】

共振器１０の基板は、連続的な両面フォトケミカルエッチング技術を用いて、０．５ｍｍ厚の薄い４３０Ｓ１７ステンレス鋼ウエハーから製造された。共振器の配置を定める表面パターンと、共振要素部分を厚さ０．２５ｍｍ残しつつ離間間隙をエッチングするための底面パターンとが用いられた。そして、誘電体層が、標準的なスクリーン印刷工程を用いて、共振器１０の表面における所定の駆動領域及び検出領域に配置されるとともに、連続して、底面の金電極、圧電ペーストおよび表面金属電極の層が、各々のスクリーンを用いてそれぞれ配置された。誘電体層によって、後の段階で圧電層を分極するために、底面電極が共振器基板から絶縁された。

【００４４】

製造された共振器１０は、ウエハーから切断され、通常のワイヤーボンディングによって電気的な接続がなされた。次いで、ＰＺＴ要素が並列に接続され、１３０℃で１時間、電極間に２００Ｖの電圧がかけられ分極がなされた。測定されたＰＺＴ層の厚さは５０μｍであり、分極処理によって４ＭＶ／ｍの電界強度が発生された。これによって、圧電特性が発現するようにＰＺＴ材料の双極子が整列される。

【００４５】

ここで、図５を参照すると、力を加えるためのボンディングパッド３０を有する金属共振力センサー１０の写真が示されている。センサー１０は、クローズドループフィードバック電気回路によって共振が維持される、バランス良く浮かされたトリプルビーム振動機構を含む。センサーは、共振器における機械的エネルギーロスが最小限となるように中央のビームが外側のビームに対して逆位相で振動する、デファレンシャル（差動）モードで振動するように設計されている。この形態の共振器は、図６に示されるモデルと同様に動作する。

【００４６】

空気中で動作する共振器１０，１０´は、振動モードを観察するため、及び駆動及び検出機構の動作が成功しているか確認するため、先ずオープンループ構成で試験された。共

振器の一端部にあるＰＺＴ要素２０は、ヒューレットパッカード社のベクトル信号分析機８９４１０Ａ（Hewlett-Packard 89410A Vector Signal Analyser）からの１Ｖピークトゥピークの交流信号によって駆動された。このベクトル信号分析機は、２～９ｋHzの周波数範囲を走査するトラッキングジェネレーターを有する。共振器の他端部にあるＰＺＴ要素２２は、キスラー社の５０１１チャージアンプに接続され、チャージアンプからの出力は、共振器の周波数応答解析のために信号分析機にフィードバックされた。図７は、２．２ｋＨｚ、６．２ｋＨｚおよび６．８ｋＨｚに明確な共振を有する、共振器１０，１０´の周波数応答を示している。これらの共振は、それぞれ、共振器の第１、第３および第４の振動モードに対応するものである。ＦＥＡによる予測によれば、第３の振動モードに対する好ましい動的構造バランスによって、第３の振動モードが断然支配的である。第２モードではピックアップが位置する中央のビームは静止するため、第２モードと対応するピークが見えないことは明らかである。

【００４７】

共振器１０，１０´の空気中における第３モードのＱ係数は３１００と測定された。これは、ＰＺＴ圧膜を有するシリコン製シングルビーム共振器の空気中での動作におけるＱ係数７０、または薄膜を有するシリコン製トリプルビーム共振器の空気中での振動におけるＱ係数４００、または他の金属製共振器の空気中におけるＱ係数と比べて優秀である。

【００４８】

他の試験では、空気中の共振器に対してハンガー状構造により１５Ｎ程度の張力が予め加えられており、さらに０Ｎと約５０Ｎとの間で載荷及びその開放がなされた。

【００４９】

図８は、荷重２５Ｎ下における周波数範囲２～１０ｋＨｚの典型的なオープンループ周波数応答を示している。周波数７．２ｋＨｚにおける支配的な共振とともに、周波数４．３ｋＨｚおよび５．５ｋＨｚ丁度に現出した他の二つの共振が見られる。有限要素解析の予測によれば、これらの共振は、共振器の第３、第１及び第２振動モードとそれぞれ対応するものである。第１モードでは、三つのビーム１２～１６は同位相で振動する。第２モードでは、外側のビーム１２，１６は互いに１８０度の位相で振動する一方、中央のビーム１４は振動しない。デファレンシャルモードである第３モードでは、中央のビーム１４が外側のビーム１２，１６に対して逆位相で振動する。デファレンシャルモードに対する好ましい動的構造バランスに起因して、デファレンシャルモードは他よりもはるかに支配的である。荷重２５Ｎ、かつデファレンシャルモードにおける実験用共振器のＱ係数は、２１８０と測定された。

【００５０】

図９は、種々の荷重における共振器１０，１０´の応答を示したものであり、表１は、センサーの代表的な特徴をまとめたものである。センサーの感度は１３．０Ｈｚ／Ｎである。

【００５１】

音叉部をエッチングするために、１７－４Ｈステンレス鋼やベリリウム銅のような好ましい弾性材料を使用することによって、センサーの一般的な性能もまた向上させることができる。また、共振器を製造するためにこれらの材料に圧電要素を印刷すること、ならびに共振器をロードセルや、重量計、トルクセンサーに組み込むための適切な取付方法を有する適切な構造機構を用いることも考えられる。

【００５２】

【表１】

力センサーの特性

パラメーター	値	0-49 N の範囲における%
無負荷時の固有振動数	6890 Hz	
機械的品質係数Q	>1460*	
振動数シフト	635 Hz	
感度	13.0 Hz/N	
最大ヒステリシス	2 Hz	0.3
繰り返し性	5 Hz	0.8
最大非線形性	2.5 Hz	0.4
安定性（３０分超)		
無負荷	0.4 Hz	0.07
半負荷	0.4 Hz	0.07
全負荷	0.5 Hz	0.07

*適用負荷範囲の全体における最小のQ係数

【００５３】

また、フィードバック制御の電子回路は、クローズドループ配置とされたセンサー１０、１０′を動作させるように設計されている。そのシステムは、ＰＺＴ検出要素、チャージアンプ回路、その後に続くデジタル９０度位相シフト回路及び第２段アンプ回路を有し、全てが単一の回路基板に組み立てられている。第２段アンプからの出力は、振動駆動を行うための他のＰＺＴ要素にフィードバックされる。このようにすると、共振器は、要求されるデファレンシャルモードの振動で共振が維持される。図１０は、クローズドループ配置のセンサーからの負荷２５Ｎにおけるデジタル周波数出力を示しており、これによって、検出計装に対するインターフェースを簡易にすることができる。

【００５４】

当業者であれば、本明細書の教示を考慮することで、適切な電子回路の詳細設計は直ちに明らかになるであろう。

【００５５】

例えば振幅変調磁気結合、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波の様々な組み合わせを用いて、センサー１０、１０′を無線形態で動作するように設計できることは、好ましい形態として想定されている。

【００５６】

図１１は、駆動及びピックアップシステムの具体例のブロック図を示しており、圧電圧膜を介して共振器の共振を励振及び検出するために磁場結合を用いるものである。この例では、周波数Ｆｒが６ｋＨｚ帯にある一方で、周波数Ｆｃは約９ＭＨｚとなる。

【００５７】

図１２は、磁気結合駆動部及び電磁ピックアップの組み合わせを用いる形態を示している。

【００５８】

図１３は、共振器１０、１０′が外部の構造的／機械的振動により駆動され、ピックアップがマイクロ波、光または超音波リンクにより達成される形態を示している。この形態では、周波数Ｆｍは、約１０～約１００ｇＨｚの範囲内となるであろう。

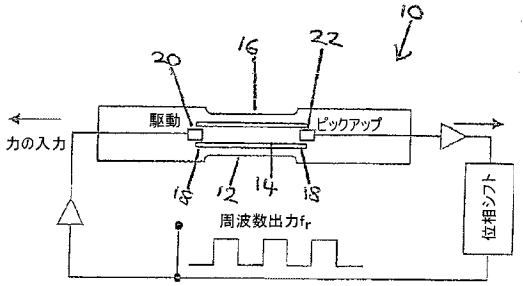
【００５９】

図１４は、磁気結合駆動部およびマイクロ波振幅変調ピックアップ部の組み合わせを用いる形態を示している。この例では、周波数Ｆｃは９ＭＨｚ帯にある。周波数Ｆｒが６ｋＨｚ帯にある一方で、周波数ＦｍはｇＨｚ帯になる。

【００６０】
図１５は、共振器が圧電圧膜を介したマイクロ波放射により駆動され、さらにマイクロ波送信機を用いたマイクロ波振幅変調の反射により検出される形態を示している。この場合、共振器周波数で金属トリプルビーム共振器１０、１０´の圧電駆動部に動力供給するため、ならびに共振器の周波数を検出するために、時分割多重化が用いられ、双方の場合においてマイクロ波の振幅変調が用いられる。
【００６１】
図１６は、共振器の駆動部及びピックアップ部に対する無線周波数リンクの形態のブロック図を示している。この形態では、ｆｒが６ｋHz帯にある一方で、ｆｍは４３３MHｚ、８６８MHz、２．４GHz帯にある。この形態の利点は、低電力電子機器を使用できることである。
【００６２】
図１７は、磁場を用いてセンサーに対する送信を行う、簡素な送信機回路の形態を示している。この簡素な回路は、９ＭＨｚにおいて特に高いＱ値を有しないが、７ＭＨｚ～１０ＭＨｚの信号を効率的に送信することができる。キャパシターの組Ｃ１－Ｌ１を１０ＭＨｚのように高い周波数に設定する一方で、キャパシター及びインダクターの組Ｃ２－Ｌ２は、７ＭＨｚといった、より低い周波数に設定する。この簡素な回路の動作は、当業者であれば容易に理解できるであろう。
【００６３】
図１８は、簡素な受信機回路及び復調器の形態を示しており、これはセンサーモジュール上に装備することができ、図１７に示される送信機回路とともに用いられる。この場合、インダクター及びキャパシターの組Ｌ２－Ｃ２が７ｋＨｚに調整される一方で、インダクターＬ１及びキャパシターＣ１は９ＭＨｚに調整される。使用されるダイオードＤ１はゲルマニウムダイオードである。回路は振幅復調器として動作する。
【００６４】
図１９及び２０は、それぞれ送信機及び受信機モジュールのための簡素な回路構成の形態を示しており、簡素なＦＭ無線リンクを用いるものである。試験の過程で、これらの回路によって、センサーモジュールと駆動部／ピックアップ部モジュールとの間における便利で効果的な無線結合がもたらされることが判明した。
【００６５】
ここで説明されるセンサー及びアセンブリーによって、既存の抵抗歪ゲージや周波数出力を有する共振歪ゲージの直接的な代替案が提供される。ここで説明されるシステムは、デジタルマイクロエレクトロニクスに適合するものであり、従来の抵抗歪ゲージでは不可能な、多くの可能性ある応用を有するものである。さらに、それらは、著しく改善された安全マージン、及び遥かに低い消費電力を有するものである。さらに、それらは、既存の歪ゲージよりも高い分解能をもたらし、長期の較正安定性を含め、より高い安定性および繰り返し性をもたらす。さらに、センサーは耐衝撃性を有し、電磁干渉もない。よって、それらは、従来の歪ゲージの直接的な代替品として用いることができる。
【００６６】
上述のとおり、センサーは、大量製造技術によって確実に製造することができる。
【００６７】
シリコン基板を用いる共振器の形態では単結晶シリコンを用いるのが好ましい。これは、優れた機械的特性（鋼のように強く、アルミニウムと同じくらい軽く、鉄よりも硬い）をもたらし、また破壊に対する弾性を有する（識別できるようなクリープまたは疲労破壊を示さない）。それらはまた、きわめて誤差少なく正確に制御された加工構造を可能にする、多種多様な微細加工工程に適している。
【００６８】
シリコン基板共振器はシールドパッケージとして提供することが想定される。しかし、他の形態においては、従来の歪ゲージと同じ方法で用いることができる。
【図面の簡単な説明】

【００６９】
【図１】図１は、印刷された厚膜圧電駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示すものである。
【図２】図２は、切り欠かれた連結部を有するトリプルビーム共振器を示す平面図である。
【図３】図３Ａ及び図３Ｂは、一体化された離間支持部を有するトリプルビーム共振器の実施形態を示す平面図及び側面図である。
【図４】図４は、複数の駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示す平面図である。
【図５】図５は、金属製トリプルビーム共振力センサーの平面図である。
【図６】図６は、トリプルビーム共振器の実施形態における動作挙動を表す有限要素解析モデルを示すものである。
【図７】図７は、トリプルビーム共振器の好ましい実施形態における周波数応答を示すグラフである。
【図８】図８は、共振器の好ましい実施形態における振幅－周波数応答を示すものである。
【図９】図９は、実施形態の力センサーにおける重量応答を示すグラフである。
【図１０】図１０は、クローズドループ配置とされたセンサーの実施形態におけるデジタルの周波数出力を示すものである。
【図１１】図１１は、圧電駆動部及びピックアップを有するセンサーにおける磁気結合の実施形態を示すブロック図である。
【図１２】図１２は、圧電駆動部及びピックアップを有する磁場結合の他の実施形態を示すものである。
【図１３】図１３は、マイクロ波振幅変調ピックアップリンクを用いるマイクロ波送受信機のブロック図である。
【図１４】図１４は、磁場結合及び圧電駆動及びマイクロ波振幅変調ピックアップの実施形態を示すものである。
【図１５】図１５は、時分割多重化を用いる、駆動部及びピックのための単一のマイクロ波リンクを有する実施形態を示すものである。
【図１６】図１６は、共振器の駆動部およびピックアップのための無線周波数リンクを有する実施形態を示すものである。
【図１７】図１７は、送信機回路の実施形態を示すものである。
【図１８】図１８は、受信機回路の実施形態を示すものである。
【図１９】図１９及び２０は、図２０に示される構成のセンサーのための、送信機回路及び受信機回路の例を示すものである。

【図１】



【図２】



Figure 2



Figure 3A

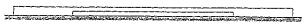


Figure 3B

【図４】

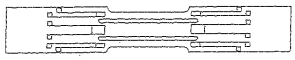
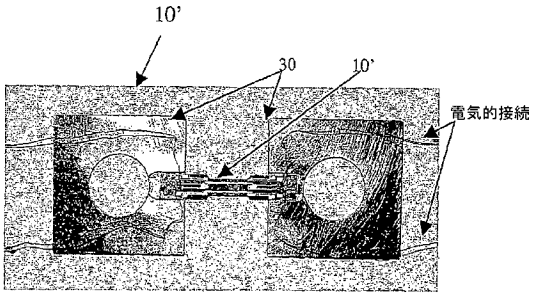


Figure 4

【図５】

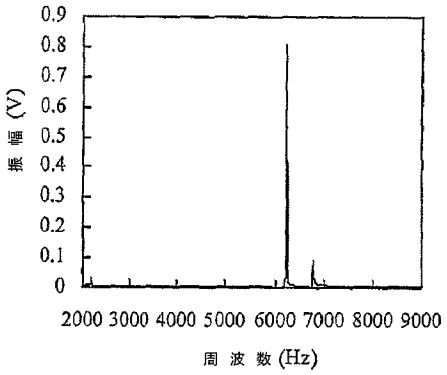


【図６】

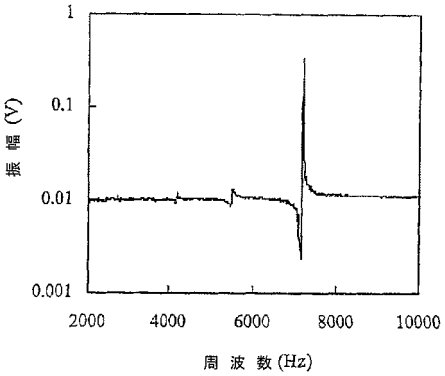


Figure 6

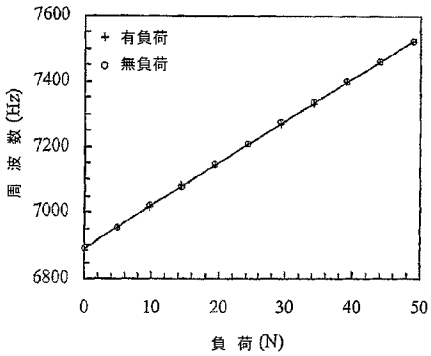
【図７】


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
振 幅 (V)
2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000
周 波 数 (Hz)

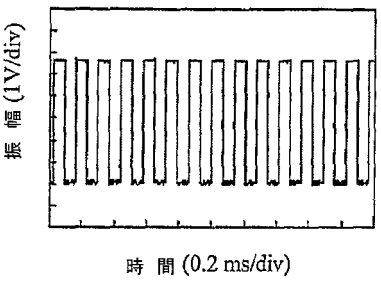
【図８】


1
0.1
0.01
0.001
振 幅 (V)
2000
4000
6000
8000
10000
周 波 数 (Hz)

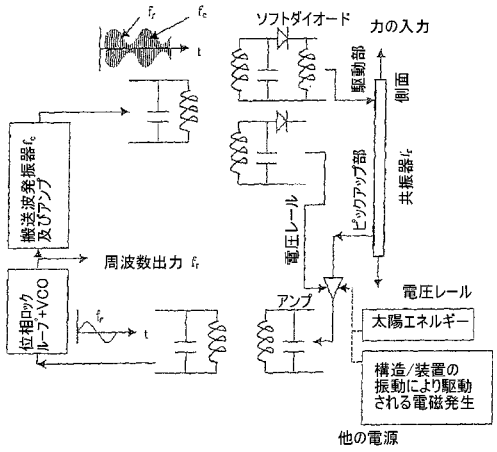
【図９】


7600
7400
7200
7000
6800
+ 有負荷
o 無負荷
周 波 数 (Hz)
0
10
20
30
40
50
負 荷 (N)

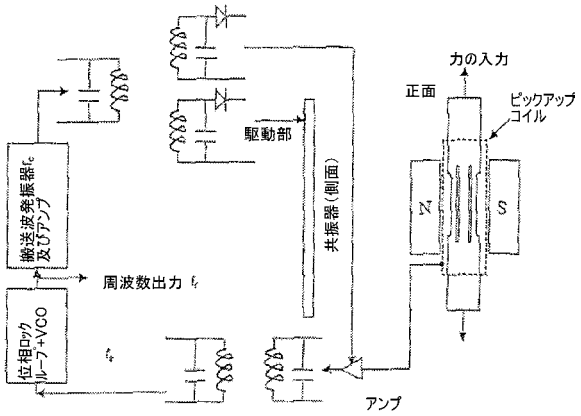
【図１０】


振 幅 (1V/div)
時 間 (0.2 ms/div)

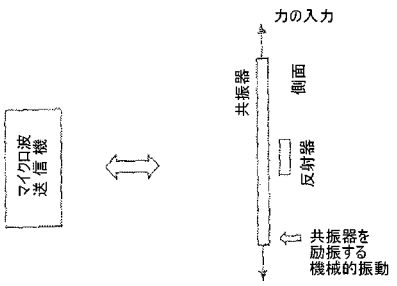
【図１１】



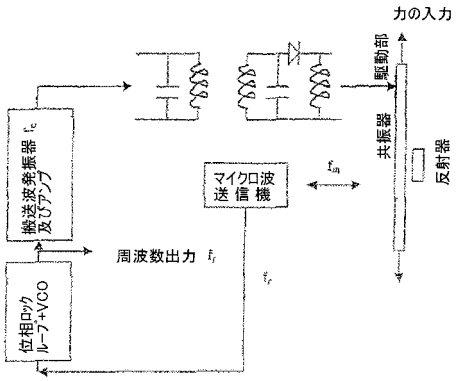
【図１２】



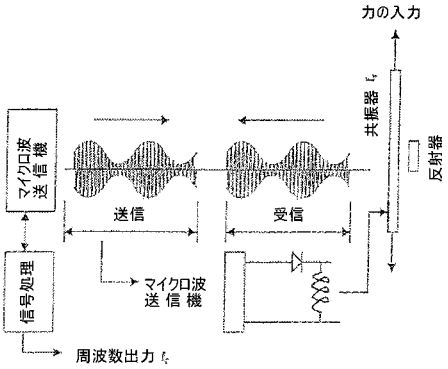
【図１３】



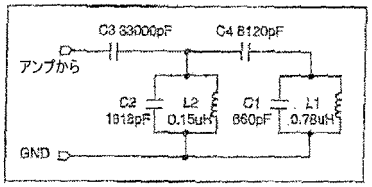
【図１４】



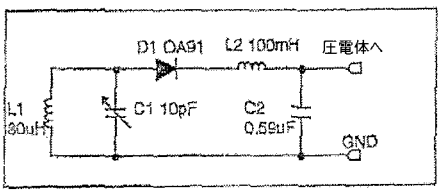
【図１５】



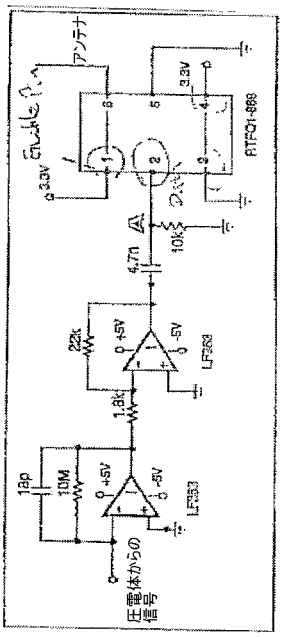
【図１６】



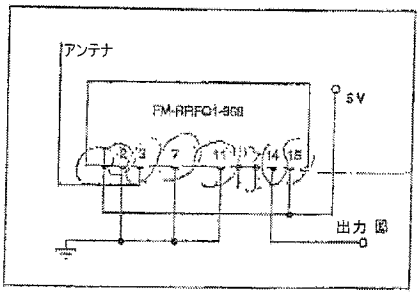
【図１７】



【図１８】



【図１９】



【手続補正書】
【提出日】平成16年10月1日(2004.10.1)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
厚膜圧電駆動部またはピックアップを自身に有するトリプルビーム共振器要素を含み、センサーが受ける応力量に依存して共振周波数が変化するように動作する、共振センサー。
【請求項２】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが少なくとも１マイクロメーターである、請求項１記載のセンサー。
【請求項３】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが１～２マイクロメーターである、請求項１または２記載のセンサー。
【請求項４】
厚膜圧電駆動部またはピックアップは、厚さが５～２０マイクロメーターまたは５～１００マイクロメーターである、請求項１、２または３記載のセンサー。
【請求項５】
厚膜圧電駆動部またはピックアップが基板に印刷されている、請求項１～４のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項６】

厚膜圧電駆動部またはピックアップが基板にスクリーン印刷されている、請求項１～５のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項７】
基板が共振器固有の構成要素である請求項５または６記載のセンサー。
【請求項８】
基板が、測定対象の歪、圧力またはトルクを有する物またはその一部である、請求項１～６のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項９】
ビームが互いに実質的に平行である、請求項１～８のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１０】
中央のビームが、他の各ビームの２倍の体積を有する、請求項９記載のセンサー。
【請求項１１】
中央のビームが、他の各ビームの２倍の幅を有する、請求項９記載のセンサー。
【請求項１２】
ビームが、対称的に切り欠かれた、一次検出する金属構造に対する連結部を備えている、請求項１～１１のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１３】
共振器における一つ若しくは複数の駆動部と一つ若しくは複数のピックアップとが、ともに厚膜圧電材料から形成されている、請求項１～１２のいずれか１項に記載のセンサー
【請求項１４】
共振器の基板が、金属または金属性物質で形成されている、請求項１～１３のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１５】
ビーム共振器は、４３０ステンレス、インコネルおよびベリリウム銅の少なくとも一つを含む金属材料の薄板をエッチングしてなるものである、請求項１４記載のセンサー。
【請求項１６】
基板がシリコンまたはセラミック材料から形成されている、請求項１～１３のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項１７】
共振器がガラス層を有する、請求項１６記載のセンサー。
【請求項１８】
ガラス層が共振器のダイアフラムに取り付けられている、請求項１７記載のセンサー。
【請求項１９】
ダイアフラムがステンレ鋼のダイアフラムである、請求項１８記載のセンサー。
【請求項２０】
一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップのうち一つのみが厚膜圧電材料で形成されており、他の一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップは静電性、容量性または光学性とされている、請求項１～１９のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２１】
圧電材料がジルコン酸チタン酸鉛（ＰＺＴ）を含む、請求項１～２０のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２２】
共振器が複数の駆動部およびピックアップを備えている、請求項１～２１のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２３】
共振器が離間支持部を備えている、請求項１～２２のいずれか１項に記載のセンサー。
【請求項２４】
共振器は、一つ若しくは複数の駆動部および／または一つ若しくは複数のピックアップと通信するための無線通信手段を備えている、請求項１～２３のいずれか１項に記載のセ

ンサー。
【請求項２５】
通信手段は、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波による振幅変調磁気結合によって提供されるものである、請求項２４記載のセンサー。
【請求項２６】
共振器への動力供給のため及び共振器の周波数を検出するために時分割多重化を備えている、請求項２４または２５記載のセンサー。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、共振センサーアセンブリーに関する。
【背景技術】
【０００２】
共振センサーは、重量、圧力、トルクおよび流体の流量特性の測定等、センサー用途において広範に使用されている。これらのセンサーにおける重要な要素が共振器、特に振動構造であり、共振周波数が測定量の関数となるように設計される。
【０００３】
殆どに共通する検出メカニズムは、共振器に対して応力を加えて力センサーとすることである。加えられた応力は、共振器構造の剛性を有効に増加させ、もって共振器の固有周波数を増加させる。共振器は実質的にデジタルの周波数出力を提供し、これが電気的雑音、独立レベルおよび送信信号減衰の影響を受け難くし、良好な長期安定性を提供する。周波数出力はデジタルインターフェースと互換性があり、アナログ－デジタル変換を必要としないため、特有の高い正確性と低コストとが維持される。
【０００４】
共振器センサーは、しばしば比較的に高い機械的品質係数（Ｑ係数）を有しており、これが高い周波数解像度およびそれゆえ高い感度をもたらしている。高いＱ係数は、電子機器の動作を簡素化するような、共振器における低いエネルギー損失およびそれによる共振維持に必要な動力の低さ、ならびに共振周波数帯域幅の外における良好なノイズ除去を意味するものである。共振センサーは、例えばBarthod C, Teisseyre Y, Gehin C および Gautier Gによる"Resonant force sensor using PLL electronics",Sensors and Actuators A 104 pages 143 to 150 (2003)において述べられているように、広範な型式、サイズおよび材料で製造されている。
【０００５】
力、圧力及びトルクを測定するために現在使用されている共振器は、抵抗ひずみ計を利用したものである。この技術は過去４０年にわたるものであり、ひずみ計の性能は一般に疲労とクリープによる限界がある。
【０００６】
そのような技術を用いた共振器の製造は、比較的に高価であるとともに、大きな労働力を必要とし、それゆえ自動化が困難である。さらに、その技術の性能水準はもはや限界に達している。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
本発明は、改良された共振センサーを提供しようとするものである。
【課題を解決するための手段】

【０００８】
本発明の一態様としては、請求項１により特定される共振センサーが提供される。
【０００９】
好適には、厚膜圧電駆動部またはピックアップは少なくとも１マイクロメーター、例えば１～２マイクロメーターの厚さを有する。応用に応じて、５～２０マイクロメーターもしくは５０～１００マイクロメーター、もしくはこれらの範囲内のあらゆる厚さを有することができる。
【００１０】
好ましい形態では、厚膜圧電駆動部またはピックアップは基板上に印刷、特に好ましくはスクリーン印刷される。基板は、共振器固有の構成要素であっても良く、また測定対象の歪、圧力またはトルクを有する物またはその一部であっても良い。
【００１１】
共振器における一つ若しくは複数の駆動部と一つ若しくは複数のピックアップとが、ともに厚膜圧電材料から形成されていると有利である。特に、圧電材料は印刷されるのが好ましく、スクリーン印刷が有利である。
【００１２】
共振器におけるこれらの特徴の利点は、圧電材料が自動製造工程によって付与できることである。さらには、以下で述べるように、共振器の好ましい形態は、従来の技術による共振器よりもはるかに高い品質係数を有する。
【００１３】
圧電材料のスクリーン印刷は、容易に自動化できるとともに、製造条件を正確にでき、またそれゆえ品質の面で信頼性及び繰り返し性に優れた製品を提供できる工程である。
【００１４】
共振器の基板は、金属または金属性物質で形成されると有利である。別の形態では、基板はシリコンまたはセラミック材料から形成される。
【００１５】
一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップのうち一つのみが厚膜圧電材料で形成される形態では、他の一つ若しくは複数の駆動部または一つ若しくは複数のピックアップは静電性、容量性または光学性とすることができる。
【００１６】
圧電材料がジルコン酸チタン酸鉛（ＰＺＴ）を含むと有利である。
【００１７】
この材料としては、以下で述べるように、特に４及び５Ｈとして知られるバージョンが、この共振器に特に適することが判明している。
【００１８】
いくつかの形態では、共振器は複数の駆動部およびピックアップを備えている。
【００１９】
トリプルビーム共振器の形態では、ビームが互いに実質的に平行であり、中央のビームが他の各ビームの２倍の体積を有する、例えば中央のビームが、他の二つのビームの幅の２倍の幅を有する、または他の二つのビームの厚さの２倍の厚さを有する、または他のあらゆるそのような寸法の組み合わせを有するのは好ましい。そのような配置では、以下で述べるように、中央のビームが、二つの側部ビームに対して対向共振するように形成できる。
【００２０】
ビーム共振器は、薄板状の金属材料をエッチングしてなるものであると有利である。
【００２１】
特に有利な材料は、４３０ステンレス、インコネルおよびベリリウム銅であることが判明している。
【００２２】
一つの形態では、ビームは、対称的に切り欠かれた、一次検出する金属構造（primary

sensing metallic structure）に対する連結部を備えることができる。
【００２３】
ビーム共振器は、共振器が、共振器の表面ビーム上にその表面から離間して位置しうるように、離間支持部を備えることができる。
【００２４】
好ましい形態では、共振器は、一つ若しくは複数の駆動部および／または一つ若しくは複数のピックアップと通信するための無線通信手段を備える。これは、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波による振幅変調磁気結合によって提供することができる。
【００２５】
一つの形態では、共振器への動力供給のため及び共振器の周波数を検出するために時分割多重化が備えられる。いずれの場合にも、マイクロ波キャリアの振幅変調が用いられると有利である。
【００２６】
共振器がシリコンまたはカーボンビーム構造を有する場合において、共振器はガラス層を有するのは好ましい。ガラス層は、共振器のダイアフラムに、例えばはんだを使用して取り付けられると有利である。ダイアフラムは、ステンレ鋼、例えば１７４ｐHステンレス鋼のダイアフラムであるのが好ましい。
【００２７】
本発明の他の態様としては、センサーの駆動及び／又は読み出しを行うための無線通信手段を含む共振センサーが提供される。センサーとしてはビームセンサーが好適である。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２８】
以下、ほんの一例ではあるが、本発明の実施形態について添付図面を参照しつつ説明する。
【００２９】
ここで説明する好ましい実施形態は、振動駆動及び振動検出のために厚膜圧電要素を有する、金属、シリコンまたはセラミック製のトリプルビーム共振器を提案するものである。金属製共振器の場合、基板は、好ましい実施形態では、両面フォトケミカルエッチング技術により製造され、標準的なスクリーン印刷工程により厚膜圧電要素が付着される。実施形態の共振器は、長さ１５．５ｍｍ、全幅７ｍｍに製作及び試験したところ、７．２ｋＨｚでＱ係数が３１００の好ましいモードを有していた。説明されるトリプビーム共振器は、厚膜圧電駆動部及びピックアップを有する音叉構造を有している。
【００３０】
図１を参照すると、厚膜圧電駆動部及びピックアップが印刷されたトリプルビーム共振器の実施形態が示されている。圧電厚膜は、共振器の櫛歯状部分における、要求される共振振動モードが得られる正確な位置に、バッチ式でスクリーン印刷される。圧電材料の付着に標準的なバッチ式スクリーン印刷工程を用いると、駆動部及びピックアップの製造において高い繰り返し性及び再現性が得られる。各電極は、４つの連続厚膜印刷層、すなわち底部の誘電層、底部金属層、圧電層および表面金属電極から構成されている。一方の電極は駆動部として機能し、他方はピックアップとして機能する。
【００３１】
共振器を要求される共振モードに維持するために、増幅及び適切な位相シフトを通じて、ピックアップ信号を駆動部にフィードバックすることができる。共振周波数は、測定される物理量の関数である。これらの特性は、当業者であれば理解できるであろう。
【００３２】
共振器はバッチ式のフォトケミカルエッチングにより薄板から形成され、対称的に切り欠かれた、周囲構造に対する連結部を有すると好ましい。フォトケミカルエッチングの工程は、共振器基板を製造する上で高い繰り返し性及び再現性を可能にする。
【００３３】

ここで図２を参照すると、切欠連結部を有するトリプルビーム共振器の実施形態が示されている。切欠連結部は、共振器に連結された外部構造の振動を絶つのに役立ち、それによって性能が向上する。

【００３４】

図３Ａ及び３Ｂは、一体化された離間支持部を有するトリプルビーム共振器を示している。離間支持部によって、共振器を、容易にかつ正確な固定長さをもって平坦な表面に搭載できるようになる。これによって、共振器の性能において高い繰り返し性及び再現性が得られるようになる。

【００３５】

図３Ａ及び３Ｂに示される共振器の構造は、個別のマスクを用いる連続両面エッチングにより製造することができる。これによって、厚さを検出部分（薄）及び固定領域（厚）とで異ならしめることができる。

【００３６】

図４は、複数の駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示している。これによって、同じ共振器で駆動部及びピックアップの構成の組み合わせを異ならしめることができる。

【００３７】

図１～４に示される実施形態は、図１の実施形態を参照して説明した共通の基本構造を有するものである。

【００３８】

共振器１０は、互いに平行に配列され、両端部の分離領域１８において連結された、換言すれば周囲の材料に対して連結された三本のビーム（櫛歯状部分）１２，１４，１６を含む。中央のビーム１４は、外側のビーム１２，１６の２倍の幅を有する。共振要素は、長さ１５．５ｍｍ、厚さ０．２５ｍｍであり、ビーム幅２ｍｍ及び１ｍｍである。ビーム間距離は０．５ｍｍである。

【００３９】

共振器１０の応力分布及び固有振動数を含むモデル挙動を予測するため、有限要素解析（ＦＥＡ）が行われた。圧膜ＰＺＴ要素２０，２２は、中央のビーム１４における各端部の分離領域に印刷された。この部分は、共振器１０が好適な振動モードで動作するとき、最大の応力が発生するところである。一端部にあるＰＺＴ要素２０は振動駆動を行い、他端部にあるＰＺＴ要素２２がそれを検出する。ＰＺＴ駆動部及び検出要素２０，２２を最大応力の領域に配置することによって、駆動力及び検出信号の双方を発生させるための、動作中の圧電層および共振器間の機械的結合の程度が最大化する。

【００４０】

トリプルビーム共振器１０は、ウエハー表面から出力される振動に関して三つの異なる基本モードを有することができる。第１のモードでは、３つの櫛歯状部分１２，１６は同期振動する。第２のモードでは、中央の櫛歯状部分１４は振動せず、外側の櫛歯状部分１２，１６は互いに対して１８０°の位相で振動する。第３のモードでは、中央の櫛歯状部分１４は、外側の櫛歯状部分１２，１６に対して逆位相で振動する。このモードは、分離領域において両方の曲げモーメント及び剪断力が相殺され、両端部の支持フレームで合成される振動エネルギーが非常に少ないため、トリプルビーム共振器の動作に最適である。これによって、装置のＱ係数が向上し、それゆえその装置を用いる共振センサーの性能も向上する。同期モードは低い共振周波数を有し、そして第２及び第３のモードがこれに続くようになる。さらにまた、高次の振動モードも存在する。

【００４１】

図６は、この挙動のモデルを示している。音叉部は、共振器１０の一端部に印刷された厚膜圧電要素２０によって共振が励起され、その振動は、共振器の他端部に印刷された第２の厚膜圧電要素２２によって検出された。両者は中央のビーム１４上に位置された。検出された振動の周波数によって、センサーの出力が形成されるとともに、この信号は、所望のモードの共振機構が維持されるように増幅及び位相シフトを経て駆動機構にフィード

バックされる。

【００４２】

共振器１０の基板は、連続的な両面フォトケミカルエッチング技術を用いて、０．５ｍｍ厚の薄い４３０Ｓ１７ステンレス鋼ウエハーから製造された。共振器の配置を定める表面パターンと、共振要素部分を厚さ０．２５ｍｍ残しつつ離間間隙をエッチングするための底面パターンとが用いられた。そして、誘電体層が、標準的なスクリーン印刷工程を用いて、共振器１０の表面における所定の駆動領域及び検出領域に配置されるとともに、連続して、底面の金電極、圧電ペーストおよび表面金属電極の層が、各々のスクリーンを用いてそれぞれ配置された。誘電体層によって、後の段階で圧電層を分極するために、底面電極が共振器基板から絶縁された。

【００４３】

製造された共振器１０は、ウエハーから切断され、通常のワイヤーボンディングによって電気的な接続がなされた。次いで、ＰＺＴ要素が並列に接続され、１３０℃で１時間、電極間に２００Ｖの電圧がかけられ分極がなされた。測定されたＰＺＴ層の厚さは５０μｍであり、分極処理によって４ＭＶ／ｍの電界強度が発生された。これによって、圧電特性が発現するようにＰＺＴ材料の双極子が整列される。

【００４４】

ここで、図５を参照すると、力を加えるためのボンディングパッド３０を有する金属共振力センサー１０の写真が示されている。センサー１０は、クローズドループフィードバック電気回路によって共振が維持される、バランス良く浮かされたトリプルビーム振動機構を含む。センサーは、共振器における機械的エネルギーロスが最小限となるように中央のビームが外側のビームに対して逆位相で振動する、デファレンシャル（差動）モードで振動するように設計されている。この形態の共振器は、図６に示されるモデルと同様に動作する。

【００４５】

空気中で動作する共振器１０，１０′は、振動モードを観察するため、及び駆動及び検出機構の動作が成功しているか確認するため、先ずオープンループ構成で試験された。共振器の一端部にあるＰＺＴ要素２０は、ヒューレットパッカード社のベクトル信号分析機８９４１０Ａ（Hewlett-Packard 89410A Vector Signal Analyser）からの１Ｖピークトゥピークの交流信号によって駆動された。このベクトル信号分析機は、２～９ｋHzの周波数範囲を走査するトラッキングジェネレーターを有する。共振器の他端部にあるＰＺＴ要素２２は、キスラー社の５０１１チャージアンプに接続され、チャージアンプからの出力は、共振器の周波数応答解析のために信号分析機にフィードバックされた。図７は、２．２ｋＨｚ、６．２ｋＨｚおよび６．８ｋＨｚに明確な共振を有する、共振器１０，１０′の周波数応答を示している。これらの共振は、それぞれ、共振器の第１、第３および第４の振動モードに対応するものである。ＦＥＡによる予測によれば、第３の振動モードに対する好ましい動的構造バランスによって、第３の振動モードが断然支配的である。第２モードではピックアップが位置する中央のビームは静止するため、第２モードと対応するピークが見えないことは明らかである。

【００４６】

共振器１０，１０′の空気中における第３モードのＱ係数は３１００と測定された。これは、ＰＺＴ圧膜を有するシリコン製シングルビーム共振器の空気中での動作におけるＱ係数７０、または薄膜を有するシリコン製トリプルビーム共振器の空気中での振動におけるＱ係数４００、または他の金属製共振器の空気中におけるＱ係数と比べて優秀である。

【００４７】

他の試験では、空気中の共振器に対してハンガー状構造により１５Ｎ程度の張力が予め加えられており、さらに０Ｎと約５０Ｎとの間で載荷及びその開放がなされた。

【００４８】

図８は、荷重２５Ｎ下における周波数範囲２～１０ｋＨｚの典型的なオープンループ周波数応答を示している。周波数７．２ｋＨｚにおける支配的な共振とともに、周波数４．

３ｋＨｚおよび５．５ｋＨｚ丁度に現出した他の二つの共振が見られる。有限要素解析の予測によれば、これらの共振は、共振器の第３、第１及び第２振動モードとそれぞれ対応するものである。第１モードでは、三つのビーム１２～１６は同位相で振動する。第２モードでは、外側のビーム１２，１６は互いに１８０度の位相で振動する一方、中央のビーム１４は振動しない。デファレンシャルモードである第３モードでは、中央のビーム１４が外側のビーム１２，１６に対して逆位相で振動する。デファレンシャルモードに対する好ましい動的構造バランスに起因して、デファレンシャルモードは他よりもはるかに支配的である。荷重２５Ｎ、かつデファレンシャルモードにおける実験用共振器のＱ係数は、２１８０と測定された。

【００４９】

図９は、種々の荷重における共振器１０，１０′の応答を示したものであり、表１は、センサーの代表的な特徴をまとめたものである。センサーの感度は１３．０Ｈｚ／Ｎである。

【００５０】

音叉部をエッチングするために、１７－４Ｈステンレス鋼やベリリウム銅のような好ましい弾性材料を使用することによって、センサーの一般的な性能もまた向上させることができる。また、共振器を製造するためにこれらの材料に圧電要素を印刷すること、ならびに共振器をロードセルや、重量計、トルクセンサーに組み込むための適切な取付方法を有する適切な構造機構を用いることも考えられる。

【００５１】

【表１】

力センサーの特性

パラメーター	値	0-49 N の範囲における%
無負荷時の固有振動数	6890 Hz	
機械的品質係数Q	>1460*	
振動数シフト	635 Hz	
感度	13.0 Hz/N	
最大ヒステリシス	2 Hz	0.3
繰り返し性	5 Hz	0.8
最大非線形性	2.5 Hz	0.4
安定性（３０分超)		
無負荷	0.4 Hz	0.07
半負荷	0.4 Hz	0.07
全負荷	0.5 Hz	0.07

*適用負荷範囲の全体における最小のQ係数

【００５２】

また、フィードバック制御の電子回路は、クローズドループ配置とされたセンサー１０、１０′を動作させるように設計されている。そのシステムは、ＰＺＴ検出要素、チャージアンプ回路、その後に続くデジタル９０度位相シフト回路及び第２段アンプ回路を有し、全てが単一の回路基板に組み立てられている。第２段アンプからの出力は、振動駆動を行うための他のＰＺＴ要素にフィードバックされる。このようにすると、共振器は、要求されるデファレンシャルモードの振動で共振が維持される。図１０は、クローズドループ配置のセンサーからの負荷２５Ｎにおけるデジタル周波数出力を示しており、これによって、検出計装に対するインターフェースを簡易にすることができる。

【００５３】

当業者であれば、本明細書の教示を考慮することで、適切な電子回路の詳細設計は直ち

に明らかになるであろう。

【００５４】

例えば振幅変調磁気結合、電磁波放射（マイクロ波及び光の周波数を含む）及び超音波の様々な組み合わせを用いて、センサー１０、１０′を無線形態で動作するように設計できることは、好ましい形態として想定されている。

【００５５】

図１１は、駆動及びピックアップシステムの具体例のブロック図を示しており、圧電圧膜を介して共振器の共振を励振及び検出するために磁場結合を用いるものである。この例では、周波数Ｆｒが６ｋＨｚ帯にある一方で、周波数Ｆｃは約９ＭＨｚとなる。

【００５６】

図１２は、磁気結合駆動部及び電磁ピックアップの組み合わせを用いる形態を示している。

【００５７】

図１３は、共振器１０、１０′が外部の構造的／機械的振動により駆動され、ピックアップがマイクロ波、光または超音波リンクにより達成される形態を示している。この形態では、周波数Ｆｍは、約１０～約１００ｇＨｚの範囲内となるであろう。

【００５８】

図１４は、磁気結合駆動部およびマイクロ波振幅変調ピックアップ部の組み合わせを用いる形態を示している。この例では、周波数Ｆｃは９ＭＨｚ帯にある。周波数Ｆｒが６ｋＨｚ帯にある一方で、周波数ＦｍはｇＨｚ帯になる。

【００５９】

図１５は、共振器が圧電圧膜を介したマイクロ波放射により駆動され、さらにマイクロ波送信機を用いたマイクロ波振幅変調の反射により検出される形態を示している。この場合、共振器周波数で金属トリプルビーム共振器１０、１０′の圧電駆動部に動力供給するため、ならびに共振器の周波数を検出するために、時分割多重化が用いられ、双方の場合においてマイクロ波の振幅変調が用いられる。

【００６０】

図１６は、共振器の駆動部及びピックアップ部に対する無線周波数リンクの形態のブロック図を示している。この形態では、ｆｒが６ｋHz帯にある一方で、ｆｍは４３３MHz、８６８MHz、２．４GHz帯にある。この形態の利点は、低電力電子機器を使用できることである。

【００６１】

図１７は、磁場を用いてセンサーに対する送信を行う、簡素な送信機回路の形態を示している。この簡素な回路は、９ＭＨｚにおいて特に高いＱ値を有しないが、７ＭＨｚ～１０ＭＨｚの信号を効率的に送信することができる。キャパシターの組Ｃ１－Ｌ１を１０ＭＨｚのように高い周波数に設定する一方で、キャパシター及びインダクターの組Ｃ２－Ｌ２は、７ＭＨｚといった、より低い周波数に設定する。この簡素な回路の動作は、当業者であれば容易に理解できるであろう。

【００６２】

図１８は、簡素な受信機回路及び復調器の形態を示しており、これはセンサーモジュール上に装備することができ、図１７に示される送信機回路とともに用いられる。この場合、インダクター及びキャパシターの組Ｌ２－Ｃ２が７ｋＨｚに調整される一方で、インダクターＬ１及びキャパシターＣ１は９ＭＨｚに調整される。使用されるダイオードＤ１はゲルマニウムダイオードである。回路は振幅復調器として動作する。

【００６３】

図１９及び２０は、それぞれ送信機及び受信機モジュールのための簡素な回路構成の形態を示しており、簡素なＦＭ無線リンクを用いるものである。試験の過程で、これらの回路によって、センサーモジュールと駆動部／ピックアップ部モジュールとの間における便利で効果的な無線結合がもたらされることが判明した。

【００６４】

ここで説明されるセンサー及びアセンブリーによって、既存の抵抗歪ゲージや周波数出力を有する共振歪ゲージの直接的な代替案が提供される。ここで説明されるシステムは、デジタルマイクロエレクトロニクスに適合するものであり、従来の抵抗歪ゲージでは不可能な、多くの可能性ある応用を有するものである。さらに、それらは、著しく改善された安全マージン、及び遥かに低い消費電力を有するものである。さらに、それらは、既存の歪ゲージよりも高い分解能をもたらし、長期の較正安定性を含め、より高い安定性および繰り返し性をもたらす。さらに、センサーは耐衝撃性を有し、電磁干渉もない。よって、それらは、従来の歪ゲージの直接的な代替品として用いることができる。

【００６５】

上述のとおり、センサーは、大量製造技術によって確実に製造することができる。

【００６６】

シリコン基板を用いる共振器の形態では単結晶シリコンを用いるのが好ましい。これは、優れた機械的特性（鋼のように強く、アルミニウムと同じくらい軽く、鉄よりも硬い）をもたらし、また破壊に対する弾性を有する（識別できるようなクリープまたは疲労破壊を示さない）。それらはまた、きわめて誤差少なく正確に制御された加工構造を可能にする、多種多様な微細加工工程に適している。

【００６７】

シリコン基板共振器はシールドパッケージとして提供することが想定される。しかし、他の形態においては、従来の歪ゲージと同じ方法で用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【００６８】

【図１】図１は、印刷された厚膜圧電駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示すものである。

【図２】図２は、切り欠かれた連結部を有するトリプルビーム共振器を示す平面図である。

【図３】図３Ａ及び図３Ｂは、一体化された離間支持部を有するトリプルビーム共振器の実施形態を示す平面図及び側面図である。

【図４】図４は、複数の駆動部及びピックアップを有するトリプルビーム共振器の実施形態を示す平面図である。

【図５】図５は、金属製トリプルビーム共振力センサーの平面図である。

【図６】図６は、トリプルビーム共振器の実施形態における動作挙動を表す有限要素解析モデルを示すものである。

【図７】図７は、トリプルビーム共振器の好ましい実施形態における周波数応答を示すグラフである。

【図８】図８は、共振器の好ましい実施形態における振幅－周波数応答を示すものである。

【図９】図９は、実施形態の力センサーにおける重量応答を示すグラフである。

【図１０】図１０は、クローズドループ配置とされたセンサーの実施形態におけるデジタルの周波数出力を示すものである。

【図１１】図１１は、圧電駆動部及びピックアップを有するセンサーにおける磁気結合の実施形態を示すブロック図である。

【図１２】図１２は、圧電駆動部及びピックアップを有する磁場結合の他の実施形態を示すものである。

【図１３】図１３は、マイクロ波振幅変調ピックアップリンクを用いるマイクロ波送受信機のブロック図である。

【図１４】図１４は、磁場結合及び圧電駆動及びマイクロ波振幅変調ピックアップの実施形態を示すものである。

【図１５】図１５は、時分割多重化を用いる、駆動部及びピックのための単一のマイクロ波リンクを有する実施形態を示すものである。

【図１６】図１６は、共振器の駆動部およびピックアップのための無線周波数リンクを有

する実施形態を示すものである。
【図１７】図１７は、送信機回路の実施形態を示すものである。
【図１８】図１８は、受信機回路の実施形態を示すものである。
【図１９】図１９及び２０は、図２０に示される構成のセンサーのための、送信機回路及び受信機回路の例を示すものである。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/GB2004/000455

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01L1/16 G01L9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	YAN T ET AL: "Thick-film PZT-metallic triple beam resonator" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 39, no. 13, 26 June 2003 (2003-06-26), pages 982-983, XP006020541 ISSN: 0013-5194 the whole document	1,2, 4-13, 15-17, 23,24
X	CRESCINI D ET AL: "THICK-FILM RESONANT SENSOR FOR FORCE MEASUREMENTS ON STAINLESS STEEL SUBSTRATE" PROCEEDINGS OF THE ITALIAN CONFERENCE SENSORS AND MICROSYSTEMS, XX, XX, 1996, pages 271-275, XP000865906	1,2,4-9, 15-17, 23,24
Y	page 271 -page 273	3,10-14, 18,22, 25-27

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 May 2004	02/06/2004

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Barthélemy, M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/GB2004/000455

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BEEBY S P ET AL: "Thick-film PZT-silicon micromechanical resonator" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 36, no. 19, 14 September 2000 (2000-09-14), pages 1661-1662, XP006015694 ISSN: 0013-5194 page 1, column 1 ---	1,2,5, 7-9,15, 18,23
X	WHITE N M ET AL: "Excitation of thick-film resonant sensor structures" IEE PROCEEDINGS: SCIENCE, MEASUREMENT AND TECHNOLOGY, IEE, STEVENAGE, HERTS, GB, vol. 142, no. 3, 1 May 1995 (1995-05-01), pages 244-8, XP006004417 ISSN: 1350-2344 abstract page 246, column 1 -column 2 figure 3 ---	1,2,4-9, 15,16,23
X	WO 00/20850 A (UNIVERSITA DEGLI STUDI DI BRESCIA) 13 April 2000 (2000-04-13) abstract page 2, line 16 - line 18 page 3, line 6 - line 12 figure 1 ---	1,2,6,7, 16,23
Y	BURNS D W ET AL: "Sealed-cavity resonant microbeam pressure sensor" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 48, no. 3, 30 May 1995 (1995-05-30), pages 179-186, XP004303602 ISSN: 0924-4247 abstract figures 1,8 ---	3,10,11, 18,22,25
Y	CAI Q Y ET AL: "A wireless, remote query ammonia sensor" SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 77, no. 3, 10 July 2001 (2001-07-10), pages 614-619, XP004250715 ISSN: 0925-4005 abstract figure 1 ---	26,27
Y	EP 0 486 397 A (ONERA) 20 May 1992 (1992-05-20) abstract page 6, column 10, line 6 - line 19 figures 6,7,11 --- -/--	10-13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/GB2004/000455

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4 594 898 A (KIRMAN ET AL) 17 June 1986 (1986-06-17) abstract figures 1A,1B,2C,3B	10-13,25
Y	US 5 020 370 A (DEVAL ET AL) 4 June 1991 (1991-06-04) abstract figure 1	14

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/GB2004/000455

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0020850 A	13-04-2000	IT 1302616 B1	29-09-2000
		AU 6466299 A	26-04-2000
		WO 0020850 A1	13-04-2000
EP 0486397 A	20-05-1992	FR 2669426 A1	22-05-1992
		EP 0486397 A1	20-05-1992
US 4594898 A	17-06-1986	GB 2141231 A	12-12-1984
		DE 3480425 D1	14-12-1989
		EP 0130705 A2	09-01-1985
		JP 1796935 C	28-10-1993
		JP 5003536 B	18-01-1993
		JP 60069528 A	20-04-1985
US 5020370 A	04-06-1991	FR 2640045 A1	08-06-1990
		CA 2004362 A1	02-06-1990
		DE 68900936 D1	09-04-1992
		EP 0373040 A1	13-06-1990
		JP 2189433 A	25-07-1990

フロントページの続き

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

(72)発明者 ホワイト・ニール・エム.
イギリス国 サウサンプトン ＳＯ１７ １ＢＪ ハイフィールド ユニバーシティロード ユニバーシティ オブ サウサンプトン
(72)発明者 チューダー・ジョン・エム.
イギリス国 サウサンプトン ＳＯ１７ １ＢＪ ハイフィールド ユニバーシティロード ユニバーシティ オブ サウサンプトン
(72)発明者 ビービー・スティーブン・ピー.
イギリス国 サウサンプトン ＳＯ１７ １ＢＪ ハイフィールド ユニバーシティロード ユニバーシティ オブ サウサンプトン

【要約の続き】
により確認された。さらに、共振器は、バッチ式の製造技術により高い信頼性および再現性を維持しつつ製造することができる。