

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-17263

(P2007-17263A)

(43) 公開日 平成19年1月25日(2007.1.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 F 1/682 (2006.01)	GO 1 F 1/68 1 O 4 A	2 F O 3 5
GO 1 L 21/10 (2006.01)	GO 1 L 21/10	2 F O 5 5
GO 1 P 5/10 (2006.01)	GO 1 P 5/10 A	
GO 1 P 5/18 (2006.01)	GO 1 P 5/18 B	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2005-198744 (P2005-198744)	(71) 出願人	000006747
(22) 出願日	平成17年7月7日(2005.7.7)		株式会社リコー
			東京都大田区中馬込1丁目3番6号
		(74) 代理人	100093920
			弁理士 小島 俊郎
		(72) 発明者	間中 順二
			愛知県名古屋市中種区内山2-14-29
			リコーエレメックス株式会社内
		Fターム(参考)	2F035 EA08
			2F055 BB08 CC43 EE39 FF11 GG01
			GG11

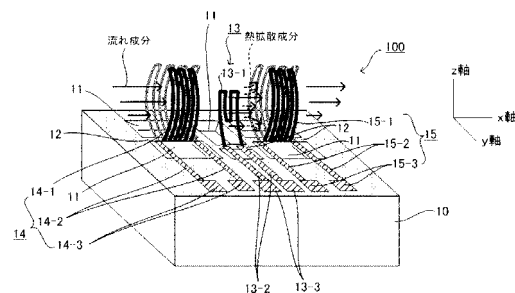
(54) 【発明の名称】 検知素子、真空計及び真空管

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、立体的に拡散した熱を立体的な感温部で捕らえ、立体的な等温線有感温部で捕らえ、ヒータ部と感温部の距離はヒータ部と基板の距離より近くでき、熱を要素にもつ立体空間に関する現象に関与可能な、検知素子、真空計及び真空管を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明の検知素子は、貫通孔又は空洞(11)を有する基板(10)と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する発熱電極(13-1)を有するヒータ部(13)と、貫通孔又は空洞上に反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する感温電極(14-1, 15-1)を有する感温部(14, 15)とを具備している。そして、本発明の検知素子は、ヒータ部から輸送される熱量を感温部により計測する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

貫通孔又は空洞を有する基板と、前記貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する発熱電極を有するヒータ部と、前記貫通孔又は空洞上に反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する感温電極を有する感温部とを具備し、前記ヒータ部から輸送される熱量を前記感温部により計測することを特徴とする検知素子。

【請求項 2】

前記ヒータ部と前記感温部とが隣接配列され、流体の流速・流量又は雰囲気熱伝導率に応じて前記ヒータ部から流体によって輸送される熱量を前記感温部により計測する請求項 1 記載の検知素子。 10

【請求項 3】

前記ヒータ部から前記感温部の間の距離と、流体の流速・流量又は雰囲気熱伝導率に応じて前記ヒータ部から流体によって輸送される熱伝達する時間とにより、流速を計測する請求項 1 又は 2 に記載の検知素子。

【請求項 4】

前記発熱電極及び前記感温電極は、パイプ形状の曲面に沿った形状をなす請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の検知素子。

【請求項 5】

流体の流れに沿って前記ヒータ部が前記感温部の内側に配列されている請求項 1 記載の検知素子。 20

【請求項 6】

流体の流れを横切る方向に沿って、前記ヒータ部が前記感温部の内側に配列されている請求項 1 記載の検知素子。

【請求項 7】

前記感温部の前記感温電極が円環状に配列され、前記ヒータ部の前記発熱電極が円環状の前記感温部の中心に配置されている請求項 1 記載の検知素子。

【請求項 8】

前記ヒータ部を空洞領域に配置した第 1 の基板と、前記感温部を空洞領域に配置した第 2 の基板とを、互いの空洞領域を対向させて一体的に接合する請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の検知素子。 30

【請求項 9】

貫通孔又は空洞を有する基板と、前記貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する電極を有する抵抗体を具備し、発熱タイミングに前記抵抗体に発熱用電流を流して前記抵抗体を発熱させ、検出タイミングに前記抵抗体に検出用電流を流して、発熱時の前記抵抗体の抵抗値から検出時の前記抵抗体の抵抗値を減算した減算値に基づいて輸送される熱量を算出することを特徴とする検知素子。

【請求項 10】

貫通孔又は空洞を有する基板と、前記貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する抵抗体を具備し、発熱タイミングに前記抵抗体に発熱用電流を流して前記抵抗体を発熱させ、検出タイミングに前記抵抗体に検出用電流を流して、発熱時の前記抵抗体の抵抗値から検出時の前記抵抗体の抵抗値を減算した減算値に基づいて輸送される熱量を算出することを特徴とする検知素子。 40

【請求項 11】

貫通孔又は空洞を有する基板と、前記貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する第 1 の抵抗体と、前記貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する第 2 の抵抗体とを具備し、前記第 1 の抵抗体から輸送される熱量を前記第 2 の抵抗体により計測し、あるいは前記第 2 の抵抗体から輸送される熱量を前記第 1 の抵抗体により計測することを特徴とする検知素子。 50

【請求項 1 2】

請求項 1 ～ 1 2 のいずれかに記載の検知素子を真空容器に封入し、前記ヒータ部及び前記感温部の各電極パッドから真空容器外部へ配線を引き出して、真空容器の内部における気体の熱伝導率の圧力依存性を前記感温部から得られる温度変動分として真空度に換算することを特徴とする真空計。

【請求項 1 3】

請求項 1 ～ 1 2 のいずれかに記載の検知素子を真空容器に封入し、前記ヒータ部及び前記感温部の各電極パッド及び前記基板から真空容器外部へ配線を引き出して、前記ヒータ部をフィラメント、前記感温部をグリッド及び前記基板をコレクタとし、前記フィラメントと前記コレクタ間に流れる電流を計測し、真空度に換算することを特徴とする真空管。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は検知素子、真空計及び真空管に関し、詳細には気体の流速、流量の測定に用いる熱式流量計に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、流体の流速・流量や雰囲気成分・濃度を測定する手段として、流体に運ばれる熱や雰囲気に伝播する熱を検出して測定する方法がある。この方法を用いた熱式流量計における検出部であるセンサは、気体の流れの上流側に発熱源であるヒータを、下流側に感温部を設けて、下流側に伝達する熱量（温度変化量）あるいは伝達する所要時間として流速・流量を測定する。また、湿度計やガスクロマトグラフにおける検出部であるセンサは、雰囲気の中で発熱源であるヒータから雰囲気成分や濃度に応じて与えられる熱伝導率により伝播する熱量（温度変化量）あるいは伝達する所要時間として湿度や気体成分・濃度を測定する。この場合、検出部であるセンサにおける発熱源のヒータや感温部の熱容量を小さくすることによって、かつ極近接させることによって、熱応答を早め、急変動や微少な流速・流量、微量成分や微量濃度を検出することができる。このセンサは、集積回路をつくる微細加工技術の手段によって実現されている。このようなセンサは、フローセンサ又は流速センサ、熱伝導式湿度センサや熱伝導式ガスセンサと呼ばれ、従来からいくつ

20

30

【0003】

その一つとしての特許文献 1 のフローセンサは、貫通孔もしくは空洞を有する基板と、貫通孔もしくは空洞上に両持ち梁式もしくは片持ち梁式に橋架された膜ヒータ部と膜検出部を有し、更にはヒータ部と検出部とは被測定流体の流れ方向に沿って 2 層又は 3 層以上に積層され、かつ各層間に空間を有している。この空間を膜厚で形成することによって、微小間隔に、しかも高精度で形成することができ、膜ヒータ部と膜検出部の間の空間距離を小さくし、高速度応答、高精度、微量流量、高効率化をめざしている。

【0004】

また、特許文献 2 には、ヒータ線の形状を円形にしてヒータ線が発生する熱による温度分布の等温曲線を同心円形状にし、ヒータ線の円形形状に伴い、その両側に設けられる 2 つの温度センサ線の形状も円形にし、流体の移動方向が如何なる方向であっても、それに伴い発生する等温曲線の拡がり形状は常にヒータ線と温度センサ線に対して均一になり、検出値及び検出感度に流体の移動方向の依存性はなくなり、流体の移動方向の依存性なく流速または流量を検出することができるフローセンサが記載されている。詳細には、ヒータと感温部が平面上に隣接して並べてあり、上流側のヒータ発熱と流量に応じて暖められた気体の熱、すなわち運ばれる熱量を、下流平面側の感温部の温度上昇として捕らえ、更に温度センサ線はヒータ線からの熱の温度分布の等温線の形状に応じた形状を有するフローセンサが記載されている。このような構成を有する特許文献 2 によれば、ヒータ線が発生する熱による温度分布の等温線の形状に応じた形状を温度センサ線が有するので、流量

40

50

や流速のわずかな変化による等温線のわずかな移動を、温度センサ線のほぼ全体の領域で検出することができ、より高感度のフローセンサを提供することができる。

【0005】

以上の特許文献1、2により立体的に拡散した熱を感温部で捕らえるためには、感温部を立体形成してヒータを感温部で囲えばよく、かつ基板表面の影響を受けにくい場所の流れを検知する必要があるので、基板から離れた場所に感温部を形成すればよいことがわかる。更には立体的な感温部構造が必要であることがわかる。

【0006】

そのために必要な立体化技術として特許文献3が提案されている。この特許文献3によれば、低いプラズマガス圧ではスパッタ蒸着膜応力が圧縮性であり、このプラズマガス圧が増加すると蒸着副層内の膜応力は引張応力に対して変化する。また、多くのスパッタ薄膜の固有応力は材料を蒸着する周囲圧に左右され、スパッタ中に圧力を変えることにより、得られた薄膜は基板-膜界面付近では圧縮応力（引張力）がかかり、また膜表面では引張応力（圧縮力）がかかる。更に、下部金属層は解放されたときにコイルの外皮を形成し、リリース層は湿式アンダーカットエッチングにより除去される。また、シリリリース層に対して可能なエッチャントはKOH（湿式処理）が施され、リリース窓口を除去した場合、弾性部材の固有応力プロファイルにより弾性部材は自らグルグル巻くことになる。このような技術を用いて新しい種類の高Qバリキャップを製造できる。これらのバリキャップは上述の同じマイクロバネ技術を使用し、必要な静電容量値を持ち、更にチップ上に集積化される。マイクロバネに基づくバリキャップ構造により抜けているオンチップRF受動素子、インダクタ及びバリキャップを同じプロセス技術により作製できる。これらのマイクロバネバリキャップは平行板MEMSコンデンサより低いバイアス電圧を必要とする追加の利点をもつ。フォトリソグラフィックパターン形成コンデンサの第二電極としてバネを用いること、および固定板とバネの間の電圧を変えることにより、バリキャップ構造の静電容量が変わる。

【特許文献1】特許第3,049,122号明細書

【特許文献2】特開平11-118553号公報

【特許文献3】特表2003-533897号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1によれば、上流側のヒータの熱は下流側に向けて立体的に拡散するが流路が狭く絞られているため流れの立体的な拡散がない分、熱は感温部に運ばれやすいが、流路が流体より熱伝導率が高い固体なので、流路を狭めたことにより内壁への熱伝導がより多く、感温部ではその流路熱伝導成分が加わり、正確な測定が困難となっていた。また、熱容量も大きいので基板に蓄熱し、その蓄熱からの熱放散が流れに加わることで、下流の感温部への影響がある。更に、高精度に近接して形成しているため、比較的影響が少ない場合もあるが、ヒータと感温部と基板の配置関係について、ヒータと感温部との距離はヒータと基板との距離より近く、かつヒータ及び感温部は基板からできるだけ遠距離である必要となる。

【0008】

また、特許文献2では、センサの検知する流れは基板表面であって、計測しなければならない流れの中ではない。より正確には、基板表面の影響を受けにくい場所の流れを検知する必要がある。基板の表面に近づくほど気体の粘性により流れにくくなるので、基板から距離が近いほどその干渉分は大きくなり、微量流量が計測できない。粘性の高い流体が計測しにくく、粘性の高くなる温度領域においては計測しにくい。ヒータと感温部が平面上に隣接して並べてあり、上流側のヒータ発熱と流量に応じて暖められた気体の熱、すなわち運ばれる熱量を、下流平面側の感温部の温度上昇として捕らえることにおいて、温度センサ線は、ヒータ線からの熱の温度分布の等温線の形状に応じた形状を有することを特徴として示しているが、同一平面上にヒータと感温部が並べてあり、上流側のヒータの熱

は、下流側に向けて立体的に拡散するので感温部ではその熱拡散成分の一平面成分しか捕らえられないことになり、伝達効率が低く感度も小さくなるので低雑音高分解能の信号処理回路を必要とする。また、乱流要素があると影響が大きいので、立体的に拡散した熱を立体的な等温線有感温部で捕らえる必要がある。

【0009】

更に、特許文献3は、チップ上の立体構造コイルが開示されているが、可変コンデンサ、電磁コイルや接点用途であり、熱輸送機構のためのヒータと感温部ではない。このように機能が違うので材料や形状や配置が異なるが、熱輸送機構に基づいたヒータと感温部に関しては、新たな構成を加える必要がある。流体の流速や配管内を流れる流量を、熱輸送機構によって測定するセンサとしては、ヒータと感温部との距離はヒータと基板との距離より近く、ヒータ及び感温部は基板からできるだけ遠距離である必要がある。できるだけ、立体的に拡散した熱を立体的な等温線有感温部で捕らえる必要がある。

10

【0010】

本発明はこれらの問題点を解決するためのものであり、立体的に拡散した熱を立体的な感温部で捕らえ、立体的な等温線有感温部で捕らえ、ヒータ部と感温部の距離はヒータ部と基板の距離より近くでき、熱を要素にもつ立体空間に関する現象に関与可能な、検知素子、真空計及び真空管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】

【0011】

前記問題点を解決するために、本発明の検知素子は、貫通孔又は空洞を有する基板と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する発熱電極を有するヒータ部と、貫通孔又は空洞上に反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する感温電極を有する感温部とを具備している。そして、本発明の検知素子は、ヒータ部から輸送される熱量を感温部により計測する。よって、立体的に拡散した熱量を立体的な感温部で捕らえられることにより、立体的な等温線有感温部で捕らえることができ、またヒータ部と感温部の距離はヒータ部と基板の距離より近くできる。

20

【0012】

また、ヒータ部と感温部が隣接配列され、流体の流速・流量又は雰囲気熱伝導率に応じてヒータ部から流体によって輸送される熱量を感温部により計測することにより、基板上のパターンを並列配置して平面加工により製造可能にすると共に、流体の流速・流量を計測するためのフローセンサとして利用できる。

30

【0013】

更に、ヒータ部から感温部の間の距離と、流体の流速・流量又は雰囲気熱伝導率に応じてヒータ部から流体によって輸送される熱伝達する時間とにより、流速を計測する。よって、熱伝達時間を計測し流速を算出可能なセンサを提供できる。

【0014】

また、発熱電極及び感温電極は、パイプ形状の曲面に沿った形状をなすことが好ましい。

【0015】

更に、流体の流れに沿ってヒータ部が感温部の内側に配列されていることにより、微小検出のためにヒータ部と感温部との距離をより一層近接させることができる。

40

【0016】

また、流体の流れを横切る方向に沿ってヒータ部が感温部の内側に配列されていることにより、流体の流れの方向を検出できる。

【0017】

更に、感温部の感温電極が円環状に配列され、ヒータ部の発熱電極が円環状の感温部の中心に配置されていることにより、流れ方向の角度の偏移があっても変動が少なく、かつ乱流条件下で計測することができる。

【0018】

50

また、ヒータ部を空洞領域に配置した第1の基板と、感温部を空洞領域に配置した第2の基板とを、互いの空洞領域を対向させて一体的に接合することにより、構造や形状の自由度が高い検知素子を提供できる。

【0019】

更に、本発明の検知素子は、貫通孔又は空洞を有する基板と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する電極を有する抵抗体を具備している。そして、発熱タイミングに抵抗体に発熱用電流を流して抵抗体を発熱させ、検出タイミングに抵抗体に検出用電流を流して、発熱時の抵抗体の抵抗値から検出時の抵抗体の抵抗値を減算した減算値に基づいて輸送される熱量を算出する。よって、熱の授受によるロスが少なく、かつヒータ部及び感温部は流れに広がった形状にあるので、特に流れがx-y面、z-y面で角度 θ の範囲で偏移しても影響が少なく許容範囲は広がる。

10

【0020】

また、本発明の検知素子は、貫通孔又は空洞を有する基板と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する抵抗体を具備している。そして、発熱タイミングに抵抗体に発熱用電流を流して抵抗体を発熱させ、検出タイミングに抵抗体に検出用電流を流して、発熱時の抵抗体の抵抗値から検出時の抵抗体の抵抗値を減算した減算値に基づいて輸送される熱量を算出する。よって、熱の授受によるロスが少ない。

【0021】

更に、本発明の検知素子は、貫通孔又は空洞を有する基板と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する第1の抵抗体と、貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられ、傾斜形状をなす電極を有する第2の抵抗体とを具備している。そして、第1の抵抗体から輸送される熱量を第2の抵抗体により計測し、あるいは第2の抵抗体から輸送される熱量を第1の抵抗体により計測する。よって、熱の授受によるロスが少なく、流れの方向に対応して計測できる。

20

【0022】

また、別の発明としての真空計は、上記記載の検知素子を真空容器に封入し、ヒータ部及び感温部の各電極パッドから真空容器外部へ配線を引き出して、真空容器の内部における気体の熱伝導率の圧力依存性を感温部から得られる温度変動分として真空度に換算する。よって、熱伝導度検出型の、圧力、真空度計測ができる。

30

【0023】

更に、別の発明としての真空管は、上記記載の検知素子を真空容器に封入し、ヒータ部及び感温部の各電極パッド及び基板から真空容器外部へ配線を引き出して、ヒータ部をフィラメント、感温部をグリッド及び基板をコレクタとし、フィラメントとコレクタ間に流れる電流を計測し、真空度に換算する。よって、発熱温度を下げて効率良く熱電子を捕獲できる三極真空管などを提供できる。

【発明の効果】

【0024】

本発明の検知素子よれば、ヒータ部は反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する発熱電極を有し、基板に設けられた貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられている。また、感温部は貫通孔又は空洞上に反り曲がり片持ち梁の形状をなすと共に空間に起立する感温電極を有し、基板に設けられた貫通孔又は空洞上に橋架するように設けられている。そして、本発明の検知素子は、ヒータ部から輸送される熱量を感温部により計測する。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

図1は本発明の第1の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。同図に示す本実施の形態例の検知素子100は、基板10と、当該基板10に設けられた空洞11を橋架するように設けられたブリッジ12上にそれぞれ配置されたヒータ部13及び2つの感温部14、15とを含んで構成されている。そして、2つの感温部14、15はヒ

50

ータ部 13 を挟んで両側に並列して配置されており、また感温部 14, 15 を構成する感温電極 14-1、15-1 はパイプ形状の曲面に沿った形状を成し、互いに対向して形成されている。また、ヒータ部 13 の発熱電極 13-1 には、給電リード線 13-2 がそれぞれ接続され、各給電リード線 13-2 には電極パッド 13-3 がそれぞれ設けられ、ヒータ部 13 は電極パッド 13-3 からの電力供給によりジュール発熱する。更に、感温部 14, 15 を構成する感温電極 14-1、15-1 の各端子には検出リード線 14-2、15-2 がそれぞれ接続され、各検出リード線 14-2、15-2 には電極パッド 14-3、15-3 がそれぞれ設けられている。また、感温部 14, 15 は近傍の空間から熱伝導により温度依存性の特性を有する。x 軸に沿った流れにおいて、上流に設置したヒータ部 13 の熱が流速に応じて空間に拡散、それをパイプ形状の曲面に沿った感温部 14, 15 で捕らえる。感温電極 14-1、15-1 により形成されたパイプ形状の感温部 14, 15 の各内部を流れる流体の流速、流量を計測する。熱拡散の方向は x 軸方向への流れに沿うだけではなく、3 次元方向に発散する。x 軸に沿った流れではヒータ部 13 に対して感温部 14, 15 は 3 次元に配置されていることになるので、感温部 14, 15 はヒータ部 13 からの熱拡散を立体空間で捕らえるので熱伝達効率が大きい。流体は摩擦により基板表面付近では表面から遠い場所よりも流速は遅いが、ヒータ部 13 と感温部 14, 15 が基板 10 上に起立し基板表面から離れているため、基板 10 の表面上に配置されている場合に比べ、微流速であっても測定でき、一方流速の早い場合であっても表面からの流れの剥離による乱流の影響も少ない。この微小流速を測定する際に基板表面から離れることが有利である点について説明すると、基板端面からの基板表面に沿った距離と基板表面から離れる距離における空気の流速測定特性を示す図 2 からわかるように、空気の流速を測定するためには基板表面から離れる必要があり、境界層の厚さより小さい流速測定箇所では流体の物性値や基板構造などの依存性が複雑に影響し合い、真の流速を求めるためには測定値を補正する必要性が生じ、そのための不確定さが加わるので、微小流速を測定するためには基板表面から離れることがより一層有利となる。なお、ストークスの法則に従って、層流速度が壁の摩擦抵抗を受ける境界層の厚さ $\delta \neq 5 * (v_x / U)^{1/2}$ で得られる。但し、 $v = \eta / \rho$ 、 η : 動粘性係数、 ρ : 密度、 x : 端面からの距離、 U : 流速、である。

【0026】

また、ヒータ部 13 より上流の感温部 14 は、感温材料の温度特性を利用するに当たり、流体の最初の温度情報を捕らえるものであり、あるいは流れが逆向きになった場合のための測定手段であるが、感温部 14 はヒータ部 13 からの熱拡散を立体空間で捕らえることができる。基板表面上に配置されている場合では、流れに対して角度が変わると感度が敏感に影響を受け、1 方向しか最大感度が得られないが、本実施の形態例のように、感温部 14, 15 がヒータ部 13 に対して立体配置されていると流れに対する角度調整値に余裕があり、x 軸に沿った流れに角度がついても立体で捕らえられるので流れの軸とセンサ配置の合わせが容易となる。更に、上向きと下向きとの姿勢については熱の流れは大きく違いがある。暖められた気体は上昇するので基板が下面向きであると空洞に熱だまりを生じ、基板が上面向きであると空洞に熱だまりを生じないのでこの姿勢の影響があるが、ヒータ部 13 と感温部 14, 15 が基板 10 上に起立し基板の表面から離れているため、基板 10 の影響は少なく取り付け場所が増える。

【0027】

次に、ヒータ部 13 や感温部 14, 15 は立体構造であっても平面加工により製造でき、その製造方法について製造工程図である図 3～図 5 に従って説明する。図 3 及び図 4 の (a) 並びに図 5 の (a) は平面図、図 4 の (b) は側面図、図 5 の (b) は図 5 の (a) の A-A' 線断面図、図 5 の (c) は図 5 の (a) の B-B' 線断面図である。なお、図 1 と同じ参照符号は同じ構成要素を示す。

先ず、図 3 に示すように、基板 10 上にヒータ部 13 の発熱電極 13-1 と給電リード線 13-2、感温部 14, 15 の感温電極 14-1、15-1、検出リード線 14-2, 15-2、電極パッド 14-3, 15-3 の導電材料膜をパターン形成する。ここで、ヒ

ータ部 13 や感温部 14, 15 は抵抗温度係数の大きな材料として Pt、W 等の金属材料を用いる。また、給電リード線 13-2、検出リード線 14-2, 15-2 も同材料で形成するので同時形成でき簡便である。そして、給電リード線 13-2、検出リード線 14-2, 15-2 は熱を発生させないように電気抵抗値を低くしなければならないので、電流を流す方向に対して巾を広く、熱容量を増やすために基板 10 上に配置する。なお、感温部 14, 15 はゼーベック効果を有する熱電材料で形成してもよい。この熱電材料の場合冷接点は基板 10 上の空洞のない領域に配置する。

【0028】

そして、図 4 の (a) に示すように、基板 10 上のヒータ部 13 の発熱電極 13-1、感温部 14, 15 の感温電極 14-1, 15-1 の領域の絶縁層をエッチング除去すると、図 4 の (b) に示すようにヒータ部 13 と感温部 14, 15 は下部層の密着がなくなり、片持ち梁になるので、反り曲がり効果で曲面を形成し基板 10 上に起立する。なお、この絶縁層のエッチングにおいては、各パターン下部の絶縁層に対して、絶縁層の縁からヒータ部 13 と感温部 14, 15 のパターン巾の $1/2$ の距離まで回り込んでアンダーカットエッチングすることにより、ヒータ部 13 と感温部 14, 15 が反り曲がり片持ち梁にできる。

【0029】

更に、図 5 の (a) に示すように、絶縁層のエッチング除去された基板面の露出する領域だけをエッチングし空洞 11 を形成する。図 4 の (b) からわかるように、基板 10 上に起立するので、その構造でもよいが、図 5 の (b), (c) に示す構造であれば、図 4 の (b) に比べてヒータ部 13 と感温部 14, 15 は熱容量の大きい基板 10 から更に遠ざかるので、流体の熱伝達に、基板 10 からの熱影響はより小さくなり、さらに効果がある。公知の技術を用い基板 10 のエッチングによって、図中破線で示す絶縁層のふちの内側までエッチングが進行するので、空洞 11 上にブリッジ 12 が形成され、片持ち梁の感温部 14, 15 はブリッジ 12 の両持ち梁によって支えられることになる。

【0030】

ここで、感温部を立体形成する方法について図 6 を用いて説明する。例えば、Si、Al、Cu、Ni、Cr、ステンレス、コパール、Mo、W、 Al_2O_3 、 SiO_2 、ガラス、セラミック、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂等の耐熱性基板 20 上に、まず下部層 21 として SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 等の電気絶縁性材料を $0.3 \sim 3 \mu m$ 程度、蒸着、スパッタリング、CVD 等の成膜法を用いて形成する。この成膜時においては真空度を $10^{-6} \sim 10^{-3}$ Torr 以下にすることが望ましく、後述する焼締め処理において密度が増し収縮しないように、高真空度雰囲気中で成膜し、できるだけ空孔率を減じて高密度にさせておく必要がある。次に、上部層 22 として発熱体層および取出し電極等を構成する NiCr、Ir、Pt、Ir-Pt 合金、SiC、Ta₂N、カンタル合金等の導電性抵抗発熱材料を $0.1 \sim 3 \mu m$ 程度、蒸着、スパッタリング等により成膜する。この上部層 22 を所定の形状にフォトエッチングしパターン形成する。更に、保護被覆層 23 を積層する場合においては、下部層 21 と同等の電気絶縁性材料を使用し同等の条件にて成膜すれば良い。ここで、上部層 22 及び保護被覆層 23 は下部層 21 から引続き成膜されるため、表面状態のあらさや段差が増し、また膜厚が増すほど粒度が大きくなり、空孔や欠陥を多く含むため焼締め処理後においては下部層よりさらに収縮させることが可能となり、梁部の反り曲がり形成できる。また、上部層 22 及び保護被覆層 23 の成膜時においては、下部層の成膜時の場合よりも真空度を下げて $10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr 程度にしておけば、空孔を多く含む膜質が得られ、やはり焼締め処理後において収縮させることもできる。次に、基板 20 に空洞部 24 をエッチングによって形成すると下部層 21、上部層 22 からなる梁部あるいは下部層 21、上部層 22、保護被覆層 23 からなる梁部ができる。更に、これを $350 \sim 800^\circ C$ で焼締めを行えば所定の反り曲がり形状が得られる。なお、空洞部 24 を形成する前に焼締めを行っても空洞部形成後に上部層 22、保護被覆層 23 の収縮しようとする力により基板 20 から束縛されていた力が無くなるため、やはり反り曲がり形状が得られる。従って、焼締め処理と空洞部 24 の

形成の順序は特定しなくても可能である。

【0031】

次に、流体の流量を測定する方法として、サーマルトレーサ法があるがこれについて概説しておく。例えば特開昭60-186714号公報に記載されているように、流体を流通する配管の内部に、所定の熱パルスが発生して流体に与えるヒータを設け、そのヒータより所定距離離れた下流位置に温度検出部を設けた流量測定装置がある。これは、流れている流体に熱パルスを与え、流れにのって移動してきた熱分布の最大温度を所定の位置で検出する。そして、その熱パルスを与えた時点から、最大温度を検出した時点までの時間を用いて、流体の流量を求めるようにしたものである。

【0032】

図7は本発明の第2の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す平面図である。同図において図1と同じ参照符号は同じ構成要素を示す。同図に示す第2の実施の形態例の検知素子200は、感温部15を複数並列に配列し、ヒータ部13を時間間欠で加熱することにより、熱波が所定の距離のそれぞれの感温部15に到達する時間を捕らえて流速を計測するものである。

【0033】

次に、図8は本発明の第3の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。同図に示す第3の実施の形態例の検知素子300は、基板10上に起立している2つの感温部14、15の各内部のx軸位置にヒータ部13を配置して構成されている。図中の流れ成分はx軸に沿うよう導かれ、ヒータ部13から熱が加わる。熱拡散の方向は流れに沿うだけでなく、3次元方向に発散するので、感温部14、15はヒータ部13の熱拡散を立体空間で捕らえることができる。この場合、ヒータ部13の発熱部は感温部14、15よりも流れの内部にあるため、x軸に沿った流れに角度がついても、立体で捕らえられるので流れの軸とセンサ配置の合わせが容易である。第1及び第2の実施の形態例のようなヒータ部13と感温部14、15が並列のフローセンサ構造より、更にヒータ部13と感温部14、15を近接させられるため、微小流量の検出に効果が高い。

【0034】

ここで、第3の実施の形態例の検知素子の製造工程について当該製造工程を示す図9及び図10に従って説明する。なお、図9及び図10の(a)は平面図、図10の(b)は図10の(a)のC-C'線断面図である。

【0035】

図9に示すように、感温部14、15の上部にヒータ部13が重なる構造であるため、犠牲層を用いてヒータ部13を次工程で形成する必要がある。そこで、先ず基板10上に感温部14、15の感温電極14-1、15-1、検出リード線14-2、15-2、電極パッド14-3、15-3の導電材料膜をパターン形成する。ヒータ部13や感温部14、15は抵抗温度係数の大きな材料としてPt、W等の金属材料を用いる。次に、ヒータ部13となる領域に後に選択エッチング除去できる犠牲層、例えばNi等をパターン形成する。次に、ヒータ部13の発熱電極13-1、給電リード線13-2、電極パッド13-3の導電材料膜をパターン形成する。そして、基板10上のヒータ部13の領域の犠牲層と、ヒータ部13、感温部14、15の領域の絶縁層をエッチング除去し、基板面の露出する領域だけをエッチングし空洞11を形成する。図10に示すように、ヒータ部13と感温部14、15は下部層の密着がなくなり、片持ち梁になるので、反り曲がり効果で曲面を形成し基板10上に起立する。感温部14、15の軸位置にあるヒータ部13の熱が捕らえられる。なお、図10の(b)に示すように、ヒータ部13は片持ち梁構造をつなぐ両持ち梁構造なので、両持ち梁構造の部分は反り曲がり効果は小さく、直線に近い。

【0036】

図11は本発明の第4の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。この第4の実施の形態例に係る検知素子400は、図8に示す第3の実施の形態例の検知素子3と同様に感温部40の内部にヒータ部41が配置されたフローセンサ構造であるが動作は異なり、流れをy-z面に導き、パイプ形状の感温部40とヒータ部41に対し概ね直

10

20

30

40

50

角に流す。ヒータ部 41 はパイプ軸位置にあるので、特に流れが $z-y$ 面で角度 θ の範囲で偏移しても影響が少ない。 $x-y$ 面での角度偏移は感温部 40 が横広がりなので許容範囲は広がる。また、感温部 40 が串歯形状になっているので整流作用があり、乱流条件下でも安定した出力が得られ整流素子が不要である。

【0037】

ここで、第 4 の実施の形態例の検知素子の製造工程について当該製造工程を示す図 12 に従って説明する。なお、同図の (a) は平面図、同図の (b) は同図の (a) の D-D' 線断面図、同図の (b) は同図の (a) の E-E' 線断面図である。図 8 の第 3 の実施の形態例の検知素子の製造工程では、感温部 14, 15 の上部にヒータ部 13 が重なる構造であったため、犠牲層を用いてヒータ部 13 を次工程で形成する必要があった。しかし、基板 10 上に起立した時点で感温部 14, 15 の内側にヒータ部 13 があればよいので、反り曲がり効果を利用して平面加工により形成できる。そこで、図 12 に示すように、基板 10 上で感温部 40 に重ならないように、感温電極 40-1 の間にヒータ部 41 の発熱電極 41-1 のパターンを配置し、片持ちによって感温部 40 とヒータ部 41 のパターンが反り曲がり、感温部 40 の内側にヒータ部 41 を形成できる。このように、感温部 40 のパターンを 2 対、対向させて、その間の隙間にヒータ部 41 のパターンを設けることにより、犠牲層が不要で製造でき、Pt 材料層の成膜は 1 回で簡便になる。

【0038】

次に、図 13 は本発明の第 5 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。同図に示す本実施の形態例の検知素子 500 は、図 11 に示す第 4 の実施の形態例の検知素子 400 と同様に、感温部の内部にヒータ部が配置されたフローセンサ構造図である。本実施の形態例の検知素子 5 では、感温部 50 の感温電極 50-1 が円環状に配列されている。円環状に配列された感温部 50 の感温電極 50-1 と同様に、検出リード線 50-2、ヒータ部 51 の給電リード線 51-2、電極パッド 50-3, 51-3 は、図 13 中半分のみ記載しているが、放射状に配列されている。また、感温部 50 の感温電極 50-1 とヒータ部 51 の発熱電極 51-1 は反り曲がった際に向き合うように互いに逆向きの配置にする。本実施の形態例の検知素子 5 によれば、流れを $x-y$ 面に導き、ヒータ部 51 は感温部 50 で囲まれる曲面の中心にあるので、流れは z 軸に多少偏移しても影響が少ない。よって、 $x-y$ 面に沿った流れの全ての方向を検出することができる。また、感温部 50 が串歯形状になっているので整流作用があり、乱流条件下でも安定した出力が得られ整流素子が不要である。

【0039】

ここで、第 5 の実施の形態例の検知素子の製造工程について当該製造工程を示す図 14 及び図 15 に従って説明する。なお、図 14 及び図 15 の (a) は平面図、図 15 の (b) は図 15 の (a) の F-F' 線断面図である。図 14 に示すように、基板 10 上に感温部 50 の感温電極 50-1 と検出リード線 50-2、ヒータ部 51 の発熱電極 51-1 と給電リード線 51-2、電極パッド 50-3, 51-3 の導電材料膜をパターン形成する。そして、図 15 の (a), (b) に示すように、基板 10 上の感温部 50 の感温電極 50-1 とヒータ部 51 の発熱電極 51-1 の領域の絶縁層をエッチング除去すると、感温部 50 とヒータ部 51 は下部層の密着がなくなり、片持ち梁になるので、反り曲がり効果で曲面を形成し基板 10 上に起立する。また、基板面の露出する領域だけを更にエッチングして空洞 52 を形成する。

【0040】

次に、図 16 は本発明の第 6 の実施の形態例に係る検知素子におけるヒータ部の構成を示す図である。また、図 17 は本実施の形態例の検知素子における感温部の構成を示す図である。更に、図 18 は本実施の形態例の検知素子の全体構成を示す図である。なお、図 16 の (a) 及び図 17 の (a) は平面図、図 16 の (b) は図 16 の (a) の G-G' 線断面図、図 17 の (b) は図 17 の (a) の H-H' 線断面図、図 18 の (a) は断面図、図 18 の (b) は図 18 の (a) の I-I' 線断面図である。図 18 に示す本実施の形態例の検知素子 600 は、図 16 のヒータ部 60 を形成された基板と、図 17 の感温部

61を形成された基板を組み合わせて、基板間の空洞62に流体を流す構造を有している。従来技術ではヒータ部から感温部へ熱輸送される前に、基板壁面との熱交換による影響があるが、基板壁面に到達する前の場所に感温部があるので、影響が小さくできる。1枚の基板よりも組み合わせの工程や、組み合わせ精度に負担が増す反面、微細構造が基板にはさまれているため、基板に起立する構造が露出していないので、破壊されにくいため取り扱いが容易である。

【0041】

図19は本発明の第7の実施の形態例に係る検知素子におけるヒータ部の構成を示す図である。また、図20は本実施の形態例の検知素子における感温部の構成を示す図である。更に、図21は本実施の形態例の検知素子の全体構成を示す断面図である。なお、図19の(a)及び図20の(a)は平面図、図19の(b)は図19の(a)のJ-J'線断面図、図20の(b)は図20の(a)のK-K'線断面図である。本実施の形態例の検知素子700は、上述したように感温部71の内側にヒータ部70があればよいので、図19に示すようにヒータ部70は両持ち梁にして反り曲がり形状ではなく、図20に示すように感温部71は反り曲がり、図21に示すように感温部71の内側にヒータ部70を形成できる。

10

【0042】

次に、図22は本発明の第8の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図であり、図23の(a)は本実施の形態例の検知素子を示す平面図、図23の(b)は図23の(a)のL-L'線断面図である。図22及び図23に示す本実施の形態例の検知素子800は、基板10上に配設され、串歯形状の単一の抵抗体80を反り曲がり片持ち梁の形状で形成し、この抵抗体80はヒータ部と感温部を兼用している。更に、抵抗体80には当該抵抗体を加熱しない程度の小電流を流して又は小電圧を印加され、また大電流を流して又は大電圧を印加して抵抗体80を発熱させる。そして、図示していない抵抗値検出手段により小電流の供給又は小電圧の印加時における抵抗体80の第1の抵抗値を検出し、また大電流の供給又は大電圧の印加時における抵抗体80の第2の抵抗値を検出する。検出した第2の抵抗値から第1の抵抗値を減算して、この減算値に基づいて流量を算出できる。

20

【0043】

図24は本発明の第9の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図であり、図25の(a)は本実施の形態例の検知素子を示す平面図、図25の(b)は図25の(a)のM-M'線断面図である。図24及び図25に示す本実施の形態例の検知素子900は、第8の実施の形態例の検知素子8と同様に、ヒータ部と感温部を兼ねた単一の抵抗体90を傾斜形状に形成したものであり、この抵抗体90は空洞91を架橋するように設けられている。動作は第8の実施の形態例の検知素子800と同様であるので省略する。

30

【0044】

次に、図26は本発明の第10の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す図であり、同図の(a)は本実施の形態例の検知素子を示す平面図、同図の(b)は同図の(a)のN-N'線断面図である。同図に示す本実施の形態例の検知素子1000は、ヒータ部100と感温部101をそれぞれ傾斜形状に形成して独立に設け、ヒータ部100と感温部101は空洞102を架橋するように設けられている。このように、ヒータ部100と感温部101を基板10の表面から離れた空間に、基板10の表面の電極パッド103とヒータ部100や感温部101のある高さの異なるステップを越えて連続した電気配線104のパターンを設け、ヒータ部100や感温部101が形成される領域に空洞102を設けるにあたり、ステップを急峻ではなく緩やかな傾斜角度にしている。なお、Si異方性エッチング手段では、基板面を(1 0 0)面にすれば、SiO₂の部分マスクを用いてKOHなどのアルカリ水溶液のSi異方性エッチング液により傾斜角54.74度の(1 1 1)面などの高精度の傾斜形状が得られ、それらが利用できる。

40

【0045】

ここで、第10の実施の形態例の検知素子の製造工程について製造工程断面図である図

50

27に従って以下に説明する。まず、同図の(a)に示すように、Si基板1001上に下部絶縁層1002のSiO₂層を形成する。なお、Ni、CuやAlの金属材料やポリイミド、エポキシなどの樹脂材料でもよい。ただし、金属材料であれば導電性があるので、後述する導電抵抗膜を形成する工程の前にSiO₂などの絶縁膜を積層しておく必要がある。そして、同図の(b)に示すように、フォトレジストパターンをマスクして、下部絶縁層1002のSiO₂層を部分エッチングする。マスク周辺のエッチング速度を低下する効果を利用し傾斜形状も形成する。ここで、形成された傾斜形状部を含む凸部が後述する工程において除去され、図26のヒータ部100と感温部101の構造を形成するための犠牲になる。そして、同図の(c)に示すように、図26の電極パッド103、電気配線104、ヒータ部100と感温部101となる導電抵抗膜1003のPt膜を積層する。次に、同図の(d)に示すように、導電抵抗膜1003のPt膜のパターンを形成する。そして、同図の(e)に示すように、上部保護膜1004のSiO₂膜を積層するが、この膜は有っても無くてもよい。次に、同図の(f)に示すように、図26のヒータ部100、感温部101の領域と電極面の上部保護膜1004のSiO₂膜をエッチング除去する。また、同図の(g)に示すように、図26のヒータ部100、感温部101の領域のSi基板をエッチング除去し図26の空洞102を形成して完成とする。

10

【0046】

また、更に別の製造工程について製造工程断面図である図28に従って以下に説明する。まず、同図の(a)に示すように、Si基板1001上に下部絶縁層1002のSiO₂膜を積層し、同図の(b)に示すように、下部絶縁層1002のSiO₂膜を部分エッチングする。そして、同図の(c)に示すように、下部絶縁層1002のSiO₂膜の領域を残してSi基板1001上をエッチングし、傾斜形状も形成する。この場合上記のSi異方性エッチングを用いる。そして、同図の(d)に示すように、下部絶縁層1002のSiO₂膜を全面に形成する。次に、同図の(e)に示すように、導電抵抗膜1003のPt膜を積層する。次に、同図の(f)に示すように、導電抵抗膜1003のPt膜のパターンを形成する。そして、同図の(g)に示すように、上部保護膜1004のSiO₂膜を積層する。次に、同図の(h)に示すように、図26のヒータ部100、感温部101の領域と電極パッド103の領域における上部保護膜1004のSiO₂膜をエッチング除去する。そして、同図の(i)に示すように、図26のヒータ部100、感温部101の領域のSi基板1001をエッチング除去し図26の空洞102を形成して完成とする。

20

30

【0047】

次に、図29は別の発明の一実施の形態例に係る真空計の構成を示す斜視図である。同図に示す別の発明の真空計2000は熱伝導型の真空計であり、例えば第4の実施の形態例の検知素子400を真空容器2001に封入し、各電極パッドから容器外部へ配線を繋げ、ヒータ部41への加熱電力供給を行い、ヒータ部41から空間へ熱伝導する熱量を感温部40で捕らえる。感温部40の検出出力は空間の真空度に対応する。ヒータ部41から空間へ熱伝導する場合、立体的に拡散するので、反り曲がりの感温部40で囲まれることにより効率よく高出力が得られるとともに、感温部40の外側からの影響も少なくなる。

40

【0048】

図30は別の発明の一実施の形態例に係る真空管の構成を示す斜視図である。同図に示す別の発明の真空管3000は3極管型電離真空管であり、例えば第4の実施の形態例の検知素子400と同じ構成の素子を真空容器3001に封入したものである。なお、第4の実施の形態例の検知素子400における感温部40はグリッド3002、ヒータ部41はフィラメント3003、空洞の底面の基板10はコレクタ3004となる。よって、フィラメント3003から空間へ(熱)電子放出する場合、立体的に拡散するので、反り曲がりのグリッド3002で囲まれることにより効率よく高出力が得られるとともに、外側からの影響も少なくなる。コレクタ3004となる基板の空洞はフィラメント3003、グリッド3002に対応する凹部形状になっているので都合よい。グリッド3002のア

50

シストにより引き出されたフィラメント 3 0 0 3 の（熱）電子はコレクタ 3 0 0 4 の基板との間に流れる電流であり、真空度に対応する。

【0 0 4 9】

なお、本発明は上記実施の形態例に限定されるものではなく、特許請求の範囲内の記載であれば多種の変形や置換可能であることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【0 0 5 0】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 2】基板端面からの基板表面に沿った距離と基板表面から離れる距離における空気の流れ測定特性図である。

10

【図 3】第 1 の実施の形態例の検知素子の製造工程図である。

【図 4】第 1 の実施の形態例の検知素子の製造工程図である。

【図 5】第 1 の実施の形態例の検知素子の製造工程図である。

【図 6】感温部を立体形成する方法を説明する断面図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す平面図である。

【図 8】本発明の第 3 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 9】第 3 の実施の形態例の検知素子の製造工程を示す平面図である。

【図 1 0】第 3 の実施の形態例の検知素子の製造工程を示す図である。

【図 1 1】本発明の第 4 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 1 2】第 4 の実施の形態例の検知素子の製造工程を示す図である。

20

【図 1 3】本発明の第 5 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 1 4】第 5 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す平面図である。

【図 1 5】第 5 の実施の形態例の検知素子の製造工程を示す図である。

【図 1 6】本発明の第 6 の実施の形態例に係る検知素子におけるヒータ部の構成を示す図である。

【図 1 7】第 6 の実施の形態例の検知素子における感温部の構成を示す図である。

【図 1 8】第 6 の実施の形態例の検知素子の全体構成を示す図である。

【図 1 9】本発明の第 7 の実施の形態例に係る検知素子におけるヒータ部の構成を示す図である。

【図 2 0】第 7 の実施の形態例の検知素子における感温部の構成を示す図である。

30

【図 2 1】第 7 の実施の形態例の検知素子の全体構成を示す断面図である。

【図 2 2】本発明の第 8 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 2 3】第 8 の実施の形態例の検知素子の構成を示す図である。

【図 2 4】本発明の第 9 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す斜視図である。

【図 2 5】第 9 の実施の形態例の検知素子の構成を示す図である。

【図 2 6】本発明の第 1 0 の実施の形態例に係る検知素子の構成を示す図である。

【図 2 7】第 1 0 の実施の形態例の検知素子の別の製造工程を示す製造工程断面図である。

【図 2 8】第 1 0 の実施の形態例の検知素子の更に別の製造工程を示す製造工程断面図である。

40

【図 2 9】別の発明の一実施の形態例に係る真空計の構成を示す斜視図である。

【図 3 0】別の発明の一実施の形態例に係る真空管の構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

【0 0 5 1】

1 0 ; 基板、1 1 ; 空洞、1 2 ; ブリッジ、1 3 ; ヒータ部、

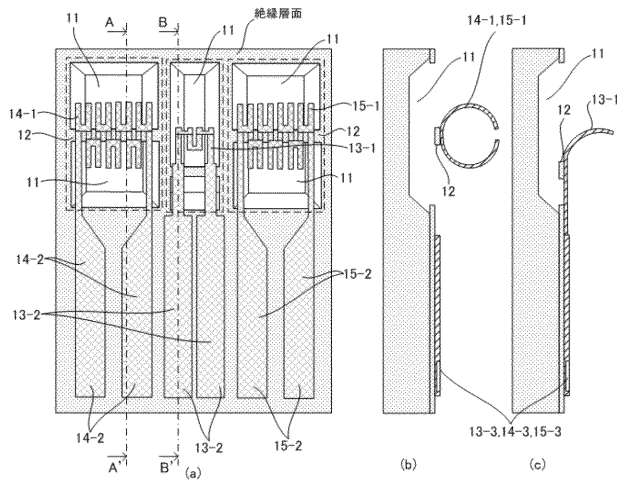
1 4 , 1 5 ; 感温部、

1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 , 4 0 0 , 5 0 0 , 6 0 0 , 7 0 0 , 8 0 0 , 9 0 0 , 1 0 0

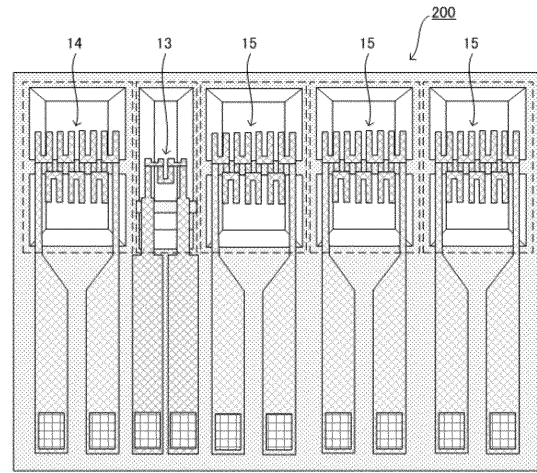
0 ; 検知素子、

2 0 0 0 ; 真空計、3 0 0 0 ; 真空管。

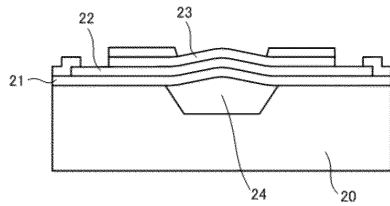
【図 5】



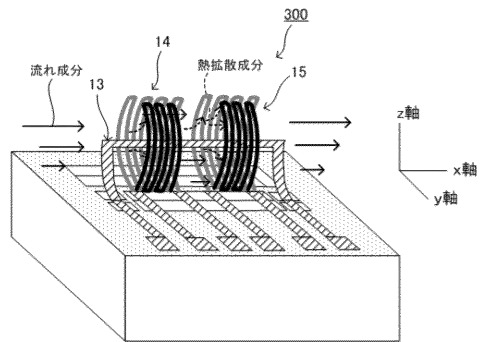
【図 7】



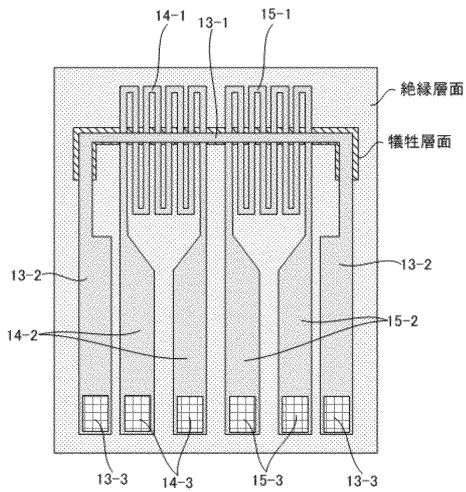
【図 6】



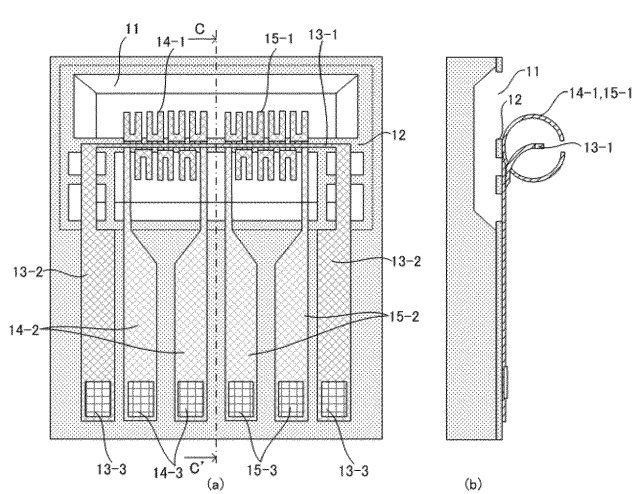
【図 8】



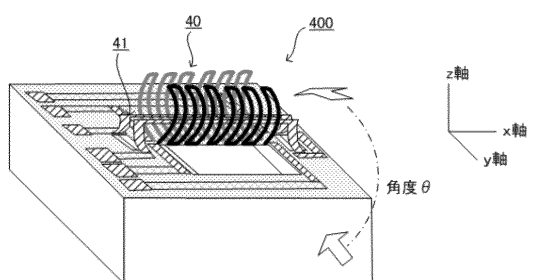
【図 9】



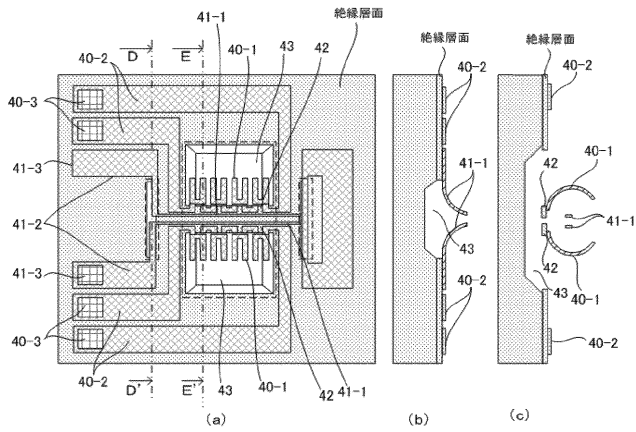
【図 10】



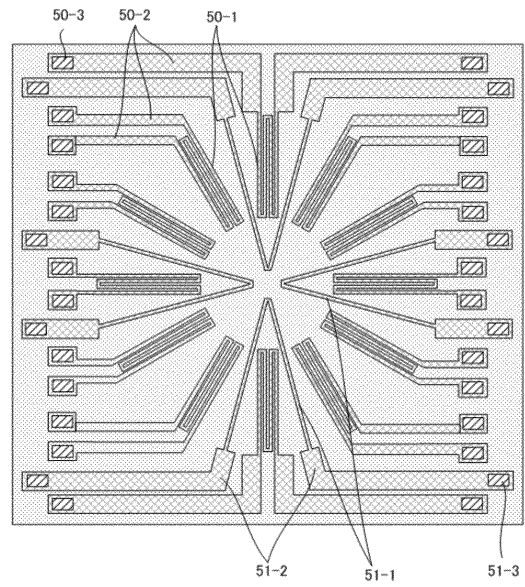
【図 11】



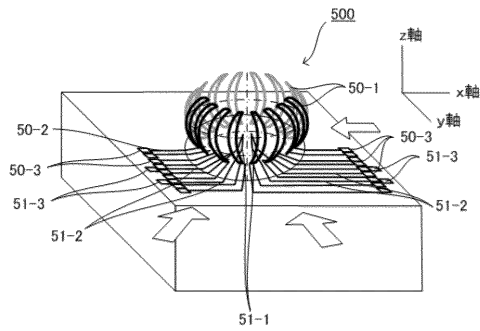
【図 1 2】



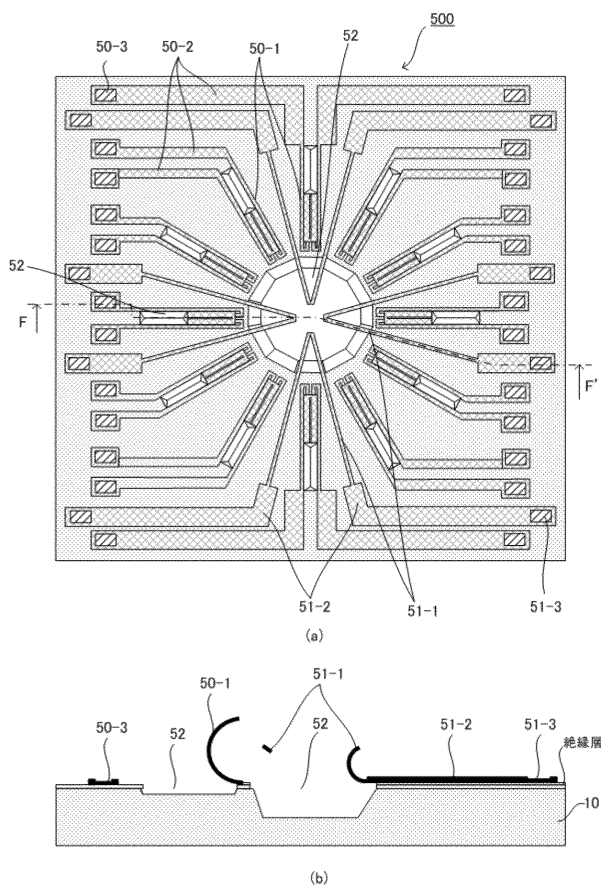
【図 1 4】



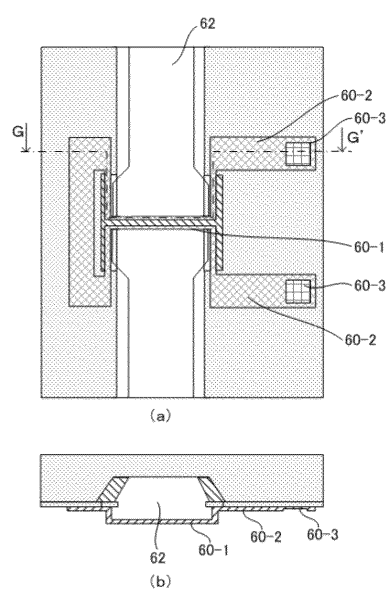
【図 1 3】



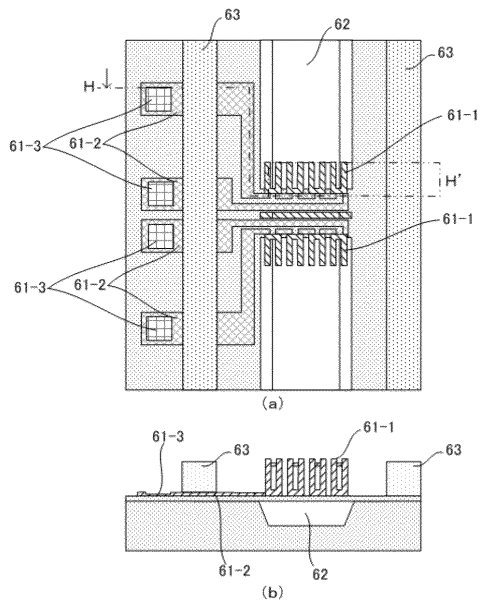
【図 1 5】



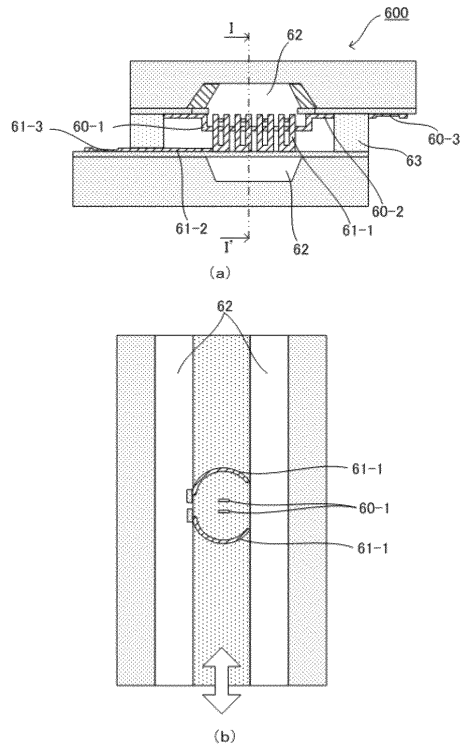
【図 1 6】



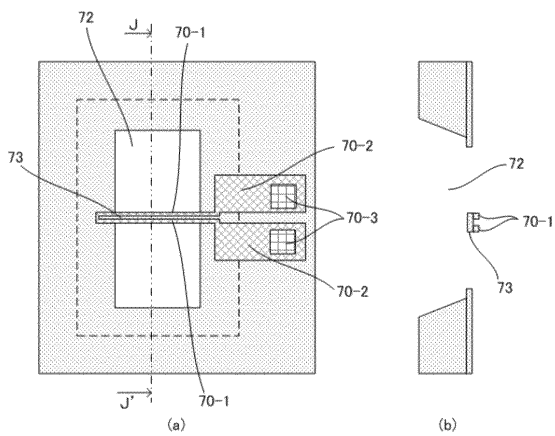
【図 17】



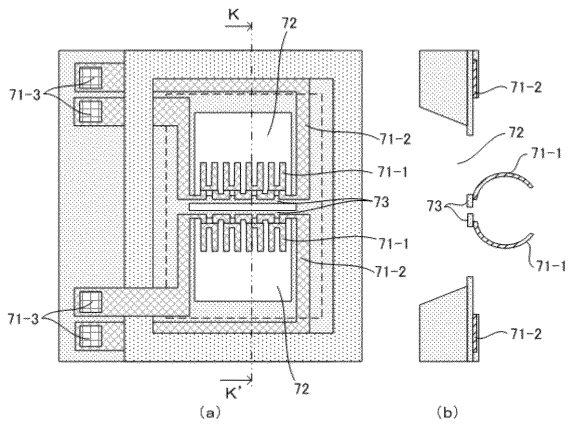
【図 18】



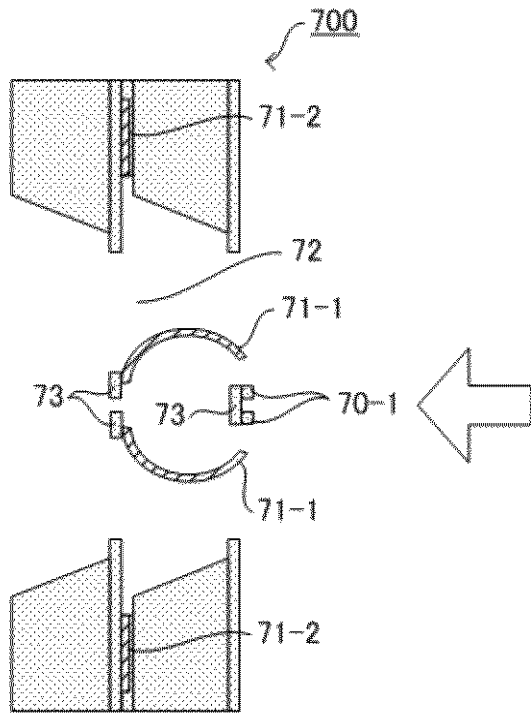
【図 19】



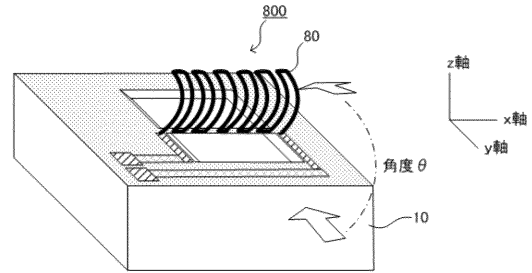
【図 20】



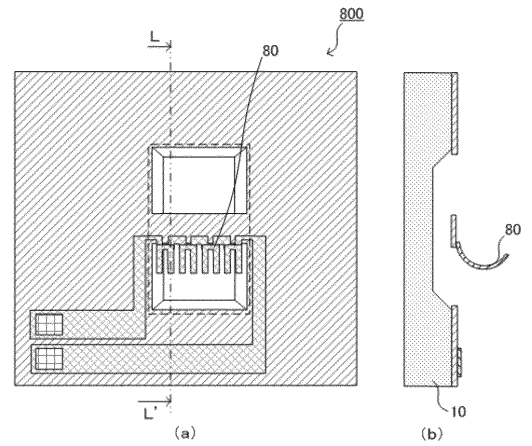
【図 2 1】



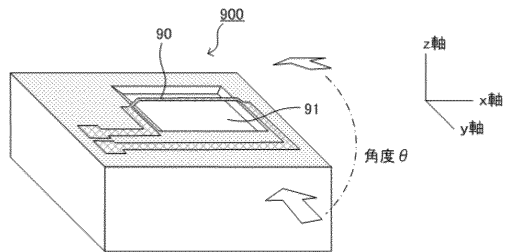
【図 2 2】



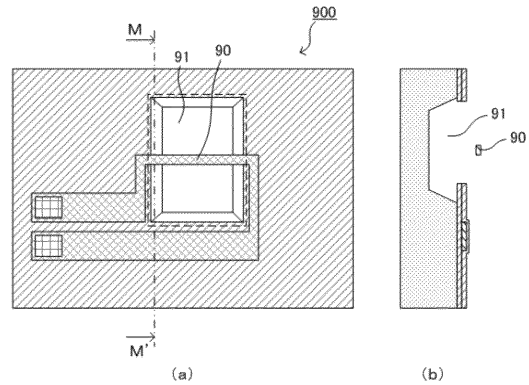
【図 2 3】



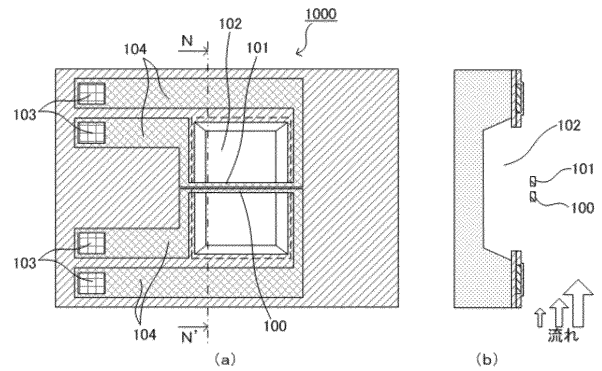
【図 2 4】



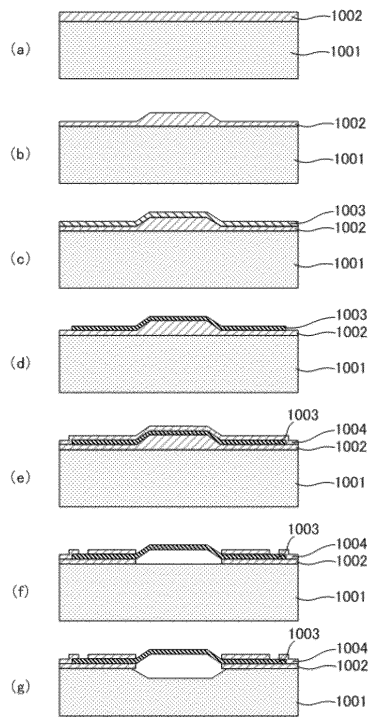
【図 2 5】



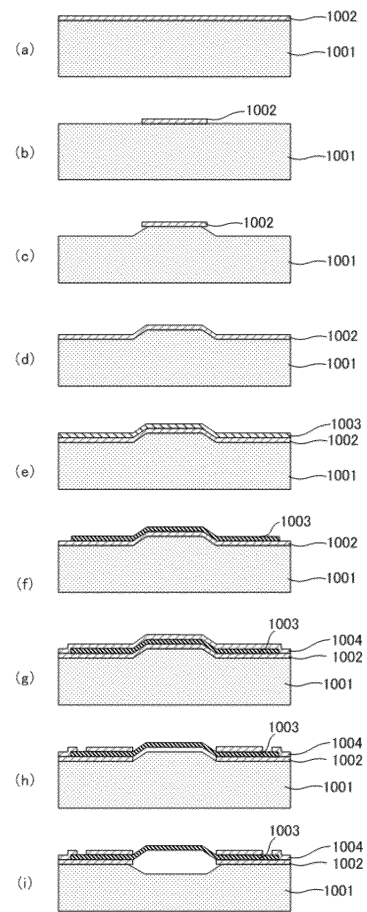
【図 2 6】



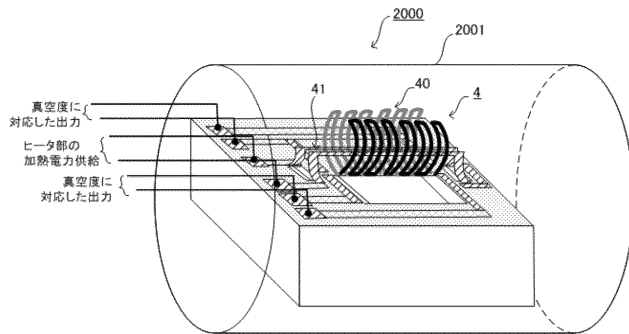
【図 27】



【図 28】



【図 29】



【図 30】

