

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5406674号
(P5406674)

(45) 発行日 平成26年2月5日 (2014.2.5)

(24) 登録日 平成25年11月8日 (2013.11.8)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 F 1/682 (2006.01)

GO 1 N 27/18 (2006.01)

GO 1 F 1/68 1 O 4 A

GO 1 F 1/68 1 O 4 B

GO 1 F 1/68 1 O 4 C

GO 1 N 27/18

請求項の数 21 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2009-254621 (P2009-254621)	(73) 特許権者	509186579
(22) 出願日	平成21年11月6日 (2009.11.6)		日立オートモティブシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2011-99757 (P2011-99757A)		茨城県ひたちなか市高場2 5 2 〇番地
(43) 公開日	平成23年5月19日 (2011.5.19)	(74) 代理人	100080001
審査請求日	平成24年8月2日 (2012.8.2)		弁理士 筒井 大和
		(72) 発明者	佐久間 憲之
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 〇番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		審査官	森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱式流体流量センサおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に形成され、湿度検出部と空気流量検出部を有し、空気流量を計測する熱式流体流量センサであって、

前記湿度検出部は、
第 1 発熱抵抗体と、
前記第 1 発熱抵抗体の上方の空洞層と、
前記空洞層上に形成された第 1 膜と、

を有し、

前記空気流量検出部は、
第 2 発熱抵抗体と、

前記基板の主面に平行な面内において前記第 2 発熱抵抗体を挟むように前記第 2 発熱抵抗体の側方に設けられた複数の測温抵抗体

を有し、

前記第 1 膜は、前記第 1 膜の上面から前記空洞層に達する複数の孔を有することを特徴とする熱式流体流量センサ。

【請求項 2】

前記湿度検出部の前記第 1 発熱抵抗体および前記空気流量検出部の前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体は、モリブデン、アルファタンタル、チタン、タングステン、コバルト、ニッケル、鉄、ニオブ、ハフニウム、クロム、ジルコニウム、白金、ベータタンタ

ルのうちのいずれかを主成分とする金属膜または窒化タンタル、窒化モリブデン、窒化タングステン、窒化チタンのうちのいずれかの金属窒化化合物またはタングステンシリサイド、モリブデンシリサイド、コバルトシリサイド、ニッケルシリサイドのうちのいずれかの金属シリサイド化合物またはポリシリコン、燐またはボロンドープシリコンであることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 3】

前記第 1 発熱抵抗体および前記第 2 発熱抵抗体が同層の金属膜で形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 4】

前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体の上下が絶縁膜で覆われていることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

10

【請求項 5】

前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体の上下の前記絶縁膜は酸化シリコン膜、窒化シリコン膜または窒化アルミニウム膜、あるいはこれらの積層膜で構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 6】

前記孔は、前記第 1 発熱抵抗体と平面的に重ならないように形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 7】

前記孔の孔径は $2\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

20

【請求項 8】

前記第 1 発熱抵抗体は前記基板上において、前記熱式流体流量センサが設置される空気通路の延在方向と同じ方向に延在することを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 9】

前記第 1 発熱抵抗体の配線幅は $10\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 10】

平面形状において、前記第 1 発熱抵抗体の長手方向に垂直に交わる方向では、前記第 1 発熱抵抗体上に設けられた前記空洞層が、前記第 1 発熱抵抗体の配線幅より広い幅を有していることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

30

【請求項 11】

前記第 1 膜は熱伝達が前記第 1 発熱抵抗体より低い材料であることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 12】

前記第 1 膜はポリイミド膜または窒化シリコン膜を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 13】

前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体は、下層の前記基板が除去されて形成された同一の第 1 ダイヤフラム内に設けられていることを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

40

【請求項 14】

前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体は、下層の前記基板が除去されて形成された同一の第 1 ダイヤフラム内に設けられ、前記第 1 発熱抵抗体は、下層の前記基板を一部除去して形成された第 2 ダイヤフラム内に設けられており、平面形状において、前記第 2 ダイヤフラムは前記第 1 ダイヤフラムより小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 15】

前記第 1 発熱抵抗体と電氣的に接続された配線および電極は、前記基板上において、前

50

記第 2 発熱抵抗体に接続された配線および電極とは電氣的に接続されていないことを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 1 6】

前記第 1 膜はさらに、前記空気流量検出部の上方に形成され、

前記第 1 膜は、前記第 2 発熱抵抗体の上部および前記複数の測温抵抗体の上部に開口部を有することを特徴とする請求項 1 に記載の熱式流体流量センサ。

【請求項 1 7】

基板上に形成された空気流量を検出する第 2 発熱抵抗体および前記第 2 発熱抵抗体と隣り合う測温抵抗体を有し、同一の前記基板上に湿度検出用の第 1 発熱抵抗体を有する熱式流体流量センサの製造方法であって、

(a) 前記基板上に第 1 絶縁膜を形成する工程と、

(b) 前記 (a) 工程の後、前記第 1 絶縁膜上に金属膜を形成し、前記金属膜をパターニングして前記金属膜からなる前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体を形成する工程と、

(c) 前記 (b) 工程の後、第 2 絶縁膜を積層する工程と、

(d) 前記 (c) 工程の後、前記第 2 絶縁膜上に保護膜を形成する工程と、

(e) 前記 (d) 工程の後、前記保護膜をパターニングして前記保護膜に第 1 の孔を開口し、前記第 1 の孔から前記第 2 絶縁膜の一部を除去して前記第 1 発熱抵抗体の上に第 1 空洞層を形成する工程と、

(f) 前記 (d) 工程の後、前記保護膜をパターニングし、前記第 2 発熱抵抗体、前記測温抵抗体および端子電極部の上部を開口する工程と、
を有することを特徴とする熱式流体流量センサの製造方法。

【請求項 1 8】

前記 (e) 工程および前記 (f) 工程の後、前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体の形成領域の下層の前記基板を除去し、前記第 1 発熱抵抗体、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体を同一のダイヤフラム内に形成することを特徴とする請求項 1 7 に記載の熱式流体流量センサの製造方法。

【請求項 1 9】

(g) 前記 (e) 工程および前記 (f) 工程の後、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体の形成領域の下層の前記基板を除去し、前記第 2 発熱抵抗体および前記測温抵抗体を同一のダイヤフラム内に形成する工程と、

(h) 前記 (e) 工程の後、前記第 1 の孔の下に、前記第 1 空洞層から前記基板の上面まで達する第 2 の孔を形成する工程と、

(i) 前記 (h) 工程の後、前記第 1 発熱抵抗体および前記第 2 の孔の下部の前記基板の上面の一部を除去し、前記第 2 の孔と接続された第 2 空洞層を形成する工程と、
を有することを特徴とする請求項 1 7 に記載の熱式流体流量センサの製造方法。

【請求項 2 0】

前記 (e) 工程では、前記第 1 の孔を前記第 1 発熱抵抗体と平面的に重ならないように形成することを特徴とする請求項 1 7 に記載の熱式流体流量センサの製造方法。

【請求項 2 1】

前記 (e) 工程では、前記第 1 の孔の孔径を 2 μ m 以下に形成することを特徴とする請求項 1 7 に記載の熱式流体流量センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱式流体流量センサおよびその製造技術に関し、特に、内燃機関の吸入空気を測定する熱式流体流量計および熱式空気流量計に好適な熱式流体流量センサおよびその製造方法に適用して有効な技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

現在、自動車等の内燃機関の電子制御燃料噴射装置に設けられ吸入空気量を測定する空気流量計に用いられる熱式流体流量センサとしては、熱式のものが質量空気量を直接検知できることから主流となってきた。

【 0 0 0 3 】

この中で、特に半導体マイクロマシニング技術により製造された熱式空気流量（エアフロー）センサは、製造コストを低減でき、且つ低電力で駆動することができることから注目されている。このようなエアフローセンサとして、例えば特開昭 6 0 - 1 4 2 2 6 8 号公報（特許文献 1）では、S i 基板を一部異方性エッチングすることにより形成した空洞上に発熱抵抗体と空気流量を測定する測温抵抗体を配置する技術が開示されている。また、吸入空気量の湿度補正を考慮した熱式空気流量計としては、特開平 7 - 2 2 9 7 7 6 号公報（特許文献 2）に開示されているものがあり、前記特許文献 2 に開示されている技術では、湿度検出のための湿度センサは熱式空気流量計用の測定素子とは別個に設置されている。特開平 1 0 - 1 9 7 3 0 5 号公報（特許文献 3）に開示されている熱式空気流量センサでは、空気流量計と静電容量の変化から相対湿度を検出する素子を同一基板上に形成されている。また、湿度を測定する方法としては加熱した抵抗体の抵抗値変化により湿度を検出する技術が、特開平 7 - 5 5 7 4 8 号公報（特許文献 4）に開示されている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開昭 6 0 - 1 4 2 2 6 8 号公報

20

【 特許文献 2 】 特開平 7 - 2 2 9 7 7 6 号公報

【 特許文献 3 】 特開平 1 0 - 1 9 7 3 0 5 号公報

【 特許文献 4 】 特開平 7 - 5 5 7 4 8 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上述の従来技術においては次のような課題がある。特許文献 1 で開示されている技術では、吸入空気湿度変化による発熱抵抗体および測温抵抗体への影響（熱損失）が配慮されておらず、空気流量の検出精度が低下するという課題がある。

【 0 0 0 6 】

30

また、特許文献 2 では、空気流量センサと湿度センサの素子とを用意し、それぞれを吸入空気通路に設置して湿度信号に基づき空気流量信号を補正して出力する技術が開示されている。ただし、部品点数の増加、および素子同士の配線を考慮した設計が必要となるため構造が複雑化し、組立て工数が増加することにより製造コストが増大する課題がある。

【 0 0 0 7 】

また、特許文献 3 で開示されている技術では、同一素子上に空気流量センサと湿度センサを配置し組立て工数による製造コストの増大を抑制しているが、湿度を計測する湿度センサが静電容量の変化で検出しているため、絶対湿度ではなく相対湿度の測定となる。従って、空気温度が変化した場合、相対湿度が同じであっても空気中に存在する水分量が異なるため、空気流量信号への湿度補正に狂いが生じる。また、静電容量式の湿度センサは感度向上のためには広い面積が必要となり、素子サイズ増大により製造コストが増加する課題がある。

40

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 4 には絶対湿度を熱式で検出する技術が開示されているが、素子を封止キャップで覆う構造となっており、空気流量センサと組み合わせる場合、温度センサは空気流量センサとは別素子となるため、特許文献 2 と同様に製造コストが増大する課題がある。さらに、特許文献 3 のように、同一素子上であって且つ空気の流線領域から外れた密閉された位置に湿度検出素子を配置した場合、湿度検出のために加熱した熱が近隣の空気流量センサの配線を暖めることにより空気流量センサの配線の抵抗値が変化し、空気流量センサの精度を損ねてしまう課題がある。

50

【 0 0 0 9 】

本発明の目的は、低コストで、且つ空気流量センサに影響を与えずに吸入空気中の絶対湿度を検出でき、空気流量の検出精度を高めた熱式流体流量センサを提供することにある。

【 0 0 1 0 】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【 0 0 1 2 】

本願の一発明による熱式流体流量センサは、基板上に形成され、湿度検出部と空気流量検出部を有し、空気流量を計測する熱式流体流量センサである。

【 0 0 1 3 】

前記湿度検出部は第 1 発熱抵抗体、前記第 1 発熱抵抗体の上方の空洞層および前記空洞層上に形成された第 1 膜とを有し、前記空気流量検出部は第 2 発熱抵抗体および前記基板の主面に平行な面内において前記第 2 発熱抵抗体を挟むように前記第 2 発熱抵抗体の側方に設けられた複数の測温抵抗体を有する。

【 0 0 1 4 】

本願の一発明による熱式流体流量センサは、前記第 1 膜は、前記第 1 膜の上面から前記空洞層に達する複数の孔を有するものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【 0 0 1 6 】

本発明によれば、熱式抵抗型の湿度検出部を有する空気流量計において、空気の流れによる影響を抑制しつつ絶対湿度を測定し、湿度補正した高精度な熱式流体流量センサを提供することができる。

【 0 0 1 7 】

また、検出した絶対湿度データはエンジンの爆発タイミング制御にも活用でき、燃焼効率を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 である熱式流体流量センサの一例を示す要部平面図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 である自動車等の内燃機関の吸気通路に取り付けられた熱式流体流量センサを実装した熱式空気流量計の概略配置図である。

【図 3】図 2 の一部を拡大した要部拡大平面図である。

【図 4】図 3 の B - B 線における要部断面図である。

【図 5】本発明の実施の形態 1 である熱式流体流量センサの一例を示した回路図である。

【図 6】本発明の実施の形態 1 である湿度検出用発熱抵抗体の消費電力と湿度検出用発熱抵抗体温度の相関を示した図である。

【図 7】本発明の実施の形態 1 である湿度検出用発熱抵抗体の絶対湿度の相関を示した図である。

【図 8】本発明の実施の形態 1 である熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 9】図 8 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 10】図 9 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】図 1 0 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 1 2】図 1 1 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 1 3】図 1 2 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 1 4】本発明の実施の形態 2 である熱式流体流量センサの一例を示す要部平面図である。

【図 1 5】本発明の実施の形態 2 である熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 1 6】図 1 5 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【図 1 7】図 1 6 に続く熱式流体流量センサの製造方法を示す要部断面図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0019】

以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

【0020】

また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

【0021】

さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことはいうまでもない。また、実施の形態等において構成要素等について、「A からなる」、「A よりなる」というときは、特にその要素のみである旨明示した場合等を除き、それ以外の要素を排除するものでないことはいうまでもない。

20

【0022】

同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

【0023】

30

また、材料等について言及するときは、特にそうでない旨明記したとき、または、原理的または状況的にそうでないときを除き、特定した材料は主要な材料であって、副次的要素、添加物、付加要素等を排除するものではない。たとえば、シリコン部材は特に明示した場合等を除き、純粋なシリコンの場合だけでなく、添加不純物、シリコンを主要な要素とする 2 元、3 元等の合金（たとえば Si Ge）等を含むものとする。

【0024】

また、以下の実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0025】

また、以下の実施の形態で用いる図面においては、平面図であっても図面を見易くするために部分的にハッチングを付す場合がある。

40

【0026】

（実施の形態 1）

本実施の形態における熱式流体流量センサは、空気流量を計測する素子と同じ基板上に形成した熱式の湿度センサと、前記素子の内の発熱抵抗体に電流を供給し空気流量信号を検出する駆動回路と、空気流量信号から空気流量を演算する制御回路と、空気流量と絶対湿度の補正データを記憶しているメモリとを備え、前記制御回路は、前記湿度センサを用いて検出した絶対湿度と前記補正データとから、空気流量を補正するものである。なお、本実施の形態の熱式流体流量センサは、自動車等の内燃機関の吸気通路に設置して使用されるものとする。

50

【 0 0 2 7 】

ここで、本実施の形態 1 における熱式流体流量センサの要部平面図を図 1 に示す。

【 0 0 2 8 】

図 1 に示すように、熱式流体流量センサである測定素子 1 は、単結晶 Si からなる半導体基板 2、半導体基板 2 上に形成された絶縁膜（図示しない）と、前記絶縁膜上に形成された発熱抵抗体 3、発熱抵抗体 3 の温度を検知するための発熱抵抗体用測温抵抗体 4、測温抵抗体 5 および湿度検出用発熱抵抗体 9 を有している。発熱抵抗体用測温抵抗体 4 は発熱抵抗体 3 の周囲を一部を除いて囲むように形成されている。

【 0 0 2 9 】

測定素子 1 は四角形の平面形状を有する素子であり、測定する空気が、基本的に測定素子 1 の主面に沿う方向であって、測定素子 1 の一辺から対向する辺に対して垂直に流れるように設置される。測定素子 1 の主面のほぼ全体は保護膜（図示しない）に覆われているが、少なくとも発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 上には開口部 15 が設けられており、前記保護膜が形成されていない。また、開口部 15 および湿度検出用発熱抵抗体 9 が形成された領域の下層の半導体基板 2 は除去され、他の領域に比べて厚さの薄いダイヤフラム 16 構造となっている。ここで、ダイヤフラム 16 内であって、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 を含む領域は、空気流量を計測する素子であり、以下、空気流量検出部と呼ぶ。

【 0 0 3 0 】

図 1 において、符号 17 の矢印は、空気の流れを示す。空気は場合によって空気の流れ 17 の逆方向に流れたり、それ以外の方向へ流れることもあるが、ここでは図 1 における空気の流れ 17 の矢印の方向に流れるものとする。

【 0 0 3 1 】

測温抵抗体 5 は発熱抵抗体 3 の側方に形成され、発熱抵抗体 3 により暖められた空気の空気温度を検知するための上流側測温抵抗体 5 a、5 b および下流側測温抵抗体 5 c、5 d により構成されており、上流側測温抵抗体 5 a、5 b、発熱抵抗体 3 および下流側測温抵抗体 5 c、5 d の順に、発熱抵抗体 3 を挟んで空気の流れ 17 に沿う方向に並んで配置されている。なお、ここでは測定素子 1 上において、空気の流れ 17 の矢印の方向から流れてきた空気が最初に到達する測定素子 1 の辺に近い領域を上流側と呼び、上流側よりも後に空気が到達する領域を下流側と呼ぶ。

【 0 0 3 2 】

また、測定素子 1 上には、空気の温度を測定するための空気温度測温抵抗体 6、およびヒータ温度制御用抵抗体 7、8 が形成されている。発熱抵抗体 3、測温抵抗体 5、発熱抵抗体用測温抵抗体 4、湿度検出用発熱抵抗体 9、空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ温度制御用抵抗体 7、8 は同一の金属膜を加工して形成されたものであり、半導体基板 2 の主面に平行な面内の同層内に形成され、上下が絶縁膜で覆われている。

【 0 0 3 3 】

測定素子 1 の 4 辺の内、空気の流れ 17 に沿う 2 辺の内の 1 辺の近傍には、測定素子 1 の信号を外部回路へ接続するための端子電極 10 が形成されている。端子電極 10 は複数の端子電極 10 a、10 b、10 c、10 d、10 e、10 f、10 g、10 h、10 i、10 j および 10 k からなり、部材は Al である。ここで、端子電極 10 は各引き出し配線および各抵抗体よりも上層に形成されている。なお、ここでいう各抵抗体とは、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4、測温抵抗体 5、空気温度測温抵抗体 6、ヒータ温度制御用抵抗体 7、8 および湿度検出用発熱抵抗体 9 のことを指す。

【 0 0 3 4 】

端子電極 10 a、10 b は、引き出し配線 11 a、11 b を通じて発熱抵抗体 3 と電氣的に接続され、端子電極 10 c は引き出し配線 11 c を通じて発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および空気温度測温抵抗体 6 に電氣的に接続され、端子電極 10 d は引き出し配線 11 d を通じて発熱抵抗体用測温抵抗体 4 およびヒータ温度制御用抵抗体 7 に電氣的に接続されている。端子電極 10 e は引き出し配線 11 e を通じて空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ

10

20

30

40

50

タ温度制御用抵抗体 8 に電氣的に接続されている。端子電極 10 f は引き出し配線 11 f 1、11 f 2 を通じて上流側測温抵抗体 5 a および下流側測温抵抗体 5 c に電氣的に接続されている。端子電極 10 g は引き出し配線 11 g 1、11 g 2、11 g 3 および 11 g 4 を通じて上流側測温抵抗体 5 b、ヒータ温度制御用抵抗体 7、8 および下流側測温抵抗体 5 d 電氣的に接続されている。端子電極 10 h は引き出し配線 11 h 1、11 h 2 を通じて上流側測温抵抗体 5 b および下流側測温抵抗体 5 c に電氣的に接続され、端子電極 10 i は引き出し配線 11 i 1、11 i 2 を通じて上流側測温抵抗体 5 a および下流側測温抵抗体 5 d に電氣的に接続されている。端子電極 10 j、10 k は引き出し配線 11 j、11 k を通じて湿度検出用発熱抵抗体 9 に電氣的に接続されている。なお、各引き出し配線は、接続孔 12 を介してそれぞれ各端子電極と電氣的に接続されている。

10

【0035】

発熱抵抗体 3 の配線幅は、例えば 1 ~ 150 μm 程度であり、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 の配線幅は例えば 0.5 ~ 100 μm 程度であり、測温抵抗体 5、空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ温度制御用抵抗体 7、8 のそれぞれの配線幅は例えば 0.5 ~ 10 μm 程度である。湿度検出用発熱抵抗体 9 の配線幅は例えば 0.5 ~ 100 μm 程度である。ただし、測定素子 1 の面積を小さくするため、湿度検出用発熱抵抗体 9 の配線幅は 10 μm 以下とすることが好ましい。また、引き出し配線 11 a、11 b、11 c、11 d、11 e、11 f 1、11 f 2、11 g 1、11 g 2、11 g 3、11 g 4、11 h 1、11 h 2、11 i 1、11 i 2、11 j および 11 k のそれぞれの幅は、例えば 30 ~ 500 μm 程度である。

20

【0036】

なお、湿度検出用発熱抵抗体 9 およびこれに接続されている引き出し配線 11 j、11 k および端子電極 10 j、10 k は、測定素子 1 上において他の抵抗体、引き出し配線または端子電極と電氣的に接続されていない。これは、湿度検出用発熱抵抗体 9 の加熱温度は空気流量検出部の発熱抵抗体 3 より高温が好ましく、高電流となる可能性があるためであり、グラウンド（アース）の配線であっても測定素子 1 上では空気流量検出部の引き出し配線とは接続せず、分けて形成した方がよい。また、湿度検出用発熱抵抗体 9 と同一金属で形成された引き出し配線 11 j、11 k は、他の引き出し配線よりも下流側に位置し、引き出し配線 11 j、11 k と電氣的に接続されている端子電極 10 j、10 k も、他の端子電極よりも下流側に位置している。

30

【0037】

なお、湿度検出用発熱抵抗体 9 の引き出し配線 11 j または 11 k を他の空気流量検出部の引き出し配線に接続する場合、端子電極 10 の一部を空気流量検出部方向へ延ばし、下層の引き出し配線と交差させて湿度検出用発熱抵抗体 9 の引き出し配線と他の空気流量検出部の引き出し配線とを電氣的に接続することになる。また、図示はしていないが、端子電極 10 は、硫黄などによる腐食から守るためにシリコン樹脂等で覆われている。このシリコン樹脂は、ヒータ温度制御用抵抗体 8 等の抵抗体を覆わないようにする必要があるため、測定素子 1 上ではヒータ温度制御用抵抗体 8 等の抵抗体と端子電極 10 との間に一定以上の距離が必要である。このため、端子電極 10 が空気流量検出部方向へ延びて形成された場合、測定素子 1 の面積が増大することになり、熱式流体流量センサの製造コストの増加につながる。このことから、湿度検出用発熱抵抗体 9 の配線は、測定素子 1 上において他の引き出し配線とは接続せず、分けて形成した方がよい。

40

【0038】

また、湿度検出用発熱抵抗体 9 は、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 が形成された領域を空気の流れ 17 の方向に沿う方向に延在した領域には形成されておらず、ダイヤフラム 16 内において、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 から離れた位置であって空気の流れ 17 の下流側に配置されている。これは、湿度検出用発熱抵抗体 9 をダイヤフラム 16 上の端に配置することで、空気流量を測定する素子と湿度検出用発熱抵抗体 9 との間での熱影響を極力少なくするためである。ここでは、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 が形成された

50

領域を空気の流れ 17 の方向に沿う方向に延在した領域に湿度検出用発熱抵抗体 9 を形成しないことで、発熱抵抗体 3 などにより暖められた空気が湿度検出用発熱抵抗体 9 に当たらないようにしている。また、湿度検出用発熱抵抗体 9 により暖められた空気が発熱抵抗体 3 などに当たることも防いでいる。

【0039】

また、湿度検出用発熱抵抗体 9 はその長手方向が空気の流れ 17 の方向に沿うように形成されており、湿度検出用発熱抵抗体 9 の上方には空洞層 14 が形成され、空洞層 14 上に形成された保護膜には、前記保護膜の上面から空洞層 14 に達する複数の孔 13 が形成されている。なお、孔 13 は延在する湿度検出用発熱抵抗体 9 に沿うように断続的に形成されており、湿度検出用発熱抵抗体 9 の直上には形成されていない。孔 13 の孔径は 2 μ m 以下であり、孔 13 を通して、湿度を測定する外部からの空気と空洞層 14 内部の暖められた空気の入れ替えを行なう構造となっている。空洞層 14 の保護膜は絶縁膜等の熱伝達係数が低い膜であり、熱を伝えないことで、空気の流れによって湿度検出用発熱抵抗体 9 が冷却されることを極力抑えることを可能としている。

【0040】

なお、図 1 に示す平面形状において、湿度検出用発熱抵抗体 9 の長手方向に垂直に交わる方向において、空洞層 14 の幅は湿度検出用発熱抵抗体 9 よりも広く形成されている。また、空洞層 14 の上部および下部であって、湿度検出用発熱抵抗体 9、孔 13 および空洞層 14 を含む領域を湿度検出部とする。空気流量検出部と湿度検出部は同一ダイヤフラム 16 内において、別々に形成された領域である。

【0041】

この測定素子 1 は、空気の流れ 17 の空気温度を空気温度測温抵抗体 6 で測定し、発熱抵抗体 3 で加熱した発熱抵抗体用測温抵抗体 4 の抵抗増加と比較して温度差 (T_h) を計算し、発熱抵抗体 3 で暖められた空気の流れ 17 により上流側測温抵抗体 5 a、5 b および下流側測温抵抗体 5 c、5 d の抵抗値がそれぞれ変化する構造となっている。

【0042】

なお、本実施の形態 1 では各抵抗体の抵抗値を設計値に合わせるため、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4、測温抵抗体 5、空気温度測温抵抗体 6、ヒータ温度制御用抵抗体 7、8 および湿度検出用発熱抵抗体 9 の各抵抗体を折り返し蛇行配線構造としている。

【0043】

図 2 は自動車等の内燃機関の吸気通路に取り付けられた、本発実施の形態の熱式流体流量センサを実装した熱式空気流量計 28 の概略配置図である。熱式空気流量計 28 は、熱式流体流量センサである測定素子 1 と、上部および下部からなる支持体 29 と、外部回路 30 とから構成され、測定素子 1 は、空気通路 31 の内部にある副通路 32 内に配置される。外部回路 30 は支持体 29 を介して測定素子 1 の端子に電氣的に接続される。吸気空気は内燃機関の条件によって、図 2 の矢印で示された空気の流れ 17 の方向、または空気の流れ 17 と逆の方向に流れる。空気の流れ 17 の方向は、空気通路 31 および副通路 32 の延在方向と同じ方向であると言える。なお、図 2 では、筒状の形状を有する空気通路 31 および副通路 32 のみ断面図を示し、測定素子 1、外部回路 30 および支持体 29 を含む熱式空気流量計 28 は平面図を示している。

【0044】

図 3 は、図 2 に示す測定素子 1 および支持体 29 の一部を拡大した要部平面図であり、図 4 は、図 3 の B - B 線における要部断面図である。なお、図 3 においては構造をわかりやすくするため、図 4 に示す上部の支持体 29 b およびシリコン樹脂 35 は図示していない。図 3 において、上部の支持体 29 b の端部を破線で示す。

【0045】

図 3 および図 4 に示すように、測定素子 1 は、下部の支持体 29 a 上に固定されており、測定素子 1 の端子電極 10 と外部回路 30 の端子電極 33 との間は、例えば金線 34 等を用いたワイヤボンディング法により電氣的に接続されている。

【 0 0 4 6 】

また、端子電極 1 0、外部回路 3 0 の端子電極 3 3 および金線 3 4 は、エンジンからの流入する硫黄成分を含んだ空気による腐食から防ぐため、シリコン樹脂 3 5 で覆われている。なお、測定素子 1 の一部を覆うシリコン樹脂 3 5 は、図 1 におけるダイヤフラム 1 6 および空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ温度制御用抵抗体 7、8 上を覆わず、且つ端子電極 1 0 が露出しないように形成されている。また、図 3 および図 4 に示すように、端子電極 1 0、3 3 および金線 3 4 は、上部の支持体 2 9 b で覆うことにより保護されている。端子電極 1 0、3 3 および金線 3 4 は、上部の支持体 2 9 b により密封保護されていてもよいし、密封されていなくてもよい。

【 0 0 4 7 】

次に、図 5 を用いて、前述した熱式空気流量計 2 8 の動作について説明する。図 5 は、本実施の形態 1 による測定素子 1 と外部回路 3 0 とを示した回路図であり、符号 3 6 は電源、3 7 は発熱抵抗体 3 に加熱電流を流すためのトランジスタ、3 8 は A / D 変換器等を含む出力回路と演算処理を行なう C P U (Central Processing Unit) を含む制御回路、3 9 はメモリを示す。

【 0 0 4 8 】

電源 3 6、トランジスタ 3 7 および制御回路 3 8 内の入力回路および出力回路は、発熱抵抗体 3 に電流を供給する駆動回路である。メモリ 3 9 は空気流量と絶対湿度の補正データを記憶しているメモリである。制御回路 3 8 は、空気流量信号から空気流量を演算し、湿度検出用発熱抵抗体 9 を用いて検出した絶対湿度と前記補正データとから、前記空気流量を補正するものである。

【 0 0 4 9 】

なお、本回路は二つのブリッジ回路を有する。ひとつは発熱抵抗体用測温抵抗体 4、空気温度測温抵抗体 6、ヒータ温度制御用抵抗体 7、8 からなるヒータ制御ブリッジ回路であり、もうひとつは 4 つの測温抵抗体である上流側測温抵抗体 5 a、5 b および下流側測温抵抗体 5 c、5 d による温度センサブリッジ回路である。

【 0 0 5 0 】

図 1 に示した測定素子 1 において、端子電極 1 0 c が空気温度測温抵抗体 6 および発熱抵抗体用測温抵抗体 4 の双方に電氣的に接続されており、端子電極 1 0 c に図 5 中の所定電位 V r e f 1 を供給する。また、図 1 における端子電極 1 0 f が上流側測温抵抗体 5 a および下流側測温抵抗体 5 c の双方に電氣的に接続されており、端子電極 1 0 f に図 5 中の所定電位 V r e f 2 を供給する。さらに、図 1 において端子電極 1 0 g が引き出し配線 1 1 g を介して 2 つのヒータ温度制御用抵抗体 7、8、上流側測温抵抗体 5 b、下流側測温抵抗体 5 d のそれぞれに電氣的に接続されており、端子電極 1 0 g は図 5 に示すようにグランド電位とする。

【 0 0 5 1 】

また、図 1 において引き出し配線 1 1 d を介して発熱抵抗体用測温抵抗体 4 およびヒータ温度制御用抵抗体 7 の双方に電氣的に接続された端子電極 1 0 d は、図 5 中のノード A に対応する。また、図 1 において引き出し配線 1 1 e を介して空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ温度制御用抵抗体 8 の双方に電氣的に接続された端子電極 1 0 e は、図 5 中のノード B に対応する。また、図 1 において引き出し配線 1 1 i 1、1 1 i 2 を介して上流側測温抵抗体 5 a および下流側測温抵抗体 5 d の双方に接続された端子電極 1 0 i は、図 5 中のノード C に対応する。また、図 1 において引き出し配線 1 1 h 1、1 1 h 2 を介して上流側測温抵抗体 5 b および下流側測温抵抗体 5 c の双方に接続された端子電極 1 0 h は、図 5 中のノード D に対応する。

【 0 0 5 2 】

なお、本実施の形態ではヒータ制御ブリッジ回路と温度センサブリッジ回路のグランド電位を、図 1 における共通の端子電極 1 0 g で供給しているが、端子電極を増やし、それぞれの端子電極をグランド電位としてもよい。

【 0 0 5 3 】

また、図 5 において、ヒータ制御ブリッジ回路は、発熱抵抗体 3 により熱せられた気体が吸気温度よりある一定温度 (T_h 、例えば 100) 高い場合にノード A (端子電極 10d) とノード B (端子電極 10e) の間の電位差が 0 V になるように発熱抵抗体用測温抵抗体 4、空気温度測温抵抗体 6 およびヒータ温度制御用抵抗体 7、8 の各抵抗値が設定されている。上記一定温度 (T_h) が設定よりずれた場合は、ノード A とノード B の間に電位差が生じ、制御回路 38 によりトランジスタ 37 を制御し発熱抵抗体 3 に流れる電流を変化させてブリッジ回路を平衡状態 (ノード A およびノード B 間の電位差: 0 V) に保つように設計されている。

【0054】

一方、温度センサブリッジ回路は、発熱抵抗体 3 からそれぞれの上流側測温抵抗体 5a、5b および下流側測温抵抗体 5c、5d までの距離が同一の距離になるよう設計しているため、発熱抵抗体 3 による加熱にかかわらず無風の場合、ノード C (端子電極 10i) とノード D (端子電極 10h) の間の電位差が平衡状態となり 0 V となる。発熱抵抗体 3 に電圧を印加し、吸気が図 1 における空気の流れ 17 の方向に流れると発熱抵抗体 3 で暖められた上流側測温抵抗体 5a、5b は温度が低下し、下流側測温抵抗体 5c、5d の温度が高くなり、測温抵抗体 5 の抵抗値が上流側と下流側で異なり、温度センサブリッジ回路のバランスが崩れ、ノード C とノード D の間に差電圧が発生する。この差電圧を空気流量信号として検出して制御回路 38 に入力し、メモリ 39 の差電圧と空気流量の対比表から求めた空気流量 (Q) を演算処理する。なお、図 1 における空気の流れ 17 が逆方向になった場合においても同様に空気流量がわかるため逆流検知も可能である。

【0055】

次に湿度補正について説明する。図 5 において、熱式の湿度検出部である湿度検出用発熱抵抗体 9 は他の発熱抵抗体を含む回路とは個別に回路が構成されている。湿度検出用発熱抵抗体 9 を、一定の電流値 I_{ref3} (または電圧値 V_{ref3}) により発熱させたときの電圧値 (または電流値) をノード E (図 1 の端子電極 10j) とノード F (図 1 の端子電極 10k) から制御回路 38 に入力し、メモリ 39 のあらかじめ測定した既知の絶対湿度と抵抗値の対比表から絶対湿度を算出し、補正係数を求めて前述した空気流量を補正して出力する。また、絶対湿度を算出した後、湿度により温度低下した分のヒータ温度を上昇させるように、制御回路 38 によりトランジスタ 37 を制御する。

【0056】

ここで、湿度検出部の動作原理を説明する。湿度検出用発熱抵抗体 9 には一定の電流が流れており、湿度検出用発熱抵抗体 9 からジュール熱が発生し、周囲の空気を加熱する。空気中に水分がある場合、湿度検出用発熱抵抗体 9 が発熱することで空気中に含まれる水分が蒸発する。この際に、湿度検出用発熱抵抗体 9 から熱 (気化熱) が奪われ、湿度検出用発熱抵抗体 9 の発熱温度が下がる。つまり、空気中の水分が多い場合と少ない場合とでは、湿度検出用発熱抵抗体 9 から奪われる熱量が異なることになり、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度が異なることになる。

【0057】

図 6 は配線幅 2 μm 、配線長 250 μm の湿度検出用発熱抵抗体 9 に流す電流を増加した場合の消費電力と湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度の相関を示すグラフである。なお、空気温度は 85 一定とし、絶対湿度を 49 g/m^3 と 334 g/m^3 の 2 条件について比較した。

【0058】

例えば、図 6 からわかるように、湿度検出用発熱抵抗体 9 に同じ電力を供給した場合、絶対湿度の少ない方が奪われる熱が少なくなるため、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度は上昇する。言い換えれば、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度を一定とするためには、湿度が高くなるほど熱損失が大きくなるので、湿度が高いほどより大きな電力が必要となる。従って、図 6 から、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度と、供給する電力との関係は、絶対湿度が変化することにより変わることがわかる。

【0059】

ここで、消費電力と湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度の関係は、下記の二次項の近似式で現すことができる。

【 0 0 6 0 】

$$T_h = k_1 \cdot P_h + k_2 \cdot P_h^2 + T_a$$

上記式において、 T_h は湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度、 P_h は湿度検出用発熱抵抗体 9 において消費される電力、 T_a は空気温度、 k_1 は近似式の一次項、 k_2 は近似式の二次項である。

【 0 0 6 1 】

先の絶対湿度が異なる条件での計測結果をこの近似式で計算した場合、一次項 k_1 と T_a はほとんど等しく、二次項 k_2 のみが変わる。すなわち、絶対湿度の相違は二次項 k_2 の相違に現れるのである。この近似式を空気温度 T_a および絶対湿度を変えた場合について当てはめてみた場合の近似式の二次項 k_2 と絶対湿度の相関を示すグラフを、図 7 に示す。この結果より、近似式の二次項 k_2 と絶対湿度は比例関係にあることがわかる。湿度検出用発熱抵抗体 9 には定電流を流しているため、端子電極 10j および端子電極 10k の間の電圧を測定することで、電力 P_h と湿度検出用発熱抵抗体 9 の抵抗値とがわかり、湿度検出用発熱抵抗体 9 の抵抗値から、温度 T_h もわかる。すなわち、従って、空気温度 T_a がわかっていれば、上述した近似式で、温度 T_h 、電力 P_h 、一次項 k_1 および空気温度 T_a がわかることになるので、この近似式から二次項 k_2 を求めることができる。これにより、二次項 k_2 を計算で算出することができ、図 7 のような、メモリ 39 に記憶してある二次項 k_2 と絶対湿度との相関対比表から絶対湿度を導き出すことができる。

【 0 0 6 2 】

この算出した絶対湿度から、メモリ 39 に記憶してある絶対湿度と空気流量の相関対比表から補正係数を読み出し、空気流量を補正する。また、ここで算出した絶対湿度のデータをそのまま自動車の燃料噴出駆動回路に出力し、エンジンの爆発タイミング制御に活用することで燃焼効率を高めることができる。

【 0 0 6 3 】

従って、前述したように、絶対湿度を検出し、空気流量を補正するには、湿度検出用発熱抵抗体 9 の電流および電圧に対する湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度が、常にメモリ 39 に記憶してあるデータ（余分な要因を排除して求められたデータ）とほぼ一致している必要がある。このため、絶対湿度を正確に検出するためには、余分な要因を排除する必要がある。すなわち、湿度検出用発熱抵抗体 9 が空気の流れによって過度に冷やされる事を防ぎ、また、発熱抵抗体 3 の発する熱等の影響を受けることを防ぐことで、湿度検出用発熱抵抗体 9 が絶対湿度に応じて適切な温度になるようにする必要がある。

【 0 0 6 4 】

本実施の形態では、ダイヤフラム 16 内において空気流量検出部と湿度検出部を離し、また、平面において湿度検出用発熱抵抗体 9 と孔 13 とが重ならないように配置し、湿度検出用発熱抵抗体 9 を空気の流れの方向に沿うように配置することで、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度が、湿度検出用発熱抵抗体 9 の発熱および空気の湿度以外の要因（余分な要因）により変化することを防いでいる。

【 0 0 6 5 】

次に、本実施の形態 1 による熱式流体流量センサの製造方法を、図 8 ~ 図 13 を用いて工程順に説明する。図 8 ~ 図 13 は、図 1 の A - A 線における要部断面図である。

【 0 0 6 6 】

まず、図 8 に示すように、単結晶 Si からなる半導体基板 2 を用意する。続いて、半導体基板 2 の上面および裏面に第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 を順次形成した後、半導体基板 2 の上面側の第 2 の絶縁膜 19 上に第 3 の絶縁膜 20、第 4 の絶縁膜 21 および第 5 の絶縁膜 22 を順次形成する。このとき、半導体基板 2 の裏面に形成された第 2 の絶縁膜 19 の下面には第 3 の絶縁膜 20、第 4 の絶縁膜 21 および第 5 の絶縁膜 22 は形成しない。

【 0 0 6 7 】

第1の絶縁膜18は例えば半導体基板2を高温に晒すことで形成された酸化シリコン膜からなり、厚さは200nm程度である。第2の絶縁膜19は例えばCVD(Chemical Vapor Deposition)法により形成した窒化シリコン膜からなり、厚さは100~200nm程度である。第3の絶縁膜20はCVD法により形成した酸化シリコン膜からなり、膜厚は500nm程度である。第4の絶縁膜21は第2の絶縁膜19と同様にCVD法を用いて形成した窒化シリコン膜またはプラズマCVD法を用いて形成した窒化シリコン膜からなり、膜厚は20~200nmである。第5の絶縁膜22はプラズマCVD法を用いて形成した酸化シリコン膜からなり、膜厚は100nm~300nmである。なお、第1の絶縁膜18、第3の絶縁膜20および第5の絶縁膜22はそれぞれ残留応力が50MPa~250MPaの圧縮応力を有する膜であり、第2の絶縁膜19、第4の絶縁膜21はそれぞれ700MPa~1200MPaの引張り応力を有する膜である。なお、各工程後、特にCVD法を用いた酸化シリコン膜、プラズマCVD法を用いた窒化シリコン膜の形成後は膜の緻密化のため、炉体またはランプ加熱装置において窒素雰囲気中で1000の加熱処理を施すことが好ましい。

10

【0068】

次に、例えばスパッタリング法でMo(モリブデン)膜を150~250nmの厚さで形成することにより、前記Mo膜からなる第1の金属膜23を形成する。この際、接着性向上および結晶性向上のため、前記Mo膜の形成前にAr(アルゴン)ガスを用いたスパッタエッチングにより下地の第5の絶縁膜22の上面を約5~20nmエッチングし、さらに、前記Mo膜の成膜時の基板温度は200~500とする。また、前記Mo膜の結晶性をさらに高めるため、前記Mo膜の成膜後に炉体またはランプ加熱装置において窒素雰囲気中で1000の加熱処理を施す。

20

【0069】

次に、図9に示すように、フォトリソグラフィ法およびエッチング法を用いて第1の金属膜23のパターニングを行い、発熱抵抗体3、発熱抵抗体用測温抵抗体4、測温抵抗体5(上流側測温抵抗体5a、5bおよび下流側測温抵抗体5c、5d)、湿度検出用発熱抵抗体9および引き出し配線11f1、11g1を形成する。なお、図示はしないが、このとき空気温度測温抵抗体6、ヒータ温度制御用抵抗体7、8、引き出し配線11a、11b、11c、11d、11e、11f2、11g2、11g3、11g4、11h1、11h2、11i1、11i2、11jおよび11kも形成される。

30

【0070】

次に、図10に示すように、第5の絶縁膜22の全面上であって、発熱抵抗体3、発熱抵抗体用測温抵抗体4、測温抵抗体5、空気温度測温抵抗体6(図示しない)、ヒータ温度制御用抵抗体7(図示しない)、ヒータ温度制御用抵抗体8(図示しない)、湿度検出用発熱抵抗体9および引き出し配線11f1、11g1上に、第6の絶縁膜24、第7の絶縁膜25および第8の絶縁膜26を順次形成する。

【0071】

第6の絶縁膜24は例えばTEOS(tetraethoxysilane)を原料としてプラズマを用いた低温CVD法を用いて形成した酸化シリコン膜からなり、膜厚は300~500nm程度である。第7の絶縁膜25は例えばプラズマを用いた低温CVD法により形成した窒化シリコン膜からなり、膜厚は150~200nm程度である。第8の絶縁膜26は、例えばTEOSを原料としてプラズマを用いた低温CVD法により形成した酸化シリコン膜からなり、膜厚は100~500nm程度である。

40

【0072】

なお、第6の絶縁膜24、第8の絶縁膜26は残留応力が50MPa~250MPaの圧縮応力を有する膜であり、第7の絶縁膜25は700MPa~1400MPaの引張り応力を有する膜である。また、プラズマを用いた低温CVD法により形成した窒化シリコン膜からなる第7の絶縁膜25は800以上、好ましくは1000の加熱処理を施して所望の引張り応力となるように調整する。第6の絶縁膜24、第8の絶縁膜26を構成する酸化シリコン膜に関しても、1000の加熱処理を施すことにより耐湿性が向上す

50

ることから、成膜後に加熱処理を行なうことが望ましい。また、第2～第5、第7および第8の絶縁膜のそれぞれは、窒化シリコン膜の他に、窒化アルミニウム膜により形成してもよい。

【0073】

次に、図示していないが、フォトリソグラフィ法により引き出し配線11a、11b、11c、11d、11e、11f1、11f2、11g1、11g2、11g3、11g4、11h1、11h2、11i1、11i2、11jおよび11kの一部であって、後に形成する各端子電極と接続される箇所を露出させる接続孔12を、第8の絶縁膜26にドライエッチ法またはウエットエッチング等で形成する。その後、例えば厚さ1μm程度のAl合金膜の積層膜からなる第2の金属膜を、第8の絶縁膜26上に形成する。なお、各引き出し配線との接触を良好にするため、前記第2の金属膜の形成前にAr（アルゴン）ガスにより各引き出し配線の表面をスパッタエッチングしてもよい。さらに、その接触を確実なものとするため、TiN（窒化チタン）膜等のバリア金属膜からなる第3の金属膜を前記第2の金属膜の堆積前に形成して、バリア膜とAl合金膜の積層膜を形成してもよい。ここで、バリア金属膜を相対的に厚く形成するとコンタクト抵抗が増加するため、その厚さは20nm程度とすることが望ましい。しかし、十分接触面積がとれて抵抗増加の問題が回避できる場合は、バリア金属膜の厚さを200nm以下とすることができる。また、バリア金属膜としてTiN膜を挙げたが、TiW（チタタングステン）膜、Ti（チタン）膜またはこれらの積層膜を使用してもよい。

10

【0074】

次に、図示はしないが、フォトリソグラフィ法を用いて第2の金属膜をパターンニングし、ドライエッチ法またはウエットエッチングにより端子電極10a、10b、10c、10d、10e、10f、10g、10h、10i、10jおよび10kを形成する。

20

【0075】

次に、図11に示すように、第8の絶縁膜26上にポリイミド膜からなる保護膜27を堆積した後、フォトリソグラフィ法を用いたドライエッチングにより、第8の絶縁膜26に達する空気取り入れのための孔13を、湿度検出用発熱抵抗体9の上部近傍の保護膜27に開口する。その後、フッ化水素水と純水の混合液またはそれに類する液を用いて、湿度検出用発熱抵抗体9上の保護膜27をエッチングし、湿度検出用発熱抵抗体9上に空洞層14を形成する。

30

【0076】

このとき、孔13は湿度検出用発熱抵抗体9の直上には形成せず、湿度検出用発熱抵抗体9の直上より側方に離れた位置であって、延在する湿度検出用発熱抵抗体9に添って湿度検出用発熱抵抗体9の直上の両側に断続的に複数形成する。これにより、孔13から流れ込む空気が直接湿度検出用発熱抵抗体9の上部に当たることを防ぎつつ、外部からの空気を空洞層14内に取り入れることができる。また、孔13の孔径を2μm以下とすることで、外部からの流入する空気に含まれる大きな水滴の浸入を防ぐことができる。

【0077】

本実施の形態では、図1に示すように湿度検出用発熱抵抗体9を空気の流れ17の方向に配線を長く延在させることにより、孔13から流入する空気の流れ17によって湿度検出用発熱抵抗体9が過度に冷やされ、熱損失が変化してしまうことを防いでいる。すなわち、図2に示すように、空気の流れ17の方向は空気通路31および副通路32の延在方向と同じ方向であるため、湿度検出用発熱抵抗体9は、空気通路31および副通路32の延在方向と同方向に延在するように形成する。

40

【0078】

また、半導体の製造工程によって他の抵抗体と同層に湿度検出用発熱抵抗体9を形成することで、空気流量検出部を有する測定素子1と別に湿度検出部を形成する場合に比べ、少ない工程で熱式流体流量計を形成することができ、製造コストの低減を可能としている。

【0079】

50

次に、図 12 に示すように、フォトリソグラフィ法を用いたエッチングにより、保護膜 27 に少なくとも空気流量を検出する発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4 および測温抵抗体 5 上の第 8 の絶縁膜 26 の上面を露出させる開口部 15 および端子電極 10a、10b、10c、10d、10e、10f、10g、10h、10i、10j および 10k を外部回路と接続するための開口部（図示しない）を形成する。なお、保護膜 27 は空気流量検出部では外部から流れ込む空気に混ざったダストからダイヤフラム 16 を守る効果がある。

【0080】

次に、図 13 に示すように、半導体基板 2 の裏面の、開口部 15 および湿度検出用発熱抵抗体 9 が形成された領域の下部を除く領域に、フォトリソグラフィ法によりレジストパターンを形成し、半導体基板 2 の裏面に形成された第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 をドライエッチングまたはウエットエッチングにより除去した後、前記レジストパターンを除去する。その後、残された第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 をマスクとして、半導体基板 2 の裏面を KOH（水酸化カリウム）、TMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム）またはこれらを主成分とする水溶液を用いて半導体基板 2 の主面上に形成された第 1 の絶縁膜 18 の底面が露出するまでウエットエッチングし、ダイヤフラム 16 を形成することで、本実施の形態の熱式流体流量センサを完成する。

【0081】

ここで、ダイヤフラム 16 とは、主に絶縁膜で形成された薄膜領域であって、下層の半導体基板 2 が除去された領域をいう。本実施の形態では、ダイヤフラム 16 を構成する絶縁膜内に発熱抵抗体 3 などの金属膜が形成されており、その下部の半導体基板 2 が除去されていることで、前記金属膜から発生する熱が半導体基板 2 を伝わって散逸することを防いでいる。

【0082】

具体的には、ダイヤフラム 16 は半導体基板 2 が除去された領域上の、第 1 の絶縁膜 18、第 2 の絶縁膜 19、第 3 の絶縁膜 20、第 4 の絶縁膜 21、第 5 の絶縁膜 22、第 6 の絶縁膜 24、第 7 の絶縁膜 25、第 8 の絶縁膜 26、発熱抵抗体 3、発熱抵抗体用測温抵抗体 4、上流側測温抵抗体 5a、5b、下流側測温抵抗体 5c、5d および湿度検出用発熱抵抗体 9 を含む領域をいう。ダイヤフラム 16 は半導体基板 2 および半導体基板 2 の下部の第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 が無い分、測定素子 1 内において他の領域よりも上下の厚みが薄くなっている。なお、ダイヤフラム 16 は窒化シリコン膜や酸化シリコン膜を含む薄膜領域であって柔軟性の高い膜ではなく、ダイヤフラム 16 自体を撓ませる等して変形させて使用するものではない。

【0083】

開口部 15 は、測定素子 1 の測定部分の厚さを薄くすることで流れてくる空気の温度を良好に感知することを可能とし、また空気を加熱しやすくする役割をもつ。また、発熱抵抗体 3 の下部に半導体基板 2 がある場合、発熱抵抗体 3 から発生する熱が半導体基板 2 から散逸し、発熱抵抗体 3 がヒーターとしての役割を果たさなくなるため、発熱抵抗体 3 の下部の半導体基板 2 を除去してダイヤフラム 16 を形成することで、空気を加熱する効率を高めている。

【0084】

なお、ダイヤフラム 16 は平面形状において保護膜 27 の開口部 15 より大きく設計されており、開口部 15 の全ての辺より約 50 μm 以上大きく形成することが好ましい。このダイヤフラム 16 を構成する絶縁膜の総膜厚は 1.5 μm 以上が望ましく、これより薄い場合はダイヤフラム 16 の強度が低下し、自動車の吸気に含まれるダストの衝突等で破壊される確率が高くなる。ただし、第 1 の絶縁膜 18 は測定素子 1 の下面側からのダスト衝突時の緩衝膜の役割を果たしており、ダストが衝突しないような構成になっていれば第 1 の絶縁膜 18 は無くてもよい。

【0085】

本実施の形態では、発熱抵抗体 3 等となる第 1 の金属膜 23 を Mo により形成した熱式

10

20

30

40

50

流体流量センサに関して説明したが、発熱抵抗体 3 等の第 1 の金属膜 2 3 の材料としては、抵抗温度係数 (TCR) の大きい材質であれば Mo 以外の金属を使用してもよい。これは、抵抗温度係数が高い材質を使用した方が、温度測定 of 感度が高くなるためである。

【0086】

第 1 の金属膜 2 3 の材料として、例えば、金属窒化化合物、金属シリサイド化合物、多結晶シリコンあるいは不純物としてリンまたはホウ素がドーピングされた多結晶シリコンから形成してもよい。材料を金属とした場合には、 α -Ta (アルファタantal)、Ti (チタン)、W (タングステン)、Co (コバルト)、Ni (ニッケル)、Fe (鉄)、Nb (ニオブ)、Hf (ハフニウム)、Cr (クロム)、Pt (白金)、 β -Ta (ベータタantal) または Zr (ジルコニウム) 等を主成分とする金属を例示できる。材料を金属窒化化合物とした場合には、Ta₃N₅ (窒化タantal)、MoN (窒化モリブデン) または WN (窒化タングステン) 等を例示できる。材料を金属シリサイド化合物とした場合には、WSi (タングステンシリサイド)、MoSi (モリブデンシリサイド)、CoSi (コバルトシリサイド) または NiSi (ニッケルシリサイド) 等を例示できる。

【0087】

また、本実施の形態では、保護膜 27 の部材にポリイミド膜を用いた例について説明したが、湿度検出用発熱抵抗体 9 を構成するような金属よりも熱伝達の低い部材を用いてもよい。すなわち、保護膜 27 の部材は窒化シリコン膜やシリコンゲルマニウム等の絶縁膜でもよく、強度を持たせるために金属膜、たとえばアルミニウムまたはタングステン、またはバリア層の TiN や TiW を伴った金属積層膜を下層に設けた複合膜構造を用いてもよい。

【0088】

本実施の形態では、熱式流体流量センサの測定素子内に湿度検出用発熱抵抗体を形成することにより、空気流量の測定素子と湿度検出用発熱抵抗体を別々に形成する場合に比べ、製造コストを低減することを可能としている。その際、湿度検出用発熱抵抗体を空気の流れの方向に延在させ、微細な孔から空気を取り入れることにより、湿度検出用発熱抵抗体が冷却されることを防いでいる。また、湿度検出用発熱抵抗体を半導体の製造工程で形成し、空気流量検出部が形成されたダイヤフラム内に配置して測定素子の面積の増大を防ぎ、他の発熱抵抗体と同一金属膜により同層に形成することでも、製造コストの低減を可能としている。

【0089】

これにより本実施の形態では、低コストで、且つ吸入空気中の湿度を検出し、空気流量センサに影響を与えずに空気流量を補正することで検出精度を高めた熱式流体流量センサを実現することを可能としている。

【0090】

(実施の形態 2)

本実施の形態では、湿度検出部が空気流量検出部とは異なるダイヤフラムに形成されている点で前記実施の形態 1 と異なる熱式流体流量センサについて説明する。

【0091】

図 14 に、本実施の形態における熱式流体流量センサを示す。空気流量を検出する発熱抵抗体 3 および発熱抵抗体用測温抵抗体 4、空気流量を検知する測温抵抗体 5 と、空気の空気温度を測定するための空気温度測温抵抗体 6、ヒータ温度制御用抵抗体 7、8、測定素子 1 の信号を外部回路へ接続するための各端子電極と、各引き出し配線は本実施の形態 1 と同じ構造となっている。ただし、本実施の形態の熱式流体流量センサでは、湿度検出用発熱抵抗体 9 を、空気流量検出部の下層のダイヤフラム 16 上ではなく別の位置に形成している。これは、湿度検出用発熱抵抗体 9 と空気流量検出部とを離すことにより湿度検出用発熱抵抗体 9 が空気流量検出に対し影響を与えないようにし、また、湿度検出用発熱抵抗体 9 を空気の流れ 17 の主流から外れた位置に配置することで、湿度検出用発熱抵抗体 9 が過度に冷却されることを防ぐためである。

【0092】

ここで、前記実施の形態 1 におけるダイヤフラム 16 は、Si からなる半導体基板 2 を KOH 液等により裏面からエッチングして形成しているが、Si 結晶方位が $\langle 100 \rangle$ の場合、半導体基板 2 は垂直にはエッチングされず、裏面の開口部は所望のダイヤフラムの面積に比べてかなり大きな面積が必要となる。そのため、湿度検出部および空気流量検出部のそれぞれのダイヤフラムを半導体基板 2 の裏面を除去して別々に形成する場合、湿度検出部および空気流量検出部のそれぞれのダイヤフラム同士の開口部が重ならないようにする必要がある。その場合、湿度検出用発熱抵抗体 9 を空気流量検出部から大きく遠ざけて形成しなければならず、チップ面積が増大してしまう。そこで、本実施の形態では、湿度検出用発熱抵抗体 9 の直下の半導体基板 2 をエッチングすることにより空洞層 40 を形成し、湿度検出部の面積の増大を防いでいる。

10

【0093】

次に、本実施の形態における熱式流体流量センサの製造方法を、図 15 ~ 図 17 を用いて工程順に説明する。なお、途中までの製造方法は前記実施の形態 1 で示した図 8 ~ 図 12 までと同様であるため、図 12 の後の工程から説明する。図 15 ~ 図 17 は、図 14 C - C 線における要部断面図である。

【0094】

まず、前記実施の形態 1 の図 8 ~ 図 12 における工程と同様の工程を行った後、図 15 に示すように、開口部 15 を覆うように、フォトリソグラフィ法を用いてレジストパターン 42 を形成する。その後、レジストパターン 42 および保護膜 27 をマスクとしたドライエッチングにより、孔 13 の下の第 7 の絶縁膜 25、第 6 の絶縁膜 24、第 5 の絶縁膜 22、第 4 の絶縁膜 21、第 3 の絶縁膜 20、第 2 の絶縁膜 19 および第 1 の絶縁膜 18 を除去し、空洞層 14 から半導体基板 2 の上面に達する孔 41 を形成する。

20

【0095】

次に、図 16 に示すように、レジストパターン 42 を除去した後、KOH 等の溶液を用いたウェットエッチングにより、湿度検出用発熱抵抗体 9 および孔 41 の下の半導体基板 2 の上面を一部除去し、孔 41 と接続された空洞層 40 を形成する。なお、空洞層 40 の平面形状における大きさは湿度検出用発熱抵抗体 9 より大きく、湿度検出用発熱抵抗体 9 上の空洞層 14 と同等か、またはそれよりも広い領域であることが好ましい。また、空洞層 40 の深さは $0.2 \mu\text{m}$ より深い方がよい。ここでいう空洞層 40 の深さとは、半導体基板 2 の主面に対して垂直な方向の長さであって、空洞層 40 上の第 1 の絶縁膜 18 の底面から空洞層 40 の底部と半導体基板 2 との界面までの長さをいう。空洞層 40 を浅く形成した場合、湿度検出用発熱抵抗体 9 から半導体基板 2 への放熱が大きくなり、湿度検出用発熱抵抗体 9 の温度を高温にできず、絶対湿度の測定精度が損なわれる。

30

【0096】

次に、図 17 に示すように、半導体基板 2 の裏面の、開口部 15 の下部を除く領域に、フォトリソグラフィ法によりレジストパターンを形成し、半導体基板 2 の裏面に形成された第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 をドライエッチングまたはウェットエッチングにより除去した後、前記レジストパターンを除去する。その後、残された第 1 の絶縁膜 18 および第 2 の絶縁膜 19 をマスクとして発熱抵抗体 3 および測温抵抗体 5 の形成領域の下層の半導体基板 2 の裏面を KOH、TMAH またはこれらを主成分とする水溶液で半導体基板 2 の主面上の第 1 の絶縁膜 18 の底面が露出するまでウェットエッチングし、ダイヤフラム 16 を形成する。

40

【0097】

なお、ダイヤフラム 16 は平面形状において保護膜 27 の開口部 15 より大きく設計されており、開口部 15 の全ての辺より約 $50 \mu\text{m}$ 以上大きく形成することが好ましい。このダイヤフラム 16 で構成された絶縁膜の総膜厚は $1.5 \mu\text{m}$ 以上が望ましく、これより薄い場合はダイヤフラム 16 の強度が低下し、自動車の吸気に含まれるダスト衝突等で破壊する確率が高くなる。ただし、第 1 の絶縁膜 18 は下からのダスト衝突時の緩衝膜の役割を果たしており、ダストが衝突しないような構成になっていれば第 1 の絶縁膜 18 は無くてもよい。

50

【 0 0 9 8 】

また、ここでは空洞層 4 0 を形成することにより湿度検出用発熱抵抗体 9 の近傍をダイヤフラム構造としており、湿度検出用発熱抵抗体 9 のダイヤフラムは、平面形状においてダイヤフラム 1 6 より小さく形成されている。なお、ここでいう湿度検出用発熱抵抗体 9 のダイヤフラムとは、空洞層 4 0 と空洞層 1 4 との間の、第 1 の絶縁膜 1 8、第 2 の絶縁膜 1 9、第 3 の絶縁膜 2 0、第 4 の絶縁膜 2 1、第 5 の絶縁膜 2 2、第 6 の絶縁膜 2 4、第 7 の絶縁膜 2 5、第 8 の絶縁膜 2 6 および湿度検出用発熱抵抗体 9 を含む領域をいう。

【 0 0 9 9 】

また、湿度検出用発熱抵抗体 9 は前記実施の形態 1 と同様に空気の流れ方向に長く延在し、孔 1 3 は湿度検出用発熱抵抗体 9 の配線の直上には形成せず、湿度検出用発熱抵抗体 9 の直上より側方に離れた位置に、湿度検出用発熱抵抗体 9 に添って湿度検出用発熱抵抗体 9 の両側に断続的に複数配置する。これにより、空気の流れ 1 7 が直接湿度検出用発熱抵抗体 9 に当たることを防いでいる。

【 0 1 0 0 】

また、孔 4 1 は孔 1 3 の直下であって、延在する湿度検出用発熱抵抗体 9 の両側に形成されており、その孔径は孔 1 3 と同じでよい。孔 1 3 および孔 4 1 は、空洞層 1 4 および空洞層 4 0 に空気を取り入れ、また、空洞層 4 0 内または空洞層 1 4 内の温められた空気を空洞層 1 4 および孔 1 3 を介して外に排出する働きをする。

【 0 1 0 1 】

本実施の形態では、前記実施の形態 1 と同様に、熱式流体流量センサの測定素子内に湿度検出用発熱抵抗体を形成することにより、空気流量の測定素子と湿度検出用発熱抵抗体を別々に形成する場合に比べ、製造コストを低減することを可能としている。その際、湿度検出用発熱抵抗体を空気の流れの方向に延在させ、微細な孔から空気を取り入れることにより、湿度検出用発熱抵抗体が冷却されることを防いでいる。また、湿度検出用発熱抵抗体を半導体の製造工程で形成し、空気流量検出部が形成されたダイヤフラム内に配置して測定素子の面積の増大を防ぎ、他の発熱抵抗体と同一金属膜により同層に形成することでも、製造コストの低減を可能としている。

【 0 1 0 2 】

また、本実施の形態では前記実施の形態 1 と違い、湿度検出部と空気流量検出部を離して形成することにより、互いの発する熱により湿度検出部または空気流量検出部が影響を受けることを防いでいる。その際、湿度検出部の下部に空洞層を形成することにより、熱の放熱を防ぎ、裏面からのエッチングによりダイヤフラムを湿度検出部および空気流量検出部の下部に形成する場合に比べて、素子面積を小さくし、製造コストを低減することを可能としている。

【 0 1 0 3 】

これにより本実施の形態では、低コストで、且つ吸入空気中の湿度を検出し、空気流量センサに影響を与えずに空気流量を補正することで検出精度を高めた熱式流体流量センサを実現することができる。

【 0 1 0 4 】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 0 5 】

本発明は、熱式流体流量センサの他、加速度センサ、温度センサ、湿度センサ、ガスセンサ等の様々なセンサの製造に幅広く利用されるものである。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 6 】

- 1 測定素子
- 2 半導体基板

10

20

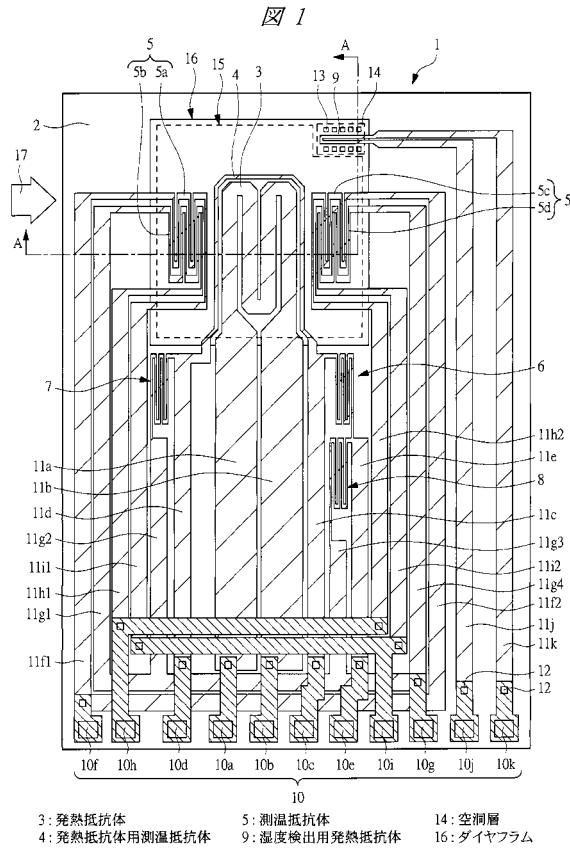
30

40

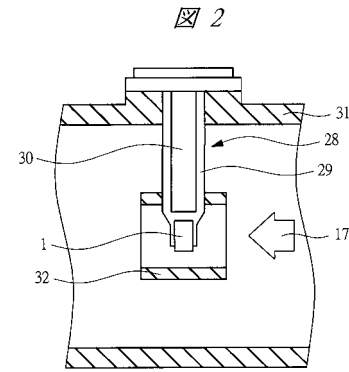
50

3	発熱抵抗体	
4	発熱抵抗体用測温抵抗体	
5	測温抵抗体	
5 a、5 b	上流側測温抵抗体	
5 c、5 d	下流側測温抵抗体	
6	空気温度測温抵抗体	
7、8	ヒータ温度制御用抵抗体	
9	湿度検出用発熱抵抗体	
10、10 a、10 b、10 c、10 d、10 e、10 f、10 g、10 h、10 i、 10 j、10 k	端子電極	10
11 a、11 b、11 c、11 d、11 e、11 f 1、11 f 2、11 g 1、11 g 2 、11 g 3、11 g 4、11 h 1、11 h 2、11 i 1、11 i 2、11 j、11 k	引き出し配線	
12	接続孔	
13、41	孔	
14、40	空洞層	
15	開口部	
16	ダイヤフラム	
17	空気の流れ	
18	第1の絶縁膜	20
19	第2の絶縁膜	
20	第3の絶縁膜	
21	第4の絶縁膜	
22	第5の絶縁膜	
23	第1の金属膜	
24	第6の絶縁膜	
25	第7の絶縁膜	
26	第8の絶縁膜	
27	保護膜	
28	熱式空気流量計	30
29	支持体	
29 a	下部の支持体	
29 b	上部の支持体	
30	外部回路	
31	空気通路	
32	副通路	
33	端子電極	
34	金線	
35	シリコン樹脂	
36	電源	40
37	トランジスタ	
38	制御回路	
39	メモリ	
42	レジストパターン	

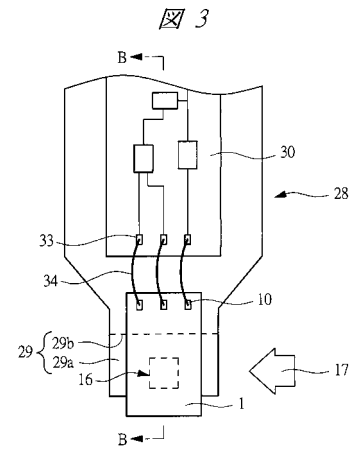
【図 1】



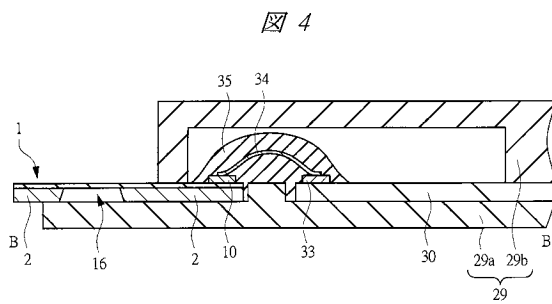
【図 2】



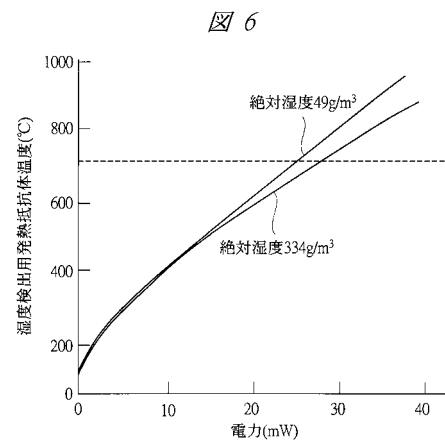
【図 3】



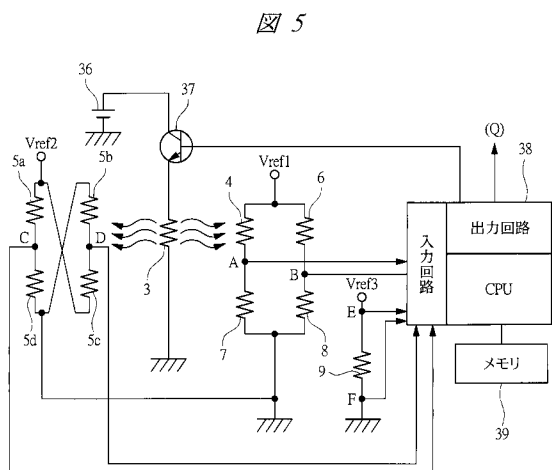
【図 4】



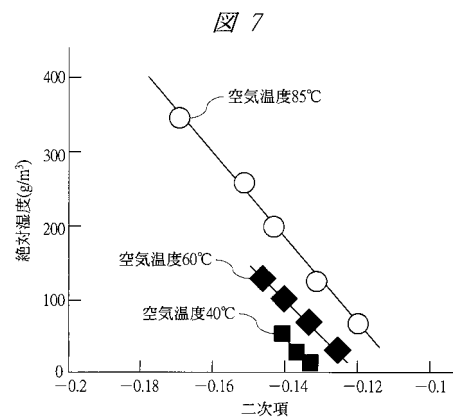
【図 6】



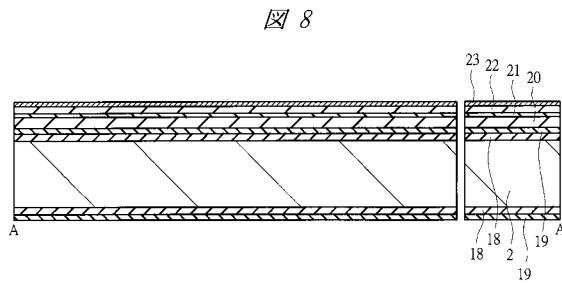
【図 5】



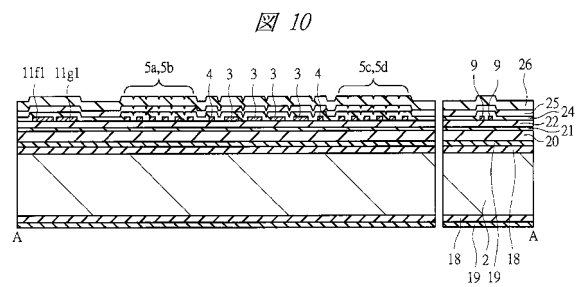
【図 7】



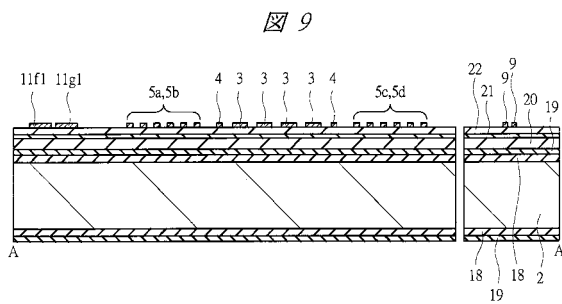
【圖 8】



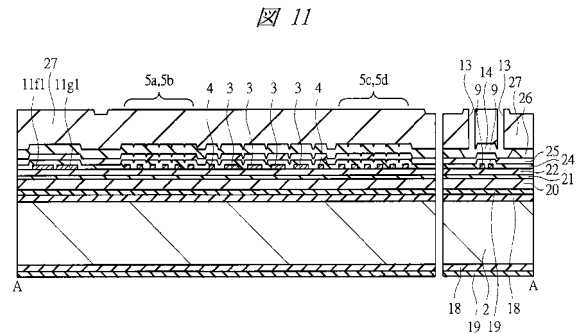
【 図 1 0 】



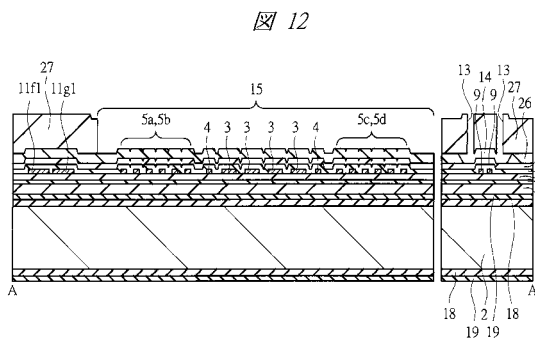
【圖 9】



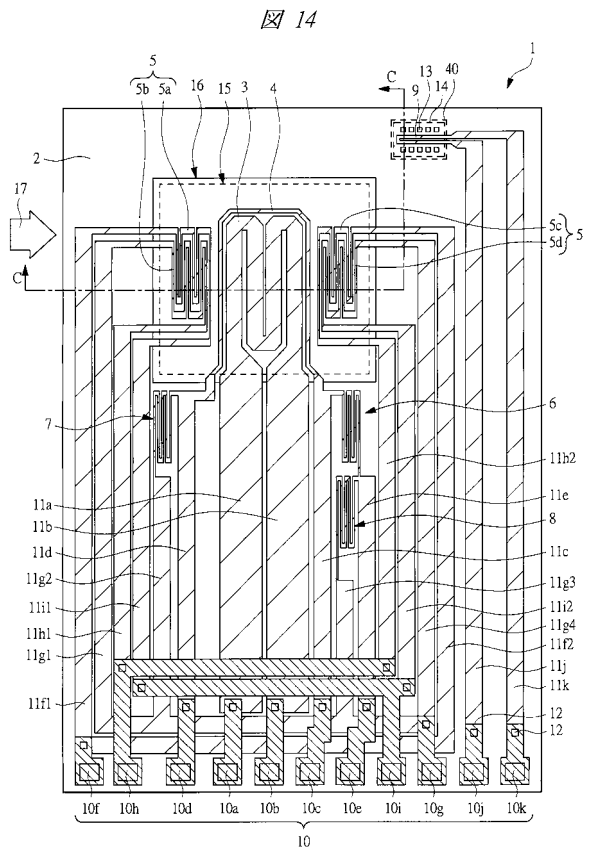
【 図 1 1 】



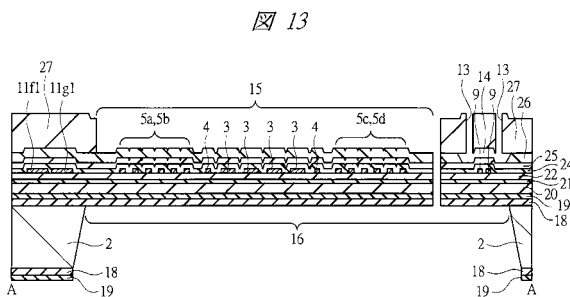
【 圖 1 2 】



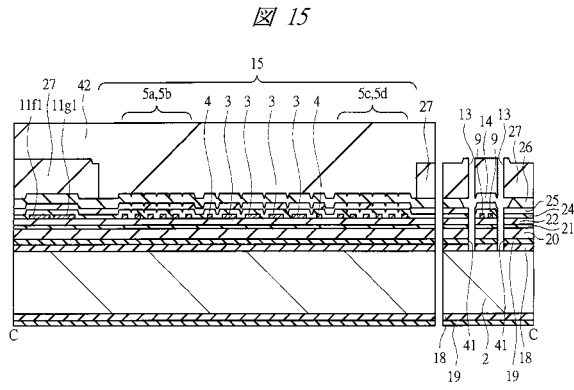
【 図 1 4 】



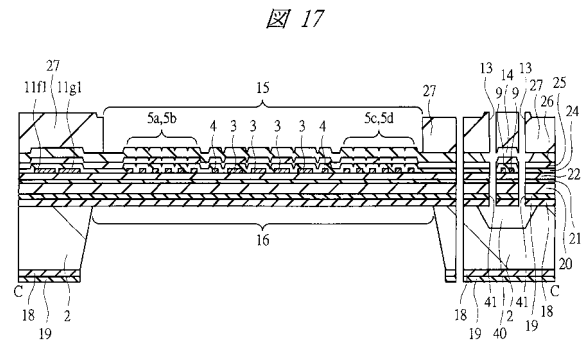
【 図 1 3 】



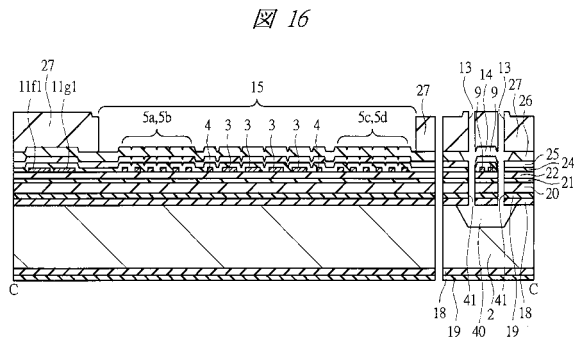
【図 15】



【図 17】



【図 16】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第4882732(JP, B2)
特許第3953156(JP, B2)
特表2001-509854(JP, A)
特公平5-7659(JP, B2)
特公平7-95076(JP, B2)
特開平7-229776(JP, A)
特許第3335860(JP, B2)
特許第2889909(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F 1/692
G01N 27/18