

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5178261号  
(P5178261)

(45) 発行日 平成25年4月10日(2013.4.10)

(24) 登録日 平成25年1月18日(2013.1.18)

(51) Int. Cl. F 1  
G O 1 F 1/68 (2006.01) G O 1 F 1/68 2 O 1 Z

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2008-71379 (P2008-71379)	(73) 特許権者	000006666
(22) 出願日	平成20年3月19日(2008.3.19)		アズビル株式会社
(65) 公開番号	特開2009-229093 (P2009-229093A)		東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(43) 公開日	平成21年10月8日(2009.10.8)	(74) 代理人	100090022
審査請求日	平成22年10月20日(2010.10.20)		弁理士 長門 侃二
		(74) 代理人	100116447
			弁理士 山中 純一
		(72) 発明者	大石 安治
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
			式会社山武内
		(72) 発明者	百瀬 修
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
			式会社山武内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱式流量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発熱素子、流体の通流方向に上記発熱素子を挟んで設けられた一对の感熱素子および周囲温度を検出する温度検出素子を同一チップ上に形成したセンサチップと、

前記発熱素子に第1の固定抵抗を直列接続すると共に前記温度検出素子に第2の固定抵抗を直列接続し、これらの直列回路を並列接続して形成されるヒータ用ブリッジ回路、およびこのヒータ用ブリッジ回路の駆動電圧を制御して該ヒータ用ブリッジ回路の出力を一定に保つ帰還回路を備えたヒータ回路と、

前記一对の感熱素子を直列接続すると共に第3および第4の固定抵抗を直列接続し、これらの直列回路を並列接続して形成され、一定電圧が印加されて駆動されるセンサ用ブリッジ回路、およびこのセンサ用ブリッジ回路の出力を増幅して出力する増幅器を備えたセンサ回路とを具備し、

周囲温度の変化に正比例する前記ヒータ回路の温度変化特性が周囲温度の変化に逆比例する前記センサ回路の温度変化特性にて相殺されて、周囲温度の変化に対する流量検出の温度変化特性がフラットになるように、前記第3および第4の固定抵抗、前記一对の感熱素子の抵抗値が設定されている、ことを特徴とする熱式流量計。

【請求項2】

前記発熱素子、前記一对の感熱素子および前記温度検出素子は、同一素材の抵抗体からなる請求項1に記載の熱式流量計。

【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、同一チップ上に、流体の通流方向に発熱素子を挟んで設けられた一对の感熱素子および周囲温度を検出する温度検出素子を形成したセンサチップを用いて構成され、前記各素子の温度特性のバラツキに起因する流量検出特性のバラツキを抑えた計測精度の高い熱式流量計に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

熱式流量センサは、例えば図3に示すようにシリコン基板（センサチップ）Bに形成した肉薄のダイヤフラムD上に、発熱素子R<sub>h</sub>を間にして流体（ガス）の通流方向Fに一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>を設けると共に、前記シリコン基板Bの周辺部に周囲温度を検出する為の温度検出素子R<sub>r</sub>を一体に設けた構造を有する。そしてこのような熱式流量センサを用いて構成される熱式流量計は、ダイヤフラムDがなすセンサ面に沿って通流する流体（ガス）による該センサ面近傍の温度分布の変化から前記流体（ガス）の流量（流速）を検出するように構成される〔例えば特許文献1を参照〕。

10

## 【0003】

しかしこれらの発熱素子R<sub>h</sub>、一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>、および温度検出素子R<sub>r</sub>は白金（Pt）等の抵抗体からなり、一般的には図4に示すように温度によってその抵抗値が変化する温度変化特性を有する。しかもその温度変化特性は、製造工程上の種々の要因が影響して製造ロット毎にばらつくことが否めない。これ故、上述した構成の熱式流量センサも、通常、温度によってそのセンサ出力が変化する或る温度特性を持つ。

20

## 【0004】

そこで従来では、例えば前述した特許文献1に開示されるように予め熱式流量センサの温度特性を計測し、流量計測時におけるセンサ出力を温度補正（ゼロ点補正）するようにしている。尚、前述した一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>の抵抗値変化から流量を計測するセンサ回路に温度補正用の抵抗を組み込み、基準温度時でのセンサ出力と温度が変化したときにおけるセンサ出力とが等しくなるように補正することも提唱されている〔例えば特許文献2を参照〕。

【特許文献1】特開2004-93174号公報

【特許文献2】特開2006-329638号公報

30

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら特許文献1に開示されるように流量計測時におけるセンサ出力を温度補正（ゼロ点補正）するには、予め熱式流量センサの温度変化特性を計測して温度補正テーブル等を準備しておくことが必要であり、非常に煩わしい。しかも熱式流量センサに温度補正機能を組み込む必要があるので高価格化することが否めない。また特許文献2に開示されるように、センサ回路に温度補正用の抵抗を組み込むには、例えば工場出荷前に個々に補正抵抗の調整を行うことが必要であり、調整コストが嵩むことが否めない。

40

## 【0006】

本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、その目的は、感熱素子等の温度特性のバラツキに起因する流量検出特性のバラツキを抑え、その流量検出特性を簡易に温度補正することのできる計測精度の高い熱式流量計を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上述した目的を達成するべく本発明に係る熱式流量計は、  
 <a> 発熱素子R<sub>h</sub>、流体の通流方向に上記発熱素子R<sub>h</sub>を挟んで設けられた一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および周囲温度を検出する温度検出素子R<sub>r</sub>を同一チップ上に形成したセンサチップと、  
 <b> 前記発熱素子R<sub>h</sub>に第1の固定抵抗R<sub>1</sub>を直列接続すると共に前記温度検出素子R

50

rに第2の固定抵抗R<sub>2</sub>を直列接続し、これらの直列回路を並列接続して形成されるヒータ用ブリッジ回路、およびこのヒータ用ブリッジ回路の駆動電圧を制御して該ヒータ用ブリッジ回路の出力を一定に保つ帰還回路を備えたヒータ回路と、

<c> 前記一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>を直列接続すると共に第3および第4の固定抵抗R<sub>x</sub>, R<sub>y</sub>を直列接続し、これらの直列回路を並列接続して形成され、一定電圧が印加されて駆動されるセンサ用ブリッジ回路、およびこのセンサ用ブリッジ回路の出力を増幅して出力する増幅器を備えたセンサ回路とを具備し、

<d> 周囲温度の変化に正比例する前記ヒータ回路の温度変化特性が周囲温度の変化に逆比例する前記センサ回路の温度変化特性にて相殺されて、周囲温度の変化に対する流量検出の温度変化特性がフラットになるように、前記第3および第4の固定抵抗、前記一对の感熱素子の抵抗値が設定されている、ことを特徴としている。

10

【0008】

ちなみに前記発熱素子R<sub>h</sub>、前記一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および前記温度検出素子R<sub>r</sub>は、同一素材の抵抗体、例えば白金(Pt)からなる。また好ましくは前記発熱素子R<sub>h</sub>の発熱温度T<sub>h</sub>を高く設定すると共に、前記センサ用ブリッジ回路の駆動電圧を低く設定し、これによって前記発熱素子R<sub>h</sub>、前記一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および前記温度検出素子R<sub>r</sub>における各温度特性自体のバラツキを抑えることが好ましい。

【発明の効果】

【0009】

上述した構成によればヒータ回路が有する正の温度変化特性を前記センサ回路が有する負の温度変化特性により相殺することで、総合的(全体的)には熱式流量計の温度検出特性を一定にすることができる。この結果、温度検出特性の温度補正の容易化を図って熱的に安定で高精度な流量検出特性を有する熱式流量計を実現することができる。特に前記発熱素子R<sub>h</sub>、一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および温度検出素子R<sub>r</sub>がそれぞれ有する温度変化特性を積極的に利用してセンサ回路の温度変化特性をヒータ回路の温度変化特性にて相殺し、これによって温度に依存するセンサ出力変化のバラツキを抑えるので、センサ出力に対する温度補正を簡易に行うことができ、温度補正自体も簡易に、且つ高精度に行うことができる。従って流量計測精度を十分に高く維持することができる等の実用上多大なる効果が奏せられる。

20

【0010】

尚、発熱素子R<sub>h</sub>、一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および温度検出素子R<sub>r</sub>を同一素材の抵抗体にて形成し、またヒータ回路における発熱素子R<sub>h</sub>の発熱温度T<sub>h</sub>を高く設定すると共に、センサ用ブリッジ回路の駆動電圧を低く設定すれば、これによって発熱素子R<sub>h</sub>、一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>および温度検出素子R<sub>r</sub>における各温度特性自体のバラツキを抑えることができるので、より一層、流量検出精度を高め、また流量検出特性の安定化を図り得る等の効果が奏せられる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、図面を参照して本発明の一実施形態に係る熱式流量計について説明する。

図1は本発明に係る熱式流量計の概略構成図であり、1はシリコン等の半導体基板(センサチップ)上に一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>と発熱素子(ヒータ素子)R<sub>h</sub>、および温度検出素子R<sub>r</sub>を形成した、例えば図3に示したような素子構造の熱式流量センサである。ちなみに前記一对の感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>、発熱素子(ヒータ素子)R<sub>h</sub>、および温度検出素子R<sub>r</sub>は、前記センサチップ1上に白金(Pt)を蒸着する等して形成した薄膜抵抗体からなる。特にこれらの感熱素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>、発熱素子(ヒータ素子)R<sub>h</sub>、および温度検出素子R<sub>r</sub>を同一素材の抵抗体を用いてセンサチップ1上に一括して形成することで、これらの素子R<sub>u</sub>, R<sub>d</sub>, R<sub>h</sub>, R<sub>r</sub>間における抵抗値の温度変化特性のバラツキが抑えられている。

40

【0012】

さて上記熱式流量センサ1の駆動回路は、基本的には上記温度検出素子R<sub>r</sub>によって検

50

出される雰囲気温度に応じて前記発熱素子  $R_h$  を発熱駆動して前記一对の感熱素子  $R_u$ ,  $R_d$  の近傍の温度を一定温度  $T$  だけ高くするヒータ回路 3 と、前記感熱素子  $R_u$ ,  $R_d$  によりその近傍の温度  $T_u$ ,  $T_d$  をそれぞれ検出し、これらの温度差  $T (= T_u - T_d)$  を前記熱式流量センサ 1 に沿って通流する流体の流量 (流速)  $Q$  として求めるセンサ回路 4 とを備える。

#### 【0013】

具体的には前記ヒータ回路 3 は、前記発熱素子  $R_h$  とこの発熱素子  $R_h$  に直列接続した第 1 の固定抵抗  $R_1$ 、および前記温度検出素子  $R_r$  とこの温度検出素子  $R_r$  に直列接続した第 2 の固定抵抗体  $R_2$  をそれぞれハーフブリッジ回路として、これらの 2 つのハーフブリッジ回路 (直列回路) を並列接続して構成した温度制御用の第 1 のブリッジ回路 3 a を主体として構成される。そして電源電圧  $V_{cc}$  を受けて動作するトランジスタ 3 b を介して上記ブリッジ回路 3 a の駆動電圧  $V_{driv}$  を生成すると共に、差動増幅器 3 c にて前記ブリッジ回路 3 a のブリッジ出力電圧 (ブリッジ間電位差;  $V_h - V_r$ ) を求め、このブリッジ出力電圧が零 (0) となるように前記トランジスタ 3 b の作動を帰還制御して前記ブリッジ回路 3 a の駆動電圧  $V_{driv}$  を可変するように構成される。この差動増幅器 3 c による前記トランジスタ 3 b の帰還制御により前記発熱素子  $R_h$  の発熱温度  $T_h$  が、前記温度検出素子  $R_r$  にて検出される周囲温度 (雰囲気温度) よりも常に一定温度  $T$  だけ高く設定される。

#### 【0014】

また前記センサ回路 4 は、前記発熱素子  $R_h$  を間にして流体の通流方向に設けられた一对の感熱素子  $R_u$ ,  $R_d$ 、および第 3 および第 4 の固定抵抗である一对の固定抵抗体  $R_x$ ,  $R_y$  を用いて構成された流量計測用の第 2 のブリッジ回路 4 a を主体として構成される。具体的にはこの第 2 のブリッジ回路 4 a は、前記一对の感熱素子  $R_u$ ,  $R_d$  を直列接続してハーフブリッジ回路を形成すると共に、前記固定抵抗  $R_x$ ,  $R_y$  を直列接続してハーフブリッジ回路を形成し、これらの 2 つのハーフブリッジ回路 (直列回路) を並列接続して構成される。

#### 【0015】

そしてこの第 2 のブリッジ回路 4 a は、定電圧源 5 から一定電圧  $V_R$  が印加されて駆動されるようになっており、具体的には前記発熱素子  $R_h$  の上流側の感熱抵抗  $R_u$  を配置したブリッジ上辺側に一定電圧  $V_R$  を印加し、前記発熱素子  $R_h$  の下流側の感熱抵抗  $R_d$  を配置したブリッジ下辺側を接地することで定電圧駆動されるものとなっている。この第 2 のブリッジ回路 4 a における上記感熱素子  $R_u$ ,  $R_d$  の抵抗値の変化に応じたブリッジ出力電圧 (ブリッジ間電位差;  $V_s - V_f$ ) は差動増幅器 4 b にて検出され、所定の増幅利得 (ゲイン)  $G$  にて増幅されて予め定められた電圧レベルのセンサ出力  $V_{out}$  として求められるようになっており、尚、上記増幅利得 (ゲイン)  $G$  は、差動増幅器 4 b の帰還抵抗  $R_f$  によって決定される。

#### 【0016】

このように構成された熱式流量計において、流量が零 [0] であるときの挙動について述べると、前述した如くヒータ回路 3 を構成する第 1 のブリッジ回路 3 a は、基本的には周囲温度に応じて抵抗値が変化する温度検出素子  $R_r$  と固定抵抗  $R_2$  とにより前記駆動電圧  $V_{driv}$  を分圧した電圧  $V_r$  と、前記発熱素子  $R_h$  と固定抵抗  $R_1$  とにより前記駆動電圧  $V_{driv}$  を分圧した電圧  $V_h$  とが等しくなるように前記駆動電圧  $V_{driv}$  が制御され、これによって前記発熱素子  $R_h$  の発熱温度が前記周囲温度よりも一定温度  $T$  だけ高くなるように制御される。

#### 【0017】

しかしながら発熱素子  $R_h$  の発熱温度を制御するべく前記駆動電圧  $V_{driv}$  を帰還制御した際、該駆動電圧  $V_{driv}$  の変化に伴って温度検出素子  $R_r$  に流れる電流が変化し、これに起因して前記温度検出素子  $R_r$  の抵抗値が若干変化するので、上述した構成のヒータ回路 3 は若干ではあるが周囲温度の変化に対して、例えば図 2 (a) に示すような正の温度変化特性を有する。

10

20

30

40

50

## 【0018】

即ち、例えば周囲温度の上昇に伴って前記温度検出素子 $R_r$ の抵抗値が大きくなり、固定抵抗 $R_2$ とによる前記駆動電圧 $V_{driv}$ の分圧電圧 $V_r$ が上昇した分、前記固定抵抗 $R_1$ と発熱素子 $R_h$ とによる前記駆動電圧 $V_{driv}$ の分圧電圧 $V_h$ を高くするべく前記駆動電圧 $V_{driv}$ が高められるので、これに伴って前記温度検出素子 $R_r$ に流れる電流が増大する。するとこの電流の増大に伴って前記温度検出素子 $R_r$ の抵抗値が若干ではあるが更なる大きくなるので、結局、前記発熱素子 $R_h$ の発熱温度 $T_h$ は、周囲温度よりも一定温度 $T$ に上記温度検出素子 $R_r$ の抵抗値変化に起因する微小温度 $t$ を加えた分だけ高くなる。このことは前述した如くブリッジ回路3aを形成して構成されるヒータ回路3は、温度変化に対して正の温度変化特性を有することになる。

10

## 【0019】

これに対してセンサ回路4を構成する前述したブリッジ回路4aは、一定の電圧 $V_R$ にて定電圧駆動されており、また一对の感熱素子 $R_u, R_d$ は前記ブリッジ回路4aにおけるブリッジ下辺側にそれぞれ組み込まれている。そして周囲温度の変化によって一对の感熱素子 $R_u, R_d$ の各抵抗値が変化したとき、これに伴って上記各感熱素子 $R_u, R_d$ にそれぞれ流れる電流が変化し、これに起因して前記感熱素子 $R_u, R_d$ の各抵抗値も変化するので、上述した構成のヒータ回路3は若干ではあるが周囲温度の変化に対して、例えば図2(b)に示すような負の温度変化特性を有する。

## 【0020】

即ち、例えば周囲温度の上昇に伴ってガス(流体)の温度が高められると、これに伴って前記一对の感熱素子 $R_u, R_d$ の各抵抗値もそれぞれ大きくなる。すると前述したようにブリッジ回路4aは一定電圧 $V_R$ により駆動されているので、上記感熱素子 $R_u, R_d$ の各抵抗値の増大に伴って該感熱素子 $R_u, R_d$ を流れる電流がそれぞれ減少し、これに起因して前記各感熱素子 $R_u, R_d$ の各抵抗値が若干低下する。すると周囲温度の上昇に伴う前記各感熱素子 $R_u, R_d$ の抵抗値が低下に伴って、ブリッジ回路4aのブリッジ出力が若干低下する。換言すれば前記ブリッジ回路4aのブリッジ出力は、前述したガス(流体)の温度に相当した電圧よりも若干低下した電圧となる。従って前述した如くブリッジ回路4aを形成して定電圧駆動されるセンサ回路4は、温度変化に対して負の温度変化特性を有することになる。

20

## 【0021】

このように前記ヒータ回路3は、発熱素子 $R_h$ および温度検出素子 $R_r$ がそれぞれ有する抵抗値の温度変化特性に起因して、温度変化に対して前記発熱素子 $R_h$ の発熱温度 $T_h$ が図2(a)に示すように変化する正の温度変化特性を有している。また前記センサ回路4は、感熱素子 $R_u, R_d$ がそれぞれ有する抵抗値の温度変化特性に起因して、温度変化に対してそのセンサ出力 $V_{out}$ が図2(b)に示すように変化する負の温度変化特性を有している。

30

## 【0022】

従って上述した各温度変化特性を有するヒータ回路3およびセンサ回路4を備えて構成される熱式流量計においては、総合的(全体的)には前記ヒータ回路3における温度変化分によって前記センサ回路4における温度変化分が打ち消されることになる。故にヒータ回路3が有する正の温度変化特性を、センサ回路4が有する負の温度変化特性にて相殺するように設定すれば、理想的には図2(c)に示すようにフラットな温度変化特性を持つ熱式流量計を実現することが可能となる。換言すれば上述した如く構成した熱式流量計によれば、発熱素子 $R_h$ 、感熱素子 $R_u, R_d$ 、および温度検出素子 $R_r$ の温度に対する抵抗値変化特性のバラツキの影響を受けることのない一定の流量検出特性を持たせることが可能となる。

40

## 【0023】

従って本発明に係る熱式流量計によれば、ヒータ回路3が持つ正の温度特性とセンサ回路4が持つ負の温度特性とが相補的な関係を持つように、予め固定抵抗 $R_x, R_y, R_u, R_d$ の各抵抗値によって規定される回路定数を設定しておくことにより、そのセンサ出

50

力  $V_{out}$  の温度変化特性を一定に揃えることが可能となるので、その温度補正を簡易に行うことが可能となる。しかも前記発熱素子  $R_h$ 、一対の感熱素子  $R_u, R_d$  および温度検出素子  $R_r$  がそれぞれ有する温度変化特性を積極的に利用して、前記ヒータ回路 3 とセンサ回路 4 との間でその温度変化特性のバラツキを相殺するのでその構成が簡単であり、更にはその温度変化特性を一定に揃えることが可能となるので、簡易な温度補正の下で流量計測精度を十分に高くすることができる等の実用上多大なる効果が奏せられる。

【0024】

特に発熱素子  $R_h$ 、一対の感熱素子  $R_u, R_d$  および温度検出素子  $R_r$  を同一素材の抵抗体にて形成し、またヒータ回路 3 における発熱素子  $R_h$  の発熱温度（ヒータ温度） $T_h$  を高く設定すると共に、センサ回路 4 におけるブリッジ回路 4 a の駆動電圧  $V_R$  を低く設定すれば、これによって発熱素子  $R_h$ 、一対の感熱素子  $R_u, R_d$  および温度検出素子  $R_r$  における各温度特性自体のバラツキを抑えることができる。従って前述した正の温度変化特性と負の温度変化特性との合わせ込みを容易に行うことが可能となるので、より一層、流量検出精度を高め、また流量検出特性の安定化を図り得る等の効果が奏せられる。

10

【0025】

更には前述した構成によれば、前述した感熱素子  $R_u, R_d$ 、発熱素子（ヒータ素子） $R_h$ 、および温度検出素子  $R_r$  における抵抗値の温度変化特性が製造ロットによって異なっているとしても、製造ロット毎の上記温度変化特性のバラツキを打ち消して、その温度特性を一定化することができる。従って製造ロットの違いに拘わりなく、特性の揃った熱式流量計を容易に実現することが可能となる。またこのようにして熱式流量計の温度特性を一定に揃えることができるので、予め個々のセンサ出力特性を調べなくても、温度に対するセンサ出力のゼロ点補正を簡易に実施することができる等の効果が奏せられる。

20

【0026】

尚、本発明は上述した実施形態に限定されるものではない。例えば発熱素子  $R_h$  の発熱温度（ヒータ温度） $T_h$  や、センサ回路 4 を構成するブリッジ回路 4 a の駆動電圧  $V_R$  等は、前述した感熱素子  $R_u, R_d$ 、発熱素子（ヒータ素子） $R_h$ 、および温度検出素子  $R_r$  の各抵抗値や、固定抵抗  $R_1, R_2, R_x, R_y$  の各抵抗値により定まる回路仕様に応じて、前述した正の温度変化特性および負の温度変化特性の条件を満たすように設定すれば良いものである。その他、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】本発明の一実施形態に係る熱式流量計の概略構成図。

【図 2】図 1 に示す熱式流量計の温度変化特性を示す図。

【図 3】熱式流量センサの概略的な素子構造を示す図。

【図 4】感熱素子  $R_u, R_d$ 、発熱素子  $R_h$ 、および温度検出素子  $R_r$  における抵抗値の温度変化特性を示す図。

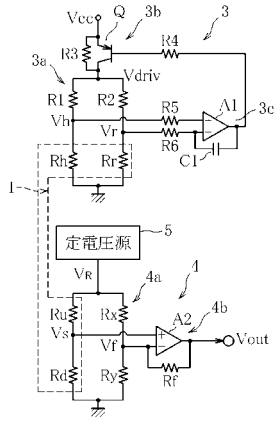
【符号の説明】

【0028】

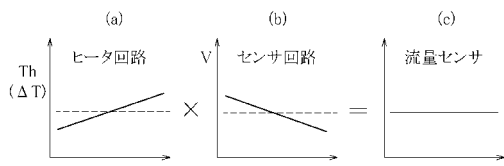
- 1 センサチップ
- 3 ヒータ回路
- 3 a ブリッジ回路
- 4 センサ回路
- 4 a ブリッジ回路
- 5 定電圧源
- $R_u, R_d$  感熱素子
- $R_h$  発熱素子
- $R_r$  温度検出素子
- $R_1, R_2, R_x, R_y$  固定抵抗

40

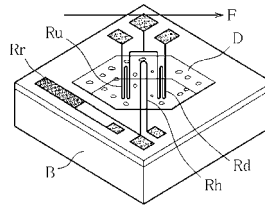
【図1】



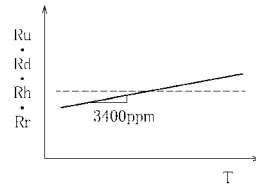
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 新川 宏一郎  
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株式会社山武内

審査官 藤原 伸二

(56)参考文献 特開平02-120621(JP,A)  
特開2004-117157(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01F 1/56-1/90