

3軸ピエゾ抵抗型加速度センサ

㈱ワコー 岡田 和廣*

3軸(X, Y, Z軸)方向の加速度成分(A_x , A_y , A_z)を検出できる3軸ピエゾ抵抗型加速度センサの開発に成功した。このセンサは、半導体技術とマイクロマシニング技術によって作られ、Si基板の表面に加速度の3軸成分を検出するためのゲージ抵抗が形成されている。裏面には、環状のダイヤフラムが形成され、さらに裏面の中心部と周辺部に重錘体と台座が接合されている。

重錘体と台座は、もともと1枚のガラス基板でできており、Siウエハとガラス基板を接合後、ガラス基板を切断することによって重錘体と台座が分離される。重錘体に加速度が作用するとダイヤフラムは変位する。この変位に合わせ3組のゲージ抵抗が配置され、各軸の加速度成分を独立して検出できるよう各組のゲージ抵抗はブリッジ回路に構成されている。

本稿では、3軸ピエゾ抵抗型加速度センサの検出原理、出力特性、干渉(他軸感度)除去方法及び用途について述べる。

1. 開発の経緯

最近、産業界では特に自動車業界を中心にAir bag system, A. B. S及びChassis controlなどに代表されるように、車の安全性や快適性の制御のために高性能な加速度センサの要望が高

まっている。

これに応じ、ピエゾ抵抗効果や静電容量の変化を利用した種々の加速度センサ^{1)~3)}が提案されている。

加速度は、力と同様に方向と大きさをもつベクトル量であるが、現在開発されている加速度センサのほとんどが1軸方向の加速度を検出する、いわゆる1軸加速度センサである。

当社では、半導体技術とマイクロマシニング技術を利用して、図1に示すセンシング素子で3軸(X, Y, Z軸)方向の加速度成分(A_x , A_y , A_z)を検出できる3軸ピエゾ抵抗型加速度センサ⁴⁾を開発した。

この3軸加速度センサは、ほとんどの製造工程でバッチ処理できることから、生産性にも優れている。

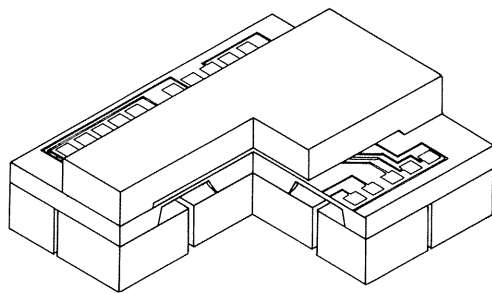


図1 3軸加速度センサ断面

*㈱ワコー 〒338 埼玉県与野市上落合2-2-11 アルサ北与野ポルテ29-2004号/(048)857-7027

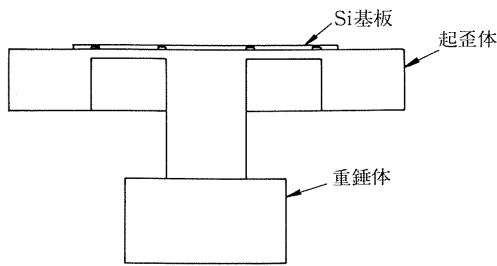


図2 3軸力センサ

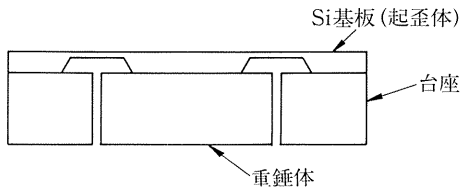


図3 3軸加速センサの基本構成

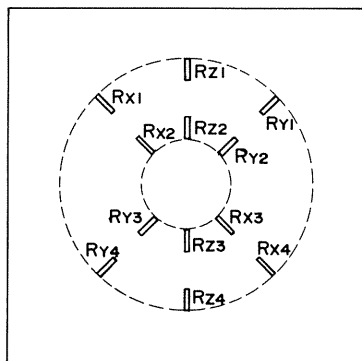


図4 ゲージ抵抗配置

2. 構造と原理

3軸及び6軸の力（またはモーメント）を検出する力・モーメントセンサ⁵⁾については既に発表されている。その3軸力センサの構造を図2に示す（ただし、図2は起歪体に重錘体が接合された状態である）。

起歪体上にSi基板が接合され、起歪体に加わる力によってSi基板上に形成されたピエゾ抵抗体に歪みが生じる。ピエゾ抵抗体の電気抵抗は、ピエゾ抵抗効果に基づき歪みに比例して変化する。この抵抗変化を利用して力を検出する。

図2の力センサは、ニュートンの法則 ($F =$

$m \cdot a$) から3軸加速度センサとして機能する。

しかし、図2に示す構造の加速度センサでは、生産性、価格、性能、大きさの点で現実的ではない。この問題は、図3に示す如くSi基板にダイヤモンドを形成し、Si基板を起歪体とすることで解決される。

Si基板表面には、図4に示す如く3軸の加速度成分を検出するための3組のゲージ抵抗が形成されている。裏面には、環状のダイヤモンドが形成され、さらに中央部と周辺部には重錘体と台座が接合されている。

重錘体と台座は、もともと1枚のガラス基板でできており、ガラス基板をSiウエハのダイヤモンド面に接合後、ガラス基板を切断することにより重錘体と台座が分離される。この組立て方法によりバッチ処理が可能となり、製造工程を自動化することができる。実際の加速度センサの場合は、図1に示すようにSi表面にストッ

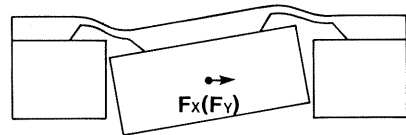


図5 X(Y)軸加速度でのダイヤモンドの変位

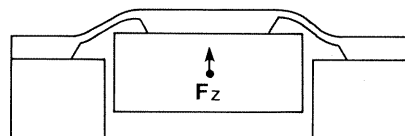


図6 Z軸加速度でのダイヤモンドの変位

	A_x	A_y	A_z
R_{x1}	+	0	-
R_{x2}	-	0	+
R_{x3}	+	0	+
R_{x4}	-	0	-
R_{y1}	0	+	-
R_{y2}	0	-	+
R_{y3}	0	+	+
R_{y4}	0	-	-
R_{z1}	+	+	-
R_{z2}	-	-	+
R_{z3}	+	+	+
R_{z4}	-	-	-

表1
ピエゾ抵抗の各加速度による変化

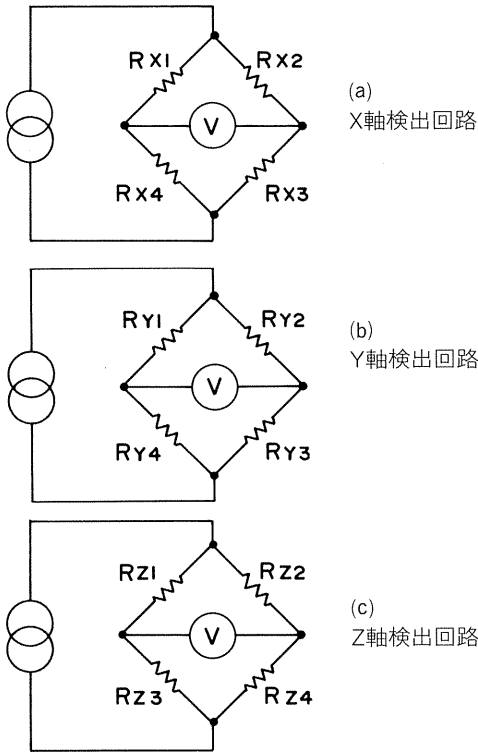


図7 各軸検出回路

パ基板が接合、重錘体の上方の変位が制限され、下方はパッケージの表面で制限される。また、重錘体の前後左右の変位はガラス基板のダイシング面、上部ストップ基板及びパッケージの上面で制限される。

重錘体にX（またはY）軸方向の加速度が作用すると、ダイヤフラムは図5の如く、Z軸方向の場合は図6の如く変位する。この時、Si基板上に形成されたゲージ抵抗は、表1の如く変化する。“+”はゲージ抵抗の増加を、“-”はゲージ抵抗の減少を、“0”はゲージ抵抗が変化しないことを示す。これらゲージ抵抗を図7の如くブリッジ回路を構成することにより、干渉出力のない各軸加速度が独立して検出できる。

3. 干渉除去

今回開発した3軸ピエゾ抵抗型加速度センサを写真1に、その出力特性をそれぞれ図8、図

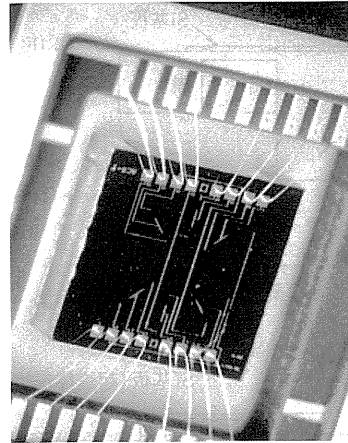


写真1
3軸加速度
センサの表面

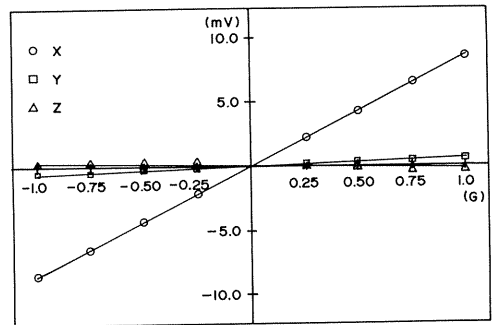


図8 X軸方向加速度での各軸出力

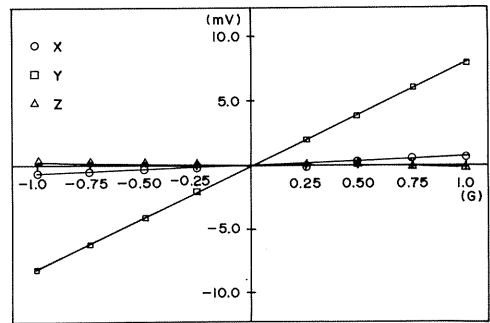


図9 Y軸方向加速度での各軸出力

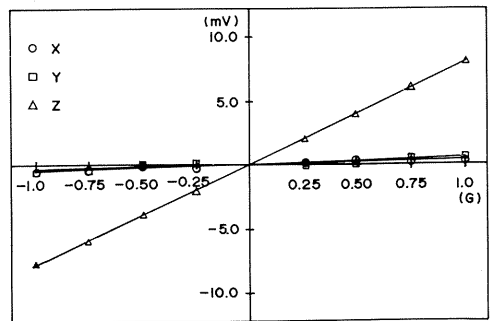


図10 Z軸方向加速度での各軸出力

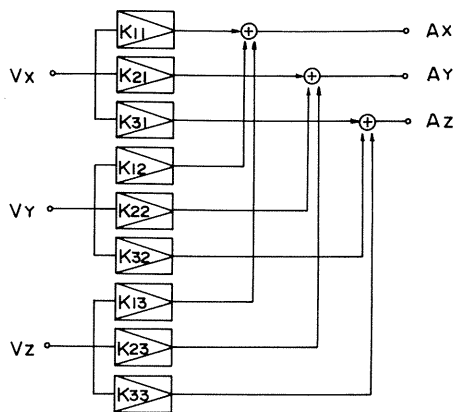


図11 干渉除去回路

9, 図10に示す. 図8は, X軸方向加速度に対する各軸の出力特性であり, 同様, 図9及び図10もY軸, Z軸方向加速度に対する各軸の出力特性である.

3軸加速度センサの出力は, (1)式に示されるように, 特性行列 [C] によって各軸の加速度 (A_x, A_y, A_z) と各出力電圧 (V_x, V_y, V_z) の関係が表される.

特性行列の対角成分以外が干渉出力を表す. (1)式より, (2)式の如く各軸の加速度は特性行列の逆行列 [K] から計算され, 各軸の干渉出力が除去される.

この演算は, 図11の演算回路を用いることで

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} \dots\dots(1)式$$

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \dots\dots(2)式$$

実現される. 図8, 図9, 図10に示したセンサの特性行列を表2に示す, これは, 図11の演算回路によって表3の如くなり, 干渉出力は1/10

表2 特性行列

	A_x	A_y	A_z	
V_x	8.52	0.42	0.11	
V_y	0.31	8.07	0.17	
V_z	-0.14	-0.19	8.15	(mV)

表3 干渉除去後の出力特性

	A_x	A_y	A_z	
V_x	100.0	0.5	0.1	
V_y	-0.5	100.0	0.4	
V_z	0.3	-0.6	100.0	(%FS)

表4 仕様

項目	用途			単位
	高感度用	低感度用		
検出感度	10	1		mV/G
応答周波数	0.2	1.5		KHz
ゲージ抵抗	4			K Ω
直線性	1.0			%FS
ゼロ点出力	± 25			mV
干渉出力 (他軸感度)	± 5			%FS
駆動電流	2			mA
ゼロ点温度特性	X, Y軸 : ± 0.1 Z軸 : ± 0.2			%FS/ $^{\circ}C$
感度温度特性	± 0.03			%FS/ $^{\circ}C$
温度範囲	-30 ~ +80			$^{\circ}C$

程度に低減されることが分かる. 今回開発されたセンサは, 1個のSi基板で3軸の加速度を検出でき, 電子回路によって干渉出力をほぼ完全に除去することができる.

これに対し, 従来の1軸センサの場合, 単独では電氣的に干渉出力を除去することは原理的に不可能である.

4. 性能

今回開発した3軸ピエゾ抵抗型加速度センサ

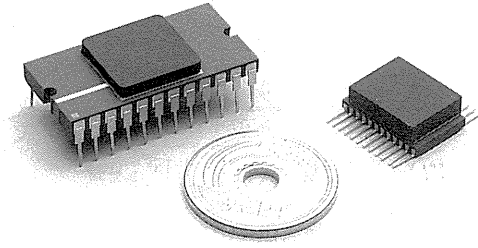


写真2 3軸ピエゾ抵抗型加速センサ

の主な性能を表4に示す。検出感度及び応答周波数は、主にダイヤフラムの厚さと重錘体の質量に依存する。

Z軸のゼロ点温度特性は、X、Y軸より劣る。これは、線膨張係数の違いにより温度変化によってZ軸方向に歪むためと思われる。それに対し、X、Y軸の検出回路はZ軸方向の歪みに対し感度がないように構成されているためと思われる。

5. 用途

以上述べてきたように、当社の開発した3軸ピエゾ抵抗型加速度センサ(写真2参照)は、小型軽量、さらに高感度という特徴から加速度検出器として幅広い産業分野で利用できるものと思われる。その一例を表5に示す。

*

半導体技術とマイクロマシニング技術を利用して、三次元の加速度を検出できる3軸ピエゾ抵抗型加速度センサを開発し、その性能が十分であることを確認した。

表5 用途

	用途
車 両	air bag system A. B. S chassis control メータ補正 RV用傾斜表示 ナビゲーション
計 測 器	振動試験器 傾斜計 感震器
民 生	ハードディスク カメラの手ぶれ ゲーム機器 万歩計
工作機械/ロボット	異常振動検出 アーム制御 姿勢制御
航空/宇宙	慣性飛行装置 フライトコントロール

小型、高性能、低価格という優れた特徴を活かし、車両、計測器、民生用、工作機械/ロボット、そして航空宇宙用として幅広い分野に適用できることが期待される。

参 考 文 献

- (1) L. M. Roylance et al, IEEE Trans. on Electron Device, ED-26 (1979) 1911-1917.
- (2) B. Puers et al, IEEE Trans. on Electron Device, ED-35 (1988) 764-769.
- (3) H. V. Allen et al, Sensor and Actuators 20, (1989), pp. 153-161.
- (4) K. Okada, Technical Digest of THE 11th SENSOR SYMPOSIUM, (1992) pp. 245-248.
- (5) K. Okada, Technical Digest of THE 9th SENSOR SYMPOSIUM, (1990) pp. 245-248.