

〔 解 説 〕

3軸加速度センサ

＝ピエゾ抵抗効果、静電容量、電圧効果を利用した3軸加速度センサ＝

(株)ワコー 岡田 和廣
Kazuhiro Okada

1. はしがき

最近、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。また、阪神大震災以降、地震検出を目的とした高感度な加速度センサの開発が期待されている。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が既に開発されているが、これらセンサのほとんどは1軸方向の加速度を検出する、所謂、1軸加速度センサである。加速度とは元々ベクトル量であり、これまでは加速度をベクトル的に検出するためには1軸加速度センサを3個必要としていた。

車の衝突検出の場合、正面衝突のみならず側面衝突を検出するためには、少なくとも2軸の加速度を検出するセンサが必要である。横転時の衝突なら3軸のセンサが必要である。また、地震検出の場合、あらゆる地震を検出するためには水平方向の揺れと垂直方向の揺れを検出できる3軸加速度センサが必要である。弊社は、既にピエゾ抵抗型3軸加速度センサを開発し、販売している。さらに、最近になり、生産性に優れた圧電型3軸加速度センサと高精度な静電容量型3軸加速度センサも開発した。

本稿では、ピエゾ抵抗型、静電容量型そして電圧型3軸加速度センサの構造と検出原理、そして、それらセンサの性能について述べる。

2. 3軸加速度センサの構造と検出原理

ここで述べるピエゾ抵抗型、静電容量型そして電圧

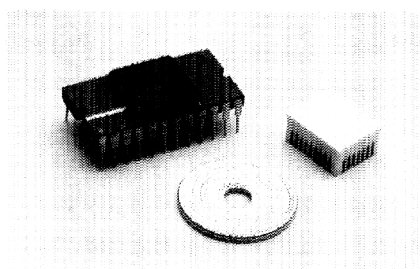
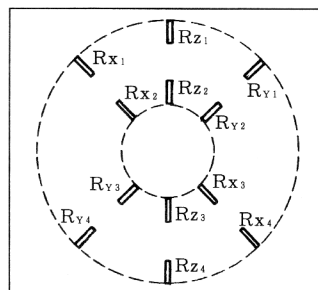


写真1 ピエゾ抵抗型3軸加速度センサ



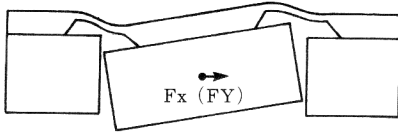
第1図 ゲージ抵抗配置図

型3軸加速度センサは1個の検出素子で3次元空間の加速度AをX、Y、Z軸方向の加速度成分(Ax、Ay、Az)に分離して検出することができる。それらセンサの検出原理は異なっており、それぞれに特徴がある。

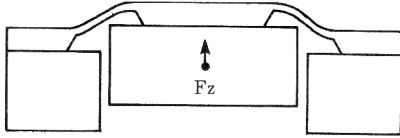
次に、これらセンサの構造と検出原理について述べる。

(1) ピエゾ抵抗型3軸加速度センサ⁽¹⁾

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサ(写真1)は半導体技術とマイクロマシニング技術を利用して作られる。Si基板表面には第1図に示すように、3軸の加速度成分を検出するための3組のピエゾ抵抗素子が形成され



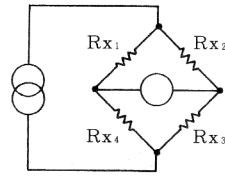
第2図 X (Y) 軸加速度でのダイヤフラムの変位



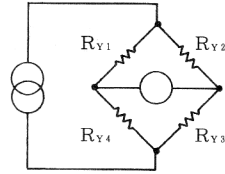
第3図 Z軸加速度でのダイヤフラムの変位

第1表 ピエゾ抵抗素子の各加速度による変化

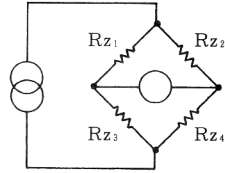
	X軸検出				Y軸検出				Z軸検出			
	R _{X1}	R _{X2}	R _{X3}	R _{X4}	R _{Y1}	R _{Y2}	R _{Y3}	R _{Y4}	R _{Z1}	R _{Z2}	R _{Z3}	R _{Z4}
A _x	+	-	+	-	0	0	0	0	+	-	+	-
A _y	0	0	0	0	+	-	+	-	+	-	+	-
A _z	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-



(a) X軸検出回路



(b) Y軸検出回路



(c) Z軸検出回路

第4図 各軸検出回路

ている。裏面には環状のダイヤフラムが形成され、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ウエハのダイヤフラム面に接合後、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。以下に動作原理について説明する。

重錘体にX (またはY) 軸方向の加速度が作用すると、ダイヤフラムは第2図のように、Z軸方向の場合は第3図のように変位する。このとき、Si基板上に形成されたピエゾ抵抗素子は第1表に示したように変化する。表中“+”は抵抗値の増加を、“-”は減少を、“0”は変化しないことを示す。これらピエゾ抵抗素子を第4図のようにブリッジ回路に構成することで、他軸感度のない各軸加速度が検出される。

(2) 静電容量型3軸加速度センサ^{(2),(3)}

静電容量型3軸加速度センサはピエゾ抵抗型加速度センサと同様、半導体技術とマイクロマシニング技術を利用して作られる。この断面を写真2に示す。構造的にも、ピエゾ抵抗型加速度センサと似ており、製造方法はピエゾ抵抗型加速度センサとほとんど同一である。異なる点は、Si基板と対向する様に、固定基板(ガラス基板)がSi基板に接合されている点がある。

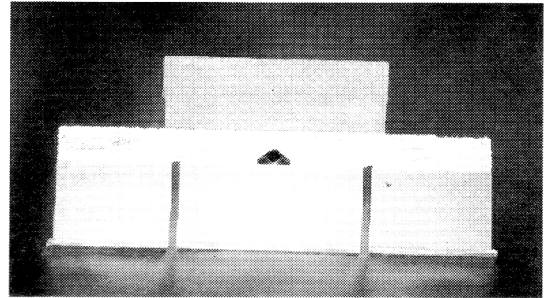
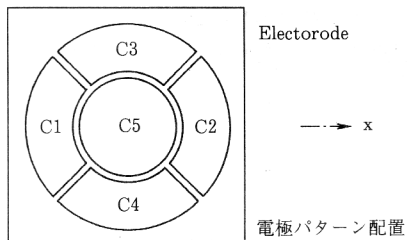


写真2 静電容量型3軸加速度センサ

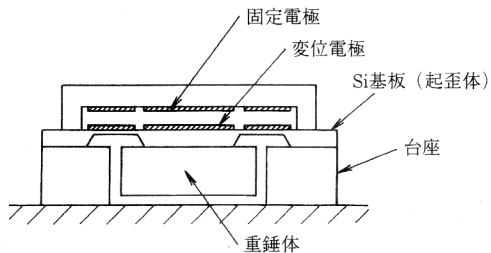
固定基板の下面には、第5図に示す5個の分割電極が形成され、Si基板上面には単一電極が形成される。そして、Si基板と固定基板との間には、5個の静電容量が形成される。重錘体に加速度が作用すると、重錘体は加速度の方向に変位する。それに伴い、ダイヤフラムは変位し各静電容量は変化する。第2表の如くX、Y、Z軸方向の加速度によって静電容量C1～C5は変化する。X軸方向の加速度を検出するためには、静電容量C1と静電容量C2の差を求め、Y軸方向の加速度を検出するためには、静電容量C3と静電容量C4の差を求めればよく、Z軸方向の加速度を検出するためには、静電容量C5の値を検出すればよい。この方法によって、他軸感度のない加速度を検出することができる。



Electrode

→ x

電極パターン配置



第5図 静電容量型センサの断面図

第2表 静電容量の変化

	X-axis detec.		Y-axis detec.		Z-axis
	C1	C2	C3	C4	C5
Ax	+	-	0	0	0
Ay	0	0	+	-	0
Az	+	+	+	+	+

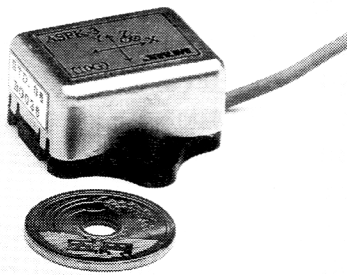


写真3 圧電型3軸加速度センサ

(3) 圧電型3軸加速度センサ⁽⁴⁾

圧電型3軸加速度センサ(写真3)は写真4に示されるような1枚の圧電セラミックを使い加速度の3軸成分(Ax、Ay、Az)を検出することができる。基本的構造は、ピエゾ抵抗型加速度センサと同一である。異なる点は、ダイアフラムの歪みをピエゾ抵抗効果ではなく、圧電素子上に発生する電荷で検出する点である。圧電型3軸加速度センサの構造を第6図に示す。

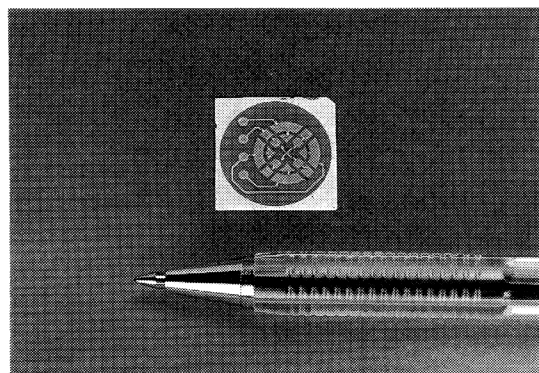
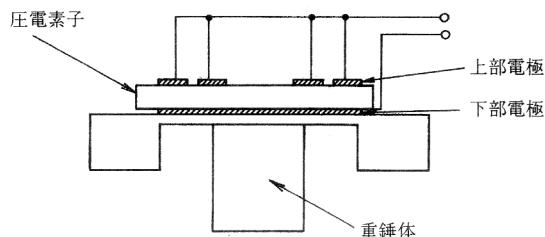


写真4 圧電セラミック上の電極



第6図 圧電型センサの断面図

ダイアフラムの上面には圧電セラミックが接合され、そして下面には重錘体が接合されている。圧電セラミックの表面には第7図(a)に示される電極パターンが形成されている。重錘体に加速度が作用した時、重錘体は加速度の方向に変位する。それに伴い、ダイアフラムと圧電セラミックは変位する。X軸方向の加速度の場合、第8図(a)の如く、Z軸方向の場合、第8図(b)の如く変形する。この変形に基づき、X、Y、Z軸方向の加速度に対し、各電極には第3表に示した電荷が発生する。但し、第3表に示した電荷を得るためには2回分極処理する必要がある。第7図(b)に示す通り、X軸方向の加速度を検出するために、L1～L4の電極同士を結線し、Y軸方向の加速度を検出するために、L5～L8の電極同士を結線する。また、Z軸方向の加速度を検出するためには、L9～L16の電極同士を結線する。これによって、他軸感度のない3軸加速度成分(Ax、Ay、Az)を検出することができる。

上述の如く、分極処理を2回行い、第7図(b)の如く結線することから、各軸の加速度は差動で検出されることとなり、パイロ効果の影響は受けにくく、温度変化も安定している。

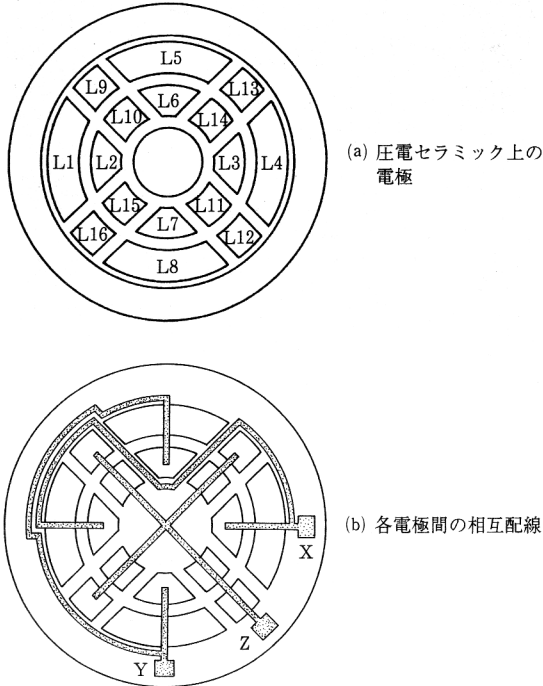
第3表 電極L1-L16上の発生電荷

	X軸検出				Y軸検出				Z軸検出							
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16
Ax	+	+	+	+	0	0	0	0	-	-	+	+	+	+	-	-
Ay	0	0	0	0	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
Az	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

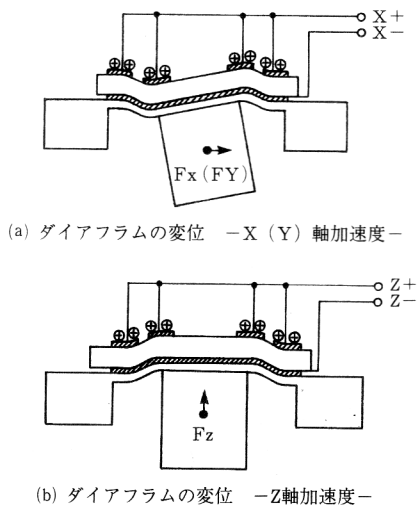
+ : + charge - : - charge 0 : no charge

第4表 3軸加速度センサの性能

	Piezoresis.	Capacitance	Piezoelectric
Sensitivity	1mV/VDD/G	0.05pF/G	20mV/G
Linearity	1%FS	1%FS	2%FS
Response fre.	0-200Hz	0-200Hz (Vac)	0.5-1200Hz
Cross-axis sen.	5%	5%	5%



第7図 圧電セラミック上面



第8図 ダイアフラムの変位

3. 軸加速度センサの性能と特徴

今回開発した3軸加速度センサの主な性能を第4表に示す。これら性能は形状を少し変えるだけで変わる。例えば、ピエゾ抵抗型加速度センサの場合、ダイアフラムの厚さを15μmから30μmにすると、感度は

0.25mV/G/Vとなり、応答周波数は1.0KHzとなる。静電容量型加速度センサはピエゾ抵抗型加速度センサと同じような性能である。しかし、圧電型加速度センサは前記2つのセンサと異なる性質を有している。圧電型の場合、原理的に静的な加速度を検出することはできない。加速度によって直接電荷が発生するので、信号処理回路が簡単でチャージアンプのみでよい。低周波数側の応答周波数は接続されたチャージアンプの入力インピーダンスでほぼ決まる。

4. あとがき

圧電型、静電容量型、ピエゾ抵抗型加速度センサが広く一般に使われている。これらはほとんどが1軸方向の加速度を検出する1軸加速度センサである。加速度は元々ベクトル量である。加速度をベクトル的に検出するためには1軸加速度センサを3個必要としていた。弊社では、この問題を解決するために、ピエゾ抵抗、静電容量及び圧電型3軸加速度センサを開発した。これら3軸センサは検出原理が異なるために、それぞれに特徴があり、これら特徴を生かした使用方法が望まれる。

<参考文献>

- (1) K. Okada, "Tri-axial piezoresistive accelerometers", Technical Digest of The 11th Sensor Symposium, 245-248. Japan (1992)
- (2) K. Yamada, T. Kuriyama, "A new model controlling method for a surface format surrounding mass accelerometer", Technical Digest of Transducers '91. 655-658. (1991)
- (3) T. Mineta, et al, "Capacitive tri-axial accelerometers", Technical Digest of The 12th Sensor Symposium, Late News pp71. Japan (1994)
- (4) K. Okada, "Development of tri-axial accelerometers using piezoresistance, electrostatic capacitance and piezoelectric element." Technical Digest of The 13th Sensor Symposium, Japan (1995)