

ベンチャービジネスとマイクロマシーニング (3軸センサの開発)

岡田和廣、 谷口伸光、 板野弘道 (株式会社ワコー)

Venture Business and Micro-machining (Development of Tri-axial Sensors)

K.Okada, N.Taniguchi, H.Itano (Wacoh Corporation <http://www.wacoh.co.jp>)

1. まえがき

わが国を取巻く経済環境は、国際的な転換期、競争時代の中で、数多くの課題を抱え、産業構造の変革が求められている。経済の活性化や雇用機会の拡大を担うものとしての新しい企業が期待されている。ベンチャー支援はいまや社会的課題の1つになっている。それに応じ、行政・地方自治体で全国的にベンチャー支援財団が作られ、また、中小企業創造活動促進法や新規事業法、マザース、日本版NASDAQの創設、ストックオプションの解禁等のベンチャー・中小企業の支援体制が本格化しつつある。(1)

これらの支援体制を背景に、数多くのベンチャー企業が創設されている。そこでベンチャー企業に求められるものは、商品の新規性、市場性と経営者の資質の3点である。これらの点についてはベンチャー企業であっても厳しく市場から審判が下される。以下に当社で研究開発してきた製品とその性能について紹介する。

2. 開発品及び開発方法

当社は1988年に会社を設立し、以来センサの開発に特化してきた。既に開発したセンサは3軸加速度センサ、3軸力センサ、2軸角速度センサ及び5軸モーションセンサである。これらの検出原理は静電容量、ピエゾ抵抗効果そして圧電効果を利用し、マイクロマシーニング技術と圧電セラミック技術が要素技術となっている。

マイクロマシーニング技術はマイコンやメモリーに代表されるような半導体技術と技術的に似ている点が多いが、その設備や研究に要する費用は比較的安価である。そのため、マイクロマシーニング技術研究の初期のころ米国で多くのベンチャー企業が設立された。

当社でのマイクロマシーニングの研究は、大学や地方自治体の研究所との共同研究が中心であったが、最近になり、富山県の支援を頂き、富山県立工業技術センター内に研究

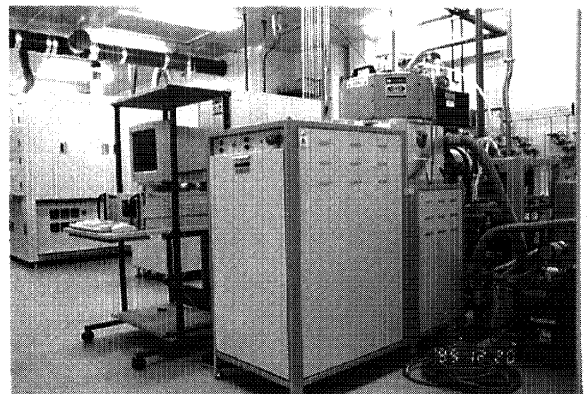


図1 マイクロマシーニング研究用設備

設備一式(図1)が導入され、マイクロマシーニングの研究が可能となった。

3. 1軸センサと3軸センサ

当社のセンサの特徴は多軸型のセンサである。最近になり、多軸型の加速度センサも多く発表されるようになったが、依然、多くは1軸型である。1軸と3軸の大きな違いは図2、図3に示される通り、1軸センサの重錘体の自由度は上下方向(Z軸方向)のみであるのに対し、3軸センサの重錘体の自由度は、上下方向(Z軸方向)と前後左右(X、Y



図2 1軸センサ

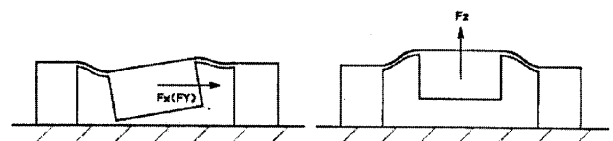


図3 3軸センサ

軸方向)の 3 自由度である。

この 3 自由度構造にすることによって 3 軸加速度センサ、3 軸力センサ、3 軸角速度センサそして 6 軸モーションセンサの開発が可能となった。

3-1. 3 軸加速度センサ

1 軸加速度センサの検出原理にピエゾ抵抗型、静電容量型、圧電型があるように、3 軸加速度センサもピエゾ抵抗型、静電容量型、圧電型がある。以下に、ピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサ、静電容量型 3 軸加速度センサそして圧電型 3 軸加速度センサについて述べる。

(1)ピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサ

ピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサ (2) は、加速度が重錘体に作用した時に発生するダイアフラム上の歪をピエゾ抵抗効果を利用して検出するものである。Si 基板表面に 3 組のピエゾ抵抗素子(12 本)が形成されている。裏面には、環状のダイアフラムが形成され、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。(図 4 参照)

重錘体と台座は元々 1 枚のガラス基板で出来ており、ガラス基板を Si ウェハのダイアフラム面に接合後、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。この方法によりバッチ処理が可能になり、製造工程を自動化することができる。

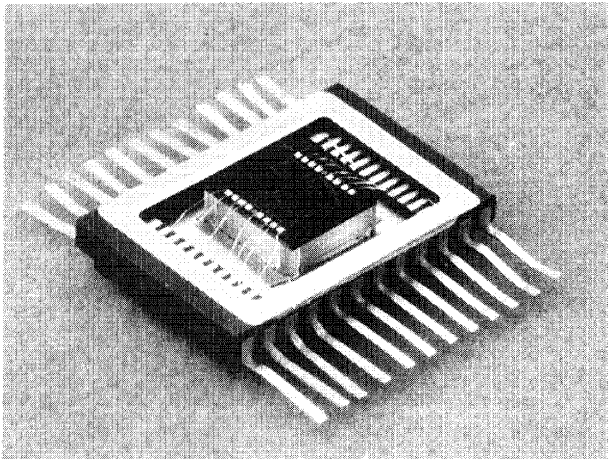


図 4 ピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサ

(2)静電容量型 3 軸加速度センサ

静電容量型 3 軸加速度センサ (3) は、加速度が重錘体に作用するとダイアフラムが変位し、その変位を静電容量の変化で検出するものである。構造的にもピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサとほとんど同一である。異なる点は、静電容量を形成するためにダイアフラムと対向する位置に固定

電極を有する固定基板が接合されている点である。(図 5 参照)

図 4 及び図 5 に示されたピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサ及び静電容量型 3 軸加速度センサの重錘体は、別部材でダイアフラムの中央部に接合されていたが、最近になり Si 基板の 1 部を重錘体とする技術 (4) が開発された。この技術によって、図 6 に示される通りチップサイズの小型化 ($2.5 \times 2.5 \times 0.6 \text{mm}$) と製造工程の簡素化が可能となった。

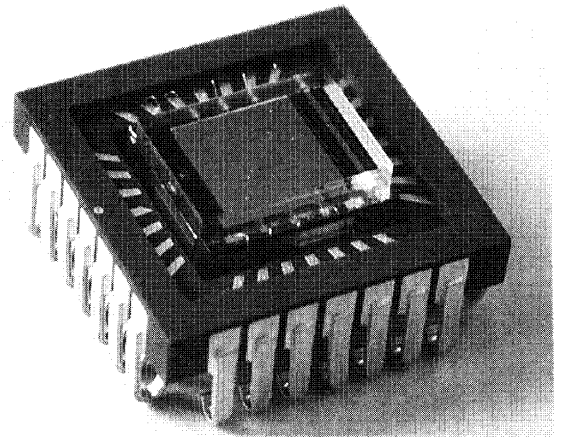


図 5 静電容量型 3 軸加速度センサ

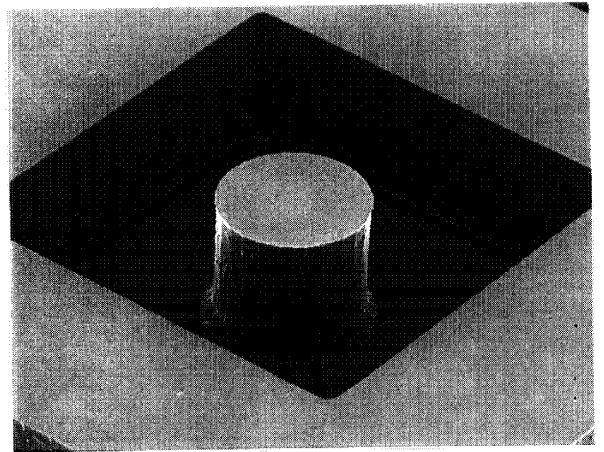


図 6 小型 3 軸加速度センサ

(3)圧電型 3 軸加速度センサ

圧電型 3 軸加速度センサ (5) は前述のピエゾ抵抗型 3 軸加速度センサとほぼ同一な構造である。異なる点は、ピエゾ抵抗型の場合はダイアフラムの歪をピエゾ抵抗効果(抵抗変化)を利用して検出するのに対し、圧電型の場合はダイアフラム上の歪を圧電効果(圧電素子の表面に発生する電荷量)を利用して検出する点である。そのため、圧電素子の表面に形成される電極の位置はピエゾ抵抗素子と

同一な配置となる。各電極同士の相互配線を簡略化するために、分極処理は 2 回行われる。これによって各軸の加速度は差動で検出されることになり、パイロ効果の影響を受けにくく、温度変化にも安定する。(図 7 参照)

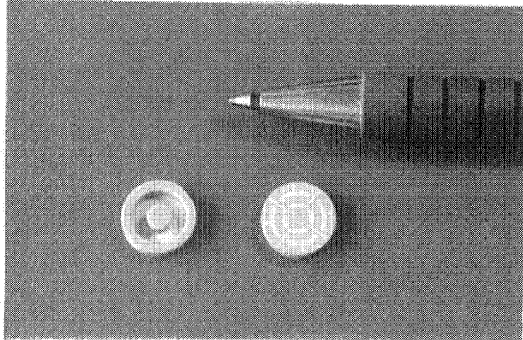


図 7 圧電型 3 軸加速度センサ

3-2. 3 軸力センサ

3 軸力センサは 3 軸加速度センサと基本的な構造は同一であり、力の検出原理も同一である。違いは、図 8 参照に示される如く構成材料がガラス・エポキシ基板や金属材料となることである。

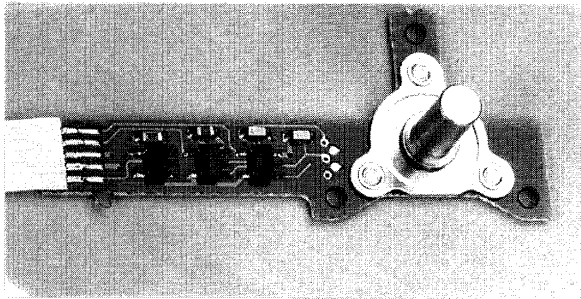


図 8 3 軸力センサ

3-3. 多軸角速度センサ

3 軸センサの構造は図 3 に示した通りである。この構造を応用し、多軸の角速度センサを構成することができる。重錘体に上下方向(Z 軸方向)の速度成分を与え、それに直行する 2 軸方向のコリオリ力を検出すれば、2 軸周りの角速度を検出することができる。さらに、1 軸方向の速度成分を与え、重錘体を円運動させ、2 軸方向のコリオリ力を検出することにより、3 軸周りの角速度を検出することができる。

(1) 2 軸角速度センサ

重錘体を Z 軸方向に振動させることにより、重錘体は Z 軸方向の速度成分 V_z を有する。この時、X 軸周りの角速度 ω_x が作用すると Y 軸方向のコリオリ力 F_y が発生する。この力 F_y を検出することにより X 軸周りの角速度 ω_x を

検出することができる。次に、Y 軸周りの角速度 ω_y が作用すると X 軸方向のコリオリ力 F_x が発生する。この力 F_x を検出することにより Y 軸周りの角速度 ω_y を検出することができる。

図 7 で示した圧電型 3 軸加速度センサの原理を使い、Z 軸方向の加速度を検出するための電極に正弦波を加え重錘体を Z 軸方向に振動させ、X 軸周りの角速度 ω_x を Y 軸方向に配置された圧電素子で検出することが出来、さらに Y 軸周りの角速度 ω_y を X 軸方向に配置された圧電素子で検出することができる。この性能を表 1 に示す。

項目	性能
感度	1mV/deg/sec
他軸感度	5%FS
応答周波数	50Hz

表 1 2 軸角速度センサの性能

(2) 3 軸角速度センサ

重錘体を X-Y 平面で歳差運動させることにより、重錘体は X 軸方向の速度成分 V_x と Y 軸方向の速度成分 V_y の 2 つの速度成分 (V_x, V_y) を持つ。重錘体が X 軸方向の速度成分 V_x を持つとき、Y 軸周りの角速度 ω_y が作用すると Z 軸方向のコリオリ力 F_z が作用し、Z 軸周りの角速度 ω_z が作用すると Y 軸方向のコリオリ力 F_y が作用する。これら力 (F_z, F_y) を検出することにより、Y 軸周りの角速度 ω_y と Z 軸周りの角速度 ω_z を検出することができる。

次に、重錘体が Y 軸方向の速度成分 V_y を持つとき、X 軸周りの角速度 ω_x が作用すると Z 軸方向のコリオリ力 F_z が作用する。この力 F_z を検出することにより X 軸周りの角速度 ω_x を検出することができる。これらの検出を連続的に行うことによって、3 軸周りの角速度を検出することができる。

3-4. 多軸モーショセンサ

力の大きさが 3 軸の力と 3 軸のモーメントで表されるように、物体の動きも、3 軸の加速度を 3 軸の角速度で表される。当社では加速度と角速度を検出するセンサをモーショセンサと呼んでいる。モーショセンサは角速度センサをと同一構造となる。検出原理は駆動する周波数と加速度の周波数の違いを利用して、角速度と加速度を検出するのである。コリオリ力は駆動する周波数に同期して現れるため、高い周波数になる。それに対し、加速度の周波数成

分は十分低い。例えば、車で使われるような場合、駆動周波数 10KHz に対し、加速度の周波数成分は 10Hz 程度となる。モーションセンサはこの周波数の違いを利用して、角速度と加速度を弁別して検出するものである。

(1) 5 軸モーションセンサ

2 軸角速度センサを用いることによって、5 軸モーションセンサ(角速度：2 軸、加速度：3 軸)を構成することができる(6)。表 2 の性能は、駆動として、電磁駆動、検出として、静電容量を用いた場合である。

項 目	性 能
角 速 度 感 度	10mV/deg/sec
角速度他軸感度	8%FS
加 速 度 感 度	1V/G
加速度他軸感度	5%FS

表 2 5 軸モーションセンサの性能

(2) 6 軸モーションセンサ

3 軸角速度センサを用いることによって、6 軸モーションセンサ(角速度：3 軸、加速度：3 軸)を構成することができる。

4. 市場

3 軸センサの市場はまだ十分でなく、現状の市場は 1 軸センサが圧倒的に優位であり、次に 2 軸センサ、最後に 3 軸センサの順となっている。

最近になり、アミューズメントの分野を中心に、3 軸センサが多く使われつつある。今後はさらにその用途は広まるものと思われる。3 軸センサの普及を図る上で最も重要な点は価格と性能である。その 1 つの解が図 6 に示したチップサイズ 2.5mm² の 3 軸加速度センサであると考えている。

5. 謝辞

資料を提供していただきました関係各位ならびに東北大学研究員水島昌徳氏に深く感謝します。

まとめ

3 軸加速度センサ、3 軸力センサ、3 軸角速度センサそして多軸モーションセンサについて述べた。それらの構造は基本的には共通であり、重錘体が固定部から接続された可

撓部によって支持され、あらゆる方向に自由に変位することができる。重錘体の動きを静電容量、ピエゾ抵抗効果、圧電効果で捉えることで、3 軸センサの原理は成り立っている。

3 軸センサが今後発展するためには市場の拡大にかかっている。そのためには市場で受け入れられる商品(低価格、高性能、高信頼性)の開発が急務である。当社としては、この点を重視し、3 軸センサの普及を図りたいと考える。

参考文献

- (1) 青木幸男 “日本型ベンチャー成功の秘訣” 東洋経済新報社
- (2) K.Okada “Tri-axial piezoresistive accelerometer” Tech.Dig.of the 11th Sensor Symposium,1992, pp245-248
- (3) O.Torayashiki et.al. “Capacitive type 3-axis accelerometer” Tech.Deg.of the 14th Sensor symposium,1996 Pp19-22
- (4) K.Yoshida et.al. “High-sensitive Three Axis SOI Capacitive Accelerometer Using Dicing Method” Tech.Dig.of the 16th Sensor Symposium,1998, pp25-28
- (5) K.Okada “Tri-axial piezoelectric accelerometer” Transducers'95,Stockholm,Sweden,June 566-569,1995
- (6) N.Taniguchi.et.al “The 5-axis Motion Sensor” Tech.Dig.of the 16th Sensor Symposium,1998, pp41-44