



第3章

標高 8,000m における誤差が 20m の高度計を設計する

— MEMS 圧力センサの民生機器への応用

Heikki Timonen

フィンランドの VTI Technologies 社は、広範囲の温度状況下で精度の高い測定を行える MEMS 圧力センサを開発した。分解能が 0.2℃ で精度が約 ± 1℃ の温度センサを組み込むことで、これを実現した。ここでは、本圧力センサの基本原則をまとめ、その応用事例として高度計を取り上げる。(編集部)

MEMS(micro electro mechanical systems)加速度/圧力センサの検出原理としては、大きくピエゾ(圧電素子)抵抗式と静電容量式の二つが挙げられます。ピエゾ抵抗式センサでは、通常、四つの抵抗がブリッジ接続されています。抵抗値の変動を測定することで、圧力を検出します。ピエゾ抵抗式センサは、温度や機械的応力、ノイズ、時間によるドリフトなどに対して非常に敏感です。加えて、オーバーレンジ能力が極めて限られている、電流消費が大きいなどの欠点があります。

1 MEMS センサの基本原則

上記のような理由から、筆者ら(フィンランド VTI Technologies 社)は MEMS 加速度センサおよび圧力センサを開発するにあたって、静電容量式を採用しました。この方式のセンサは、圧力が加わることによって2枚の平板(電極)の間の距離が変化することを利用して測定を行います。

筆者らが開発した加速度/圧力センサは、Si(シリコン)基板そのものを微細加工して3次元構造を形成する、いわゆるバルク・マイクロマシーニングを採用しています。微細な3次元構造を作るために、ウェット・エッチングやドライ・エッチングという技術を用います。加工後、組み立て工程ではSi ウェハとガラス基板の接合、電極接続用構造、ワイヤ・ボンディングやはんだ付けによる接続などを施さ

れ、パッケージングされます。

● 静電容量がある程度大きければ精度の高い測定が可能

静電容量式センサの場合、測定範囲に対する相対的な容量変化は、通常 30 ~ 50% です。このため、ピエゾ抵抗式センサとは異なり、電流レベルが低い状態でも高い SN 比と精度を保つことができます。使用されているガラス絶縁基板は比較的厚く、高い絶縁抵抗(低リーク電流)と低浮遊容量を実現しています。ガラス絶縁基板と Si ウェハは陽極接合されているので密閉構造となっており、キャパシタンスの電極間に化学薬品やちりなどが侵入する恐れもありません。

機械的構造を持つ箇所には単結晶 Si が使用されており、ヒステリシスのない動作(塑性変形がない)、優れたオーバーレンジ特性、耐衝撃性が実現されています。これらは重要な特徴であり、表面マイクロマシニング加工(Si 基板などの最上層に薄膜を形成する方法)によるセンサと比較したときの利点でもあります。例えば、筆者らが開発した MEMS 加速度センサは 20,000g の耐衝撃性を備えています。また、MEMS 圧力センサも測定範囲の 10 倍以上の大きな圧力(オーバレンジ)に耐えることができます。

静電容量式の加速度検知は、慣性質量の移動を直接測定することによって行われます(図 1)。これは、二つの平板間のギャップが大きく変位することを前提としています。一对の平板(プレート)による静電容量(C)は、ギャップ幅(d)と平板面積(A)によって、次式で決まります。

$$C = A \cdot \epsilon_0 / d \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ϵ_0 は比誘電率

図 1 の構造の場合、ギャップの幅は μm 単位であり、静電容量が比較的大きいため、高い精度で加速度を測定する

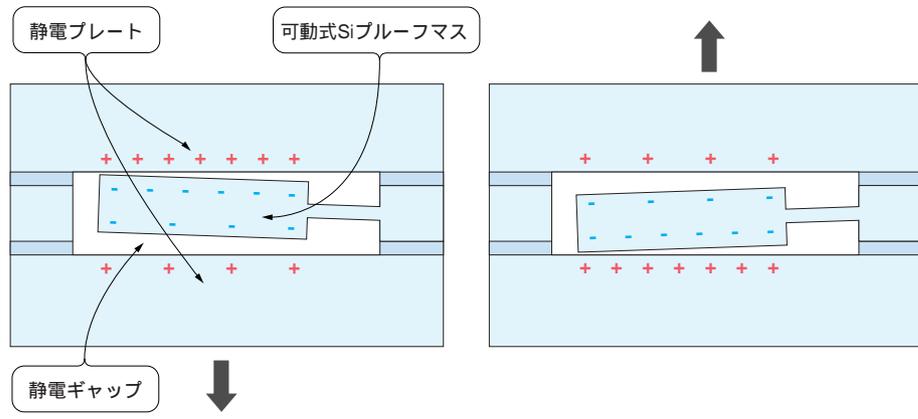


図1
1軸加速度センサの基本原理

下方向に加速度がかかると、中央の慣性質量（可動式のSi製ブーフマス）が上に動く。逆に、上方向に加速度がかかると慣性質量は下に動く。このときの静電容量の変化を読み取る。

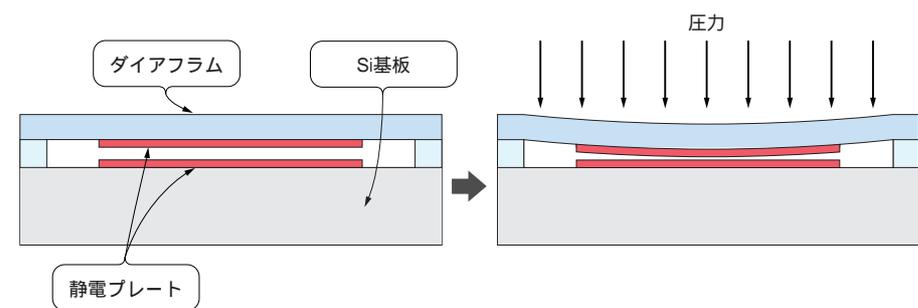


図2
圧力センサの基本原理

圧力が加わるとダイアフラムが曲げられ、ダイアフラムと静電プレートとの間の静電容量が変化する。

ことができます。

静電容量式の圧力センサは、Siウェハ間のキャビティ内の基準圧力に対して、外部圧力が相対的に変化することによってダイアフラムに力がかかり、下側の電極に向かってダイアフラムが変形します(図2)。ダイアフラムの変位は、ダイアフラムとそれに対面する電極で構成される静電容量(C)の値の変化として検出されます。静電容量は、次の式により圧力の関数としてモデル化できます。

$$C_{model}(p) = C_{00} + \frac{C_0}{1 - \frac{C_0}{k}p} + \frac{aC_0}{1 - \frac{C_0}{bk}p} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、関数C(p)はダイアフラムにかかる力の値で線形量です。この値は、線形性に関する要求を満たすために、簡単な多項関数を使って線形化できます。

筆者らが開発したMEMS圧力センサの回路図を図3に示します。測定範囲とその近傍では、素子は通常圧力検知素子モデルに従って機能します。出力は式(2)で求めることができます。入力圧力が通常の測定範囲を超えた場合、出力は過圧検知素子モデルに従ったものとなります。これは、センサ内でダイアフラムが静電プレートに接触することを意味します。この場合、出力を圧力の関数として求めることができなくなります。圧力が測定範囲に戻れば、再び通

常の圧力検知モデルに従って機能し、もとどおり良好な性能を発揮します。すでに述べたように、この圧力センサは測定範囲(フルスケール)の10倍の圧力に耐えることができます。そのため、オーバレンジになっても、性能が劣化することはありません。

●「低消費電力」というコンセプトの圧力センサを開発

筆者らは、おもにバッテリー駆動のハンドヘルド・デバイスを念頭に置いて、低消費電力の絶対圧センサというコンセプトをもとに、圧力センサ「SCP1000」を開発しました

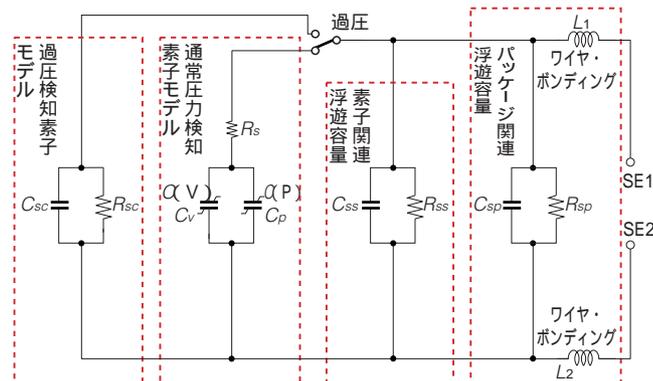


図3 圧力センサの回路図

測定範囲とその近傍では、素子は通常圧力検知素子モデルに従って機能する。入力圧力が通常の測定範囲を超えた場合、出力は過圧検知素子モデルに従う。