

2 チップSi圧力センサ

電子デバイス研究所 小山内 清隆¹・伊藤 清成²・松木 幸生²・橋本 幹夫³
村重 伸一⁴・塩尻 健史⁴・三谷 尚吾⁴

Two-Chip Si Pressure Sensor

K. Osanai, K. Itoh, Y. Matsuki, M. Hashimoto,
S. Murashige, T. Shiojiri, and S. Mitani

高精度化，圧力レンジや動作温度範囲の拡張，あるいは駆動電圧や出力電圧範囲の変更など，多様化するユーザニーズに対して柔軟に対応可能な汎用圧力センサとして高性能でカスタマイズ性に優れる，Si圧力センサチップとその信号処理チップを分離したいわゆる2チップSi圧力センサを開発して，-40～125の広い温度範囲で動作し，0～85における総合精度 $\pm 1.5\%$ FSを達成した．

We have developed a “two-chip Si pressure sensor” that consists of two chips. One is a Si pressure sensor chip, and the other is a signal-conditioning ASIC for a sensor chip. Compared to monolithically integrated pressure sensors, this configuration enables higher accuracy, wider pressure range and operating temperature, more flexible modifications to changes in supply voltages and output ranges, which are suitable for fulfilling the diverse demands of the customers. Wide operational temperature ranges from -40 to 125 and a total high accuracy of $\pm 1.5\%$ FS (0 ~ 85) have been obtained.

1. ま え が き

小型軽量で信頼性の高い半導体圧力センサは日常生活のさまざまなアプリケーションに応用されているが，特に家電，医療，自動車などではコピキタスという言葉に代表されるようにセンシングデバイスを用いた利便性拡大が大きなニーズとなりつつあることから，従来のエレクトロニクス化，高機能化の流れとあいまって，圧力センサに求められる機能は年々高くなってきている．また携帯電話やデジタルカメラの急速な高機能化によって新しいアプリケーションの可能性も広がってきている．現在，MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ばれる微細加工技術は，加速度センサやシリコンマイクロフォンのようなデバイスとして広がりを見せているが，圧力センサもまたMEMSデバイス的一种であり，工業的には最も早く実用化されたもののひとつである．圧力センサの場合，感圧部分として機能するダイヤフラム部に圧力を印加することが必須であり，また圧力を導入するためのパイプを筐体に付加するなどといった点も含め

て独特のパッケージスタイルを採用することが多い．しかも通常の半導体素子が電気的入出力だけを行うのに対して，圧力センサは計測の際，シリコンチップが必然的に応力を受けるために，半導体素子の組立で考慮すべき応力以外にも設計的な配慮が必要である．また半導体圧力センサは4個のピエゾ抵抗で構成したホイートストンブリッジを基本構造として圧力に比例した直流電圧信号を出力するが，これらのブリッジ回路だけでは出力電圧が小さく，加えて，オフセット電圧，スパン電圧といった諸特性のばらつきや温度特性の影響で精度の高い計測が難しいことから，多くの場合，増幅回路や温度補償回路を組み込んで使われる．こうした付属回路の組み込みは，センサ部分との一体化，センサ外部のディスクリット回路との接続といったインターフェイス方法やあるいはレーザによる薄膜抵抗のアナログ調整，Application Specific Integrated Circuit (ASIC) によるデジタル調整といったトリミング方法などによってさまざまなやり方が考えられ，当社でもこれらの技術を適宜使い分けて製品を量産化してきた．特にセンサブリッジ周囲に付属回路を配してワンチップ化した集積化圧力センサは小型で使いやすい点からユーザに広く受け入れられている．しかしながら，センサの高精度化，圧力レンジや動作温度範囲の拡張，あるいは駆動電圧や出力電圧範囲の変更など，多様化するユーザ要求に対する対応については必ずしも

1 シリコン技術開発部秋田分室グループ長

2 シリコン技術開発部秋田分室

3 シリコン技術開発部センサグループ長

4 シリコン技術開発部

2 チップSi 圧力センサ

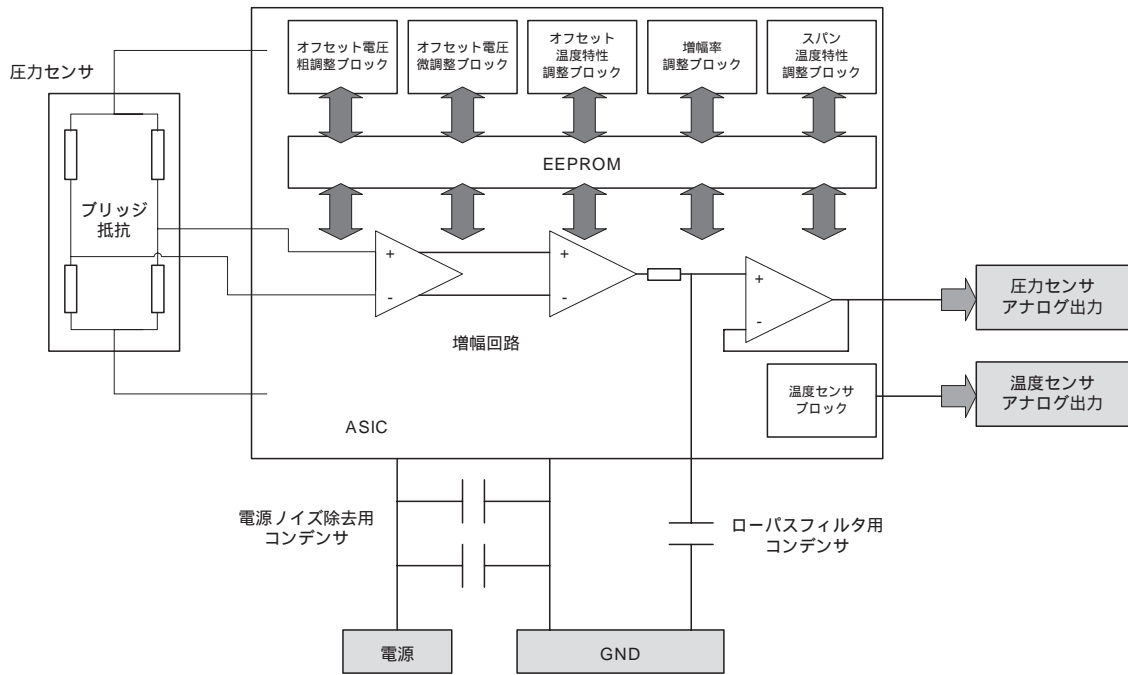


図1 2チップSi圧力センサのブロック図
Fig. 1. Block diagram of two-chip Si pressure sensor.

十分ではなく、より柔軟に要求仕様を実現できる汎用的な圧力センサが必要になってきた。本報ではこうした市場ニーズにこたえるべく開発した、より高性能でカスタマイズ性の高い2チップSi圧力センサについて、その開発コンセプトや基本性能を中心に報告する。

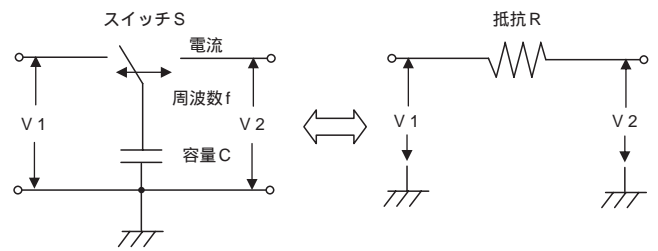
2. 開発コンセプト

2.1 マルチチップ化

センサ部と周辺回路をワンチップ化する方法は最も小型化に適しているが、一方、ピエゾ抵抗と集積回路を形成する各プロセス条件の整合とその制御に十分な検討と配慮が必要であるために、設計仕様の異なる複数のセンサ部を組み合わせることで多品種化することにはあまり適さない。そこで当社では各圧力レンジ、要求特性に沿って適正なセンサブリッジを持つ圧力センサチップを選択し、これを信号処理チップと組み合わせるマルチチップ方式を採用することにした。マルチチップ化することで微圧から高圧まで同一の信号処理チップで対応でき、センサ部とASIC部の両者の工程を考慮した新規プロセス開発を行うことが不要となるため、それぞれの工程を独立に最適化できるので、優れた特性を容易に得ることができる。

2.2 高精度化¹⁾

一般的に、センサ特性の調整や温度特性を補償することはトリミングと呼ばれ、その回路調整方法には前述したアナログ的手法(ex..薄膜抵抗のレーザカット)とデジタル的手法(ex..ASIC内部メモリから呼び出したトリミングデータをD/A変換して回路的に補正)があるが、調整精度は、チップ表面に形成されたトリミング抵抗に



$$Q = C \cdot (V1 - V2)$$

$$\text{等価} = Q \cdot f = C \cdot f \cdot (V1 - V2)$$

$$R \text{ 等価} = (V1 - V2) / \text{等価} = 1 / (C \cdot f)$$

図2 スイッチトキャパシタ素子と等価抵抗
Fig. 2. Switched capacitor circuit and equivalent resistance.

アクセスせずに電気的な接続を保持した状態で、印加圧力や雰囲気温度を自由に変えながらリアルタイム調整が可能で、ASICを用いたデジタルトリミングの方が優れている。図1に2チップSi圧力センサのブロック図を示す。ASICはCMOSプロセスを用い、増幅にはスイッチトキャパシタ回路を採用している。図2に示すように、スイッチトキャパシタはMOSスイッチと容量によって等価的に抵抗を実現する方法である。一般的に差動増幅回路においては抵抗の絶対値よりも抵抗比やベア性が重要とされるが、CMOSプロセスでは容量比を非常に精度よく作り込むことができるため、容量とスイッチによる等価的抵抗で回路を構成するスイッチトキャパシタ方式は高精度の計装用アンプに適している。トリミングパラメータはオフセット電圧粗調整、オフセット電圧微調整、増幅率、オフセット温度特性、スパン温度特性の5つである。な

お各パラメータの1ビット当たりの調整量が小さいほど分解能が高くなって調整ばらつきを抑えられる反面、必要とするメモリ領域が増えるためにASICチップサイズが大きくなり、コスト的には不利になりやすいため、両者のバランスを考慮して設計を行った。

2.3 低電圧駆動/低消費電力化²⁾

アプリケーションの中には携帯機器のように電池やバッテリー駆動を前提としたものもある。必要な駆動電圧としては2.7~3.3Vを求められることが多いが、同時にセンサや信号処理回路の消費電流をできるだけ小さくすることが望ましい。その他にも外部信号によってASICの動作を制御する間欠駆動によって見かけ上の消費電流を抑える方法も考えられる。今回当社で用いたASICは5kインピーダンスセンサと組み合わせた場合、5V駆動での消費電流はTyp.値で2mA程度である。図3に消費電流温度依存性を示す。なお3V駆動での消費電流は5kインピーダンスセンサではTyp.値で1.2mA程度である。加えて間欠駆動も可能であることから、パワーマネジメントが必要なアプリケーションにも対応可能である。また図4にオフセット電圧、スパン電圧の電源電圧依存性を示すが、非常に良好なリニアリティを維持している。

2.4 マルチセンシング化

複数の計測デバイスを一体化する試みは特殊なことで

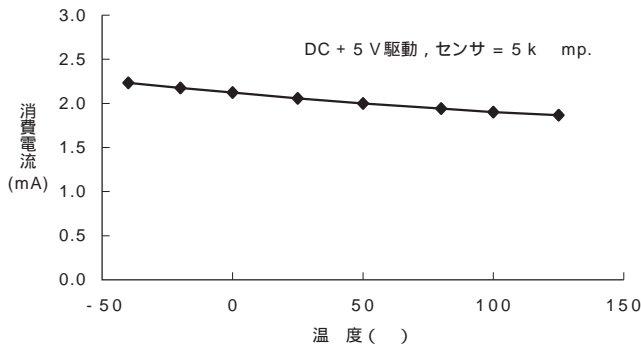


図3 消費電流の温度依存性

Fig. 3. Temperature dependence of current consumption.

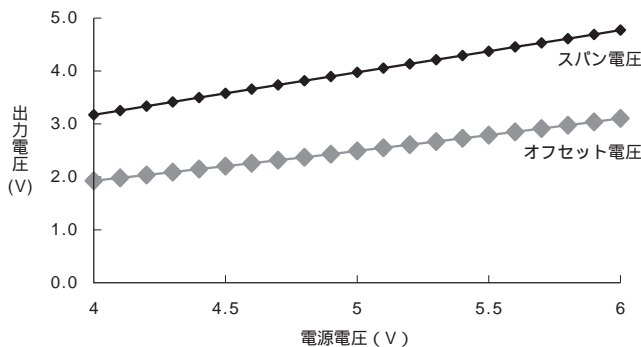


図4 オフセット、スパン電圧の電源電圧依存性

Fig. 4. Power supply voltage dependence of sensor offset and span output voltage.

はないが、組み合わせによっては各々のデバイス特性評価が困難であったり、かえってアプリケーションの使い勝手を悪くするなど必ずしもうまくいかないケースもある。2チップ圧力センサでは温度センサを搭載することにより、センサ部の雰囲気温度を測定し、それによりセンサの温度特性の補償を行っている。この温度センサの出力は-40~125の温度に対応しており、温度計測に応用することも可能である。

3. 製造工程と出力特性

3.1 製造工程

図5に製造工程のフローを示す。なおセンサチップとASICは同一面に配置し、両者はAuワイヤでダイレクトに接続している。

3.2 パッケージ実装後の出力特性

表面実装パッケージに絶対圧タイプ、ゲージ圧タイプの圧力センサチップとASICをワンパッケージ化した製品の外観を図6に示す。パッケージサイズはゲージ圧タイプ9.8×9.5×H4.8mm、絶対圧タイプ9.0×8.0×H4.6mmである(いずれも圧力ポート部を除く)。これら



図5 製造工程フロー

Fig. 5. Process flow.

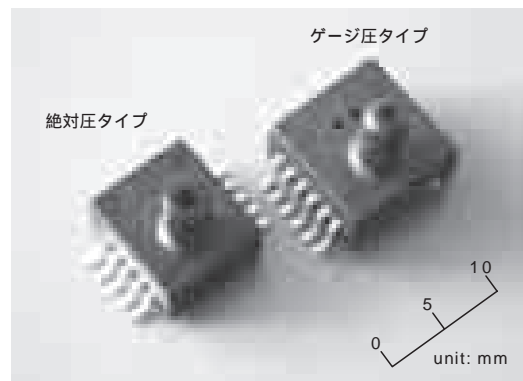


図6 2チップセンサの外観

Fig. 6. Finished two-chip Si pressure sensor.

2チップSi圧力センサ

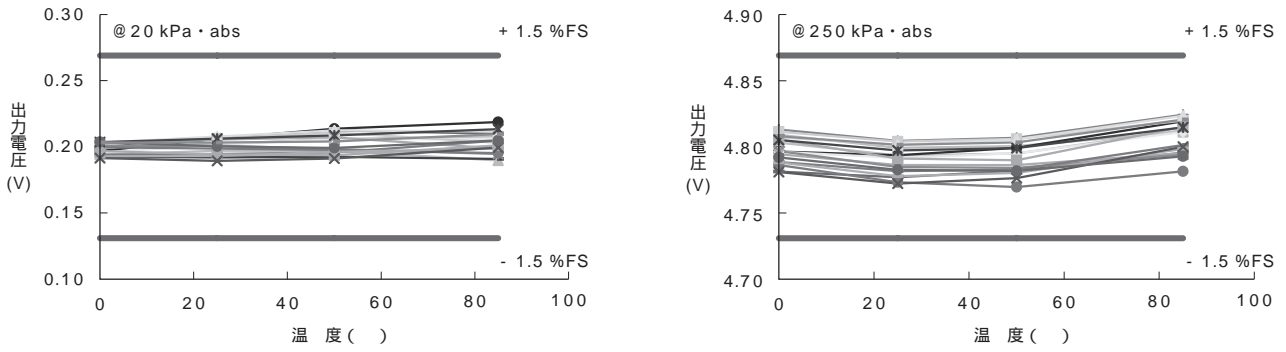


図7 絶対圧 250 kPa · abs レンジにおける出力特性
Fig. 7. Characteristics of absolute pressure type @250 kPa · abs range.

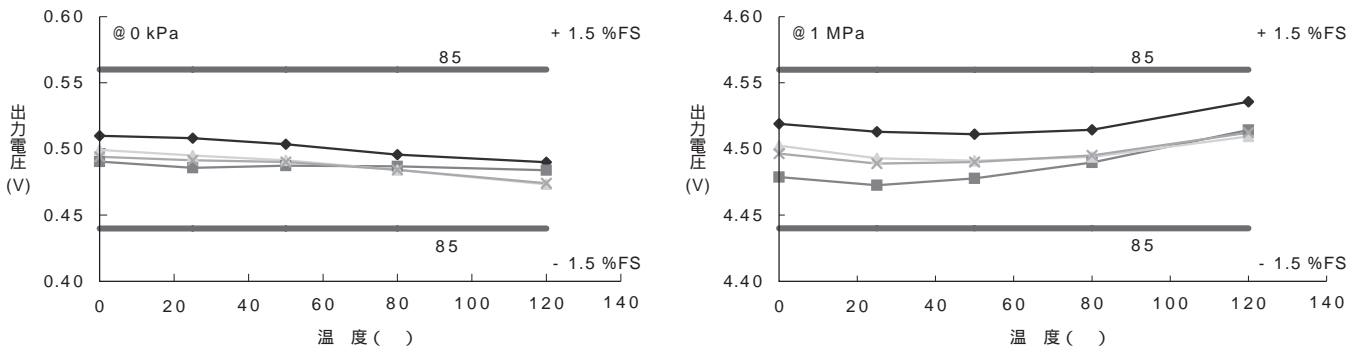


図8 ゲージ圧 1 MPa 高圧レンジにおける出力特性
Fig. 8. Characteristics of gauge pressure type @1 MPa range.

表1 2チップセンサの主な特長

Table 1. Main characteristics of two-chip Si pressure sensor.

圧力レンジ，出力電圧のカスタマイズ性に優れる 高精度 ($\pm 1.5\%FS/0 \sim 85$) 電源電圧はDC + 3 ~ 6Vまで対応可能 温度センサを内蔵し，圧力と温度のマルチセンシングが可能 動作温度範囲が広い ($-40 \sim +125$) 出力電圧のダイナミックレンジが大きい (GND ~ 電源電圧レベル) イネーブル端子による間欠駆動が可能 内蔵抵抗と外付けコンデンサによってローパスフィルタを構成
--

4. む す び

センサ部と信号処理部 (ASIC) を分離し，高精度化とカスタマイズ性を強化しながら，新たな機能も盛り込んだ2チップSi圧力センサを開発した．今後，医療，自動車など精度が求められるアプリケーションをターゲットに製品展開をはかっていきたい．

参 考 文 献

- 1) 高橋ほか：半導体圧力センサのデジタルトリミング，フジクラ技報，第96号，pp.54-60，1999
- 2) 蓬田ほか：低電圧駆動ワンチップ集積化圧力センサ，フジクラ技報，第101号，pp.75-80，2001

を実際に電源電圧5Vで駆動した時の出力電圧特性を評価してみた．図7は絶対圧タイプ圧力レンジ250 kPa · absの出力特性，図8はゲージ圧タイプ圧力レンジ1 MPaの出力特性を示す．いずれも精度的には $\pm 1.5\%FS/0 \sim 85$ の範囲におさまっており，また圧力レンジ1 MPaにおいては120まで $\pm 1.5\%FS$ の精度を維持していることがわかる．

3.3 特長まとめ

2チップSi圧力センサの機能，基本性能について主な特長を表1にまとめた．