

MEMS 技術を応用した各種新型センサ

電子デバイス研究所 末 益 龍 夫¹

New Type Sensors Using MEMS Technology

T. Suemasu

当社では通信，自動車，医療，民生など幅広い分野に向けて様々なセンサを製造・販売しています。本報告ではそれらセンサの中から，Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を応用した最新の各種センサについてご紹介します。MEMS技術とは，マイクロメートルサイズの機械要素部品，センサ，アクチュエータ，電子回路を一つのシリコン基板，あるいはガラス，有機材料などの基板上に集積化する技術を指します。現在，当社ではMEMS技術を用いて，超小型デジタル出力大気圧センサ，薄膜フラックスゲート式磁気センサ，イメージセンサ用Si貫通配線パッケージを開発しており，その特長や性能について報告します。

Fujikura has been manufacturing a variety of sensors along with the requests of the fields of telecommunications, automotive, medical and consumer electronics. In this paper, we introduce new type sensors that have been developed using the latest Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) technology. The MEMS technology refers to technology to integrate micrometer-sized mechanical elements, sensors, actuators and electronic circuits, on a single substrate such as silicon, glass, or organic materials.

Currently, we are developing an ultra compact-sized digital output absolute pressure sensor, a through-silicon via (TSV) package for image sensor and a thin film fluxgate type magnetic sensor, using MEMS technology. We also report their features and performance.

1. ま え が き

当社は早くからMEMS技術の1つであるシリコン加工技術を手掛け，1980年代前半にはピエゾ抵抗型半導体圧力センサの開発に成功し，製造を開始しました¹⁾。その後，センサの小型化，高性能化，さらにはシリコン以外の材料加工等へ研究開発の幅を広げ，市場のニーズに沿った新製品の開発を行ってきました。近年は，スマートフォンの普及やクラウドコンピューティング時代の到来により，利用されるアプリケーションとサービスが多様化し，それに伴い様々なセンサが商品に搭載されるようになりました^{2) 3)}。また，少子高齢化による高齢者の介護や健康状態の日常管理，さらには増加が予想される医療費負担の軽減のため健康増進や予防管理など，用いられるセンサへの期待と求められる性能は益々高くなっています。当社においても，既存センサの延長線上の開発だけでなく，第二，第三の新たなセンサの開発を加速しています。本報告では，最新のMEMS技術を応用した新型センサや，そのパッケージ技術をご紹介します。

2. 超小型デジタル出力大気圧センサ

2.1 測定原理

当社では，デジタル通信規格に準拠したデジタル出力タイプの超小型大気圧センサを開発しています。まず，図1に当社で採用しているピエゾ抵抗型半導体圧力センサの測定原理を示します。ピエゾ抵抗型半導体圧力センサは，シリコン基板をエッチング等により薄くしたダイアフラム（受圧部）上に拡散イオン打ち込みで形成したゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）のピエゾ抵抗効果を利用しています。ピエゾ抵抗効果は，応力によって起こる分極現象であるピエゾ効果とは異なり，抵抗に加わった応力によって電気導電率すなわち抵抗率が変化する現象です。この現象は，加わった応力により結晶格子に歪が生じ，半導体中のキャリアの数や移動度が変化することに起因しています。図1のダイアフラムが圧力を受けてたわむと，各ゲージ抵抗にはダイアフラムのたわみ量に応じた応力が発生します。この応力に比例してゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）の抵抗率が変化します。例えば，図1に示すようにn型シリコン基板の結晶面方位を $\{110\}$ とし，ゲージ抵抗（ピエゾ抵抗）の長手方向の配置を $\langle 110 \rangle$ とした場合の抵抗値の変化率を式(1)に示します。

1 シリコン技術開発部部長

略語・専門用語	正式表記	説明
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	マイクロメートルサイズの機械要素部品、センサ、電子回路を一つのシリコンなどの基板に集積化する技術
TSV	Through-Silicon Via	DRAMメモリなどの3次元積層を目的に開発された配線形成技術
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	特定の用途向けに複数機能の回路を1つにまとめた集積回路
I 2 C	Inter-Integrated Circuit	フィリップス社で開発されたシリアルバス。携帯電話などで使われている
DRIE	Deep-Reactive Ion Etching	反応性イオンエッチングの一つで、シリコンに対しアスペクト比の高い(狭く深い)エッチングができる
PE-CVD	Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	プラズマで援用する方式の化学気相成長の一種

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} \doteq \frac{1}{2} \pi_{44} \cdot \sigma_r \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

π₄₄ : ピエゾ抵抗係数

このゲージ抵抗(ピエゾ抵抗)でホイートストンブリッジを構成し、電流や電圧を印加すると、圧力に比例した出力電位差が得られます。

2.2 特長および仕様

本圧力センサは、特殊なMEMS技術を用いて超小型の圧力センサ素子を製作することで、3.4×2.6×1.0 mmの小型パッケージを達成しました(図2)。このパッケージ内には圧力センサ素子のほかに、センサ出力の校正や温度補償、あるいは駆動電圧範囲の変更など、多様化するユーザ要求に対応するためのApplication Specific In-

tegrated Circuit (ASIC) が搭載されています。センサの出力校正等は、このASIC内でデジタルトリミングを行うことで調整されます^{4) 5)}。これにより、気圧・高度を高精度に計測することができます。表1に本圧力センサの仕様をまとめます。出力形式はデジタル出力であり、シリアルバスであるI 2 Cの通信規格に準拠しています。電源電圧は1.8~3.6 V、低消費電力にも対応しています。さらに、Android OSに対応した専用ドライバ

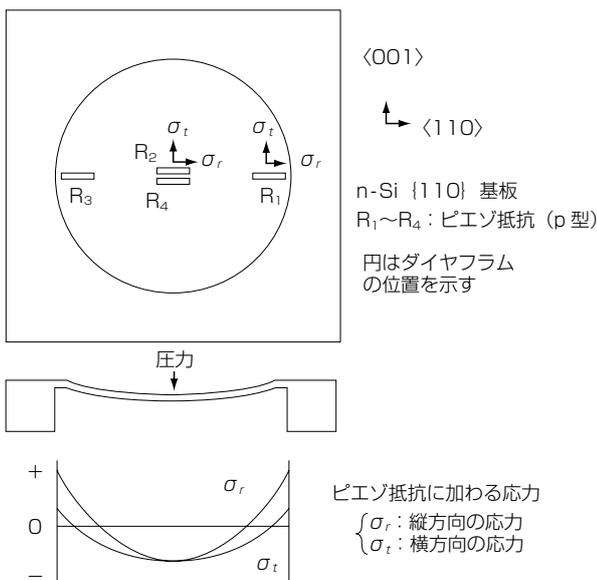


図1 ピエゾ抵抗式半導体圧力センサの測定原理
Fig. 1. Measurement principle of silicon piezoresistive pressure sensor.

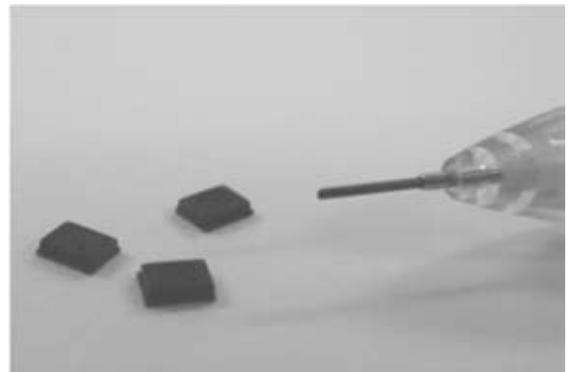


図2 超小型デジタル出力大気圧センサ
Fig. 2. Ultra-compact-sized digital output absolute pressure sensor.

表1 超小型デジタル出力大気圧センサの仕様
Table 1. Specifications of ultra compact-sized digital output absolute pressure sensor.

項目	仕様	単位
パッケージサイズ	2.6×3.4×1.0	mm
圧力範囲	300~1100	hPa
動作温度範囲	-40~85	℃
データ出力形式	I 2 C	-
動作電圧	1.8~3.6	V
消費電流	9	μ A/sample/sec
圧力分解能	0.02	hPa
高度分解能	20	cm

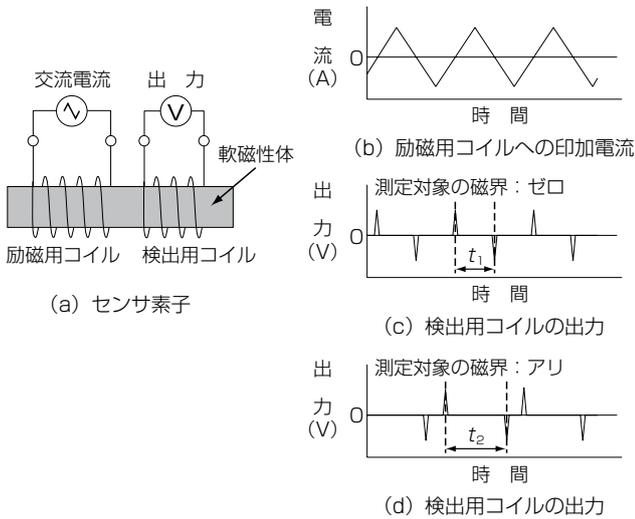


図3 フラックスゲート式磁気センサの測定原理

Fig. 3. Measurement principle of fluxgate type magnetic sensor.

ソフトも開発しており、クラウド時代到来によって新規ビジネスとして話題になっているデジタルヘルスケアやウェルネスナビなどの新サービスへの採用が期待されます。

3. 薄膜フラックスゲート式磁気センサ

3.1 測定原理

図3にフラックスゲート式磁気センサの測定原理を示します。センサ素子は、軟磁性体、励磁用コイル、および検出用コイルから構成されます(図3(a))。測定対象からの磁界がゼロの状態では、励磁用コイルに交流電流三角波(図3(b))を通電すると、軟磁性体を介し検出コイルに電圧出力(図3(c))が得られます。さらに測定対象からの磁界が加わると、検出コイルの電圧出力は

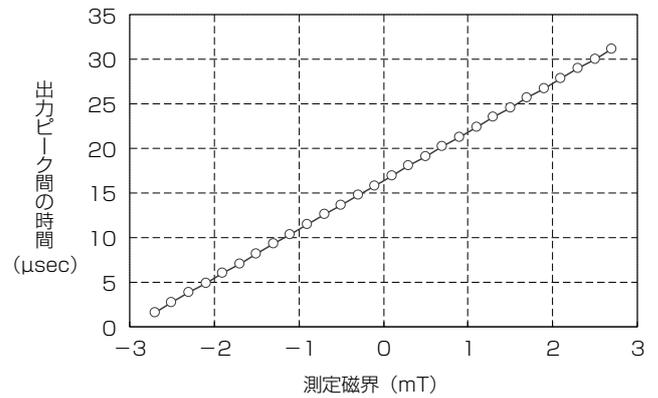


図5 薄膜フラックスゲート式磁気センサの出力特性
Fig. 5. Typical output characteristics of thin film fluxgate type magnetic sensor.

図3(d)のように変化します。このように、出力ピーク間の時間の変化($t_1 \rightarrow t_2$)から測定対象の磁界を検出することができます。

3.2 特長および性能

当社センサの特長は、高度なMEMS技術によりシリコン基板上に軟磁性体及びコイルを薄膜で形成し、さらに独自設計による形状により、小型化、高性能化を実現していることにあります。本センサの外観写真を図4に示します。パッケージサイズは $3.0 \times 3.0 \times 1.0$ mmです。また、図5に本センサの出力特性を示します。 ± 3 mTの広いダイナミックレンジと高いリニアリティを実現しながら、地磁気のような数十 μ Tレベルの微小磁界を $\pm 1 \mu$ T以下の精度で検出できます。また現在は、この磁気センサを応用し、非接触式の電流センサを開発しています。小型、軽量であるほか、外部からの磁気ノイズ耐性が高く、さらに環境温度の影響が小さいことが特長です。

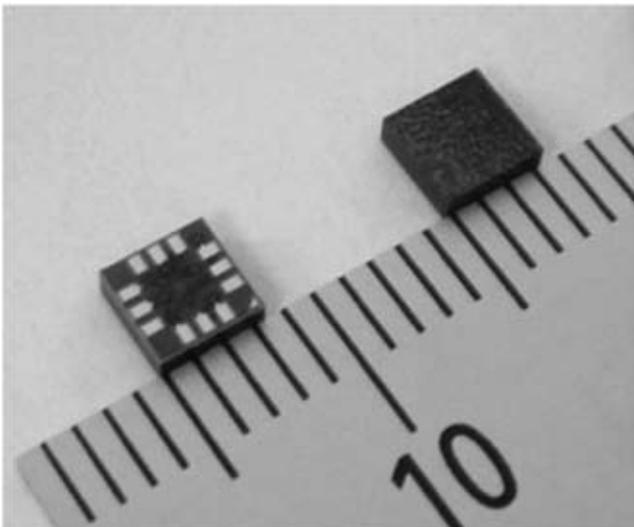


図4 薄膜フラックスゲート式磁気センサ
Fig. 4. Thin film fluxgate type magnetic sensor.

4. イメージセンサ用貫通配線パッケージ

4.1 構造

イメージセンサなどの各種半導体デバイスの小型化技術の1つに、シリコン貫通配線(Through-Silicon Via: TSV)を用いたパッケージ技術があります⁶⁾。TSVは、DRAMメモリの高密度積層を目的に開発された配線形成技術で、シリコン基板の内部を貫通し表裏を電氣的に導通させるものですが、それをセンサのパッケージに応用しました。具体的な構造は図6に示すように、イメージセンサ素子の表面をガラス板で保護し、ワイヤボンダ代わりに、TSV経由でセンサ素子のI/Oパッドから裏面に電気導通を取り出します。これにより、パッケージサイズがセンサ素子と同等の究極の小型パッケージが完成します。

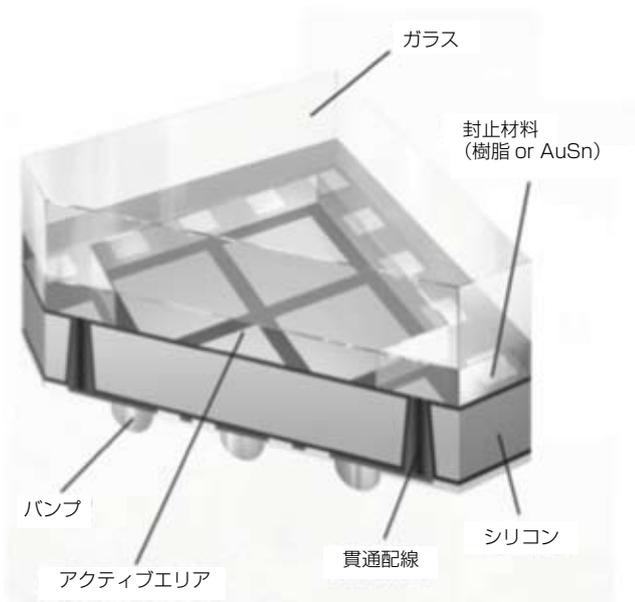


図6 イメージセンサ用貫通配線パッケージ断面模型図
Fig. 6. Schematic diagram of through-silicon via (TSV) package for image sensor.

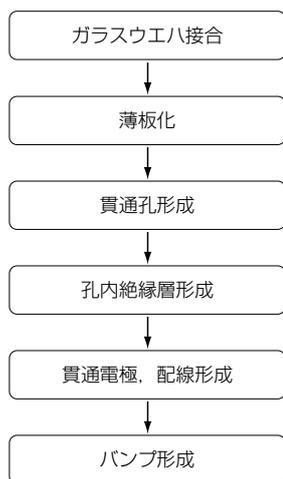


図7 プロセスフロー
Fig. 7. Process flow.

4. 2 加工プロセスと実施例

図7にプロセスフローを示します。最初に完成済みのイメージセンサウエハにガラスウエハを接着樹脂で接合します。それ以降のプロセスでは、つねにウエハ裏面からの加工となるため、ガラスウエハがイメージセンサウエハの破損を防止するサポート板の役割を担います。シリコンへの貫通孔形成には、深堀エッチング (Deep-Reactive Ion Etching : DRIE) 装置を使用します。また貫通孔内部への絶縁層形成は、接着樹脂の耐熱性を考慮し 150℃以下の低温成膜が可能なPlasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE-CVD) 装置を用いてSiO₂を形成します。次いでReactive Ion Etching (RIE)

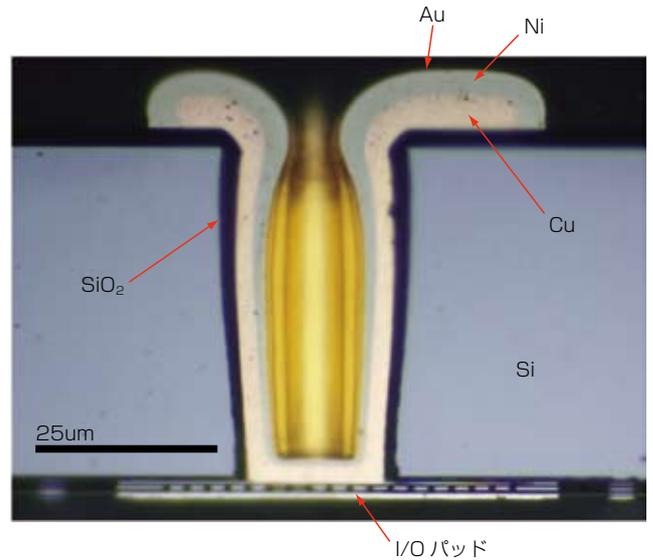


図8 シリコン貫通配線の断面写真
Fig. 8. Cross-sectional view of TSV in image sensor.

装置を使用し、孔底部のSiO₂層を除去します。これにより貫通孔の底部にI/Oパッドが露出します。そこへ電解めっきにてCu配線を形成することで、TSVが完成します。

以上のプロセスで製作したイメージセンサ用貫通配線パッケージの実施例を図8に示します。これはイメージセンサのI/Oパッドに形成されたTSVを拡大した断面写真です。当社では、直径25μm、深さ50μmの微細なTSVを高品質に形成するプロセスを確立しました。

5. むすび

電子機器の小型化や軽量化が今後も進むと共に、搭載されるセンサへも新たな機能の追加や様々な環境への適用が求められます。当社はそれら市場のニーズへ応えるべく、MEMS技術の研鑽を重ねて次世代のセンサを開発し、社会に貢献していきます。

参 考 文 献

- 1) 五島ほか：フジクラ電線技報，第66号，pp. 9-24，1983
- 2) 増田：エレクトロ実装学会誌 Vol.9, No.4, pp. 251-256, 2006
- 3) S. Nakano, T. Toriyama and S. Sugiyama : Technical Digest of the 18th Sensor Symposium, pp. 289-292, 2001
- 4) 高橋ほか：フジクラ技報，第96号，pp. 54-60，1999
- 5) 小山内ほか：フジクラ技報，第113号，pp. 54-57，2008
- 6) 猿田ほか：フジクラ技報，第110号，pp. 46-50，2006