

# 特集 | センサ実装技術動向\*

## Trends of Packaging Technology of Sensors

齋藤 隆重  
Takashige SAITO

A recent technological development of semiconductor devices has led to various applications of the devices for automotive control systems such as the passive safety system and the system for comfort. In addition, the semiconductor sensors have realized significantly more accurate vehicle control because the sensors allow various events of vehicle operation conditions and environmental changes to be quantitatively measured. In order to apply semiconductor sensor devices to automotive control systems, there are two requirements. First, the devices must be durable to withstand the installation environment in vehicles in order to measure physical quantities directly. Second, the devices must be assembled with no or low strain packaging technologies for highly accurate and fast-response measurements. In this paper, we introduce the newly developed packaging technologies for vehicle semiconductor sensors and the future prospects of their technological development.

Key words : Semiconductor device, Sensor, Car Electronics, Assembly, Packaging,

### 1. はじめに

半導体デバイスの車両への展開は約30年前からであり、初期は車両制御用のエンジンコントロールユニット (ECU) への適用がなされている。このころの半導体部品は民生用機器同様に制御回路内の演算素子としてのデバイスを保護するための実装技術が用いられており民生機器と比べて大きく構造が異なるわけではなく求められる信頼性やコストからパッケージサイズや構造を決定していた。

Fig. 1に示すように現在の車両は多種多様なセンサや制御システムが採用されている<sup>1)</sup>。車両のエンジンは吸排気制御・環境モニタ・エンジン、カムの回転角制御などにセンサ製品が使用されており、またFig. 2に示されるように衝突安全制御には前方可視用カメラ・慣性検出デバイスとしてセンサ製品が使用されている<sup>2)</sup>。このように車両のあらゆる場所に直接センサを搭載することにより、高精度で高機能な制御が可能となり、車両用センサ製品には民生デバイスやモノリシックIC (MIC) では求められない特殊な実装構造・材料が求められることになる。これらを製品群ごとに実装上の特徴を述べる。自動車用センサは「走る」「曲がる」「止まる」の自動車の基本性能を制御するシステムに用いられる。トヨタ自動車 (株) のLEXUSなどの高級車ではおよそ100個のセンサが搭載されており、それぞれ目的に適した実装構造をとっている<sup>3)</sup>。

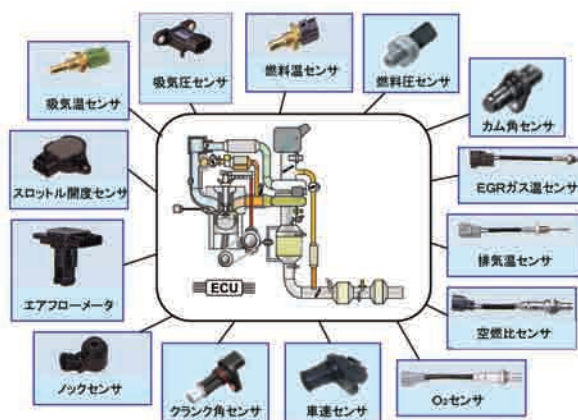


Fig. 1 Sensor Application in Automotive Engine Systems

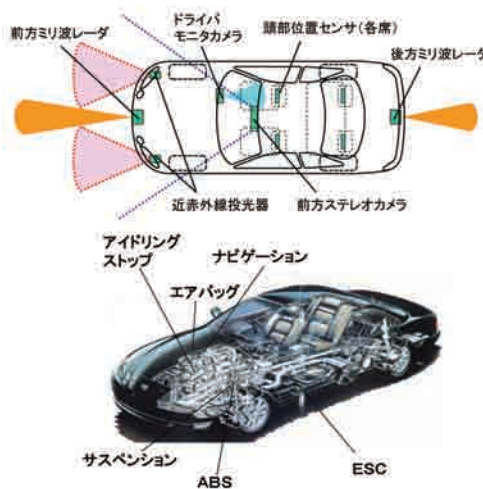


Fig. 2 Sensor Devices for Passive Safety Systems

\*2012年8月30日 原稿受理

## 2.1 センサ実装

この章では半導体センサ主要製品に用いられている当社の実装技術を、MICやハイブリッドIC製品と比較したのち、センサ実装の概要、動向を述べる。

MIC製品やハイブリッドIC製品の基本的な実装形態はFig. 3・Fig. 4の通りである<sup>1)</sup>。

MICでは民生の動向により小型化・高密度実装を主要目的とした実装構造のため、QFP・SOPさらに小型のQFNのパッケージ構造をとる。QFNは信頼性の課題があり、自動車用としては環境の良いところでの採用に限られる。

ハイブリッドICでは、小型化の目的に加え、環境の厳しい高放熱・耐薬品性を重視したエポキシモールドによるパッケージ構造が主流になりつつある。ハイブリッドICでは、非常に多くの部品を内蔵させるため、応力の影響を受けやすく、厳しい寒冷地で持ちこたえる強靱なパッケージ構造となる。

半導体センサへ求められる要求は以下の通りであり、これらを満足させる実装が必要となる<sup>2)</sup>。

- ①劣化がなく、長時間使用に耐える
- ②小型で使いやすい
- ③異なる機能を有するデバイスの複合化ができる
- ④高精度である
- ⑤耐ノイズ性がある
- ⑥駆動に必要なエネルギーが少ない
- ⑦自己診断機能を有する

半導体センサの実装はMIC、ハイブリッドIC製品の目的同様、応力や環境の影響を受けることなくセンサ出力を正しく出力することが求められる。しかしなが

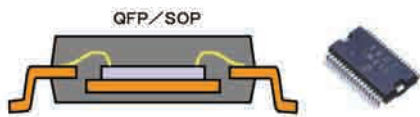


Fig. 3 Schematic Image of MIC Device

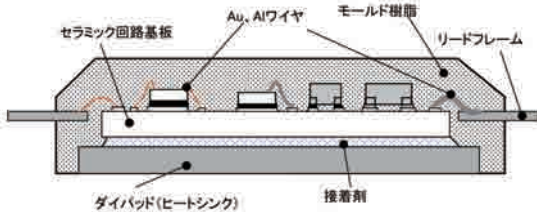


Fig. 4 Schematic Image of Molding HIC Device

ら、MEMSセンサデバイスはミクロンオーダー、時には、ナノオーダーの変形により誤った出力を出す。したがって、センサ固有の低応力な形態をとることが多い。特にセンサチップ接着剤とその被着体となるケース、ハウジング類に工夫を加える。

近年では、センサ搭載スペースの狭小化に対応するセンサの小型化や、車両のシステム制御の高度化に対応できるセンサの高精度化、高温高湿などの劣悪環境への搭載するセンサの高信頼性化への要求が強まっているので、その目標も高くなってきており、常時200℃近くの高湿環境、時にはpH1以下になるような強酸環境でも持ちこたえる構造を考案する必要がある。

すなわち、Fig. 5に示すごとく、外界情報や車の状態変化を正しく把握するために、劣悪環境でも耐え、センサの出力状態に余分な変化を与えない実装技術を作り上げることが、車両用半導体センサの成立の鍵である<sup>1)</sup>。

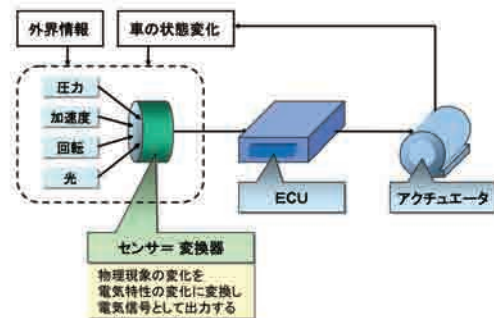


Fig. 5 Schematic Image of Sensor Devices for Vehicles

### 2.1.1 圧力センサ

車両ではエンジン周辺やエアコンをはじめとして様々な部位に圧力センサが用いられている。Fig. 6に車両用圧力センサの代表一覧を示す<sup>1)</sup>。

このように圧力センサは5KPa ~ 200MPaまでの広範囲の圧力レンジを検出するアプリケーションがあり、測定対象に関しても大気・エアコン冷媒・エンジンオイル・ブレーキフルイド、ガソリンなどの多様な媒体にさらされる。また、これらの媒体は先に述べたごとく様々な化学的影響を与える。このため圧力センサ実装において重要なポイントは以下2点に集約される。

- ①使用圧力範囲で動作可能な強靱なパッケージング構造

②圧力媒体で劣化することなく車両寿命を満足する構造

この2点を満足することが圧力センサの基本であるが、センサ特性の高精度化が求められる中、その高精度を保持しつつ頑強な実装構造を得るには、3つの方法がある。有機材料で保護し、チップへ圧力伝達する方法、メタルダイヤフラムで保護し、オイルでチップへ圧力伝達する方法、金属ステムで保護し、チップへ圧力伝達する方法である。これらの方法は、計測圧力、計測環境によって使い分ける。当社の場合、この3方法とも採用しており、以下、順にそれぞれの構造について説明する。

まず、有機材料で保護する構造であるが、一般的に「ゲル」と呼ばれるオイルとゴムの中間の特徴をもつ材料を用いる。その材料は、測定環境に応じて、「シリコーンゲル」「フッ素ゲル」などが候補となる。

低圧領域では、このゲルの保護により圧力的にも耐えることができるので、中圧領域までこれを用いた構造を採用している。

具体的封止構造を以下のFig. 7に記載する<sup>2)</sup> 4)。

このセンサは、吸気圧・排気圧を検出することができ、ガソリン、アルコール、またその排気を由来とする硝酸、硫酸などから強固に半導体チップを保護し、圧力を正しくチップに伝達することができる。このゲルなくしてチップを直接さらすとチップおよび配線などの導電部材が腐食し、断線し、信号を出力できなく

圧力レンジ	低圧 5~10KPa	中圧 100~200KPa	高圧 0.5~20MPa		~200MPa
用途	・タンク内圧	・吸気圧 ・大気圧 ・排ガス圧 ・ターボ圧 ・ブレーキ ・ブレーキ圧	・エアコン冷媒圧 ・変速機油圧 ・エンジン油圧 ・サスペンション油圧 ・ガソリン燃料圧 ・ブレーキ油圧	・ディーゼル ・コモンレール圧	
製品 外観例					
	タンク内圧	吸気圧	エアコン冷媒圧	ガソリン燃料圧	ディーゼル コモンレール圧

Fig. 6 List of the Pressure Sensors for Car Application

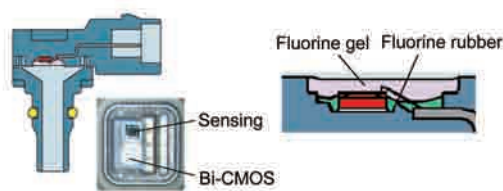


Fig. 7 Encapsulation Structure of Pressure Sensors

なる。このため当社は、耐環境性に優れたフッ素ゲルを材料メーカーとともに、世界で初めて開発した。このフッ素ゲルとターミナルシール剤のフッ素ゴムとの二重構造で圧力リークパスを遮断している。環境的に厳しくない場合は、シリコーンゲルを採用する。

またチップ接着剤も、ケース側からの応力を遮断するために、低応力であることが必要で、耐環境もあわせ考えて、フッ素ゴムを採用している。圧力特性を安定化させるために、樹脂ビーズによる接着厚み一定化の工夫もしている。

次に、メタルダイヤフラムで保護しオイルで伝達する構造は、ゲルでは耐えられない環境・圧力への対応として採用される。Fig. 8にその機能部分を示す。金属ダイヤフラムで半導体チップを環境から守るとともに圧力でワイヤボンドを保護している。

例えば、エアコン冷媒圧、高温のガソリン、エンジンオイル環境ではゲルによる保護能力を超えているため、本構造を採用する。本構造では、圧力によりオイルが滲み出ないようにシールする必要があり、ハウジングが金属の場合、ハーメチックガラス、樹脂の場合、ゴムによるシールを実施している。また、メタルダイヤフラムは、レーザー溶接で接合する<sup>1)</sup>。

最後に、金属ステムで保護し、チップへ圧力伝達す

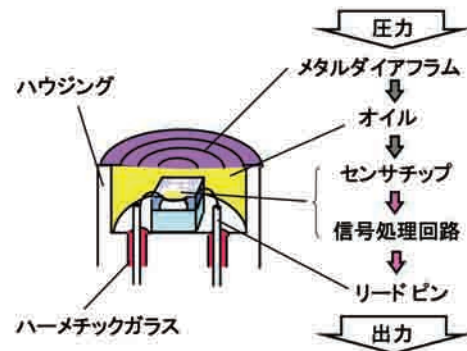


Fig. 8 Metal Diaphragm Structure of Pressure Sensors

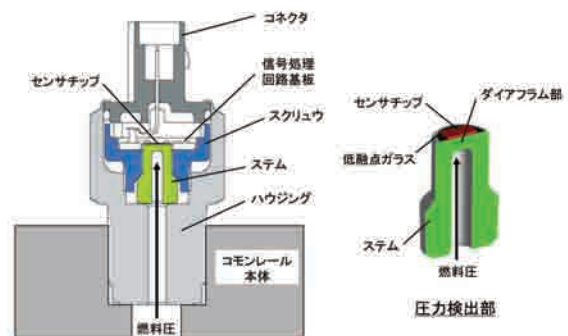


Fig. 9 Metal Stem Structure of Pressure Sensors



る構造は、メタルダイヤモンドでは耐えられない超高压環境下で採用される。例えば、ディーゼルコモンレール内の超高压環境下での圧力を検出するセンサを Fig. 9に示す<sup>1)</sup>。

圧力検出部は、ステムと呼ばれる温度、化学環境下に耐えられる特殊金属へ、低融点ガラスによってセンサチップを接合する。その検出部は、締結信頼性を高めるため、スクリウでハウジングと締結される。

当社は、これら3つの構造を基本に、測定対象に応じた最適構造を提供している。

2.1.1 慣性センサ

現在の車両において安全性能は最も重要な機能の一つである。

日本では1987年に市販されて以降、1995年頃より法規制の影響もあり車両用エアバッグが車両の標準機能となって久しいが、これを実現しているセンサが加速度センサ・イナーシャセンサ（角速度センサ）に代表される慣性センサである。

エアバッグシステムは、車両衝突時にその加速度を検出し、ECUでの信号処理を経てエアバッグ展開を促すものである。加速度センサの装着は、サテライトセンサとして装着されるエンジンルームフロント部、ドアピラ部などとエアバッグECU内である。圧力センサのように厳しい環境下ではないが、実装においては高温、被水を考慮する必要がある。それにも増して、当社の加速度センサは静電容量式で、センサチップは、Fig. 10に示すように、クシバ形状となっている<sup>2) 4)</sup>。

このクシバは、固定部と可動部があり、安静時3ミクロンを保っているが、加速度が与えられると、クシバ間隔が、変化するので、クシバ間静電容量も変化し、加速度を計測できる。したがって、クシバ間に異物がかみこむことにより、クシバが動かなくなる、あるいは、クシバに異物が付着することにより、正しい静電容量を計測できなくなる。そのような特徴を持つこと

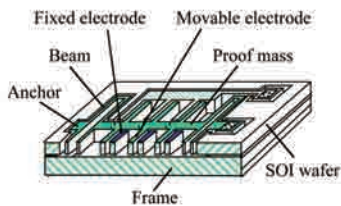


Fig. 10 Structural Schematic of Accelerometer Sensor Chip

により、慣性センサに求められる実装技術において重要なポイントは、以下2点に集約される。

- ①センサチップを微小なゴミや水分から保護する構造
- ②使用温度範囲でセンサチップに応力伝播を抑止する構造

これらを満足するため、衝突安全に最も多く使用されている加速度センサの実装構造を、Fig. 11に示す<sup>4)</sup>。

加速度センサの特徴は、製品の小型化を目的としたチップ積層したスタック構造をとることである。また、静電容量の安定化のため、内部環境を安定させることより、遮断性能の高いセラミックパッケージへ構造とし、メタルリッドを用いた気密封止構造を採用している。

この加速度センサはチップのそりにより、クシバ間隔が変化し、特性変化することが知られている。よって、セラミックパッケージからの熱応力が、センサチップまでに伝達されないことが求められる。スタック構造を構成する接着剤に、その応力吸収する特性が求められ、熱応力のシミュレーション解析により、接着剤のヤング率と厚みで目標達成することが明らかとなった。その結果を、Fig. 12に示す。ヤング率が

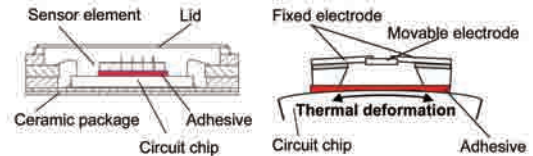


Fig. 11 Structural Schematic of Accelerometer Sensor Chip

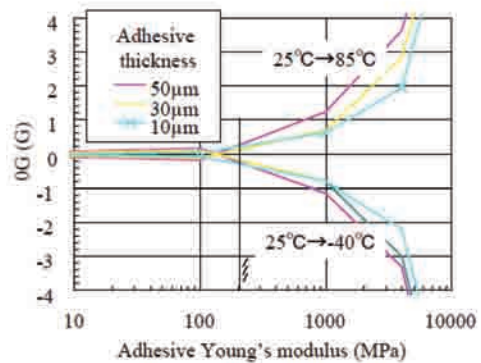


Fig. 12 Temperature Properties of the Accelerometer Sensor for Young's Modulus of the Adhesive Agent for Sensor Chips

100MPa以下の接着剤を用いれば、0G出力の温度特性が極めて小さくなる<sup>2)</sup>。

最近の車両の横滑り防止機能のためのイナーシャセンサにも慣性センサを活用したシステムが登場してきている。車両の挙動を計測するのに、角速度を計測するジャイロセンサと加速度センサで、判断するものである。イナーシャセンサは車両にかかる角速度を検出する。角速度センサを一般的にジャイロセンサと呼ぶがジャイロセンサの実装構造は以下のFig. 13のような構造である。加速度センサを、上下反転させ、ダンパと呼ぶ接着剤で支えている。このダンパによる防振により石はねなどの外部ノイズを遮断し、正しい車両の挙動が分かることになる。

さらに、特徴として、Fig. 14に示すごとく、加速度センサではセンサチップと回路チップ間の電気接続をワイヤボンドで実施しているが、FC接合と呼ぶ金バンプ同士の間接接合を採用している。それは、ジャイロセンサの場合、ワイヤボンド間の寄生容量値の変化が、その精度に影響を与える度合いが、加速度センサ以上に大きく、製品の成立性にかかわるので、ワイヤボンドレスにすることが求められたためである<sup>5)</sup>。

接着剤のヤング率に比較して、金のヤング率は数千倍も高いので、セラミックパッケージからの応力伝達も高まる。その応力を低減させるために、Fig. 15の

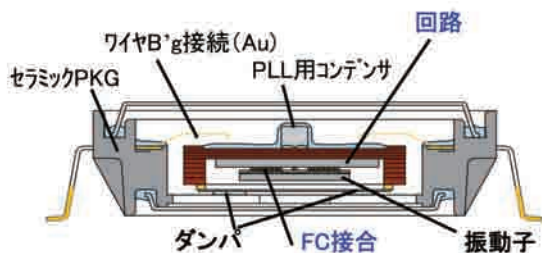


Fig. 13 Structure of Gyroscope Sensors

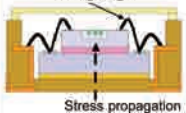
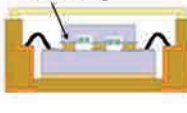
	Accelerometer	Gyro sensor
Structure	Wiring length  Stress propagation	Short wiring  FC bonding
Electrical connection between the chips	Wire bonding	FC bonding
Sensor accuracy	Low, chip back side stress	High, no chip back side stress
Sensor sensitivity	Low, large wiring capacity	High, extremely low wiring capacity

Fig. 14 Overview of Sensor Packaging Structures

とく、FC接合のレイアウトをシミュレーション解析最適化し、十字状とした<sup>5)</sup>。

さらに、金バンプは20個あるため、それぞれの高さが異なると、チップ間の熱応力により多大なそりが発生する。その応力を安定化させるために、高さをコントロールして接合する必要がある。均一の高さとするために、Fig. 16に示す如く、片側のチップ金バンプ高さを平らにするレベル合わせをし、もう一方の金バンプは、バンプの位置とチップがもつ固有のそりを吸収する形状に工夫している<sup>5)</sup>。



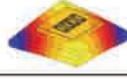
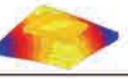
	Cross	Two parallels
Pad layout		
Deformation image		
Warpage amount	1/3	1

Fig. 15 Analysis Results of Pad Layout of FC Bonding

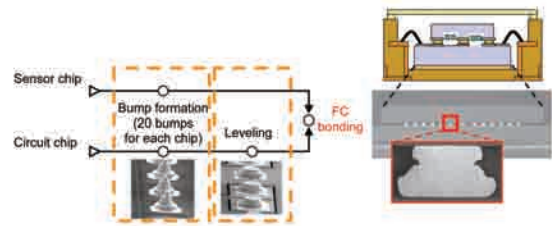


Fig. 16 Overview of FC Bonding and Cross-section of the Bonded Area

### 2.1.3 磁気センサ

車両にはエンジン周りのカム・クランク、トランスミッションシャフト、ステアリングなど多くの回転部位がある。これら回転部位の角度、回転数、ポジションなどを知ることで最適なエンジン制御、車両制御を行っている。例えば、カム角、クランク角を明らかにすることで、エンジンの点火時期、燃料噴射制御を最適化する。最近では、この両センサからエンジン回転数、クランク角度、気筒判別をするだけでなく、クランク角の停止位置検出、正転・逆転を判別し、アイドルストップ機構もできるようになった。

これら回転位置検出に使用される半導体磁気センサは、MRE (Magneto Resistive Element) ・ホール素子が主流であり、前者は磁界の強さで抵抗が変化する

ことを利用する素子，後者は磁場によって発生する電流変化を利用する素子である。

当社では，高感度なMREを環境に強い材料で保護することで回転角センサとして活用している。センサの実装技術としては上記の回転部位の環境，すなわち，エンジンオイル，トランスミッションオイル，被水，塩水などの直接回転部の環境に耐えることが必要である。一方，圧力センサ，慣性センサは低応力な実装が必要であったが，磁気センサの場合，応力に対しての敏感性がそれほどではないので，実装技術において重要なポイントは，以下の2点である。

- ①エンジンオイルなどへの耐環境封止構造
- ②エンジン，トランスミッションなどに直載できる耐熱材料

いずれのポイントも，PPS樹脂を封止するための樹脂として使用する。ひとつは樹脂成形を活用してのシームレス封止構造，もうひとつは，ターミナルインサート樹脂ケース（コネクタ）とキャップをレーザー溶着する方法である。Fig. 17に，シームレス封止構造，Fig. 18にレーザー溶着構造を示す<sup>1)</sup>。

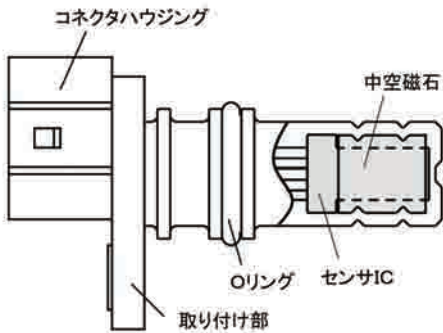


Fig. 17 Structure of the Magnetic Sensor of the Seamless Plastic Sealing

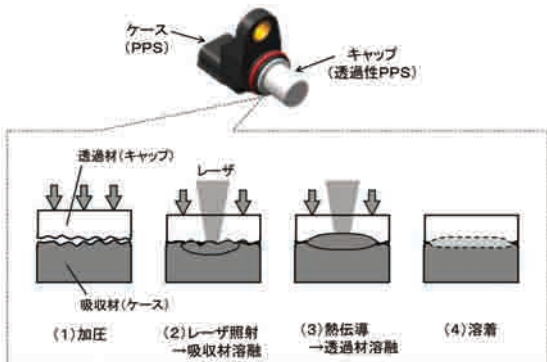


Fig. 18 Structure of the Magnetic Sensor Using Laser Transmission Welding

### 2.1.4 その他新規センサ

これらに加え新たなセンサとして，湿度センサがある。湿度センサは透湿膜をチップにもつ構造で，Fig. 19に示すごとく，センサ素子は樹脂パッケージ内に実装され，さらにその素子をプリント板実装する構造である。センサ素子構造は，センサチップ上の電極間の電気抵抗もしくは電気容量を測定するものである。

今後のセンサ製品動向として，車室内快適性と環境との両立を目指すのに必要な光，湿度などのセンサ製品が増加すると考えられ，最適な実装構造を考案する必要がある。

また，WLP (Wafer Level Package) を活用したセンサデバイスも多く提案されており，そのセンサ構造に適した実装構造も開発していかなければならない。今までは，性能，品質重視の実装構造であったが，これらの技術を活用し，価格も含めた製品競争力を高めるための製造方法にもメスを入れた実装技術開発に進める必要がある。

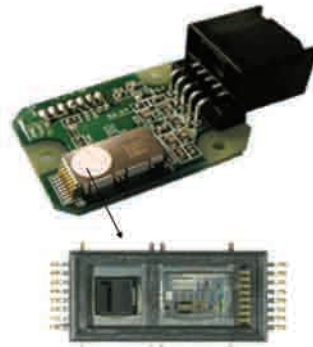


Fig. 19 Humidity Sensor

### <参考文献>

- 1) 松橋：車載用半導体センサ入門，2010年，三松（株）
- 2) Takahiko Yoshida "Automotive Semiconductor Sensor and Packaging Technology"IMAPS 2007
- 3) Touma Fujikawa "MEMS for Automotive Electronics System" Proceedings of the 10th International Micromachine / Nanotech Symposium p11, 2004
- 4) 鈴木康利 "車載半導体センサ技術の動向" デンソーテクニカルレビュー Vol.9 No.2 2004
- 5) 河口，藤本他：「DEVELOPMENT OF YAW RATE SENSOR FOR PREVENTIVE SAFETY SYSTEM」F2012-F08-008

---

<著 者>



齋藤 隆重  
(さいとう たかしげ)  
半導体実装開発部 第3開発室  
半導体センサの実装技術開発に  
従事