第 6.5 代车载用高压传感器

6.5th-Generation Automotive High Pressure Sensors

佐藤 荣亮 SATO, Eisuke　　上野 文也 UENO, Fumiya　　鹈泽 良平 UZAWA, Ryohei

为了应对近年来的环境管制及降低油耗，对于作为内燃机的汽油或柴油引擎，高精度控制技术的使用和以缩小尺寸为目的的高密度安装一直在不断发展。因此，对于车载用高压传感器，提出了更高的精度和保证高温运行的要求。为满足这些要求，富士电机开发了第 6.5 代车载用高压传感器。本产品的特点是采用了金属基板封装来确保高耐压性，和在高温高压环境下也能运行并保证精度的传感器芯片相结合。而且，通过采用小型化技术以及重新设计电路布局，实现了传感器的小型化并保证了150℃的运行温度。

To respond to environmental regulations and fuel consumption improvement in recent years, high-precision control technology is being applied to internal combustion engines, namely gasoline and diesel engines, and high-density mounting is being adopted to achieve downsizing. As a result, automotive high-pressure sensors are required to achieve high precision and a high guaranteed operating temperature. To meet these needs, Fuji Electric has developed a 6.5th-generation high-pressure sensor for automotive applications. The product is characterized by its integration of a metal based package that ensures a high breakdown voltage with the sensor chip that guarantees operation and precision even under high temperature and pressure. The sensor has achieves miniaturization and guarantees operation at 150°C using miniaturization technology and revised circuit layout.

1 引言

现在，由于尾气作为大气污染物质受到管制，CO_2 的排放也受到管制等背景影响，不仅要求汽车具备安全性和舒适性，对降低环境压力的诉求也日益强烈。为满足这些管制要求，对于混合动力汽车（HEV）、电动汽车（EV）、燃料电池汽车（FCV）等电动车辆的控制系统的开发工作不断加快。另一方面，传统内燃机也在不断通过高精度控制技术来降低环境压力。

车载用压力传感器分为测定范围不到 1 MPa 的低压传感器和 1 MPa 以上的高压传感器。在以汽油引擎或柴油引擎为内燃机的结构中，在通过精密控制吸气量和燃料的混合比来改善油耗的系统，以及通过使燃烧后的气体再循环从而减少大气污染物质的排放量并净化尾气的系统中，低压传感器的用途越来越广泛。高压传感器则被用于汽车的引擎、传动装置、动力转向装置、制动器等的油压控制部，帮助改善油耗及提高安全性。

1984 年，富士电机开始了批量生产车载用压力传感器。自此之后，富士电机的产品不断提高检测精度，实现了在恶劣的车载环境下的高可靠性，被日本国内外的汽车所采用。从 2005 年开始，以 CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）工艺为基础的第 5 代数字修整型压力传感器提高了检测精度，从 2010 年则开始批量生产了小型化且提高了抗干扰性的第 6 代压力传感器[1]。

本文将对第 6.5 代车载用高压传感器进行说明，这一代产品针对传统引擎油压用第 5 代车载用高压传感器进行了改良，保证了在伴随引擎小型化出现的高温环境下的精度。

2 压力传感器概要

2.1 车载用压力传感器的用途

图 1 是车载用低压传感器的用途，**图 2** 是车载用高压传感器的用途。在改善汽车油耗的电子燃料喷射系统中，使用了测定吸气压的 MAP（Manifold Absolute Pressure）传感器，以及带温度检测功能的 TMAP（Temperature Manifold Absolute Pressure）传感器。此外，例如防止汽车在高海拔路上行驶时油耗恶化的高海拔校正用大气压（Barometric）传感器、检测吸气系统空气过滤盒（Air Filter Box）堵塞的压力传感器、搭载于涡轮引擎中的增压检测用传感器等，以改善油耗为目的的压力传感器的使用非常广泛。

另外，还有 DPF（Diesel Particulate Filter）堵塞检测用压力传感器以及尾气再利用系统 EGR（Exhaust Gas Recirculation）用传感器，均是为应对日本尾气管制的强化和欧洲以 Euro6 为代表的尾气管制的强化而推出的产品。

除上述以外，作为应对安全面管制的压力传感器，还有欧美的油箱漏油检测用油箱压传感器（Fuel Tank Pressure Sensor）等。

高压力检测方面，为了改善油耗，汽车厂商越来越多地搭载了小型化引擎，搭载于柴油引擎、直喷引擎中的燃料压力传感器的需求也在增加。另外，为改善油耗，传动装置的小型轻量化及高功能化不断发展，已开始搭载多个压力传感器。而且，用于引擎油压（1 ～ 3 MPa）检测等油压系统方面的使用需求也在增加，高压传感器的需求正在急速扩大[2]。

2.2 车载用压力传感器的搭载环境

近年来，尤其是为了改善油耗，通过引擎小型化进行的高密度安装不断发展。为此，压力传感器要求具有更高的精度并能保证高温运行，并且进一步要求具有 EMC（Electro-

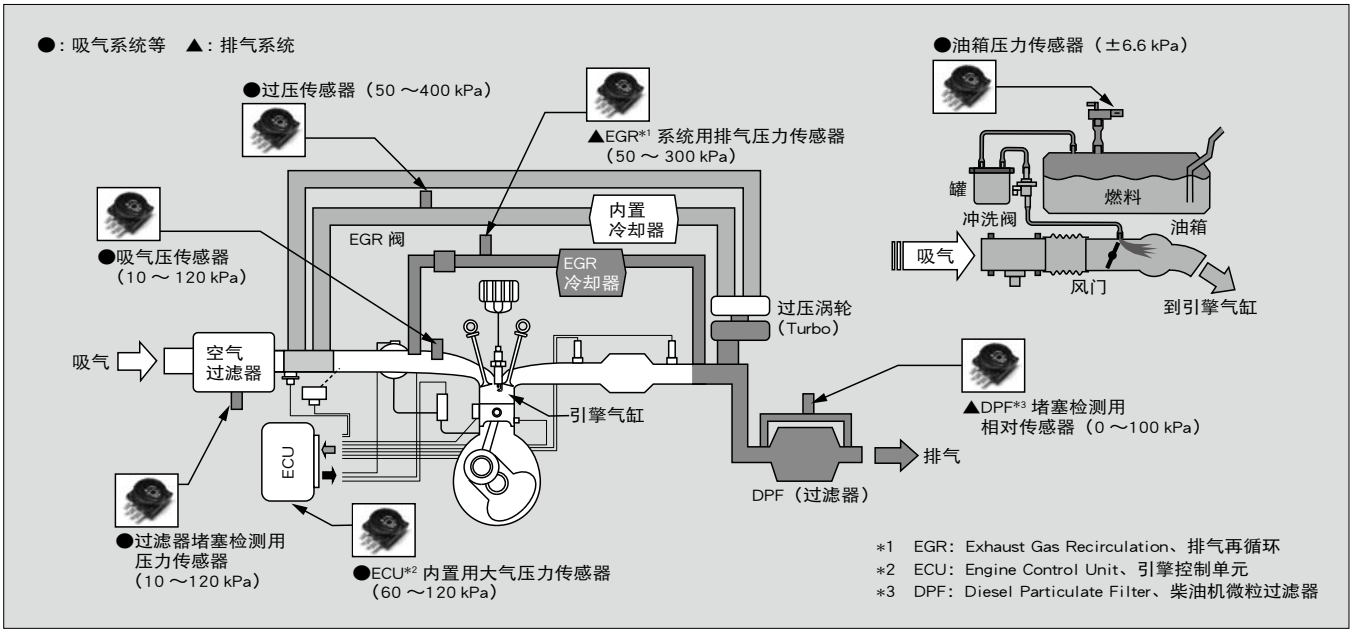

图 1　车载用低压传感器的用途

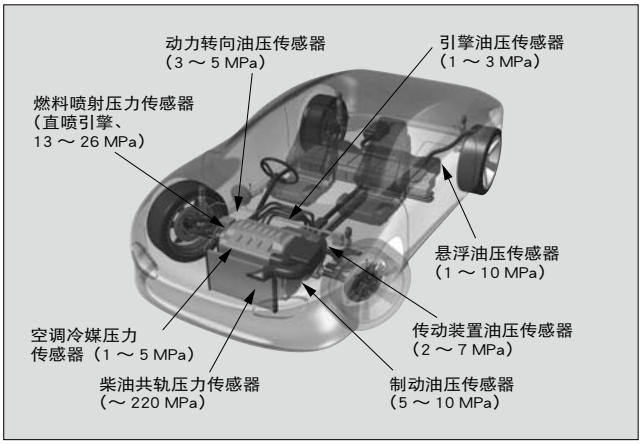

图 2　车载用高压传感器的用途

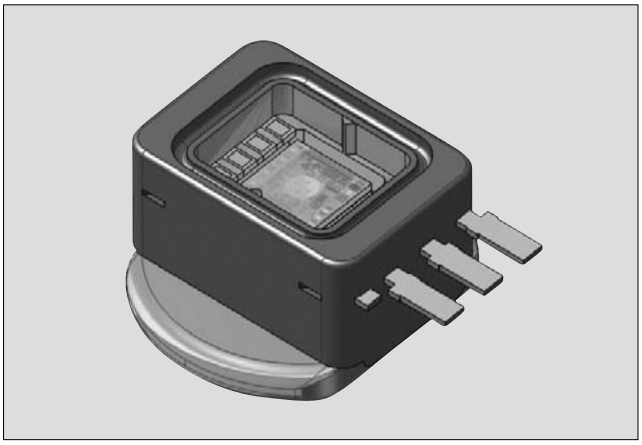

图 3　车载用高压传感器

magnetic Compatibility：电磁兼容性），即对周围的各种电子设备产生的电磁的抗干扰性。另外，根据不同的用途，也需要高耐压性、耐腐蚀性、带电性等附加功能。

3　第 6.5 代车载用高压传感器的产品概要

第 6.5 代车载用高压传感器为了适应高压力及在高温环境下使用，其结构如**图 3** 所示。

具体而言，本产品的特点是采用了金属基板封装来确保高耐压性，和在高温高压环境下也能运行并保证精度的传感器芯片相结合。

3.1　采用金属基板的高耐压封装

低压用压力传感器的封装，将用于与传感器芯片电连接的引线框架一体成型在 PPS（聚苯硫醚）树脂上。但是，施加高压力时，PPS 树脂自身的耐压强度不足。车载用高压传感器为了解决该问题，承受压力的部分采用了金属基板，从而提高了传感器整体结构的耐压性。**图 4** 是高压传感器的

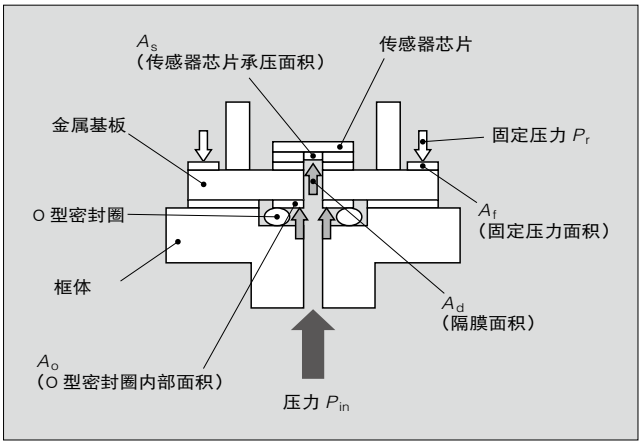

图 4　高压传感器以及安装状态的模式图

结构以及将安装状态模式化后的结构。图中显示了施加压力时的压力承受部分（面积 A_o、A_s）和相应的反作用力部分（面积 A_f）。另外，**图 5** 是高压传感器的安装示例。这里显示的框体表示高压传感器的安装侧，高压传感器被该框体和

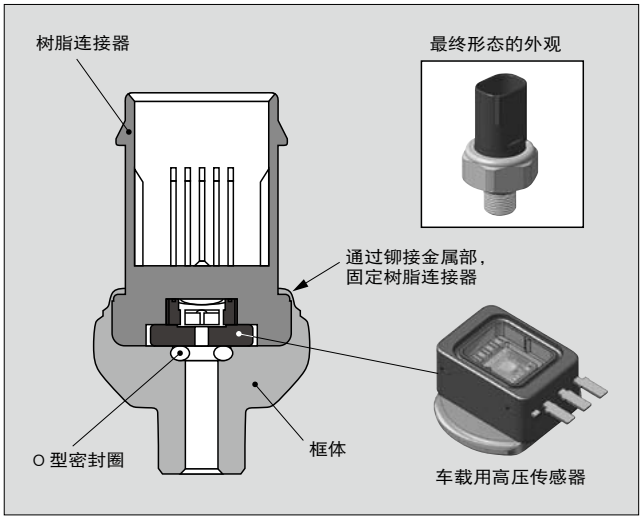

图 5　高压传感器的安装示例

框体上方的夹持器具固定，气密性则由框体和高压传感器之间的 O 型密封圈确保。

由于该高压传感器靠固定器具的反作用力固定，因此施加压力和固定载荷的关系由下列公式表示。

(1)　施加压力与固定载荷

$$F=P_{in}\cdot(A_o+A_s)=P_r\cdot A_f \quad \cdots\cdots(1)$$

F ：固定载荷
P_{in}：施加压力
A_o：O 型密封圈内部面积
A_s：传感器芯片承压面积
P_r ：固定压力
A_f ：固定压力面积

根据公式(1)，可以置换为固定压力 $P_r=P_{in}\cdot(A_o+A_s)/A_f$，但在实际结构中由于 $(A_o+A_s)/A_f$ 非常小，因此可以减小固定压力 P_r，从而实现高压传感器固定器具的小型化，进而实现整体结构的小型化。

另外，施加压力 P_{in} 时对各部分材料（传感器芯片和金属基板的粘合剂，金属基板主体）所要求的机械强度，在考虑了各自的应力平衡后，可用下面的公式表示。

(2)　针对施加压力的结构设计

$$P_{in}\cdot(A_d+A_s)<\sigma_m\cdot A_f \quad \cdots\cdots(2)$$

P_{in}：压力
A_d ：隔膜面积
A_s ：传感器芯片粘合面积
σ_m：金属基板弹性界限应力
A_f ：固定压力面积

$$P_{in}\cdot A_d<\sigma_s\cdot A_s \quad \cdots\cdots(3)$$

P_{in}：压力
A_d ：隔膜面积
σ_s：接合部材料破损应力（这里是粘合剂）
A_s ：传感器芯片粘合面积

另外，汽车的温度环境为 −40 ～＋150 ℃，范围很大，因此设计时需要考虑各部分材料热膨胀系数不同所产生的应力。尤其是对于传感器芯片和金属基板之间产生的应力，粘合剂以及金属基板的材质选择是关键。

在高压传感器的封装设计中通过制作 FEM 解析模型，对施加压力 P_{in} 时的变形与应力分布、温度变化时的热应力变形与应力分布进行了解析。**图 6** 是 FEM 解析模型图，**图 7** 是 FEM 解析结果。根据该计算结果决定各部分材料的材质以及结构尺寸[(3)]。

3．2　支持高温运行的传感器芯片

富士电机的压力传感器芯片一直以来都以全面整合压力检测、特性补偿、信号处理、保护电路、故障诊断、EMC 保护性能等功能的“All in one chip”为基本理念，开发了融入高精度化技术的产品。

压力传感器芯片的基本运行情况如下所示。利用富士电机独创的蚀刻技术，将硅的一部分加工成薄膜，形成的该隔

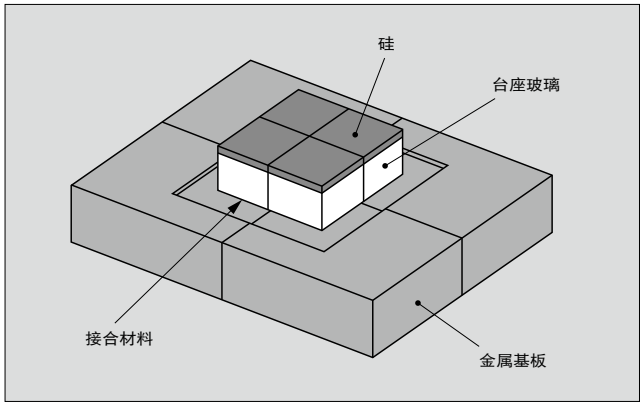

图 6　FEM 解析模型图

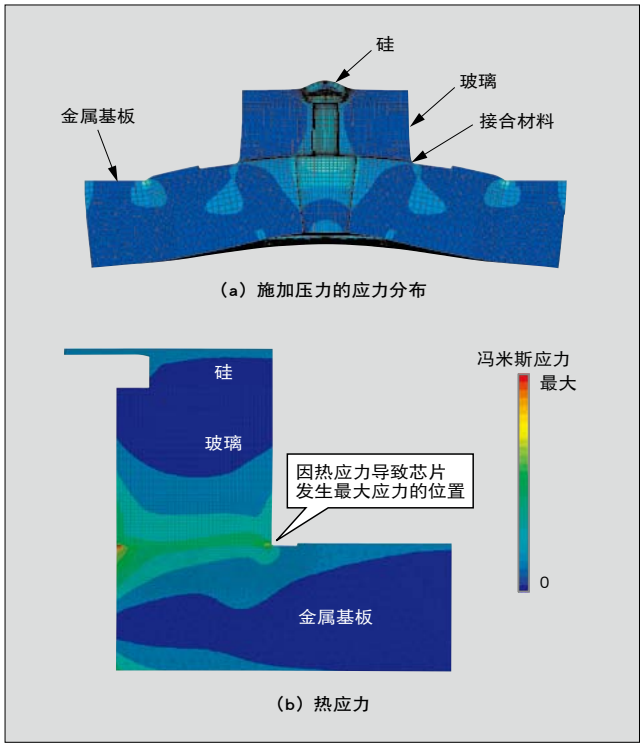

图 7　FEM 解析结果

膜会根据施加压力发生变形。此时，隔膜上配置的由扩散配线组成的四个压敏电阻的电阻值分别发生变化。压敏电阻构成的惠斯通电桥电路的平衡被打破，在输出端产生电位差。通过对该电位差进行放大输出，将施加压力转变为电气信号。**图 8** 是压力传感器的概要。

本次，为了对此前量产的第 5 代车载用高压传感器进行小型化，将运行保证温度提高到 150℃，开发了第 6.5 代车载用高压传感器的芯片。**图 9** 是第 6.5 代压力传感器和第 5 代压力传感器芯片的外观。

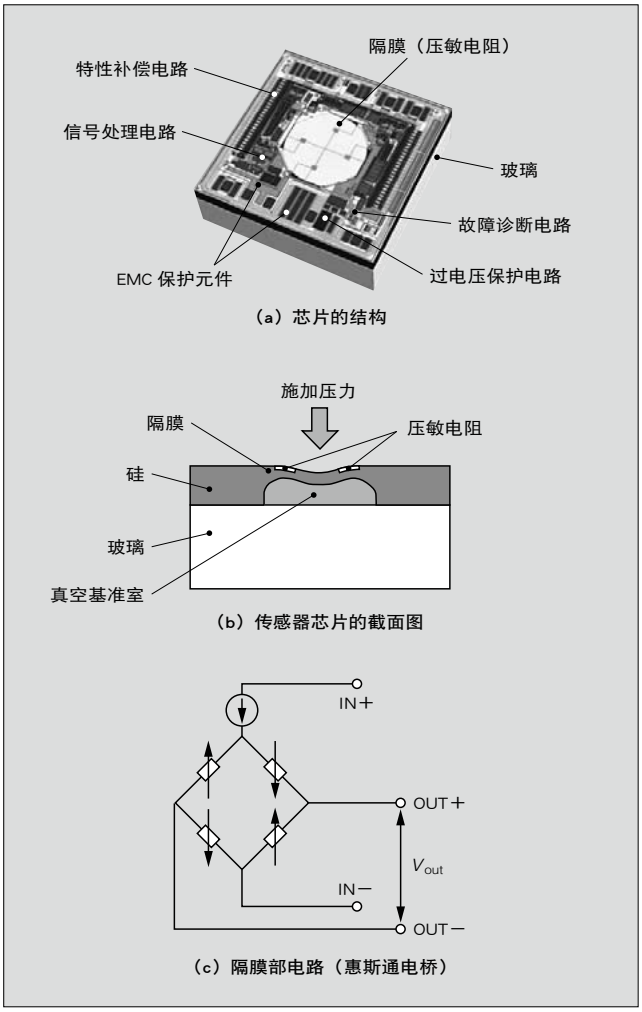

图 8　压力传感器芯片的概要

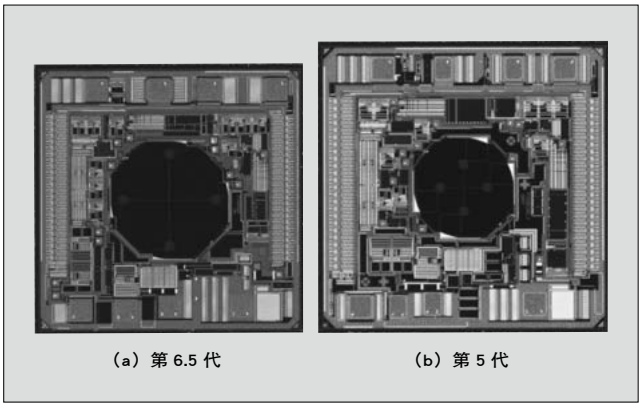

图 9　压力传感器的芯片外观

该芯片采用了第 6 代压力传感器所研发的隔膜的 CP 加工技术和电路缩小技术，与第 5 代芯片相比实现了 14% 的小型化（面积比）。另外，对隔膜的直径、厚度、计量电阻的配置位置进行了优化，改善了输出的线性特性。而且，通过优化**图 10** 所示的各个电路块的温度特性，抑制了高温运行区的特性劣化，实现了对 150℃的精度保证（**图 11**）。

图 12 是本产品的压力 – 输出特性图。线束断线时，通过传感器输出到诊断电压区，上级系统可检测到故障。另一方面，施加过大压力或过小压力时，输出到诊断电压区可能会误检测为断线。本产品通过搭载钳位输出电压的电路，切实分离了诊断电压区和一般输出电压范围，具有防止误检测的钳位功能。

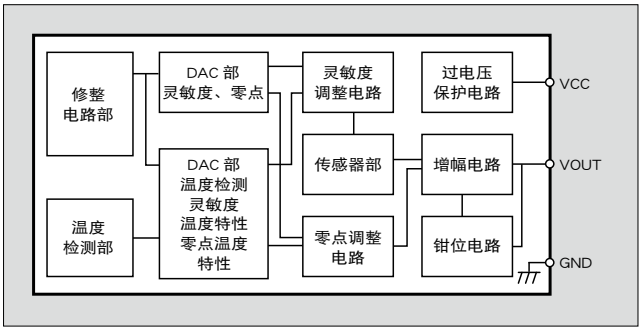

图 10　第 6.5 代车载用压力传感器的电路框图

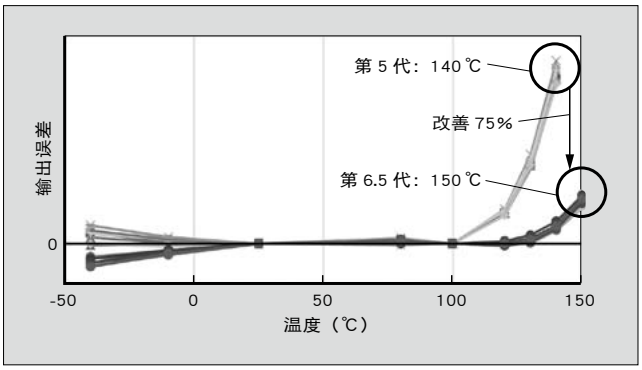

图 11　输出误差温度特性

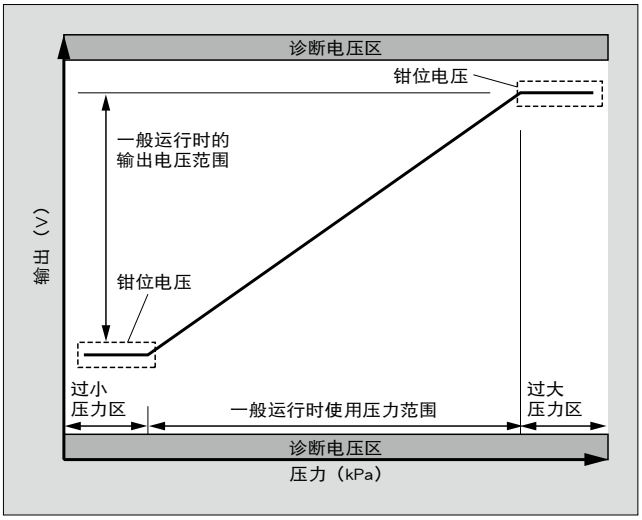

图 12　第 6.5 代车载用压力传感器的压力 – 输出特性图

表 1　第 6.5 代车载用高压传感器的规格

项目		规格
产品尺寸（树脂部）		W7.5×H10.0×D5.6（mm）
使用温度范围		-40～＋150 ℃
使用压力范围（引擎油压）		0 ～ 1MPa
额定压力		压力范围 ×3 倍
电源电压		5±0.25 V
输出电压（电源电压 5 V 时）		0.5～4.5 V
灌电流和拉电流能力		灌电流 1mA，拉电流 0.1mA
钳位功能		钳位电压 0.35 V/4.65 V（typ.）
加压方向		背面加压
ESD（外部接口端子）		
	MM（0 Ω，200 pF）	±1kV 以上
	HBM（1.5Ω，100 pF）	±8 kV 以上
过渡电压浪涌		ISO 7637（2011）标准 Pulse1，2，3a，3b 满足 LEVEL- Ⅲ
脉冲		±1kV 以上
闩锁效应（电流注入法）		±500 mA 以上
过电压（VCC～GND 间）		16.5 V（max.）
逆接（VCC～GND 间）		0.3 A（max.）

表 1 是第 6.5 代车载用高压传感器的规格。

4　后记

本文对第 6.5 代车载用高压传感器进行了介绍。未来该产品不仅可用于引擎油压检测，还可延伸到其他高压用途（～ 4 MPa）。在向日本国内外推广产品之际，对于压力传感器，从改善油耗、满足环境管制和安全管制方面来看，预计对提升产品性能的严格要求将加快。为满足这些市场要求，富士电机今后将继续开发市场所需要的产品。

参考文献

⑴　西川睦雄ほか. 第 6 世代小型圧力センサ. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.420-424.
⑵　株式会社矢野経済研究所. 車載用センサの世界市場に関する調査結果 2015.
⑶　上柳勝道ほか. ワンチップ技術による高圧センサ. 富士時報. 2004, vol.77, no.5, p.330-333.
⑷　鹈泽良平等. 第 6.5 代车载用压力传感器. 富士电机技术期刊. 2018, vol.C10, no.1, p.28-31.

佐藤　荣亮
从事半导体压力传感器的设计和开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装分立器件部。

上野　文也
从事半导体压力传感器的设计和开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装分立器件部。

鹈泽　良平
从事半导体压力传感器的设计和开发、半导体工艺技术。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部生产统括部松本工厂芯片制造技术部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。