

車載用第 5 世代 IPS 「F5202H」

“F5202H” 5th-Generation Intelligent Power Switch for Automotive Applications

岩田 英樹 IWATA, Hideki

豊田 善昭 TOYODA, Yoshiaki

中村 賢平 NAKAMURA, Kenpei

近年、自動車の電動化による電子制御システムの大規模化に伴い、各部品への小型・高放熱化が継続的に求められている。この要求に応えるため、富士電機は車載用第 5 世代 IPS 「F5202H」を開発した。負荷電流を高精度に検出するオペアンプを搭載しており、三重拡散構造デバイスの適用により、基本機能を維持したままチップサイズの従来比 45% 削減を実現した。また、小型・高放熱化に寄与する SON パッケージの採用により、パッケージ面積の 45% 削減、熱抵抗の 80% 低減を実現した。エンジンルーム内の過酷な環境下への搭載を想定し、車載向け集積回路 (IC) の信頼性規格 AEC-Q100 に準拠している。

As automobiles have been electrified, their electronic control system is becoming large scale. This has increased the demand for miniaturization and high heat dissipation in system components. It is against this backdrop that Fuji Electric developed the “F5202H” 5th-generation intelligent power switch (IPS) for automotive applications. The F5202H comes with an operational amplifier that detects load currents with high accuracy, and utilizes a device with a triple-diffused structure. As a result, it has reduced a chip size by 45%, while maintaining the same basic functions. Furthermore, it uses a small outline non-leaded (SON) package to contribute to miniaturization and high heat dissipation, reducing the package size by 45% and thermal resistance by 80%. The F5202H is designed to be used in the harsh environments of engine compartments and complies with the AEC-Q100 reliability standard for automotive electronic components.

1 まえがき

現在、自動車は電動化・自動化・IT 化の流れの中で、電子制御システムの大規模化が進んでいる。そのため、システムに搭載される各部品の小型化や高放熱化が継続的に求められている。また、電動車が増加する中、内燃機関であるエンジンを搭載したハイブリッド自動車 (HEV: Hybrid Electric Vehicle) やプラグインハイブリッド自動車 (PHV: Plug-in Hybrid Vehicle) などの自動車の販売台数も増加傾向にある。

富士電機は、このエンジンやトランスミッションなどからなるパワートレインの油圧制御システムの電磁弁や、排気ガス再循環 (EGR: Exhaust Gas Recirculation) システムのモータなど、負荷を駆動する電流をオン・オフ制御する IPS (Intelligent Power Switch) 製品を開発し、量産してきた。出力段に用いる縦型パワー MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) と制御・保護回路に用いる横型パワー MOSFET を一つのチップ上に集積している。これらの回路に加え、燃費向上や排出ガス低減のために負荷電流を高精度に検出するオペアンプを内蔵した IPS を開発し、量産してきた。

このたび、さらなる電子制御システムの小型・高放熱化に貢献する車載用第 5 世代 IPS 「F5202H」を開発したので、その内容について述べる。

2 製品の特徴

F5202H の外観を図 1 に、従来品とのパッケージ内部構造の比較を図 2 に示す。SOP (Small Outline Package) パッケージを採用した従来製品の「F5106H」では、図

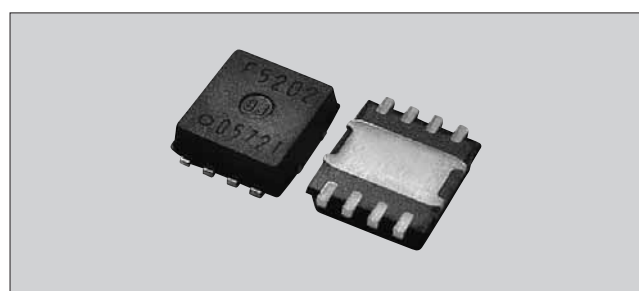


図 1 「F5202H」の外観

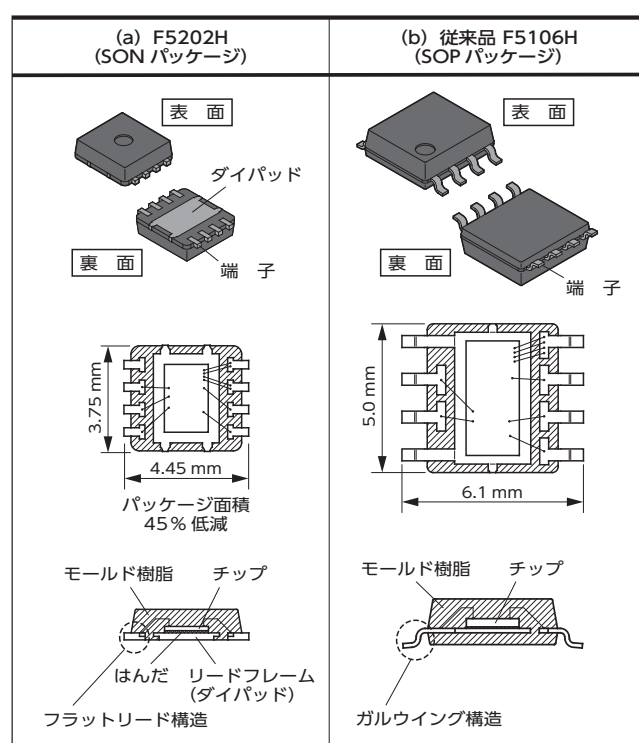


図 2 パッケージの外観と内部構造の比較

2(b)に示すようにリード部がガルウイング構造であるため左右に突き出している。一方、SON (Small Outline Non-ledged) パッケージを採用した本製品 F5202H では、図 2 (a)に示すようにパッケージ裏面と平行に配置したフラットリード構造と端子飛出し長さを最小化したノンリード構造の特徴を併せ持っている。また、チップを搭載したダイパッドが裏面で露出している。そのため F5202H は、従来パッケージと比べて小型で、実装面積を削減できる。さらに、チップを搭載したダイパッドが裏面で露出しているので基板に接続した際の放熱性が大幅に向上している。

回路ブロック図を図 3 に、使用例を図 4 に示す。F5202H は、次に述べる特徴と工夫により、従来品が持つ高い電流検出精度などの電気的特性を維持したままチップを小型化している。

- (a) 第5世代IPSデバイス・プロセス技術を適用して、電気的特性の基本性能を維持したまま、制御・保護回

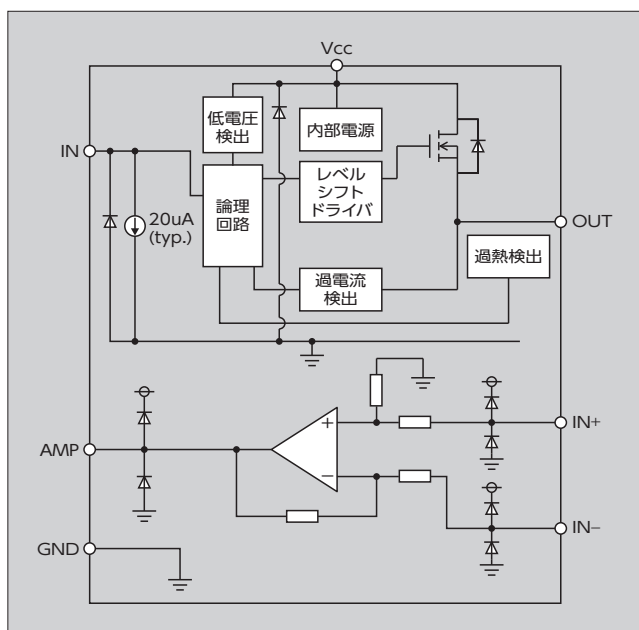


図3 「F5202H」の回路ブロック図

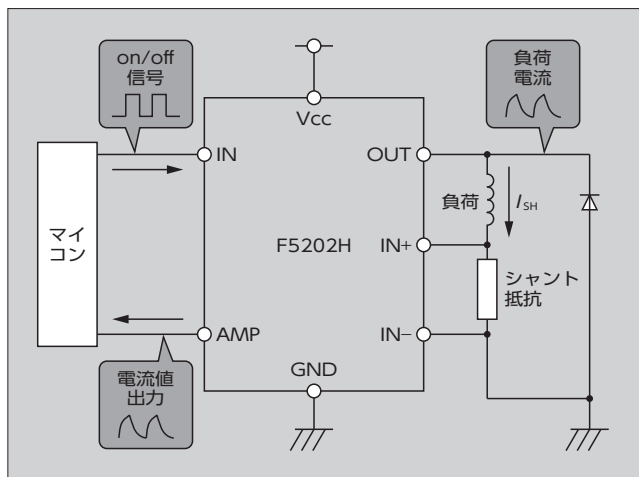


図4 「F5202H」の使用例

路、特にオペアンプ部の小型化を図り、チップサイズを従来比で 45% 削減した。

- (b) 小型で放熱性に優れた SON パッケージに搭載することで、従来品に比べてパッケージ面積を 45% 削減しながら熱抵抗を 80% 低減した。
- (c) 温度環境が過酷なエンジンルームに搭載されることを想定し、接合部温度 T_{vj} の最大定格は 175℃である。さらに、車載向け集積回路 (IC) の信頼性規格 AEC-Q100^(注) に準拠している。
- (d) 制御対象である油圧バルブなどに流れる負荷電流が 1A のときに $\pm 3.1\%$ の精度で検出する高精度オペアンプを内蔵している (図 3)。図 4 に示すように、外付けシャント抵抗の両端電位をオペアンプ入力に接続し、オペアンプで増幅された電圧をマイコンに出力することで、負荷電流をモニタする電子制御システムが構築できる。
- (e) 電源電圧 4V での低電圧動作が可能である。
- (f) システム異常に対する保護機能 (低電圧検出、過電流検出、過電流モード下出力電流発振、過熱検出) を内蔵し、素子の破壊を防止する。
- (g) 低インピーダンスサージ吸収用ツェナーダイオードを内蔵し、高い ESD (Electrostatic Discharge) 耐量を確保している。

このような工夫により、F5202H はパッケージの小型化と放熱性が向上したので電子制御システムの一層の小型・高放熱化に貢献する。

③ 電気的特性

3.1 IPS 部とオペアンプ部の電気的特性

IPS 部の電気的特性を表 1 に、オペアンプ部の電気的特性を表 2 に示す。F5202H は小型化したにもかかわらず、従来品である F5106H と同等の電気的特性を持っている。

3.2 オペアンプ部

負荷電流 I_{SH} がシャント抵抗 R_{SH} を流れるときの電圧降下として負荷に流れる電流を検出する。オペアンプでは、この電圧降下分がオペアンプ入力電圧 V_{IN+} として入力され、8 倍に増幅し出力電圧として出力する。電流検出精度は、例えば、 $I_{SH}=1A$ ($R_{SH}=0.25\Omega$) の電流値では $\pm 3.1\%$ で負荷電流をモニタすることが可能である。一般的にオペアンプを小型化すると精度が悪化する。しかし、今回は小型化したにもかかわらず、次に示す 3 項目を実施することで $-40 \sim +175^\circ C$ の広い温度範囲で従来品と同等の高い電流検出精度を確保した。

- (a) オペアンプの差動増幅部は、4 章で述べるよう

〈注〉 AEC : Automotive Electronics Council の略で、車載向け電子部品の標準化団体である。Q100 は、集積回路 (IC) の部品カテゴリに関わる規格である。

表 1 IPS 部の電気的特性

項 目	記 号	条 件	規格値			単 位
			min.	typ.	max.	
動作電源電圧	V_{CC}	V_{CC} =低下時	3.6	—	16	V
		V_{CC} =上昇時	3.8	—	16	V
低電圧検出	UV_1	$V_{IN}=5\text{ V}$ 、 V_{CC} =低下時	—	3.0	3.6	V
低電圧復帰	UV_2	$V_{IN}=5\text{ V}$ 、 V_{CC} =上昇時	—	3.2	3.8	V
静止電源電流	$I_{CC(L)1}$	$V_{IN}=0\text{ V}$ 、 $R_L=10\ \Omega$	—	0.26	0.8	mA
入力スレッショルド電圧 (ヒステリシス有)	V_{IN}	$V_{CC}=4.5\sim 16\text{ V}$ 、 $R_L=10\ \Omega$	1.5	—	2.8	V
入力電流	$I_{IN(H)}$	$V_{IN}=5\text{ V}$	—	20	—	μA
オン抵抗	$r_{DS(on)}$	$T_{vj}=25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUT}=1.5\text{ A}$	—	0.08	—	Ω
		$T_{vj}=175\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUT}=1.5\text{ A}$	—	0.17	—	Ω
過電流検出	I_{OC}	$V_{CC}=13\text{ V}$ 、 $V_{IN}=5\text{ V}$	2	—	7	A
過熱検出 (ヒステリシス有)	T_{trip}	$V_{IN}=5\text{ V}$	175	—	207	$^\circ\text{C}$
オン時伝達遅延時間	T_{ACCON}	$V_{CC}=13\text{ V}$ 、 $V_{IN}=5\text{ V}$ 、 $V_{IN}=0\text{ V}$ $R_L=10\ \Omega$	—	10	—	μs
オフ時伝達遅延時間	T_{ACCOFF}		—	20	—	μs
ターンオン時間	t_{on}		—	20	—	μs
ターンオフ時間	t_{off}		—	10	—	μs

*特記なき場合は、 $T_{vj}=-40\sim +175\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=8\sim 16\text{ V}$ とする。

表 2 オペアンプ部の電気的特性

項 目	記 号	条 件	規格値			単 位
			min.	typ.	max.	
電源電圧変動除去比	PSRR	DC	80	—	—	dB
AMP出力電圧範囲	V_{OH}	$R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$	0	—	5	V
AMP出力クランプ電圧	V_{ACL}	$R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$	5	—	7	V
AMP出力電流	$I_{AMP(SOURCE)}$	$V_{IN+}=375\text{ mV}$ 時 $V_{AMP}=V_{OAMP}$ $V_{AMP}=0.977*V_{OAMP}$	-10	—	-0.1	mA
	$I_{AMP(SINK)}$	$V_{IN+}=375\text{ mV}$ 時 $V_{AMP}=V_{OAMP}$ $V_{AMP}=1.023*V_{OAMP}$	0.1	—	10	mA
AMPスルーレート	SR	$R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$ $V_{IN+}=0.625\text{ V}$	—	0.9	2	V/ μs
ゲイン	G	—	—	8	—	倍
電流検出精度1	I_{sns5}	$V_{IN+}=250\text{ mV}$ $R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$	-3.1	—	3.1	%
電流検出精度2	I_{sns11}	$V_{IN+}=250\text{ mV}$ $V_{CC}=14\pm 1\text{ V}$ $R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$ $T_{vj}=25\text{ }^\circ\text{C}$	-2.1	—	2.1	%
通常動作時 AMP出力電圧範囲	V_{OAMP}	$V_{IN+}=12.5\sim 375\text{ mV}$ $V_{CC}=4\sim 16\text{ V}$	0.053	—	3.947	V
	V_{OAMP0}	$V_{IN+}=0\text{ mV}$ $V_{CC}=4\sim 16\text{ V}$	-0.053	—	0.053	V

*特記なき場合は、 $T_{vj}=-40\sim +175\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=8\sim 16\text{ V}$ とする。

に第 4 世代技術の中耐圧横型 p チャネル MOSFET (PMOS) の代わりに、第 5 世代 IPS デバイス・プロセス技術である三重拡散構造を持つ低耐圧横型 p チャネル MOSFET を採用した。この第 5 世代技術により、差動増幅部を構成する MOSFET 群を近接して配置できるので、高い電流検出精度を維持したまま、チップを小型化できるようになった。

(b) 差動増幅部にコモンセントロイドレイアウトを採用し、電流検出精度のばらつきを低減している。

(c) 電流を検出する精度のばらつきを補正するトリミング回路を見直して、テストパッド数とデコーダ回路を削減した。これによりチップを小型化した。

④ 第 5 世代 IPS デバイス・プロセス技術

4.1 技術の概要

従来品では、第 4 世代 IPS デバイス・プロセス技術⁽²⁾⁽³⁾を適用することで、主に出力段パワー MOSFET をプ

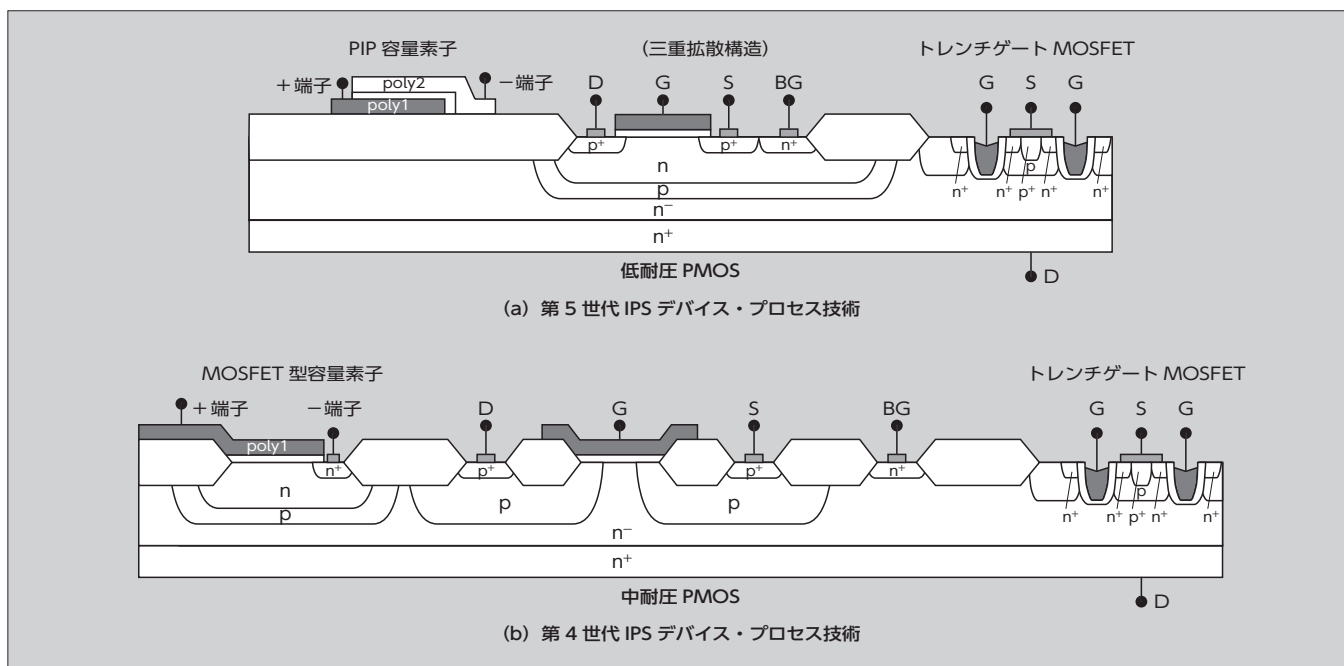


図5 オペアンプと出力段の主要デバイス・プロセス技術の比較

レーナゲート型からトレンチゲート型に変更してチップを小型化した。F5202Hでは、第5世代IPSデバイス・プロセス技術を適用することで、三重拡散構造を持った低耐圧横型pチャネルMOSFETとPIP（Polysilicon-Insulator-Polysilicon）容量素子を採用して制御回路を小型化した。

4.2 低耐圧横型pチャネルMOSFET（PMOS）

第4世代IPSデバイス・プロセス技術では図5(b)に示すように、PMOSはバックゲート層として n^- 基板を使用していたため、バックゲート電位が必然的に縦型トレンチMOSFETのドレイン電位（電子制御システムのバッテリー電位）に固定され、バックゲートと各ノード間に高電圧が印加されていた。そのため、第4世代IPSのオペアンプなどの回路にはこの高電圧に耐えられるように、各ノードに高い耐圧構造を持つ中耐圧PMOSを採用する必要があり、回路面積の増加につながっていた。

そこで、第5世代IPSデバイス・プロセス技術では、三重拡散構造の低耐圧PMOSを開発した。三重拡散構造のp層により、バックゲートと各ノード間に高電圧が印加されない構造となったので、従来の中耐圧PMOSに代わって小型の低耐圧PMOSが使えるようになり回路面積を縮小できるようになった。

4.3 三重拡散構造

三重拡散構造では、拡散層間の耐圧を確保するために、従来よりも深い拡散層を形成する必要がある。第5世代IPSデバイス・プロセス技術では、従来の第4世代IPSデバイス・プロセス技術の熱処理条件に変更を加えることなく深い拡散層を形成できるように、イオン注入の加速電圧条件を最適化した。そのため、従来の第4世代IPSか

ら変更の必要がないデバイスに関しては、特性を維持したまま第5世代IPSにおいても使用できる。その結果、従来の製品仕様からの変更を最小限に抑えて、置き換えを容易にしている。

4.4 PIP容量素子

所望のオペアンプ特性を実現するために不可欠な容量素子として、従来はMOSFET型容量素子を使っていた。しかし、この容量素子ではガードリング構造が必要な上、印加電圧によって容量が変動するので、素子面積を大きくする必要があった。

第5世代IPSデバイス・プロセス技術では、絶縁膜厚の最適化と制御性を高めることで、ガードリング構造が不要で容量変動が少なく小面積化が可能なPIP容量素子を使用できるようにした。その結果IPSの小型化につながることができた。

5 SONパッケージ

5.1 SONパッケージによる小型・高放熱化

F5202Hでは、SONパッケージを採用した。従来品F5106H（SOPパッケージ）に比べ、図6に示すようにパッケージ面積を45%削減した。また、チップを搭載したダイパッド（縦型トレンチMOSFETのドレイン電極）が裏面で露出しているため、基板に接続した際の放熱性が大幅に向上し、熱抵抗を80%低減している。

5.2 AEC-Q100準拠

F5202Hはエンジンルーム内の過酷な環境下で使用されることを想定し、車載向け集積回路（IC）の信頼性規格AEC-Q100に準拠している。熱応力耐性を確保して温

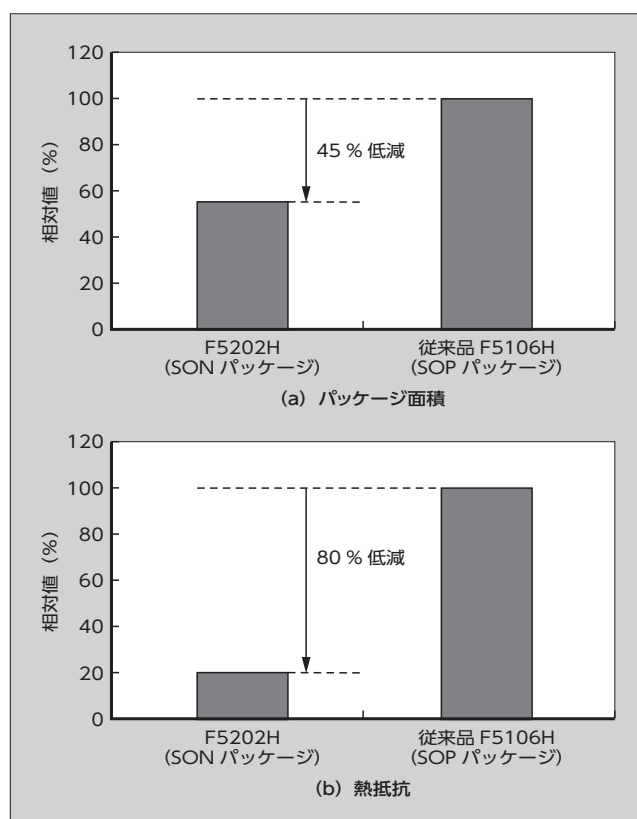


図6 SONパッケージと従来のSOPパッケージの比較

度サイクル試験やパワー温度サイクル試験などの基準を満たすために、チップ厚さ、チップとリードフレームを接続するはんだ組成・厚さを最適化した。

さらに、高温環境下で長時間動作することを想定し $T_{vj}=175^{\circ}\text{C}$ 保証としている。そのために高信頼性ワイヤを採用し、ワイヤと電極パッド間の接合界面の信頼性を向上している。

⑥ あとがき

本稿では、車載電子制御システムの小型化、高放熱化に

貢献する、車載用第5世代IPS「F5202H」について述べた。今後は、周辺部品の取込みによる部品点数削減など、小型化、高機能化へのさらなる取組みを進め、自動車業界に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 中川翔ほか. ワンチップ リニア制御用IPS「F5106H」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.4, p.273-276.
- (2) 蔦坂浩志ほか. 車載用第4世代IPS「F5100シリーズ」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.440-444.
- (3) Toyoda, Y. "60 V-Class Power IC Technology for an Intelligent Power Switch with an Integrated Trench MOSFET". ISPSD. p.147-150, 2013.
- (4) 森澤由香ほか. 車載用ハイサイド2 in 1 IPS「F5114H」. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.4, p.275-278.



岩田 英樹

半導体デバイスの製品設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部電装事業部電装ディスクリート部主査。



豊田 善昭

半導体デバイスの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部デバイス開発部主査。



中村 賢平

半導体デバイスのパッケージ開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部パッケージ開発部。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。