

羽生 洋\*

Yo Habu

山本晃央\*

Akihisa Yamamoto

佐野昇平†

Shohei Sano

## 普及版600V HVIC“M81776FP”

Popular Edition 600V High Voltage Integrated Circuit "M81776FP"

### 要 旨

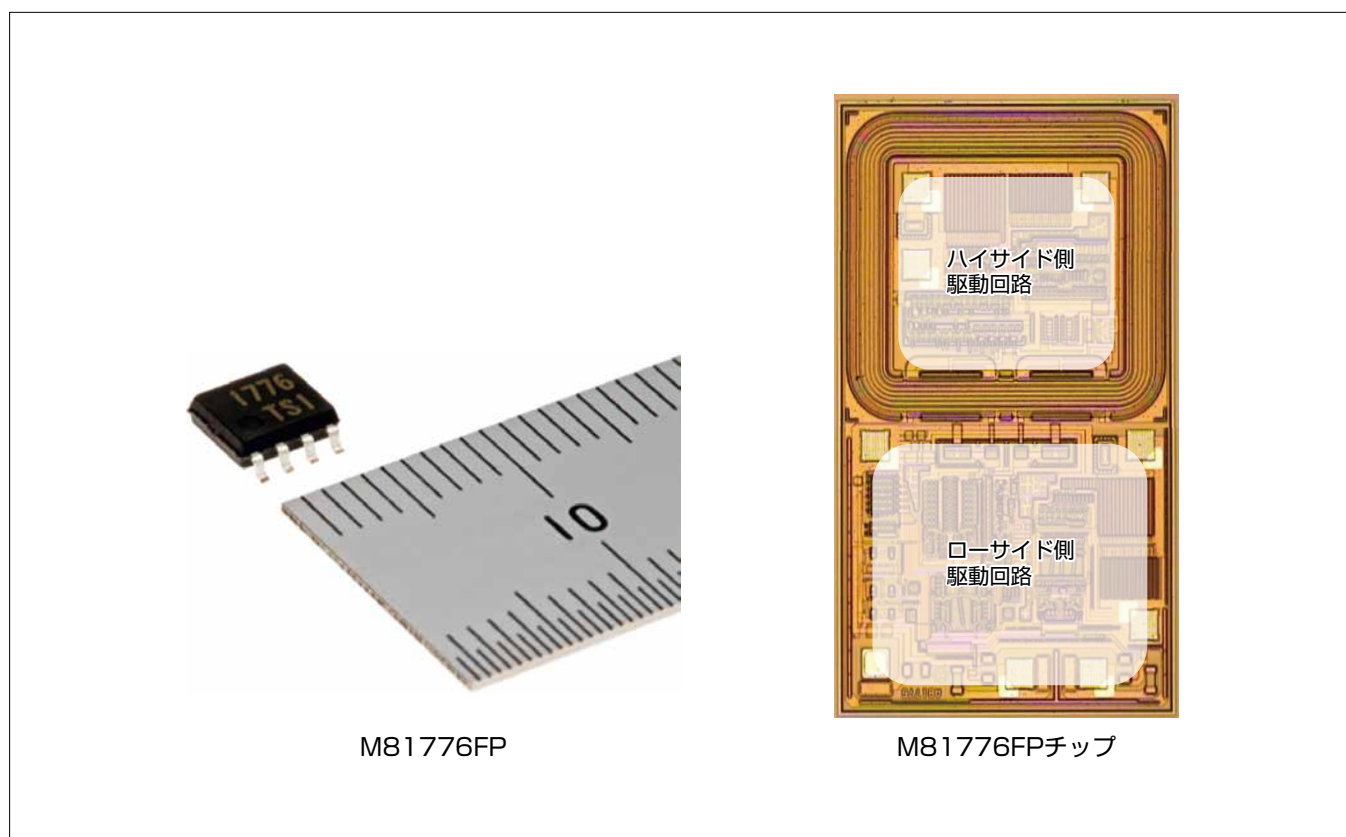
近年、世界的な地球環境保護基調の高まりを受け、省エネルギーや高性能化を目的に、電動自転車や家電製品、産業用機器でのモータ駆動部のインバータ化が進展している。これに伴い、インバータシステムで使用されるパワー半導体を駆動するHVIC(High Voltage Integrated Circuit)の需要も拡大している。また、日本では省エネ法に基づくトップランナー制度に2013年から産業用モータが追加され、モータのエネルギー効率向上に加え、インバータシステムにも小型化・低コスト化が求められるようになった。

三菱電機は今回、高いノイズ耐性と低価格化を両立させた“普及版600V耐圧ハーフブリッジドライバM81776FP”を開発した。これによって、インバータシステムの小型化

と更なる普及に貢献することを目的にしている。

このHVICの特長は次のとおりである。

- (1) サイズやピン配置などの互換性を確保し、従来のドライバICからの置き換えが容易になる。
- (2) 高いノイズ耐性と低価格化を両立させ、インバータシステムの信頼性を向上させた。
  - ①回路設計や材料の見直しによって、低価格化を実現
  - ②スイッチング時のラッチアップ誤動作を抑制する埋め込み層の採用によって、高いノイズ耐性を実現
  - ③フローティング回路内の構造最適化によって、ハイサイド側の信号伝達の精度を向上



### 600V HVIC“M81776FP”の外観及びチップ

高いノイズ耐性と低価格化を両立させた、“普及版600V耐圧ハーフブリッジドライバM81776FP”を開発した。インバータシステムの小型化と、更なる普及に貢献することを目的にしている。

## 1. ま え が き

近年、世界的な地球環境保護基調の高まりを受け、省エネルギーや高性能化を目的に、電動自転車や家電製品、産業用機器でのモータ駆動部のインバータ化が進展している。これに伴い、インバータシステムで使用されるパワー半導体を駆動するHVICの需要も拡大している。また、日本では省エネ法に基づくトップランナー制度に2013年から産業用モータが追加され、モータのエネルギー効率向上に加え、インバータシステムにも小型化・低コスト化が求められるようになった。

三菱電機のHVIC技術として、1997年に独自技術である分割リサーフ構造(第1世代)の開発によって1,200V HVICの製品化を開始した。2008年には第1世代分割リサーフ構造へN+埋め込み層の微細パターン形成によって、耐压・誤動作耐量を向上させた第2世代分割リサーフ構造を600Vクラスで開発・製品化を実施した<sup>(1)</sup>。また、この第2世代分割リサーフ構造に独自のフィールドプレート技術を適用し、耐压の1,200V化を実現し、製品化も進めている<sup>(2)</sup>。分割リサーフ構造は、HVICでの高圧レベルシフトと呼ばれる、ハイサイド回路を駆動する電圧レベルへの変換動作に用いるLDMOSFET(Laterally Double-diffused Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor)に適用する構造である。分割リサーフ構造の適用は耐压・誤動作耐量の向上と合わせて、チップ上で占有する面積が大幅に縮小され、チップコスト低減に大きく寄与する。このように性能(耐压)・品質(誤動作耐量)を維持・向上させ、さらに製造コストの低減(低価格化)との両立を図る活動を継続して行ってきた。

本稿では今回開発した高いノイズ耐性と低価格化を両立させた“普及版600VハーフブリッジドライバM81776FP”について製品概要、及び性能・品質と製品価格の両立化技術について述べる。

## 2. 普及版600Vハーフブリッジドライバ M81776FP

### 2.1 M81776FP機能及び従来製品との互換性

“普及版600VハーフブリッジドライバM81776FP”は基本機能に絞ったシンプルな回路構成であり、HVICのベーシックモデルとなる製品である。M81776FPの機能ブロック図を図1に示し、その機能を次に挙げる。

- (1) ハーフブリッジ駆動
- (2) 3.3V/5.0Vロジック入力対応インタフェース(HIN, LIN)

- (3) 入力インタロック(出力の同時オン防止)
- (4) 600Vの高圧レベルシフト回路
- (5) 出力電流能力(+200mA/-350mA)
- (6) 電源電圧低下保護回路(UV:VCC/VBS)

M81776FPは従来製品“M81706AFP/M81736FP”からの置き換えを容易にするためにサイズやピン配置、諸特性がコンパチブルとなるように設計している。

### 2.2 普及版としての製品開発

#### 2.2.1 チップサイズシュリンクによる低コスト化

図2に従来製品であるM81706AFP/M81736FPから今回開発したM81776FPに至るまでのチップサイズの変遷と、サイズシュリンクの経過を示す。

M81706AFPは三菱電機の第3世代ウェーハプロセスを適用しており内部回路を構成するCMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)のサイズも比較的大きい。また、第3世代ウェーハプロセスは高圧レベルシフトに用いるLDMOSFETに分割リサーフ構造が適用されていないため、チップ上での面積占有率が高くなっている。図に示す製品では、最も大きなチップサイズとなる。

M81736FPは三菱電機の第4世代ウェーハプロセスを適用しており、この世代から600V耐压ウェーハプロセスで第2世代分割リサーフ構造がLDMOSFETに適用され、

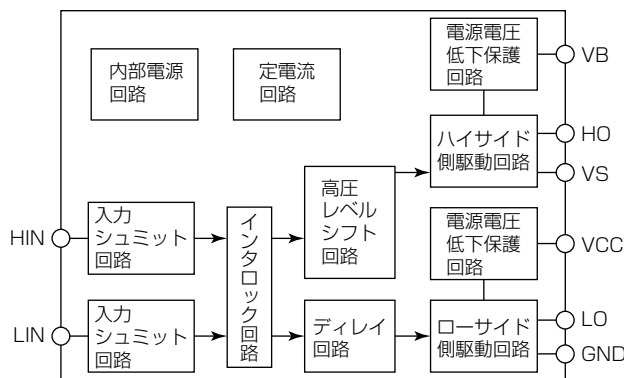


図1. M81776FPの機能ブロック図

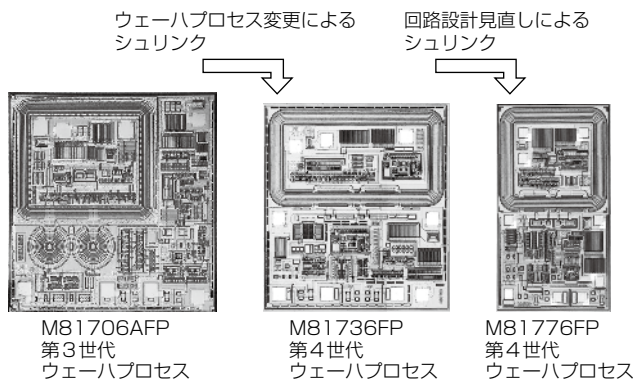


図2. HVICチップサイズの変遷

高圧レベルシフト回路部での面積占有率の改善が顕著になる。また、内部回路を構成するCMOSについてもデザインルールの微細化から縮小効果を得ることができ、前世代品M81706AFPと比較した場合にチップサイズがシュリンクされる。

今回開発したM81776FPは、M81736FPと同じく第4世代のウェーハプロセスを適用しているが、縮小効果は約30%以上を達成している。M81776FPはM81736FPとの特性コンパチブル製品ではあるが、HVIC内部回路構成について同一ではなく、チップコスト低減を目的とした回路設計の見直しを行っている。具体的内容を次に述べる。

#### (1) 内部回路を構成するCMOSの8V系素子適用拡大

HVIC内部回路のCMOSは、インバータシステムでよく用いる制御系電圧(VCC)15Vに対応するため、その耐圧が24Vになっている。耐圧を確保するために、二重拡散やオフセットゲート構造を採るが、サイズとしては大きくなる。チップサイズを縮小するために、サイズの小さな耐圧8V系素子で構成するCMOSの適用範囲拡大を行った。図3に耐圧別のCMOS断面構造を示す。8V系素子の適用範囲拡大には、CMOSの電源を内部電源(<8V)とする回路の範囲拡大が必要となる。図4に従来製品M81736FPと開発品M81776FPでの内部電源の適用範囲を、図5に内部回路に使用するトランジスタ数と耐圧別(8V/24V)の割合をそれぞれ示す。内部回路で使用するトランジスタの総数は、両品種共にほぼ同数であるが、サイズの小さい耐圧8V系素子の適用範囲を拡大することで、チップサイズ縮小の効果を得ている。また、内部電源は電源電圧(VCC)の依存性が少ない回路構成となっており、内部電源を適用した回路部では、特性の安定化という利点もある。

#### (2) 特性安定化によるトランジスタサイズの縮小

M81776FPでは、内部電源を適用した回路部の特性安定化に加え、新たに定電流回路を適用することで、特性の更なる安定化を図っている。この定電流回路は内部電源と同様に電源電圧(VCC)の依存性が少なく、さらに温度依存性も少ない回路構成にしている。従来製品では外的要因(電圧/温度)に対するマージンを確保したトランジスタ

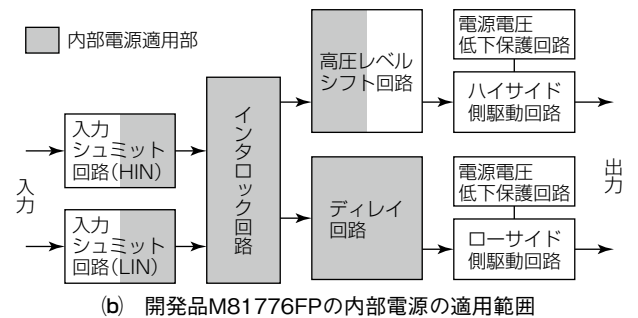
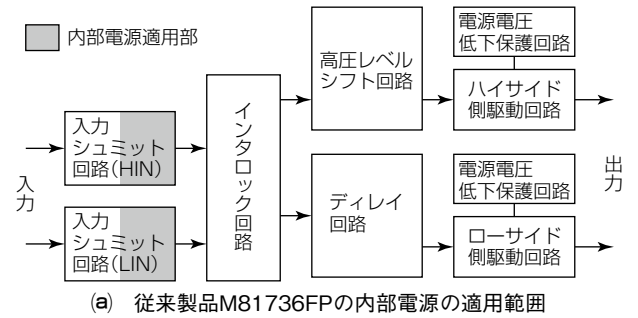


図4. 内部電源の適用範囲

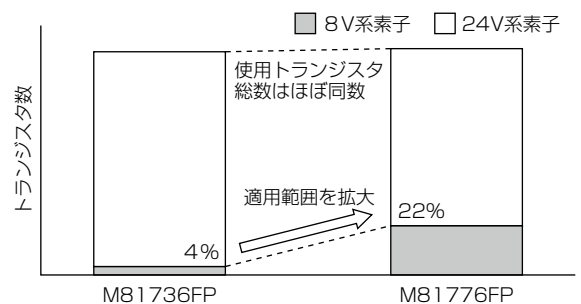


図5. 内部回路の耐圧別使用トランジスタ数

サイズ設計になっていたが、ロバスト性の向上によって、M81776FPではトランジスタサイズの縮小が可能になった。一例として図6に高圧レベルシフト用LDMOSFETの従来品種とのサイズ比較を示す。レベルシフト用電流の最大値を抑制することによってLDMOSFETのサイズを約20%縮小した。高圧レベルシフト部でのLDMOSFETのサイズ縮小は、ハイサイド回路を構成するリサーチ領域のサイズに直結し、大幅なチップサイズ縮小が可能になる。

## 2.2.2 性能・品質の維持と向上

### (1) 定電流制御による特性安定化

2.2.1項(2)でも述べたが、M81776FPは特性の安定化を目的として、新たに定電流回路の適用を行っている。電源電圧依存性と温度依存性の改善から、製品機能のロバスト性が向上する。定電流回路の特性が顕著に表れる電気的特性として、Hレベル入力バイアス電流が挙げられる。図7にその温度/電源電圧依存性の特性を示す。特性の標準条件であるVCC = 15V・Ta = 25℃で

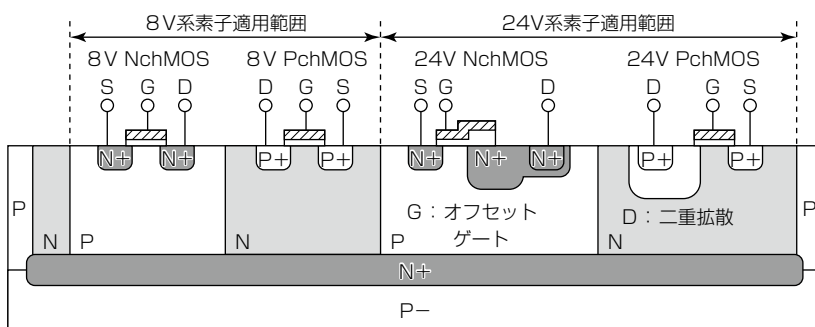


図3. 耐圧別CMOSの断面構造

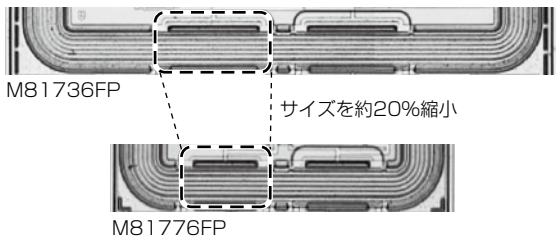


図6. 高圧レベルシフト用LDMOSFETのサイズ比較

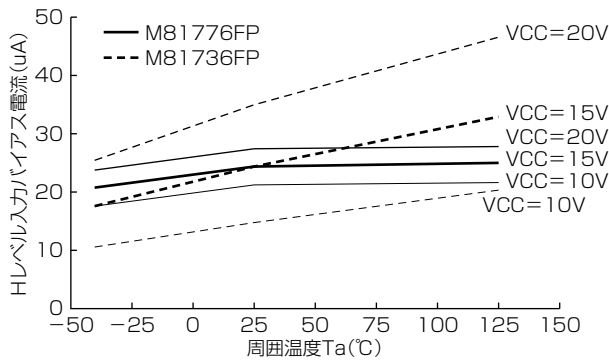


図7. Hレベル入力バイアス電流

は、従来製品との互換性を確保するために同一特性となっているが、温度／電源電圧に対する特性の安定性が向上していることが分かる。

安定化の効果が特に顕著に表れるのが、電源電圧が高く、周囲温度が高い場合となる。先に述べた高圧レベルシフト回路にも定電流回路を適用しているため、この安定化の効果が同様に得られる。すなわち高キャリアでの駆動損失が問題になる高温領域で、損失低減することを意味しており、M81776FPでは駆動に対する余裕度が拡大している。

(2) 製品品質の維持・向上

M81776FPは従来製品M81736FPと同一世代(第4世代)ウェーハプロセスを採用している。このウェーハプロセスはCMOS領域にN+埋め込み層を設けており、ラッチアップ誤動作抑制に有効に作用する。これによって従来製品と同等の品質を確保できる。

さらにM81776FPでは、誤動作抑制を目的にフローティング回路内の構造最適化によって、ハイサイド側の信号伝達の精度の向上を行っている。ハイサイド側回路は、VS端子の電位を基準としているため、インバータの出力状態によって回路の基準が常に変動する。基準が変動した場合でも、誤動作耐量を確保することが製品品質を維持する上で重要になる。図8にハーフブリッジタイプのHVICを用いた応用回路の接続例を示す。ハイサイド側のトランジスタQ1がターンオフすると、ローサイド側駆動回路のフリーホイールダイオードが還流モードになり電流が流れる。このとき、寄生インダクタンスによってHVICのVS端子に負電圧サージが発生する。この負電圧サージはHO端子のハイラッチ誤動作や破壊を引き起こすことがある。

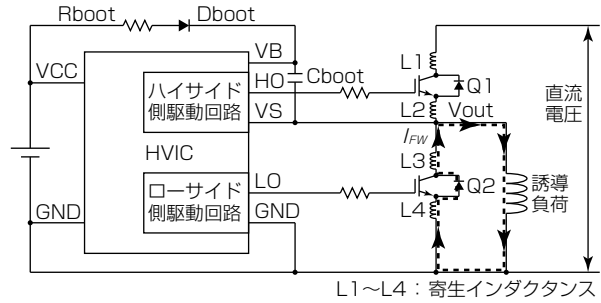
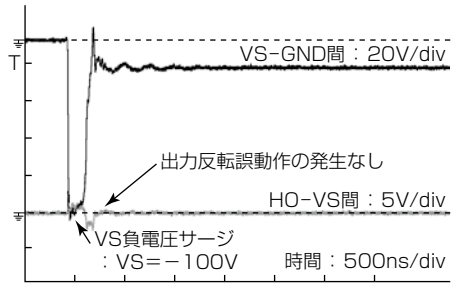
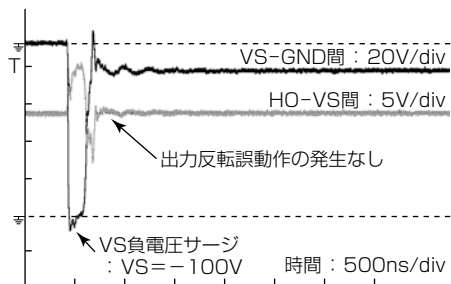


図8. 応用回路の接続例



(a) HO出力=Low時の評価波形



(b) HO出力=High時の評価波形

図9. VS負電圧サージ耐量評価

図9にM81776FPでVS負電圧サージを印加した場合のHO出力について評価結果の一例を示している。図ではVS端子に-100Vを印加した場合の評価結果を示しているが、HO出力の状態によらず誤動作は発生せず、また破壊も発生していない。これは従来製品M81736FPと同等の耐量であり、チップサイズシュリンクによる誤動作耐量への影響懸念をフローティング回路内構造最適化で払拭していることを示している。

### 3. む す び

今回、高いノイズ耐性と低価格化を両立させた“普及版600V耐圧ハーフブリッジドライバM81776FP”を開発した。これによって、インバータシステムの小型化と更なる普及に貢献する。

#### 参考文献

- (1) 清水和宏, ほか: 第2世代分割RESURF構造を適用したHVIC技術, 三菱電機技報, 84, No.4, 228~231 (2010)
- (2) 羽生 洋, ほか: 高信頼性1,200V HVIC“M81738FP”三菱電機技報, 88, No.5, 289~292 (2014)