

IPM 用 S2J-MOSFET (ソフトスーパー Junction MOSFET) の開発

Development of S2J-MOSFET (Soft Super Junction MOSFET) for IPM Product

安原 淳*
Jun Yasuhara

概要 近年、電子機器は小型化、大電流化、高速化の要求を受けて、搭載されるデバイスのさらなる高性能化が求められている。その中で高耐圧素子であるスーパー Junction MOSFET (以下、SJ-MOSFET) は、民生、産業、自動車など多岐の分野にわたり採用されている。SJ-MOSFET は従来のプレーナ型 MOSFET と比較して、耐圧とオン抵抗のトレードオフを改善し、オン抵抗を低減することが可能である。しかし、その構造上スイッチング時の波形がハードリカバリーになりやすく、ノイズが発生しやすい特性となってしまう。今回、使用用途として IPM 用に特化し、従来のプレーナ型 MOSFET と比較して低オン抵抗化をおこないつつ、スイッチング時のノイズ発生を抑えた新 SJ-MOSFET 構造の S2J-MOSFET (Soft Super Junction MOSFET) の開発をおこなった。

1. まえがき

近年の経済発展と人口増加に伴い、世界の消費エネルギーは増加の一途を辿っている。太陽光発電などの再生可能エネルギーの創出と、そのエネルギーを利用する電力変換機器の省エネルギー化が求められている。近年では、さらなる効率化を求めて一部の用途で GaN や SiC といった化合物半導体の採用も進んでいるが、低コストかつ低耐圧から高耐圧までカバーできる Si パワー半導体が幅広い分野で主力となっている状況に変わりはない。

現在、高耐圧系の MOSFET ではプレーナ型 MOSFET およびスーパー Junction MOSFET (以下、SJ-MOSFET) が量産されているが、近年の高効率化の流れを受けて幅広い分野での SJ-MOSFET の普及が進んでいる。

SJ-MOSFET は従来のプレーナ型 MOSFET よりもオン抵抗を大幅に低減することが可能である。しかし、インバータ回路のように MOSFET 内部に形成されている寄生ダイオードを積極的に使用する用途では、SJ-MOSFET 特有の構造に由来するダイオードのリカバリー特性により、損失の増加やノイズの発生に大きく影響してしまう。

そこで本稿では IPM 用途にマッチしたソフトなりカバリー特性を有する S2J-MOSFET (Soft Super Junction MOSFET) の開発をおこなったので報告する。

2. 市場背景

現在 MOSFET の使用用途としては、用いられる製品の出力電力と動作周波数によってさまざまな分野で使用されている。特に高出力領域では、プレーナ型 MOSFET から SJ-MOSFET への置き換えが進んでおり、用途としては PC やフラットパネルディスプレイの 1 次側電源、サーバーや基地局の PFC 回路、太陽光発電用のパワーコンディショナー (パワコン)、HEV/EV のオンボードチャージャーなどで使用されている。また、最近では白物家電向けに SJ-MOSFET を搭載した IPM も製品化されており、今後の普及が期待されている。図 1 に白物家電の市場規模推移と今後の市場規模の予測を示す。

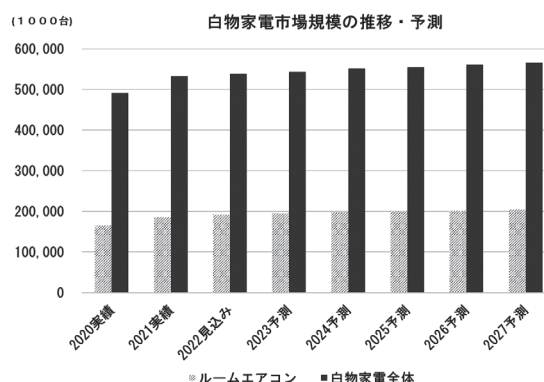


図 1 白物家電市場規模推移・予測 (2020 ~ 2027)⁽²⁾

* マーケティング本部 プロセス技術統括部 デバイス開発部
デバイス設計 2 課

白物家電の市場規模は2027年にかけて、数量の大幅な増加は見られないものの、現在の規模を維持しながら、着実に増加すると予測されている。その中でも特にIPM製品の適用が期待されるルームエアコン市場では、白物家電市場全体のおおよそ3割以上の規模を占める大きな市場規模を有している。この分野へ従来のプレーナ型MOSFETからSJ-MOSFETへ置き換えたIPM製品を幅広く普及させることで、IPM製品のさらなる省エネ性能の向上および、低コスト化が実現可能となり、IPM製品の普及を一層進めることができると期待される。

3. SJ-MOSFETの特徴

図2に従来のSJ-MOSFETの構造を示す。SJ-MOSFETの特徴は耐圧を決定するN型ドリフト層内にP型コラムを交互に周期的に配置した構造にある。これにより従来のプレーナ型MOSFETでは、逆バイアスの印可時に、表面のPボディ領域からN形のドリフト層の方向に向かって空乏層が伸びるが、SJ-MOSFETは各N型ドリフト層とPコラム構造との接合部から横方向に空乏層が伸びることで、左右に伸びた空乏層同士が繋がり完全空乏化となる。そのため電流経路となるN型ドリフト層の不純物濃度を上げて空乏化しやすいため、プレーナ型と同等の耐圧を保持しながらも、プレーナ型MOSFETと比較して低オン抵抗化が可能となる。

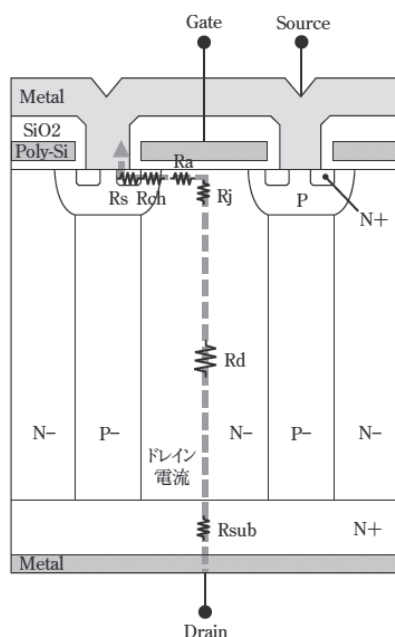


図2 SJ-MOSFETの従来の構造図

4. ソフトリカバリー化構造の検討

従来のプレーナ型MOSFETよりも低オン抵抗化が可能なSJ-MOSFETであるが、一方でその独自の構造により、スイッチング時のリカバリー波形がハードリカバリーとなり、スイッチング時のノイズが大きくなりやすい特徴がある。そこで、IPM用途へマッチしたソフトリカバリー特性を実現するため、従来の当社独自プロセスに加えて、新たに後述する二つの構造を最適化することでソフトリカバリー化の検討をおこなった。

4.1 エピタキシャル構造の最適化

図3にエピ構造の最適化の一例を示す。従来のSJ-MOSFET(図2)に対して、エピタキシャル(以下、エピという)構造の最適化をおこない、意図的に基板とPコラム構造の間にN層を形成する。これにより、スイッチング時のリカバリーにおいて、基板上部に形成されたN層に少数キャリアであるホールを残すことが可能となり、リカバリー時の戻り波形をソフトにすることが可能となる。従来構造(図2)とエピ最適化構造(図3)のシミュレーションによるリカバリー波形の比較を図4に示す。

図4より、逆方向電流のピークに達した後の電流の戻り波形において、最適化構造では電流の戻り波形の傾斜が緩やかとなり、戻りの後のリングングが無いソフトな波形を実現していることがわかる。

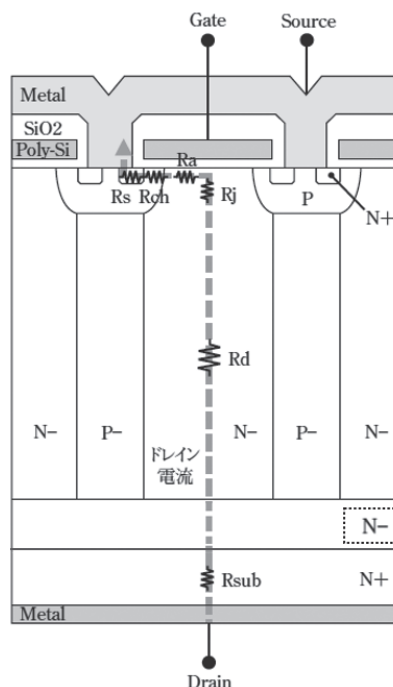


図3 SJ-MOSFETのエピ最適化構造図

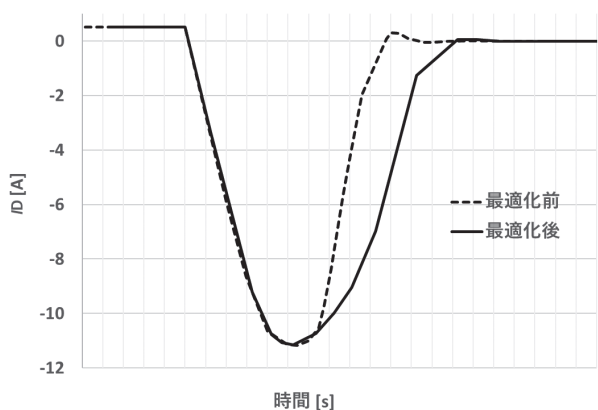


図4 エピ構造によるリカバリー波形の比較

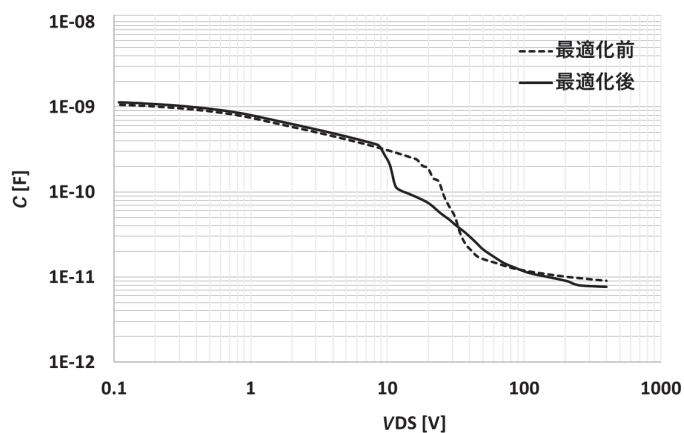


図6 Pコラム構造によるCossの変化

4.2 Pコラム構造の最適化

さらなるリカバリー特性の改善のため、Pコラム構造の最適化の検討をおこなった。図5にPコラム構造の最適化前、および最適化後の構造のSIMイメージ、および図6にそれぞれの構造における印可バイアスに対する出力容量Cossの変化を示す。

図6より逆バイアス電圧10V～100Vの領域において図5に見られるPコラム構造の違いにより、その容量変化にも違いが見られることがわかる。Pコラム構造の最適化前においては、容量が20Vあたりから急激に変化しているのに対し、最適化後では10V付近から段階的な容量変化となり、最適化前に対して緩やかな容量変化となっていることがわかる。

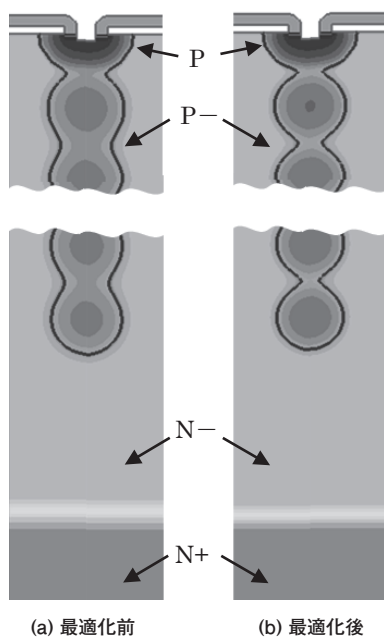
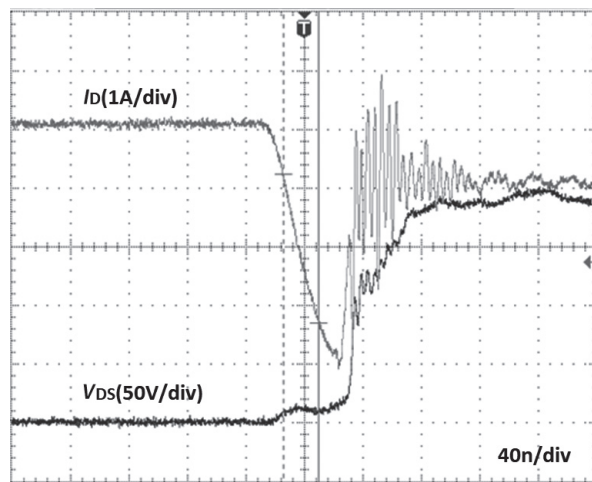
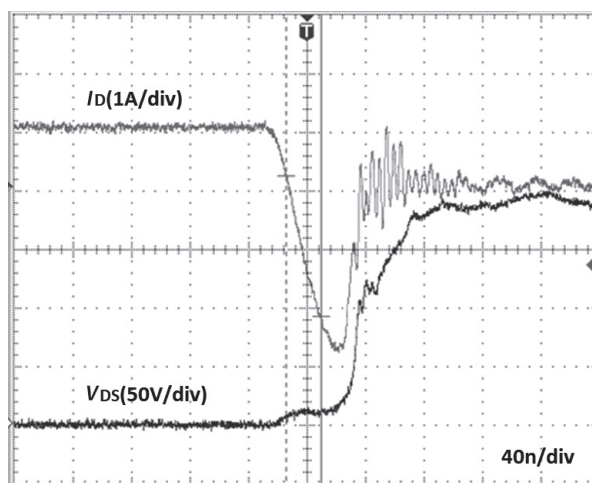


図5 Pコラム構造比較 (Pコラム段数は耐圧に応じて変動)

次に、Pコラム構造の最適化前後におけるリカバリー波形を図7に示す。



(a) Pコラム構造最適化前のリカバリー波形



(b) Pコラム構造最適化後のリカバリー波形

図7 Pコラム構造によるリカバリー波形

図7のPコラム構造最適化前後のリカバリー波形より、(b)のPコラム構造最適化後のリカバリー波形では、(a)のPコラム最適化前のリカバリー波形に対して、逆方向電流のピークに達してから電流OFFまでのリングングを抑制できていることがわかる。これは前述したPコラム構造の最適化により、逆バイアス印可時のドレインソース間の容量変化を緩やかにすることで、電圧の急激な変化を抑え、戻り電流の急激な変動を抑制した結果である。

以上、今回従来構造に対して、エピ構造、およびPコラム構造の2点について構造を最適化することで、IPM用途にマッチした低オン抵抗かつソフトリカバリーな特性を可能とするSJ-MOSFET (S2J-MOSFET) を実現することができた。

5. むすび

今回、IPM用途に特化したソフトリカバリータイプのSJ-MOS FET (S2J-MOSFET) の開発をおこなった。従来からの当社独自のプロセスに加えて、よりソフトリカバリー化が実現できる構造としてエピ構造、およびPコラム構造の最適化をおこなった。その結果、従来品よりもさらなるソフトリカバリー化を実現することができ、よりIPM用途にマッチした特性を実現することができた。

本構造を用いた新規SJ-MOSFET製品の開発を順次おこなうことで、当社IPM製品のラインナップを拡充するとともに、さらなる売り上げ拡大に繋がることを期待している。

参考文献

- (1) 大森, 崔: サンケン技報, vol.51, p.51-54, (2019.11)
- (2) 富士キメラ総研; 2022_ワールドワイドエレクトロニクス市場調査 (2022.3)