

こうして使おうパワーデバイス

第11回 IR の MOSFET 開発の変遷

IRではさまざまなパワーデバイスを作っていますが、その中で代表的なデバイスはパワー MOSFETです。半導体内部を流れる電流を、絶縁された制御電極に電圧を加えて制御しようというパワー MOSFETのアイディアは古くからありました。実際に作るのは難しく、1960年代の後半から少しづつ製品化が始まりました。今回は、IRのこれまでのパワー MOSFET開発の流れを中心に、パワー MOSFETの発展についてご紹介します。

HEXFET®の登場

1970年代にはMOSFETはメモリなどのLSIに広く用いられるようになりました。微細化が急速に進展とともに、微細化技術を活用したパワーデバイスの研究も盛んになりました。IRでは1979年に、オン抵抗などの特性を大きく改善した画期的なパワーデバイスとしてHEXFET®を製品化し、パワー MOSFETの代表的なメーカーになりました。さらに、当時の年間売上げとほぼ同等の金額を投資して最新の工場を建設し、製造の効率を大きく向上させることによって、良い製品を低コストで安定供給できるようになりました。MOSFETのメーカーとして不動の位置を確立しました。

最初のHEXFET®は、ゲート電極とチャネル領域を半導体の表面に沿って形成したプレーナ型で、六角形(hexagonal)の微細なMOSFETセルを敷き詰めた構造を特徴としていました。この構造からIRではHEXFETと名付けました。IRではその後も微細化や構造の改良によるオン抵抗の低減を進め、極細の帯状にしたストライプ型の構造も採用しています。

しかし、プレーナ型では次第に性能の限界に近づいてきました。特に、MOSFETではオン抵抗 $R_{DS(on)}$ とドレインソース間電圧 V_{DSS} はトレードオフの関係にあって、低オン抵抗と高耐圧の両立は困難です。また、オン抵抗 $R_{DS(on)}$ とゲート電荷 Q_G もトレードオフの関係にあって、低オン抵抗と高速化の両立も困難です。オン抵抗をさらに低減するためには、新しい構造の採用が必要になってきます。

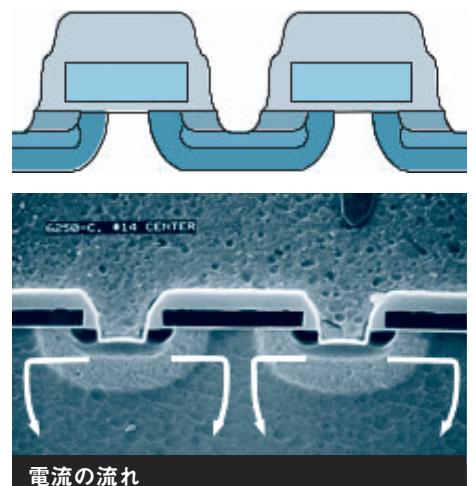
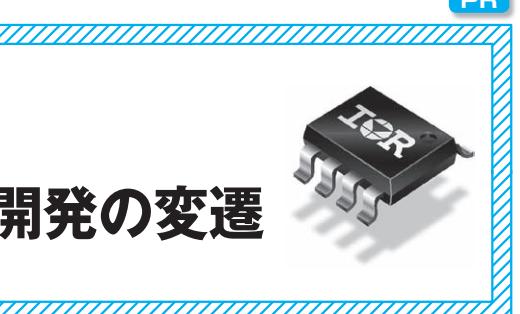


図1.プレーナ型MOSFET

トレンチ構造の採用

これまで、MOSFETが最も多く用いられてきたアプリケーションは電源です。1990年代にはDC-DCコンバータなど低耐圧の用途が増加するとともに、低オン抵抗の要求もさらに強くなってきました。そこで、プレーナ型よりも微細化が可能で低オン抵抗にできるトレンチ型のMOSFETをIRでも製品化するようになりました。

トレンチ型はゲート電極とチャネル領域を半導体基板の溝に埋め込むことで、低オン抵抗にできるかわりに、高耐圧や高速の用途には不利だと言われていました。IRでは、ゲート電荷を徹底して低減する構造の系列や、オン抵抗を徹底して低減しチップサイズを小型にする系列を、耐圧が24Vから300Vまで用途に応じて作り分けています。

IRでは、アプリケーションの要求に応じて特性を改良し、製品の開発を進めてきました。現在、一般向け製品の代表的なものは、プレーナ型がセル型とプレーナ・ストライプ型、トレンチ型が低ゲート電荷のトレンチ・ストライプ型となっています。

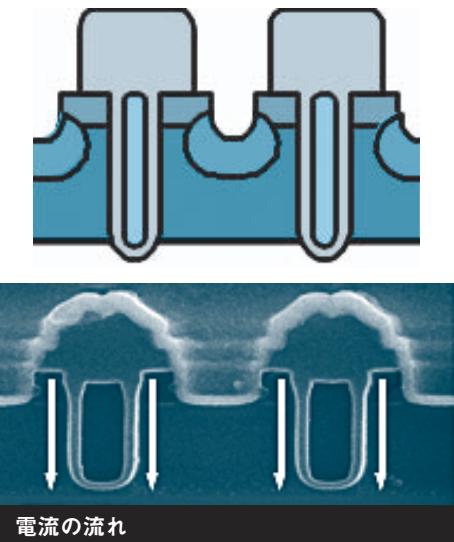


図2.トレンチ型MOSFET

アプリケーションの拡大

IRが製品化した低耐圧、超低オン抵抗、低ゲート電荷のトレンチ型MOSFETは、車載アプリケーションの要求にほぼ合致するものでした。ただし、オン抵抗についてはさらに厳しい要求がありました。

そこで、IRでは車載アプリケーションに特化した専用のMOSFETとして、耐圧40Vでさらに低オン抵抗を追及したシリーズをトレンチストライプ型で製品化しました。

$R_{DS(on)}$ 重視の設計なのでゲート電荷は大きくなるはずですが、チップサイズを小型化できたことからゲート電荷も小さく抑えられました。

さらに、車載とは別のアプリケーションとして、これまで他のメーカーが手掛けていない耐圧100～200Vクラスで低オン抵抗を重視したシリーズの開発を進めています。これはトレンチ型の新しい構造のもので、2014年からサンプルが出ています。

信頼性の追求

IRのMOSFET製品は、Si半導体として低オン抵抗

の限界を追求して発展してきましたが、それと同時に頑丈さも重要な特性であると言う考えがMOSFETの開発当初から一貫しています。もちろん、ドレン・ソース間のスパック電圧による破壊は耐圧を高くすれば壊れなくなりますが、オン抵抗も高くなってしまいます。

壊れない頑丈さと低オン抵抗を両立するために、IRでは内蔵ダイオード逆回復時のdV/dtと、アバランシェ耐量に注目しています。MOSFETが故障する最大の原因是、オンからオフにスイッチングする時に過渡的に発生する高電圧です。これに耐えられるだけの耐圧をもたせると、オン抵抗も大きくなってしまいます。

アバランシェ耐量を保証したMOSFETでは、スイッチング時の過渡的な高電圧に対しては、データシートに記載された繰り返しスイッチング時のアバランシェ・エネルギーEARや、単発スイッチング時のアバランシェ・エネルギーEASを用いて設計ができます。耐圧は通常時の電源電圧から決めることができるので、十分に低オン抵抗のデバイスを選択できます。

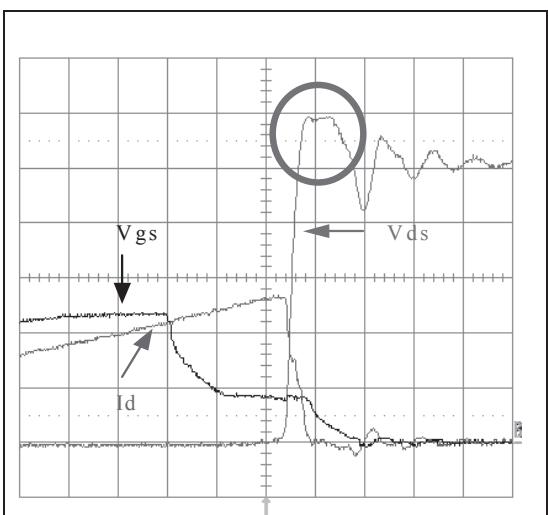


図3.フライバックコンバータ回路でのアバランシェ波形

IRでは、これからも低オン抵抗と壊れにくさの両立を追求してMOSFET製品を作り続けていきます。同時に、MOSFETの特性を十分に生かして使いこなせるように、デバイスの性能を実用的で分かりやすい指標で示すようにしていきたいと考えています。