ノート

ワイドギャップ半導体を使った電力変換回路の特性評価

小林　豊*

Characterization of Power Conversion Circuits with Wide-bandgap Semiconductor Devices

KOBAYASHI Yutaka*

1. 緒　　言

近年，地球温暖化や国内の電力供給状況のひっ迫により電力消費の節約が叫ばれる一方，世界的にエネルギー消費は経済成長とともに増加の一途をたどっており産業・民生機器の消費電力の削減は喫緊の課題である。今後も継続すると思われるこの課題を解決するためにパワーエレクトロニクスの果たす役割はますます重要になるとともに市場の拡大が予想される。現状のシリコン（Si）半導体デバイスの電力変換効率は理論上の限界に来ており，今後のさらなる容量拡大と効率の改善には材料面からのアプローチが不可欠といわれている。そこで本研究ではワイドギャップ半導体の中でも製品化されている炭化ケイ素（SiC）の MOSFET について， 実際の回路設計手法を習得するために電力変換の基本的な回路を設計してシリコンデバイスと電力変換効率の比較を行った。

2. ワイドギャップ半導体とは

半導体の禁制帯幅（バンドギャップ）がシリコン（1.1eV）に比べ大きいため絶縁破壊電界が大きく高耐圧化やオン抵抗低減による効率改善が期待できる材料である。市販されているものには SiC や窒化ガリウム（GaN）などが使われている。SiC の禁制帯幅は 3.3eV，GaN は 3.4eV であり，シリコンに比べると 3 倍程度である。[1)]

3. ハーフブリッジ回路の設計

ハーフブリッジ回路は 2 個のトランジスタ（Tr1，Tr2）を交互に ON/OFF して信号波形

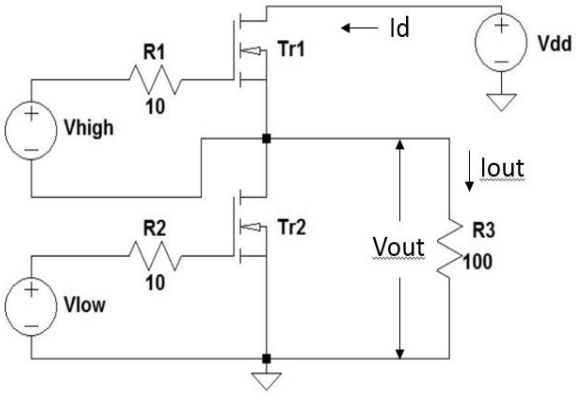
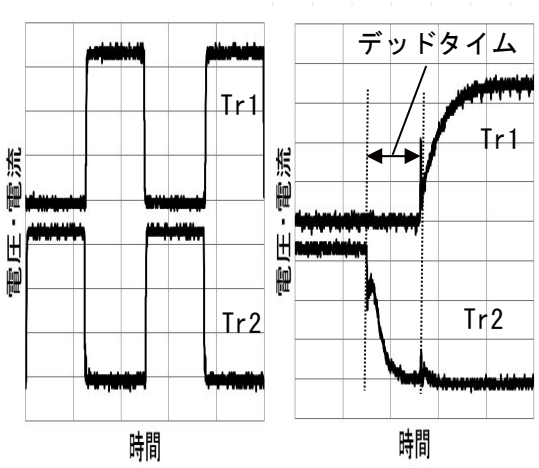


図 1　ハーフブリッジ回路の概略

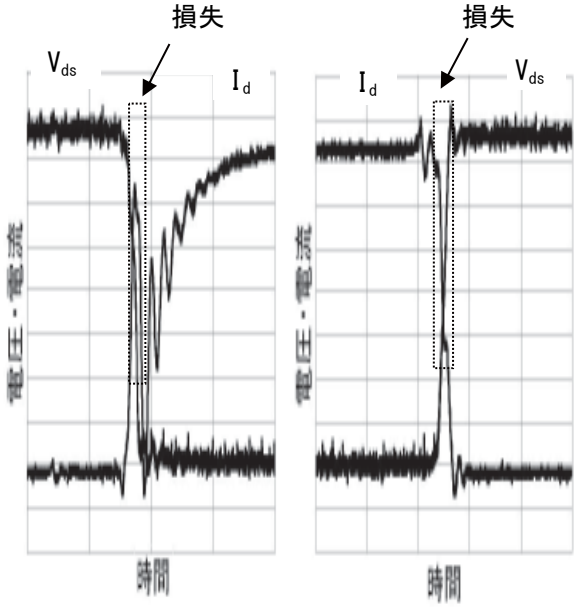


（a）1 周期　　（b）ON/OFF 切替え部分

図 2　Tr1，Tr2 のゲート信号波形

＊　下越技術支援センター

を変換する電力変換の基本となる回路である。図 1 に本研究で測定したハーフブリッジ回路の概要，図 2 に Tr1 と Tr2 のゲート信号波形（（a）は 1 周期，（b）は ON/OFF 切替え部分を拡大したもの，周波数 20kHz）を示す。2 つのトランジスタが同時に ON した場合に短絡電流が流れ回路が破損するため，実際の回路では両方のトランジスタが OFF する時間（デッドタイム）の後，片側が ON するようにドライバーIC で制御を行った。デッドタイムは約 550nsec であった。この回路を用いて Tr1，Tr2 に SiC の MOSFET，Si の MOSFET，Si の IGBT を用いて， 直流信号を負荷抵抗でスイッチングしたときの電力変換効率を測定した。使用したトランジスタは，SiC の MOSFET は（株）ロームの SCH2080KE（耐圧 1200V），Si の MOSFET は Vishay の IRF840（耐圧 600V），Si の IGBT は InternationalRectifier の IRG4PH50U（耐圧 1200V）である。



（a）ターン ON　　（b）ターン OFF

図 4　SiC_MOSFET のドレイン-ソース間電圧波形

4.　電力変換効率の測定方法と結果

各トランジスタについてスイッチング周波数を 20k～100kHz まで変化させたときの電力変換効率を測定した。負荷電源は直流 150V，ゲート電圧は各デバイスの定格値とし，電力変換効率 η は式（1）で算出した。ここで V_{dd} は電源電圧，I_d は Tr1 に流れる電流，V_{out}，I_{out} は負荷にかかる電圧と流れる電流である。

$$\eta = V_{dd} \times I_d / (V_{out} \times I_{out}) \qquad (1)$$

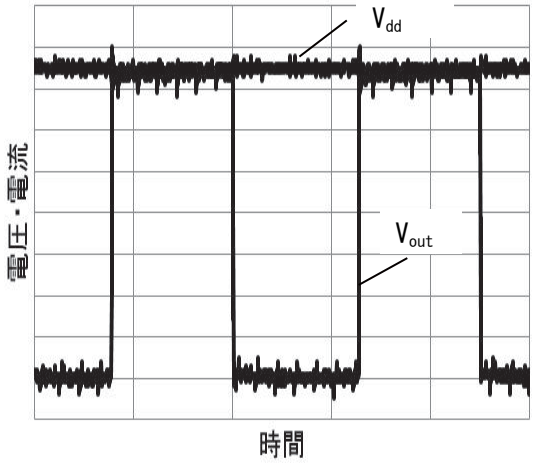


図 3　出力電圧波形

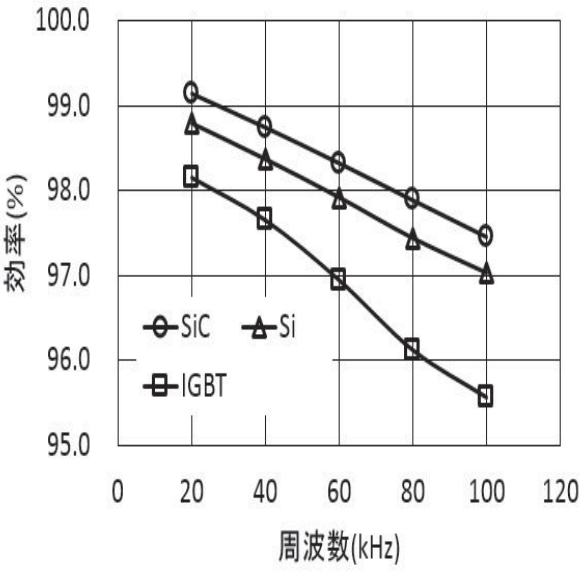


図 5　変換効率の測定結果

SiC の MOSFET を使ったときの出力電圧波形を図 3 に，Tr1 のドレイン−ソース間電圧（Vds）のスイッチング波形を図 4（（a）ターン ON，（b）ターン OFF）に，測定結果を図 5 に示す。

出力は図 3 のようにトランジスタのスイッチングに同期して ON/OFF する。周波数が高くなるに従い，すべてのトランジスタで効率が低下しているのは図 4 に示すようにトランジスタが ON→OFF，OFF→ON に切り替わるときのスイッチング損失が増加するためである。3 種類のトランジスタを比較すると，SiC の MOSFET の変換効率がもっとも優れている。Si の MOSFET はオン抵抗が SiC の MOSFET に比べて一桁大きいこと [2),3)] が原因と考えられる。IGBT の効率が低い原因は，電流が大きい領域ではオン抵抗は SiC に近い値であるが小さくなるにしたがってみかけのオン抵抗が大きくなること，および IGBT に特有のテール電流による損失 [4)] が影響していると考えられる。

5. 結　　言

SiC と Si それぞれからなる半導体デバイスについて電力変換の基本的な回路を作成して電力変換効率の比較を行い，下記のことがわかった。

（1）ハーフブリッジに抵抗を接続した回路で電力変換効率を測定することができた。

（2）電力変換効率は SiC の MOSFET を使った回路が最も優れていた。

参考文献

1）パワーエレクトロニクスハンドブック編集委員会，パワーエレクトロニクスハンドブック，オーム社， 2010， p304.

2）データシート　ローム（株）N チャンネル SiC パワーMOSFET　SCH2080KE

3）データシート VISHAY 社 PowerMOSFET IRF840

4）五十嵐征樹輝，パワーデバイス IGBT 活用の基礎と実際，CQ 出版， 2011， p20.