

特集に寄せて

SiC-MOSFET の本格的な普及を期待して

Expecting the Proliferation of SiC-MOSFETs

赤木 泰文 AKAGI, Hirofumi

東京工業大学 工学院 教授 工学博士



1957年12月に、米国のGE社の研究者がSCR (Silicon-Controlled Rectifier) を発表した。当時、ダイオードは存在していたが、その動作は回路で決まり、外部からはまったく制御できない。これに対してSCRは、オンのタイミングを制御できるパワー半導体デバイスである。その後、SCRはサイリスタに呼称が変更された。水銀整流器とサイリスタのデバイス(素子)としての基本動作は同一であるが、放電と固体(半導体)という本質的な相違がある。しかも飽和電圧が約20Vから約2Vに低減し、機器・装置の小型化が一気に進んだ。“サイリスタの発明がパワーエレクトロニクス(パワエレ)という新たな技術分野を創出した”といっても過言ではない。

筆者は、2014年にスウェーデンのストックホルムにある王立工科大学で、水銀整流器を使用した直流電源装置(200V/10A)の実物を見る機会を得た。これは1926年にASEA社が製造したもので、三相電源に接続すれば現在でも動作しそうな保存状態に感動した。一方で、その体積に驚いた。講演会場の演台と同程度の体積であり、水銀整流器の時代が終焉(しゅうえん)したのは当然である。

1980年代後半からIGBTの実用化が始まった。これは革新的なデバイス構造と微細化に特徴がある。ゲート構造はプレーナ(平面)からトレンチ(溝)へ発展し、現在では第7世代IGBTの製品化が始まっている。1990年代にはパワートランジスタを早々に駆逐し、2000年代には高圧大容量GTOサイリスタをも駆逐してしまった。IGBTは1980年代後半から現在までの約30年という長期にわたってパワーデバイスの主役を務めている。この事実はIGBTが“筋の良い”パワーデバイスであることを正直に物語っている。

近年、ポストIGBTとしてSiC-MOSFETが注目されている。炭化けい素(SiC)はシリコン(Si)よりも優れた物性値を有しているが、SiCパワーデバイスの研究・開発は難航した。しかし、日本を含む世界の半導体材料・デバイスの研究者および技術者の地道な努力によって、第一ステップとしてのSiC-SBDの製品化が実現した。

第二ステップとしてのオン・オフ能力を有するスイッチングデバイスについては、欧州の企業は製造プロセスが比較的単純なSiC-JFETに注力した。しかし、SiC-JFETは原理的にノーマリーオン(ゲート電圧がゼロでオンす

る)デバイスであり、停電時やゲート駆動回路の故障時の対策・保護回路などを必要とする。このため、パワエレの回路や応用の研究者および技術者には好まれない。結局、SiC-JFETは本格的な普及には至っていない。

これに対して日本企業は、SiC-JFETよりも製造プロセスが複雑で、しかもオン抵抗が原理的にやや高くなるSiC-MOSFETの研究・開発に意欲的に挑戦した。その最大の理由は、SiC-MOSFETはノーマリーオフデバイスを実現できるからである。数年前からはサンプル出荷も始まり、早晩、複数の日本企業による安定供給体制が確立されるであろう。

電力変換システムへのSiC-MOSFETの応用研究も着実に進展している。筆者は、2016年9月にEPE Conference(5~9日、ドイツ・カールスルーエ)とIEEE ECCE-USA(18~22日、米国・ミルウォーキー)に出席した。いずれの国際会議においてもSiC-MOSFETのパッケージング、実装、回路、制御、応用に関する論文が多く発表され、SiC-MOSFETの応用研究が現在のホットなテーマであることを再認識した。

産業界では、大容量太陽光発電(メガソーラ)向けにSiC-MOSFETを使用したPVインバータの製品化が始まっている。PVインバータの定格出力での運転は地域にもよるが年間に10時間程度で、実質的には軽負荷での運転である。SiC-MOSFETにはビルトイン電圧が存在しないので、軽負荷時の電力損失を低減できる。その結果としてエネルギー効率も向上する。EVインバータについても同様で、軽負荷時(市内走行)の電力損失の低減に有効である。

SiC-MOSFETの高速スイッチング特性も魅力の一つである。MRIやCTなどの医療用機器の電源、高周波誘導加熱の電源などへの応用も検討されている。SiC-MOSFETを使用した小型・高効率の高周波電力変換回路と小型・軽量の高周波変圧器を一体化したSST(Solid-State Transformer)の研究も活発に進められている。さらにSiC-MOSFETは、新しい応用を生み出す可能性も秘めている。

2017年は、サイリスタ誕生から60年の還暦を迎えることになる。この節目の年にSiC-MOSFETの本格的な普及が進展することを期待したい。



*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。