

普及間近の次世代パワー半導体 - 静かに進む省エネ技術の革新 -

三井物産戦略研究所
マテリアル&ライフ
イノベーション室
永島 学

パワー半導体とは、交流電流を直流に変換したり、電圧や周波数を変えたりする電力制御のための半導体であり（図表１）、携帯端末や家電といった民生機器のほか、自動車や鉄道、変電所など我々の生活を支える幅広い分野で利用されている。現在、主流のシリコン（Si）を基板材料とするパワー半導体は、高電圧に耐えられない、温度上昇に弱い、電力変換の損失が多いなどの課題を抱えており、このような課題を解決するために、炭化ケイ素（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、人工ダイヤモンドを基板材料とする次世代パワー半導体の研究・開発が進み、一部実用化されつつある。

本稿では、2020年に150億米ドル（米エネルギー省試算）に達するパワー半導体市場において、広く普及すると見込まれる次世代パワー半導体が、普及に向けた入口まで至ったことを踏まえ、開発動向と各国の取り組みにつき取り上げる。

次世代パワー半導体の特性

半導体とは、電気を通さない絶縁体、電気を通す導電体の中間に位置し、一定以上の電圧をかけた場合に電気を通す物質であり、電気を通すためのエネルギー、動作可能な温度領域、電圧に対する強度、熱の伝わりやすさ、電気の伝わる速度が物質ごとに異なる。

現在、パワー半導体の主流として利用されているSiは、資源として地球に多く存在し、大量生産・低価格によりパワー半導体の材料として最良のものと考えられていた。しかしながら、電力網や、鉄道用途、電気自動車などの高電圧が必要とされる条件では、高電圧の電流がSiパワー半導体に流れることでの発熱により、電力エネルギーが熱エネルギーとして放出される電力損失が大きく、例えば、電力網においては、作り出した総電力の8％に達する電力損失が生じているとの試算もなされている。

一方、SiC、GaNパワー半導体は、電圧強度がSiの10倍あり、高電圧の電流が流れても発熱が少なく、熱による電力損失を理論上、Siの100分の1以下に抑えることができるといわれており、発熱が避けられず200以上の高温に至る場合も、安定動作が可能といった優れた特性を備えている。

次世代パワー半導体の用途

（１）実用化の段階に入ったSiCパワー半導体

SiCパワー半導体用途として、直流電流を交流モータで利用する交流電流に変換し、加速と速度に応じて電圧や周波数を効率的に変化させるインバータが挙げられる（図表２）。三菱電機は、2012年2月より東京メトロの営

業運転車両にSiCパワー半導体を用いたインバータを搭載した世界初の実証実験を行った。当該実証実験で、走行時の消費電力のほか、ブレーキ時の回生エネルギーの利用比率を向上させ、これまで利用していたSiパワー半導体に比較し、消費電力を約4割削減することに成功した。

こうしたSiCパワー半導体を用いたインバータは、電気自動車での利用においても省電力効果が得られる。電気自動車向けインバータにこれまで放熱のため設けられていた冷却器が小型化、あるいは不要になることでインバータの小型化も期待でき、省電力効果と軽量化により航続距離の延伸に貢献できるとされている。

経済産業省は、電気自動車向け高効率インバータ関連技術開発を含む研究開発プロジェクトを2013年に立ち上げる予定であり、2017年度までの実証実験の後、その普及が期待されている。

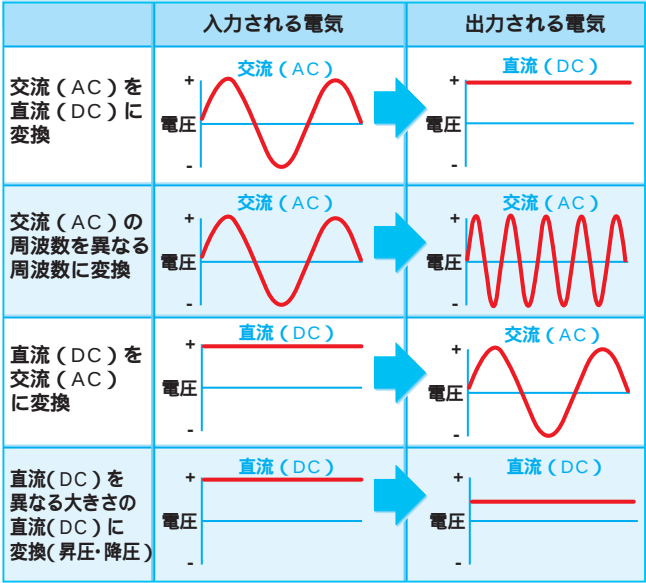
その他、SiCパワー半導体の用途として有望なのが、電力網における利用である。京都大学の木本恒暢教授は、Si半導体では6,000から8,000ボルト（V）であったのに対し、SiCを用いることで世界最高となる2万Vの電圧に耐えるパワー半導体の開発に成功した。高压電線からの6,600Vの電圧を家庭用の100Vに降圧する際、複数のSiパワー半導体を用いて数段階の過程を経ていたものを、SiCパワー半導体では、一気に降圧することが可能で、電力損失低減、小型化、低コスト化につながるという。また、同教授の試算によれば、SiCパワー半導体を用いることで、Siパワー半導体に比較し電力損失を10分の1に減らすことが可能となり、日本のみで800億kWh/年に達する変電過程における電力損失を削減し、原子力発電所2基分の電力を節約できるとされている。

（２）今後開発が期待されるGaNパワー半導体、ダイヤモンドパワー半導体

GaNは、高温・高電圧での利用を可能とするほか、電子の移動速度がSiの4倍、SiCの2倍に達することで、機器の高速化に対応可能な特性を有していることから、今後さらなる高速通信化が期待され、Siパワー半導体では対応が限界に近づいてきているスマートフォン等の民生機器をはじめ、携帯電話の基地局、衛星通信などの高性能化に貢献することができる。SiCと同様、小型化が可能なことから、携帯電話、PCの小型化や軽量化に貢献できるものと期待されているが、SiCパワー半導体との比較において、コスト高、安定品質の確保といった課題も多く、SiCパワー半導体に遅れる形で、普及が進むものと考えられている。

ダイヤモンドパワー半導体に関しては、2012年8月

図表１．パワー半導体の基本動作



図表３．パワー半導体研究拠点

名称	ECPE (EU)	FREEDM (米)	CPES (米)	TPEC (日本)
発足年	2003	2008	1998	2012
活動形態	ネットワーク型	拠点型	ネットワーク+ミニコンソーシアム型	拠点型（PJ/集中研）
本部	ニュルンベルク（独）	ノースカロライナ州	バージニア工科大学	つくば
産業界会員	43社	49社	68社	16社
大学・研究法法等	55機関	6大学	5大学	筑波大、NIMS等

出所：産業技術総合研究所資料「Tsukuba power electronics constellation（TPEC）構想」をもとに三井物産戦略研究所作成

に東京工業大学や産業技術総合研究所のチームが、電力網や電気自動車、鉄道車両などの電力損失を50分の1以下に減らすダイヤモンドパワー半導体の試作に成功した。SiC、GaNパワー半導体と比しても、10倍以上の高い電圧で動作可能であり、研究を重ねることで2020年の実用化を目指すという。

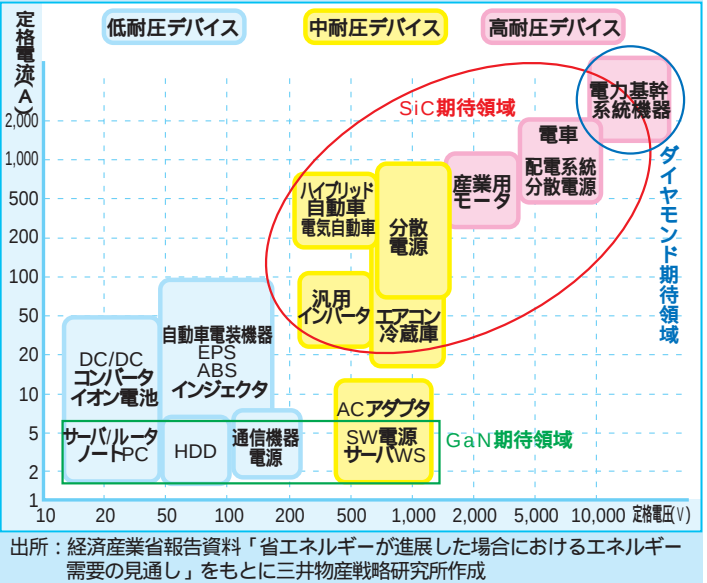
次世代パワー半導体への各国取り組み

日本は、次世代パワー半導体の研究の歴史が古く、1981年に三菱電機、ローム、日立、東芝、松下電器（現パナソニック）をはじめとする27社による財団法人新機能素子研究開発協会を発足させ、産業技術総合研究所や大学と連携して、SiCパワー半導体をはじめとする次世代パワー半導体の応用機器までを含めた研究を推進してきた。2012年4月には、産業技術総合研究所が中心となり、半導体メーカーからユーザーまでの企業16社と共同で、SiCパワー半導体をコアとした応用研究を行う共同研究体である「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーションズ（TPEC）」（図表３）を設立し、パワー半導体技術のオープンイノベーションを推進する。

米国は、1998年にバージニア工科大学、ウィスコンシン大学などの5大学と、インテル、GEエナジー等の68社からなるコンソーシアム（CPES）を形成し次世代パワー半導体の研究を推進している。2008年には、ノースカロライナ大学内に、アリゾナ大学、フロリダ大学など6大学のほか、49社の企業からなるコンソーシアム（FREEDM）を設立し、スマートグリッドの展開につながる技術として次世代パワー半導体の研究を推進している。

欧州では、2003年にインフィニオンテクノロジーズを中心に32社で構成される次世代パワー半導体を推進するプラットフォーム（ECPE）を設立し、人材育成を含めた

図表２．次世代パワー半導体の適用が望まれる分野



活動を推進する。

現在、次世代パワー半導体への取り組みにおいては、日米欧が世界をリードしているが、日本は、高いスペックが求められる電力、電気自動車、鉄道向けといった高付加価値用途を中心に研究を進めているのに対して、欧米は、比較的スペックの低い汎用製品向けであっても市場に製品を投入し、市場の要望に応えながら研究開発を推進させるといった戦略上における相違がある。

なお、次世代パワー半導体の領域においては、過去にサムスンが研究開発を始めたものの製品化を諦めるといった経緯があるなど、韓国は研究開発には乗り出しているが現状大きな動きはなく、中国もこれと同様、活発な研究開発は見受けられない。

産業界へのインパクト

経済産業省によれば、日本の電力の約6割は1億台に達する電動モータで消費されているといわれており、一般的な産業用モータへのインバータ装着率はおよそ1割と推定される。現在装着されていないモータにSiCパワー半導体を用いたインバータを装着すると、電力で1,390億kWh/年（日本国内総発電量の約14％）、原油換算にすると3,575万kl/年（2011年の日本原油輸入量：約2.4億kl）、CO2換算だと、5,380万トン（2010年の日本の温室効果ガス排出量：12億5,800万トン）の削減が可能となる。

また、モータのみならず、高速通信化するネットワーク機器においては、データセンター、サーバなどを含む消費電力が、2020年には、現在の2倍になると見込まれていることから、これまで利用されている用途での省電力化だけでなく、今後、電力需要が増加する用途においても、次世代パワー半導体が省電力化に貢献できる可能性は高く、大きな期待が寄せられている。